

Atomer som budbärare -Isotoper skvallrar om ekologiska samspel

- Isotoper är ett kraftfullt verktyg för att studera ekologiska samband.
- Naturliga isotoper kan ge information om hur näringsvävarna ser ut och hur näringsämnen och föroreningar transporteras genom ekosystemet.
- Stabila och radioaktiva isotoper öppnar ett fönster mot naturen och bidrar till att ge svar på teoretiska och tillämpade frågeställningar.

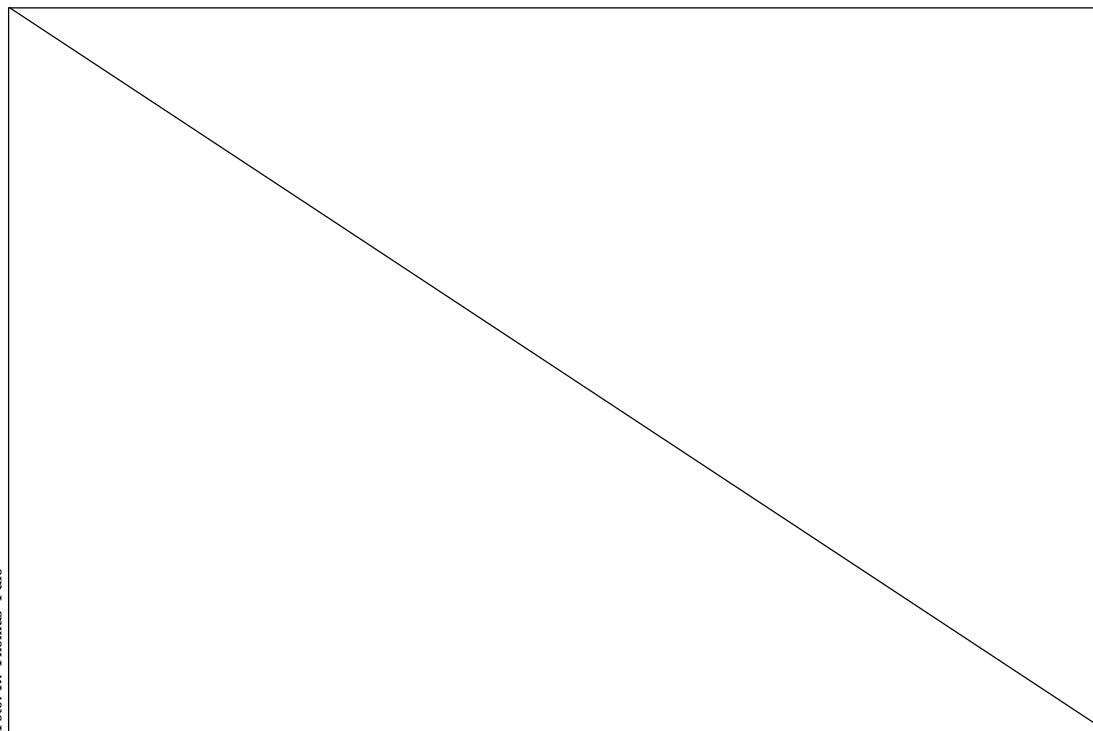


Foto: R. Thomas Palo

Med hjälp av stabila isotoper kan forskarna studera lokala och globala kretslopp. Akacian bygger in mer av den tunga kolisotopen kol-13 än savanngräset som istället använder kol-12 för att bygga upp sina vävnader. När savannen brinner ökar halterna av de två stabila isotoperna i atmosfären.

Atomen, en av materiens minsta beståndsdelar, kan synas vara obetydlig i ett ekologiskt perspektiv där djurens och växternas kamp för livet överskuggar händelser i mikrokosmos. Faktum är att atomer genomsyrar all levande och död materia och därigenom agerar som budbärare om dess sammanställning och historia.

Inom ekologin är det i många fall svårt att studera växternas och djurs liv eftersom de kan vara sällsynta och skygga. Radioaktiva och stabila isotoper av olika grundämnen kan i dessa fall vara idealiska markörer för att studera hur organismer samverkar med sin miljö och med andra arter, hur de utnyttjar sina födoresurser och hur de ingår i komplexa ekologiska samband. Dessutom lär vi oss på samma gång hur miljöförändringar som radioaktiva utsläpp förflyttar sig i miljön.

