Xarxa alimentària (tròfica)

Autor:
Data de publicació: 15-04-2021

Una xarxa alimentària (o cicle alimentari) és la interconnexió natural de les cadenes alimentàries i una representació gràfica (normalment una imatge) del que menja en una comunitat ecològica. Un altre nom per a la xarxa d'aliments és el sistema de recursos de consum. Els ecòlegs poden ajuntar àmpliament totes les formes de vida en una de les dues categories anomenades nivells tròfics: 1) els autòtrofs, i 2) els heteròtrofs.

Una xarxa d'aliments aquàtics d'aigua dolça. Les fletxes blaves mostren una cadena alimentària completa(algues ? dafnia ? ombra de gizzard ? gran llobarro ? gran agó blau)

Una xarxa alimentària (o cicle alimentari) és la interconnexió natural de les cadenes alimentàries i una representació gràfica (normalment una imatge) del que menja en una comunitat ecològica. Un altre nom per a la xarxa d'aliments és el sistema de recursos de consum. Els ecòlegs poden ajuntar àmpliament totes les formes de vida en una de les dues categories anomenades nivells tròfics: 1) els autòtrofs, i 2) els heteròtrofs. Per mantenir el seu cos, créixer, desenvolupar-se i reproduir-se,els autòtrofs produeixen matèria orgànica a partir de substàncies inorgàniques, incloent tant minerals com gasos com el diòxid de carboni. Aquestes reaccions químiques requereixen energia,que prové principalment del Sol i en gran part per la fotosíntesi,encara que una quantitat molt petita prové de la bioelectrogènesi en aiguamolls,[1] i donants d'electrons minerals en respiradors hidrotermals i aigües termals. Hi ha un gradient entre els nivells tròfics que van des d'autòtrofs complets que obtenen la seva única font de carboni de l'atmosfera, fins a mixotrops (com les plantes carnívores)que són organismes autotròfics que obtenen parcialment matèria orgànica procedent de fonts diferents de l'atmosfera, i heteròtrofs complets que han d'alimentar-se per obtenir matèria orgànica. Els vincles en una xarxa d'aliments il·lustren les vies d'alimentació, com ara on els heteròtrops obtenen matèria orgànica alimentant-se d'autòtrofs i altres heteròtrops. La xarxa d'aliments és una il·lustració simplificada dels diferents mètodes d'alimentació que vincula un ecosistema a un sistema unificat d'intercanvi. Hi ha diferents tipus de relacions d'alimentació que es poden dividir aproximadament en herbívors, carnívors, carronyaires i parasitisme. Part de la matèria orgànica que mengen els heteròtrofs, com els sucres,aporta energia. Els autòtrofs i heteròtrofs vénen en totes les mides, des de microscòpics fins a moltes tones - des de cianobacteris fins a boscos gegants,i des de virus i bdellovibrio fins a balenes blaves.

Charles Elton va ser pioner en el concepte de cicles alimentaris, cadenes alimentàries i mida d'aliments en el seu llibre clàssic de 1927 "Animal Ecology"; El 'cicle alimentari' d'Elton va ser substituït per la 'xarxa d'aliments' en un text ecològic posterior. Elton va organitzar espècies en grups funcionals,que va ser la base del document clàssic i emblemàtic de Raymond Lindemanel 1942 sobre dinàmica tròfica. Lindeman va emfatitzar l'important paper dels organismes descomponedors en un sistema tròfic de classificació. La noció d'una xarxa d'aliments té una base històrica en els escrits de Charles Darwin i la seva terminologia, incloent un "banc entrellaçat", "xarxa de la vida", "xarxa de relacions complexes", i en referència a les accions de descomposició dels cucs de terra va parlar sobre "el moviment continuat de les partícules de la terra". Fins i tot abans, el 1768 John Bruckner va descriure la natura com "una xarxa contínua de vida".

Les xarxas d'aliments són representacions limitades d'ecosistemes reals, ja que necessàriament agreguen moltes espècies en espècies tròfiques,que són grups funcionals d'espècies que tenen els mateixos depredadors i preses en una xarxa alimentària. Els ecòlegs utilitzen aquestes simplificacions en models quantitatius (o de representació matemàtica) de dinàmica de sistemes tròfics o de recursos de consum. Utilitzant aquests models poden mesurar i provar patrons generalitzats en l'estructura de xarxes xarxa reals d'aliments. Els ecologistes han identificat propietats no

aleatòries en l'estructura topogràfica de les xarxas alimentàries. Els exemples publicats que s'utilitzen en metaanàlisi són de qualitat variable amb omissions. No obstant això, el nombre d'estudis empírics a les xarxas comunitàries està en augment i el tractament matemàtic de les xarxas d'aliments utilitzant la teoria de xarxes havia identificat patrons que són comuns a tots. Les lleis d'escalat,per exemple, prediuen una relació entre la topologia de la xarxa alimentària depredador-preses i els nivells de riquesa d'espècies.

Contingut

Taxonomia d'una xarxa d'aliments

Una xarxa simplificada d'aliments que il·lustra una cadena alimentària tròfica(productors-herbívors-carnívors) vinculadaals descomposts. El moviment dels nutrients minerals és cíclic, mentre que el moviment de l'energia és unidireccional i no cíclic. Les espècies tròfiques estan encerclades com a nodes i fletxes que representen els enllaços. [2][3]

Les xarxas d'aliments són els mapes de carreteres a través del famós "banc entrellaçat" de Darwin i tenen una llarga història en ecologia. Igual que els mapes de terreny desconeguts, les xarxas d'aliments semblen desconcertantment complexes. Sovint es publicaven per fer-ho. No obstant això, estudis recents han demostrat que les xarxas d'aliments d'una àmplia gamma de comunitats terrestres, d'aigua dolça i marines comparteixen una notable llista de patrons. [4]:669

Els enllaços en xarxas d'aliments mapegen les connexions d'alimentació (qui menja) en una comunitat ecològica. El cicle dels aliments és un terme obsolet que és sinònim de xarxa alimentària. Els ecòlegs poden agrupar àmpliament totes les formes de vida en una de les dues capes tròfiques, els autòtrofs i els heteròtrofs. Els autòtrofs produeixen més energia de biomassa, ja sigui químicament sense l'energia del sol o captant l'energia del sol en la fotosíntesi,que utilitzen durant la respiració metabòlica. Els heteròtrofs consumeixen en lloc de produir energia de biomassa a mesura que metabolitzen, creixen i s'afegeixen a nivells de producció secundària. Una xarxa d'aliments mostra una col·lecció de consumidors heterotròfics polifàgors que recopila i circula el flux d'energia i nutrients a partir d'una base productiva d'autotroficatsd'autoalimentació. [4][5][6]

Les espècies base o basals d'una xarxa alimentària són aquelles espècies sense preses i poden incloure autòtrofs o detritivors saprofítics (és a dir, la comunitat de descomponents en sòls, biofilmsi perifitons). Les connexions d'alimentació a la xarxa s'anomenen enllaços tròfics. El nombre d'enllaços tròfics per consumidor és una mesura de connexióxarxa d'aliments. Les cadenes alimentàries estan niades dins dels enllaços tròfics de les xarxas alimentàries. Les cadenes alimentàries són vies d'alimentació lineals (no cícliques) que tracen els consumidors monòfacs des d'una espècie base fins al consumidor superior,que sol ser un carnívor depredador més gran. [7][8][9]

Les vinculacions es connecten als nodes d'una xarxa alimentària, que són agregats de tàxons biològics anomenats espècies tròfiques. Les espècies tròfiques són grups funcionals que tenen els mateixos depredadors i preses en una xarxa d'aliments. Exemples comuns d'un node agregat en una xarxa alimentària poden incloure paràsits,microbis, descomponents, saprotrofes, consumidorso depredadors,cadascun dels quals conté moltes espècies en una xarxa que d'altra manera es poden connectar a altres espècies tròfiques. [10]

Nivells tròfics
Article principal: Nivell tròfic

Una piràmide tròfica (a) i una xarxa simplificada d'aliments comunitaris (b) que il·lustren les relacions ecològiques entre criatures típiques d'un ecosistema terrestre boreal septentriós. La piràmide tròfica representa aproximadament la biomassa (normalment mesurada com a pes sec total) a cada nivell. Les plantes generalment tenen la biomassa més gran. Els noms de les categories tròfiques es mostren a la dreta de la piràmide. Alguns ecosistemes, com molts aiguamolls, no s'organitzen com una piràmide estricta, ja que les plantes aquàtiques no són tan productives com les plantes terrestres de llarga durada com els arbres. Les piràmides tròfiques ecològiques solen ser de tres tipus: 1) piràmide de nombres, 2) piràmide de biomassa, o 3) piràmide d'energia. [5]

