

UNIVERSITATEA ECOLOGICĂ BUCUREȘTI
FACULTATEA DE ECOLOGIE

NICOLAE GĂLDEAN GABRIELA STAICU

CURS DE ECOSISTEME

PARTEA I

STRUCTURA ECOSISTEMELOR

BUCUREȘTI, 2000

Cuvânt înainte

Cuprins

Introducere	4
Cap. 1. Analiza sistemică și ecologia	9
Cap. 2. Evoluția conceptului de ecosistem	25
Cap. 3. Structura ecosistemului	34
3.1. Relația organisme-factori abiotici	35
3.2. Energia în ecosisteme	49
3.3. Biomasa ecosistemelor	55
3.4. Interacțiuni biotice	62
3.5. Conceptul de comunitate	73
3.6. Conceptul de nivel trofic	79
Cap. 4. Elemente de termodinamică ecologică	95
Cap. 5. Producția ecosistemelor	100
5.1. Producția primară	100
5.2. Producția secundară	106
Cap. 6. Biodiversitatea și importanța ei în monitorizarea mediului	121

INTRODUCERE

Ecologia modernă este una din disciplinele cele mai implicate în înțelegerea și rezolvarea situațiilor critice legate de mediu. Evoluția ecologiei ca știință a urmat un drum deosebit comparativ cu alte științe, fiind dependentă nu numai de descoperirile din zoologie, botanică, biogeografie, taxonomie, evoluționism, genetică, fizica cuantică, informatică etc. dar și de modificarea unui stil de gândire, de la cea particulară spre cea globală.

Astăzi, ecologia ca știință este folosită de două categorii mari de persoane:

- a. cercetătorii, practicieni sau teoreticieni care încearcă, prin intermediul ecologiei, să înțeleagă mecanismele complexe care guvernează de pildă, biodiversitatea, echilibrul biosferei, productivitatea biologică, fluxul de energie, reciclarea nutrienților.
- b. oamenii politici, factorii de decizie și organismele neguvernamentale care speră să aleagă cele mai bune soluții pentru dezvoltarea durabilă.

Ar fi vorba, deci, de două tendințe majore care se condiționează reciproc și care vor determina o orientare practică a ecologiei în următorii ani.

Warren Dean, în lucrarea sa *“A ferro e fogo - a historia e devastação da mata atlantica brasileira”*, 1996, descrie una din primele masuri de “protejare” a pădurii tropicale. Coroana portugheză, îngrijorată de comerțul ilegal cu *pau-brazil* (*Caesalpinia echinata*) înființează în 1605 un corp de gardieni pădurari care au făcut ca doi ani mai târziu acest comerț înfloritor să fie controlat exclusiv de autorități. Era abia începutul devastării pădurii.

Deși asemenea exemple pot fi întâlnite cu mare ușurință în felurite publicații totuși, există prea puține explicații care să lămurească mecanismele care, odată deteriorate, au dus la transformarea drastică a mediului (să amintim aici de fenomenele de deșertificare ori de inundațiile catastrofale).

Manualul își propune ca pornind de la asemenea exemple să demonstreze funcțiile unor structuri care, în ciuda “publicității” de care au parte, sunt total necunoscute de majoritatea celor care le citează în scop propagandistic. Este vorba de ECOSISTEME.

Intervențiile omului în natură au avut adesea efecte imprevizibile, negative și care s-au repercutat asupra multor regiuni, chiar foarte îndepărtate de locul producerii impactului.

1. Inundațiile catastrofale din România din anii 1970 și 1975 ca efect întârziat al despăduririlor masive.
2. Maladii determinate de reziduurile de plumb de la întreprinderea “Acumulatorul” (prezentate într-o anchetă a ziarului “România liberă” din luna februarie, 1998)
3. Accidentul de la Centrala nucleară de la Cernobîl și creșterea incidenței cancerului
4. Experimentul “Biosfera II”
5. Eutrofizarea Deltei Dunării ca urmare a îndiguirii luncii inundabile a Dunării, exploatarea stufului și agriculturii intensive practică în toate țările riverane
6. Vulnerabilitatea pădurilor României la boli și dăunători. Situații de fapt:
 - în locul fâgetelor sau amestecurilor de fag cu rășinoase (foarte rezistente la diferite boli) au fost înființate culturi de molid, instabile
 - culturile de pini sunt foarte sensibile la dăunători
 - culturile de plop euroamericani sunt sensibile la schimbarea nivelului pânzei freatice cauzat de lucrările hidrotehnice
 - frecvențele combateri chimice ale dăunătorilor au afectat structura pădurilor de stejar
 - vitalitatea pădurilor a fost afectată de secetele prelungite
 - scăderea rezistenței chiar în cazul pădurilor de fag și salcâm
 - fragmentarea pădurilor prin privatizare a dus la reducerea stabilității acestora
 - amplificarea relațiilor comerciale internaționale poate favoriza pătrunderea de noi specii, dăunătoare

- păduri considerate neproductive dar cu mare valoare pentru asigurarea diversității nu vor primi, cel puțin în următorii ani “sprijin” pentru asigurarea sănătății lor
- plantațiile duc la apariția pădurilor echine în defavoarea celor pluriene; arboretele echine se obțin prin împăduriri sau regenerări naturale în urma tăierilor rase sau după aplicarea de tratamente cu perioada scurtă de regenerare (Giurgiu, 1988)

Sindromul *cojii de banană* (Beeby si Brennan, 1997) se referă la faptul că “ tot ceea ce arunci la întâmplare se va întoarce împotriva ta și te va lovi” și argumentează la nivel global aceste efecte negative.

Commoner, în volumul “Cercul care se închide” (1980) enumera câteva legi ale ecologiei, care pot fi relativ ușor înțelese:

1. Toate sunt legate de toate: exemplul eutrofizării Deltei Dunării
2. Totul trebuie să ducă undeva: în natură nu există deșeuri, adică tot ceea ce produce un organism sub formă de *excreta* este folosit de alte organisme; deșeurile sintetice sunt cu atât mai periculoase cu cât structura lor este mai “străină” de sistemele enzimatice ale organismelor care le-ar putea descompune (bacterii, drojdii, fungi)
3. Natura se pricepe cel mai bine: orice schimbare majoră determinată de om într-un ecosistem natural este nocivă
4. Nimic nu se capătă pe degeaba : tot ceea ce se extrage dintr-un ecosistem trebuie înlocuit (de exemplu, extragerea de material lemnos trebuie compensată prin plantări de puieți)

PERCEPȚIA PUBLICĂ A CONCEPTULUI DE ECOSISTEM

Foarte mulți oameni, chiar dintre cei mai bine informați, au o percepție greșită a ecologiei moderne mai ales din cauza unor idei perimate care se păstrează încă în literatură. Astfel, o paradigmă mai veche consideră sistemele ecologice ca fiind închise, bine reglate și aflate într-o stare de echilibru. Este vorba de așa numita *paradigmă a echilibrului naturii* care susține că fiecare unitate funcțională se poate conserva păstrându-și o stare foarte apropiată de starea inițială. Teoria echilibrului naturii nu este o

teorie științifică ci mai degrabă un cadru metaforic, cultural, cu rădăcini adânci în tradițiile populațiilor umane.

Paradigma ecologiei moderne acceptă ideea existenței unui punct de echilibru dar *numai la o anumită scară spațio-temporală*. Pe de altă parte, această paradigmă subliniază câteva dintre cele mai importante rezultate ale cercetării ecologice:

- Populațiile, comunitățile, ecosistemele, complexe de ecosisteme sunt străbătute de fluxuri energetice și materiale
- Reglarea lor rezultă în urma perturbărilor frecvente determinate de mediu
- Disponibilitatea resurselor se poate modifica
- Se poate atinge o stare de echilibru dar numai la scări spațio-temporale foarte mari

Natura este foarte dinamică iar starea diferitelor sisteme ecologice este determinată de accidente ale istoriei inclusiv influențele umane, modificările climatului și altele. Noua paradigmă sugerează ideea unui *flux al naturii*, idee utilă pentru înțelegerea existenței a numeroase mecanisme de control, a stării departe de echilibru și a impactului populației umane. Astfel, natura are limite de rezistență și o capacitate de asemenea limitată de revenire după o perturbare majoră.

Dar această acceptare a ideii că natura se află permanent departe de starea de echilibru nu înseamnă și acceptarea nevinovăției omului față de perturbările induse.

În 1988 a avut loc un incendiu catastrofal în Parcul Național Yellowstone iar părerea publicului a reflectat foarte clar o anumită percepție a ecologiei, legată de ideea echilibrului naturii. Parcul fusese puțin exploatat de populațiile indigene, înainte de epoca industrială și deci ar fi păstrat multe caracteristici native. Această modalitate de interpretare a stării complexului de ecosisteme a condus la aplicarea unei politici manageriale care, în cele din urmă s-a dovedit a fi greșită.

Una din problemele managementului parcului era aceea legată de populația de elani. Bazându-se pe concepția conform căreia plantele și ierbivorele care le consumă formează un sistem bine reglat și că populația umană indigenă nu a afectat în vreun fel peisajului parcului și nici elanii, managerii au adoptat o atitudine pasivă față de aceste mamifere mari. Urmarea, nedorită, a fost că populația de elani a suferit un proces de degradare datorită lipsei controlului asupra excesului de indivizi. Studii ulterioare au

demonstrat că totuși, populațiile indigene aveau un anumit rol în controlul populației de elani, control care s-a pierdut mai târziu tocmai datorită lipsei de înțelegere a unor mecanisme de supraveghere, absolut necesare.

O a doua chestiune ilustrată de situația parcului natural mai sus amintit este aceea a acceptării rolului perturbărilor naturale a sistemelor ecologice. Se cunoștea de multă vreme că marile incendii naturale aveau un rol esențial în structurarea vegetației iar măsurile tehnice de prevenire a acestor incendii (gândite în sens managerial) nu au făcut decât să înlăture un factor de control. Prevenirea incendiilor a determinat însă și efecte negative (!): excesul de biomasă vegetală a constituit un adevărat depozit de combustibil care, la un moment dat, scăpat de sub control, a favorizat incendiul catastrofal. Desigur, marele incendiu din 1988 a fost favorizat și de seceta prelungită dar evenimentul a subliniat concluzia că asemenea episoade fac parte din istoria naturală a regiunii.

Înțelegerea proceselor și fenomenelor care determină starea sistemelor ecologice, cu alte cuvinte înțelegerea ecologiei în sine induce pentru cei implicați drepturi dar și responsabilități. Publicul are dreptul să cunoască ceea ce studiază și interpretează ecologii pentru a avea acces la o decizie corectă în privința ofertei politice și sociale. Pe de altă parte, toți cei care se interesează de ecologie trebuie să știe să facă distincția între aspectul științific și cel politic. Din nefericire, ecologia de astăzi se află în situația ingrată de a fi sinonimă, în mintea publicului, cu anumite mișcări politice (“verzii”) ori cu anumite filozofii (“environmentalismul”) mai degradă personale. Publicul trebuie să realizeze că știința nu este același lucru cu o mișcare politică iar că cercetătorul, specialistul ecolog, nu este obligat să accepte conceptele emise de acele mișcări, partide sau congregații care folosesc în mod emblematic cuvântul ECOLOGIE. Multe din aceste concepte sunt mai apropiate de vechea paradigmă a ecologiei decât de orientările ei moderne.

O responsabilitate deosebită revine mijloacelor de comunicare în masă care au, cum este și firesc, accesul la informația științifică. Un exemplu de interpretare eronată a concluziilor științifice este legat tot de incendiul din Parcul Yellowstone: acest eveniment a fost comparat, în privința efectelor sale, cu un incendiu devastator dintr-un oraș ceea ce a indus în conștiința publicului ideea unui dezastru, a unei adevărate catastrofe.

Capitolul 1

ANALIZA SISTEMICĂ ȘI ECOLOGIA

Analiza sistemică este o metodă larg aplicată în studiile de ecologie. Această analiză este bazată pe determinarea acelor variabile care sunt importante într-un sistem ca și pe simularea sistemului (construirea unui model), optimizarea modelului și măsurarea performanțelor sale.

Se poate considera că modelarea este esența abordării sistemice. Analiza sistemică este nici mai mult nici mai puțin decât metoda științifică însăși, iar descrierea trasăturilor sistemului este o aplicare a metodei științifice pentru un complex organizatoric (ecosistemul); metoda încearcă să evite posibilitatea de excludere a unor factori importanți în analiza ecosistemului (principiul lui Pascal: eroarea vine din excludere).

Analiza sistemică este o aplicare a metodei științifice la probleme complexe și folosește tehnici matematice și statistice. Modelarea funcțiilor este de mare importanță în studiul sistemelor naturale complexe, modelul putând fi considerat că reprezintă sistemul real, dar numai pentru scopurile experimentului. Un model bun va conține variabilele cele mai importante.

În acest sens este necesară definirea *ecologiei sistemice*:

Știința care asigură fundamentul teoretic pentru a percepe și interpreta “mediul înconjurător”, care include deopotrivă mediul fizic și biologic natural precum și mediul transformat și controlat de către specia umană, ca o *ierarhie de unități organizate*, dinamice și cu proprietăți structurale și funcționale identificabile și cuantificabile (Vădineanu, 1998).

SISTEME

Ecosistemul este un sistem deschis, cel puțin pentru o proprietate, în care cel puțin una dintre entitățile componente este clasificată în categoria viului. Această definiție este foarte largă, iar restricțiile impuse de ecologi pentru o mai bună delimitare a ecosistemului nu au fost luate în considerație de teoreticienii din domeniul științei sistemelor mari. Trebuie să reamintim că un ecosistem este un caz special de sistem și

posedă toate proprietățile sistemelor. Astfel, nu există nici o restricție în privința numărului de proprietăți care pot descrie un sistem, deși mulți ecologi restrâng acest număr, din considerente de ordin practic. De asemenea, nu există restricții în studiul productivității sau transferului de energie și multe aplicații ale analizei sistemice în ecologie s-au orientat spre aceste probleme. De asemenea, modelele de populații sunt exemple pentru modelele de sisteme.

Definiția ecosistemului și principii care stau la baza caracterizării ecosistemelor:

Ecosistemele și sistemele ecologice în general sunt structuri disipative, strict dependente de o intrare continuă de energie de calitate care este acumulată, concentrată transformată și disipată în trepte, astfel încât rezultă creșterea gradului de organizare (comportament antientropic), producerea resurselor regenerabile și asigurarea unei game diverse de servicii. Introducerea energiei de calitate și maximizarea fluxului de energie concentrată are ca suport dinamica structurii *sistemelor biologice de nivel biocenotic*. (Vădineanu, 1998)

Câteva principii (Kinne, 1977) care stau la baza caracterizării ecosistemelor:

- Organismele exploatează orice posibilitate care le asigură supraviețuirea
- Competiția duce la diversificare, specializare și creșterea complexității structurale și funcționale
- Creșterea interdependențelor dintre specii
- Tendința de evoluție a organismelor
- Dezvoltarea sistemelor de supraviețuire

Eficiența: capacitatea sistemului de a integra toate componentele implicate în sinteza și descompunerea materiei organice și de a evita acumularea critică de material

Starea de sănătate: măsura capacității sistemului de a suporta viața umană.

Rezistența la deformări: toleranța sau capacitatea de a rezista stressului. Gradul de rezistență pare a fi dependent de euriplasticitatea principalelor componente. Speciile care manifestă mare rezistență față de variațiile factorilor abiotici sunt euriplastice iar cele cu rezistență scăzută sunt stenoplastice.

Stabilitatea: rezistența la deformări și continuitatea în timp (reziliența)

SISTEME ȘI PROBLEME CARE TREBUIE REZOLVATE ÎN ANALIZA LOR

Exista o paralelă între modul în care gândirea umană încearcă să rezolve problemele, gasind soluții la subprobleme și alcătuirea sistemelor în general. În mod empiric se pot deosebi 4 faze principale în rezolvarea unei probleme:

1. lexicală
2. descrierea părților
3. modelarea
4. analiza propriu-zisă

În analiza de sistem se pot deosebi, de asemenea, 4 faze:

1. delimitarea entităților sau părților
2. alegerea acelor relații dintre părți care ne interesează
3. specificarea mecanismelor după care aceste interrelații funcționează
4. validarea modelului de sistem și investigarea proprietăților acestui model

Ecologii trebuie să fie de acord cu regulile care trebuie utilizate, altfel nu sunt posibile comparațiile între sisteme diferite. Aceste dificultăți apar în fitosociologie, unde diversele reguli practice de procedură complică foarte mult analiza sistemului.

Faza lexicală

Una din problemele cele mai neglijate în studiile de sisteme este alegerea părților sau entităților care compun sistemul. În taxonomie există o ierarhie care este numai aparent similară cu cea a sistemelor și taxonomiștii sunt de acord că indiferent de nivelul de abordare, specia este cea mai importantă. Pe de altă parte, nu este foarte clar că nivelul speciei este cel mai consistent: cazurilor unor genuri ca *Hieracium*, *Rubus*, *Quercus* ca și marea varietate de caractere folosite în descrierea speciilor de Umbelifere și Magnoliacee. Deși taxonomistul are un avantaj față de ecolog datorită existenței unui sistem generator care este *sistemul genetic*, acest avantaj este totuși limitat de nevoia de a interpreta modelul genetic. Cele mai multe informații genetice disponibile nu se referă la

nivelul speciei, ci la nivelele intrinseci. Ecologii nu au asemenea sisteme disponibile și în opinia unora dintre ei un asemenea sistem nu există.

Alegerea entităților pentru studierea, descrierea și modelarea unui ecosistem este doar într-o oarecare măsură determinată de faza de descriere a părților. Alegerea cea mai obișnuită este aceea dintre entitățile **taxonomică, structurală și funcțională**.

Taxonomic este un adjectiv care descrie entități bazate pe **organisme individuale, populații, specii, genuri** etc. Entitățile **structurale** sunt bazate pe criterii ale formelor de viață: **arbori, tufărișuri, ierburi, mușchi**.

Criteriul formelor de viață este mai potrivit pentru înțelegerea fluctuațiilor locale de mediu, decât criteriul taxonomic. Entitățile **funcționale** au fost mai mult utilizate în domeniul ecologiei animale (**ierbivore, carnivore, omnivore**), deși unități similare există și în ecologia vegetală, chiar dacă sunt mai puțin precis definite (**xerofie, halofite saprofite**). Definirea entităților nu înseamnă totodată ușurința identificării părților, deși aceasta este o chestiune esențială. Posibilitatea de trecere de la un set de entități la altul are numeroase consecințe. Dacă o descriere implică categorii structurale și categorii taxonomice, cum pot fi comparate aceste 2 categorii?

Liriodendrom tulipifera este un taxon care poate intra în categoria tufișurilor sau arborilor, iar în unele definiții, tulpinițele care se formează din samântă sunt clasificate ca ierburi. În acest caz, problema tuturor variațiilor ecotipice și ontogenetice induce dificultăți clare în încercarea de alegere a celor mai semnificative entități.

Este adevărat ca unele ecosisteme pot fi comparate doar la nivelele grosiere, cum ar fi nivelul **autotrofelor și heterotrofelor** sau nivelul organismelor **acvatice și terestre**. De exemplu, deși Insulele Britanice, în ansamblul lor, au mai puține specii de plante decât o pădure din Tennessee, aceasta nu înseamnă că între cele două zone nu se pot face comparații privind ecosistemele lor.

Alegerea entităților funcționale nu înseamnă neapărat o opțiune mai fericită decât alegerea entităților structurale ori taxonomice. De exemplu, omnivorele sunt atât ierbivore cât și carnivore în timp ce plantele insectivore (carnivore) sunt atât autotrofe cât și heterotrofe.

Faza de descriere a părților

A doua fază se ocupă cu definirea relațiilor dintre entitățile selectate. Aceste relații pot fi de orice fel și nu trebuie limitate la relațiile de tip material. În ecologie relațiile au fost considerate ca fiind cea componentă materială pe care sistemul o poate rearanja și refolosi între părțile sale. Dar relațiile pot fi spațiale sau temporale, ceea ce nu implică aspectul material. De exemplu, proprietățile relevante pentru studiile de productivitate biologică sunt: energia, biomasa, carbonul, nutrienții minerali, populațiile, indivizii, apa și informațiile (sub forma materialului genetic). Aici nu se include diversitatea , în sensul în care acest termen este folosit în ecologie (*Margalef*, 1947) și care este o măsură a distribuției unor proprietăți “deasupra” entităților. Modificările de diversitate pot fi indicatori utili ai modificărilor de distribuție, determinate de variabile exogene.

Descrierea stării unui sistem poate fi multivariată. Importanța interacțiunii dintre proprietăți într-un astfel de sistem multivariat poate fi înțeleasă atunci când se lucrează cu relația nutrienți minerali - producție vegetală (recolta). Asemenea interacțiuni nu sunt desigur limitate la variabile particulare. Dificultățile de modelare și experimentare cu sisteme multivariate impun cercetătorilor constrângeri practice. Problema poate fi redusă la una univariată prin considerarea altor proprietăți ca fiind exogene deși această operațiune crește complexitatea experimentului. Atunci când se compară două sisteme univariate este esențial să ne asigurăm că diferențele dintre sisteme nu se confundă cu diferențele dintre variabilele exogene care au fost alese. **În contextul Programului Biologic International (IBP) proprietatea cea mai studiată a fost energia fixată sub formă de carbon, în mod obișnuit înțeleasă ca biomasă totală.** În acest fel au fost trecute cu vedere alte tipuri de biomasă. De exemplu, lâna oilor poate fi corelată cantitativ cu conținutul proteinelor cu sulf și nu cu biomasa totală consumată de animal sub formă de hrană vegetală. Desigur, nu se poate nega importanța metodei de estimare a transferului de energie pe baza stabilirii biomasei totale dar trebuie subliniat că alegerea pentru analiză a unei singure părți a sistemului real nu este întotdeauna cea mai bună soluție.

Modelarea

Fidelitatea. Odată stabilite entitățile și proprietățile, urmează etapa de identificare a mecanismelor care determină modificările sistemului. În acest sens apreciem că o mare

fidelitate înseamnă că modelul relevă sistemul real într-o gamă largă de stări și schimbări de stare. Această similitudine cu modelul real presupune cunoașterea proceselor reale ale sistemului. Output-urile sistemului sunt astfel date de totalitatea valorilor proprii corespunzătoare valorilor variabilelor exogene și valorilor unora dintre entități.

Totuși, s-a constatat că nu întotdeauna este necesară o înaltă fidelitate. De exemplu, în descrierea distribuției spațiale a plantelor se folosesc diferite expresii matematice (distribuția binomial negativă).

Cel mai simplu și mai comun model de ecosistem este:

Input - Ecosistem - Output

În acest model ecosistemul este considerat ca un fel de cutie neagră, închisă.

Acest model a fost mult folosit, fiind baza regresiei multivariate multiple. Trebuie să subliniem că pentru a obține o înaltă fidelitate trebuie să suportăm costuri care sunt foarte mari ca timp și ca efort. Se poate face în acest fel o analogie cu transmiterea sunetului: în telefonie nu este necesară aceeași fidelitate în redarea sunetelor ca în muzică. De pildă, în cercetarea corelației dintre energia solară disponibilă și arhitectura coronamentului copacilor se ia în considerație distribuția spațială a trunchiurilor și frunzelor: obținerea unor astfel de informații de mare detaliu este un demers deosebit de dificil.

Deci, procesele care trebuie definite depind în mod obișnuit de alegerea proprietăților și entităților. De exemplu, înțelegerea modificărilor de stare ale entității **plante** necesită studierea unor procese care definesc fixarea de energie, carbon, azot și apă ca și studierea altor procese care definesc felul în care se distribuie proprietățile între entități. Unele din aceste procese lucrează secvențial, adică rezultatul unuia formând input-ul următorului. De asemenea, procesele se pot desfășura în paralel. Trebuie precizat că o înaltă fidelitate în definirea proceselor nu garantează neapărat o corelație perfectă între model și output-urile reale. Fidelitatea modelului este limitată și de alegerea unor anumite variabile exogene.

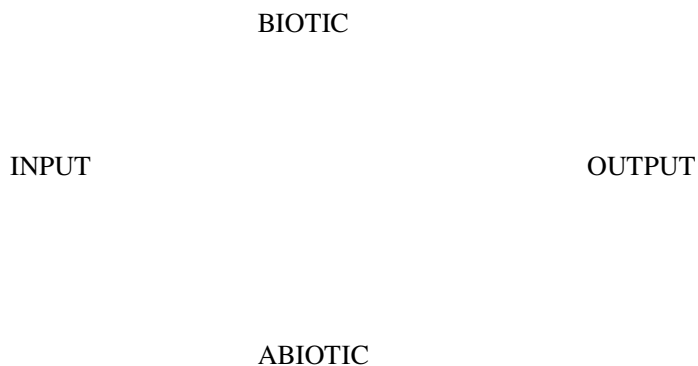
De exemplu, se pot lua în considerație două modele pentru monitorizarea fenomenului de fotosinteză - unul folosind durata medie a zilei pentru a prognoza cantitatea de CO₂ fixat iar celalalt, mai sofisticat, folosind temperatura, CO₂, umiditatea, fluxul de energie solară și distribuția spațială a frunzelor. Al doilea model pare a avea o

fidelitate mult mai mare față de condițiile reale dar introducând în primul model variații întâmplătoare este posibil ca acesta să funcționeze cu o fidelitate mai mare.

Această opțiune necesită destul de puține date dar reușita modelului constă în alegerea celor mai potrivite input-uri, și aceasta în mod aleator. Se remarcă încă odată importanța tehnicii de colectare a datelor atunci când se aleg procesele care urmează a fi investigate.

Considerații practice

Un model simplu al ecosistemului cuprinde 4 entități, fiecare reprezentând o clasă, proprietățile și procesele rămânând neprecizate.



Același sistem poate fi prezentat sub forma unei matrici de tranziție (modelele demografice pot fi incluse în conceptul de ecosistem). De asemenea, se obișnuiește să se restrângă definiția ecosistemului la un model simplu care simulează doar tranzitul de materie și energie.

HETEROTROF

INPUT	AUTOTROF	OUTPUT
-------	----------	--------

ABIOTIC

Exemple de sisteme restrictive:

Modelul recoltei autotrofe “perfectă”

INPUT	AUTOTROF	OUTPUT
-------	----------	--------

ABIOTIC

Sistem cavernicol sau hipogeu

INPUT	HETEROTROF	OUTPUT
-------	------------	--------

ABIOTIC

Sistem izolat sau cabină spațială

INPUT

AUTOTROF

HETEROTROF

ABIOTIC

Starea unui sistem este relevantă în cadrul modelului printr-o descriere statică ; dinamica modificării stărilor sistemului este inclusă în model prin simularea proceselor ce caracterizează sistemul. În timp ce unele sisteme pot arăta doar unele modificări ale răspunsurilor față de modificările variabilelor exogene, altele (cele mai multe) si **cu precădere ecosistemele se modifică în funcție de starea anterioară a sistemului (prin feed-back sau “memorie”)**. În acest caz, dacă procesele includ parametri care se modifică în timp, sistemul se află în evoluție; dacă parametrii nu se modifică în timp atunci procesul este staționar. Majoritatea modelelor implică procese staționare deși este limpede că ecosistemele evoluează. Reiese deci că modelele matematice necesare sunt mult mai complicate.

Analiza

Faza finală a abordării sistemului este analiza propriu-zisă. Aceasta implică alegerea celei mai bune soluții propusă prin modelul ales și **validarea output-urilor modelului prin compararea acestora cu output-urile reale ale sistemului**. Există unele cazuri, foarte simple, care permit ca modelul să poată fi soluționat analitic folosind tehnici matematice standard. Modelele care implică ecuații diferențiale liniare oferă posibilitatea de a calcula gradul său de sensibilitate față de schimbările valorilor parametrilor măsurați. În general însă, ecosistemele analizate sunt foarte complexe,

metodele simple de modelare nu dau rezultate și astfel este necesar un model de simulare mai elaborat.

Modelele stohastice sunt de preferat celor deterministe. Cele stohastice incorporează mai multă variabilitate și sunt mai realiste. De exemplu, răspândirea unei infecții într-o populație naturală: modelul determinist consideră (sau mai bine zis sugerează) existența unei mărimi critice a populației și aceasta declanșează trecerea de la starea de tip ne-epidemic la starea de tip epidemic iar epidemia are o extindere limitată. Modelul stohastic nu numai că permite variații în privința extinderii epidemiei dar precizează că indiferent de mărimea populației există șansa ca epidemia să se declanșeze sau, dimpotrivă, să nu se declanșeze.

Dupa stabilirea modelului este necesară **validarea** acestuia. Aceasta implică o caracterizare funcțională a proceselor ca și stabilirea parametrilor care pot fi considerați ca niște constante ale proceselor. Prin etapa de validare a modelului ales se verifică mai ales veridicitatea output-urilor. Dacă este nevoie de o fidelitate înaltă atunci se fac aproximări succesive, modelul fiind transformat progresiv până ce se obține calitatea necesară.

Output-urile formează o serie corelată de observații și compararea și investigarea unor asemenea serii ridică probleme statistice considerabile.

Exemplu de model simplu: **un sistem autotrof** de tip PET (precipitation-evapotranspiration). În acest caz se pot identifica cu ușurință două subsisteme - unul modelează procesul de intrare a apei în sol, celălalt modelează procesul de revenire a apei în atmosferă. Cele două subsisteme interacționează în două puncte: modificarea biomasei frunzelor (ca și distribuția lor) afectează interceptia apei (*in sensul că stratul de frunze oprește o parte din ploaie*) iar modificarea biomasei rădăcinilor afectează extragerea apei din sol de către plantă. Pe de altă parte, atât creșterea frunzelor cât și a rădăcinilor depinde de apa disponibilă.

Modelul include alte 3 sisteme:

- sistemul fotosintetic
- sistemul de creștere
- sistemul atmosferic

Se poate adăuga un al 4-lea sistem care să includă efectul topografiei zonei și al eroziunii solului asupra regimului precipitațiilor.

Sistemele și subsistemele nu operează sincron, fiecare având ritmul său. Astfel, sistemul fotosintetic nu va lucra pe întuneric iar sistemul de creștere prezintă variații sezonale și ontogenetice.

Control experimental si optimizare

Dupa validare modelul trebuie să fie utilizat, adică să folosească pentru managementul unui sistem real. Sunt deci necesare anumite experimente atât cu sistemul real cât și cu modelul, identificarea parametrilor care permit controlul modelului, selectarea căilor care conduc la stările dorite și menținerea acestor stări. Experimentarea modelului necesită de asemenea cunoștințe de statistică.

Mentineră stării unui sistem în apropiere de punctul dorit înseamnă a controla variațiilor output-urilor. De exemplu, managementul unui bazin acvatic urmărește menținerea unui flux de apă necesar hidrocentralelor pentru care supraproducția nu are urmări negative dar subproducția este extrem de costisitoare.

Dezvoltarea unei politici optime de control este o parte a procesului superior de control. Un ecosistem ar putea fi evaluat de un sistem administrativ iar un sistem politic și social de un sistem judiciar.

Ecologul are mai ales funcție de evaluator dar aici se ridică două probleme:

- existența unor optim-uri locale ceea ce face mai dificilă cautarea optim-ului general
- trecerea de la starea actuală la starea optimă

Compararea modului de organizare a ecosistemelor

Comparațiile se fac mai ales prin măsurarea diversității: de exemplu se compară liste de specii din componența unor asociații vegetale. În ecologie există însă o mare dificultate: alegerea entităților sau părților și acelor relații dintre părți care sunt necesare pentru un studiu particular. De exemplu, conceptul de *epifită* implică relația *crește pe un suport* iar conceptul de *stratificare a vegetației* implică relația *sus-jos*.

Câteva concepte ale ecologiei moderne

Alături de legile termodinamicii, există o listă modernă de alte concepte ecologice:

- Pe Pământ totul operează ciclic

- toate formele de viață au evoluat prin selecție naturală
- toate mecanismele vieții sunt interconectate

Ecologia a devenit o știință care integrează organismele, mediul fizic și populația umană și din această cauză nivelul ecosistemului este subiectul principal de interes.

CONCEPTUL 1.

Un ecosistem este un sistem termodinamic deschis, aflat departe de o stare de echilibru. Intrările și ieșirile din mediu sunt părți esențiale ale acestui concept. De exemplu, considerând o zonă împădurită, ceea ce intră și iese este tot atât de important ca ceea ce este în interior. În cazul unui oraș, viitorul său depinde mai mult de suportul extern decât de ceea ce se întâmplă în interior.

CONCEPTUL 2.

Conceptul sursă - receptor : o zonă sau o populație exportă biomasă și energie către o altă zonă sau populație. Această concluzie este un corolar al conceptului 1 și se aplică atât la nivel de ecosistem cât și la nivel de populație. La nivel de ecosistem, o zonă de mare productivitate (de exemplu o mlaștină eutrofică) poate "hrăni" o altă zonă, cu o productivitate redusă (ape oligotrofe învecinate). La nivel de populație, o specie dintr-un anumit areal poate avea o rată reproductivă foarte mare, mult mai mare decât ar fi necesar pentru menținerea populației. Surplusul de indivizi poate reface o zonă în care reproducerea are o rată scăzută.

CONCEPTUL 3.

În organizarea ierarhică a ecosistemelor speciile interacționează și tind spre relații de dezechilibru, chiar haotice; această tendință este contracarată de interacțiunile mai lente care au loc la nivelul sistemelor mari. Interacțiunile pe termen scurt, cum ar fi competiția interspecifică, tind să fie oscilatorii sau ciclice. Sistemele mari, complexe - oceanele, atmosfera, solul, marile păduri - tind să treacă de la întâmplător la ordine și să aibă mai multe caracteristici de stabilitate (de exemplu echilibrul gazelor din atmosferă).

Ecosistemele mari tind sa fie homeostatice în raport cu componentele lor. Acest principiu pare a fi cel mai important din toate deoarece avertizează că **ceea ce este adevărat la un nivel de organizare poate sau nu poate fi adevărat la un alt nivel de organizare**. În acest sens, dacă suntem cu adevărat interesați de dezvoltarea durabilă ne vom concentra atenția asupra complexelor de ecosisteme.

CONCEPTUL 4.

Primul semn al stressului mediului apare de obicei la nivelul populației, afectând mai ales speciile sensibile. Dacă există suficientă redundanță, alte specii pot “umple” nișa speciilor sensibile. Chiar dacă lucrurile pot sta așa, aceasta nu înseamnă să ignorăm avertismentul, deoarece componentele înlocuitoare s-ar putea să nu fie la fel de eficiente. Atunci când stressul produce efecte detectabile la nivelul ecosistemului, sănătatea și supraviețuirea întregului sistem este dominată de risc. Părțile sunt mai puțin stabile decât întregul.

CONCEPTUL 5.

Intr-un ecosistem, feedback-ul este un mecanism intern și nu are un scop “fixat”. În biosferă nu există termostate ori chemostate. Cibernetica ecosistemului diferă de cea a organismului sau de cea a sistemelor mecanice construite de om. Controlul ecosistemului este rezultatul funcționării unei rețele de procese interne de tip feedback.

CONCEPTUL 6.

Selecția naturală nu are loc la un singur nivel. Aceasta idee este un alt corolar al conceptului 3. Coevoluția, selecția de grup și darwinismul tradițional sunt părți ale teoriei ierarhice a evoluției. Nu este afectată doar evoluția unei specii dar și evoluția speciilor aflate în interacțiune, ca și a speciilor care au o mai mare valoare pentru supraviețuirea comunității decât altele.