Mindre känd metodik

Intresset för isotopstudier i naturliga ekosystem har hittills varit litet. Orsakerna är flera. Dels har man tillmätt dessa miljöer liten vikt från strålskyddssynpunkt, dels har enbart ekologiska motiv inte varit skäl nog för forskning på området. Ytterligare en orsak är att många ekologer är obekanta med isotopers användbarhet i ekologiska sammanhang. De studier som har utförts har tyvärr fått ske i anslutning till spridning av radioaktiva ämnen från olyckor i kärnkraft-

verk, atombombssprängningar och avfallslager – inte särskilt attraktiva miljöer för ekologer alltså.

Alla isotoper är emellertid inte radioaktiva. Det finns också stabila sådana, och de flesta av dem förekommer naturligt i miljön. Därför kan de med fördel användas som markörer i ekologiska studier.

Stabila eller radioaktiva

I allmänhet avgör antalet protoner och neutroner om en atomkärna är stabil eller inte. De flesta tunga grundämnen har instabila isotoper. Ett exempel på en sådan instabil och därmed radioaktiv isotop är cesium-137 som ingick i nedfallet över Sverige från kärnkraftsolyckan i Tjernobyl. Strålningen som utsänds från radioaktiva isotoper utgör en fara för levande celler och kan vid höga doser ge upphov till cellförändringar, genetiska skador och död. Stabila isotoper utsänder lyckligtvis ingen radioaktivitet. Till dessa hör isotoper av väte, syre, kväve, svavel och kol. Ytterligare en lycklig omständighet är att dessa grundämnen ingår som byggstenar i levande organismer och deltar i globala och lokala kretslopp (figur 1). De kan därför ge forskarna värdefull information.

I alla levande organismer förekommer både lätta och tunga isotoper av olika grundämnen. Antalet neutroner i kärnan avgör tyngden. Den

FAKTARUTA 1

Kol-13

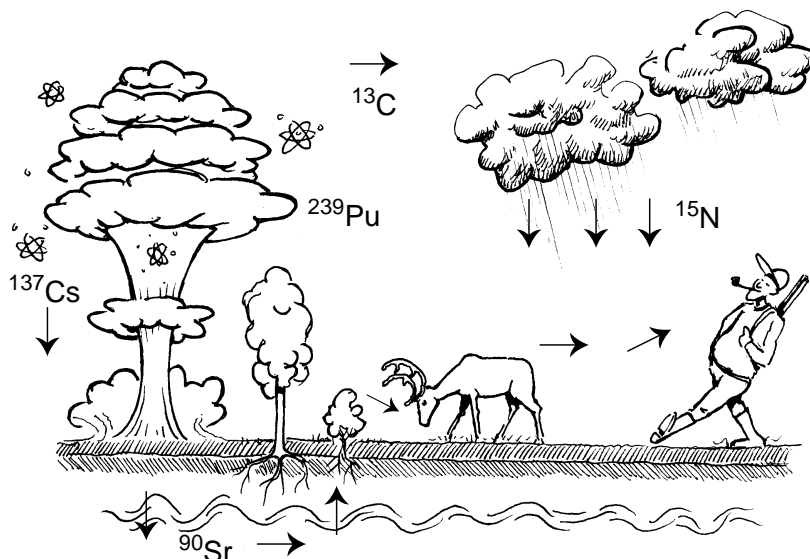
Ungefär 1,1% av alla kolatomer förekommer i form av den icke radioaktiva kol 13-isotopen. Isotopen kan bestämmas med hjälp av en masspektrometer som kvoten $^{13}\text{CO}_2/^{12}\text{CO}_2$. Förekomsten i ett prov uttrycks som kvoten ovan i förhållande till motsvarande kvot i Pee Dee kalksten från South Carolina. Kvoten benämns sigma. Förbränningen av fossila bränslen gör att mängden $^{13}\text{CO}_2$ ökar i atmosfären.

stabila isotopsammansättningen för en organism anges som kvoten mellan den "lätta" och den "tung" isotopen i förhållande till en standard. För kväve är standarden vanlig luft. Många biologiska processer förändrar emellertid kvoten i djuret eller växten i förhållande till standarden och ger därmed information om källan och själva processen. Ett exempel på en biologisk process är fotosyntesen, d.v.s. växternas upptag av koldioxid.