Les xarxas d'aliments tenen nivells i posicions tròfiques. Les espècies basals, com les plantes, formen el primer nivell i són les espècies limitades de recursos que s'alimenten de cap altra criatura viva a la xarxa. Les espècies basals poden ser autòtrofes o detritivoris,incloent "la descomposició de la matèria orgànica i els seus microorganismes associats que definim com a detritus, materials micro-inorgànics i microorganismes associats (MIP), i material vegetal vascular". [12]:94 La majoria dels autòtrofs capturen l'energia del sol en clorofil·la,però alguns autòtrofs (els quimiolitòtrofs)obtenen energia per l'oxidació química de compostos inorgànics i poden créixer en ambients foscos, com el bacteri sulfur Thiobacillus, que viu en fonts de sofrecalent. El nivell superior té depredadors superiors (o àpex) que cap altra espècie mata directament per les seves necessitats de recursos alimentaris. Els nivells intermedis s'omplen d'omnívors que s'alimenten de més d'un nivell tròfic i fan que l'energia flueixi a través d'una sèrie de vies alimentàries a partir d'una espècie basal. [13]

En l'esquema més simple, el primer nivell tròfic (nivell 1) són les plantes, després els herbívors (nivell 2), i després els carnívors (nivell 3). El nivell tròfic és igual a un més que la longitud de la cadena, que és el nombre d'enllaços que es connecten a la base. La base de la cadena alimentària (productors primaris o detritivores)està establerta a zero. [4][14] Els ecòlegs identifiquen les relacions d'alimentació i organitzen espècies en espècies tròfiques a través d'una extensa anàlisi de contingut intestinal de diferents espècies. La tècnica s'ha millorat mitjançant l'ús d'isòtops estables per rastrejar millor el flux energètic a través de la xarxa. [15] Una vegada es va pensar que l'omnívora era rara, però les evidències recents suggereixen el contrari. Aquesta realització ha fet més complexes les classificacions tròfiques. [16]

Dinàmica tròfica
El concepte de nivell tròfic va ser introduït en un article històric sobre dinàmica tròfica el 1942 per Raymond L. Lindeman. La base de la dinàmica tròfica és la transferència d'energia d'una part de l'ecosistema a una altra. [14] El concepte dinàmic tròfic ha servit com a útil quantitatiu heurístic, però té diverses limitacions importants, incloent la precisió per la qual un organisme es pot assignar a un nivell tròfic específic. Els omnívors, per exemple, no estan restringits a cap nivell. No obstant això, investigacions recents han descobert que existeixen nivells tròfics discrets, però "per sobre del nivell tròfic herbívor, les xarxas alimentàries es caracteritzen millor com una xarxa enredada d'omnívors". [16]

Una qüestió central en la literatura dinàmica tròfica és la naturalesa del control i la regulació sobre els recursos i la producció. Els ecòlegs utilitzen models simplificats d'una posició tròfica de la cadena alimentària (productor, carnívor, descomponor). Utilitzant aquests models, els ecòlegs han provat diversos tipus de mecanismes de control ecològic. Per exemple, els herbívors generalment tenen abundància de recursos vegetatius, el que significava que les seves poblacions estaven en gran part controlades o regulades per depredadors. Això es coneix com la hipòtesi de dalt a baix o hipòtesi "món verd". Alternativament a la hipòtesi de dalt a baix, no tot el material vegetal és comestible i la qualitat nutricional o defenses antiherbèvores de les plantes (estructurals i químiques) suggereix una forma de regulació o control de baix a dalt. [18][19]Estudis recents han conclòs que tant les forces "de dalt a baix" com les "de baix a dalt" poden influir en l'estructura comunitària i la força de la influència depèn del context ambiental. [21] Aquestes complexes interaccions multitròfiques impliquen més de dos nivells tròfics en una xarxa d'aliments. [23]

Un altre exemple d'interacció multitròfica és una cascada tròfica,en la qual els depredadors ajuden a augmentar el

creixement vegetal i a prevenir la sobreexplotació mitjançant la supressió d'herbívors. Els enllaços en una xarxa-aliments il·lustren les relacions tròfiques directes entre espècies, però també hi ha efectes indirectes que poden alterar l'abundància, distribució o biomassa en els nivells tròfics. Per exemple, els depredadors que mengen herbívors influeixen indirectament en el control i la regulació de la producció primària en les plantes. Tot i que els depredadors no mengen les plantes directament, regulen la població d'herbívors directament lligats al trofeu vegetal. L'efecte net de les relacions directes i indirectes s'anomena cascades tròfiques. Les cascades tròfiques se separen en cascades a nivell d'espècie, on només un subconjunt de la dinàmica food-xarxa es veu afectat per un canvi en el nombre de població, i cascades a nivell comunitari, on un canvi en el nombre de població té un efecte dramàtic en tota la xarxa alimentària, com la distribució de biomassa vegetal. [24]

Flux energètic i biomassa

Diagrama de flux d'energia d'una granota. La granota representa un node en una xarxa d'aliments estesa. L'energia ingerida s'utilitza per a processos metabòlics i es transforma en biomassa. El flux d'energia continua en el seu camí si la granota és ingerida per depredadors, paràsits, o com a cadàver en descomposició en el sòl. Aquest diagrama de flux d'energia il·lustra com es perd energia a mesura que alimenta el procés metabòlic que transforma l'energia i els nutrients en biomassa.

Article principal: Flux energètic (ecologia)

Vegeu també: Eficiència ecològica

La Llei de conservació de la massa data del descobriment d'Antoine Lavoisier el 1789 que la massa no es crea ni es destrueix en reaccions químiques. En altres paraules, la massa de qualsevol element al començament d'una reacció equivaldrà a la massa d'aquest element al final de la reacció. [25]:11

Una cadena alimentària d'energia d'enllaç expandida (1.plants, 2. herbívors, 3.carnívors) il·lustra la relació entre els diagrames de flux d'aliments i la transformació energètica. La transformació de l'energia es degrada, es dispersa i disminueix de major qualitat a menor quantitat a mesura que l'energia dins d'una cadena alimentària flueix d'una espècie tròfica a una altra. Abreviatures: I=input, A=assimilation, R=respiration, NU=not utilized, P=production, B=biomassa. [26]

Les xarxas d'aliments representen fluxos d'energia mitjançant enllaços tròfics. El flux d'energia és direccional, la qual cosa contrasta amb els fluxos cíclics de material a través dels sistemes xarxa alimentaris. [27] El flux d'energia "normalment inclou la producció, el consum, l'assimilació, les pèrdues per no assimilació (femta) i la respiració (costos de manteniment)." [6]:5 En un sentit molt general, el flux d'energia (E) es pot definir com la suma de producció metabòlica (P) i respiració (R), de manera que E=P+R.

La biomassa representa l'energia emmagatzemada. No obstant això, la concentració i qualitat de nutrients i energia és variable. Moltes fibres vegetals, per exemple, són indigestes per a molts herbívors deixant a les xarxas d'aliments de la

comunitat pastura més limitades que les xarxas d'aliments detritals on els bacteris són capaços d'accedir i alliberar les botigues de nutrients i energia. [28] "Els organismes solen extreure energia en forma d'hidrats de carboni, lípids i proteïnes. Aquests polímers tenen un doble paper com a subministraments d'energia, així com blocs de construcció; la part que funciona com a subministrament d'energia dóna com a resultat la producció de nutrients (i diòxid de carboni, aigua i calor). L'excreció de nutrients és, per tant, bàsica per al metabolisme." [29]:1230–1231 Les unitats en xarxas de flux d'energia solen ser una massa de mesura o energia per m2 per unitat de temps. Diferents consumidors tindran diferents eficiències d'assimilació metabòlica en la seva dieta. Cada nivell tròfic transforma l'energia en biomassa. Els diagrames de fluxos d'energia il·lustren les taxes i l'eficiència de la transferència d'un nivell tròfic a un altre i cap amunt a través de la jerarquia. [30]

Es tracta que la biomassa de cada nivell tròfic disminueixi des de la base de la cadena fins a la part superior. Això es deu al fet que l'energia es perd al medi ambient amb cada transferència a mesura que augmenta l'entropia. Al voltant del vuitanta al noranta per cent de l'energia es gasta per als processos de vida de l'organisme o es perd com a calor o residus. Només entre el deu i el vint per cent de l'energia de l'organisme es passa generalment al següent organisme. [32] La quantitat pot ser inferior a l'1 per cent en animals que consumeixen plantes menys digeribles, i pot ser tan alta com el quaranta per cent en el zooplàncton que consumeix fitoplàncton. [33] Les representacions gràfiques de la biomassa o productivitat a cada nivell tròpic s'anomenen piràmides ecològiques o piràmides tròfiques. La transferència d'energia dels productors primaris als principals consumidors també es pot caracteritzar per diagrames de flux d'energia. [34]