CONCEPTUL 7.

Există două feluri de selecție naturală sau două aspecte ale “luptei pentru existență”: organism versus organism, ceea ce duce la competiție și organism versus

mediu, ceea ce duce la mutualism. Pentru a supraviețui, un organism nu trebuie să intre în competiție cu mediul sau așa cum o poate face cu un alt organism ci trebuie să se adapteze ori să modifice mediul sau comunitatea într-o manieră cooperantă.

CONCEPTUL 8.

Competiția duce mai curând la diversitate decât la extincție. Deși competiția are un rol major în determinarea compoziției specifice a comunităților, excluderea prin competiție (așa cum se întâmplă cu gândacii de făină din genul *Tribolium*) este mai curând o excepție în ecosistemele naturale. Speciile sunt capabile să-și modifice nișele pentru a evita efectele competiției.

CONCEPTUL 9.

Mutualismul evoluează atunci când resursele devin insuficiente. Cooperarea în scopul unui beneficiu mutual are o deosebită valoare de supraviețuire atunci când resursele scad în privința biomasei, cazul pădurilor mature ori în privința cantității de nutrienți (unii recifi de corali sau păduri umede). Acest aspect poate fi întâlnit și în societatea umană: superputerile tind să treacă de la confruntare la cooperare.

CONCEPTUL 10.

Efectele indirecte pot fi la fel de importante ca interacțiunile directe, în cadrul unei rețele trofice și pot contribui la dezvoltarea mutualismului. Într-o rețea trofică, organismele de la capetele unor serii trofice (de exemplu planctonul și bibanii dintr-o baltă) interacționează indirect, fiecare beneficiind de celălalt. Bibanul beneficiază de peștii planctonofagi care se hrănesc pe seama planctonului iar planctonul beneficiază de faptul că bibanul reduce populația predatorilor săi. Într-o rețea trofică există atât relații prada-prădător cât și mutuale.

CONCEPTUL 11.

De la începuturile vieții pe Terra organismele nu numai că s-au adaptat la condițiile fizice dar au modificat mediul în așa fel încât acesta a devenit benefic pentru viață în general (creșterea oxigenului și reducerea bioxidului de carbon).

Această ipoteza Gaia modificată este acceptată de cei mai mulți cercetători. Microorganismele au un rol vital în reciclarea nutrienților (în special în reciclarea azotului) și în homeostazia atmosferei și oceanelor.

CONCEPTUL 12.

Heterotrofele pot controla fluxul de energie într-o rețea trofică. De exemplu, în apele calde bacteriile funcționează ca un receptor, ele scurt-circuitând fluxul de energie astfel încât pe fundul oceanului ajunge mai puțină energie care ar fi necesară pentru menținerea populațiilor de pești și deci a pescuitului. În apele mai reci, bacteriile sunt mai puțin active permițând ca o mai mare parte a producției primare să ajungă la fund. Heterotrofele mici pot avea același rol în ecosistemele terestre (savane, pășuni). Este un corolar al conceptului 11.

CONCEPTUL 13.

Abordarea diversității trebuie să includă nu numai diversitatea speciilor dar și cea genetică sau a complexelor de ecosisteme. Conservarea biodiversității trebuie focalizată pe nivelul complexelor de ecosisteme (landscape) deoarece varietatea de specii din orice regiune depinde de mărimea, varietatea și dinamica ecosistemelor și coridoarelor verzi.

CONCEPTUL 14.

Dezvoltarea ecosistemului sau succesiunea ecologica autogenă reprezintă un proces cu doua faze. Stadiile tinere sau pioniere tind să fie stohastice (așa cum speciile oportuniste colonizează un teren) iar cele târzii mai bine auto-organizate (de asemenea ar fi un corolar al conceptului 3).

CONCEPTUL 15.

Capacitatea de suport este un concept bidimensional care implică numărul de utilizatori și intensitatea de utilizare per capita. Dacă intensitatea consumului individual crește atunci scade numărul de indivizi care este menținut de o resursă dată. Recunoașterea acestui principiu este importantă în estimarea capacității de suport umană

la diferite niveluri ale calității vieții și pentru determinarea capacității de tamponare a mediului față de folosirea terenurilor.

CONCEPTUL 16.

Managementul input-ului este singura cale de a controla poluarea nepunctuală. Reducerea deșeurilor în țările dezvoltate prin reducerea surselor de poluare nu numai că va reduce poluarea la scară globală dar va economisi resursele necesare țărilor nedezvoltate.

CONCEPTUL 17.

Pentru a produce sau menține un flux de energie sau un circuit al nutrienților este întotdeauna nevoie de o cheltuială de energie. Comunitățile și sistemele, naturale sau artificiale, cu cât devin mai mari și mai complexe, cu atât necesită mai multă energie disponibilă pentru menținerea lor (teoria complexității). Atunci când un oraș se dublează, consumul de energie și taxele cresc cu mai mult decât dublu.

CONCEPTUL 18.

Există o nevoie urgentă de a corela bunurile și serviciile naturale și cele fabricate de om și managementul de scurta durată și cel al dezvoltării durabile. Agrosistemele, padurile tropicale și orașele sunt cele mai vizate.

CONCEPTUL 19.

Costurile de tranziție sunt întotdeauna asociate cu schimbări majore în natura și în economia umană. Societatea trebuie să decidă cine plătește, de exemplu, costul unui nou echipament, al unor noi metode și al educației pentru trecerea de la o agricultură high-input la una low-input sau a unei uzine de la starea de poluator al aerului la starea de energie nepoluantă.

CONCEPTUL 20.

Pentru a schimba situația de exploatare a planetei la cea de protejare a planetei trebuie acceptat un model tip gazdă-parazit pentru om și biosferă. (ca o trecere de la stăpân la servitor). In ciuda progresului tehnologic omul rămâne un parazit dependent de resursele biosferei. Supraviețuirea unui parazit depinde de reducerea virulenței sale fata de gazdă.

Capitolul 2

EVOLUȚIA CONCEPTULUI DE ECOSISTEM

În anul 1866 E. Haeckel introducea în știință termenul *ECOLOGIE*. Preocupările propriu-zise pentru acest domeniu s-au dezvoltat cu precădere în SUA, fiind întrerupte numai de al doilea război mondial. După război, SUA au cunoscut o rapidă dezvoltare economică ceea ce a dus implicit la încurajarea cercetării științifice și deci și a ecologiei. Pe de altă parte, Europa și Japonia au fost ocupate cu reconstrucția economică, reexaminarea principiilor de guvernare și revenirea la o viață normală.

Mulți ecologi europeni au evitat, în acea perioadă, discutarea și folosirea unor aspecte teoretice (de pildă, principiile lui Malthus privind populația umană) care fuseseră utilizate de naziști și de militariști în general pentru a-și fundamenta politica rasială. În acest fel, cercetarea europeană din domeniul ecologiei a rămas în urma celei americane.

În SUA, conceptul de *ECOSISTEM* a fost mereu actualizat și modernizat, demonstrându-se cum se poate realiza un management eficient al mediului prin înțelegerea structurii și funcției **sistemelor ecologice** și prin predicția răspunsurilor acestora la acțiunea factorilor perturbatori. De asemenea, s-a dezvoltat conceptul abordării holiste a mediului, ceea ce a avut o importanță deosebită în dezvoltarea intelectuală a ecologiei iar în particular, în SUA, în munca de elaborare a paradigmei *monoclimax* și a paradigmei *succesiunii ecologice* (Frederic Clements).

Conceptul de holism a avut o largă semnificație culturală, postulând existența unei entități complexe, mult mai cuprinzătoare decât societatea umană și care se auto-organizează și auto-reglează.

Această entitate (numită **Gaia** în ipoteza Lovelock-Margulis) funcționează ca un macrosistem și integrează elemente fundamentale cu funcții specifice, ecosisteme. Pentru înțelegerea structurii și funcției ecosistemelor este necesară, într-o fază inițială, înțelegerea caracteristicilor sistemelor în general și ale sistemelor biologice în special.

În afară de caracteristicile generale ale sistemelor biologice, sistemele ecologice prezintă și caractere particulare care permit desfășurarea fluxului de energie și a circulației nutrienților. Aceste caractere particulare trebuie privite ca un rezultat al integrării ierarhiilor structurale și funcționale.

Pentru ecologii americani de după război, fondurile pentru cercetare au venit mai ales de la AEC (Atomic Energy Commission). Ei au “beneficiat” de războiul rece și războiul din Coreea deoarece au fost chemați să studieze ecologia armelor nucleare, efectele radiațiilor asupra organismelor și procesele de acumulare a elementelor radioactive în lungul lanțurilor trofice.

La sfârșitul anilor 50 ecologii au început să fie implicați în chestiuni conflictuale ale societății americane, mai ales după ce devenise foarte clar că folosirea pesticidelor în agricultură modifică fundamental ordinea naturală a lucrurilor. Utilizarea acestor substanțe afecta structura ecosistemelor. Dar industriașii și managerii au găsit că ecosistemul este ceva foarte atrăgător: cu o înțelegere adecvată și cu cheltuieli nu prea mari, ecosistemul ar putea fi folosit (exploatat) pentru a se obține un profit avantajos, fără a degrada prea mult mediul. În această conjunctură favorabilă ecologii au beneficiat de atenția societății și de resursele financiare generate de criza mediului. Golley (1993) compara chiar ecologii acelor ani cu niște păianjeni care stau în mijlocul plasei și acceptă pasiv prada (fondurile).

Chemați să rezolve probleme serioase ale ecosistemelor, ecologii au recurs la numeroase artificii “tehnice”. Astfel, sistemele complexe, adesea alcătuite din mii de specii, au fost simplificate de teoreticieni la 2-4 componente. Milioanele de interacțiuni dintre elementele ecosistemului au fost reduse la ideea fluxului de energie. Răspunsul dinamic al sistemelor naturale a fost interpretat determinist, fiind explicat prin teoriile fizicii. Unele eșecuri ale acestei abordări au determinat mulți ecologi să se limiteze la

studierea părților întregului, argumentând că acesta nu poate fi înțeles decât după înțelegerea părților.

În acest fel a avut loc o revenire la o idee de pionierat promovată în Europa la începutul secolului XX: studierea întregului ecosistem, în mod direct. Ecosistemul era perceput ca un obiect care trebuia studiat cu toate mijloacele științifice existente. Conform tradiției antebelice, ecosistemele cele mai mult studiate au fost lacurile iar bazinul hidrografic a devenit obiectul principal de interes.

La sfârșitul anilor 50, odată cu sărbătorirea centenarului apariției cărții lui Darwin, “The origin of species”, ecologii au reevaluat rolul evoluției în dezvoltarea comportamentului, reglarea populațiilor și organizarea comunităților. Prin lucrările sale, Wyne-Edwards a argumentat că selecția naturală poate avea loc la nivel de grup.

Totuși, ecologia evolutivă a fost ignorată de ecologii sistemici mai ales datorită interesului lor redus față de specii (ei reunind speciile în categorii, ca de exemplu nivelele trofice). De asemenea, ecosistemele erau investigate fără a se ține seama de relațiile timp-spățiu. Problema era de a găsi la un moment dat în timp și spațiu acea manifestare “comportamentală” a sistemului care să fie reprezentativă.

Un element cheie în competiția dintre studiile de ecosistem și ecologia evolutivă a fost rolul departamentelor de biologie din universități.

Biologia, “ruptă” în botanică, zoologie și altele a evoluat de asemenea în perioada de transformare și dezvoltare a ecologiei. Dar, în competiție cu genetica și biologia celulară, anatomia, fiziologia, taxonomia și ecologia au rămas în urmă. Disciplinele așa zis moderne au beneficiat de importante fonduri guvernamentale controlând în acest fel orientarea multor departamente de biologie. Schimbările au fost semnificative deoarece ecologia s-a dezvoltat în cadrul biologie deși, teoretic, se definea ca studiul interacțiunilor dintre sistemele vii și mediu. Astfel, ecologii au acordat mai puțină atenție mediului (în sens fizico-chimic) decât elementului biologic.

O dificultate importantă în cercetarea ecosistemelor o reprezintă cerința costisitoare de a organiza echipe mari de lucru, temele de cercetare fiind, în general, individuale.

PROGRAMUL BIOLOGIC INTERNAȚIONAL (IBP)

La mijlocul anilor 60 cercetările asupra ecosistemelor s-au extins în întreaga lume, devenind chiar dominante în cercetarea ecologică. S-au acumulat cunoștințe și teorii care alcătuiau un amalgam mai degrabă neorganizat (un fel de *bricolage* după caracterizarea lui Claude Levi-Strauss). Specialiștii în ecologie sistemică au propus atunci aplicarea teoriei sistemelor în ecologie ca o metodă de organizare a informațiilor despre ecosisteme. Chiar dacă în acel moment tendința nu a fost prea bine înțeleasă ea s-a dezvoltat mai târziu pe două planuri:

- ⇒ abordarea sistemică: modelul ecosistemului se construiește pe baza informațiilor privind componentele sale și a legăturilor dintre aceste componente (promotorii acestei abordări au fost Olson, Patten și Van Dyne, de la Oak Ridge)
- ⇒ ecosistemul ca obiect al cercetării, abordare promovată de Howard Odum la Silver Springs. Se determină intrările (*input*) și ieșirile (*output*) și apoi se analizează componentele în scopul explicării modului în care sistemul convertește intrările în ieșiri

În următorii 10 ani aceste două alternative au fost testate în cadrul unui experiment științific desfășurat mai ales în SUA. Oportunitatea pentru acest test a apărut în cadrul Programului Biologic Internațional. Doar o parte din IBP și anume studiile privind biomurile a fost concentrată asupra studiilor de ecosistem (termenul de *biom* a fost introdus de Frederic Clements pentru a desemna o regiune de mare întindere, caracterizată de o anumită asociație de plante și animale).

Cercetările asupra ecosistemelor în cadrul IBP au fost incluse în tema generală “Fundamentele biologice ale bunăstării populației umane”.

IBP a fost un program complex: în prima fază (1964-1967) s-au pus la punct metodele de studiu pentru multe domenii ale biologiei dar în a doua fază (1967-1974) cercetările privind biomurile au devenit dominante ceea ce a făcut ca numele de IBP să devină sinonim cu studiile biomurilor.

În domeniul biologiei apelor dulci Congresul XV SIL (Societatea Internațională de Limnologie) a demonstrat importanța IBP pentru cercetarea limnologică. Oceanologii

au organizat câteva programe internaționale. Ecologia terestră a elaborat chiar câteva modele de organizare a cercetării de specialitate, ca de exemplu o matrice de studiere a productivității ecosistemelor terestre:

Grup de specii	<i>Tundra</i>	<i>Pădure boreală</i>	<i>Pădure temperată</i>	<i>Pajiște</i>	<i>Pădure tropicală</i>
Vegetație					
Micromamifere					
Mamifere erbivore mari					
Păsări granivore					
Insecte sociale					
Organisme din sol					

În SUA, grupul pentru producția terestră condus de Eugene Odum a fundamentat chiar un nou concept, considerat o nouă știință, **landscape ecology**, cu implicații în tehnica de planificare a folosințelor peisajului (în ecologia sistemică accepțiunea acestui termen ar fi ecologia complexelor de ecosisteme). Acest grup a elaborat obiectivele programului de cercetare a productivității ecosistemelor terestre:

- ⇒ studierea întregului sistem (bazin hidrografic sau complex de ecosisteme) prin eforturile unei echipe
- ⇒ studierea interacțiunilor dintre componente
- ⇒ concentrarea cercetărilor asupra producției primare, structurii trofice, lanțurilor trofice, factorilor limitanți, reciclarea nutrienților, diversitatea specifică
- ⇒ cercetările să nu fie restrânse doar la zone naturale
- ⇒ desfășurarea simultană a cercetărilor de ecologie terestră și acvatică în cadrul bazinului hidrografic
- ⇒ încurajarea metodelor moderne
- ⇒ folosirea tehnicilor de analiză sistemică
- ⇒ constituirea de centre de stocare și distribuire a informațiilor

GENEZA CONCEPTULUI

În 1935 Alfred George TANSLEY (1871-1955), botanist englez, publică articolul intitulat “The use and abuse of vegetational concepts and terms” în care menționează:

Pentru mine, conceptul fundamental este SISTEMUL (în sensul dat de fizică) care include nu numai complexul de organisme dar și complexul de factori fizici care formează ceea ce numim mediul unui biom - adică factorii de habitat în sens larg.

Aceste sisteme sunt unitățile de bază ale naturii. ECOSISTEMELE, numite astfel, sunt de diferite feluri. Ele alcătuiesc o categorie în multitudinea de sisteme fizice ale universului.

Conceptul lui Tansley, născut din studierea asociațiilor vegetale, a identificat un sistem care era:

- un element în ierarhia sistemelor fizice ale universului
- sistemul de bază în ecologie
- compus din organisme și mediul fizic

Înainte de Tansley au existat idei care se apropiau de un concept unitar privind organizarea naturii. Astfel, profesorul de botanică Kerner von Marilaun, de la Universitatea din Viena a întreprins în 1863 o călătorie în bazinul Dunării. Observațiile sale au fost sintetizate într-o lucrare (1897) privind felul în care organismele se organizează în comunități: *...motivul conviețuirii lor nu stă în originea lor comună (ele fiind foarte diferite) ci în natura habitatului...ele au aceleași necesități vitale...de la fiecare apare un avantaj pentru comunitate.*

Se remarcă, din ideile lui von Marilaun, excluderea cooperării și a competiției.

Tot în 1897, Pound și Clements publicau rezultatele folosirii pătratelor de 25 mp pentru stabilirea frecvenței și abundenței plantelor, menționând atât rolul interacțiunilor biotice cât și cel al mediului fizic.

Clements a introdus termenul de **succesiune ecologică** și cel de **climax** care se referea la un organism complex, deosebit de organismele individuale dar având un ciclu ce cuprinde nașterea, creșterea și dezvoltarea.

Studiile lui Tansley și Clements, deși au minimizat rolul biotopului, au deschis calea spre studierea teoriei energiei și reciclării materiei. Clements a folosit chiar metafora comparării asociațiilor vegetale cu comunitatea umană. Tansley a adus argumente împotriva “organismului” lui Clements, considerându-l un concept vitalist, idealist.

Mai târziu, **conceptul de ecosistem** a devenit o paradigmă a ecologiei. Această paradigmă descrie ecosistemul ca o mașină ecologică construită din nivele trofice care sunt legate prin fluxul de energie. Ecosistemele se află în “echilibru” (steady state) atâta timp cât intrările sunt balansate de ieșiri și nu se acumulează biomasă în urma procesului de producție. Dacă totuși are loc acumularea de biomasă, atunci se declanșează succesiunea ecologică, iar ecosistemul se modifică și evoluează până ce ajunge din nou la o stare de tip “steady state”.

Această paradigmă a fost fundamentată de Eugene Odum în cartea “Fundamentals of Ecology” (1959).

Teoria ecosistemului s-a dezvoltat în trei direcții:

1. Conceptele privind structura și funcțiile întregului ecosistem (H. Odum și E. Odum și Ramon Margalef)
2. Conceptele privind fluxul de energie (H. Odum, Slobodkin, Wiegert)
3. Teoria producției organice (ecologii botaniști și limnologi)

Evoluția conceptului de ecosistem în diferite țări

Rusia-URSS

În perioada de formare a conceptului de ecosistem, în Rusia țaristă se înregistra o reacție adversă față de tendințele de industrializare și modernizare care afectau țăranimea și relația acestei clase cu pământul, peisajul natural, pădurea și stepa. Figura cea mai importantă asociată acestui mod de gândire a fost L.N.Tolstoi. Atracția mistică a lui Tolstoi față de țăranime și pământ reflecta o realitate practică. La sfârșitul sec. XIX tradițiile bogate ale agriculturii, silviculturii și managementului pășunilor veneau în contact cu o temeinică cunoaștere a asociațiilor vegetale (fitosociologia). Condiționați probabil de valorile tradiționale ale Rusiei în privința sentimentului comunității, pionierii ecologiei vegetale au considerat natura virgină ca un model de armonie, eficiență și productivitate. Ei spuneau că pentru a pune agricultura pe baze solide era necesară mai

întâi studierea comunităților naturale primare - originea lor, dezvoltarea și transformările spațio-temporale. Această formă de gândire s-a reflectat în reacția unor zoologi și botaniști ruși față de Darwin (Origin of Species) care considerau că în natură speciile se ajută unele pe altele și nu sunt în competiție.

O linie modernă de gândire a caracterizat însă pedologia, geografia și geochimia (geochimia biosferei dezvoltată de Vernadsky). Aceste științe au produs mai târziu geochimia peisajului.

Astfel, în Rusia dinaintea revoluției din 1917 existau condițiile înțelegerii sistemelor naturale. După 1917 a existat o perioadă culturală și științifică favorabilă și chiar Vernadsky, deși nu era un simpatizant al noului regim a fost rechemat din Franța. La Universitatea Smolensk lucra un mare cercetător, Stanchinskii, care era preocupat de problema speciației și apoi de natura comunităților biologice. În concepția sa, organismele determină caracteristicile comunității, dinamica, transformările, fluxul de energie și ciclarea materialelor; el a redus totul la energie și în 1931 a elaborat un model matematic simplu al fluxului de energie într-o comunitate, conținând producători primari și heterotrofe în general. A studiat o zonă de stepă virgină de 500 ha (menținută de un proprietar convins de necesitatea păstrării unor terenuri naturale), situată la grilele Niprului: inventarul insectelor și altor animale în raport cu vegetația, producția primară și secundară. Organismele au fost așezate într-o structură trofică ce respecta legea a II-a a termodinamicii (energia este tot mai puțin disponibilă pe măsură ce ne apropiem de capătul lanțului).

În 1930 au început atacurile politice dirijate de Lîsenko și dinamica trofică a lui Stanchinskii a fost considerată dușmănoasă deși era cât se poate de logică (mai târziu, după 1980, a fost apreciată de ecologii americani). Studiile de trofo-dinamică au putut continua numai în domeniul limnologiei care, nefiind implicată în agricultură nu a atras atenția politicianilor comuniști. Pe de altă parte, au putut continua cercetările în domeniul geochimiei astfel că în 1940, Sukacev, elev al lui Vernadsky, a elaborat o teorie a ecosistemului similară celei a lui Tansley dar propunând termenul de **biogeocenoză** pentru a numi interacțiunile complexe dintre organisme și mediu. El a respins termenul de ecosistem și a definit biogeocenoza drept o combinație de fenomene naturale omogene (atmosfera, stratele minerale, vegetația, animalele, microorganismele, condițiile din sol,

apa) de pe o suprafață anume a Pământului, având un anumit tip de interacțiuni între componente și un anumit tip de schimburi materiale și energetice cu alte fenomene naturale și reprezentând o unitate dialectică în continuă mișcare și dezvoltare.

Evoluția politică și economică ulterioară au făcut ca acest concept să nu fie cunoscut în Vest iar școala rusă să înregistreze o mare pierdere, ideile acestor savanți nefiind folosite în dezvoltarea teoriei moderne a ecosistemului.

Germania

Un grup important de cercetători care a contribuit la fundamentarea teoriei ecosistemului a fost constituit din ecologi germani și din țările vorbitoare de germană (Austria, Elveția, Olanda, Suedia și Danemarca). Este de remarcat, în acest sens, influența benefică a sașilor, via Ungaria, pentru biologia românească.

Interesul pentru studiul ecosistemelor a fost fundamentat filozofic și tehnic: curentele romantice, idealiste și progresive erau un fel de răspuns la tendințele de industrializare și de sprijinire a tradițiilor rurale și a valorilor holiste (la fel ca în Rusia). Chiar în timpul lui Hitler, ministrul agriculturii, Walther Darre era un adept al acestor idei și s-a ajuns chiar la un slogan politic, “sânge și pământ”, cu referire la legătura țăranilor cu pământurile lor. Anumite atitudini sociale și politice care eventual au fost folosite de mișcarea național-socialistă au oferit sprijin ecologilor și limnologilor care aveau o viziune holistică asupra sistemelor naturale. Din această cauză, ca o reacție adversă, unii biologi germani au respins abordarea holistă. Thienemann și echipa lui de la Plon au profitat de situație și au adus contribuții substanțiale la abordarea sistemică a limnologiei.

După cel de al doilea război mondial, puțini ecologi germani s-au mai apropiat de abordarea holistă datorită totalei discreditări a național-socialismului. Overbeck și Sioli au fundamentat limnologia tropicală (Sioli a lucrat mulți ani pe Amazon) și au atras atenția lumii științifice asupra Amazonului tocmai în perioada în care se discuta mai mult despre distrugerea pădurii amazoniene.

În ecologia terestră, germanii, prin geograful Carl Troll, au fundamentat, încă din 1939 *Landscape ecology*, pe baza studierii aerofotogramelor.

Astfel, interesul pentru studierea ecosistemului, deși fundamentat științific, filozofic și cultural a scăzut considerabil după război.

Marea Britanie

Ecologii britanici, spre deosebire de cei ruși și germani, au fost în primele rânduri ale cercetărilor care au fundamentat conceptul de ecosistem, stimulați de cercetările de trofo-dinamică întreprinse de Lindeman și Hutchinson. Mai târziu însă, interesul s-a focalizat pe alte aspecte ale ecologiei : ecologia populațiilor (domeniu în care au obținut rezultate remarcabile), ecologia solului.

Influența socio-culturală

Studiile asupra ecosistemului au fost favorizate în USA datorită fondurilor centralizate și sistemului organizatoric creat pentru rezolvarea problemelor generate de marea criză mondială din anii 30 și de al doilea război mondial. Cercetările s-au bazat pe o fructuoasă tradiție mai ales în domeniul limnologiei și succesiunii ecologice și au fost stimulate de interesul crescut al publicului față de mediu după experiența războiului din Vietnam.

În alte țări lucrurile au mers mult mai lent și greoi. După terminarea IBP, toate țările participante au sistat lucrul, doar USA alocând fonduri pentru continuarea cercetărilor prin Fundația Națională pentru Știință. Urmarea a fost instituționalizarea studiilor ecosistemului în USA, studii care au devenit parte componentă a programelor promovate de comunitatea științifică. Prin aceeași agenție au fost promovate cercetări de lungă durată (*Long Term Ecological Research*).

Capitolul 3

STRUCTURA ECOSISTEMULUI

Structurarea ecosistemelor trebuie înțeleasă pe patru paliere principale:

- relația organisme-factori abiotici, în sens biunivoc, având în vedere, mai ales acțiunea directă sau indirectă a organismelor asupra habitatelor, atmosferei, solului și apei
- repartizarea energiei, atât energia care tranzitează biomasa cât și energia auxiliară; această repartiție structurează biomasa și implicit categoriile trofice
- repartizarea biomasei, ceea ce se reflectă în aspectul modelului cunoscut sub numele de piramidă trofică

- relațiile interspecifice și importanța speciilor (de exemplu, speciile cheie)

De asemenea, este foarte importantă lămurirea și discutarea conceptelor de comunitate și nivel trofic.

3.1. RELAȚIA ORGANISME-FACTORI ABIOTICI

Consecințele ecologice ale repartiției temperaturii în aer, apă și sol

Într-un punct oarecare al planetei, temperatura este determinată de 2 mecanisme:

- bilanțul dintre radiația primită și cea reflectată
- contactul și schimbul de căldură între diferite corpuri

Repartiția spațială a temperaturii depinde de numeroși factori generali și locali. Unii dintre aceștia sunt periodici și astfel efectul bioecologic al temperaturii are trei aspecte: *efectul temperaturii medii, efectul valorilor extreme și efectul periodicității.*

Temperatura atmosferei

Temperatura medie la altitudinea de 0 m este de 13° în emisfera nordică (cu o diferență de 14° între zi și noapte) și de 15° în cea sudică (cu o diferență de 7° între zi și noapte). Deosebirea este dată de repartiția inegală a apelor oceanului și maselor continentale, apa având un remarcabil efect de tampon termic.

Valorile extreme: $+58^{\circ}$ în deșerturile mexicane și libiene și -78° în Siberia (în Antarctica s-au înregistrat $-88,3^{\circ}$ dar aici viața lipsește). Pe altitudine are loc o scădere a temperaturii cu $0,5^{\circ}$ la fiecare 100 m.

Oscilațiile de temperatură, între zi și noapte sau între sezoane: în deșerturi de la $+50$ la 10 ; în regiunile polare, de la $+15$ la -70 .

Microclimatul este dependent de:

- ◆ relief și expoziție
- ◆ vegetație

Temperatura solului

În general, temperatura solului este mai mare decât cea a atmosferei. Suprafața deșertului poate atinge 80° . Variațiile zi-noapte sunt foarte mari. De asemenea, formarea gheții este un factor important care influențează dezvoltarea vegetației.

În sol, propagarea căldurii este foarte lentă: un sol de deșert poate avea 70° la suprafață și doar 25° la 1 m adâncime.

Temperatura în oceane și lacuri

Temperatura de la suprafața apei libere, fără gheață, variază între -2° (temperatura de îngheț a apei oceanice) și $+32^{\circ}$, doar excepțional mai mult. În abisurile oceanice apa se menține sub 0° iar pe fundul lacurilor la $+4^{\circ}$ (ceea ce corespunde densității maxime a apei dulci).

Aceste valori termice ale apei depind de:

- bilanțul radiației solare
- schimburile de căldură cu atmosfera
- conductivitatea moleculară a masei de apă
- turbulențe
- surse locale (ghețuri polare, izvoare hidrotermale)

Stratificarea maselor de apă. Consecințe.

Cu cât diferența termică dintre două mase de apă este mai mare cu atât ele rămân mai separate și se amestecă mai greu în prezența unei turbulențe. Dacă o masă de apă este puternic stratificată ea este stabilă pe verticală; dacă este slab stratificată atunci este instabilă.

Într-un lac, în anotimpurile fără vânturi puternice (vara și iarna) apa este formată din 3 zone: la suprafață, un strat omogen (epilimnion); la mijloc o zonă de gradient termic (*termoclina*); la fund, un strat omogen (hypolimnion). În cazul unor ape cu salinități diferite se poate observa o zonă corespunzătoare termoclinei dar a gradientului de salinitate (*pycnoclina* sau *haloclina* ; gr. *pyknos* = dens). Cercetările recente de oceanografie fizică (înregistrări continui ale temperaturii și salinității, pe verticală) au arătat că masa de apă oceanică este un "foietaj" de strate succesive: picnocline de intensitate variabilă și strate omogene.

Vânturile suficient de puternice modifică stratificarea de suprafață ridicând termoclina spre stratele superficiale: este urmarea mișcărilor turbionare ciclonice sau anticiclonice care antrenează mișcări verticale ale maselor de apă. Un turbion ciclonic este asociat cu o mișcare ascendentă în jurul axei sale iar un turbion anticiclonic cu o mișcare descendentă. Mișcarea pe verticală este compensată de o derivă orizontală a apei de suprafață. "Aspirarea" termoclinei către suprafață are și un efect ecologic foarte important: aici ajung nutrienți minerali din stratele profunde, îmbogățind astfel zona eufotică.

Ajunsă la suprafață, apa rece, bogată în nutrienți, întâlnește apa mai caldă. Astfel are loc fenomenul *upwelling*. Zona are o productivitate biologică foarte mare, din două motive:

1. dezvoltarea intensă a populațiilor fitoplanctonice datorită aportului de nutrienți minerali
2. diviziunea celulară este favorizată de temperatura ridicată a apei de suprafață

Cele două mase de apă care au venit în contact grație energiei auxiliare sunt complementare: una are nutrienți, cealaltă oferă o temperatură favorabilă înmulțirii celulelor vegetale existente aici.

Apele calde de suprafață sunt populate de organisme care aparțin nivelurilor trofice superioare: zooplancton ierbivor, zooplancton carnivor, pești planctonofagi, cefalopode. Lanțul trofic este susținut de o bază alimentată de aceste fenomene de tip *upwelling*. De asemenea, la contactul dintre masa de apă transportată de marii curenți oceanici și apa de suprafață se realizează un efect asemănător, de creștere a productivității biologice. Aceasta se întâmplă mai ales între meandrele curenților și cu precădere în zona unor meandre izolate care formează un fel de lentile de apă superficială îmbogățită cu ape reci. Fenomenul are regularitate ceea ce permite programarea pescuitului industrial în aceste zone productive.

Ciclul sezonier termic al lacurilor.

Clasificarea lacurilor:

- dimictice (două alternanțe, cu îngheț iarna)
- monomictice (o singură alternanță, fără îngheț)
- polimictice (mai multe alternanțe)
- amictice (lacurile tropicale)

Cunoașterea acestei stratificări termice a lacurilor a permis efectuarea unei amenajări artificiale a lacului Tahoe(USA). S-a constatat că lacul era foarte sărac în apele de suprafață (valoare piscicolă redusă) dar că era foarte bogat în materie organică sedimentată. Au fost lansate din elicopter câteva kilograme de crustacee miside (*Mysis relicta*) care efectuează migrații zilnice: coboară la fund și se hrănesc cu materie organică

iar apoi urcă la suprafață devenind hrană disponibilă pentru pești. Astfel, cu ajutorul energiei auxiliare a fost îmbunătățită reciclarea azotului și fosforului.

Răspunsul organismelor la variațiile de temperatură

Efectul se manifestă prin intermediul energiei auxiliare vehiculată în ecosistem:

- factor limitant al răspândirii speciilor
- factor de control

Temperatura influențează viteza de desfășurare a proceselor organice. Organismele se caracterizează prin grade diferite de rezistență termică: puține specii sunt active la temperaturi sub 0° (diatomeele sunt active sub calota de gheață) sau peste 50° datorită atingerii limitelor de deshidratare și de denaturare ireversibilă a proteinelor.

Există două modalități de adaptare:

- reglarea termică a mediului interior (homeostazie fiziologică - energie auxiliară secundară)
- încetinirea ritmului biologic în perioadele nefavorabile

Influența temperaturii asupra repartiției spațio-temporale a speciilor.

Luând în considerație preferința termică și intervalul de toleranță, organismele se pot clasifica în:

- specii *stenoterme*, adică puțin tolerante la variații termice; stenoterme pentru temperaturi joase sau pentru temperaturi ridicate.
- specii *euriterme*, tolerează variații termice mari

Apa în ecosisteme

Apa este cel mai important mijloc de vehiculare a energiei auxiliare.

Câteva din proprietățile fizice ale apei:

- cea mai mare densitate la $+4^{\circ}\text{C}$
- absoarbe aproape în totalitate radiațiile UV
- căldură specifică mare
- căldură de evaporare mare: 540 cal/g
- solubilizează numeroși compuși organici și minerali
- vehiculează materia, în soluție sau suspensie
- vehiculează energie termică și mecanică

Cantitatea actuală de apă a planetei:

- apă lichidă liberă 1.300.000.000 km³ (97% în oceane)
- gheață și zăpadă 33.000.000 km³
- nori și vapori în atmosferă 12.700 km³
- biomasă 2.000 km³ (o milionime din total)

Apa liberă

Substanțele dizolvate. Principalii electroliți

În **apa mărilor** salinitatea este de 35 ‰ (adică 35 g săruri la 1 kg apă) iar densitatea maximă, de 1,026 este atinsă la temperatura de 15°C. Salinitatea variază între 40‰ în Marea Roșie și 10‰ în Marea Baltică. Există 90 de ioni principali, aflați în proporție constantă (*legea lui Dittmar*). Ionii esențiali sunt: clorurile, sulfații, carbonații și bicarbonații de sodiu, calciu, magneziu și potasiu.