Bild av näringsväven

Växter har olika sätt med vilket fotosyntesen fungerar, vilket också syns då man studerar isotopsammansättningen. De innehåller mindre kol-13 än atmosfären och bygger hellre in den lättare kol-12-isotopen i sina vävnader. Växter med s.k. C3-fotosyntes, t.ex. tall och gran, har en större andel av den tunga kolisotopen än växter som har C4-fotosyntes, till exempel vissa tropiska gräs.

Djur uppvisar i allmänhet samma isotopsammansättning som den föda de äter. I vissa fall gör djuret genom sin ämnesomsättning ett urval av isotoper. Den tunga isotopen av kväve (^{15}N) kan exempelvis anrikas beroende på att den lätta kväveisotopen i större utsträckning går förlorad via urinen. På samma sätt anrikas också den tunga kväveisotopen från växtätare till rovdjur. För varje nivå i näringsväven ökar andelen av den tunga isotopen med ca 3-5 promille. Man kan sålunda utifrån isotopkvoten bestämma antalet nivåer i näringsväven (figur 2).



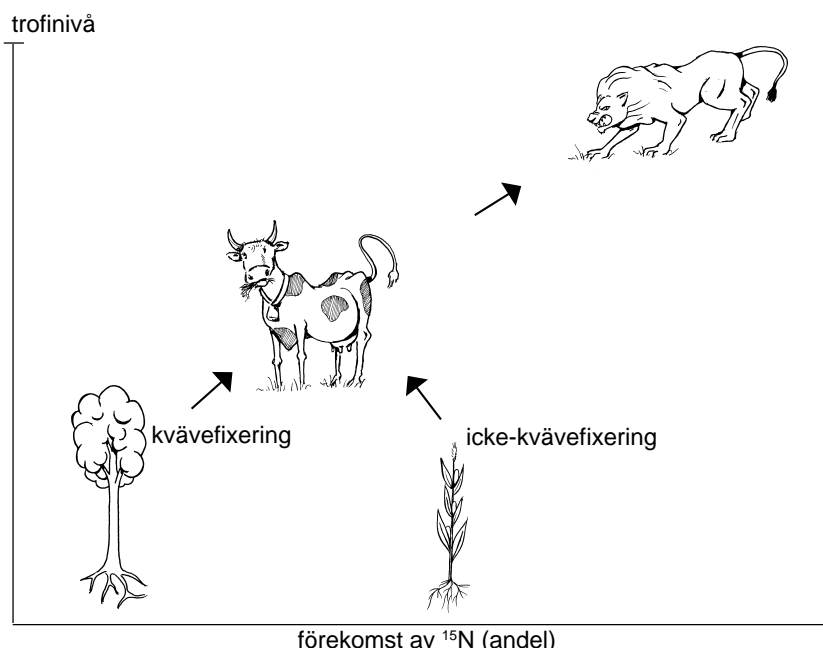
FIGUR 1. Schematisk framställning av isotopernas globala och lokala kretslopp.

Fossila bränslen spåras

Kolets kretslopp är av speciellt intresse eftersom många befarar en förstärkning av växthuseffekten. Kretsloppet innebär utbyte av koldioxid mellan atmosfären, landmiljöerna och havet. Det relativa bidraget av koldioxid från förbränningen av fossila bränslen i förhållande till förmultningen av material från jord och skog debatteras för närvarande. Detta bidrag kan beräknas med hjälp av stabila kolisotoper eftersom förbränningen av fossila bränslen ger en högre andel av den tyngre kolisotopen i atmosfären. Som ett surrogat för avsaknaden av historiska mätningar i atmosfären, har årsringar i australiska träd analyserats. Det visar sig att andelen tungt kol genomsnittligt har ökat i träden från 1750 fram till våra dagar, vilket stämmer väl med den beräknade förbränningen av fossila bränslen under samma tid.