Cadena alimentària
Article principal: cadena alimentària

Una mètrica comuna utilitzada per quantificar l'estructura tròfica de la xarxa dels aliments és la longitud de la cadena alimentària. La longitud de la cadena alimentària és una altra manera de descriure les xarxas alimentàries com una mesura del nombre d'espècies trobades a mesura que l'energia o els nutrients es mouen de les plantes als depredadors superiors. [35]:269 Hi ha diferents maneres de calcular la longitud de la cadena alimentària en funció dels paràmetres de la dinàmica xarxa dels aliments: connectància, energia o interacció. En la seva forma més senzilla, la longitud d'una cadena és el nombre d'enllaços entre un consumidor tròfic i la base de la xarxa. La longitud mitjana d'una cadena mitjana de tota una xarxa és la mitjana aritmètica de les longituds de totes les cadenes en una xarxa d'aliments. [36]

En un simple exemple depredador-presa, un morter s'elimina un esglaó de les plantes que menja (longitud de cadena = 1) i un llop que es menja el térvol és a dos passos de les plantes (longitud de la cadena = 2). La quantitat relativa o força d'influència que aquests paràmetres tenen en l'adreça xarxa alimentària preguntes sobre:

la identitat o existència d'unes poques espècies dominants (anomenades interaccionadors forts o espècies clau)
el nombre total d'espècies i la longitud de la cadena alimentària (incloent molts interactuadors febles) i
com es determina l'estructura, la funció i l'estabilitat de la comunitat. [37]

Piràmides ecològiques

Il·lustració d'una gamma de piràmides ecològiques, incloent piràmide superior de nombres, piràmide mitjana de biomassa i piràmide inferior d'energia. El bosc terrestre (estiu) i els ecosistemes del Canal de la Mànega presenten piràmides invertides. Nota: els nivells tròfics no es dibuixen a escala i la piràmide de nombres exclou els microorganismes i els animals del sòl. Abreviatures: P=Productors, C1=Consumidors primaris, C2=Consumidors secundaris, C3=Consumidors terciaris, S=Saprotrophs. [5]

Una piràmide tròfica de quatre nivells asseguda sobre una capa de sòl i la seva comunitat de descomponents.

Una piràmide tròfica de tres capes vinculada als conceptes de biomassa i flux d'energia.

En una piràmide de nombres, el nombre de consumidors a cada nivell disminueix significativament, de manera que un sol consumidor superior(per exemple, un ós polar o un humà),estarà recolzat per un nombre molt més gran de productors separats. Normalment hi ha un màxim de quatre o cinc enllaços en una cadena alimentària, tot i que les cadenes alimentàries en ecosistemes aquàtics solen ser més llargues que les terrestres. Finalment, tota l'energia d'una cadena alimentària es dispersa com la calor. [5]

Les piràmides ecològiques situen els productors primaris a la base. Poden representar diferents propietats numèriques dels ecosistemes, incloent nombre d'individus per unitat d'àrea, biomassa (g/m2), i energia (k cal m?2 yr?1). La disposició piràmide emergent dels nivells tròfics amb quantitats de transferència d'energia disminuint a mesura que les espècies s'allunyen encara més de la font de producció és un dels diversos patrons que es repeteixen entre els ecosistemes dels planetes. [3][4][39] La mida de cada nivell de la piràmide generalment representa la biomassa, que es pot mesurar com el pes sec d'un organisme. [40] Els autòtrofs poden tenir la major proporció global de biomassa, però són estretament rivals o superats pels microbis. [41]

L'estructura piramidal pot variar entre ecosistemes i a través del temps. En alguns casos es poden invertir les piràmides de biomassa. Aquest patró s'identifica sovint en ecosistemes aquàtics i d'esculls de corall. El patró d'inversió en biomassa s'atribueix a diferents mides dels productors. Les comunitats aquàtiques solen estar dominades per productors més petits que els consumidors que presenten altes taxes de creixement. Els productors aquàtics, com les algues planctòniques o les plantes aquàtiques, no tenen la gran acumulació de creixement secundari com existeix en els arbres llenyosos dels ecosistemes terrestres. No obstant això, són capaços de reproduir-se prou ràpidament com per suportar una biomassa més gran de pastors. Això inverteix la piràmide. Els consumidors primaris tenen una vida útil més llarga i taxes de creixement més lentes que acumula més biomassa que els productors que consumeixen. El fitoplàncton viu només uns dies, mentre que el zooplàncton que menja el fitoplàncton viu durant diverses setmanes i el peix que menja el zooplàncton viu durant diversos anys consecutius. [43] Els depredadors aquàtics també tendeixen a tenir una taxa de mortalitat més baixa que els consumidors més petits, la qual cosa contribueix al patró piramidal invertit. L'estructura de la població, les taxes migratòries i el refugi ambiental de les preses són altres possibles causes de piràmides amb biomassa invertida. Les piràmides energètiques, però, sempre tindran forma de piràmide vertical si s'inclouen totes les fonts d'energia alimentària i així ho dicta la segona llei de la termodinàmica. [5][44]

Flux i reciclatge de materials
Article principal: Cicle dels nutrients

Molts dels elements i minerals de la Terra (o nutrients minerals) estan continguts dins dels teixits i dietes dels organismes. Per tant, els cicles de minerals i nutrients rastregen les vies d'energia xarxa dels aliments. Els ecòlegs utilitzen la stoichiometry per analitzar les ràtios dels principals elements que es troben en tots els organismes: carboni (C), nitrogen (N), fòsfor (P). Hi ha una gran diferència de transició entre molts sistemes terrestres i aquàtics, ja que les relacions C:P i C:N són molt més elevades en els sistemes terrestres, mentre que les relacions N:P són iguals entre els dos sistemes. [45]Els nutrients minerals són els recursos materials que els organismes necessiten per al creixement, el desenvolupament i la vitalitat. Les xarxas d'aliments representen les vies del ciclisme de nutrients minerals a mesura que flueixen a través dels organismes. [5] La major part de la producció primària en un ecosistema no es consumeix, però és reciclada per detritus de nou en nutrients útils. [48] Molts dels microorganismes de la Terra estan involucrats en la formació de minerals en un procés anomenat biomineralització. [49][50]Els bacteris que viuen en sediments detritals creen i cicloturen nutrients i biominerals. [52] Els models xarxa d'aliments i els cicles de nutrients han estat tractats

tradicionalment per separat, però hi ha una forta connexió funcional entre els dos en termes d'estabilitat, flux, fonts, embornals i reciclatge de nutrients minerals. [53]

Tipus de xarxas d'aliments

Les xarxas d'aliments són necessàriament agregades i només il·lustren una petita part de la complexitat dels ecosistemes reals. Per exemple, el nombre d'espècies al planeta és probable en l'ordre general de 107, més del 95% d'aquestes espècies consisteixen en microbis i invertebrats,i relativament poques han estat nomenades o classificades per taxonomistes. [55][56] S'entén explícitament que els sistemes naturals són "descuidats" i que les posicions tròfiques de la xarxa dels aliments simplifiquen la complexitat dels sistemes reals que de vegades sobreemfasitzen moltes interaccions rares. La majoria d'estudis se centren en les influències més grans on es produeix el gros de la transferència d'energia. [18] "Aquestes omissions i problemes són motius de preocupació, però en l'evidència actual no presenten dificultats insuperables." [4]:669

Els estudis paleoecològics poden reconstruir aliments-xarxas fòssils i nivells tròfics. Els productors primaris formen la base (esferes vermelles), els depredadors a la part superior (esferes grogues), les línies representen enllaços d'alimentació. Les xarxas d'aliments originals (esquerra) es simplifiquen (dreta) agregant grups que s'alimenten de preses comunes en espècies tròfiques de gra gruixer més gruixer. [58]