În **apa dulce** salinitatea este de 1‰. Compoziția ionică (dpdv calitativ) nu este foarte diferită de cea a apei marine. Ionii de Ca⁺⁺ și Mg⁺⁺ au importanță primordială fiind responsabili de duritatea apei.

Sărurile nutritive (nutrienții)

Cei mai importanți sunt anionii nitrat (NO₃⁻), nitrit (NO₂⁻), fosfații (PO₄H₂⁻, PO₄H⁻, PO₄⁻⁻⁻) și cationul amoniu (NH₄⁺). Valorile acestor nutrienți nu sunt constante, ele reflectând desfășurarea unor fenomene biologice. Având densitatea de 1,1, superioară celei a apei (1,03), nutrienții tind să coboare lent spre fundul apei, determinând o repartitie heterogenă în coloana de apă. *Legea lui Stoke* stabilește că viteza de cădere a unei particule este invers proporțională cu diametrul, vâscozitatea apei și diferența de densitate dintre apă și particulă. La o temperatură normală a apei de suprafață, o particulă cu diametrul de 100 ȳm coboară în sediment cu 1m/oră. Organismele planctonice coboară cu o viteză de 1-100 m/oră.

În timpul scufundării, particulele organice moarte sunt atacate de bacterii. Diametrul lor scade și astfel se reduce și viteza de coborâre (mai ales că apa este mai rece și deci, densitatea ei mai mare). Are loc o acumulare de materie organică în zona termoclinei, importantă deoarece aici se eliberează produșii proceselor de mineralizare. O mare parte a materiei organice trece de picnoclină, mineralizându-se lent și având o fază de tranziție, coloidală. Ceea ce ajunge la fund în stare nemineralizată este consumat

de organismele bentonice sau constituie o masă enormă de rezervă, mai ale de nitrați și fosfați.

Are loc o separare spațială a elementelor materiale și energetice ca urmare a activității biomasei: sărurile nutritive sunt încorporate în zona eufotică până când se epuizează; procesul producției biologice se reia atunci când, datorită energiei auxiliare, nutrienții sunt aduși spre suprafață.

Materia organică dizolvată.

Cea mai mare parte este alcătuită din materie organică fosilizată, acumulată într-un timp îndelungat și devenită nereciclabilă: acizi humici și fulvici proveniți din descompunerea necromasei din soluri.

Unele din aceste particule organice pot fi folosite de bacterii dar și de animale foarte mici (larve planctonice de nevertebrate). Altele au rol de semnal declanșând reacții de atracție sau respingere între indivizi.

Gazele dizolvate.

Oxygenul se află în concentrație de 4-8 mg/l iar CO₂ în concentrații variate.

Conținutul apei în aceste două gaze este reglat de un sistem complex:

- echilibrul cu atmosfera
- echilibrul între carbonații solubili și insolubili
- fotosinteza
- respirația
- descompunerea materiei organice

temperatura	0	10	20	30
apă pură	10 mg O ₂ /l	8	6,4	5,3
apă de mare	8	6,3	5,2	4,4

Cantitatea de CO₂ dizolvat

temp.	0	10	15	20	30
apă dulce	0,52	0,36		0,27	0,20
apă de mare	0,44	0,31	0,275	0,25	0,21

În apa dulce, concentrația CO₂ depinde de temperatură iar în cea marină în special de pH datorită intervenției sistemului tampon.

pH

Apele dulci nu sunt tamponate, suferă fluctuații de pH determinate de fenomene biologice, calitatea substratului mineral, poluarea etc. Un exemplu important al consecințelor chimice ale variației de pH în mediu îl constituie disocierea amoniacului. Azotul amoniacal există în mediu sub două forme: o formă nedisociată și toxică (NH₄OH) și o formă disociată, puțin toxică (NH₄⁺). Raportul dintre ele depinde de pH și temperatură.

Apele marine sunt bine tamponate, păstrând un pH 8-8,3 care poate ajunge rareori la valoarea 9 în cazul unei fotosinteze intense. Reglarea este realizată de sistemul CO₂, format din reacții de disociere a carbonaților și bicarbonaților.

CO₂ atmosferic ⇌ CO₂ + H₂O în apa de mare ⇌ H₂CO₃ Faza I

H₂CO₃ ⇌ HCO₃⁻ + H⁺ ⇌ CO₃²⁻ + 2H⁺ Faza II

Apa în atmosferă

În atmosferă apa se găsește sub formă gazoasă (vapori), lichidă (picături din nori) și solidă (zăpadă și ace de gheață).

Umiditatea aerului.

Umiditatea relativă a aerului este dată de raportul dintre presiunea parțială efectivă a vaporilor de apă și presiunea de saturare la aceeași temperatură.

Ploaia și ceața

Zonele intertropicale sunt cele mai ploioase. Deșertul chilian primește numai 1800 mm ploaie în 10 ani.

Repartiția mondială a deșerturilor este determinată de curenții oceanici reci și vânturile de tip foehn. Multe zone deșertice sunt asociate cu zone de coastă de upwelling: upwelling-ul mauritanian din dreptul deșertului Sahara, upwelling-ul peruan din dreptul deșertului chilian. De asemenea, deșertul Gobi se află lângă masivul Himalaia de pe care coboară vânturile uscate.

Combinatia umiditate-temperatură

Acești doi factori sunt dependenți din punct de vedere fizic (presiunea parțială de saturare depinde de temperatură), chimic (de pildă, acțiunea apei asupra solului este diferită la diferite temperaturi) și biologic (rezistența organismelor la variațiile termice depinde de umiditatea mediului iar rezistența la variațiile de umiditate depinde de temperatură).

Reacția organismelor față de variațiile climatice

Seceta este un factor limitant, din două motive:

- necesitatea de menținere a apei în țesuturi
- producția primară a plantelor terestre implică o circulație a apei la nivelul solului

Considerând umiditatea optimă, în mediul terestru se disting următoarele tipuri de organisme:

- specii stenohidre, adaptate la variații mici de umiditate (xerofilele sunt adaptate la secetă iar higrofilele la exces de umiditate)
- specii eurihigre

Speciile sunt adaptate la un complex de factori care interacționează. Astfel, gărgărița bumbacului are un optim de dezvoltare la 30⁰ și 60% umiditate. Reacția față de scăderea temperaturii este dependentă de umiditate.

Adaptări față de umiditate

În 1934 botanistul Raunkjaer a propus un sistem de clasificare a plantelor pe baza variațiilor morfologice adaptative:

- fanerofite: arbori și arbuști, 25 cm înălțime minimă față de sol (gr. phaneros, clar, evident)
- chamefite: plante lemnoase, 25 cm înălțime medie față de sol (gr. khamai, care se târăște)
- hemicriptofite: la nivelul solului
- geofite: cu bulbi și rizomi subterani
- terofite: plante anuale care rezistă în sezonul neprielnic sub formă de semințe (gr. theros, vară)

Rezultatul diferențelor de temperatură și umiditate pe suprafața globului: repartiția biomurilor

Zonarea latitudinală a marilor biomuri. Se exemplifică cu un transect nord-sud care leagă Europa de Nord și Africa de Sud. Succesiunea peisajelor (ceea ce înseamnă în primul rând vegetația dar și solul, acoperirea cu populații animale, folosințele terenurilor) se întâlnește și pe alte continente dar cu unele deosebiri determinate de raportul uscat/ocean și de dispunerea lanțurilor muntoase.

- a. pădurea ecuatorială, veșnic verde, ombrofilă (gr. ombros, ploaie) care primește peste 1500 mm precipitații anual; umiditatea aerului este foarte mare și permanentă
- b. pădurea tropicală (uscată în comparație cu cea ecuatorială), controlată de alternanța sezonelor umed și uscat; unele specii sunt caducifolii
- c. savana; sahelul este un nume arab dat formațiunii vegetale cu multe specii țepoase (în acest sens, deșertul Kalahari este un sahel ca și pădurea uscată din sudul Madagascarului)
- d. deșertul, cu 200 mm precipitații anual
- e. pădurea sclerofilă, mediteraneeană (formațiune arbustivă numită chapparal, maquis, garrique)
- f. pădurea deciduă, cu două sezoane, cald și rece, ambele destul de umede; este caracteristică Europei de Est și nu apare în emisfera sudică. Spre est, această pădure trece într-o stepă erbacee (savană temperată) formată pe un sol foarte bogat (corespunde preriei nord-americane și pampasului sud-american)
- g. taiga, pădure de conifere cu diversitate redusă, ocupă suprafețe imense din nordul Europei ca și în Siberia și nordul Canadei
- h. tundra, formațiune erbacee slab drenată, cu turbă, bogată în licheni și sfagnete

Disimetrie continentală est-vest

În Europa temperată se observă repartiția pădurilor în vest și a stepelor în est, funcție de regimul de precipitații. În Africa, partea vestică este umedă ceea ce permite existența pădurii ecuatoriale; partea estică, uscată, permite extinderea deșertului spre sud,

în zona ecuatorială. În sudul continentului are loc o inversare datorită curenților oceanici care au o influență puternică asupra continentului (aici, mai îngust): în vest, curentul Benguelei favorizează sahelul iar în est, curentul Agulles favorizează savana.

Zonarea altitudinală

Un transect vertical în Alpii francezi relevă o succesiune de etaje care amintesc de zonarea longitudinală a biomurilor.

La nivelul mării se observă o vegetație sclerofilă mediteraneeană clasică care este apoi continuată până la 1000 m tot de un tip de vegetație arbustivă. Urmează pădurea de foioase. Până aici se întinde zona de cultură (se pot face culturi agricole).

Peste 1600 m se întinde pădurea de conifere, urmată de pajiștile alpine. Aceasta este zona pastorală.

Un transect în zona andină sau Kilimandjaro reflectă o etajare completă, de la pădurea ecuatorială la ghețuri.

Apa în sol

Ecologia factorială distinge în cadrul mediului terestru și în mod special pentru plante, două mari categorii de factori care determină repartiția organismelor: factorii **climatici** și factorii **edafici**.

În sol, apa se găsește sub formă de:

- apă liberă, în crăpăturile solului
- apă interstițială care circulă între granulele de sol și constituie pânza freatică
- apă de imbițiție, adsorbită la suprafața particulelor sau absorbită de corpi higroscopici ca argilele

Rolul apei din sol:

- rol fizic - tampon termic, vehiculează substanțele de la suprafață, reglează mișcarea gazelor (solurile slab drenate sunt anoxice)
- alterarea rocii mamă
- schimburi ionice

Cantitatea de apă din sol variază în funcție de sezon ceea ce determină adaptări ale organismelor. Astfel, la plantele superioare, bilanțul hidric determină un bilanț nutrițional. Animalele din sol migrează pe verticală în raport cu umiditatea dar și cu temperatura iar unele din ele, prin bioturbare, favorizează pătrunderea apei.

Interacțiunea dintre sol și covorul vegetal și bilanțul hidric

Influența covorului vegetal asupra ecologiei solului: covorul vegetal atenuează efectul de lovire al ploii, constituie un rezervor de apă, previne eroziunea solului. Plantele absorb și rețin ape și mențin umiditatea aerului prin transpirație.

Apa în organisme

Conținutul în apă al organismelor variază între 1% în cazul unor semințe și 99 % în cazul unor animale planctonice gelatinoase (meduze, salpe). Plantele terestre conțin între 65 și 80% apă. Într-un ecosistem de prerie care produce 20 t ierburi/ha/an se consumă 2000 t apă: 3 t (0,15%) reprezintă apa din procesul de fotoliză, 15 t intră în alcătuirea țesutului vegetal iar restul formează seva circulantă.

Problema presiunii osmotice în ecosistemele acvatice

Apa pe care o conțin organismele este o soluție complexă de electroliți și molecule organice. Substanțele dizolvate crează o presiune osmotică proporțională cu numărul de molecule dizolvate pe unitate de volum. În celule și în mediul intern al organismelor valorile presiunii osmotice sunt menținute între anumite limite, compatibile cu fiziologia organismului datorită unor mecanisme de reglare de tip homeostatic. Mediul biologic are în general o presiune osmotică diferită de cea a mediului extern: mai mare în apa dulce, mai mică în apa sărată (dar în cazul nevertebratelor marine există un echilibru între presiunea osmotică internă și cea externă marin- *Obs. Originea marină a majorității organismelor; organismele dulcicole trăiesc într-un mediu secundar*). În apele salmastre există variații în privința valorii presiunii osmotice a organismelor (de exemplu la crabii *Uca*).

Animalele marine au aceeași osmolaritate cu a apei în care trăiesc. Ele pot fi *poikilosmotice* și în același timp *stenohaline*, fiind adaptate la variații foarte mici de salinitate sau *homeosmotice* dar și *eurihaline* echilibrându-se rapid la variațiile de salinitate.

Organismele dulcicole trebuie să lupte permanent împotriva apei care are tendința de a pătrunde în țesuturi. Unicelularele elimină permanent apa prin vacuolele pulsatile; unele protozoare o elimină direct prin membrană. În general protozoarele au un turn-over al apei de până la o oră (timpul necesar pentru evacuarea unui volum de apă egal cu volumul celulei). La metazoare osmoreglarea este îndeplinită de celule specializate cum

sunt cele din branhiile peștilor. De asemenea, mărimea ouălor variază în raport cu osmolaritatea mediului: ouăle sunt mai mari în apele dulci.

Problema lipsei de apă în ecosistemele terestre

Vegetația xerofilă se caracterizează prin diferite tipuri de adaptări:

- adaptări morfologice- sisteme radiculare (rădăcini pivotante)
- adaptări anatomo-histologice prin sclerificarea suprafețelor foliare, transformarea frunzelor în spini (dpdv geometric se realizează un compromis între suprafața necesară pentru asimilația clorofiliană și reducerea suprafeței de evaporare)
- adaptări chimice care determină creșterea presiunii osmotice a sevei (datorită unor mucopolizaharide) la cactuși sau euforbii
- adaptări fenologice - adaptarea ciclului sezonier

Adaptări ale animalelor xerofile. Sunt valabile atât pentru specii terestre cât și pentru specii acvatice care trăiesc în submersie temporară (în zona intertidală).

- adaptări anatomo-histologice: impermeabilizarea tegumentelor, micșorarea suprafețelor de contact cu mediul, reducerea ritmului respirator, traheele insectelor, branhiile protejate la crustaceele terestre
- adaptări fiziologice și biochimice: obținerea apei din oxidarea lipidelor, scăderea excreției urinare (de exemplu, în cazul unor gasteropode din genul *Littorina* care trăiesc în zona intertidală s-a observat că speciile care suportă permanent variații ale nivelului apei, rămânând pe uscat în anumite momente, au o concentrație mai mare de acid uric în țesuturi comparativ cu cele care sunt permanent sub apă)
- adaptări etologice
- diapauza

Reglarea osmotica Retenția de ioni este periculoasă pentru organismele terestre și cele acvatice dulcicole. Peștii, care preiau permanent apa prin osmoza, atât prin cavitatea bucală cât și prin branhiile, elimină permanent apă prin urină, reținând ionii de care au nevoie. Animalele terestre caută anumite săruri dacă apa și hrana obișnuită sunt sărace în acele substanțe.

Unele specii de rechini rețin ureea în sange în loc de a o elimina prin urina. Ureea determină astfel o concentrație ionică egală cu aceea a clorurii de sodiu din apa marii ceea ce împiedică pătrunderea apei sărate prin osmoză.

O specie de copepod de mici dimensiuni (*Tigriopus*) trăiește în cavitățile stâncilor litorale spălate de apa marii. Aici, apa rămâne mai mult timp fără a fi improspătată ceea ce determină concentrarea sarurilor prin evaporare. Pentru a trăi în acest mediu foarte sărat, copepodul își mărește concentrația ionică a lichidelor corpului prin sintetizarea unei mari cantități de amino-acizi.

Plantele pierd prin transpirație sute de grame de apă pentru a sintetiza un gram de materie uscată. Cele care trăiesc în medii sărate excreta excesul de sare prin frunze, prin glande specializate (în cazul speciilor de mangrove). Animalele din medii deșertice au capacitatea de a concentra la nivelul rinichilor urina care ajunge astfel de 14-25 ori mai concentrată decât concentrația sărurilor sanguine (de exemplu, la canguri; la om, urina este doar de 4 ori mai concentrată decât sarurile plasmatice).

Eliminarea de azot. Majoritatea carnivorelor preiau prin hrană un exces de azot sub formă de proteine și acizi nucleici. Organismele acvatice produc amoniac ca substanță de dezasimilație și îl elimină rapid; astfel, urina este foarte diluată iar procesul de eliminare are loc și la suprafața corpului. Animalele terestre nu beneficiază însă de o mare cantitate de apă pentru a elimina rapid amoniacul și ele îl “neutralizează” sub forma unor proteine mai puțin toxice decât amoniacul. La mamifere este vorba de uree, aceeași substanță care la rechini este folosită pentru echilibrarea osmotică. Păsările și reptilele terestre elimină azotul sub forma de acid uric care se cristalizează parțial, urina fiind astfel de consistența unei paste.

Temperatura și menținerea apei. Cangurul-șoarece absoarbe toată apa din alimente în intestin astfel că fecalele sunt perfect uscate. Apa eliminată din plămâni în procesul de expirație este de asemenea reținută printr-un mecanism de condensare care are loc în cavitățile nazale.

În general, în medii aride, animalele caută microclimate mai răcoroase iar plantele își reduc activitatea stomatelor. În acest fel se reduce productivitatea în favoarea supraviețuirii.

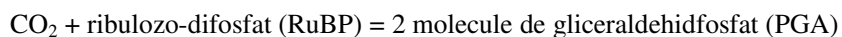
Cangurul șoarece este activ noaptea iar marmota ziua, în funcție de climat.

Cămila are un raport avantajos suprafață/volum și în timpul zilei temperatura corpului poate crește cu 6°C ; excesul este pierdut lent în timpul nopții.

Relațiile apă-plantă. Apa este reținută în porozitățile solului cu o presiune negativă numită potențialul de apă al solului care se exprimă în bari. Când apa se atașează foarte strâns de particulele de sol, cu o presiune de până la -50 barr se numește apă higroscopică. Potențialul de apă trebuie văzut invers față de potențialul osmotic și astfel se notează cu valori negative. Plantele tind să folosească mai întâi apa care are un potențial mai mic, fiind mai ușor de absorbit. În soluri uscate, apa este reținută cu o forță mai mare de -15 b ceea ce face să fie greu de absorbit. Pentru a avea acces la această apă, plantele de deșert își măresc presiunea osmotică la nivelul rădăcinilor, astfel încât aceasta să fie superioară potențialului apei (concentrează în celule amino-acizi, zaharuri dar plătesc un preț metabolic foarte mare!). Frunzele trebuie să aibă un potențial de apă mai mare pentru a atrage apa din rădăcină și acest potențial este cu atât mai mare cu cât evapotranspirația este mai mare.

C₄ și fotosinteza CAM. Plantele adaptate la medii calde și uscate prezintă modificări fiziologice și anatomice care reduc transpirația și schimburile termice. Unele dintre acestea prezintă și mecanisme biochimice de asimilare a carbonului modificate în sensul conservării apei.

Plantele care beneficiază de apă în cantități corespunzătoare asimilează carbonul din CO_2 printr-o reacție numită ciclul Calvin:



Acesta este un compus cu 3 atomi de carbon și acest tip de fotosinteză se numește **C₃**.

Condițiile de realizare a fotosintezei C₃ depind de o enzimă, ribulozo-difosfat-carboxilaza dar această enzimă are o afinitate redusă față de bioxidul de carbon. Astfel, asimilarea carbonului este un proces ineficient raportat la concentrația redusă de CO_2 atmosferic. Pentru a obține eficiența asimilației plantele trebuie să beneficieze de cantități mari din această enzimă, în prezența unei cantități mari de oxigen; dar, în aceste condiții plantele trebuie să respire intens, ținând stomatele deschise cât mai mult timp.

Plantele din medii aride și-au modificat fotosinteza în sensul dezvoltării unui ciclu adițional în asimilarea C și o separare între ciclul inițial de asimilare și ciclul Calvin care are loc în frunze. Astfel,

$\text{CO}_2 + \text{fosfoenolpiruvat (PEP)} = \text{acid oxalacetic (care are 4 atomi de C)}$

Reacția este catalizată de fosfoenolpiruvat-carboxilază care are o mare afinitate pentru bioxidul de carbon. Procesul se desfășoară în celule specializate care se găsesc în nervurile frunzei. Aici, acidul oxalacetic este desfăcut în CO_2 care intra în ciclul Calvin și piruvat (cu 3C). Piruvatul se întoarce în celulele specializate unde o enzimă îl convertește din nou în PEP care reia ciclul de asimilație.

Plantele din familia *Crassulaceae* funcționează cu precădere noaptea, când în zonele aride se face răcoare. Ele asimilează carbonul sub formă de acid oxalacetic și acid malic care sunt depozitați în vacuole; ziua, stomatele se închid iar planta descompune acizii menționați pentru a obține CO_2 care intra în ciclul Calvin.

3.2. ENERGIA ÎN ECOSISTEME

Răspândirea (repartizarea) energiei solare

Toată energia preluată de biosferă este folosită în procesul de fotosinteză astfel încât repartizarea biomasei pe glob reprezintă modelul de răspândire a energiei solare.

Fotosinteza, procesul de reducere chimică (endotermică) utilizează doar o parte din spectrul luminos iar energia fixată se regăsește sub forma legăturilor chimice ale biomasei. Dar și mișcările marilor mase de aer, datorate de asemenea energiei solare, sunt indispensabile vieții. De asemenea, energia utilizată de om este în bună parte de origine solară, fie că este energie acumulată de ierbivore fie că este energie acumulată în combustibilii fosili.

Alte surse de energie:

- energia gravitațională, responsabilă parțial de mișcarea maselor de aer și apă (curenții geostrofici, induși de rotația gravitațională)
- energia rezultată din oxidarea substratului mineral de către bacteriile chemosintetizante
- energia nucleară

Compoziția și utilizarea energiei solare

1. Spectrul vizibil: clorofila absoarbe cu precădere radiațiile albastre și roșii și foarte puțin din cele verzi. Cu ajutorul sateliților a fost realizată cartarea vegetației terestre pe baza *indicii de vegetație*:

$$I_2 - I_1 / I_2 + I_1$$
 în care I_1 reprezintă lungimea de undă absorbită (între 0,3 și 0,7 μm) iar I_2 lungimea de undă reflectată (0,8 - 1,1 μm)
2. UV sunt absorbite aproape în totalitate de stratul de ozon, aflat în stratosferă, la o altitudine de 25 km; radiațiile UV sunt de asemenea absorbite în pelicula de apă și aceasta ar fi o explicație pentru apariția vieții în apă (algele precambriene au eliminat oxigen în atmosferă iar din acesta s-a format stratul protector de ozon)
3. Radiațiile infraroșii, deși nu sunt utilizate în mod direct au un rol ecologic fundamental datorită efectului de încălzire a aerului și apei: apa absoarbe foarte ușor radiațiile IR ca și stratul primilor 10 cm ai solului.
4. Consecințe globale: creșterea temperaturii mediului; evaporarea apei lichide; mișcarea maselor de aer și de apă.

Această energie indispensabilă ecosistemelor dar care nu tranzitează biomasa a fost numită de Margalef **energie auxiliară** (sau energie ecologică).

Energia incidentă urmează câteva căi:

- în atmosferă - reflectată, difuzată prin aer, absorbită, răspândită; radiațiile IR absorbite de diferite particule contribuie la efectul de seră natural, care este benefic pentru dezvoltarea vegetației. Într-un câmp de cereale (vegetație densă) 17% din radiația incidentă este reflectată, 70% este absorbită de țesutul vegetal iar 13% ajunge la sol. Analiza variațiilor sezoniere a energiei radiante la diferite latitudini arată că zonele ecuatoriale, unde nebulozitatea este relativ constantă primesc în medie 300 cal/mp/zi; zonele temperate primesc un maximum în perioada de vară iar cele circumpolare în jur de 100 cal/mp/zi pentru o scurtă perioadă de timp.
- în apă - reflectată, absorbită; transparența apei este dependentă și de cantitatea de particule (minerale, organice sau celule planctonice care pot induce fenomenul de *self-shading*)

Acțiunea biologică a luminii

- randamentul fotosintezei: se absorb 112,3 Kcal/mol ceea ce înseamnă 12 gC (sau 44 g CO₂) absorbite și 32 g O₂ eliberate. S-a constatat că o foarte mică parte din energia solară incidentă este folosită în fotosinteză: 1,75 - 3,5 mW/cm² (din cantitatea de 35 mW care intră în atmosferă), adică, la nivelul solului 17500 - 35000 mW/mp disponibili. Producția brută medie la suprafața Terrei este estimată la 0,35 g C/mp/zi ceea ce se traduce într-un flux de energie de 158 mW/mp. Randamentul global al fotosintezei este de 0,45 - 0,9% (valori rezultate din împărțirea 158 mW la 17500 mW până la 35000 mW). Aceasta este o valoare medie care ține seama și de existența deșerturilor ca și a calotelor polare. Pe de altă parte, se apreciază că vegetația ar putea produce de 100-200 ori mai multă biomasă dar că este adaptată la condiții de penumbră. Se pare că această capacitate a fost atinsă în Carbonifer și Permian când atmosfera era foarte bogată în CO₂. Margalef este de părere că ***principiul conducător al evoluției ecosistemelor este acela al utilizării unei cantități de energie care asigură maximum de organizare permisă de factorii limitanți și nu principiul utilizării unei cantități cât mai mari de energie.***
- răspunsul vegetației la variațiile luminii incidente:
 - adaptarea la intensitatea luminii (intensitatea optimă): specii heliofile și specii sciafile; migrațiile planctonului
 - adaptarea la lungimea de undă

Acțiunea biologică a ritmurilor luminoase

- a. ritmuri sezoniere
- b. ritmuri nictemerale sau circadiene
- c. ritmuri lunare
- d. ritmuri interne

Energia auxiliară

A. Mișcarea fluidelor: formarea de climate și hidroclimate și transportul de materie.

Exemplul fluxului de materie care traversează o plantă simultan cu procesul de fotosinteză: sinteza de substanțe organice necesită un aport de soluție de săruri din sol care trebuie să ajungă la frunze. Transportul are loc datorită forței de sucțiune determinată de evapotranspirație. La o producție vegetală de 20t/ha/an sunt necesare 2000t apă ceea ce înseamnă un coeficient de transpirație cu valoarea 100. Cantitatea de apă pierdută prin transpirație este de 1250 ori mai mare decât cantitatea de carbon fixat (adică producția netă). Dacă considerăm producția brută a fi de două ori producția netă atunci transpirația reprezintă de 625 ori cantitatea de carbon asimilat în fotosinteză, în același timp. Se știe că fotosinteza necesită 112,3 Kcal pentru 12 gC asimilat. În același timp, evaporarea se “traduce” prin valoarea de $12 \times 625 = 7500$ g apă, adică $7500 \times 0,54 = 4050$ Kcal (căldura de evaporare a apei este de 0,54 Kcal/g). Raportul acestor două cantități obținute prin calcul este $112,3/4050 \approx 1/36$. Aceasta înseamnă că *plantele folosesc de 36 ori mai multă energie pentru transpirație (adică pentru tranzitarea apei din sol spre frunze) decât pentru fotosinteză, în același interval de timp*. Margalef apreciază că ecosistemul folosește de 10-25 ori mai multă energie auxiliară decât cea utilizată pentru producția primară. Energia pentru fotosinteză aparține spectrului vizibil în timp ce energia pentru transpirație aparține radiațiilor IR.

Un alt exemplu de transport de materie este cel al ridicării spre suprafață a nutrienților minerali depozitați pe fundul oceanelor sau lacurilor adânci prin intermediul curenților de tip *up-welling*.

Energia auxiliară este o energie de “covarianță” (termen care aparține lui Margalef). Cuvântul covarianță se referă la faptul că într-un ecosistem care este eficient, repartiția elementelor materiale (substanțe) care interacționează coincide în spațiu și timp: acestea variază împreună (covarianță pozitivă în sensul statisticii). Astfel, funcționarea unui ecosistem poate fi încetinită de segregarea în spațiu a elementelor materiale care trebuie să interacționeze:

- sărurile nutritive sunt stocate sub formă de rezerve în sol sau în apele de profunzime, în zona afotică

- oxigenul se epuizează dacă materia organică se oxidează și devine insuficient etc.

Energia auxiliară restabilește contactul între elementele care trebuie să interacționeze prin mișcările fluidelor (aer, apă). Energia auxiliară reprezintă tocmai energia care asigură această circulație și are o importanță mai ales calitativă dar și cantitativă.

B. O energie de covarianță fundamentală în ecologia acvatică: turbulența

Din punct de vedere fizic turbulența corespunde unei degradări a energiei cinetice a fluidului. Fenomenul are o mare importanță în ecologia acvatică, la interfața a două ape cu caracteristici diferite (salinitate și temperatură diferite sau conținutul în săruri nutritive sau cantitatea de plancton etc). Interpătrunderea celor două tipuri de apă este extrem de lentă în regim de calm perfect; în cazul unei mici turbulențe apele se amestecă mai mult sau mai puțin rapid și pe o distanță mai mare sau mai mică în funcție de energia injectată.

La o scară mai redusă turbulența poate fi generată de organisme: sistemele filtratoare ale unor nevertebrate se mișcă activ pentru a atrage particulele de hrană. Un alt caz este cel al organismelor care se aglomerează sub formă de bancuri sau recifi (lamelibranhiate, anelide): rugozitățile suprafețelor creează turbulențe care antrenează particulele de hrană. Fiecare stridie dintr-un banc poate filtra 20 l apă pe oră.

Pentru sistemele acvatice este foarte importantă adâncimea la care se realizează omogenizarea stratelor de apă sub acțiunea vântului.

C. Importanța alternanțelor în timp

Un element esențial pentru dinamica ecosistemului este ritmul de injectare a energiei auxiliare și care se cuplează sau nu cu fenomenele biologice. Productivitatea unei mase de apă este maximă atunci când alternanța de perioade calme și perioade cu vânturi are loc într-un ritm optim. Are loc un fenomen de rezonanță (tuning) între ritmul de injectare a energiei auxiliare și fenomenele biologice. În Golful St. Laurent s-a observat că producția globală este maximă dacă ritmul acesta include 2-3 ore de vânt și 2-3 ore de calm.

Într-un lac sau într-o mare apa este omogenă în stratul de suprafață datorită vântului. Pe de altă parte, fotosinteza determină o producție pozitivă până la adâncimea de compensare acolo unde respirația fitoplanctonului compensează exact producția sa brută (producția este practic nulă). Această adâncime corespunde aproximativ unui nivel

de luminozitate care diferă cu doar 1% față de cel de suprafață. Producția organică a masei de apă depinde de grosimea relativă a stratului de amestec și a stratului clar. Nutrienții aflați în stratele adânci difuzează lent în stratul de suprafață, eufotic, în perioadele de calm și rapid în perioadele de vânt care amestecă masele de apă.

Există trei mecanisme de îmbogățire a apelor de suprafață cu nutrienți:

- upwelling - dacă fenomenul durează câteva luni, zooplanctonul se poate dezvolta suficient pe seama fitoplanctonului oferind la rândul său hrană pentru populațiile de pești
- oscilații pe verticală ale nivelului termoclinei
- mareele

D. Energia auxiliară secundară

Organismele supraviețuiesc asigurând totodată o parte a energiei de covarianță. Energia auxiliară secundară poate fi definită ca acea energie consumată de organisme pentru a-și organiza mediul în care trăiesc.

Energia auxiliară vegetală: o parte a energiei asimilate este folosită pentru “construirea” unui suport neproductiv care asigură contactul cu atmosfera(trunchi, ramuri) sau cu solul (rădăcini).

Energie auxiliară animală: deplasarea activă (care semnifică deplasarea elementelor biogene în același ecosistem sau de la un ecosistem la altul); **bioturbarea** (afânarea, “malaxarea” sedimentelor care determină redistribuția diferitelor elemente, oxigenarea, amestecul particulelor organice cu cele minerale; bioturbarea crează o rețea de galerii și spații cu o *geometrie fractală* care permite circulația apei și oxigenului); la suprafața solului furnicile și termitelile realizează un efect contrar bioturbării, de omogenizare prin concentrarea de elemente fine aduse din adâncime; construcția de tuburi și adăposturi de către animalele sedentare, inclusiv construirea de recifi.

Energie injectată de om în ecosisteme.

Schema generală a unui ecosistem

Fluxul de energie și circuitul nutrienților reprezintă o măsură a contactelor realizate între diferite elemente interactive. Ele sunt intensificate de următoarele tipuri de fenomene:

-“achiziția” de către biomasă a unei geometrii fractale care asigură un contact intim cu mediul

- mișcarea continuă a elementelor (substanțelor) datorată atât mediului fizic cât și organismelor

3.3. BIOMASA ECOSISTEMELOR

Energia de origine solară este stocată temporar în biomasă, sub forma legăturilor chimice endotermice. Aceste legături chimice foarte bogate în energie sunt caracteristice glucidelor și lipidelor dar mai ales "complexului" ATP-ADP-AMP.

Energia captată de producătorii primari este transmisă prin lanțurile trofice fiind disipată în totalitate prin oxidarea moleculelor care au stocat-o. Se poate spune că biomasa constituie o stază de energie (sau mai bine, o fază lentă) din fluxul de transformări termodinamice, de la forma de energie solară până la forma de căldură.

Combustibilii fosili constituie cea mai eficientă formă de stocare a energiei.

În cursul utilizării, o parte din energia conținută în moleculele macroergice este recuperată sub formă de ATP prin intermediul ciclului Krebs, restul fiind degradată definitiv până la căldură.

Fluxul de energie care traversează organisme este un flux deschis și este întotdeauna asociat cu circuitul materiei. Această asociere intimă a celor două procese fundamentale este caracteristică **sistemelor termodinamice disipative**.

Fluxul de energie și circuitul materiei se realizează atât la nivel celular (ciclurile biochimice Krebs, în cazul respirației celulare și Calvin, în cazul fotosintezei) cât și la nivel planetar (ciclurile biogeochimice).

Asocierea flux de energie-circuit de materie nu este caracteristică doar viului ci tuturor sistemelor disipative fizice. Ciclul planetar al apei este determinat în mare măsură de structuri fizice. Pe de altă parte, unele elemente chimice nu pot fi reciclate fără intervenția sistemelor vii: C, O, N, P ca și unele oligoelemente.

O parte din energia fixată prin fotosinteză (**producția brută**) este pierdută foarte repede prin respirație. Din energia asimilată (**producția netă**) o parte este folosită pentru întreținerea biomasei, o parte este ingerată de ierbivore iar o altă parte (**necromasa**) intră în procesul de mineralizare. Necromasa poate urma două căi:

- este folosită în lanțurile trofice detritivore
- este folosită de descompunători

De reținut: fluxul de energie este legat funcțional de circuitul elementelor.

Biomasa

Termenul de biomasă desemnează materia vie dar se aplică și materiei organice moarte ca și celei fosile (biomasa fosilă). Pentru eliminarea ambiguității a fost introdus termenul de necromasă pentru materia organică moartă (se mai folosește și termenul de sapromasă). În practică este greu de deosebit materia organică moartă de cea vie deoarece cea moartă este imediat atacată de bacterii și ciuperci microscopice formându-se un tot unitar.