Kvävefixering mindre vanlig

De flesta växter lever i ett ömsesidigt samspel med markmikroorganismerna. Ett sådant samspel finns mellan kvävefixerande bakterier och vissa växter. Växter som fixerar kväve har en kvot mellan tungt och lätt kväve som är nära den i luft, medan de som saknar kvävefixering har kvoter som avviker från den i atmosfären. Studier har dock visat att det kan variera i vilken utsträckning växter tar upp kväve genom kvävefixering. Isotopmätningar i Namibia på ett stort antal trädarter som betraktats som kvävefixerare, visade att endast 32 procent av arterna hade kvävefixering. Ett annat resultat visade att kvävefixerande växter använder mer vatten per mängd upptagen koldioxid än vad icke kvävefixerande växter gör. Detta tyder på att det kan vara kostsamt för växten att samarbeta med sina bakteriella "vänner".



FIGUR 2. Modell över förändringen av andelen kväve-15 i en näringsväv. Ju högre nivå i näringsväven, desto större förekomst av kväve-15.

Energiomsättning hos djur

Alla levande organismer behöver energi för sina livsprocesser, och de flesta djur erhåller denna energi från födan. Energin hos djur är förpackad som socker som i cellerna förbränns till koldioxid och vatten.

Om djuret får s.k. dubbelmärkt vatten tillsammans med födan kan energi- och vattenomsättningen bestämmas. Metoden är över 30 år gammal men har inte använts i särskilt stor omfattning, p.g.a. att isotoperna är så dyra. Glädjande nog har kostnaderna sjunkit under senare tid, vilket gör det möjligt att studera även stora djur med denna teknik.

Vid dubbelmärkning av dricksvatten användes någon av de två tunga isotoperna av väte, stabilt deuterium eller radioaktivt tritium, samt en av de stabila tunga isotoperna av syre. När djuret dricker det dubbelmärkta vattnet kommer det att ingå i djurets

alla kroppsvätskor. Den tunga syreisotopen kommer att avgå i form av koldioxid och vatten, medan det märkta vätet avgår i form av vatten. Om man analyserar saliv- eller blodprover från djuret vid olika tidpunkter, kan man konstatera hur stora förlusterna av koldioxid och vatten är och därmed bestämma energiförbrukningen.

Studie av utdöd garfågel

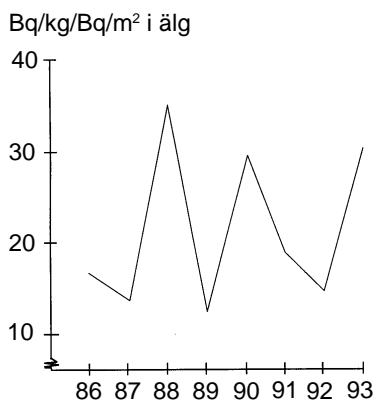
Ett sätt att använda stabila kväveisotoper är att bestämma den typ av föda som djur äter och därmed också vid vilket läge i näringsväven djuret befinner sig. Även djur som är svåra att studera för att de är sällsynta eller rent av utdöda, kan studeras med isotopteknik.

Den utdöda garfågeln, för att ta ett exempel, var den största representanten för alkfågeln i Nordatlanten. Alkfågeln utgör i många avseenden en ekologisk motsvarighet till pingvinerna på södra halvklotet, eftersom båda grupperna har starkt reducerade vingar och lever på fisk eller plankton. Såväl alkfågeln som deras ägg har under lång tid utnyttjats av människan och år 1844 beseglades garfågelns öde då de sista fåglarna av denna art dödades. Garfågelns födoval är okänt, men eftersom den tunga kväveisotopen selektivt anrikas med ökad näringsnivå,

Nyckel till kunskap om C4-fotosyntes

FAKTARUTA 2

En av pionjärerna i att analysera stabila isotoper i växter var F. Wickman som arbetade i Stockholm. Han noterade 1952 att växter som insamlats längs en järnvägslinje i centrala Asien hade mer av den tunga kolisotopen än växter från tropikerna. Två år senare visade flera oberoende forskare att fraktioneringen berodde på fotosyntesen. Det skulle dock dröja 20 år innan amerikanska forskare upptäckte orsaken till den variation som Wickman noterade, nämligen C4-fotosyntes i en del tropiska växter.