Hi ha diferents tipus o categories de xarxas d'aliments:

xarxa d'origen: un o més node(s), tots els seus depredadors, tots els aliments que mengen aquests depredadors, etc.
xarxa d'aigüera : un o més node(s), totes les seves preses, tot el menjar que aquestes preses mengen, etc.
xarxa de comunitat (o connectivitat): un grup de nodes i totes les connexions de qui menja.
xarxa de flux d'energia: fluxos d'energia quantificats entre nodes al llarg d'enllaços entre un recurs i un consumidor. [4]
xarxa paleoecològica- una xarxa que reconstrueix ecosistemes a partir del registre fòssil. [58]
xarxa funcional- emfatitza la importància funcional de certes connexions que tenen una forta força d'interacció i un major suport en l'organització comunitària, més que les vies de flux d'energia. Les xarxas funcionals tenen compartiments, que són sub-grups a la xarxa més gran on hi ha diferentsnitats i fortaleses d'interacció. [38]Les xarxas funcionals destaquen que "la importància de cada població en el manteniment de la integritat d'una comunitat es reflecteix en la seva influència en les taxes de creixement d'altres poblacions". [40]:511

Dins d'aquestes categories, les xarxas alimentàries es poden organitzar encara més segons els diferents tipus d'ecosistemes que s'investiguen. Per exemple, xarxas d'aliments humans, xarxas d'aliments agrícoles, xarxas d'aliments detritals, xarxas d'aliments marins,xarxas d'aliments aquàtics, xarxas d'aliments del sòl,xarxas d'aliments àrtics (o polars), xarxas d'aliments terrestres i xarxas d'aliments microbians. Aquestes caracteritzacions provenen del concepte d'ecosistema, que assumeix que els fenòmens objecte d'investigació (interaccions i bucles de retroalimentació) són suficients per explicar patrons dins dels límits, com ara la vora d'un bosc, una illa, una costa o alguna altra característica física pronunciada. [60][61][62]

Il·lustració d'una xarxa d'aliments del sòl.

Xarxa detrital

En una xarxa detrital, la matèria vegetal i animal es descompon per descomponents, per exemple, bacteris i fongs, i es trasllada a detritivores i després carnívors. [63] Sovint hi ha relacions entre la xarxa detrital i la xarxa de pastura. Els bolets produïts pels descomponents a la xarxa detrital es converteixen en una font d'aliment per a térvols, esquirols i ratolins a la xarxa de pastura. Els cucs de terra que mengen els pits són detritivores que consumeixen fulles en descomposició. [64]

"Detritus es pot definir àmpliament com qualsevol forma de matèria orgànica no viva, incloent diferents tipus de teixit vegetal (per exemple, les fulles, fusta morta, macròfits aquàtics, algues), teixit animal (carronya), microbis morts, fems (fems, pèl·lets fecals, guano, fragàs), així com productes secretats, excretats o exaltats d'organismes (per exemple, polímers extracel·lulars, nèctar, exsudats d'arrel i lixiviats,matèria orgànica dissolta). La importància relativa d'aquestes formes de detritus, en termes d'origen, mida i composició química, varia segons els ecosistemes." [48]:585

xarxas quantitatives d'aliments

Els ecòlegs recullen dades sobre nivells tròfics i xarxas d'aliments per modelar estadísticament i calcular matemàticament paràmetres, com els utilitzats en altres tipus d'anàlisi de xarxes (per exemple, teoria de grafs), per estudiar patrons emergents i propietats compartides entre ecosistemes. Hi ha diferents dimensions ecològiques que es poden cartografiar per crear xarxas alimentàries més complicades, com ara: composició d'espècies (tipus d'espècie), riquesa (nombre d'espècies), biomassa (pes sec de plantes i animals), productivitat (taxes de conversió d'energia i nutrients en creixement), i estabilitat (xarxas alimentàries al llarg del temps). Un diagrama xarxa d'aliments que il·lustra la composició de les espècies mostra com el canvi en una sola espècie pot influir directament i indirectament en moltes altres. Els estudis de microcosmos s'utilitzen per simplificar la recerca xarxa d'aliments en unitats semiaïllades com petites fonts, troncs en descomposició i experiments de laboratori utilitzant organismes que es reprodueixen ràpidament, com la dafnia que s'alimenta d'algues cultivades sota ambients controlats en pots d'aigua. [37]

Tot i que la complexitat de les connexions reals de les xarxas d'aliments és difícil de desxifrar, els ecòlegs han trobat en les xarxes models matemàtics una eina valuosa per aprofundir en l'estructura, l'estabilitat i les lleis dels comportaments de la xarxa alimentària en relació amb resultats observables. "La teoria xarxa dels aliments se centra en la idea de connexió." [66]:1648 Les fórmules quantitatives simplifiquen la complexitat de l'estructura xarxa dels aliments. El nombre d'enllaços tròfics (tL), per exemple, es converteix en un valor de connexió:

{displaystyle C={cfrac {t_{L}}{S(S-1)/2}}},

on, S(S-1)/2 és el nombre màxim de connexions binàries entre espècies S. [66] "La connexió (C) és la fracció de tots els enllaços possibles que es realitzen (L/S2) i representa una mesura estàndard de complexitat xarxa dels aliments..."[66]:12913 La distància (d) entre cada espècie parell en un la xarxa té una mitjana de càlcul de la distància mitjana entre tots els nodes d'una xarxa (D)[67] i multiplicada pel nombre total d'enllaços (L) per obtenir la densitat d'enllaç (LD), que està influenciada per variables dependents d'escala com la riquesa d'espècies. Aquestes fórmules són la base per comparar i investigar la naturalesa dels patrons no aleatoris en l'estructura de les xarxes xarxa alimentàries entre molts tipus diferents d'ecosistemes. [66]

L'escalat de les lleis, la complexitat, el caos i els correlats de patrons són característiques comunes atribuïdes a l'estructura xarxa dels aliments. [69]

Complexitat i estabilitat

Una versió simplificada d'una xarxa d'aliments al golf de Nàpols en condicions d'estiu eutròfiques (verdes) i oligotròfiques (blaves). En l'estat del sistema verd, tant els copèpodes com els microzooplankton exerceixen una forta pressió de pastura sobre el fitoplàncton, mentre que a l'estat blau, els copèpodes augmenten la seva depredació sobre el microzooplancton, que al seu torn desplaça la seva depredació del fitoplàncton al plàncton bacterià o picoplàncton. Aquests mecanismes tròfics estabilitza el lliurament de matèria orgànica des dels copèpodes fins als peixos.

Les xarxas d'aliments són extremadament complexes. La complexitat és una mesura d'un nombre creixent de permutacions i també és un terme metafòric que transmet la intractabilitat mental o els límits relatius a possibilitats algorítmiques il·limitades. En terminologia xarxa alimentària, la complexitat és producte del nombre d'espècies i la connexió. [71][72]La connexió és "la fracció de tots els enllaços possibles que es realitzen en una xarxa". [74]:12917 Aquests conceptes van ser derivats i estimulats a través del suggeriment que la complexitat condueix a l'estabilitat en les xarxas alimentàries, com ara augmentar el nombre de nivells tròfics en ecosistemes més rics en espècies. Aquesta hipòtesi va ser qüestionada a través de models matemàtics que suggereixen el contrari, però estudis posteriors han demostrat que la premissa es manté en els sistemes reals. [71]

A diferents nivells de la jerarquia de la vida, com l'estabilitat d'una xarxa alimentària, "es manté la mateixa estructura general malgrat un flux continu i un canvi de components". [75]:476 Com més lluny sigui un sistema viu (per exemple, l'ecosistema) s'allunya de l'equilibri, més gran és la seva complexitat. [75] La complexitat té múltiples significats en les ciències de la vida i en l'esfera pública que confonen la seva aplicació com un terme precís per a finalitats analítiques en ciència. [73] La complexitat en les ciències de la vida (o biocomplexitat)es defineix per les "propietats que sorgeixen de la interacció de les interaccions conductuals, biològiques, físiques i socials que afecten, sostenen o són modificades per organismes vius, inclosos els humans". [77]:1018

Han sorgit diversos conceptes de l'estudi de la complexitat en les xarxas alimentàries. La complexitat explica molts principis relacionats amb l'autoorganització, la no linealitat, la interacció, la retroalimentació cibernètica, la discontinuïtat, l'emergència i l'estabilitat a les xarxas d'aliments. La nidificació, per exemple, es defineix com "un patró d'interacció en el qual els especialistes interactuen amb espècies que formen subconjunts perfectes de l'espècie amb la qual els generalistes interactuen",[78]:575 "—és a dir, la dieta de les espècies més especialitzades és un subconjunt de la dieta de les següents espècies més generalitzades, i la seva dieta un subconjunt de la següent més generalitzada, etc." [79] Fins fa poc, es pensava que les xarxas d'aliments tenien poca estructura niada, però l'evidència empírica mostra que moltes xarxas publicades han niat subxarxas en el seu muntatge. [80]