Compoziția biomasei

Biomasa este formată din proteine, lipide și glucide care se mențin într-un mediu bogat în apă, echilibrat din punct de vedere fizic (presiune osmotică) și chimic (pH, compoziție ionică). Există câteva formule care aproximează compoziția globală a materiei vii.

Zootehnicienii folosesc formula

$C_{148} H_{296} O_{146} N_{16} P_{1,3} S_1$ Carbonul constituie 24,3% din biomasă exprimată în atomi-gram și 37,5% exprimată în masă.

Oceanografii folosesc formula lui Redfield:

$C_{106} H_{263} O_{110} N_{16} P_1$ Carbonul constituie 21,4% din biomasă exprimată în atomi-gram și 35,8% exprimată în masă.

Măsurarea biomasei

În principiu, biomasa este o cantitate de materie vie măsurată în unități de substanță umedă. De asemenea, biomasa se poate exprima în:

- greutate uscată
- număr de indivizi
- biovolum

Exprimarea funcțională a biomasei se raportează la valoarea sa alimentară (conținut energetic):

- conținutul în carbon și azot
- conținutul caloric
- cantitatea de clorofilă
- conținutul în ATP,ADP,AMP

Valorile obținute se raportează la:

- suprafața sau volumul biotopului
- o specie sau mai multe specii dintr-un volum delimitat de biotop
- o populație sau o cohortă

Distribuția și repartiția biomasei

Aprecierea se face în funcție de specie, regiune sau tipul de ecosistem iar distribuția poate fi:

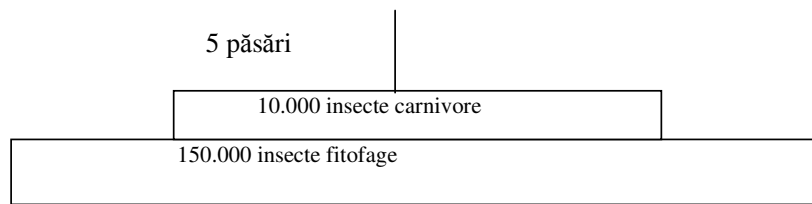
- spațială (chorologică-din gr. *choros*, loc, regiune): geografică, altitudinală, pe adâncime, în funcție de stratele de vegetație terestră
- temporală (fenologică-din gr. *phaino*, a apărea) sau sezonieră
- statistică, pe nivele trofice, clase de mărime, clase de vârstă

Determinarea biomasei totale dintr-o zonă este practic imposibilă datorită dificultăților de eșantionaj (probare): astfel, se vorbește de bionasa arborilor, biomasa peștilor, biomasa vegetală subterană, biomasa vertebratelor etc.

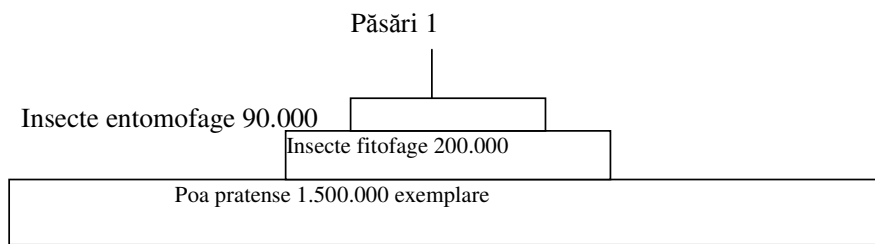
Distribuția biomasei pe nivele trofice

Descrierea se bazează pe modelul **piramidei trofice**.

- a) piramida numerelor este cea mai cunoscută din literatură ecologică; se dă exemplul leului care are nevoie de 50 zebre sau antilope gnu sau al vulpii care are nevoie de 30 șoareci pe zi sau 10.000 pe an. Totuși, este dificil de comparat efectivele unor specii care au talii foarte diferite. Într-o pădure se estimează 150.000 insecte fitofage/ha, 10.000 insecte carnivore și 5 păsări.



Piramida trofică dintr-o prerie cu *Poa pratensis*



b) Piramida biomaselor (g substanță uscată/mp)

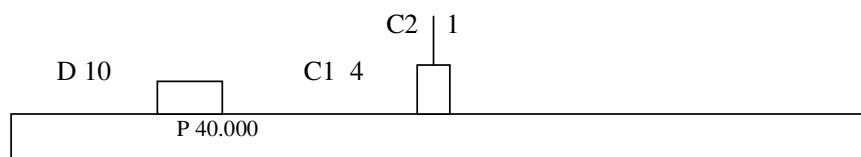
Câmp abandonat:

C2 aranee, insecte, mamifere 0,01

C1 Insecte, rozătoare, păsări 0,06

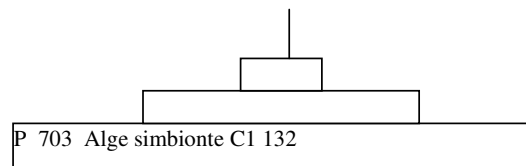
P diverse ierburi 470

Pădure tropicală:



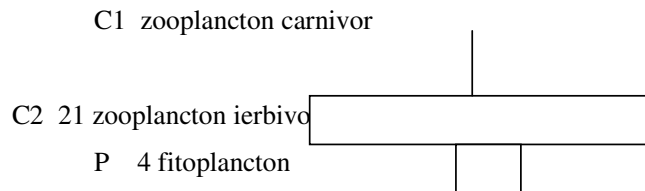
Recif de corali:

C3 1



C2 11

Plancton marin:

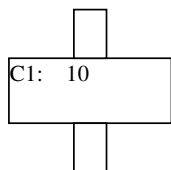


Este o piramidă inversată, biomasa producătorilor primari fiind inferioară celei a consumatorilor: fitoplanctonul se reproduce foarte repede dar este la fel de repede consumat în același interval de timp.

Plancton dulcicol:

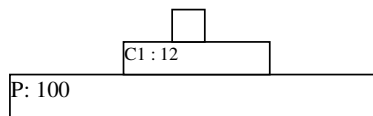
C2: 3

C2: 6



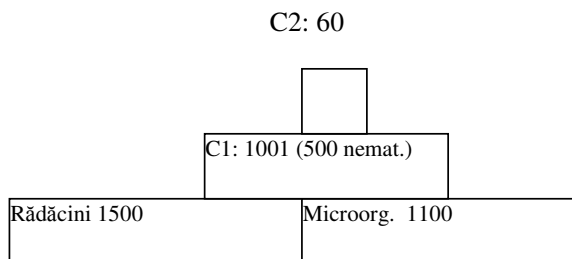
P: 2

iarnă



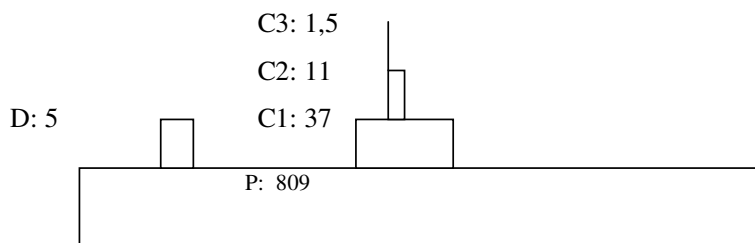
vară

Sol de prerie:



Microorganismele (bacterii și ciuperci microscopice) sunt prezente în sol în cantitate de 1,1 kg/mp, adică 11 t/ha.

- c) Piramida energiei (a nu se confunda cu piramida fluxului de energie: este o exprimare a energiei stocată în biomasă) dintr-un râu:



Valorile sunt date în kcal (stocate în biomasă)/ mp

Ordinul de mărime al biomasei și necromasei în diferite ecosisteme

Pădure europeană (valori de biomasă umedă):

Biomasă vegetală 400 t/ha

Biomasa nevertebratelor: peste 100 kg/ha, repartizată astfel

artropode aeriene 10 (fitofage 8, carnivore 2)

nevertebrate din litieră 40

lumbricide 50

alte nevertebrate din sol 8

Biomasa vertebratelor: 10 kg/ha, din care

mamifere 7,4

păsări 1,3

reptile 1,7

Biomasa animalelor aeriene este net inferioară biomasei animalelor din sol. Un sol cultivat poate conține 0,25-1,25 t lumbricide/ha iar un sol de prerie 0,8-1 t/ha dar și 1-7 t bacterii/ha, adică 6-42.000.000 celule/gram de sol.

Vegetația planetei(t/ha; producția netă în t/ha/an)

Biom	Biomasă	Necromasă în sol	Producție netă
Tundra arctică	5	3,5	1
Taiga arctică nord	100	30	
Taiga arctică sud	330	35	7
Pădure foioase	400	15	9
Prerie, stepă	25	12	14
Stepă aridă	40	1,5	4
Semi-deșert	1,6	0	0,6
Savană ierboasă	2,7	5	7
Păd. tropicală	410	10	25
Păd.ecuatorială	600	2	33
Cultură agricolă	4-100	6,6 în medie	80 trestia de zahăr

Ecosistemele acvatice și zonele umede au mai multă biomasă animală decât ecosistemele terestre uscate.

Bentosul marin atinge, în zone bogate, valori ale biomasei de 40-80 t/kmp (cam cât o prerie). În Antarctica, una din cele mai bogate zone oceanice, bentosul ajunge la 1350 t/kmp. Mediterana nu are mai mult de 10 t/kmp.

Fitoplanctonul atinge valori de ordinul a câtorva tone substanță umedă per hectar de suprafață marină dar în zonele bogate în nutrienți. În cazul zooplanctonului, cele mai mari valori le înregistrează crustaceele eufauziacee, câteva kilograme per m³, ele constituind hrana balenelor.

Repartiția verticală a biomasei

- A) În mări, biomasa vegetală este concentrată la suprafață. Organismele zooplanctonice întreprind migrații de zi și de noapte.
- B) Stratele de vegetație terestră-exemplu pentru o pădure de foioase (kg substanță umedă la hectar)

frunzele arborilor	3.500
ramurile și crengile arborilor	58.300
trunchiurile arborilor	180.200
muguri	18.000
stratul erbaceu, partea aeriană	700
Total părți aeriene	260.700
stratul erbaceu, partea subterană	1.100
rădăcini arbori și arbuști	54.300
Total părți subterane	55.400

Total 316 tone/ha; necromasa nu se poate separa de biomasa din sol.

3.4. INTERACȚIUNI BIOTICE.

Biomasa existentă într-un ecosistem este diversificată și cuprinde numeroase specii (populații) diferite prin mărime sau cerințe biologice. Toate acestea interacționează și totodată stabilesc relații cu mediul abiotic.

Acțiunea organismelor asupra mediului fizico-chimic

Acțiunea asupra luminii disponibile.

Organismele care interceptează primele lumina solară, datorită poziției lor în spațiu, le umbresc pe cele aflate dedesubtul lor. Astfel, speciile *sciafile*, iubitoare de umbră, se dezvoltă întotdeauna sub cele *heliofile*, iubitoare de lumină: această stratificare este proprie nu numai ecosistemului de pădure dar și recifului de corali.

Multe plante acvatice au pe suprafața lor o peliculă fină de diatomee și alte alge, *perifitonul*, (însoțit de organismele consumatoare și alcătuind așa numita *faună fitofilă*) care pot inhiba fotosinteza plantei-suport. Competiția pentru lumină se manifestă și între *microfitele* planctonice și *macrofite*; sub frunzele de nufăr apa este limpede din cauza

lipsei fitoplanctonului. Fitoplanctonul, la rândul său, manifestă efectul de auto-umbrire (*self-shading*).

Efectul de seră

Datorită stratului compact de vegetație, o parte din căldură nu se pierde repede în atmosferă mărind temperatura în interiorul volumului determinat de plante.

S-ar părea că o creștere puternică a activității fotosintetizante, favorizată de efectul de seră, poate duce la scăderea concentrației de CO₂ atmosferic; mecanismul de feed-back determină astfel reducerea activității fotosintetizante și implicit scăderea efectului de seră ceea ce are drept consecință răcirea aerului. Aceasta este și una din cele mai recente explicații dată pentru existența perioadelor glaciare.

Mișcarea și amestecarea substratului

- sporirea turbulenței apei prin mișcarea organelor filtratoare sau creșterea rugozității substratului prin formarea de aglomerări de organisme

- bioturbarea solului și sedimentelor care are drept rezultate afânarea mecanică, oxigenarea straturilor profunde, redistribuirea materiei organice, aducerea la suprafață a particulelor minerale, neutralizarea pH

Fixarea și consolidarea solului și sedimentelor

Organismele contribuie la stabilizarea și fixarea substratelor moi, instabile. Sedimentele marine măloase sunt populate de polichete tubicole: în timp, tuburile calcaroase ori cornoase formează o rețea densă. Această structură determină: aglomerarea mănunchiurilor de organe filtratoare care amplifică curentul de apă și sporesc viteza de sedimentare a particulelor aflate în suspensie; particulele fine, capturare de organele filtratoare sunt ingerate de animal și resturile eliminate îmbogățesc sedimentul în materie organică; tuburile consolidează sedimentul și reduc eroziunea determinată de mișcarea apei.

În lungul zonelor litorale și a estuarelor, formațiunile vegetale(Salsolaceele în regiunile temperate și mangrovele în regiunile tropicale) au un rol determinant în consolidarea malurilor prin dezvoltarea sistemelor radiculare.

În mediul terestru, dunele de nisip sunt fixate de vegetația specializată, aceasta asigurând totodată îmbogățirea substratului în materie organică.

Interacțiunea aerodinamică vânt-vegetație

Turbulența creată prin lovirea masei de aer de crengile și ramurile coronamentului favorizează schimburile gazoase. În același timp, vegetația de tip tufăriș protejează solul împotriva eroziunii eoliene.

Microclimatul

Microclimatul este definit în raport cu un sector de mic dimensiuni, în comparație cu climatul regional (mesoclimat) sau climatul general și este legat de influența directă a vegetației.

Exemple: microclimatul forestier este mai temperat, mai tamponat față de climatul exterior pădurii, deci menține o variație mai redusă a valorilor factorilor fizico-chimici.

Acțiunea vegetației asupra climatului regional

Se știe că precipitațiile sunt mai bogate în zonele împădurite, cu până la 100 mm față de cele de stepă. În pădurea tropicală se observă un ciclu circadian evaporare/precipitare: transpirația foliară intensă produce mari cantități de vapori care se condensează sub forma unor nori cumulonimbus, extinși pe verticală. Seara, răcirea aerului determină ploaia. Dimineața, apa care a îmbibat solul este disponibilă pentru un nou ciclu de evaporare/transpirație.

Repartiția materiei organice

- mișcările biomasei și necromasei
- producția de regenerare, favorizată de dezvoltarea deosebită a biomasei în zonele de upwelling
- asocierea lanțuri trofice-migrații: depunere de pelete fecale
- migrații pentru consum de necromasă

Transferul de materie organică este un fenomen foarte răspândit ceea ce face ca *sintezele și descompunerea materiei vii să fie în general separate spațial*. Dispersia spațială a materiei organice sintetizată are o mare importanță pentru ecosistem deoarece condițiile create prin descompunerea unei mari cantități din această materie sunt nefavorabile pentru menținerea unui număr mare de organisme, producători și consumatori. Din această cauză, eutrofizarea apelor dulci este urmată de scăderea diversității. Ecosistemele nu suportă acumulări prea mari de biomasă, aceasta trebuie să fie permanent exploatată în lanțurile și rețelele trofice sau *exportată*. Exportul permanent de biomasă devine astfel o

necesitate pentru menținerea echilibrului dinamic al sistemului și o parte importantă a activității organismelor este dirijată spre acest export.

Un caz extrem de control al mediului fizico-chimic de către organisme: solul

- degradarea rocii mamă
- incorporarea materiei organice: fragmentarea și înglobarea literei, înglobarea cadavrelor și excrementelor, tranzitul intestinal al lumbricidelor, acțiuni enzimatic
- formarea humusului
- evoluția cuplată sol-vegetație

Relații interspecifice

Interacțiuni trofice

- * diferite tipuri de regim alimentar: producători primari fotosintetiz
- chemosintetiz
- consumatori; descompun
- (în sens de mineralizatori)
- * specificitate alimentară, de diferite grade
 - ⇒ filtrarea, în mediul acvatic care înseamnă un spectru trofic foarte larg (spongieri, celenterate, anelide sedentare, scoici, crustacee, larve de insecte acvatice, tunicate planctonice-salpe-care au faringe filtrtor sau secretă o membrană gelatinoasă filtrantă)
 - ⇒ consumul unei singure specii: koala consumă exclusiv frunze de eucalipt iar marele panda numai frunze de bambus; insectele carnivore consumă puține specii pradă
 - ⇒ specificitatea parazitului pentru gazdă
- * simbiozele trofice
 - ⇒ protozoarele din tubul digestiv al animalelor erbivore sau detritivore: flagelate în ampula rectală a termitelor, ciliate în tractul digestiv al rumeătoarelor
 - ⇒ rizosfera: bacterii libere, bacterii simbiote fixatoare de azot, ciuperci libere sau simbiote
 - ⇒ bacterii sulfuroase simbiote în nevertebrate marine (permițând acestora viața în medii practic anoxice) din zona izvoarelor

hidrotermale: în *Riftia* (Vestimentifera), *Calyptogenia* (Lamellibranchia).

Alte tipuri de relații interspecifice

Forezia. Un organism servește drept suport pentru un alt organism: plantele epifite, spongierii și briozoarele fixate pe moluște, perifitonul de pe macrofitele acvatice.

Transportul de elemente reproducătoare sau de organisme aflate în diapauză.

Polenizarea de către insecte, zoochoria (transportul semințelor de către animale), anemochoria (transportul efectuat de vânt), transportul de spori sau de ouă

Interacțiuni mediate de substanțe semnal (oligodinamice) (feromoni):

- ⇒ inhibiția mutuală a unor plante (amensalism) prin secreția de fenoli
- ⇒ facilitarea reciprocă: unele plante excretă chelați care solubilizează metalele din sol îmbogățind mediul în oligoelemente de care profită și alte plante
- ⇒ pregătirea bacteriană și microalgă a suporturilor din mediul acvatic: este un fenomen fundamental în ecologia bentală și privește fixarea de un substrat dur a larvelor planctonice de nevertebrate și a sporilor de alge. Aceasta este posibilă datorită colonizării prealabile a substratului cu o peliculă fină de bacterii ce favorizează fixarea atât mecanică dar și prin intermediul unor feromoni specifici (**ecomoni**) atractivi (un amestec de mucopolizaharide, proteine, acizi nucleici, vitamina B₁₂)
- ⇒ prezența, în mediul terestru, a substanțelor de creștere, produse de bacterii și ciuperci (gibereline, vitamine, acizi aminați)
- ⇒ substanțe antibiotice și bacteriostatice produse de ciuperci

Acest sistem complex de interacțiuni este puternic afectat de poluare. Prin fenomenul de **antropizare**, omul a modificat ecosistemele naturale din care extrage materie vie; sistemele artificiale (orașele) nu pot produce materie vie, în schimb acestea produc **informație**. Transformarea ecosistemelor naturale este profundă mai ales că sistemele forestiere, *mai ales marile păduri tropicale, n-au hrănit niciodată omul*. Acesta le-a defrișat pentru a-și crea suprafețele necesare constituirii agrosistemelor.

Speciile cheie (Keystone Species)

Acest termen a fost utilizat pentru prima dată de Paine (1966, 1969) pentru speciile predatoare din comunitățile marine. Definiție:

Speciile cheie sunt acelea a căror activitate și abundență determină integritatea comunității și o mențin neschimbată în timp (ceea ce înseamnă că îi asigură stabilitatea). Eliminarea experimentală a unei specii cheie poate avea ca rezultat dispariția altor specii și înlocuirea lor cu altele. Aceste schimbări se pot datora atât efectului direct al speciilor cheie asupra altor specii (de exemplu speciile pradă) cât și efectelor indirecte cum ar fi excluderea competitivă determinată de o specie care în mod normal este controlată de predatorul sau.

Speciile cheie pot fi rare sau comune, generaliste sau specializate în privința hranei și nu trebuie neapărat să aibă o importanță deosebită în transferul de energie. După Paine (1969) existența speciilor cheie contrazice ideea legăturii dintre complexitatea ecologică și stabilitate. Un posibil exemplu ar fi decimarea comunității complexe a Marii Bariere de Corali de către *Acanthaster planci* care era controlată de melcul *Charonia*. Acesta a fost colectat excesiv de colecționari.

Clasificarea speciilor cheie

Tip	Modul primar de acțiune	Exemple
Predatori	Suprimă competitorii	Elefanți, șoareci mixomatoze, musca tze-tze
Ierbivore	Suprimă competitorii	
Patogeni, paraziți	Suprimă predatorii, ierbivorii, competitorii	

Competitori	Suprimă competitorii	1. succesiunea arborilor într-o pădure 2. buruieni care exclud speciile longevive
Specii mutualiste	Reproducere	1. Plante (resurse) de care depind 2. Polenizatori 3. Speciile care ajută răspândirea acestora
Specii sapatoare	Modificări fizice	Iepuri de vizuină, termite
Procesori de sistem	Rata de reciclare a nutrienților	1. Fixatori de azot 2. Micorize 3. Descompunatori
Agenți abiotici	Perturbări fizice care determină mai ales mortalitate	4. Foc, înghet 5. Plante care modifică regimul focului (incendiilor)

Specii cheie predatoare

Otariile din Pacificul de Nord se hrănesc cu arici de mare care, la rândul lor, mănâncă alge ca *Laminaria* și *Agarum*. În absența otariilor, aricii de mare devin abundenți și pasc o cantitate foarte mare de alge (inclusiv speciile mărunte asociate algelor). Abundența relativă a algelor laminarii depinde de pășunatul selectiv al aricilor de mare care evită speciile bine apărate și care cresc încet (*Agarum*). Abundența aricilor de mare depinde de adâncimea la care se pot scufunda otariile.

În marile parcuri naturale africane mamiferele carnivore funcționează ca predatoare cheie reducând competiția între speciile pradă. Această idee nu este încă testată dar se cunoaște faptul că rangerii izolează uneori antilopele impala în mici rezervații, ferite de predatori, în scopul de a reduce competiția la pășunat cu speciile mai puțin numeroase.

Unul din cele mai bune exemple de predatori cheie este cel al rozătoarelor consumatoare de semințe din deșerturile nord-americe (Obs. Relația plantă-ierbivor este similară celei de tip pradă-prădător). Rozătoarele consumă mai ales plante cu semințe mari, ceea ce determină reducerea competiției dintre acestea și plantele cu semințe mici; în acest fel este influențată în mod direct componența comunității de plante și indirect densitatea furnicilor și păsărilor. Dacă sunt eliminate 3 specii de șoareci-cangur (genul *Dipodomys*) dar exact aceste 3 specii și nu altele dintre rozătoarele existente, are loc transformarea tufărișurilor de deșert în câmpie ierboasă într-un interval de 12 ani.

În padurile neotropice, rozătoarele mari, *agouti*, *paca* și *couti* se hrănesc selectiv, preferând arborii cu semințe mari. Pumele și jaguarii controlează aceste rozătoare și copacii cu semințe mari par a fi favorizați. Eliminarea carnivorelor duce la modificarea compoziției pădurii în favoarea arborilor cu semințe mici, totodată fiind afectați și alți membri ai comunității.

Ierbivore cheie

Elefanții africani sunt răspunzători pentru modificările spectaculoase în structura vegetației și adesea, acțiunea lor se cuplează cu cea a focului din savană. Există chiar părerea că dispariția mega-ierbivorelor (peste 1000 kg) la sfârșitul pleistocenului poate explica reducerea drastică a diversității mamiferelor din America și Europa. În acest sens se argumentează că elefanții transformă pădurea în savană deschisă iar rinocerii albi și hipopotamii transformă zonele cu ierburi înalte în zone cu ierburi scunde, cu valoare nutritivă mai mare. Eliminarea prin vânătoare a acestor mamifere mari la sfârșitul pleistocenului a dus la transformarea mozaicului de zone cu plante lemnoase și ierburi în păduri și ierburi înalte, mai puțin productive. Pierderea mozaicului de habitate a determinat și dispariția multor ierbivore mici dependente de mozaicul spațial și de o vegetație mai bogată în nutrienți. Colapsul diversității mamiferelor la finele pleistocenului nu este explicabil nici prin modificările climatice și nici prin acțiunea directă a omului asupra tuturor speciilor dispărute (nu-i puteau vâna pe toți).

Patogeni cheie

Musca tse-tse influențează comportamentul mamiferelor mari: elefanții evitau anumite păduri din Zimbabwe datorită abundenței de muște iar după stârpirea acestora cu

insecticide pulverizate elefanții au distrus pădurea în câțiva ani transformând-o într-o savană.

Competitori cheie

- a. într-o fază finală a succesiunii comunitatea este dominată de una sau câteva specii de copaci de dimensiuni mari, longevive, însoțite de câteva specii care pot trăi în umbra produsă de coronamentul acestora
- b. excluderea copacilor longevivi prin mecanismul de concurare a semințelor acestora de către semințele buruienilor; în vestul SUA, ierburi europene introduse au eliminat nu numai ierburile locale dar și tufărișurile.

Se poate afirma că transformarea vegetației mezozoice dominată de gimnosperme și pteridofite a fost determinată de invazia în Cretacic a unor specii cheie de tip buruiănă-angiospermele.

Mutualiști-cheie

Există multe plante care asigură un suport pentru o comunitate de alte plante și animale. Coronamentul de *Casearia* oferă hrană unor specii frugivore timp de cel puțin 6 săptămâni pe an. Disparația acestei specii duce la dispariția speciilor de păsări dependente de aceasta și implicit a plantelor a căror răspândire o asigură păsările.

Se presupune că înfloririle succesive ale speciilor de *Helicornia* reflectă importanța acestora pentru mai multe păsări nectarivore. În zona mediteraneană există câteva specii foarte bogate în nectar și polen care atrag numeroși polenizatori, în acest fel asigurând și existența altor specii mai sărace în asemenea atractanți.

Polenizatorii și speciile care asigură dispersia altora pot funcționa de asemenea ca mutualiști cheie. Există plante a căror răspândire este asigurată de furnici. Dacă furnicile native sunt eliminate și înlocuite de o furnică invadatoare, aceasta din urmă nu va asigura răspândirea semințelor plantei: furnicile consumă partea uleioasă a seminței după ce s-au deplasat la suprafața solului, spre deosebire de cele native care făceau acest lucru chiar în sol.

Deși polenizatorii sunt considerați adesea specii cheie, s-a constatat că numai unele dintre acestea merită cu adevărat acest calificativ. Disparația unor păsări cu rol polenizator nu a afectat plantele, funcția de polenizare fiind preluată de niște coleoptere.

Dependența strictă față de un polenizator a fost observată în cazul fluturului *Meneris* care are o predilecție clară pentru florile roșii.

Procesorii de sistem

Sunt specii implicate profund în reciclarea nutrienților și descompunerea litierei. Introducerea unei specii de arbust, *Myrica faya*, fixatoare de azot, într-o zonă afectată de lavă vulcanică, în Hawaii, a determinat modificări profunde ale zonei.

Un alt exemplu se referă la descompunerea litierei, proces dependent doar de câteva specii de nevertebrate mari (care pot fi considerate specii cheie). În insula subantarctică Marion, larvele unui fluture transformă aproximativ 1,5 kg litieră /m²/an. Introducerea șoarecelui de casă pe insulă a determinat o reducere a *turn-over*-ului anual al litierei la jumătate deoarece șoarecii consumă larvele de fluture.

Procese abiotice: focul, înghețul local

Unele specii pot modifica aceste procese abiotice: introducerea unor ierburi pentru a stabiliza solul afectat de arderea chapparal-ului (tufărișuri țepoase din zonă mediteraneeană), a favorizat ulterior incendiile naturale care au tulburat profund starea zonei.

Identificarea speciilor cheie

Se bazează pe câteva reguli care formează un protocol general:

- a. identificarea capacității competitive a speciilor longevive prin analizarea efectelor produse de speciile vecine
- b. dacă aceste specii nu sunt dominante în comunitate, atunci se identifică agentul care le împiedică să fie dominante
- c. în acest sens pot fi mai multe posibilități:
 - accesibilitatea spațiului pentru instalarea juvenililor
 - capacitatea de răspândire a propagulelor
 - capacitatea de rezistență la boli și față de ierbivori.

Exemplu: porcii spinoși din savana cu tufișuri din Africa de sud

Acolo elefanții au dispărut de mai bine un secol. S-a observat că numai două specii de arbuști puteau să crească la umbră, dar că ele nu erau dominante. De asemenea, s-a observat că porcii spinoși preferă în hrana lor aceste două specii: acțiunea lor directă se combina cu cea a focului, în acest fel menținându-se un mozaic de habitate.

Câte specii sunt necesare pentru funcționarea unui ecosistem?

Unul din elementele cheie în definirea unui ecosistem este extinderea sa spațială. Un exemplu ar fi ecosistemul caracterizat de un grup de specii, vizibile deasupra solului și invizibile dedesubt, care interacționează vertical și orizontal astfel încât ecosistemul își dezvoltă niște proprietăți endogene (adică niște caracteristici proprii). Se consideră că pe o suprafață dată poate exista un singur ecosistem.

In acest fel se pare că ideea unui ecosistem de mici dimensiuni este eronată mai ales că orice ecosistem are nevoie de spațiu pentru a-și manifesta caracteristicile proprii.

Organizarea verticală a microclimatului unui ecosistem derivă din tranferul de energie care are loc între specii, atât pe orizontală cât și pe verticală.

Pe de altă parte este greu de stabilit mărimea maximă a unui ecosistem. De exemplu, un biom ar putea fi considerat ca un singur ecosistem. Astfel, pădurea boreală (ca biom) este circumpolară și uniformitatea ei este evidentă din Siberia (larița) până în Canada (brad). Totuși, larița (cu acele ei căzătoare) determină anumite proprietăți ale procesului de reciclare a nutrienților, microclimatului și balanței hidrice ceea ce face ca zona de lariță să fie considerată a fi un ecosistem înrudit dar separat spațial de cel al zonei cu brazi.

Diferențierea valorii speciilor pentru funcționarea unui ecosistem

Un exemplu practic în acest sens este dat de două tipuri de ecosisteme din Antarctica, formate în special din briofite. Primul, cu aspect de iarbă înaltă, este dominat de două specii de mușchi, *Polytrichum alpestre* și *Chorisodontium aciphyllum*. Apa necesară este luată direct din precipitații. Al doilea tip, cu aspect de covor, este dominat de trei specii de mușchi, *Calliergon sarmentosum*, *Calliergidium austrostramineum*, *Drepanocladus uncinatus*. Apa necesară provine din topirea gheții și curgerea apei. Între aceste două ecosisteme există mari asemănări în privința numărului total de specii (vegetale și animale) și a numărului de tipuri funcționale iar producția primară atinge pentru ambele ecosisteme valori de 400 g / mp. Dar există și niște diferențe semnificative. Acumularea anuală de materie organică moartă este mai mare în locurile mai umede. Stratul de turbă atinge 2 m grosime sub *tipul iarbă înaltă* dar numai 20 cm sub *tipul covor de mușchi*. Diferențele dintre acumularea de materie organică moartă și acumularea

de turbă sunt determinate de diferențele în privința ratelor de descompunere a speciilor de briofite dominante. Astfel, rata de descompunere în sistemul iarbă înaltă este de 2% / an iar în sistemul covor de mușchi este de 14-25%/an.

Diversitatea speciilor si stabilitatea ecosistemului

Încă din 1958 Elton a susținut ideea că ecosistemele mai bogate în specii sunt mai rezistente la invaziile unor dăunători decât cele mai sărace în specii. Mai târziu, diverse modele matematice au arătat că sistemele cu o diversitate specifică mare sunt mai instabile. Totuși, teoria lui Elton, împreună cu teoria biogeografiei insulare (MacArthur și Wilson, 1967) care explică diversitatea redusă din insule pot justifica destul de ușor de ce speciile invadatoare se răspândesc rapid în ecosisteme izolate, cum sunt cele din Hawaii. Invazia poate fi interpretată ca o “umplere” sau completare a unei funcții a ecosistemului care lipsea și care poate iniția o schimbare a sistemului. Astfel, invaziile speciilor străine în Hawaii au fost interpretate ca fiind urmarea unor interacțiuni incomplete (din punct de vedere funcțional) între speciile care existau deja acolo.

O diversitate specifică mare nu înseamnă neapărat o mai mare stabilitate a ecosistemului, chiar dacă numărul de specii este puțin variabil. În cazul ecosistemului de prerie a fost studiată influența incendiilor anuale asupra numărului de specii și asupra înfloririi plantelor. Zonele incendiate anual au un număr mic de specii și aceste specii sunt foarte variabile. Dacă incendiile nu au loc atunci numărul de specii este mai mare și variabilitatea este redusă (pentru o perioadă studiată, de 6 ani). Înflorirea plantelor este totuși mai activă în zonele ferite de incendii!! (deși, aparent ar trebui să fie invers). Ecosistemul a fost testat în perioade cu condiții climatice diferite iar în cursul unuiu dintre anii de studiu înflorirea a fost foarte limitată ceea ce a demonstrat existența unor condiții extreme. Capacitatea ecosistemului de a suporta condiții extreme este un test al funcției sale și o măsură a capacității sale de rezistență și reziliență (capacitatea de revenire). Devine astfel limpede că o aproximare cât mai corectă a importanței speciilor se poate obține numai după o lungă perioadă de cercetare.

3.5. CONCEPTUL DE COMUNITATE

Există două moduri foarte diferite în care se poate face delimitarea comunităților. Primul este punctul de vedere biocenotic, dezvoltat inițial de biologul oceanolog Möbius în 1877 ca rezultat al cercetărilor sale asupra stridiilor. Conform acestui concept, delimitarea comunităților se face pe baza organismelor.

Al doilea este punctul de vedere al biotopului, prezentat de Dahl în 1908 și care stabilește limitele unei comunități pe baza factorilor abiotici.

Ulterior, sensul unor noțiuni s-a modificat. Astfel, Hesse, 1924, definește biocenoza ca o *grupare de organisme care trăiește într-o parte uniformă a habitatului*. Această definiție este însă foarte restrictivă deoarece tinde să sinonimizeze biotopul cu biocenoza. Macfadyen, 1963, descrie comunitatea ca un *sistem populațional relativ izolat și discret*. Whittaker, 1970, dă următoarea definiție pentru comunitate (biocenoză):
un ansamblu de populații care trăiesc într-un anumit mediu și interacționează unele cu altele. Odum, 1971: *orice ansamblu de populații dintr-o anumită zonă sau habitat în sens fizic*.

Cele mai multe definiții de acest fel au fost formulate de ecologi care lucrau în domeniul terestru, mai ușor de abordat din acest punct de vedere deoarece descrierea comunităților se poate limita la două dimensiuni și că acestea sunt destul de stabile (atenție la sensul relativ al acestui termen!). Ecologii din domeniul acvatic, marin sau dulcicol au de-a face cu trei categorii majore de organisme: (a) nectonul, înotător, trăind într-un mediu tridimensional și având, cel puțin teoretic, posibilitatea de mișcare în orice direcție; (b) planctonul, plutitor, trăind de asemenea într-un spațiu tridimensional dar cu mișcarea impusă de anumite caracteristici ale mediului; (c) organismele bentonice. Teoretic, delimitarea bentosului este bidimensională.