FIGUR 3. Årlig variation i överföringskoefficienten av cesium-137 för älg i Västerbotten. Koefficienten är kvoten mellan koncentrationen cesium-137 i älg och motsvarande koncentration i marken där djuret sköts.

kan man på museiexemplar jämföra artens isotopsammansättning med nu levande alkfågels. Resultaten visar att garfågeln utnyttjade en näringskedja bestående av tre till fem länkar. Detta stämmer med den typ av föda som nu levande alkor har.

Varierande cesiumvärde

Älgen är vår största vilda växtätare och lever i huvudsak på ris, örter och träd. Andelen av respektive växtgrupp varierar med årstiden. Lite är känt om variationen i föda mellan individer och mellan födoingtaget under olika år. Det kan emellertid antas att betesväxternas kvalitet varierar mellan olika miljöer och med väderleken under sommaren. Vissa växter förändras mer än andra och vissa miljöer bidrar mer än andra till förändringen. Utifrån teorier om hur växtätare söker sin föda borde älgen följa dessa förändringar och byta diet och miljö när detta är lämpligt. För älgen saknas det stöd för denna teori,

mycket beroende på att observationer på djurets födoval är svåra att få. Analyser av radioaktivt cesium i älgar i Västerbotten visar att det finns dramatiska variationer i koncentrationen av isotopen cesium-137 mellan år och mellan individer (figur 3). Inom ett och samma område kan en älg nämligen ha fyra gånger högre eller lägre cesiumvärde än ett annat djur inom området. Även variationen mellan olika år är av samma storlek. Eftersom älgen bara får i sig radioaktivt cesium via födan, måste älgens matsedel vara mer varierad än vi tidigare trott. Vi arbetar nu med att undersöka hur födans kvalitet varierar och vad det betyder för älgens matsedel och upptaget av radioaktivt cesium. Mycket kvarstår att utforska innan vi förstår mekanismerna bakom variationen. Vi måste därför utsträcka våra experiment med isotoper till att anamma händelser på individ-, populations- och samhällsnivå, och basera våra tolkningar på modern ekologisk teori.

Hur reagerar ekosystemen?

Flera viktiga lärdomar kommer från isotopstudier, bl.a. hur grundläggande biologiska mekanismer fungerar och hur miljöföroreningar transporteras. Vi lär oss förstå att trots den urbaniserade människans bekväma tillvaro och marginalisering av naturliga ekosystem, så leder utsläppen förr eller senare till oss själva. Den praktiska nyttan av denna kunskap är lätt att förstå när det gäller att kunna förutsäga exempelvis hur olika ekologiska system kommer att reagera nästa gång en kärnkraftsolycka inträffar, eller vad som händer växter och djur om klimatet förändras.



R. Thomas Palo är universitetslektor och docent i viltekologi vid institutionen för skoglig zoökologi, Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå. Han studerar bland annat transporten av radioaktivt cesium i älg, mekanismer för växtätarens födoval och betydelsen av växters kemiska försvar mot växtätare. Telefon: 090-16 66 33

Litteratur

- Lajtha, K., & Michener, R. 1994. Stable isotopes in ecology and environmental science. *Methods in ecology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Palo, R.T., Bergman, R., Nelin, P. & Nylén, T. 1992. Strålning från Tjernobyl borta från åkern, kvar i skogen. *Forskning och Framsteg* 8, 22-26.
- Odum, E.P. och Kuenzler, E.J. 1963. Experimental isolation of food chains in an old-field ecosystem with the use of phosphorous-32. I: *Radioecology. Proceedings from the first National Symposium on Radioecology*. Eds. V. Schultz och A. Klement. Chapman and Hall, London, 113-120.