Les xarxas alimentàries són xarxes complexes. Com a xarxes, presenten propietats estructurals similars i lleis matemàtiques que s'han utilitzat per descriure altres sistemes complexos, com el petit món i les propietats lliures a escala. L'atribut del món petit es refereix als molts nodes connectats lliurement, l'agrupació densa no aleatòria d'uns pocs nodes (és a dir, espècies tròfiques o clau en ecologia), i la longitud d'un petit camí en comparació amb una gelosia regular. [74] "Les xarxes ecològiques, especialment les xarxes mutualistes, són generalment molt heterogènies, que consisteixen en àrees amb vincles escassos entre espècies i diferents àrees d'espècies estretament lligades. Aquestes regions d'alta densitat d'enllaços sovint es coneixen com a clítoris, concentradors, compartiments, sub-grups cohesionats o mòduls... Dins de les xarxas d'aliments, especialment en els sistemes aquàtics, la nidificació sembla estar relacionada amb la mida del cos perquè les dietes dels depredadors més petits tendeixen a ser subconjunts niats dels depredadors més grans (Woodward i Warren 2007; YvonDurocher et al. 2008), i les restriccions filogenètiques, per les qual els tàxons relacionats estan niats en funció de la seva història evolutiva comuna, també són evidents (Cattin et al. 2004)." [82]:257 "Els compartiments en xarxas d'aliments són subgrups de tàxons en els quals es produeixen moltes interaccions fortes dins dels subgrups i es produeixen poques interaccions febles entre els subgrups. Teòricament, els compartiments augmenten l'estabilitat a les xarxes, com les xarxas d'aliments." [59]

Les xarxas d'aliments també són complexes en la forma en què canvien d'escala, estacionalment i geogràficament. Els components de les xarxas alimentàries, inclosos els organismes i els nutrients minerals, travessen els llindars dels límits dels ecosistemes. Això ha donat lloc al concepte o àrea d'estudi conegut com a subvenció transfronterera. [60] "Això condueix a anomalies, com els càlculs de la xarxa alimentària que determinen que un ecosistema pot suportar la meitat d'un carnívor superior, sense especificar quin final." [62] No obstant això, s'han identificat diferències reals en l'estructura i la funció en comparar diferents tipus de xarxas d'aliments ecològics, com les xarxas terrestres vs. d'aliments aquàtics. Gais ako lang a gais

Història de les xarxas alimentàries

Victor Summerhayes i Charles Elton's 1923 xarxa alimentària de Bear Island (Les fletxes apunten a un organisme que és consumit per un altre organisme).

Les xarxas alimentàries serveixen de marc per ajudar els ecòlegs a organitzar la complexa xarxa d'interaccions entre espècies observades a la natura i a tot el món. Una de les primeres descripcions d'una cadena alimentària va ser descrita per un erudit afroàrab medieval anomenat Al-Jahiz:"Tots els animals, en definitiva, no poden existir sense menjar, ni l'animal de caça pot ser caçat al seu torn". [84]:143 La primera representació gràfica d'una xarxa d'aliments va ser de Lorenzo Camerano el 1880, seguida independentment per les de Pierce i col·legues el 1912 i Victor Shelford el 1913. [85]Dues teranyines alimentàries sobre arengada van ser produïdes per Victor Summerhayes i Charles Elton[87] i Alister Hardy[88] el 1923 i 1924. Charles Elton va ser pioner posteriorment en el concepte de cicles alimentaris, cadenes alimentàries i mida dels aliments en el seu llibre clàssic de 1927 "Animal Ecology"; El 'cicle alimentari' d'Elton va ser substituït per la 'xarxa d'aliments' en un text ecològic posterior. [89] Després de l'ús de Charles Elton de les xarxas alimentàries en la seva síntesi de 1927, es van convertir en un concepte central en el camp de l'ecologia. Eltonva organitzar espècies en grups funcionals,que van constituir la base del sistema tròfic de classificació en el paper clàssic i emblemàtic de Raymond Lindemanel 1942 sobre dinàmica tròfica. [17][38] La noció d'una xarxa d'aliments té una base històrica en els escrits de Charles Darwin i la seva terminologia, incloent un "banc entrellaçat", "xarxa de vida", "xarxa de relacions complexes", i en referència a les accions de descomposició dels cucs de terra va parlar sobre "el moviment continuat de les partícules de la terra". Fins i tot abans, el 1768 John Bruckner va descriure la natura com "una xarxa contínua de vida". [4][92][93][94]

L'interès per les xarxas alimentàries va augmentar després de l'estudi experimental i descriptiu de Robert Paine sobre les costes intermasexuals[95] suggerint que la complexitat de la xarxa alimentària era clau per mantenir la diversitat d'espècies i l'estabilitat ecològica. Molts ecòlegs teòrics,incloent Sir Robert May[96] i Stuart Pimm, van ser impulsats per aquest descobriment i altres per examinar les propietats matemàtiques de les xarxas d'aliments.

Vegeu també

Portal de medi ambient
Portal d'ecologia
Portal de ciències de la Terra
Portal de biologia

Adaptació anti-depredador – Característica defensiva de les preses per a avantatge selectiu
Depredador Àpex - Depredador a la part superior d'una cadena alimentària
Subvencions aquàtiques-terrestres
Equilibri de la natura
Biodiversitat – Varietat i variabilitat de les formes de vida
Cicle biogeoquímic – Ciclisme de substàncies a través de compartiments biòtics i abiòtics de la Terra
Interaccions consumidor-recurs
Xarxa ecològica
Sistema alimentari

xarxa gastronòmica de l'Estuari de San Francisco
Llista de comportaments d'alimentació - Article de la llista de la Viquipèdia
xarxa d'aliments marins
xarxa d'aliments microbians
Entorn natural - Tots els éssers vius i no vius que ocorren de forma natural, generalment a la Terra
xarxa d'aliments del sòl
Ecologia tròfica de boscos de kelp – Zones submarines amb una alta densitat de kelp
Relacions tròfiques en llacs
Relacions tròfiques als rius