În cazul sistemelor oceanice, care manifestă o evidentă continuitate spațială, cercetarea nectonului și planctonului nu a permis dezvoltarea unor concepte ecologice de bază datorită dificultăților reale de delimitarea a comunităților. S-a emis chiar ideea că toate oceanele formează un singur ecosistem. Datorită acestei situații, atenția ecologilor s-a îndreptat asupra comunităților bentonice, acestea fiind comparate cu cele terestre. Totuși, există diferențe foarte mari: în mediul terestru lucrurile pot fi observate direct, cu ochiul liber iar probele pot fi colectate cu mâna; în cazul mediul marin, acest lucru este

posibil numai pentru zonele litorale. În ultima vreme dezvoltarea unor sisteme tehnice (echipamente de scufundare) a permis observarea liberă a zonelor oceanice profunde. O altă diferență este dată de uniformitatea sedimentelor moi, mâloase, pe suprafețe foarte mari.

Datorită acestor caracteristici, mediul marin este împărțit pe baza factorilor abiotici, cel mai des, pe baza unui singur factor (temperatură, salinitate etc). Astfel, există un sistem de clasificare a apelor pe baza salinității (sistemul Venice): euhaline (30-40‰), polihaline (18-30‰), mesohaline (5-18‰) și oligohaline (0,5-5‰).

Problema interacțiunilor în cadrul comunității Deoarece în ecosistemele terestre se pot observa relativ ușor competiția, predatorismul și parazitismul se poate vorbi despre interacțiuni ecologice. Aceasta a condus la ideea comunității ca superorganism care se autoreglează (concept utilizat de Clements și Tansley în 1920). În ecosistemele acvatice aceste interacțiuni sunt mult mai greu de observat: sistemele sunt mult mai deschise și dependente de subsistemul plancton ca sursă de hrană; dificultatea unor observații continui, mai ales în timpul nopții, când multe organisme sunt active. Din această cauză, sensul de **comunitate** este limitat mai degrabă la ideea de apropiere spațială: Humboldt a preluat termenul de **asociație** de la botaniști; termenul a fost ulterior folosit pentru a desemna grupări de organisme bentonice.

Desemnarea comunităților în termenii speciilor. Dezvoltarea ecologiei plantelor a arătat multe puncte comune cu ecologia marină. S-au fundamentat mai multe moduri de abordare (școli):

- Școala *dominanță-constanță*: după 1900, în Europa de Nord s-a dezvoltat o școală care recunoștea asociațiile după 2-3 specii constante și dominante în comunitate. Acest concept are însă destule puncte slabe: dificultatea delimitării nete a speciilor dominante în anumite asociații în care multe specii apar a fi co-dominante; prea puțină atenție acordată rolului speciilor subdominante.
- Școala *Braun-Blanquet*: dezvoltată în Europa de Sud, acolo unde flora este mai complexă și asociațiile nu se pot desemna pe criteriul dominanță-constanță. Braun-Blanquet (1951) a folosit alte două concepte, *constanța și fidelitatea speciilor caracteristice*. O specie este înalt constantă dacă apare în

toate probele dar, în același timp, nu este restrânsă la o singură asociație. Pe de altă parte, o specie este înalt fidelă dacă apare doar în cadrul unei singure asociații dar nu neapărat în toate probele care se colectează din asociația respectivă. Speciile constante sunt adesea dominante dar speciile fidele, care au un spectru îngust de cerințe ecologice sunt departe de a fi dominante în comunitate.

- Școala *speciilor disidente* (Whittaker, 1962, McIntosh, 1967): fiecare specie tinde să-și formeze o nișă proprie într-un gradient de mediu.
- Școala *analizei numerice* (Sokal și Sneath, 1963)

CÂT DE REALE SUNT COMUNITĂȚILE?

Interacțiunile pot fi interpretate ca niște legi de asamblare care determină formarea unei rețele trofice. Lungimea lanțurilor trofice nu este limitată doar energetic dar și datorită interacțiunilor dintre specii. Atunci când avem de-a face cu o anumită configurație de specii particulare sau de specii care au un rol particular apare o altă problemă.

Există o singură modalitate prin care componentele unei rețele trofice pot fi puse împreună: proporția dintre producători primari, ierbivore și carnivore. Dar comunitatea este totodată și o rezultantă a condițiilor abiotice.

Este limpede că structura comunității depinde de speciile adaptate la diferite condiții abiotice și nu doar de relațiile interspecifice. Dacă am considera comunitățile ca fiind unitare ar trebui să găsim mereu aceleași asocieri (combinații) de specii. Dar ce se întâmplă dacă eliminăm o specie? Desigur, **unele specii pot fi mai importante ca altele dar o comunitate integrată nu poate funcționa dacă sunt eliminate prea multe componente** (vezi problema speciilor cheie discutată anterior).

Pe de altă parte, dacă comunitatea ar fi doar un ansamblu de specii cu adaptări similare, alăturate prin istoria lor comună și anumite circumstanțe, atunci structura trofică ar trebui să fie mult mai flexibilă. Astfel, comunitatea este rezultatul șansei și ne-am aștepta ca structura ei să se modifice în timp și spațiu.

Multe rețele trofice descrise au de fapt un caracter artificial. Totuși, ele pot fi utilizate ca un fel de hărți ecologice pe care se pot urmări traseele poluanților, reziduurilor, metalelor grele și izotopilor radioactivi prin ecosistem.

Dinamica mozaicului de habitate și funcționarea comunităților

Reducerea și fragmentarea habitatelor naturale, mai ales în cazul pădurilor, este una din cauzele majore ale erodării biodiversității. Astfel, Marea Britanie mai are doar 6% din habitatele naturale de acum 2000 de ani iar Irlanda cam 0,77% din pădurile care altădată ocupau aproape tot teritoriul. Franța stă ceva mai bine, un sfert din teritoriu păstrând habitate naturale.

Un sistem de referință: pădurea primară Białowieża

Această pădure constituie un imens complex forestier cu o suprafață de 1250 kmp din care, parcul național ocupă 47,5 kmp. Este o pădure mixtă de câmpie, cu soluri hidromorfe care a suferit foarte puțin influența antropică. Deși ultimul zimbbru sălbatic a fost împușcat de un braconier în 1919 totuși, printr-un management atent a fost menținută (în stare de semicaptivitate nota trad.) o populație a acestor mamifere care contribuie la păstrarea caracterului primar al pădurii.

Pădurea este situată din punct de vedere biogeografic între Europa Centrală și cea Orientală, între pădurile de amestec și cele de pin și molid. Situația ei în prelungirea lanțului muntos de la extremitatea continentului, ceea ce induce un “efect de peninsulă”, ca și legătura directă cu imensele păduri Mazuriene din nord și cu cele din Bielorusia, îi conferă o valoare deosebită. Temperatura medie anuală este de 6,8⁰ C, nivelul precipitațiilor de 641 mm/an; zăpada durează 3 luni. Se află la o altitudine medie de 170 m și este formată din 3 mari asociații vegetale: arin și frasin (mai ales în zone inundabile), stejar (în zone de umiditate medie), pin (în zone mai uscate). De asemenea, există câteva caracteristici care amintesc de pădurile tropicale:

- Înălțimea medie a coronamentului este foarte mare –30-40 m. Arborii cei mai mari se sprijină de sol cu ajutorul unor rădăcini de tip adventiv. Din loc în loc, coronamentul este străpuns de arbori foarte înalți (pini de 45 m sau molizi de 57 m). Vârsta arborilor variază între 400 ani la stejari, 350 la pin și 300 la pin.
- Structura multistrat a pădurii cuprinde 5-6 etaje bine individualizate, alcătuite din 26 specii de arbori și 60 specii de arbuști. În asociația cu stejar se atinge un volum foliar de 100.000 – 120.000 mc/ha. Stratul de ierburi este totdeauna prezent și completează structura asociațiilor.

- Importanța considerabilă a lemnului mort, fie trunchiuri încă în picioare fie trunchiuri căzute la pământ (60 mc/ha). Aceste trunchiuri căzute îmbogățesc solul și constituie o sursă importantă de diversitate. Prăbușirea unui arbore este un fel de microseism care scoate din funcție un sistem radicular complex și determină formarea unei gropi în care se poate aduna apa de ploaie și în care se dezvoltă macrofite palustre și fauna asociată, precum și broaște și păsări. Heterogenitatea topografică și edafică determinată de acest fenomen exercită un rol important asupra distribuției a numeroase specii de plante, mamifere și păsări. În cazul trunchiurilor rămase în picioare se remarcă formarea de cavități (scorburi) favorabile mai ales păsărilor.
- Heterogenitatea structurii forestiere: doborâturile, parcelele de vârste diferite sunt rezultate ale unor perturbări mai vechi sau mai noi. Ceea ce un observator remarcă la o primă evaluare ascunde o cinetică complexă ce pare a fi accelerată pentru momentul observării de 1000 ori. Amestecul de conifere și foioase ca și existența unui mozaic de microhabitate determinat de gradele diferite de umiditate, favorizează de asemenea heterogenitatea ansamblului.

Diversitatea biologică globală a acestui complex de ecosisteme forestiere (diversitate gamma) este remarcabilă: 990 plante vasculare, 254 briofite, 334 licheni, 2000 ciuperci, 62 mamifere, 228 păsări, 24 pești și peste 8500 insecte.

Funcționarea comunităților de păsări

1. O mare bogăție în specii dar o densitate redusă în populații.
Principalele gilde sunt: 8 răpitoare diurne, 4 răpitoare nocturne, 8 ciocănituri, 15 silvii, 7 turdide, 6 pițigoii.. Numărul mediu anual de specii cuibăritoare într-o parcelă (diversitate alpha) a fost doar de 33,4.
2. O mare proporție a predatorilor. Presiunea exercitată de predatori asupra a 30 specii de mamifere, reptile și păsări constituie un factor major de reglare a distribuției și abundenței. Locurile cele mai căutate pentru cuibărit sunt scorburile sau spațiile mai apărate, oferite de ramurile groase ori de frunzișul des ca și rădăcinile arborilor căzuți la pământ. Presiunea predatorilor este însă foarte variată: prădarea este mai puternică atunci când omizile defoliatoare, care constituie hrana de bază a multor paseriforme sunt puțin

abundente. Invers, dacă omizile se înmulțesc se produce o defoliere totală a arborilor, multe specii se hrănesc cu omizi și astfel presiunea predatorilor scade.

3. Specii de lizieră prezente în adâncul pădurii. În adâncul pădurii Bialowieza trăiesc specii de păsări (*Buteo buteo*, *Sturnus vulgaris* etc.) care, în Europa Occidentală sunt considerate specii de lizieră. Liziera este considerată a fi o componentă internă a marilor păduri primare deoarece ierbivorele mari, prin acțiunea lor directă, mențin o structură *reticulată* a pădurii.
4. O “primenire” locală (diversitate beta) foarte ridicată. Distribuția împrăștiată în spațiu a celor mai multe specii implică o frecvență ridicată a evenimentelor locale de imigrație-extincție. *Turnoverul speciilor* se poate calcula la nivelul unei parcele de pădure. O specie poate fi prezentă într-o parcelă în tot cursul anului ori poate lipsi câțiva ani la rând, ulterior putând să recolonizeze zona respectivă.

Bialowieza este un fel de fereastră deschisă spre trecut. Dobzhansky, după primul contact cu pădurea tropicală, remarcă: *înainte de toate, este o mare experiență estetică...*

3.6. CONCEPTUL DE NIVEL TROFIC

Acest concept s-a dovedit a fi foarte fructuos în promovarea și sistematizarea ideilor ecologice: cercetătorii au fost încurajați să se preocupe nu doar de rolul și funcțiile unei singure specii dar și de structura și funcționarea întregii comunități. Totodată însă există tendința folosirii excesive a acestui concept ceea ce duce la o super-simplificare a modului de caracterizare a ecosistemelor.

Primele studii asupra lanțurilor trofice s-au bazat pe generalizări privind hrana consumată de o anumită specie sau de un grup de specii. Ulterior s-a dovedit că sunt foarte puține speciile care au cu adevărat un spectru trofic îngust.

Apodemus flavicollis era considerat un ierbivor care se hrănește cu rădăcini și semințe dar el consumă frecvent și insecte sau alte mici animale nevertebrate.

Opilionidele sunt considerate în general hoitare (scavengeri) dar multe specii sunt carnivore.

Nematodele din sol erau cunoscute ca preferând țesut vegetal dar ele mănâncă și alge, bacterii, protozoare și alte nematode.

Chilopodele din genul *Lithobius* erau considerate strict carnivore dar ele consumă material vegetal în cantități egale.

Rotiferii sunt considerați în mod obișnuit ca fiind ierbivori și hrănindu-se cu alge planctonice; s-a constatat că cea mai mare parte a hranei lor este formată din bacterii. În acest fel rotiferii transferă energie de la nivelul descompunătorilor la cel al consumatorilor primari.

Colembolele sunt în general cunoscute ca hrănindu-se cu microorganisme din sol; unele dintre ele, însă (specii de *Onychiurus*) atacă plantele superioare și pot produce pagube. Alte colembole consumă rotiferi, proture și tardigrade, țesut animal mort iar unele sunt predatoare.

Insectele se hrănesc diferențiat în stadiile de larvă și adult: dipterele hematofage au larve ierbivore. La păsări și mamiferele mici dieta diferă în funcție de sezon. Păstrăvul se hrănește vara cu nevertebratele duse de curent (drift) iar iarna cu bentos.

Alte dificultăți în aplicarea conceptului sunt datorate mobilității animalelor.

Astfel, s-a observat frecvent că în anumite habitate apare un număr excesiv de carnivore și că hrana lor este insuficientă. Dar prada se reproduce rapid și este continuu consumată.

În acest fel, valorile de standing-crop ale prăzii dau o idee greșită asupra

productivității sale. Această concluzie este valabilă mai ales în cazul peștilor carnivori care se hrănesc cu nevertebrate și în cazul unor păianjeni: aceștia au o singură generație pe an în timp ce prăzile lor au mai multe generații anual.

Un alt factor major este mișcarea animalelor de la un habitat la altul. Cea mai mare parte a hranei carnivorelor care trăiesc în litieră constă din diptere, omizi, afide și alte grupe a căror hrană a fost procurată din alte habitate. Păianjenii dintr-o pajiște se hrăneau cu țânțari veniți din bălțile învecinate.

În ecosistemele naturale producția secundară depinde de cea primară. Pare surprinzător că în condițiile climatului tropical producția primară nu crește direct proporțional cu cantitatea disponibilă de energie solară, mai mare decât în condițiile climatului temperat. Aceasta se datorește consumului mare de energie al plantelor

tropicale în procesul respirației, urmare a temperaturilor ridicate și competiției (care impune consum de energie pentru formarea structurilor lemnoase).

Din această cauză multe încercări de cultivare la tropice ale unor plante prin metode verificate în climatul temperat au eșuat.

De asemenea, există diferențe între ecosisteme care se bazează pe tipuri diferite de plante. Plantele mari consumă multă energie pentru menținere în timp ce algele folosesc mai puțină energie pentru respirație și în plus au un turn-over rapid oferind hrană abundentă ierbivorelor. În cazul pajiștilor apare o situație intermediară: o cantitate din standing crop este bine apărută împotriva ierbivorelor dar aceasta face ca mai multă materie să fie disponibilă următorului nivel. Rezultatul este producerea unei mari cantități de litieră utilizată de descompunători care devin astfel mai importanți decât ierbivorii.

LANTURI TROFICE. CATEGORII DE ORGANISME DIN ECOSISTEM.

Prin descrierea unui lanț trofic se precizează drumul pe care energia îl străbate printr-o comunitate și relațiile trofice dintre unele specii ale comunității. Când plantele sunt consumate, energia care a fost fixată prin procesul de fotosinteză trece la alte organisme numite **heterotrofe**. Consumatorii sunt denumiți cu un termen general, **producatori secundari** și ei depind în ultimă instanță de producția plantelor.

Heterotrofele pot fi încadrate pe diferite **nivele trofice** în funcție de ceea ce folosesc ca hrană. **Consumatorii primari** se mai numesc **ierbivori**. Deși vegetația este abundentă nu se poate spune ca ierbivorele beneficiază de prea multă energie. Țesuturile vegetale sunt în general sărace în azot dar bogate în celuloză care este greu digerabilă. Hrana vegetală este adesea de calitate slabă și necesită eforturi (adică consum mare de energie) pentru a o digera (inclusiv un tractus digestiv foarte lung). Aceasta înseamnă că **eficiența asimilației** ierbivorelor este redusă. Unele ierbivore preferă acele părți ale plantei care sunt mai nutritive sau mai ușor de digerat, cum ar fi lăstarele tinere sau mugurii. Seminivorele (consumatoarele de semințe) beneficiază de o hrană bogată în hidrați de carbon și uleiuri. Acestea utilizează astfel de o hrană ușor de digerat , cu o

concentrație mare de azot care altfel ar alimenta procesul de germinație. Alte ierbivore au găsit calea de a folosi energia conținută într-o biomasă greu de digerat (simbioze cu bacterii și protozoare celulozolitice).

Carnivorele reprezintă categoria consumatorilor secundari sau terțiari și ele folosesc energia ierbivorelor sau a altor animale. Carnea conține în primul rând proteine și grăsimi care pot fi ușor degradate și care sunt bogate în nutrienți importanți. Carnivorele au un tractus digestiv scurt și pot digera hrana relativ rapid. Totuși, ele consumă multă energie pentru capturarea prăzii, cost care pentru ierbivore este minim.

Observație. Strategiile diferite ale ierbivorelor și carnivorelor pentru procurarea hranei se reflectă în diversitatea de relații din biocenoză. Aceste strategii susțin structurile disipative ale ecosistemului.

Omnivorele nu pot fi încadrate într-un lanț trofic liniar și curgerea energiei, în acest caz, nu formează o succesiune simplă de secvențe. Strategia omnivorelor este cu atât mai complexă cu cât unele din ele pot consuma plante sau animale moarte (scavengeri). Un **scavenger** (hoitar) deturneză energia dintr-un lanț trofic bazat pe descompunere aducând-o într-un alt lanț trofic bazat pe ierbivore.

Se pot distinge două căi principale de scurgere a energiei printr-un ecosistem:

1. de la ierbivore la carnivore (**grazing food chain**)
2. de la descompunători la carnivore (**decomposer food chain**)

Aceste două categorii de lanțuri trofice sunt permanent interconectate. Cantitatea de energie care se scurge pe aceste căi depinde de tipul de ecosistem. În multe ecosisteme o mare parte a producției primare intră în lanțurile trofice ale descompunătorilor. Totuși, în unele ecosisteme acvatice o proporție însemnată a fitoplanctonului este consumată de ierbivore. Dimpotrivă, în ecosistemele terestre, doar 10% din producția primară netă este utilizată de ierbivore. Ceea ce rămâne (cantitatea globală este de 103,5 miliarde tone) alimentează lanțurile trofice ale descompunătorilor. Astfel, aceste lanțuri trofice sunt cele mai importante canale prin care energia trece în restul ecosistemului.

EFICIENȚA ENERGETICĂ

Datorita faptului că o bună parte din producția fiecărui nivel trofic este folosită de descompunători, **rețelele trofice descompunătoare** sunt cele mai mari componente ale

ecosistemelor. Plantele produc celuloză și lignină care sunt greu de digerat. Animalele produc cochilii, valve, păr, gheare, copite care trec netransformate prin tractul digestiv al consumatorilor. Deoarece implică o transformare, orice transfer al energiei de la un organism la altul duce inevitabil la unele pierderi de energie. Din energia care este asimilată o mare parte este utilizată în procesele metabolice - formarea, menținerea și degradarea celulelor.

$$\text{Eficiența asimilației} = \text{energia asimilată (A)} / \text{energia consumată (C)}$$

Această ecuație exprimă proporția de energie preluată de un consumator din hrana (dieta) sa. În mod similar se poate calcula eficiența fotosintezei folosindu-se ca bază cantitatea de energie care ajunge la suprafața frunzelor.

Simpla extensie a ecuației de mai sus ne permite să estimăm câtă din energia consumată este fixată în noi țesuturi:

$$\text{Eficiența producției} = \text{energia fixată în țesuturi (P)} / \text{energia consumată (C)}$$

Cantitatea de energie asimilată care este convertită în țesuturi exprimă eficiența creșterii:

$$\text{Eficiența creșterii} = \text{energia fixată în țesuturi (P)} / \text{energia asimilată (A)}$$

Eficiența ecologică depinde de costurile metabolice. Astfel, homeotermele (endotermele) - păsările și mamiferele, au costuri metabolice foarte mari care pot ajunge la 90 % din energia lor, folosită pentru menținerea temperaturii corpului la valori constante. Poikilotermele (poikilos = variat) sau ectotermele pot folosi o mai mare parte din energie pentru producție ele neavând aceste costuri de menținere a temperaturii corpului la valori constante.

În general, cu cât organismele se află mai aproape de capătul lanțului trofic eficiența asimilației este mai mare mai ales datorită calității hranei. Ierbivorele pot beneficia de o mare cantitate de hrană vegetală dar o treime din aceasta este celuloză și atunci ele au nevoie de ajutorul unor bacterii simbiote adăpostite în intestin. Eficiența asimilației ierbivorelor este în jur de 10 % și ele sunt nevoite să consume cantități mari de vegetale ca să-și satisfacă nevoile energetice.

Carnivorele pot atinge, în cazuri excepționale, o eficiență a asimilației de 90 % dar oricum, valorile sunt în general mult mai mari în comparație cu ierbivorele. Ele mănâncă puțin și destul de rar.

Eficiența producției variază de asemenea în funcție de poziția din lanțul trofic. În cazul nevertebratelor terestre ierbivorele au o eficiență de 21 - 39 % iar carnivorele 27 - 55 %. Poikilotermele au o eficiență a producției între 10 și 55 % iar homeotermele doar 1 - 3%.

Eficiența producției la câteva grupe de animale:

Homeoterme

insectivore 0,9 %
pasari 1,3 %
mamifere mici 1,5 %
alte mamifere 3,1 %

Poikiloterme

pești și insecte sociale 9,8 %
nevertebrate (fără insecte) 25 %
insecte nesociale 40,7 %

Nevertebrate (fără insecte)

ierbivore 20,8 %
carnivore 27,6 %
detritivore 36,2 %

Insecte nesociale

ierbivore 38,8 %
detritivore 47,0 %
carnivore 55,6 %

Aceste cifre ar putea argumenta faptul că pentru carnivore condițiile de viață ar fi mai avantajoase. Totuși, cea mai mare parte a biomasei planetei este vegetală și astfel există mai multă energie disponibilă pentru ierbivore decât pentru carnivore. Atunci când energia se găsește în cantitate mică, strategia poikilotermelor este mai bună decât cea a homeotermelor.

Valorile eficienței ecologice explică de ce energia disponibilă descrește rapid în lungul unui lanț trofic. Pentru un lanț trofic carnivor format din 3 - 4 verigi este necesară o energie inițială fixată în plante de 10.000 ori mai mare decât cea care ajunge la capatul lanțului. De pildă, din producția primară a unei pajiști, populația de nevăstuici care se hrănește cu șoarecii care consumă plante fixează doar 0,0026 %.

Energia solara utilizata de plantele unei pajisti

$19,8 \times 10^9$ kJ din care

245×10^6 kJ productia primara bruta; aceasta este folosita astfel:

respiratie $36,8 \times 10^6$ kJ

productie primara neta 208×10^6 kJ

energie dirijata la consumatori si descompunatori 65×10^6 kJ

Populatia de soareci primeste $66,4 \times 10^6$ kJ din care:

respiratie 170×10^3 kJ

Alti consumatori primesc 65×10^6 kJ

Hrana nefolosita 311×10^3 kJ

Imigratii din alte ecosisteme $13,5 \times 10^3$ kJ

Disponibil pentru populatia de nevastuici $24,5 \times 10^3$ kJ din care:

respiratie $22,8 \times 10^3$ kJ

hrana neutilizata 546 kJ

productie 1,092 kJ

Comentariu:

REDUCĂTORII (DESCOMPUNĂTORII)

Descompunătorii sunt esențiali pentru rolul pe care-l au în reciclarea nutrienților și pentru redirecționarea energiei de la materia organică moartă înapoi la sistemele vii. O parte importantă a producției primare rezultă, așa cum arătat și mai sus, sub forma unor componenți nedigerabili care sunt mai întâi prelucrați de compartimentul descompunătorilor și după aceea sunt disponibili altor consumatori. Acești descompunători înlocuiesc enzimele lipsă ale consumatorilor. Este vorba fie de fungi ori bacterii care pot fi cultivate în cuiburile de termite și furnici sau care trăiesc în tractul digestiv al unor consumatori.

Râmele sunt descompunători remarcabili care pot transforma detritusul în humus cu o rată de 50 -170 tone/ha/an. În ecosistemele terestre, litiera cuprinde descompunători

din diferite grupe de nevertebrate ca acarieni, larve de insecte, miriapode, nematode.

Hifele fungilor degradează în special materia organică săracă în azot.

Un gram de sol conține cam 9. 000. 000 bacterii care pot apare într-o succesiune de specii după ce solului i se adaugă material organic. Multe nevertebrate folosesc bacteriile ca adjuvanți în procesele lor digestive.

Rumegatoarele.

Unele ierbivore mențin relații simbiotice care le permit să folosească energia conținută în celuloză. Toate animalele adapostesc în intestinul lor comunități de bacterii dar rumegătoarele și-au dezvoltat un sistem remarcabil care fermentează biomasa vegetală în condiții de anaerobioză. Stomacul rumegătoarelor este compartimentat și conține 100 - 1000 milioane bacterii/ml, ca și protozoare care se hrănesc cu aceste bacterii. Este o adevărată rețea trofică adapostită de gazdă. Aceasta menține condiții optime pentru simbionți prin producerea unei mari cantități de salivă alcalină și prin consumarea unei cantități suplimentare de hrană vegetală necesară bacteriilor. De asemenea, prin secvența asigurată de compartimentele stomacului, rumegătoarele descompun materialul vegetal în particule din ce în ce mai mici ceea ce oferă bacteriilor o suprafață mare de lucru.

Microorganismele s-au specializat pentru diferite tipuri de componenți vegetali și formează adevărate ghilde trofice. Astfel, există grupul bacteriilor celulozolitice și cel al bacteriilor amilolitice ca și un grup capabil să degradeze atât celuloza cât și amidonul. Acizii lactic, butiric, propionic și acetic rezultați în urma fermentației sunt absorbiți de sistemul vascular al rumenului. Bioxidul de carbon și metanul sunt eliminate ca gaze. Proteinele conținute în hrana vegetală sunt descompuse la amino-acizi în ultima cameră a stomacului (abomasum) care, spre deosebire de camerele anterioare are un pH acid. Bacteriile care ajung aici mor și servesc ca hrană proteică (un procent însemnat).

Costurile energetice pentru menținerea acestor culturi de bacterii sunt considerabile. Fânul conține peste 30% celuloză și este o hrană avantajoasă pentru rumegătoare ca și pentru simbionții lor. Aceasta relație rumegătoare-bacterii este utilă omului deoarece producția obținută prin creșterea vitelor este superioară celei a

porcinelor sau păsărilor (vitele convertesc 20% din energia brută în producția de biomasă).

Bugetul energetic al unui organism ruminant

Input energie 100%

gaze 8%

dejecții 27%

Asimilație 64

urină 3%

Metabolism 61%

respirație 35%

mișcare 6%

Producție 20%

LUNGIMEA LANTURILOR TROFICE

Ineficiența transferului de energie și pierderile inevitabile care însoțesc fiecare transformare demonstrează că pentru nivelurile trofice superioare este disponibilă foarte puțină energie. Astfel, energia de 208.000.000 kJ a vegetației ajunge la șoareci la valoarea de 21.714 kJ iar la nevăstuici la 546 kJ. Aceste valori pot fi reprezentate sub forma unei piramide.

Acest lanț are doar trei verigi. Lanțuri trofice mai lungi sunt rare în natură și nu depășesc cinci verigi. Această lungime este limitată de eficiența energetică a populațiilor (speciilor) componente. Din aceasta cauză ar fi de așteptat ca lanțurile trofice formate din poikiloterme să fie mai lungi decât cele formate din homeoterme. Dar, observațiile și experimentele au demonstrat că diferențele sunt mult mai mici decât se credea.

Se poate presupune că lungimea lanțului trofic este controlată de producția primară a ecosistemului. Dacă ar fi așa ar trebui ca în ecosistemele cu o producție primară mare să găsim lanțuri trofice mai lungi. În acest scop s-au comparat lanțuri trofice din pădurea tropicală umedă cu cele din tundră și nu s-au găsit diferențe semnificative. Media a rămas în jur de 4 verigi. Experimental s-au adăugat cantități de litieră în comunități simple dar nici aceasta nu a dus la creșterea lungimii lanțurilor trofice.

Deci, trebuie să luăm în considerație anumite trăsături ale lanțurilor trofice pentru a putea explica de lungimea lor este limitată. Consumatorii au tendința de a fi tot mai mari și mai puțini cu fiecare verigă a lanțului trofic. Carnivorele mari au nevoie de teritorii foarte mari pentru procurarea hranei (prazii). În general, organismele de pe nivelele trofice superioare tind să fie longevive, întârziind reproducerea până în stadii târzii ale ciclului lor de viață.

Multe din aceste caracteristici rezultă din creșterea dimensiunilor și acesta poate explica de ce lanțurile trofice nu sunt prea lungi. Un prădător de vârf are anumite limite de dezvoltare deoarece ar avea nevoie de prea multă energie pentru a se menține la un nivel populațional ridicat. De asemenea, între prădători există o permanentă competiție pentru hrană și ei trebuie să mențină nivelul numeric al ierbivorelor care le servesc drept hrană. În ciuda abundenței biomasei vegetale, din multe ecosisteme, numărul ierbivorelor poate scădea dacă ele sunt consumate de prădători peste o anumită limită.

Tendențele care se observă în lungul lanțurilor trofice:

Mai puține specii Fiecare nivel trofic susține mai puține specii decât nivelul precedent.

Creșterea dimensiunilor corpului În general predatorii sunt mai mari decât prăzile lor.

Reducerea nivelului numeric al populațiilor Costurile energetice mai mari ale speciilor de la capătul lanțului trofic determină ca ecosistemul să susțină puțini indivizi

Creșterea longevității Speciile cu indivizi de dimensiuni mari tind să aibă cicluri de viață mai lungi.

Rata de reproducere mai scăzută Speciile longevive tind să ajungă mai lent la maturitate, întârziind reproducerea până la stadiile mai târzii ale ciclului de viață

Teritorii mai mari Organismele mari au nevoie de suprafețe mai mari de pe care să-și procure hrană.

Capacitate mai mare de răspândire În scopul de a acoperi teritorii mari, organismele trebuie să fie capabile să se miște pe distanțe mari

Abilitate crescută pentru găsirea hranei Recunoșterea rapidă a speciilor hrănă

Creșterea complexității comportamentale Teritorii mari, ciclu de viață lung, densități populaționale reduse

Costuri metabolice mai mari Dimensiunile mai mari determină necesități energetice mai mari pentru menținere, creștere și reproducere

Necesar de hrană de o valoare calorică mai ridicată Hrana trebuie să conțină mai multă energie pentru a întreține rata crescută a proceselor metabolice

Reducerea specializării trofice La nivelele trofice superioare există tendința ca speciile să fie generaliste în privința strategiilor de căutare a hranei. Aici este inclusă omnivoria.

Creșterea eficienței de asimilare

REȚELELE TROFICE

Rețelele trofice arată toate căile posibile de scurgere a energiei prin ecosisteme (în timp ce un lanț trofic arată o singură cale posibilă). O rețea trofică a unei comunități asociate unei populații de stejari reprezintă o agregare de câteva lanțuri trofice dintre care unele se suprapun. Cele mai multe au câte 4 verigi, existând și lanțuri mai scurte. Păsările și mamiferele din ecosistem tind să fie omnivore. Astfel, pițigoii se hrănesc pe diferite nivele trofice: ei consumă semințe (deci, producători primari), insecte ierbivore ori coleoptere (carnivore) și păianjeni. Șoarecii și cârțițele sunt de asemenea omnivore, consumând atât insecte cât și hrană vegetală.

Rețeaua trofică poate include detritivori și descompunători și reunește lanțuri trofice ierbivore și descompunătoare. De asemenea, include paraziți și hiperparaziți, consumatori terțiari ignorați de obicei, atunci când se construiesc modelele lanțurilor trofice.

Cu toate acestea, rețelele trofice, ca modele, au și ele limitele lor. Ele simplifică realitatea. Nu se pot identifica toate conexiunile trofice iar multe specii sunt pur și simplu încadrate într-un anumit grup trofic fără a se cunoaște biologia lor. Cele mai multe rețele trofice nu țin seama de tăria legăturilor trofice și nu fac deosebirea între legăturile ocazionale și cele foarte puternice, permanente.

Dar, prin compararea unui număr mare de rețele trofice s-a observat că anumite structuri se repetă. Structura trofică a rețelei -modificările în abundență și

mărime în lungul unui lanț trofic- se repetă în diferite ecosisteme. S-a dovedit că proporția prădătorului în raport cu prada este constantă. La fel este și proporția consumatorilor din fiecare nivel trofic, care nu depinde de numărul total de specii din rețea. Lanțurile trofice sunt mai scurte în habitatele mici, fragmentate sau în cele frecvent deranjate.

Ce anume determină structura acestor modele? Unele depind de organizarea ierarhică a speciilor și de poziția în lanțurile trofice. Modelele realizate pe computer au arătat că există o limită a numărului de specii dintr-o rețea trofică.

Luând în considerație mărimea populațiilor și intensitatea interacțiunilor dintre specii modelul prognozează că o specie invadatoare va avea dificultăți mari să se fixeze într-o rețea care are un număr mare de specii.

Ce se întâmplă dacă un prădător încearcă să invadeze o comunitate bine dezvoltată? Pentru a căpăta acces la o specie pradă el trebuie să intre în competiție cu un prădător care este deja prezent aici. Aceasta înseamnă că va crește competiția interspecifică, competiția va deveni mai acerbă pentru multe specii care au aceeași poziție trofică și toate speciile vor avea de “rezolvat” situații noi.

În mod asemănător, interacțiunile dintre nivelele trofice vor determina anumite caracteristici ale rețelei. Se apreciază că **numărul speciilor prădătoare este un bun element de evaluare a numărului speciilor pradă**, mai bun ca alte metode de evaluare.

BIOAMPLIFICAREA, BIOACUMULAREA ȘI BIOCONCENTRAREA

Lanțurile trofice au proprietatea de a concentra poluanții astfel încât fiecare nivel succesiv este amenințat de o doză mai mare.

Exemplul clasic este cel al DDT (diclor-difenil-triclorețan) care, după ce a fost folosit câțiva ani pentru combaterea insectelor a afectat grav populațiile unor păsări răpitoare. Procesul este destul de complicat. **Bioamplificarea** (biomagnification) apare dacă concentrația poluantului este mai mare în organismul unui consumator sau al unei plante decât în hrana consumatorului sau în sol. Aceasta se măsoară prin **factorul de concentrare**.

CF = concentrarea poluantului în consumator/ concentrarea poluantului în hrana

Dacă $CF > 1$ atunci este vorba de un proces de bioamplificare. Dacă includem atât hrana cât și apa ca o resursă pentru organismele acvatice atunci ne referim la **bioacumulare** (bioaccumulation). **Bioconcentrarea** (bioconcentration) se referă numai la preluarea poluantului din apă.

Ecuția de mai sus este echivalentă celei a eficienței asimilației utilizată pentru măsurarea transferului de energie. Un poluant mobil trofic (deci, transportat prin hrana) va urma exact calea energiei dintr-o rețea trofică.

Deci, ce anume măsurăm? În primul rând, toți acești termeni sunt dependenți de timp: nivelul poluantului în hrană se schimbă mereu, la fel ca și în organismul consumatorului. Factorul de concentrare are sens numai dacă asimilația și bioacumularea se află în echilibru. Astfel, se poate măsura concentrația poluantului în tot corpul sau doar în acele țesuturi care vor deveni o parte din hrana nivelului trofic următor. De asemenea, există mulți consumatori omnivori și pentru a stabili exact hrana care conține poluantul ar trebui investigată întreaga rețea trofică.

Procesul de bioamplificare nu este chiar atât de răspândit după cum s-ar crede. Pentru a fi în echilibru cu hrana sau un consumator trebuie să țină seama de concentrarea resursei trofice (în sens calitativ) și pentru o valoare a $CF > 1$ ar trebui să mănânce mai mult decât pierde (ceea ce nu se întâmplă întotdeauna). Un alt factor este mărimea corpului: animalele mari mănâncă mai mult și astfel pot prelua mai mult poluant.

Deci, se poate considera că animalele mari, aflate la capătul lanțului trofic pot avea o concentrare mai mare de poluant pur și simplu pentru că sunt mai mari și nu pentru că au o anumită poziție din punct de vedere trofic.

Mulți compuși organici pot fi degradați de animale și ceea ce se măsoară la un moment dat nu este nivelul real al asimilației.

Chiar dacă substanța poluantă nu este degradată demonstrarea fenomenului de bioamplificare necesită luarea în considerație a mai multor factori. Astfel, s-au măsurat concentrațiile de zinc și plumb în câteva lanțuri trofice dintr-un ecosistem de câmpie contaminat cu deșeurile unei exploatare miniere (Derbyshire, Anglia) și s-a observat că nu există concentrații semnificativ mai mari la capetele acelor lanțuri trofice. Carnivorele de vârf din acest ecosistem, chițcanii din genul *Sorex*, nu au concentrat în organismul lor zincul sau plumbul până la valori mari. S-a luat în considerație și faptul că zincul este

necesar organismelor deoarece intră în structura multor enzime iar eventuala bioamplificare ar putea fi determinată de un proces fiziologic normal.

Aceste fenomene de bioamplificare nu reprezintă o regulă. Ele pot apărea în anumite cazuri (vezi DDT) dar cercetarea lor implică studierea întregului sistem ecologic.

SISTEME CONTROLATE DE OM

Principalele lor caracteristici sunt: lanțuri trofice foarte scurte, manipularea producției primare și a producției secundare. Există părerea (Jacob Bronowski, citat de Beeby și Brennan, 1997) că trecerea de la o agricultură nomadă la cea de sat a fost singurul și cel mai mare pas în evoluția omului (“ascent of man”). Ulterior, sporirea abilității în folosirea sistemului agricol a fost doar un factor care a încurajat proliferarea populației umane.

Sistemul **hunter-gathering** (vânător-culegător) este încă practicat în zonele tropicale și subtropicale. Deși nu permite un nivel ridicat numeric al populației care îl practică, acest sistem reprezintă o strategie de hrănire viabilă și durabilă. Randamentul este mare, energia obținută fiind cam de 10 ori mai mare decât energia folosită.

Sistemul **nomadic pastoralism** (păstori nomazi) este întâlnit la laponi, care sunt crescători de reni ca și la populații din Iran și Irak care cresc oi și capre.

Sistemul **transhumance** (transhumanța) are o lungă tradiție. Necesită o bună integrare a societății umane deoarece cei care sunt păstori trebuie să fie susținuți de cei care rămân în sate.

Sistemul **infield-outfield** (creșterea animalelor pe scară mică): câmp cultivat intensiv și pășuni pentru animale (proporția este de 1 : 10). Prin folosirea acestui sistem fermierii obțin profit (în sens de *return*) de la pășune, exploatându-i productivitatea și nutrienții, cu puține investiții. În contrast, pajiștea cultivată (*infield grassland*) necesită cosire. În timp ce șeptelul paște pășunea (*extensive lands of the outfield*), pajiștea este

lăsată să crească câteva săptămâni în vederea recoltării fânului. După ce plantele au ajuns la maturitate și semințele s-au dispersat în mod natural, urmează recoltarea. După cosire, șeptelul este lăsat să pască pentru a facilita reciclarea nutrienților din sol și aceasta permite menținerea unei biodiversități remarcabile : pe un metru pătrat de sol calcaros de pajiște pot crește exemplare aparținând la 40 specii de plante.

DE CE CREȘTEM ANIMALE?

Costurile metabolice aferente ca și eficiența variabilă a fiecărui nivel trofic semnifică faptul că energia este pierdută cu fiecare transfer care are loc în lungul lanțului trofic. Se poate pune astfel întrebarea de ce nu renunțăm la veriga ierbivorelor mari și nu folosim direct producția primară ? În felul acesta nu am recupera oare mai multă energie din cantitatea intrată în sistem?

Noi suntem omnivori și din punct de vedere fiziologic nu suntem capabili să folosim direct plantele în alimentație decât într-o mică măsură. Ierbivorele mari pe care le creștem pășunează suprafețe mari și concentrează energie în țesuturile lor. Există și un argument ecologic: pășunile trebuie să fie pășunate pentru a se menține în stare de funcționare iar terenurile de tip *outfield* ar necesita costuri prea mari pentru cultivare fiind în general pietroase ori cu un relief accidentat.

În ciuda complexității structurale limitate, comunitățile de ierburi pot fi foarte productive.

Șeptelul controlează aceste comunități și funcționează ca niște specii cheie. Există totuși două aspecte negative: suprapășunatul și subpășunatul. Oile sunt cunoscute ca efectuând un pășunat peste limita de suportabilitate a pășunii. Un pășunat moderat menține o stare de dezechilibru care favorizează comunitatea. Pe de altă parte, lipsa pășunatului poate duce la formarea de tufărișuri și ulterior favorizează evoluția spre stadiul de pădure.

ENERGIA SUPLIMENTARĂ (ADĂUGATĂ)

INPUT ————— OUTPUT

Muncă

Petrol

Gaze naturale

Soare

Cărbune

Electricitate

Sistem de producție

Plante, animale

Semințe

Îngrășaminte

Ierbicide

deșeuri

Pesticide

Irigații

Input - ul de energie și producția de proteine în 4 tipuri principale de sisteme agricole

Total energie intrată

Total proteine obținute

 10^6 kJ / ha

kg / ha

Fermă de oi

0,6

1 - 1,5

Fermă mixtă

12 - 15

500

Cultură intensivă

15 - 20

2000

Creștere intensivă

40

300

animale

Efectele negative ale agriculturii moderne: costuri ridicate ale energiei introduse; eutrofizarea bazinelor acvatice prin aplicarea unor cantități mari de fertilizanți ai culturilor; folosirea apei pentru irigații și efectele secundare produse pe terenurile aride acolo unde evaporarea este intensă și au loc fenomene de sărăturare; aratul frecvent determină oxidarea materiei organice din sol; eroziunea solului.

CAPITOLUL 4

ELEMENTE DE TERMODINAMICĂ ECOLOGICĂ

Cateva idei privind termodinamica non-echilibrului

În 1952, Bertalanffy făcea distincția între echilibrul adevărat al sistemelor închise și starea de tip **steady state** în sistemele deschise. Datorită fluxului energetic permanent este greu ca un sistem deschis să fie descris în termenii unui echilibru adevărat. El a văzut lumea ca o ierarhie de sisteme deschise aflate în interacțiune. Allen și Starr (1982) au introdus termenul de **HOLON**, fiecare entitate de acest fel având un loc într-o ierarhie și având schimb de substanță și energie cu mediul său înconjurător.

În 1978 Prigogine a arătat că non-echilibrul este o sursă de ordine și a numit stările dinamice **STRUCTURI DISIPATIVE**.

Teoria echilibrului este de origine darwiniană și se bazează pe importanța relațiilor biotice: reglarea dependentă de densitate a populațiilor, competiția, coevoluția comunităților. Ideile care duc la teoria non-echilibrului se bazează pe efectul factorilor abiotici (mai ales cei climatici): mărimea populației este controlată de evenimente catastrofice iar structura comunității nu este controlată de competiție.

Teoria echilibrului are câteva "defecte": sistemul populație-mediul se află în echilibru; cel puțin unele resurse sunt în mod constant limitative; mediul este saturat cu specii astfel încât nu există vreun moment de relaxare a selecției care ar favoriza un răspuns optim; optimul are aceeași valoare în timp; istoria populației nu are vreun efect; optimul teoretic poate fi întotdeauna atins.

"Împins" dincolo de pragul stabilității, un sistem suferă o bifurcație primară care oferă de fapt, două soluții "comportamentale" în loc de una. La o distanță mare față de

echilibrul termic au loc oscilații în timp; pe măsură ce crește distanța față de echilibru apar tot mai multe frecvențe de oscilație până ce, în final, trecerea la echilibru este completă. O pădure tropicală este un sistem ordonat sau unul haotic? Istoria oricărei specii apare ca fiind foarte imprevizibilă, dependentă de alte specii și de "accidentele" de mediu. Totuși, avem sentimentul că planul total al unei păduri tropicale, așa cum este ea reprezentată, de exemplu, de diversitatea speciilor, corespunde însuși arhetipului de ordine. Este clar că în unele cazuri succesiunea bifurcației formează o evoluție ireversibilă unde determinismul frecvențelor caracteristice produce un haos crescând ce își are originea în numărul mare al acestor frecvențe.

Structurile disipative corespund apariției, aparent spontane, a unei ordini, adică a unei morfologii spațiale sau temporale în sânul unui sistem alcătuit dintr-un mare număr de entități și supus unor constrângeri externe speciale. Spre deosebire de structurile de echilibru care, odată create, nu au nevoie de aport energetic extern pentru a se menține, structurile disipative sunt formate și stabilizate de către fluxul de materie și energie pe care acestea le schimbă cu mediul înconjurător.

Unul dintre aspectele cele mai interesante ale structurilor disipative este coerența sistemului în ansamblul său. După primele bifurcații sistemul pare să se comporte ca un tot, ca și când ar fi sediul unor forțe capabile să inducă ordine la distanță. O structură disipativă este o totalitate *sui generis* care prezintă un comportament de ansamblu ce nu poate fi dedus din comportamentul părților. Caracteristicile sale fenomenologice rezultă din constrângeri globale impuse de mediu (de exemplu, gradientul termic) și nu de starea locală a părților.

Determinarea relațiilor între diferite proprietăți ale materialelor, fără a cunoaște structura lor internă, este obiectul **termodinamicii**. Termodinamica s-a dezvoltat înainte de a cunoaște structura internă a materiei.

Primul principiu al termodinamicii.

Acest principiu măsoară schimburile de energie ale unui sistem fizic cu mediul înconjurător, în timpul unei transformări oarecare. Referirea se face doar la *sistemele închise*, cele a căror compoziție materială rămâne neschimbată în cursul timpului. În cursul unei transformări oarecare, variația energiei interne a sistemului depinde numai de

stările sale extreme (de starea finală și de cea inițială). Energia internă este o *funcție de stare*, ea nu depinde de istoria sistemului.

Al doilea principiu al termodinamicii

Acest principiu stabilește *sensul* în care are loc transformarea energiei (transferul de căldură). El introduce o deosebire fundamentală între *lucrul mecanic*, forma nobilă a energiei și *căldură*, forma degradată a energiei. Exprimă tendința generală de *degradare* a energiei, care se transformă în mod natural în căldură și în consecință conduce la uniformizarea tuturor temperaturilor. Acest lucru se poate formaliza introducând o funcție de stare care se numește *entropie* (de la grecescul *entropia* care exprimă ideea de "întoarcere" sau "răsturnare").

Termodinamica arată că există sisteme care pot să scape de tipul de ordine care determină echilibrul: aceste sisteme trebuie să se găsească *departe de echilibru*. În fiecare caz în care instabilitatea este posibilă trebuie stabilit punctul de plecare, distanța față de echilibru, de unde fluctuațiile pot conduce către un nou comportament fundamental, foarte diferit de comportamentul stabil "normal" caracteristic sistemelor de echilibru sau sistemelor *aproape de echilibru*. În domeniul hidrodinamicii și curgerii fluidelor turbulența a fost multă vreme identificată cu dezordinea sau cu zgomotul. Se știe însă că în timp ce mișcarea turbulentă la scară microscopică este neregulată sau haotică, la scară microscopică ea este foarte organizată. Multiplele scări ale timpului și spațiului implicate în turbulență corespund unui comportament coerent al milioane de milioane de molecule. Văzută în acest fel, trecerea de la fluxul laminar la turbulență este un proces de autoorganizare. O parte a energiei sistemului care în fluxul laminar se află în mișcarea termică a moleculelor este transferată mișcării macroscopice organizate.

Un sistem viu este foarte complex din punct de vedere termodinamic. Anumite reacții sunt aproape de echilibru și altele nu. Nu totul este "viu" într-un sistem viu. Fluxul de energie seamănă cu un râu care curge lin dar din când în când în cascadă, eliberând o parte din energia pe care o conține.

Exemplu: termita

Construirea unui cuib de termite nu presupune existența unei cantități prea mari de informație, așa cum se credea în ideea unei inteligențe colective a comunității de insecte. Construcția temeliei cuibului este mai degrabă rezultatul unei activități

dezordonate: termita transportă și aruncă bulgări de pământ la întâmplare dar impregnează totodată bulgării cu un hormon (feromon) care atrage alte termite. Astfel, într-un anumit punct se acumulează absolut întâmplător o cantitate mai mare de bulgări și aceasta reprezintă o *fluctuație inițială* în structura construcției. Fluctuația este amplificată deoarece în punctul de aglomerare apar din ce în ce mai multe termite, atrase, evident, de cantitatea mai mare de hormon.

Specialiștii în modele matematice de situații ecologice au pus problema limitelor complexității unui sistem. Cu cât sistemul este mai complex cu atât sunt mai numeroase șansele ca, pentru orice stare, fluctuațiile să fie mai periculoase. Deci, cum pot exista sisteme ecologice atât de complexe (inclusiv cele umane). Cum reușesc ele să evite haosul permanent ? Probabil că în sistemele foarte complexe, unde speciile și indivizii interacționează în diverse feluri, difuzia, adică comunicarea între punctele sistemului, este foarte rapidă. În acest caz, pragul de *nucleație* a fluctuațiilor periculoase asigură o anumită stabilitate. Astfel, complexitatea maximă atinsă prin organizarea unui sistem fără a deveni instabil ar fi determinată de rapiditatea de comunicare.

Până nu de mult lumea a fost văzută ca un sistem armonios, aflat în stare de echilibru sau foarte aproape de echilibru. În acest sens, diversitatea lumii vii este necesară pentru propria sa funcționare fiecare specie având o funcție anume adică o nișă proprie, unică. Totuși, acest statut ideal nu este ceea ce se poate observa: vremea se schimbă în mod constant; proporția și tipurile de plante și animale se modifică de asemenea; munții se erodează iar lacurile se colmatează. *Cu toate acestea, ideea echilibrului naturii persistă și domină gândirea multor oameni preocupați de managementul conservării care doresc să reducă dezordinea și să creeze un mediu nederanjat. Aceștia susțin și ideea că ecosistemele, chiar dacă nu sunt stabile în acest moment, tind spre echilibru în ciuda forțelor externe care tind să le dezechilibreze.*

Astăzi, mulți ecologi și oameni de știință în general consideră că natura nu este simplă și în echilibru ci că este complexă și nepredictibilă (Holling, May, Prigogine, Solbrig, Nicolis). Este din ce în ce mai clar că întreg universul nu este echilibrat. Perturbările și neregularitățile de tot felul nu mai sunt privite ca aberații ci ca părți integrante ale naturii. Astrofizicienii au descoperit că în momentul de origine a cosmosului (*big-bang*) a fost produs un univers unic, ireversibil și complex (Weinberg,

1977). De asemenea, ecologii au observat că practic nu există ecosisteme aflate în echilibru. Focul, furtunile și chiar uraganele sunt părți ale vieții chiar de la începuturi și fără ele ecosistemele nu pot funcționa corespunzător.

Conform noii școli de analiști de sistem ecosistemele sunt sisteme complexe care se autoorganizează. În acest context complexitatea este înțeleasă ca o capacitate a ecosistemului de a se modula în funcție de condițiile variabile ale mediului. De exemplu, dacă un uragan distruge o bună parte din copacii unei păduri mature, aceasta se adaptează și trece într-o nouă fază succesională în care sunt favorizate speciile cu ciclu scurt de viață și cu o rată accelerată de creștere. Aceste specii sunt treptat înlocuite de cele cu viață lungă până când pădurea matură, bătrână, este refăcută. Acest proces poate fi oricând întrerupt de un alt uragan sau de un incendiu. Prin autoorganizare s-a înțeles că proprietățile ecosistemului rezultă din caracteristicile speciilor componente și nu în urma unei selecții directe.

Flexibilitatea și adaptabilitatea unui sistem complex sugerează ideea alegerii între mai multe posibilități oferite. Prin această alegere se înțelege capacitatea ecosistemului de a-și modifica componența specifică și deci proprietățile rezultante atunci când este confruntat cu medii diferite (primăvara sau iarna, uscăciune sau umezeală) sau cu perturbări de tot felul. Alegerea este mediată de dinamica fluctuațiilor. Ecosistemul are strategii de scară redusă sau de lungă durată care îi permit să se adapteze în timp și spațiu.

Speciile și tipurile funcționale asigură variabilitatea pe termen scurt iar proprietățile funcționale ale ecosistemului asigură variabilitatea pe termen lung.

De exemplu, în savana tropicală se pot recunoaște anumite proprietăți ale ecosistemului cum ar fi componența în specii, productivitatea, unele caractere fenologice. Totuși, savana este permanent supusă la fluctuații spațiale și temporale ca secetă, inundații, diferențe în regimul nutrienților din sol și incendii neregulate. Aceste fluctuații modifică componența locală în specii, abundența și comportamentul fiziologic. Cu alte cuvinte, variabilitatea pe termen scurt permite sistemului savană să exploreze *spațiul savanei* adică toate stările posibile ale sistemului care poate fi considerat savană.

Un asemenea sistem complex are și caracteristici surprinzătoare. O anumită combinație de fluctuații ale mediului poate determina un amestec de specii complet nou și neașteptat care poate determina noi proprietăți ale sistemului. Într-un univers complex

și fluctuant se întâmplă lucruri neașteptate. Privită din acest punct de vedere diversitatea poate fi rezultatul unei dinamici foarte complicate a sistemelor vii. Aparenta dezordine și întâmplare la un nivel de integrare (nivelul speciei) poate produce ordine la un nivel mai înalt (comunitate, nivelul ecosistemului) dar nu datorită unui comportament determinist particular al fiecărui element ci ca rezultat al interacțiunilor colective întâmplătoare ale tuturor elementelor. Din păcate, într-o lume complexă și fluctuantă noi nu putem prevedea rezultatul dispariției speciilor și modificările funcționale ale ecosistemelor.

Marea diversitate a speciilor poate avea un dublu rol. Pe de o parte, speciile sunt instrumentele fluxului de energie și circuitului nutrienților. În timpul perioadelor stabile, când mediul este mai mult sau mai puțin uniform și previzibil speciile intră în competiție pentru resurse și selecția va favoriza cele mai eficiente genotipuri și fenotipuri. Constrângerile mediului vor avea ca rezultat dominantă tipurilor cel mai bine adaptate (puține la număr!) ceea ce explică și posibilitatea noastră de a identifica și explica tipurile funcționale.

Totuși, în perioadele cu fluctuații de mediu este favorizată mai curând capacitatea de supraviețuire decât funcționarea eficientă. Sunt selectate speciile cu o toleranță largă.

Speciile asigură ecosistemului reziliența necesară pentru a răspunde modificărilor neprevăzute.

Rolul dual al diversității explică slaba noastră capacitate de a prevedea soluțiile adaptative optime.

CAPITOLUL 5. PRODUCȚIA ECOSISTEMELOR

5.1. PRODUCȚIA PRIMARĂ

Noțiunea de **biomasă** nu include ideea de flux, de mișcare, ea este o noțiune statică. Noțiunea de **producție** exprimă ideea fluxului, viteza cu care se formează materie organică. Consumul de biomasă se referă fie la utilizarea biomasei în cadrul aceluiași compartiment (metabolismul), fie de consumatori sau de microorganisme

descompunătoare. Raportul dintre producție și consum poate ilustra variațiile biomasei într-un anumit habitat.

Producția primară este sinonimă cu **producția autotrofă**: este rezultatul fotosintezei sau chemosintezei (aceasta din urmă reprezentând doar 1‰ din totalul producției primare oceanice și este dată de bacteriile care trăiesc în zona izvoarelor hidrotermale).

Producția brută reprezintă cantitatea de carbon fixat de vegetație pe unitatea de timp.

Producția netă reprezintă diferența dintre producția brută și respirație, în același interval de timp. În condiții de lumină deficitară este posibil ca respirația să depășească producția brută; punctul în care producția brută este egală cu respirația se numește punct de compensare și pentru multe tipuri de ecosisteme este atins în momentul în care energia disponibilă pentru fotosinteză atinge o valoare critică în raport cu cantitatea de energie incidentă. Există însă specii vegetale capabile să facă fotosinteză în condiții de luminozitate redusă.

Sporul de biomasă vegetală este diferența dintre producția netă și consumul de biomasă, într-un interval de timp dat și poate avea, în unele cazuri, valori negative.

Consumul este realizat fie de organismele erbivore (consumatori primari) fie de cele carnivore (consumatori secundari); microorganismele descompunătoare degradează materia organică cu ajutorul enzimelor extracelulare și readuc în mediul de viață CO_2 și anionii și cationii nutritivi. Pentru această categorie se poate vorbi de o respirație și o excreție diferite de cele ale producătorilor primari. În acest fel, ***producția netă a întregului ciclu producători-consumatori-descompunători este nulă.***

Producția brută → respirație vegetală

↓

producție netă → spor de biomasă

↓

consum → respirație

Variația biomasei, observată într-un interval de timp dat, nu este o măsură a producției biologice: adesea se face confuzie între producție, care exprimă un **flux** și sporirea capitalului, adică a biomasei, care exprimă **fluctuațiile unei variabile de stare**. Dacă, într-o anumită perioadă de timp consumul este egal cu producția netă, atunci sistemul se află într-o stare staționară și biomasa sa rămâne constantă; dacă consumul depășește producția netă, biomasa scade; în ambele cazuri, producția are totuși valori pozitive.

În cazul exploatării unei păduri, forestierii consideră că pădurea **produce** o anumită cantitate de masă lemnoasă (care a fost tăiată): de exemplu, se afirmă că pădurea a produs 300 tone de lemn/ha. De fapt, forestierul se referă la un **spor de biomasă** care s-a realizat în cca 30 de ani și care a produs un venit economic independent de rata de înlocuire a biomasei respective. Dacă pădurea este afectată de o boală (de exemplu produsă de o ciupercă sau de omizi defoliatoare) forestierul afirmă că această pădure nu a mai produs masă lemnoasă exploatabilă. Ecologul însă interpretează acest fenomen ca o direcționare a producției spre ciuperci sau omizile defoliatoare. Deci, era necesar să se precizeze dacă se discută despre o producție în sens ecologic sau în sens economic.

Se pune întrebarea dacă biomasa planetei se află în stare staționară sau dimpotrivă, în creștere ori în scădere. Nu se poate da un răspuns, variațiile trebuie interpretate în contextul evoluției istorice. În cazul CO₂ se cunoaște că are loc o modificare a proporției sale atmosferice datorită arderilor industriale dar că această creștere nu este chiar atât de mare dacă o raportăm la ritmul acestor arderi. Desigur, biomasa vegetală are un rol important în controlul cantității de CO₂ atmosferic dar trebuie avute în vedere și alte mecanisme de reglare (mai ales sistemul de absorbție la nivelul oceanului planetar).

Dacă se raportează producția primară la unitatea de **timp**, avem atunci în vedere un flux:

- raportare la unitatea de suprafață sau volum a ecosistemului studiat: **producție** la ha, la m³ etc.
- raportare la cantitatea de biomasă responsabilă de această producție: **productivitate**, exprimată prin P / B (P fiind producția netă sau producția

brută), adică procentul de biomasă produsă în unitatea de timp. Raportarea, în acest caz, se face la dimensiunea inversării timpului (T^{-1}), de exemplu % pe zi sau % pe an. Raportul invers, B / P se numește **turn-over** sau **rata de înlocuire** (de înnoire) a biomasei (raportare la dimensiunea timpului). Astfel, dacă o biomasă produce 10% din greutatea sa într-o lună (productivitate netă), atunci turn-over-ul ei este de 10 luni.

Valorile biomasei sau productivității reprezintă o măsură a randamentului fotosintezei. Turn-over-ul este rapid și deci productivitatea ridicată în cazul algelor planctonice, care se divid la fiecare zi și astfel, $P / B = 100\%$ pe zi. Celulele algale sunt consumate în același ritm și din această cauză biomasa vegetală rămâne la valori reduse (piramida inversată). Productivitatea nu este, în același timp, atât de ridicată.

În Oc. Atlantic, în dreptul orașului New York, producția medie a fitoplanctonului este de 0,8 g C pe metru pătrat de suprafață marină și pe zi pentru o biomasă de 10 g C pe metru pătrat; productivitatea (P/B) este de 0,08 sau 8% pe zi iar rata de înlocuire (turn-over), B/P este de 12,5 zile.

În cazul plantelor superioare productivitatea este mult mai scăzută și variază, în funcție de țesut, între 2% (lemnul) și 110% (frunzele) pe an (sau între 0,006 și 0,3% în medie, pe zi). Rata de înlocuire variază între câteva luni și 50 de ani. Într-un an un arbore produce de 1,1 ori biomasa sa sub formă de frunze: insectele consumă 10% iar restul cade toamna.

Măsurarea producției primare

Metoda gresită a recoltei

Metoda constă în recoltarea și cântărirea vegetației după un interval de timp sau la intervale regulate și prezintă următoarele inconveniente:

- măsoară sporul de biomasă și nu producția. Produsul recoltat are în mod cert o valoare economică: o pajiște produce o cantitate de iarbă într-un sezon ca urmare a trei cosiri. Este evident că nu se ia în considerație mortalitatea care afectează biomasa vegetală (de exemplu cantitatea de frunze căzute și incorporate în sol) și nici faptul că, între două cosiri, o parte a cestei biomase este consumată de animale.

- dacă se execută cosiri la intervale regulate nu înseamnă că se măsoară producția de biomasă a vegetației ci doar producția vegetației cosită la intervale regulate, la sfârșitul fiecărui interval având de-a face cu un alt tip de vegetație (datorită modificării normale a compoziției floristice a pajiștii). Astfel, productivitatea estimată după primul interval este diferită de cea estimată după al doilea interval ca urmare a acțiunii de cosire: *măsurătoarea în sine, prin metoda recoltării (cosirii) a afectat chiar obiectul măsurătorii.*

De fapt, cosirea *întinerește* vegetația și accelerează faza de refacere a biomasei extrase. În acest fel, producția pajiștii cosite este mai mare decât cea a pajiștii necosite. **Producția netă a vegetației este diferită în prezența sau absența consumatorilor.**

Vegetația nu poate fi văzută izolat ci doar în contextul unui sistem de interacțiuni din care face parte.

Cel puțin în unele cazuri, măsurarea recoltei dă o valoare destul de apropiată de cea a producției primare dacă distrugerera unor organe și păscutul exercitat de erbivore nu sunt prea mari. Dacă se confirmă că în cursul unui sezon insectele, păsările și rozătoarele consumă destul de puțin din iarba unei pajiști atunci biomasa “pe picioare” (standing crop) reprezintă aproape tot ceea ce se produce în acel sezon.

Producția unui sistem *pajiște controlată de om* este diferită de cea a unei *pajiști aflată în regim natural* și dependentă de ansamblul de sisteme ecologice din care face parte. **Într-un sistem, proprietățile unui element variază în funcție de interacțiunile care au loc în cadrul acelui sistem.**

Estimarea producției pe baza cântăririi frunzelor căzute toamna este de asemenea o greșală deoarece nu ține seama de procentul de 10% consumat de diferite animale în cursul sezonului de vegetație. Mai trebuie avută în vedere și biomasa părților subterane ale plantelor care, de obicei, nu este cuprinsă în bilanț deși reprezintă până la 50% din biomasa totală. Aceasta este foarte stabilă deoarece este produsă în același ritm cu care este consumată.

Măsurarea directă a producției primare fotosintetice

Se pot măsura CO_2 fixat sau O_2 eliminat, în unitatea de timp. În ambele cazuri nu se măsoară producția netă deoarece aproximativ 50% din producția brută este simultan oxidată în procesele respiratorii ale plantelor.

Pe de altă parte, mai ales în ecosistemele acvatice, măsurarea producției primare este complicată datorită existenței unei producții heterotrofe simultană. O probă de fitoplancton conține în mod sigur și microorganisme heterotrofe. Pentru aceasta este nevoie ca proba să fie mai întâi incubată la lumină apoi la întuneric și apoi să se facă diferența (metoda sticlulelor albe și negre).

În flacoanele de experiență se poate introduce carbon radioactiv (^{14}C) măsurându-se radioactivitatea după timpul de incubare. În calcul se utilizează raportul $^{12}\text{C}/^{14}\text{C}$ înainte și după experiment.

Metoda sticlulelor albe și negre se bazează pe două ipoteze:

1. fotosinteza nu are loc la întuneric
2. respirația vegetală este aceeași la lumină și la întuneric

Ambele ipoteze sunt astăzi contestate:

1. fotosinteza continuă un timp și după scăderea luminozității: sunt folosite moleculele cu un mare conținut energetic sintetizate la lumină, în acest fel putând continua (un timp limitat) fixarea carbonului
2. lumina are o acțiune directă asupra intensității respirației

În oceanografie și limnologie se folosește astăzi metoda măsurării spectrofotometrice a cantității de clorofilă. În ecologia terestră se folosește indicele foliar, calculat pe baza estimării suprafeței foliare dintr-un sezon de vegetație în raport cu suprafața de sol umbră de coronament și care reprezintă suprafața de interceptare a radiației solare.

Influența condițiilor de mediu asupra producției primare

- Intensitatea luminii și conținutul în CO_2 al atmosferei sau apei. Creșterea intensității luminii peste o anumită limită inhibă fotosinteza. Fitoplanctonul crește cel mai bine la câțiva metri sub suprafața apei. Frunzele care au poziție oblică față de razele soarelui sunt cele mai avantajate. CO_2 acționează ca un factor limitant, conform legii minimului (un proces este limitat de acel factor cantitativ aflat cel mai aproape de valoarea sa limită): la o concentrație redusă de CO_2 producția este practic independentă de intensitatea luminii și depinde doar de CO_2 ; în cazul luminozității reduse, cantitatea de CO_2 nu influențează producția.
- Temperatura optimă este în jurul valorii de 30°C

- Umiditatea și disponibilitatea sărurilor nutritive
- Consumatorii. Dacă presupunem absența consumatorilor producția de biomasă diminuează după atingerea unui vârf situat la o vârstă și talie intermediară a vegetației. Exportul de biomasă prin consum determină vegetația să stimuleze procesele regenerative. Țesuturile tinere cresc mai repede și astfel are loc întinerirea biomasei. O exploatare corectă trebuie să țină seama de menținerea unui echilibru dinamic între producție și consum.

Mărimea producției primare

Părți ale plantei	Biomasa kg/ha	Producția netă kg/ha/an	Productiv. netă pe an
frunze	3.500	3.900	110%
ramuri, crengi	58.300	4.650	8%
trunchi	180.200	2.475	1,4%
tufe	18.000	2.055	11%
bușteni și rădăcini	54.300	1.680	3%
partea aeriană a ierbii	700	611	90%
partea subterană a ierbii	1.100	580	53%

Comparând biomasa și producția vegetală netă în diferite tipuri de ecosisteme se observă că pentru vegetația erbacee relația este lineară ceea ce denotă un raport ridicat producție/biomasă. Ecosistemele forestiere au ceva mai multă biomasă în raport cu producția dată iar cele tropicale sunt superioare productiv celor temperate.

5.2. PRODUCȚIA SECUNDARĂ

Producția secundară este producția consumatorilor (erbivore, carnivore, paraziți), a detritivorilor și descompunătorilor. Ca și în cazul producției primare se distinge o *producție brută* și o *producție netă*. Producția netă nu trebuie confundată cu sporul de biomasă: pentru un nivel trofic dat aceasta este egală cu diferența (eventual negativă) dintre producția netă și consumul executat de nivelul trofic superior.

Măsurarea producției secundare

Este o operațiune mult mai dificilă decât măsurarea producției primare:

- lanțurile trofice care participă la realizarea producției secundare sunt numeroase și interconectate
- o mare parte a biomasei secundare este consumată treptat, pe măsură ce este produsă: sporul de biomasă este nul sau chiar inferior producției nete
- nu există încă o metodă standardizată de măsurare a carbonului fixat în biomasa secundară

Măsurarea prin estimarea bilanțului nutrițional

În condiții perfect controlate, se poate face următorul bilanț:

biomasa ingerată = creșterea + respirația + urina + fecalele

Produceți rezultați în urma respirației și excreției urinare reprezintă ceea ce este asimilat și apoi catabolizat; fecalele formează o necromasă (sapromasă) care este folosită de descompunători. Este posibil să se măsoare producția secundară a unui individ dar la nivelul ecosistemului acest lucru este imposibil. Chiar dacă această metodă s-ar aplica doar anumitor specii este foarte greu să se identifice speciile care au cea mai mare contribuție la realizarea producției secundare.

Măsurarea globală prin evaluarea schimburilor gazoase sau minerale pe o suprafață dată

Se poate face prin “izolarea” unui fragment de ecosistem: probă de apă sau probă de sol.

Producția secundară în ecosisteme acvatice

Pe baza măsurării producției primare a fitoplanctonului se estimează consumul și deci producția unor organisme heterotrofe planctonice. Se lasă la incubat de la câteva ore până la o zi un flacon conținând fitoplancton și un mic număr de copepode planctonice erbivore. Bilanțul acestui experiment relevă următoarele:

1. sporirea *biomasei animale*
2. consumul algelor (grazing); este posibil să nu se observe o diminuare a biomasei vegetale datorită ratei ridicate de reproducere a fitoplanctonului
3. eliminare de resturi (fecale) pe care copepodele nu le pot digera
4. respirația copepodelor

5. excreția (azotul și fosforul excretate); respirația și excreția reprezintă procesul de catabolism suferit de substanțele asimilate

Consumul copepodelor se poate estima și prin metoda marcării biomasei vegetale cu carbon radioactiv. Aceste estimări au totuși câteva limite:

- animalele zooplanctonice sunt deranjate de celulele vegetale datorită volumului mic al flaconului
- consumul de fitoplancton poate accelera producția primară (așa cum se întâmplă în ecosistemele terestre)
- resturile eliminate sunt imediat atacate de bacterii, nutrienții minerali rezultați sunt rapid refolosiți astfel încât nu se poate estima un bilanț complet

Producția secundară a solului

Se folosește metoda indirectă de măsurare a respirației globale a solului (dozarea oxigenului și bioxidului de carbon de sub un clopot așezat pe sol și apoi evaluarea schimburilor gazoase dintre sol și atmosferă într-un interval de timp dat). Solul este un sistem heterotrof; biomasa solului este în general foarte stabilă, consumatorii biomasei aparțin ecosistemului de sol iar exportul de biomasă este nesemnificativ. Astfel, ecuația

$$\text{producția brută} = \text{sporul de biomasă} + \text{consum} + \text{respirație}$$

se poate reduce la

$$\text{producția brută} = \text{respirația}$$

Cu alte cuvinte, (1) energia intră în sol sub forma unui aport de materie organică sintetizată în mediile învecinate (frunze, rădăcini, rizomi), (2) rata de oxidare a acestei materii organice reprezintă exact fluxul de energie care traversează biomasa prezentă în sol, adică producția secundară brută.