Referències

^ Nowak, M. E.; Beulig, F.; von Fischer, J.; Muhr, J.; Küsel, K.; Trumbore, S. E. (2015). "La fixació autotròfica de CO2 geogènic per microorganismes contribueix a la formació de matèria orgànica del sòl i altera les signatures d'isòtops en una mofette d'aiguamolls"(PDF). Biogeociències. Publicacions Copernicus (publicada 2015-12-08). 12 (23): 7169–7183. doi:10.5194/bg-12-7169-2015. Consultat el 2019-10-01.
^ Kormondy, E. J. (1996). Conceptes d'ecologia (4a ed.). Nova Jersey: Prentice-Hall. p. 559. ISBN 978-0-13-478116-7.
^ Jump up to:Un B Proulx, S. R.; Promislow, D. E. L.; ? Phillips, P.C. (2005). "Pensament en xarxa en ecologia i evolució" (PDF). Tendències en Ecologia i Evolució. 20 (6): 345–353. doi:10.1016/j.tree.2005.04.004. PMID 16701391. Arxivat de l'original (PDF) el 2011-08-15.
^ Jump up to:Un b c d e f g Pimm, S. L.; Lawton, J. H.; Cohen, J. E. (1991). "Patrons xarxa alimentaris i les seves conseqüències" (PDF). Naturalesa. 350 (6320): 669–674. Bibcode:1991Natur.350.. 669P. doi:10.1038/350669a0. S2CID 4267587. Arxivat de l'original (PDF) el 2010-06-10.
^ Jump up to:Un b c d e f Odum, E. P.; Barrett, G. W. (2005). Fonaments d'Ecologia (5a ed.). Brooks/Cole, una part de Cengage Learning. ISBN 978-0-534-42066-6. Arxivat de l'original el 2011-08-20.
^ Jump up to:Un B Benke, A.C. (2010). "Producció secundària". Coneixements d'Educació per a la Natura. 1 (8): 5.
^ Allesina, S.; Alonso, D.; Pascual, M. (2008). "Un model general per a l'estructura xarxa dels aliments" (PDF). Ciència. 320 (5876): 658–661. Bibcode:2008Sci... 320..658A. doi:10.1126/science.1156269. PMID 18451301. S2CID 11536563. Arxivat de l'original (PDF) el 2011-09-28.
^ Azam, F.; Fenche, T.; Camp, J. G.; Gra, J. S.; Meyer-Reil, L. A.; Thingstad, F. (1983). "El paper ecològic dels microbis de columna d'aigua al mar" (PDF). Mar. Ecol. Prog. Ser. 10: 257–263. Bibcode:1983MEPS... 10..257A. doi:10.3354/meps010257.
^ Uroz, S.; Calvarus, C.; Turpault, M.; Frey-Klett, P. (2009). "Meteorització mineral per bacteris: ecologia, actors i mecanismes" (PDF). Tendències en Microbiologia. 17 (8): 378–387. doi:10.1016/j.tim.2009.05.004. PMID 19660952. [enllaç mort permanent]
^ Williams, R. J.; Martínez, N. D. (2000). "Les regles simples produeixen xarxas d'aliments complexos" (PDF). Naturalesa. 404 (6774): 180–183. doi:10.1038/35004572. PMID10724169. S2CID 205004984.
^ Correu, D.M. (2002). "La llarga i curta durada de la cadena alimentària" (PDF). Tendències en Ecologia i Evolució. 17 (6): 269–277. doi:10.1016/S0169-5347(02)02455-2. Arxivat de l'original (PDF) el 2011-07-28.
^ Tavares-Cromar, A. F.; Williams, D. D. (1996). "La importància de la resolució temporal en l'anàlisi xarxa d'aliments: Evidència d'un corrent basat en detritus" (PDF). Monografies Ecològiques. 66 (1): 91–113. doi:10.2307/2963482. hdl:1807/768. JSTOR 2963482.
^ Jump up to:Un B Pimm, S. L. (1979). "L'estructura de les xarxas d'aliments" (PDF). Biologia Teòrica de la Població. 16 (2): 144–158. doi:10.1016/0040-5809(79)90010-8. PMID 538731. Arxivat de l'original (PDF) el 2011-09-27.
^ Jump up to:Un B Cosins, S. (1985-07-04). "Els ecologistes tornen a construir piràmides". Nou Científic. 1463: 50-54.
^ McCann, K. (2007). "Protecció de la bioestructura" (PDF). Naturalesa. 446 (7131): 29. Bibcode:2007Natur.446... 29M. doi:10.1038/446029a. PMID 17330028. S2CID4428058. Arxivat de l'original (PDF) el 2011-07-22.
^ Jump up to:Un B Thompson, R.M.; Hemberg, M.; Starzomski, B.M.; Shurin, J.B. (març de 2007). "Nivells tròfics i enredades tròfiques: La prevalença de l'omnívor en xarxas alimentàries reals" (PDF). Ecologia. 88 (3): 612–617. doi:10.1890/05-1454. PMID 17503589. Arxivat de l'original (PDF) el 2011-08-15.
^ Jump up to:Un b c c Lindeman, R. L. (1942). "L'aspecte tròfic-dinàmic de l'ecologia" (PDF).Ecologia. 23 (4): 399–417. doi:10.2307/1930126. JSTOR 1930126.
^ Jump up to:Un B Hairston, N. G.; Hairston, N. G. (1993). "Relacions causa-efecte en el flux energètic, estructura tròfica i interaccions interespecífiques" (PDF). El naturalista americà. 142 (3): 379–411. doi:10.1086/285546. Arxivat de l'original (PDF) el 2011-07-20.
^ Fretwell, S. D. (1987). "Dinàmica de la cadena alimentària: La teoria central de l'ecologia?" (PDF). Oikos. 50 (3): 291–301. doi:10.2307/3565489. JSTOR 3565489. Arxivat de l'original (PDF) el 2011-07-28.
^ Polis, G. A.; Strong, D. R. (1996). "Complexitat xarxa alimentària i dinàmica comunitària"(PDF). El naturalista americà. 147 (5): 813–846. doi:10.1086/285880. S2CID85155900.
^ Hoekman, D. (2010). "Capgirar el cap: La temperatura influeix en la importància relativa dels efectes de dalt a baix i de baix a dalt" (PDF). Ecologia. 91 (10): 2819–2825. doi:10.1890/10-0260.1. PMID 21058543.
^ Schmitz, O. J. (2008). "Herbívora d'individus a ecosistemes". Revisió anual d'Ecologia, Evolució i Sistemàtica. 39: 133-152. doi:10.1146/annurev.ecolsys.39.110707.173418. S2CID 86686057.
^ Tscharntke, T.; Hawkins, B., A., eds. (2002). Interaccions de nivell multitròfic.Cambridge: Cambridge University Press. p. 282. ISBN 978-0-521-79110-6.
^ Polis, G.A.; et al. (2000). "Quan és una cascada tròfica una cascada tròfica?" (PDF). Tendències en Ecologia i Evolució. 15 (11): 473–5. doi:10.1016/S0169-5347(00)01971-6. PMID 11050351.
^ Sterner, R. W.; Petit, G. E.; Hood, J.M. "La conservació de la massa". Coneixements d'Educació per a la Natura. 2 (1): 11.
^ Odum, H. T. (1988). "Autoorganització, transformitat i informació". Ciència. 242 (4882): 1132–1139. Bibcode:1988Sci...

242.1132O. doi:10.1126/science.242.4882.1132. JSTOR 1702630. PMID 17799729. S2CID 27517361.
^ Odum, E. P. (1968). "Flux energètic en ecosistemes: Una revisió històrica". Zoòleg americà. 8 (1): 11-18. doi:10.1093/icb/8.1.11.
^ Mann, K. H. (1988). "Producció i ús de detritus en diversos ecosistemes marins d'aigua dolça, estuari i litoral" (PDF). Limnol. Oceanogr. 33 (2): 910–930. doi:10.4319/lo.1988.33.4_part_2.0910. Arxivat de l'original (PDF) el 2012-04-25.
^ Jump up to:Un B Koijman, S. A. L.M.; Andersen, T.; Koo, B. W. (2004). "Representacions dinàmiques del pressupost energètic de les restriccions estoicomètriques en la dinàmica de la població" (PDF). Ecologia. 85 (5): 1230–1243. doi:10.1890/02-0250.
^ Anderson, K. H.; Beyer, J. E.; Lundberg, P. (2009). "Eficiències tròfiques i individuals de comunitats estructurades en grandària". Proc Biol Sci. 276 (1654): 109-114. doi:10.1098/rspb.2008.0951. PMC 2614255. PMID 18782750.
^ Benke, A.C. (2011). "Producció secundària, xarxas quantitatives d'aliments i posició tròfica". Coneixements d'Educació per a la Natura. 2 (2): 2.
^ Spellman, Frank R. (2008). La ciència de l'aigua: conceptes i aplicacions. Premsa CRC. p. 165. ISBN 978-1-4200-5544-3.
^ Kent, Michael (2000). Biologia Avançada. Oxford University Press US. p. 511. ISBN978-0-19-914195-1.
^ Kent, Michael (2000). Biologia Avançada. Oxford University Press US. p. 510. ISBN978-0-19-914195-1.
^ Jump up to:Un B Correu, D.M. (1993). "La llarga i curta durada de la cadena alimentària". Tendències en Ecologia i Evolució. 17 (6): 269–277. doi:10.1016/S0169-5347(02)02455-2.
^ Odum, E. P.; Barrett, G. W. (2005). Fonaments de l'ecologia. Brooks Cole. p. 598. ISBN978-0-534-42066-6. [enllaç mort permanent]
^ Jump up to:Un B Cuc, B.; Duffy, J.E. (2003). "Biodiversitat, productivitat i estabilitat en xarxas alimentàries reals". Tendències en Ecologia i Evolució. 18 (12): 628–632. doi:10.1016/j.tree.2003.09.003.
^ Jump up to:Un b c c Paine, R. T. (1980). "xarxas alimentàries: Vinculació, força d'interacció i infraestructura comunitària". Revista d'Ecologia Animal. 49 (3): 666–685. doi:10.2307/4220. JSTOR 4220. S2CID 55981512.
^ Raffaelli, D. (2002). "D'Elton a les matemàtiques i de nou". Ciència. 296 (5570): 1035-1037. doi:10.1126/science.1072080. PMID 12004106. S2CID 177263265.
^ Jump up to:Un b c c Rickleffs, Robert, E. (1996). L'Economia de la Natura. Universitat de Chicago Press. p. 678. ISBN 978-0-7167-3847-3.
^ Whitman, W.B.; Coleman, D.C.; Wieb, W. J. (1998). "Procariotes: La majoria invisible". Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 95 (12): 6578–83. Bibcode:1998PNAS... 95.6578W. doi:10.1073/pnas.95.12.6578. PMC 33863. PMID 9618454.
^ Groombridge, B.; En Jenkins, M. (2002). Atles Mundial de la Biodiversitat: Els recursos vius de la Terra al segle XXI. Centre Mundial de Vigilància de la Conservació, Programa de les Nacions Unides per al Medi Ambient. ISBN 978-0-520-23668-4.
^ Spellman, Frank R. (2008). La ciència de l'aigua: conceptes i aplicacions. Premsa CRC. p. 167. ISBN 978-1-4200-5544-3.
^ Wang, H.; Morrison, W.; Singh, A.; Weiss, H. (2009). "Modelització de piràmides invertides de biomassa i refugis en ecosistemes" (PDF). Modelització Ecològica. 220 (11): 1376-1382. doi:10.1016/j.ecolmodel.2009.03.005. Arxivat de l'original (PDF) el 2011-10-07.
^ Pomeroy, L. R. (1970). "L'estratègia del ciclisme mineral". Revisió Anual d'Ecologia i Sistemàtica. 1: 171–190. doi:10.1146/annurev.es.01.110170.001131. JSTOR 2096770.
^ Elser, J. J.; Fagan, W. F.; Donno, R. F.; Dobberfuhl, D. R.; Folarin, A.; Huberty, A.; et al. (2000). "Restriccions nutricionals en xarxas d'aliments terrestres i d'aigua dolça" (PDF).Naturalesa. 408 (6812): 578–580. doi:10.1038/35046058. PMID 11117743. S2CID4408787. [enllaç mort permanent]
^ Koch, P. L.; Fox-Dobbs, K.; Newsom, S. D. Diet, G. P.; Flessa, K. W. (eds.). "L'ecologia isotòpica dels vertebrats fòssils i la paleobiologia de la conservació" (PDF). The Paleontological Society Papers. 15: 95–112.
^ Jump up to:Un B Moore, J.C.; Berlow, E. L.; Coleman, D.C.; de Ruiter, P.C.; Dong, Q.; Hastings, A.; et al. (2004). "Detritus, dinàmica tròfica i biodiversitat". Cartes d'Ecologia. 7 (7): 584–600. doi:10.1111/j.1461-0248.2004.00606.x. S2CID 2635427.
^ H. A., Lowenstam (1981). "Minerals formats per organismes". Ciència. 211 (4487): 1126–1131. Bibcode:1981Sci... 211.1126L. doi:10.1126/science.7008198. JSTOR 1685216. PMID 7008198. S2CID 31036238.
^ Warren, L. A.; Kauffman, M. E. (2003). ? «Geoenginyers microbians». Ciència. 299(5609): 1027-1029. doi:10.1126/science.1072076. JSTOR 3833546. PMID12586932. S2CID 19993145.
^ González-Muñoz, M. T.; Rodriguez-Navarro, C.; Martínez-Ruiz, F.; Àries, J.M.; Merroun, M. L.; Rodriguez-Gallego, M. (2010). "Biomineralització bacteriana: noves idees a partir de la precipitació mineral induïda per Myxococcus". Societat Geològica, Londres, Publicacions Especials. 336 (1): 31-50. Bibcode:2010GSLSP.336... 31G. doi:10.1144/SP336.3. S2CID 130343033.
^ Gonzalez-Acosta, B.; Bashan, Y.; Hernandez-Saavedra, N. Y.; Ascencio, F.; De la Cruz-Agüero, G. (2006). "La temperatura estacional de l'aigua de mar és el principal determinant per a les poblacions de bacteris cultivables en els sediments d'un manglar intacte en una regió àrida" (PDF). Ecologia microbiològica FEMS. 55 (2): 311–321. doi:10.1111/j.1574-6941.2005.00019.x. PMID 16420638.