Respirația globală a solului se estimează între 50 și 500 litri $\text{CO}_2/\text{m}^2/\text{an}$, ceea ce corespunde la 26,8 - 268 g C eliminat și unui consum de 71,5 - 715 g oxigen.

În afară de aceste **metode globale** de estimare a producției secundare se folosesc și metode indirecte:

- * măsurarea raportului dintre carbon, azot și fosfor (pentru zooplanctonul marin)
- * metoda cohortelor sau metoda lui Allen: *cohorta* este un ansamblu de indivizi dintr-o populație născuți într-un scurt interval de timp și în același loc (cohorta nu trebuie confundată cu generația deoarece mai multe generații pot contribui

la formarea aceleiași cohorte - mame și fiice care se reproduc simultan - sau aceeași generație poate da naștere mai multor cohorte prin reproduceri succesive în același sezon). Prin această metodă se calculează raportul dintre rata de creștere și mortalitate pentru o cohortă dată.

Randamentul energetic al producției secundare

Turn-over-ul sau timpul de revenire sau înlocuire este corelat pozitiv, ca timp, cu talia indivizilor: speciile cu indivizi de mici dimensiuni au *turn-over*-ul mai rapid și cresc mai repede decât cele de dimensiuni mari. O populație de *Microtus arvalis* își multiplică de 2,5 ori greutatea în fiecare an și are un *turn-over* complet odată la 4 luni; o populație de cerbi produce anual 1 / 4 din greutatea sa iar *turn-over*-ul se încheie la 4 ani; o populație de elefanți produce anual 1 / 20 din greutate iar *turn-over*-ul se încheie la 20 ani.

Eficiența energetică este raportul dintre energia care intră și cea care iese și se poate exprima în mai multe feluri:

- raportul dintre ingestia predatorului și producția netă a prăzii. Acest raport poate lua diferite valori: 1,5 - 2,5% din producția netă a părților aeriene a arborilor este consumată de insecte; 12% din producția netă a unui câmp ruderalizat este consumată ca și 60% din cea a savanei. Raportul de consum este de obicei foarte mare în ecosistemele acvatice: 80 - 100% din producția netă a fitoplanctonului este imediat consumată de zooplancton. Reacția generală a biomasei (vegetală sau animală) față de exploatarea sa poate fi sintetizată prin două aspecte: (a) dacă producția este redusă atunci o mică parte din această producție va fi consumată; (b) dacă producția este mare atunci și consumul va fi mare astfel că raportul P / B va fi mare. De asemenea, trebuie avut în vedere fenomenul de întinerire a biomasei ca urmare a consumului. Aici se poate recunoaște o proprietate sistemică: biomasa nu funcționează în același fel atunci când este izolată și atunci când este supusă consumului unui predator, în acest ultim caz fiind o parte a sistemului pradă-prădător. O asemenea proprietate favorizează menținerea lanțurilor trofice.

Totuși, capacitatea de regenerare, atât la nivelul unui organism care-și reface țesuturile cât și la nivelul unei populații care-și înnoiește efectivul este limitată deoarece sistemul nu poate depăși o limită de deteriorare. Aceasta este o regulă de bază pentru gestionarea resurselor naturale regenerabile. În legătură cu producția primară, trebuie menționat că regenerarea țesuturilor vegetale se face foarte repede, pe baza rezervelor subterane ale plantei: astfel, o exploatare rațională trebuie să țină seama nu numai de timpul necesar pentru refacerea biomasei aeriene dar și de timpul necesar refacerii rezervelor subterane.

O apreciere asemănătoare se poate face pentru producția animală. Să presupunem că un predator reduce puternic vârsta medie a unei populații pradă. Dacă indivizii foarte tineri rămași în viață nu ating maturitatea sexuală atunci populația nu se mai poate regenera. În domeniul pescuitului industrial se aplică aceste concepte prin monitorizarea cohortelor din populațiile care sunt exploatate. A fost fundamentată o disciplină numită *halieutică* și care, pe baza unor metode statistice, stabilește nivelul maxim de exploatare pe an astfel încât să nu fie compromis stocul de pești care va asigura regenerarea.

PRODUCȚIA SECUNDARĂ A NEVERTEBRATELOR DIN RÂURI

Bioenergetica studiază intrările și fluxul de energie în sistemele biologice (ecologice). Deoarece implică fluxul de energie bioenergetica este o "proprietate" dinamică și un aspect al funcțiilor ecologice (nu caracterizează aspectele structurale ca densitatea populației, compoziția comunității etc).

În râuri, macronevertebratele constituie cel mai important grup de consumatori primari și secundari. Producția secundară reprezintă formarea biomasei heterotrofe în timp, iar mărimea și dinamica acestui proces sunt funcții directe ale bioenergeticii.

$$I = A + F$$

$$A = P + R + U$$

În ecuația I este ingestia, A asimilația, F egesta (hrana defecată), P producția, R respirația, U excreția. În practică, asimilația este identificată cu producția iar respirația și excreția sunt adesea ignorate. Fiecare din acești termeni reprezintă fluxuri de energie sau carbon exprimate în unități de energie pe unitatea de timp.

În cazul unui organism, P reprezintă creșterea în timp ce pentru o populație reprezintă creșterea colectivă a tuturor indivizilor. În mod obișnuit, creșterea unui

organism în unitatea de timp este dependentă de cantitatea de hrană ingerată dar și de eficiența cu care această hrană este transformată în noi țesuturi. Există două caracteristici care determină eficiența bioenergetică:

eficiența asimilației A / I

eficiența producției P / A

În cazul macronevertebratelor lotice asimilația este foarte variabilă, de la mai puțin de 5% pentru detritivore la mai mult de 90% pentru carnivore. Eficiența producției nete arată mai puțină variabilitate și este situată la valoarea de aproximativ 50%. Astfel, un detritivor poate converti numai 2% ($\approx 0.05 \times 0.5$) din hrană în producție în timp ce un predator poate converti cam 45% ($\approx 0.9 \times 0.5$).

În cursul dezvoltării cercetărilor au fost folosite diferite unități de cuantificare a producției secundare. În mod strict, bioenergetica ar trebui să folosească unități energetice ca de pildă $\text{kcal m}^{-2} \text{an}^{-1}$ sau $\text{kJ m}^{-2} \text{an}^{-1}$. Totuși, cele mai multe studii privind animalele acvatice folosesc multe unități de masă. De exemplu, în studii de producție a peștilor se folosește adesea biomasa umedă (în stare vie sau conservată). În studiul nevertebratelor se folosește biomasa uscată. Rareori sunt folosite unitățile de carbon, ca în studiile de producție primară. Se pot utiliza formule de transformare:

1 g biomasă uscată $\approx$ 6 g biomasă umedă $\approx$ 0.9 g biomasă calcinată $\approx$ 0.5 gC $\approx$ 5kcal $\approx$ 21 Kj

Metodele folosite în măsurarea producției secundare la animale diferă foarte mult de cele utilizate în măsurătorile bioenergetice aplicate pentru microorganismele autotrofe sau heterotrofe. Abordare se face la nivel de populație și nu la nivel de comunitate.

Procedeele baza pentru măsurarea producției secundare la animale sunt stabilite de câteva zeci de ani, cu excepția metodei mai noi a mărimii - frecvenței (size - frequency). Totuși, cele mai multe studii privind macronevertebratele bentonice au fost întreprinse în ultimii 20 de ani.

A. *Turn-over-ul biomasei și conceptul P/B*

Pentru a înțelege conceptul de producție secundară este necesară lămurirea relației dintre producție și biomasă. Biomasa (B) este măsura cantității de țesuturi existentă la un moment dat și pe o unitate de suprafață (volum) într-o populație (g/m^2). Producția însă este un FLUX ($\text{g m}^{-2} \text{an}^{-1}$). Raportul P/B reprezintă o rată,

cu unități inverse de timp. Deoarece pentru o rată se pot folosi orice unități de timp se poate calcula raportul P/B anual, săptămânal, zilnic.

Raportul P/B anual pentru nevertebratele bentonice variază în general între 1 și 10 (pentru cele mai multe grupe). Totuși, s-au înregistrat valori foarte mari, de aproape 100, pentru unele diptere și efemeroptere. Valori mari ale raportului P/B sunt de asemenea posibile pentru microcrustacee și alte micronevertebrate (meiofauna). Valorile raportului P/B (ca rată) sunt funcție directă de raportul P/B al cohortei (dar nu ca rată), acesta din urmă fiind relativ constant (în jur de 5) și funcție directă de durata de dezvoltare a unei populații. Cu cât este mai scurt timpul de dezvoltare cu atât este mai mare P/B anual.

B. Importanța calculării producției secundare în studiile de ecologie

Măsurarea producției secundare a nevertebratelor lotice nu necesită prea multă informație în plus față de cea obținută dintr-o analiză a ciclului de viață (adică probe cantitative colectate la intervale regulate). Astfel, au fost făcute multe cercetări de producție pe baza datelor de densitate, rată de creștere, supraviețuire pentru o populație sau pentru specii înrudite ori făcând parte din același grup funcțional. Analizele de producție sunt extrem de utile pentru a înțelege felul în care producția și raportul P/B se corelează cu caracteristicile ciclului de viață ca și pentru compararea parametrilor de producție pentru specii din aceeași biocenoză sau pentru populațiile aceleiași specii dar din biocenoze diferite. Dacă se poate estima producția majorității populațiilor de nevertebrate din râu atunci valorile obținute pot fi combinate în grupe trofice ceea ce ușurează descrierea fluxului total de energie care are loc în comunitatea de macroconsumatori.

Analizele de producție secundară pot fi de asemenea utile în testarea unor ipoteze ecologice. Au fost dezvoltate modele ale nevertebratelor bentonice luându-se în considerație influența pe care o au mărimea organismului și temperatura asupra producției și raportului P/B. Producția este utilă în estimarea intensității cu care o populație folosește resursele de hrană. Modelul de distribuție a producției între specii care coexistă în timp permite analiza modului de împărțire a resurselor. În sfârșit, producția reflectă "succesul" populației deoarece include componentele acestui "succes": densitate, biomasă, rata de creștere individuală, reproducerea, supraviețuirea, durata de dezvoltare. Poate fi folosită ca o variabilă de răspuns în studii experimentale care urmăresc interacțiunile biotice specifice dintr-un ecosistem, în cursul manipulării acestuia.

METODE DE ESTIMARE

Orice metodă implică probarea cel puțin lunară într-un interval de un an. Uneori, pentru taxonii cu ciclu scurt de viață sunt necesare probări mai dese dar, dimpotrivă, se acceptă și probări mai rare pentru taxonii cu ciclu lung de viață.

Alegerea locului de probare

Această alegere nu este limitată de mărimea râului ci mai degrabă de accesibilitatea locului din care se pot lua probe cantitative. Dacă locul ales are mai multe tipuri de substrat (pietriș, stânci, trunchiuri submerse) atunci este necesară probarea individuală a fiecărui habitat, de câte o echipă separată. În cazul unui studiu mai scurt de un an, șeful echipei trebuie să cunoască taxonii ca și câte ceva despre ciclurile de viață ale acestora, în acest fel fiind capabil să aleagă acele grupe și metode care să permită, în timpul respectiv, obținerea de date utile. De exemplu, multe specii de trioptere și efemeroptere au cicluri de viață relativ sincrone iar o cohortă poate fi urmărită pe toată durată vieții sale. În unele cazuri, sincronismul de creștere este limitat la o durată de numai 3-6 luni.

Metode de bază pentru estimarea producției secundare

Aceste metode pot fi clasificate în două categorii principale:

- tehnicile bazate pe studiul cohortelor
- tehnicile care nu se bazează pe studiul cohortelor

Metoda mărime - frecvență

(nu se bazează pe studiul cohortelor)

Există două feluri de abordare a metodei, ambele necesitând aproximări independente ale duratei de dezvoltare și duratei de creștere a biomasei. Această metodă a *marimii-frecvenței* a fost foarte mult folosită în cazul nevertebratelor bentonice. Se bazează pe presupunerea că o distribuție medie a *mărimii-frecvenței* determinată pentru probele colectate în cursul unui an aproximează o curbă de mortalitate pentru o cohortă medie. Se poate exemplifica prin studiul întreprins asupra unei specii de efemeropter din emisfera sudică: scăderea în densitate ($\sum N$) de la o categorie de mărime (de ex. lungimea) la următoarea categorie se înmulțește cu biomasa medie obținută pentru categoriile de mărime ($\sum W$). Înainte de adunarea rezultatelor înmulțirii ($\sum W \times \sum N$) pentru fiecare clasă de mărime, fiecare valoare se înmulțește cu numărul total al claselor de mărime. Aceasta este o operațiune necesară deoarece se presupune că timpul total de dezvoltare este de 1

an și că în acest timp numărul de cohorte este egal cu numărul claselor de dimensiuni (mărime). Raportul P/B al cohortei este egal cu suma biomaselor medii anuale care se împarte la suma producției pentru un an de viață. În cazul studiat, raportul P/B este mai mare decât cel așteptat deoarece o mică parte a populației atinge clasele mari de mărime.

Dacă timpul de dezvoltare este mai mare de 1 an trebuie aplicat un *factor de corecție* pentru calculul *mărime-frecvență*. Aceasta înseamnă o multiplicare cu $365/\text{CPI}$, în care CPI (*cohort production interval*) este timpul mediu de dezvoltare de la eclozare până la atingerea mărimii finale. În exemplul dat în tabelul de mai jos a fost estimat un CPI mediu de 5 luni prin interpretarea ciclului de viață cu ajutorul *histogramelor mărime-frecvență*. Astfel, producția anuală calculată a fost de $352.5 \times 12/5 = 846.1 \text{ mg m}^{-2} \text{ an}^{-1}$, cu un raport P/B anual de 22.9. Aceste estimări pot fi diferite dacă se folosește un calcul geometric al biomasei medii individuale, în loc de un calcul linear. Alegerea unui tip de calcul nu generează însă diferențe prea mari.

Dacă CPI este de 30 zile, deci foarte scurt, este necesară o corecție mai mare, $365/30 \approx 12$. Dacă nu este posibilă aproximarea CPI cu ajutorul datelor de teren este necesară rarefacția (reared) populației în laborator sau pe teren.

CPI este invers proporțional cu rata de turn-over a biomasei. Astfel, dacă CPI este de 30 zile, atunci P/B anual = P/B al cohortei $\times 365/\text{CPI} \approx 5 \times 365/30 \approx 60$ (ceea ce este o valoare destul de mare).

Model de calculare a producției anuale la *Tasmanocoenis tonnoiri* prin metoda *mărime-frecvență*

Lungime mm	Densitate ind/mp N	Biomasă ind. mg W	Pierderi no./mp ΔN	Biomasă mg/mp N x W	Biomasă la pierdere mg $W = W_1 + W_2/2$	Biomasă pierdută mg/mp $W\Delta N$	Timp pe număr de clase de mărime $W\Delta N \times 6$
0.5	706.0	0.001	-142.0	0.71	0.011	-1.49	(-8.95) ^a
1.5	848.0	0.02	730.0	16.96	0.050	36.50	219.00
2.5	118.0	0.08	72.0	9.44	0.130	9.36	56.16
3.5	46.0	0.18		8.28			

			42.0		0.265	11.13	66.78
4.5	4.0	0.35	3.7	1.40	0.435	1.61	9.66
5.5	0.3	0.52	0.3	0.16	0.520	0.16	0.94
				Biomasa = 36.94			Producția (necorecta tă) = 352.5 Prod. anuală = 846.1 (adică P x 12/5)

Raportul P/B al cohortei = 9.5

Raportul P/B anual = 22.9

Obs. Coloana densităților (cohorta medie) este valoarea medie pentru probele colectate în cursul unui an. P este producția, B biomasa medie iar W (cu bară deasupra) masa individuală medie dintre două clase de mărime. Valoarea negativă care apare în ultima coloană este un artefact determinat probabil de probarea inefficientă a celei mai mici clase de mărime sau de creșterea rapidă în intervalul dintre două clase.

Metoda creșterii instantanee

Implică calcularea ratei instantanee de creștere zilnică

$$g = \ln (W_{t + \Delta t} / W_t) / \Delta t$$

în care W_t este masa medie a unui individ la timpul t , $W_{t + \Delta t}$ este masa medie a unui individ la timpul $t + \Delta t$ iar Δt durata intervalului de timp. Rata de creștere este estimată fie în laborator, fie pe teren în condiții controlate. Această metodă poate fi utilizată și ca o metodă a cohortei dacă creșterea medie a indivizilor este urmată de probe secvențiale din teren. Producția zilnică se poate calcula simplu după formula

$P_d = g \times B$ în care B (cu bară deasupra) este biomasa medie a populației pentru două date consecutive, în unități g/m^2 . Cea mai corectă estimare se obține atunci când este posibil să se determine rata specifică de creștere în funcție de mărime și temperatură. Astfel, producția clasei de mărime "i" este

$P_i = g_i \times B_i$, unde g și B sunt rata de creștere și biomasa medie pentru clasa "i" de mărime. Producția zilnică totală este suma producțiilor pentru toate clasele de mărime:

$$P_d = g_1 B_1 + g_2 B_2 + \dots + g_f B_f$$

Probarea cantitativă

Se pot folosi sampler-e de tip Surber sau Hess pentru substrate mai dure sau un corer pentru cele mai moi. În orice caz se recomandă colectarea de replicate pentru a obține limita de confidență pentru densitate și biomasă și de asemenea probarea randomizată. Estimarea confidenței (eroarea standard) pentru densitate și biomasă este ușor de făcut, în schimb este foarte dificilă pentru producție (și controversată), deoarece este greu de obținut o valoare a varianței ratei de creștere în teren sau a duratei de dezvoltare.

Pentru râuri se recomandă probarea de habitate diferite și determinarea producției pentru fiecare habitat în parte. Dacă habitatele pot fi cuantificate atunci este posibilă estimarea producției totale a sistemului.

Determinarea relației dintre lungime și masă

În orice studiu privind producția este obligatorie determinarea valorilor de biomasă. Produsul dintre lungime-masă specifică (mg/individ) și densitate duce la estimarea termenului mărime-biomasă specifică (mg/mp). Însurarea valorilor de biomasă pentru toate grupele de mărime dă biomasa populației.

Relația dintre lungimea și greutatea individului dintr-un taxon dat se poate calcula de obicei printr-o ecuație lungime/masă. Cele mai bune rezultate se obțin cu animale proaspăt colectate dar acestea sunt comparabile cu cele obținute pe animale conservate în formalină.

Este necesară o aproximare de 0.1 mm la lungime și 0.01 mg la greutate după uscarea timp de 24 ore la 60°C. Pentru minimum 20 măsurători se poate aplica o regresie lineară de forma

$$\ln W = \ln a + b \ln L$$

în care W este masa individuală, L lungimea, a este o constantă iar b panta curbei de regresie. Această ecuație este echivalentul linear al unei curbe exponențiale de tip

$$W = aL^b$$

Deoarece este de așteptat o relație cubică între L și W , b poate fi apropiat de 3 în mod rezonabil.

Dacă nu se poate determina relația lungime-masă se pot utiliza date din literatură, dar apropiate de taxonul respectiv (de exemplu, constantele de regresie ale lui Smock, pentru diferite grupe de insecte acvatice).

CÂTEVA CONCLUZII LA ÎNCHEIEREA CAPITOLULUI DE ENERGETICĂ ȘI PRODUCTIVITATE

Distribuția producției primare pe glob

Modelul de distribuție este foarte variat depinzând de o multitudine de factori limitanți. Astfel, producția oceanului deschis (zonele de larg) este limitată de disponibilitatea redusă a nutrienților iar producția deșertului este limitată de disponibilitatea redusă a apei. Aceste tipuri de ecosisteme, ating o rată anuală de producție de numai 1000 kcal/mp (și chiar mai puțin). Deși foarte diferite ca structură au în comun această valoare a productivității determinată de factori limitanți specifici.

Iată că în ciuda deosebirilor structurale, ecosistemele, ca sisteme ecologice fundamentale, funcționează după aceleași legi, în condițiile abiotice date.

Multe pajiști, lacuri puțin adânci și comunități agricole obișnuite ating o producție de 1000 - 10.000 kcal / mp / an.

Estuarele, recifii de corali, pădurile umede, zonele umede și terenurile cultivate intensiv ating producții de 10.000 - 25.000 kcal / mp / an.

O apreciere globală a producției biosferei arată că 3 / 4 din ecosferă au “valoare” de deșert sau ocean deschis și numai 10% valoare de teren foarte fertil. Totuși, trebuie apreciată valoarea serviciilor și a altor bunuri în afară de hrană, oferite de zonele mai puțin productive.

Hrană pentru populația umană

Dublarea producției agricole a însemnat, în multe cazuri, un consum înzecit de energie pentru mecanizare, fertilizare, irigații și controlul dăunătorilor. Aceste costuri enorme ar putea fi reduse prin creșterea eficienței în folosirea energiei.

Se studiază metode genetice de creștere a așa numitei **harvest ratio**, adică raportul dintre partea comestibilă și cea necomestibilă a unei recolte. Succesele obținute pentru unele cereale au fost considerate o adevărată *Revoluție verde*. De pildă, în cazul orezului, care înmagazinează numai 20% din producție în semințe, s-au obținut hibrizi care ajung la 80%. Această recoltă “miraculoasă” este însă foarte costisitoare și explicația este dată de evaluarea folosințelor energetice ale plantei.

20% din energia plantei este suficientă pentru asigurarea dispersiei sub formă de semințe (pe care noi le recoltăm în vederea consumului alimentar), restul de energie fiind folosită pentru menținere, structuri de rezistență, apărare față de consumatorii erbivori. O plantă “obligată” genetic să dirijeze 80% din energie spre semințe este neputincioasă în mediul ei natural și devine dependentă de om care cheltuie foarte mult cu îngrijirea sa.

Există părerea că țările sărace, mai ale cele din lumea a treia, capătă un ajutor substanțial dacă primesc semințe ale soiurilor înalt productive, obținute prin metodele genetice de laborator. Nu se au în vedere însă costurile enorme care sunt necesare pentru menținerea acestor culturi, extrem de fragile și pretențioase.

Pe de altă parte, USA, UE și Japonia au dezvoltat o strategie care duce la reducerea terenurilor agricole și obținerea de recolte cu un conținut proteic ridicat (de exemplu, soia) ceea ce înseamnă “calitatea reduce cantitatea”; țările slab dezvoltate continuă agricultura extensivă și cultura unor specii cu conținut proteic redus (de pildă, trestia de zahăr) ceea ce înseamnă “cantitatea reduce calitatea”.

Cât de rentabilă este creșterea animalelor? Deși există părerea că utilizarea pe o scară mai largă în alimentația din țările bogate a produselor vegetale totuși, nu trebuie să uităm că animalele domestice valorifică o mare cantitate de vegetale inaccesibile omului.

Aspectele politice ale economiei mondiale ar trebui să țină seama de aspectele ecologice globale. Defrișarea pădurii tropicale pentru a face agricultură are două urmări negative:

- solul fostei păduri pierde repede puținii nutrienți pe care-i are (în pădurea tropicală nutrienții nu se acumulează în sol, fiind reciclați în rețelele trofice foarte complicate)
- distrugerea pădurii afectează condițiile de viață ale planetei

Hrană pentru animalele domestice

Se apreciază că biomasa șeptelului mondial este de 5 ori mai mare decât biomasa populației umane ceea ce înseamnă și un consum mult mai mare din producția primară netă a biosferei. Raportul șeptel / om este de 43 / 1 în Noua Zeelandă unde oile domină peisajul și de numai 0,6 / 1 în Japonia unde peștele înlocuiește în general carnea de păsări și mamifere.

Hrană din ocean

În prezent, numai 5% din hrana populației umane provine din ecosistemele acvatice; valori locale mai mari se înregistrează în Japonia, sud-estul Asiei și America de Nord unde există estuare, lacuri și râuri foarte productive. Pescuitul din ocean a scăzut, cauzele fiind supraexploatarea stocurilor și poluarea. Ca și în agricultură, producțiile obținute prin acvacultură necesită multă energie auxiliară.

Producția de combustibil și fibre

Pentru mai mult de jumătate din populația umană lemnul este principalul combustibil folosit pentru gătit, încălzit și iluminat. În țările cele mai sărace lemnul este ars mult mai repede decât se poate regenera și astfel pădurile se transformă în tufărișuri iar apoi în terenuri aride (la aceasta contribuind și suprapășunatul). În America de Nord se utilizează și combustibil provenit din agricultură și există diferite strategii pentru conservarea pădurilor:

1. plantarea unor copaci cu viteză mare de creștere în sistem rapid de recoltare și replantare
2. utilizarea întregii mase lemnoase extrasă prin tăiere, nu numai a trunchiurilor
3. reducerea cererii de masă lemnoasă pentru industria celulozei și hârtiei prin măsuri de reciclare a hârtiei
4. folosirea resturilor organice pentru producere de biogaz
5. folosirea alcoolului obținut din prelucrarea trestiei de zahăr

Repartiția energiei în rețelele trofice

În ciuda consumului tot mai crescut, populația umană nu folosește în mod direct decât 4% din producția primară netă terestră dar încă 34% reprezintă biomasa neutilizată (resturi neutilizate ale recoltei) ca și cea distrusă mai ales prin defrișare. Se apreciază că 50% din producția terestră și aproape toată producția acvatică rămân disponibile pentru

consumatorii naturali. Este un aspect foarte important deoarece funcționarea rețelelor trofice naturale asigură suportul vieții și menține schimburile globale.

Cel puțin o treime din producția primară trebuie să rămână la dispoziția ecosistemelor naturale pentru a asigura viitorul recoltelor și al pădurilor.

Datorită producției plantelor se constituie trei categorii majore de lanțuri trofice:

- * erbivore, care utilizează ca resursă primară, țesuturile vii ale plantelor
- * detritivore, care utilizează resturi moarte (atenție, resturile pot fi și de natură animală)
- * microbiene și de materie organică dizolvată (uneori, o parte importantă a producției primare se găsește în stare lichidă -materie organică dizolvată).

Consumatorii sunt microorganisme care au nevoie de azot, insecte, păsări și micromamifere care se hrănesc cu nectar. Cele mai multe lanțuri trofice de acest fel se găsesc în mări și în rizosferă.

Cele mai multe ecosisteme funcționează ca sisteme detritice, doar 5-10% din producția plantelor fiind consumată în mod direct. Acest procent este atât de redus tocmai pentru a permite construcția de biomasă structurală ca și menținerea capacității de tamponare a ecosistemului. Chiar dacă în unele ecosisteme (pășuni sau bălți) consumul erbivor este mult mai mare, până la 50 %, trebuie reținut că acest lucru este limitat pentru o singură perioadă a anului. Unele consumatoare de material vegetal formează simbioze cu bacterii celulozolitice (marile erbivore rumegătoare, termitile).

Multe lanțuri trofice depind de acele formațiuni ale plantelor care sunt legate de procesul de reproducere: nectar, polen, semințe, fructe.

Consumul bazat pe detritus este un proces complex care implică nu numai bacterii dar și protozoare, nematode și acarieni în ecosistemele terestre ori crustacee și larve de insecte în ecosistemele acvatice.

Clasificarea energetică a ecosistemelor

1. Ecosisteme care funcționează în regim natural, fără adaos de energie (oceanul deschis, pădurile de câmpie), cu un flux de numai 1000 - 10.000 kcal / mp / an dar cu o mare întindere pe glob ceea ce le face foarte importante ca sisteme suport ale vieții.

2. Ecosisteme care funcționează în regim natural dar cu adaos de energie (estuare controlate de maree și unele păduri umede) și care nu numai că sunt sisteme suport ale vieții dar se caracterizează și printr-o producție mare de materie organică (exces de producție) care este exportată în alte ecosisteme sau stocată. Fluxul energetic atinge 10.000 - 40.000 kcal.
3. Ecosisteme controlate de om, cu adaos de energie (agrosisteme), cu un flux de 10.000 -40.000 kcal.
4. Ecosisteme urbane care funcționează cu energia furnizată de combustibili și al căror flux atinge valori foarte mari, 100.000 - 3.000.000 kcal.

Capitolul 6

BIODIVERSITATEA ȘI IMPORTANȚA EI ÎN MONITORIZAREA MEDIULUI

Biodiversitatea sau diversitatea biologică se referă la elementele componente ale ecosferei, elemente care fac parte din ierarhia sistemelor biologice și ecologice. Biodiversitatea este rezultatul unor **processe evolutive** care au generat întreaga varietate a organismelor vii permițând existența vieții sub o multitudine de forme.

În privința înțelegerii biodiversității există două puncte de vedere principale, distincte:

1. un punct de vedere reduționist
2. un punct de vedere integralist (holist)

Punctul de vedere reduționist a fost susținut în primul rând de sistematicieni, care considerau că prin biodiversitate se înțelege doar diversitatea taxonomică și de aceea multe specii au fost considerate a fi în pericol (lista roșie a crescut foarte mult).

Creșterea numărului de specii considerate a fi în pericol a dus la impunerea de restricții în folosirea resurselor.

Pe de altă parte acest punct de vedere este împărtășit de geneticieni care susțin că prin biodiversitate se înțelege doar diversitatea patrimoniului genetic al speciilor, limitând biodiversitatea doar la suportul ei genetic.

Din punct de vedere istoric, discuțiile privind efectele diversității asupra proprietăților și proceselor ecosistemelor s-au bazat în mare parte pe terminologia folosită de McNaughton . Acest lucru este inevitabil atunci când termeni foarte complecși și multidimensionali ca diversitate, stabilitate, funcțiile ecosistemului, sunt folosiți împreună.

Relația dintre diversitatea biologică și funcțiile ecosistemului se poate exprima prin mai multe forme. Se pune întrebarea dacă pe măsura creșterii numărului de specii într-un ecosistem funcțiile acestuia sunt modificate. La o extremă a interpretării, această relație poate fi lineară: fiecare specie adițională modifică constant funcțiile ecosistemului. Acest tip de relație este valabil pentru un spectru larg al diversității. (tipul 1). Funcția poate fi asimptotic descrescătoare: are loc o dispariție a efectelor pe măsura adăugării de specii (tipul 2). În final, la cealaltă extremă a interpretării, nu se constată vreo relație doar când se ia în considerare câte o specie reprezentativă din fiecare grup funcțional important (cum ar fi plantele sau descompunătorii)(tipul 3). Astfel se ilustrează influențele diversității biologice ca factor singular care afectează biogeochimia ecosistemului, aceasta fiind, de multe ori mai "puternică" decât diversitatea.

Diversitatea “ în sens larg” (integralist) trebuie să fie analizată în următoarele planuri (mod de interpretare O.N.U.):

Diversitatea sistemelor ecologice ca sisteme-suport ale vieții.

Aceasta reflectă în aceeași măsură diversitatea sistemelor biologice de rang superior speciei (biocenoze, complexe de biocenoze, biomi, biosfera) integrate în ierarhia biologică de organizare precum și diversitatea unităților hidrogeomorfologice.

Diversitatea sistemelor biologice de rang specie și a taxonilor din cadrul ierarhiei taxonomice.

Diversitatea structurii genetice a populațiilor și speciilor, respectiv a “resurselor genetice” (inclusiv a speciei *Homo sapiens sapiens*).

Diversitatea etno-culturală a sistemelor socio-economice

Palierul 1, 2 și 3 reflectă ceea ce se numește **CAPITALUL NATURAL** iar palierul 4 reflectă **CAPITALUL CREAT DE POPULAȚIILE UMANE** (experiență, construcții, spiritualitate etc.)

Acest mod de înțelegere reprezintă o abordare ierarhică a biodiversității.

Cronologia noțiunii de biodiversitate:

1980-Lovejoy utilizează noțiunea de "diversitate biologică" în sensul de număr de specii prezent, dar nu dă o definiție formală;

1980-Norse & McManus folosesc termenul de diversitate biologică pentru a include "două concepte înrudite: diversitatea genetică și diversitatea ecologică"; diversitatea ecologică este folosită aici în sensul bogăției de specii-"numărul de specii dintr-o comunitate"

1981-Elliot Norse și colegii săi prezintă câteva considerații la Conferința "Strategia SUA privind Diversitatea Biologică"

1982-Departamentul de Stat al SUA publică Raportul Conferinței "Strategia SUA privind diversitatea ecologică"

1985-Walter G. Rosen introduce termenul de "biodiversitate" în materialele pregătitoare pentru "Forumul Național de BioDiversitate"

1986- Norse & all. extinde utilizarea noțiunii de biodiversitate pe trei nivele: genetic (intraspecific), specific (numărul de specii) și ecologic (diversitatea biocenozelor)

1988-Wilson editează lucrările prezentate la "Forumul Național de BioDiversitate" într-un volum intitulat "Biodiversitatea"; termenul este definit de Wilson

foarte vag, iar lucrările lui Norse nu sunt citate în nici una din cele 57 de contribuții la respectivul volum

1988-Cuvântul Biodiversitate apare pentru prima dată în baza de date bibliografică BIOSIS (Biological Abstracts)

1992-"Convenția asupra Diversității biologice" este semnată de 156 de state, plus Comunitatea Europeană; la Conferința Națiunilor Unite asupra Mediului și Dezvoltării se definește biodiversitatea în sensul lui Norse: "-Diversitatea biologică înseamnă variabilitatea organismelor vii cu origine în toate sursele, incluzând "inter alia" sistemele terestre, marine și alte sisteme acvatice, precum și complexe ecologice din care acestea fac parte; aceasta include diversitatea din cadrul speciilor, diversitatea dintre specii și diversitatea ecosistemelor".

1994-cuvântul Biodiversitate apare în baza de date bibliografică BIOSIS ("Biological Abstracts") cu 888 referințe citate.

Capitalul Natural

Diversitatea sistemelor ecologice (ecodiversitatea) se referă la tipurile de ecosisteme la nivel local și/sau regional. Una din problemele pe care le ridică evaluarea acestui "palier" de analiză a biodiversității este legată de identificarea ecosistemelor.

Ecosistemele se pot clasifica după mai multe criterii:

1. după tipul major de habitat: *ecosisteme acvatice și terestre*
2. după *impactul antropic*: naturale, seminaturale și antropizate
3. după *caracteristici structurale* referitoare la abundența și distribuția speciilor: ecosisteme de dimensiuni și forme diferite, durata de viață, importanță etc.
4. după *caracteristicile funcționale*, cum ar fi capacitatea de fixare, stocare și transfer a nutrienților și apei
5. după *tipurile funcționale* referitoare la abundența și distribuția unor caracteristici funcționale cum ar fi fixarea azotului, descompunerea materiei organice, rolul polenizatorilor și a unor prădători de vârf etc
6. după *natura și importanța bunurilor și serviciilor* furnizate sistemului socio-uman

7. după *capacitatea de refacere* sau rezistența la modificări
8. după *stadiul succesional* : ecosisteme tinere și mature

Diversitatea sistemelor ecologice reprezintă planul superior în care se face analiza biodiversității și înseamnă :

- a. identificarea tipurilor (categorii) de ecosisteme sau chiar sisteme ecologice de rang superior (complexe de ecosisteme regionale)
- b identificarea distribuției spațiale a acestor sisteme ecologice
- c ponderea de reprezentare (dacă structura ecologică este echilibrată sau dezechilibrată)
- d gradul de fragmentare care vizează în special sistemele ecologice de rang superior. Datorită dezvoltării sistemului social-uman, complexe de ecosisteme sunt fragmentate, se formează bariere care întrerup dispersia speciilor. Acest lucru face ca la nivelul fiecărei “insule” mărimea efectivului să fie mai mică sau egală decât nivelul critic.

La nivelul Europei există un program de identificare a structurii ecologice, **Programul Corine**. Programul încearcă să identifice tipurile de sisteme ecologice folosind o metodologie standard, unitară, în așa fel încât rezultatele să fie comparabile la nivel european.

Clasificarea ecosistemelor ia considerare particularitățile covorului vegetal, structură care imprimă particularități întregii biocenoză. Inițial s-au stabilit 8 categorii de ecosisteme: forestiere, zone cu pășuni, râuri, zone de coastă (delte, lagune), zone stâncoase, mlaștini, zone aride (deșerturi) și lacuri. În cadrul fiecărei categorii sunt recunoscute 45 de subcategorii (tipuri de habitat). S-a lucrat cu 1250 de unități distincte recunoscându-se totuși că această diferențiere a componentelor și structurii ecosistemelor este puternic limitată de datele existente.

Concluziile acestui program au fost: ecosistemele s-au restrâns ca pondere, și chiar din unele țări anumite tipuri de ecosisteme s-au pierdut ori au o pondere prea mică și nu pot asigura menținerea unor specii. Datorită disproporției de reprezentare și datorită fragmentării este necesară adoptarea unor măsuri de evitare și limitare a modificărilor care afectează structura ecologică a Europei.

În România, există foarte multe lacune la acest nivel de cunoaștere a diversității sistemelor ecologice, explicabile prin lipsa datelor cu privire la diferite tipuri de ecosisteme. Nu se cunoaște numărul tipurilor de ecosisteme naturale existente, dispunerea și ponderea lor pe teritoriul României.

Diversitatea speciilor

Diversitatea speciilor măsoară numărul de specii la nivel local, regional sau global. Principala dificultate constă în identificarea unităților operaționale, respectiv speciile.

Diversitatea speciilor poate fi privită sub două aspecte:

- **diversitate structurală** înțeleasă ca număr de specii și abundență relativă
- **diversitate funcțională** a biocenozelor care se referă la heterogenitatea grupelor funcționale, adică rolul speciilor (populațiilor) în: desfășurarea fluxului de energie, în circuitul nutrienților și realizarea autocontrolului..

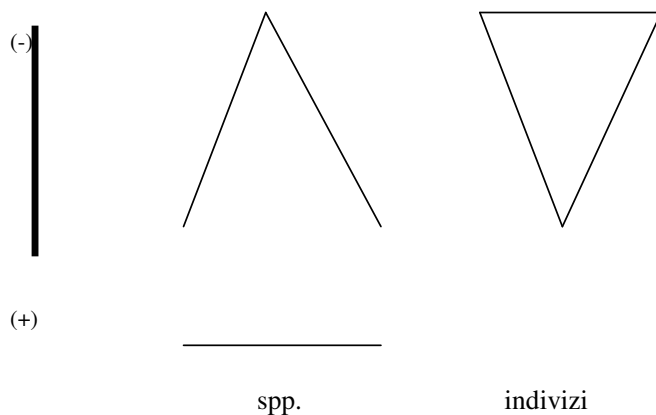
În privința heterogenității grupelor funcționale există două explicații posibile:

- redundanța speciilor;
- tendința de maximizare a fluxului de energie

Tendința de maximizare a fluxului de energie este strategia oricărui ecosistem, exprimată prin creșterea intrărilor de energie și a eficienței utilizării energiei. Se ridică totuși două probleme:

- **Care sunt cauzele (factorii) care determină numărul de specii?**
- **Care este semnificația biologică a numărului de specii?**

Legat de prima problemă există un principiu al lui Thienemann conform căruia în condiții favorabile numărul de specii dintr-o biocenoză este mare, iar fiecare specie este reprezentată printr-un număr relativ mic de indivizi. În condiții severe este invers, numărul de specii scade și crește numărul de indivizi din fiecare specie.



A doua problemă se explică astfel: o anumită diversitate funcțională este o condiție de existență a oricărui sistem ecologic. Astfel, diferențierea în cele trei grupe funcționale (producători primari, consumatori I și consumatori II și descompunători) este o necesitate pentru existența oricărei biocenoze, deoarece asigură transferul de substanțe și energie. Diferențierea formelor în cadrul fiecărui nivel trofic permite creșterea intrărilor de energie – strategia esențială a ecosistemelor. Diversitatea este un mecanism prin care se realizează această maximizare a fluxului de energie; drept rezultat colateral al creșterii diversității și deci a conexiunilor dintre componentele biocenozei; fiecare populație este supusă unui control multiplu din partea altor populații și ca urmare crește stabilitatea.

Creșterea stabilității nu înseamnă tendința către valori maxime, ci către valori optime (principiul lui Margalef), deci stabilitatea înseamnă tocmai menținerea structurii și organizării biocenozei care asigură intrarea acelei cantități de energie cât mai apropiată de cantitatea optimă (în condițiile impuse de structura biotopului). O dovadă a acestei corelații este faptul că în ecosistemele în care sunt disponibile și alte surse constante de energie în afară de cea solară, numărul canalelor de intrare nu trebuie să fie prea mare și astfel dispare necesitatea creșterii diversității; totuși, stabilitatea acestor ecosisteme este mare, ca rezultat al manifestării trăsăturilor particulare ale biotopului.

De exemplu, în izvoarele termale și lacurile hipersaline, condițiile abiotice sunt cele ce controlează, prin severitatea lor ecosistemul și determină stabilitatea acestuia.

În acest context se pot discuta două aspecte:

- ♦ preponderența controlului exercitat fie de diversitate fie de factorii de biotop (pădurea tropicală în primul caz și tundra în al doilea caz)
- ♦ rolul diversității în asigurarea stabilității în cazul unor ecosisteme echilibrate și în cazul unor ecosisteme dezechilibrate

Ce sunt speciile redundante?

Speciile redundante sunt specii considerate identice din punct de vedere funcțional. Există păreri conform cărora, nu ar fi nici o problemă dacă unele specii dispar, pentru că locul lor este luat de altele, care îndeplinesc același rol. Astfel, această teorie presupune că toate speciile sunt egale în sens funcțional.

În realitate, speciile diferă unele față de altele iar importanța unei specii pentru funcționarea ecosistemului nu trebuie văzută într-o manieră statică (importanța într-un anumit moment), ci într-un sens dinamic. Acest lucru se datorează faptului că ecosistemul își modifică atât structura cât și modul de funcționare ca urmare a modificării în timp a factorilor abiotici, iar o specie, care are o importanță “minoră” în existența și funcționarea ecosistemului poate, în timp, să devină esențială pentru existența acestuia.

Chiar dacă am presupune că o astfel de teorie ar fi adevărată totuși raționamentul ei se poate "bloca" într-un alt punct, legat de componenta timp -pe cât timp putem accepta această înlocuire a speciilor unele cu altele și cât de vulnerabil este un astfel de ecosistem?

Redundanța poate fi interpretată însă și dintr-un alt punct de vedere.

Examinarea oricărui fenomen și proces ce are loc la nivelul ecosistemului trebuie apreciată prin raportarea lor la ierarhia sistemelor ecologice. Din punct de vedere teoretic redundanța structurală nu există, pentru că nu există doi indivizi identici din punct de vedere genetic, după cum nu există două populații conspecifice identice. Și pentru că orice structură biologică este funcțională, nici din punct de vedere funcțional nu există o

identitate absolută. Redundanța funcțională devine o realitate dacă raportăm procesele la scara nivelurilor ierarhice ale organizării sistemului.

Caracterul redundant sau nu al speciilor ce intră în structura ecosistemului depinde totuși de nivelul ierarhic la care ne raportăm. De exemplu, dacă ne referim la compartimentul bentos al sistemelor lotice, el este alcătuit în principal, luând în considerare criteriul resursei trofice utilizate, din detritivori și prădători, ghilde ale căror funcție este producția secundară. Între speciile componente a celor două ghilde relațiile sunt multiple și variate. Ele depind de abundența relativă a speciilor componente: dacă densitatea unei specii scade semnificativ, alta din aceeași gildă îi ia locul prin așa numita compensație dependentă de densitate. Tocmai această redundanță funcțională reprezintă un mecanism important de control a stabilității funcționale a ecosistemului..

Totuși, redundanța funcțională a multor specii care alcătuiesc ghidele sau categoriile funcționale este o realitate și reprezintă un mecanism de reglaj al stabilității (Botnariuc, 1999)

Variația spațio-temporală a diversității speciilor-Gradienti de diversitate

Există mai mulți gradienti spațiali de diversitate

1 Scăderea diversității păsărilor, mamiferelor, peștilor, șopârlelor și arborilor pe gradientul S-N în America Centrală și America de Nord. Explicațiile gradientului latitudinal de diversitate a speciilor pot fi :

- tropicele reprezintă un mediu mai puțin variabil
- zonele tropicale joase și umede nu au suferit prea multe modificări majore ca zonele de latitudini mari
- la tropice nișele se diferențiază cu mare finețe (Walker, 1989)
- suprafața mai mare a uscatului la tropice (Rosenzweig, 1989). Sunt trei explicații posibile pentru creșterea diversității în raport cu suprafața:
 - a. artefact al eșantionării
 - b. rezultatul unui echilibru între extincție și imigrație/colonizare (teoria biogeografică insulară)
 - c. rezultatul heterogenității mediului; suprafața mai mare permite mai multe tipuri de habitate cu grupuri diferite de specii.

2. În oceane diversitatea descrește de la platforma continentală, unde hrana este abundentă, însă mediul variabil, spre apele adânci, unde hrana este mai puțin abundentă, însă mediul stabil;
3. Zonele montane posedă mai multe specii decât șesul. Munții, structuri spațiale complexe, sunt mai heterogeni decât câmpiile. Diversitatea specifică este în ansamblu mai mare dar speciile caracteristice sunt adaptate la condiții dure, fiind supuse unor presiuni selective mai intense și având un grad mai mare de izolare ceea ce determină scăderea diversității odată cu altitudinea; la altitudini medii însă, unii taxoni pot găsi condiții favorabile și ating diversități optime.
4. Peninsulele au mai puține specii decât continentul din care fac parte
5. Însulele mici sau îndepărtate de continent au mai puține specii decât insulele mari, aflate în apropierea continentelor.
6. Datorită creșterii diversității mediului, pe orizontală și pe altitudine se remarcă un gradient est-vest al diversității speciilor de mamifere; Pentru reptile maximum de diversitate este în Sud-vest, unde mediul este divers dpdv topografic.

Variația diversității în cursul succesiunii ecologice (variația temporală)

În ecosistemele terestre succesiunea ecologică este predominant autogenă (datorată factorilor proprii ai ecosistemului), iar cea din ecosistemele acvatice, în special cele lacustre, este alogenă, pentru că depinde de resurse provenite din alte ecosisteme ale bazinului de alimentare; practic, este vorba de o inversare a sensului succesiunii ecologice în comparație cu cea din ecosistemele terestre. În timp, pe măsură ce ecosistemele terestre devin mature are loc o creștere a diversității; în cazul aceluiași proces temporal, lacurile suferă o scădere a diversității ca urmare a creșterii concentrației de nutrienți.

. Tocmai această constatare ridică unele întrebări în privința fazelor de evoluție trofică a lacurilor, considerate ca faze ale succesiunii.

Uneori se consideră că lacurile oligotrofe sunt faze incipiente ale succesiunii, dar structura biologică arată că acestea nu se potrivesc cu fazele incipiente ale succesiunii din ecosistemele terestre.

Aceste lacuri se mențin în stare oligotrofă pentru că bazinul de alimentare furnizează o cantitate mică de nutrienți. În lacurile aflate în faza de eutrofie fauna este

săracă, ceea ce arată mari diferențe față de fazele de maturitate din ecosistemele terestre.

De aceea este mai corect ca termenii de oligotrof sau eutrof să fie folosiți cu referire la calitatea apei și nu la fazele succesiunii ecologice.

Care sunt limitele creșterii diversității?

Limitele creșterii diversității depind de procesul de reciclare a substanțelor și de reinvestirea resurselor. De exemplu, în pădurea ecuatorială, solul este sărac, pentru că tot ceea ce cade la acest nivel putrezește foarte repede. Aici reciclarea ar trebui să fie foarte rapidă, dar tot ceea ce se descompune este absorbit de arbori și este stocat pentru un timp îndelungat. Viteza procesului de reciclare este influențată de elementul care se "mișcă" cel mai greu. Limitele succesiunii, dezvoltarea diversității sunt impuse de rata reciclării.

Aparent, în pădurea ecuatorială rata de reciclare este foarte mare dar viteza reală este determinată de elementul care se reciclează cel mai greu. Pe de altă parte, tot ceea ce se mineralizează rapid în condițiile favorabile de temperatură și umiditate este la fel de repede absorbit de arbori și stocat pentru multă vreme în țesuturi, devenind astfel indisponibil descompunătorilor. Astfel, această limită de reciclare impune restricții vitezei succesionale cât și dezvoltării diversității.

Cuantificarea diversității speciilor. Indici de diversitate; tipuri de diversitate

Un mod de cuantificare a diversității speciilor îl reprezintă indicii de diversitate.

Toți indicii de diversitate sunt ecuații care încearcă să concentreze într-o singură valoare numărul de taxoni prezenți și abundența relativă a acestora.

1. α -diversitatea reprezintă diversitatea din cadrul biocenozei și poate fi estimată cu ajutorul următorilor indici de diversitate:

A. Indicele Shannon-Wiener

$H = -\sum p_i \ln p_i$ unde p_i reprezintă abundența relativă a speciilor

J

Acest indice ridică următoarele probleme:

- a. nu este aditiv
- b. nu este linear

- c. este mai sensibil la echitabilitatea biocenozei decât la numărul de specii
- d. indicele de echitabilitate J asociat indicelui de diversitate depinde de mărimea probei și supraestimează grosier echitabilitatea unor probe foarte inegale

A. Indicele Simpson

Se referă la numărul de încercări necesare pentru a extrage din mediu o pereche de indivizi aparținând aceleiași specii.

$D = N(N-1) / \sum n_i(n_i-1)$, unde N este numărul de specii, n_i este abundența relativă

Subliniază dominanța în biocenoză și ignoră aproape complet speciile rare. Mai sunt indici foarte specifici, de exemplu Brillouin, care tratează biocenoza în mod analog unui sistem molecular care poate adopta mai multe microstări.

2. β -diversitatea reprezintă diversitatea dintre biocenoze și poate fi evaluată cu ajutorul indicilor:

a. Indicele de comunitate:

$C_c = 2C / S_1 + S_2$, unde c reprezintă numărul de specii comune ambelor biocenoze și S_1 , S_2 reprezintă numărul de specii din fiecare biocenoză.

Indicele nu ia în considerare abundența relativă ci doar prezența/absența

b. Indicele Renkonen (similaritate procentuală)

$PS = \sum \min(p_{1i}, p_{2i})$ pentru evaluarea speciilor comune biocenzelor 1 și 2.

3. γ -diversitatea reprezintă diversitatea la nivelul continentelor. Este de fapt un fel de α -diversitate, dar la altă scară spațială, mult mai mare.

Totuși acești indici de diversitate au niște puncte slabe acceptate din start.

1. Ei tratează speciile ca și cum s-ar comporta independent unele de altele. În realitate însă în orice biocenoză există corelații între speciile componente.
2. Ei încearcă să concentreze într-un singur număr atât numărul de specii cât și abundența relativă și de cele mai multe ori problema lor esențială este legată de semnificația pe care o are valoarea diversității la nivelul ecosistemelor.

Diversitatea speciilor, suport al diversității sistemelor ecologice. Câte specii sunt necesare pentru ca un sistem să funcționeze?

Ecologii care lucrează la nivelul ecosistemului și cei care lucrează la nivelul speciilor acționează de fapt la scări spațio-temporale diferite, cu o abordare integralistă sau reduționistă.

Sistemele agricole și forestiere sunt alcătuite dintr-un număr mic de specii, menținându-se printr-un control considerabil realizat de fertilizanți, pesticide etc. Persistența pe termen lung a sistemelor agricole, în particular a celor pentru care producția anuală este importantă au dovedit că în mod frecvent sunt nesigure.

În ecosistemele naturale și seminaturale, abordarea tipică de investigare a legăturii dintre diversitatea speciilor și funcționarea ecosistemelor se face pentru a vedea dacă se modifică funcționarea ecosistemului într-un fel, prin adăugarea de nutrienți sau schimbarea presiunii realizate de ierbivore, sau a determina efectul îndepărtării speciilor asupra funcționării ecosistemului.

Aceste abordări arată că o **schimbare în funcționarea** ecosistemului a fost **simultană** cu **schimbările în diversitatea speciilor**.

În plus, însumarea tuturor speciilor într-un total al diversității efective tratează toate speciile ca fiind egale în timp ce ele sunt dominante sau subordonate.

În general nu este posibil să se cuantifice numărul de specii care fac posibilă funcționarea unui ecosistem.

Importanța diversității în situații de neechilibru(departe de echilibru)

Diversitatea mare a speciilor în ecosisteme poate juca un rol dual.

Biodiversitatea reprezintă un “canal” în curgerea de energie și materie prin ecosistem.

În perioadele de stază (stagnare), când mediul este mai mult sau mai puțin uniform și predictibil, speciile vor intra în competiție pentru resurse și selecția va favoriza fenotipul și genotipul cel mai eficient în utilizarea resurselor și producerea urmașilor viabili. Modificarea mediului va duce la creșterea și dominanța celor mai viabile tipuri, care vor fi doar câteva ca număr.

În timpul perioadelor de fluctuație a mediului, abilitatea de a supraviețui este favorizată într-o măsură mult mai mare decât funcționarea eficientă. Speciile cu limite largi de toleranță se selectează și se pot stabili. Diversitatea speciilor și a tipurilor funcționale poate fi extrem de importantă pentru asigurarea existenței ecosistemului atunci când "înfruntă" condițiile de mediu.

De-a lungul evoluției formelor de viață, mediul exterior a fost cea mai mare sursă de incertitudine ca rezultat al oscilațiilor mari și mici. Fluxul de radiație solară nu este constant, el interacționează cu atmosfera și constituentele biologice pentru a produce perioadele calde sau reci, secetă sau inundații. Alte oscilații, cum ar fi glaciațiunile și perioadele foarte călduroase produc de asemenea fluctuații nepredictibile în mediu.

Mai există și fenomene devastatoare, cum ar fi focul sau, la o altă scară, impactul unui meteorit. Toate aceste fenomene și multe altele, afectează integritatea ecosistemelor. Ecosistemele au capacitatea de a-și reveni pentru că ele sunt formate din multe specii, fiecare cu un set unic de caracteristici. Astfel, putem afirma că rolul jucat de diversitate este dual . Pe de o parte ea furnizează unitățile prin care energia și materia "curge" dând sistemului proprietățile funcționale iar pe de altă parte ea asigură reziliența sistemului, ceea ce este capacitatea de a răspunde la schimbări nepredictibile. Acest rol dual poate explica imposibilitatea potrivirii dintre soluțiile predictive oferite de cercetarea ecologică și realitatea observată.

Diversitatea genetică

Pentru a înțelege variabilitatea interpopulațională să considerăm că o specie ce constă din 3 populații. Diversitatea genetică specifică constă în diversitatea intrapopulațională și diferențele genetice interpopulaționale. Un model simplu este:

$$H_t = H_p + D_p$$

H_t = diversitatea genetică a speciilor

H_p = diversitatea genetică intrapopulațională medie sau heterozigoția locală medie

D_p = deosebirile genetice medii interpopulaționale

Diversitatea genetică populațională

Unul din evenimentele alarmante la nivel planetar, alături de extincția speciilor este și extincția populațiilor. Dacă asupra numărului de specii și a ratei de extincție a acestora există estimări, se cunoaște foarte puțin despre extincția

populațiilor. Într-o analiză recentă se estimează că în medie există 220 populații/specie. Utilizând trei estimări diferite ale numărului de specii (5, 14 și 30 de milioane) se obțin trei estimări ale numărului de populații: 1.1, 3.1 și 6.6 miliarde de populații. Considerând că extincția populațiilor este direct proporțională cu rata de distrugere a habitatelor, dispar aproximativ 1800 populații pe oră (16 milioane anual) doar în pădurile tropicale.

Diversitatea etno-culturală

Antropobiologia este știința care încearcă să descrie diversitatea umană și să înțeleagă natura și geneza ei.

Geneza diversității etnice, lingvistice și culturale umane s-a realizat în două etape:

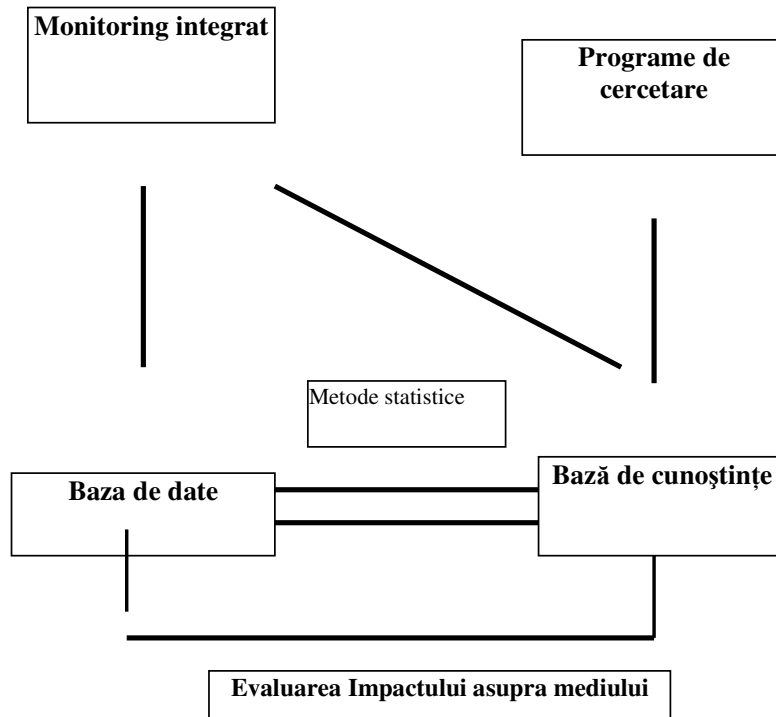
1. delimitarea de populații, în sens genetic;
2. izolarea prin bariere geografice, culturale, lingvistice, religioase și politice.

În ultimii 400 de ani populația mondială a crescut de 6 ori iar ansamblul indivizilor cu ascendență britanică a crescut de 50 de ori. Cele mai multe date privind diversitatea etno-culturală se referă la diversitatea lingvistică.

Tendința actuală de globalizare amenință cu dispariția un număr mare de limbi vorbite de un număr mic de oameni. Astfel, din cele aproximativ 6500 de limbi vorbite în prezent, mai mult de jumătate sunt în pericol de dispariție. Se apreciază că la fiecare două săptămâni dispare o limbă pe glob. Până la 95% din limbile actuale ar putea să dispară în secolul următor

Monitoring-ul integrat

Monitoringul reprezintă un sistem de supraveghere continuă a sistemelor ecologice, care furnizează o serie de date (baza de date), care prin metode statistice sunt transformate în informație (bază de cunoștințe),



Prin interogarea bazei de cunoștințe se realizează evaluarea impactului asupra sistemelor ecologice și se poate determina aplicarea de măsuri de prevenire a pierderii de biodiversitate.

Există câteva caracteristici care trebuie avute în vedere pentru proiectarea unui sistem de monitorizare integrată:

- el trebuie organizat la scară spațială în așa fel încât să reflecte heterogenitatea structurii sistemelor ecologie

- se iau în considerare în cadrul fiecărui tip de ecosistem variabilele de stare cele mai sensibile
- trebuie aleși parametri de stare sintetici, care să difere de la un tip de sistem ecologic la altul și care să țină cont nu numai de componentele abiotice, cât și de cele biotice (structura biocenozelor)
- să se folosească metode comparabile de lucru la scară națională (asocierea măsurărilor, comparații între date, stabilirea erorii cu care acceptăm să facem predicția) și un sistem de control a calității datelor.

Monitoringul trebuie să fie legat de:

- conținutul elementelor componente ale biodiversității (nivelul și schimbările, istorie, dezvoltare managementul relațiilor și migrație)
- funcționalitatea ecologică și interrelațiile cu factorii abiotici (apă, aer, sol, climat)
- folosință=interrelațiile socio-economice și culturale și funcționalitatea lor (efectele și valoarea pentru folosința terenurilor, producția,)
- reglarea (efectele politicilor, programelor, comportament/tradiții)
- refacere/management
- resursele biogenetice.

Importanța biodiversității în monitorizarea mediului este foarte mare.

Sistemele de monitorizare integrate au ca “pilon central” pentru evaluarea stării mediului monitorizarea componentelor biologice ale sistemelor ecologice, și anume **biomonitoringul**.

Biomonitoringul înseamnă folosirea organismelor în evaluarea și supravegherea condițiilor de mediu.

Biodiversitatea înțeleasă pe cele trei paliere care formează capitalul natural “furnizează” sistemului de biomonitoring *elementele componente prin care se face supravegherea continuă a sistemelor ecologice*.

Monitorizarea și biodiversitatea

Conservarea biodiversității este strâns legată de monitorizarea biologică efectivă. La un anumit nivel fiecare specie poate fi privită ca un “**instrument**”

care poate fi în mod particular sensibil la substanțe sau condiții care necesită supraveghere, sau ca specie componentă a unei comunități, utilizată pentru monitorizarea unor efecte ale unor fenomene complexe, cum ar fi surse nepunctiforme de poluare din agricultură. Mai importantă decât monitorizarea comunităților (compoziția specifică) sau speciilor (prezență/absență), este monitorizarea dinamicii populațiilor.

Sistemul de biomonitorizare ridică câteva probleme speciale:

1. Parametrii biologici aleși pentru monitorizare au ranguri taxonomice diferite. Sunt cercetători care cred că taxonii de rang specie sunt cei care trebuie utilizați, alții care cred că nivelul de ordin sau familie este suficient.

Folosirea taxonilor supraspecifici poate fi un compromis între obținerea unor rezultate rapide și acuratețea evaluărilor calității apei.

De exemplu, identificarea triopterelor Hydropsychidae doar la nivel de familie presupune prezența speciilor din genurile *Hydropsyche* și *Cheumatopsyche* relativ tolerante, însă la acest nivel nu se poate deține controlul privind limitele de toleranță la poluare.

Identificările la nivel de gen/specie poate crește precizia monitorizării și astfel de identificări sunt esențiale pentru utilizarea “**comunităților indicatoare**”. de poluare.

Nivelul de familie poate fi inadecvat pentru identificarea schimbărilor în timp a sistemelor ecologice, evaluarea duratei de revenire a sistemelor în urma modificărilor și determinarea calității sistemului respectiv și poate fi inefficient pentru monitoringul pe termen lung.

Aceste probleme au însă un fundament foarte practic, pentru că supravegherea nu poate fi făcută întotdeauna cu specialiști care să poată identifica toate speciile respective. Problema este a stabilirii semnificației acestor taxoni de ranguri diferite în contextul funcționării unui ecosistem particular.

2. Cele mai multe specii indicatoare au fost desemnate de cercetători care erau cunoscători ai unui ordin și mulți din taxonii aleși ca bioindicatori au fost tratați ca fiind izolați unii de alții și neținându-se cont de faptul ca ei fac parte din structura biocenozei care conține și alți taxoni . De exemplu, există sisteme de biomonitoring a apelor curgătoare bazate pe cunoașterea larvelor de chironomide. Ele pot induce o serie de erori pentru că nu se ia în considerare comunitatea din care larvele de chironomide fac parte. De obicei diversitatea speciilor de chironomidae nu este lineară în relație cu calitatea apei, dar valoarea lor de indicatori este foarte importantă atât pentru identificarea tipului de poluare cât și a nivelului de stress.
3. Parametrii biologici monitorizați sunt de obicei utilizați în studierea unor sisteme ecologice foarte diferite fără a se ține cont că semnificația lor poate să difere de la un sistem ecologic la altul și că ei trebuie să aibă o relevanță atât calitativă cât și cantitativă.

Utilizarea biodiversității în monitorizarea mediului are două aspecte foarte importante:

-prin componentele sale (speciile sau comunitățile), biodiversitatea furnizează sistemelor de biomonitorizare parametri care trebuie supravegheați în timp și care pot da informații cu privire la starea sistemelor ecologice, la impactul pe care îl poate avea un anumit tip de presiune antropică (sursele punctiforme și difuze de poluare, indiguiri, baraje etc); în acest sens biomonitorizarea are funcție **de semnal, predicție și control**.

-pe de altă parte biodiversitatea reprezintă “înta” sistemelor de monitorizare integrată, în sensul că ea reprezintă suportul desfășurării proceselor ca fluxul de energie, circuitul nutrienților, autocontrolul.

Biodiversitatea poate fi dependentă și de alți factori decât poluarea. Merită să ne punem întrebarea dacă o creștere în diversitatea speciilor este de fapt o indicație a creșterii calității mediului. De exemplu, îmbogățirea cu nutrienți a unui lac poate cauza o creștere a diversității (într-o primă fază), dar asta presupune desigur o schimbare în compoziția comunității. Un lac oligotrof în care au fost

introduse cantități moderate de fosfați și nitrați, poate câștiga mai multe specii, dar lucrul acesta este un semn că noul sistem este mai bun decât precedentul? Există două situații în privința utilizării biodiversității în programele de biomonitorizare.

Una este situația în care monitorizarea se face doar în scopul supravegherii dinamicii diversității în sine, iar cea de-a doua este aceea că diversitatea reprezintă unul din parametrii care ne poate spune ceva despre starea sistemului respectiv (alături de alți parametrii abiotici).

Caz 1: diversitatea macronevertebratelor bentonice și importanța ei în monitorizarea apelor curgătoare.

Macronevertebratele bentonice din sistemele lotice sunt ideale pentru biomonitorizare din următoarele motive:

- a. sunt ubicvitare**
- b. sunt relativ sedentare și au ciclu de viață lung**
- c. unele specii sunt sensibile la poluare și altele sunt tolerante**
- d. sunt ușor de colectat și identificat**

Este vorba de fapt de ideea în care un "palier" al biodiversității, și anume diversitatea speciilor este folosit ca un parametru biologic sintetic pentru evaluarea stării sistemului lotic.

1. Identificarea problemei potențiale:

Problema A: cineva raportează ca apa este urât mirositoare și se văd pești morți în râu. Analiza chimică a apei indică hidrocarburi volatile care dispar rapid.

Ipoteza de lucru: Integritatea biologică a fost afectată de răspândirea produselor petroliere în apă

Problema B: există o dezvoltare economică rapidă și o creștere a populației umane în zona suburbană. Se suspectează că sistemul de canalizare este suprasolicitat și practic deversările organice ajung într-un râu aflat în apropiere.

Ipoteză: sistemul de canalizare este cel care face ca integritatea biologică a râului să scadă

Problema C: un baraj important este proiectat pe cursul mijlociu al unui râu mare. Modificarea regimului de curgere determină probleme în aval de baraj.

Ipoteză: integritatea biologică poate să scadă în aval după construirea barajului

Problema D: o fabrică de celuloză amplasată pe cursul unui râu deversează produși chimici toxici, în concentrații foarte mici.

Ipoteza: descărcarea rezidurilor nu avut nici un efect la nivelul integrității bioogice

2. Proiectarea studiului (colectarea de probe)

A . Proiectarea spațială a studiului

a.1. **probare randomizată** pentru a surprinde întreaga diversitate de habitate (cu ajutorul tablei de numere aleatoare)

a.2. **probare sistematică.** se selectează randomizat prima probă și apoi se selectează toate celelalte aplicându-se un interval spațial constant

Avantaj: permite studierea pe gradienti (viteza apei, cantitatea de substanță poluantă deversată în sistemul lotic)

a.3. **probare randomizat stratificată.** Se aleg "strate" diferite (care pot fi tipuri de habitat, sectoare cu viteze diferite ale apei) și se selectează probele randomizat în cadrul stratului.

B. Proiectare în timp. În funcție de ciclurile de viață ale organismelor, influența factorilor abiotici și antropici, se poate alege o frecvență de probare (observare) sezonieră, lunară, săptămânală, anuală.

3. Caracterizarea datelor numerice cu ajutorul parametrilor care permit integrarea informațiilor și constituie baza pentru analiza datelor, fără subiectivitate.

3.1 Măsurarea unor **parametri structurali**

-**abundența:** numărul de indivizi, biomasa

-**bogăția în specii:** numărul de specii

-**compoziția:** abundența relativă, indicele EPT

-**diversitatea** (estimată cu ajutorul indicilor de diversitate și echitabilitate)

Indicele Simpson $= 1-D = 1-\sum(p_i)$, unde p_i reprezintă proporția din fiecare specie

-**scor de toleranță** (de la 0=intolerant, 10=tolerant) ale organismelor identificate, în funcție de particularitățile lor biologice

3.2. Măsurarea unor **parametri funcționali**

-abundența organismelor din una sau mai multe grupe funcționale, ca procent al abundenței din totalul organismelor:

De exemplu: % **răzuitori**-abundența organismelor care răzuie alge asociate cu material organic și mineral ca procent al abundenței din totalul organismelor

4. Transformarea datelor în informații :

4.1 Abordare calitativă (Statistica descriptivă)

Compararea structurii comunităților între 2 puncte după numărul de indivizi din taxonii prezenți. Calcularea unor indici de similaritate.

Comparația între mai mult de două sit-uri poate fi organizată în matrice, sau dendrogramă (Analiza Cluster) și care etalează grade diferite de similaritate între sit-uri.

4.2 Abordare cantitativă presupune:

-**testarea ipotezelor statistice** (testul t -student, ANOVA pentru 2 sau mai mult de 2 populații, testarea unui singur parametru prin statistica unui singur parametru)

-**colectarea de replicate**

-**inferență statistică**

Monitorizarea biodiversității depinde în totalitate de componentele și conținutul elementelor care trebuie monitorizare

Cazul 2. Protocol pentru monitorizarea diversității speciilor bentonice din râuri, într-un spațiu concret localizat în timp și spațiu

Premize:

Considerații generale: Metoda se recomandă în ideea existenței unui mozaic de habitate. Este necesară adaptarea în permanență a numărului de unități de probă în funcție de valorile diversității: metoda grafică (Krebs) sau cu ajutorul formulei lui Elton

Frecvența: lunar

Selectarea stațiilor: randomizat.

Tipul de colectare: cantitativă