^ DeAngelis, D. L.; Mulholland, P. J.; Palumbo, A. V.; Steinman, A. D.; Huston, M. A.; Elwood, J. W. (1989). "Dinàmica de nutrients i estabilitat food-xarxa". Revisió Anual d'Ecologia i Sistemàtica. 20: 71-95. doi:10.1146/annurev.ecolsys.20.1.71. JSTOR2097085.
^ Twiss, M. R.; Campbell, P. G.C.; Auclair, J. (1996). "Regeneració, reciclatge i transferència tròfica de rastres per organismes microbians-xarxa en aigües superficials pelàgiques del llac Erie" (PDF). Limnologia i Oceanografia. 41 (7): 1425-1437. Bibcode:1996LimOc.. 41.1425T. doi:10.4319/lo.1996.41.7.1425. Arxivat de l'original (PDF) el 2012-04-25.
^ Maig, R.M. (1988). "Quantes espècies hi ha a la Terra?" (PDF). Ciència. 241 (4872): 1441-1449. Bibcode:1988Sci... 241.1441M. doi:10.1126/science.241.4872.1441. PMID17790039. S2CID 34992724. Arxivat de l'original (PDF) el 2013-05-11. Consultat el 2011-06-13.
^ Beattie, A.; Ehrlich, P. (2010). "El nexe d'unió en la conservació de la biodiversitat". Ciència. 328 (5976): 307–308. Bibcode:2010Sci... 328..307B. doi:10.1126/science.328.5976.307-c. PMID 20395493.
^ Ehrlich, P. R.; Pringle, R.M. (2008). "Paper col·loqui: D'on ve la biodiversitat? Una mala previsió de negoci com sempre i una esperançadora cartera de solucions parcials". Actes de l'Acadèmia Nacional de Ciències. 105 (S1): 11579–11586. Bibcode:2008PNAS.. 10511579E. doi:10.1073/pnas.0801911105. PMC 2556413. PMID 18695214.
^ Jump up to:Un B Dunne, J. A.; Williams, R. J.; Martinez, N. D.; Fusta, R. A.; Erwin, D. H.; Dobson, Andrew P. (2008). "Recopilació i anàlisi de xarxa de xarxas d'aliments cambrians". Plos Biologia. 6 (4): e102. doi:10.1371/journal.pbio.0060102. PMC 2689700. PMID18447582.
^ Jump up to:Un B Krause, A. E.; Frank, K. A.; En Mason, D.M.; Ulanowicz, R. E.; ? Taylor, W. W. (2003). "Compartiments revelats en estructura food-xarxa" (PDF). Naturalesa. 426 (6964): 282-285. Bibcode:2003Natur.426.. 282K. doi:10.1038/nature02115. hdl:2027.42/62960. PMID 14628050. S2CID 1752696.
^ Jump up to:Un B Bormann, F. H.; Likens, G. E. (1967). "Ciclisme de nutrients" (PDF). Ciència. 155(3761): 424-429. Bibcode:1967Sci... 155..424B. doi:10.1126/science.155.3761.424. PMID 17737551. S2CID 35880562. Arxivat de l'original (PDF) el 2011-09-27.
^ Jump up to:Un B Polis, G. A.; Anderson, W.B.; Hold, R. D. (1997). "Cap a una integració de l'ecologia xarxa paisatgística i alimentària: La dinàmica de les xarxas d'aliments subvencionades espacialment" (PDF). Revisió Anual d'Ecologia i Sistemàtica. 28: 289–316. doi:10.1146/annurev.ecolsys.28.1.289. hdl:1808/817. Arxivat de l'original (PDF) el 2011-10-02.
^ Jump up to:Un B O'Neil, R. V. (2001). "És hora d'enterrar el concepte d'ecosistema? (Amb plens honors militars, és clar!)" (PDF). Ecologia. 82 (12): 3275–3284. doi:10.1890/0012-9658(2001)082[3275:IITTBT]2.0.CO;2. Arxivat de l'original (PDF) el 2012-04-25.
^ Gönenç, I. Ethem; Koutitonsky, Vladimir G.; Rashleigh, Brenda (2007). Avaluació del destí i efectes dels agents tòxics en els recursos hídrics. Springer. p. 279. ISBN 978-1-4020-5527-0.
^ Gil Nonato C. Santos; Alfonso C. Danac; Jorge P. Ocampo (2003). E-Biologia II. Magatzem de llibres Rex. p. 58. ISBN 978-971-23-3563-1.
^ Elser, J.; Hayakawa, K.; Urabe, J. (2001). "La limitació de nutrients redueix la qualitat dels aliments per al zooplàncton: resposta de Dafnia a l'enriquiment de fòsfor de Seston". Ecologia. 82 (3): 898–903. doi:10.1890/0012-9658(2001)082[0898:NLRFQF]2.0.CO;2.
^ Jump up to:Un B Paine, R. T. (1988). "Mapes de carreteres d'interaccions o grist per al desenvolupament teòric?" (PDF). Ecologia. 69 (6): 1648–1654. doi:10.2307/1941141. JSTOR 1941141. Arxivat de l'original (PDF) el 2011-07-28.
^ Jump up to:Un b c c Williams, R. J.; Berlow, E. L.; Dunne, J. A.; Barabási, A.; Martinez, N. D. (2002). "Dos graus de separació en xarxas alimentàries complexes". Actes de l'Acadèmia Nacional de Ciències. 99 (20): 12913–12916. Bibcode:2002PNAS... 9912913W. doi:10.1073/pnas.192448799. PMC 130559. PMID 12235367.
^ Jump up to:Un B Banasek-Richter, C.; Bersier, L. L.; Cattin, M.; Baltensperger, R.; Gabriel, J.; Merz, Y.; et al. (2009). "Complexitat en xarxas quantitatives d'aliments" (PDF). Ecologia. 90 (6): 1470–1477. doi:10.1890/08-2207.1. hdl:1969.1/178777. PMID 19569361. Arxivat de l'original (PDF) el 2011-06-01.
^ Riede, J. O.; Rall, B.C.; Banasek-Richter, C.; Navarrete, S.A.; Wieters, E. A.; Emmerson, M.C.; et al. (2010). Woodwoard, G. (ed.). Escalat de propietats xarxa alimentàries amb diversitat i complexitat entre ecosistemes (PDF). 42. Burlington: Premsa acadèmica. pàg. ISBN 978-0-12-381363-3.
^ Briand, F.; Cohen, J. E. (1987). "Correlacionaments ambientals de longitud de la cadena alimentària" (PDF). Ciència. 238 (4829): 956-960. Bibcode:1987Sci... 238..956B. doi:10.1126/science.3672136. PMID 3672136. Arxivat de l'original (PDF) el 2012-04-25.
^ Jump up to:Un B Neutel, A.; Heesterbeek, J. A. P.; de Ruiter, P. D. (2002). "Estabilitat en xarxas d'aliments reals: Enllaç feble en bucles llargs" (PDF). Ciència. 295 (550): 1120–1123. Bibcode:2002Sci... 296.1120N. doi:10.1126/science.1068326. hdl:1874/8123. PMID12004131. S2CID 34331654. Arxivat de l'original (PDF) el 2011-09-28.
^ Leveque, C., ed. (2003). Ecologia: De l'ecosistema a la biosfera. Editorials de Ciència. p. 490. ISBN 978-1-57808-294-0.
^ Jump up to:Un B Proctor, J. D.; Larson, B.M. H. (2005). ?«Ecologia, complexitat i metàfora» (PDF).BioCiència. 55 (12): 1065–1068. doi:10.1641/0006-3568(2005)055[1065:ECAM]2.0.CO;2. Arxivat de l'original (PDF) el 2011-10-06.

^ Jump up to:Un B Dunne, J. A.; Williams, R. J.; Martinez, N. D. (2002). "Estructura food-xarxa i teoria de xarxes: El paper de la connexió i la mida". Actes de l'Acadèmia Nacional de Ciències. 99(20): 12917–12922. Bibcode:2002PNAS... 9912917D. doi:10.1073/pnas.192407699. PMC 130560. PMID 12235364.
^ Jump up to:Un B Capra, F. (2007). "Complexitat i vida". Syst. Res. 24 (5): 475–479. doi:10.1002/sres.848.
^ Peters, R. H. (1988). "Alguns problemes generals per a l'ecologia il·lustrats per la teoria xarxa dels aliments". Ecologia. 69 (6): 1673–1676. doi:10.2307/1941145. JSTOR1941145.
^ Michener, W. K.; Baerwald, T. J.; Firth, P.; Palmer, M. A.; Rosenberger, J. L.; Sandlin, E. A.; Zimmerman, H. (2001). "Definició i desentrany de la biocomplexitat" (PDF).BioCiència. 51 (12): 1018–1023. doi:10.1641/0006-3568(2001)051[1018:daub]2.0.co;2. Arxivat de l'original (PDF) el 2011-08-17. Consultat el 2011-07-04.
^ Bascompte, J.; Jordan, P. (2007). "Xarxes mutualistes vegetals-animals: L'arquitectura de la biodiversitat" (PDF). Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst. 38: 567–569. doi:10.1146/annurev.ecolsys.38.091206.095818. Arxivat de l'original (PDF) el 2009-10-25.
^ Montoya, J.M.; Pimm, S. L.; Solé, R. V. (2006). "Xarxes ecològiques i la seva fragilitat"(PDF). Naturalesa. 442 (7100): 259–264. Bibcode:2006Natur.442.. 259M. doi:10.1038/nature04927. PMID 16855581. S2CID 592403. Arxivat de l'original(PDF) el 2010-07-06.
^ Michio, K.; Kato, S.; Sakato, Y. (2010). "Les xarxas d'aliments es construeixen amb subxarxas niats". Ecologia. 91 (11): 3123–3130. doi:10.1890/09-2219.1. PMID21141173.
^ Montoya, J.M.; Solé, R. V. (2002). "Petits patrons mundials en xarxas d'aliments" (PDF).Revista de Biologia Teòrica. 214 (3): 405–412. arXiv:cond-mat/0011195. doi:10.1006/jtbi.2001.2460. PMID 11846598. Arxivat de l'original (PDF) el 2011-09-05.
^ Montoya, J.M.; Blüthgen, N; Marró, L.; Dormann, C. F.; Edwards, F.; Figueroa, D.; et al. (2009). "Xarxes ecològiques: més enllà de les xarxas alimentàries" (PDF). Revista d'Ecologia Animal. 78 (1): 253–269. doi:10.1111/j.1365-2656.2008.01460.x. PMID19120606. Arxivat de l'original (PDF) el 2011-09-16.
^ Shurin, J.B.; Gruner, D. S.; Hillebrand, H. (2006). "Tot mullat o assecat? Diferències reals entre les xarxas d'aliments aquàtics i terrestres". Proc. R. Soc.B. 273 (1582): 1-9. doi:10.1098/rspb.2005.3377. PMC 1560001. PMID 16519227.
^ Egerton, F. N. "Una història de les ciències ecològiques, part 6: Ciència del llenguatge àrab: Orígens i escrits zoològics" (PDF). Butlletí de la Societat Ecològica d'Amèrica. 83(2): 142–146.
^ Egerton, FN (2007). "Comprensió de cadenes alimentàries i xarxas alimentàries, 1700-1970". Butlletí de la Societat Ecològica d'Amèrica. 88: 50-69. doi:10.1890/0012-9623(2007)88[50:UFCAFW]2.0.CO;2.
^ Shelford, V. (1913). "Comunitats animals a l'Amèrica temperada com il·lustrades a la regió de Chicago". Premsa de la Universitat de Chicago.
^ Summerhayes, VS; Elton, CS (1923). Contribucions a l'ecologia de Spitsbergen i l'illa de l'ós". Revista d'Ecologia. 11 (2): 214–286. doi:10.2307/2255864. JSTOR 2255864.
^ Hardy, AC (1924). "L'arengada en relació al seu entorn animat. Part 1. Els hàbits alimentaris i d'alimentació de l'arengada amb especial referència a la costa est d'Anglaterra". Investigació pesquera London Sèrie II. 7 (3): 1-53.
^ Jump up to:Un B Elton, C. S. (1927). Ecologia Animal. Londres, Regne Unit.: Sidgwick i Jackson. ISBN978-0-226-20639-4.
^ Elton CS (1927) Ecologia Animal. S'ha tornat a publicar el 2001. Premsa de la Universitat de Chicago.
^ Allee, W.C. (1932). Vida animal i creixement social. Baltimore: La companyia i associats de Williams & Wilkins.
^ Stauffer, R.C. (1960). "Ecologia en la llarga versió manuscrita de l'"Origen de les espècies" de Darwin i "Oeconomia delanatura" de Linné. Proc. Am. Philos. Soc. 104 (2): 235–241. JSTOR 985662.
^ Darwin, C. R. (1881). "La formació de motlle vegetal, a través de l'acció dels cucs, amb observacions sobre els seus hàbits". Londres: John Murray.
^ Pitjor, D. (1994). Economia de la natura: Una història d'idees ecològiques (2a ed.). Premsa universitària de Cambridge. p. 423. ISBN 978-0-521-46834-3.
^ Paine, RT (1966). "Complexitat xarxa alimentària i diversitat d'espècies". El naturalista americà. 100 (910): 65-75. doi:10.1086/282400. S2CID 85265656.
^ Maig RM (1973) Estabilitat i complexitat en ecosistemes model. Premsa universitària de Princeton.
^ Pimm SL (1982) xarxas d'aliments, Chapman & Hall.

Bibliografia

Cohen, Joel E. (1978). xarxas d'aliments i espai de nínxol. Monografies en Biologia de Poblacions. 11. Princeton, NJ: Princeton University Press. pàg. xv+1–190. ISBN 978-0-691-08202-8. PMID 683203.
"xarxas d'aliments aquàtics". Recursos Educatius noaa. Administració Nacional Oceànica i Atmosfèrica.