

Kväve-kretsloppet i akvarievattnet

- inklusive de nyaste rönen beträffande bakteriernas inverkan

Dags att göra rent hus med några vanliga missuppfattningar!

Kvävecykeln reglerar nedbrytningen av fiskarnas ämnesomsättningsprodukter. Denna nedbrytning benämns ibland mineraliserings-process. När kretsloppet är fullbordat kan växter återigen uppta substanserna och använda dem så att de kan utnyttjas av djur som äter av växterna och på så sätt går det hela varvet runt igen. Ute i naturen är cirkeln sluten, men i det begränsade ekosystem som ett akvarium utgör, måste vissa ämnen eller restprodukter avlägsnas mekaniskt för att akvariet skall kunna upprätthålla sin ekologiska balans.

Det heter kvävecykeln eftersom proteinerna i fiskmaten som bryts ned och spjälkas till sina beståndsdelar aminosyror i fiskarnas matsmältning, ger upphov till kväveföreningar som vandrar runt i detta kretslopp. Proteiner är nämligen en typ av kvävehaltiga organiska ämnen. Även urinämnen ger upphov till kväve som bidrar till kvävecykeln i ett akvarium. Kvävet bildar kväveföreningar som endast kan bildas under närvaro av syre. Om syrebrist uppstår går denna uppbyggnad långsammare och farligt ammoniak uppstår istället (till exempel vid buffringsproblem i samband med vattenbyte). Men när allt går väl så reagerar kväveföreningarna med syret och cirkeln slutes. Den slutliga produkten i kvävecykeln heter nitrat och skrivs NO_3^- . Nitratet är den s.k. nitrifikationens slut- eller restprodukt, som sedan måste avlägsnas handgripligen ur akvariet (Egentligen är kvävgas slutprodukten).

Enklast möjligt uttryckt sker nedbrytningen på följande sätt:

Proteiner → aminosyror → ammonium → nitrit → nitrat

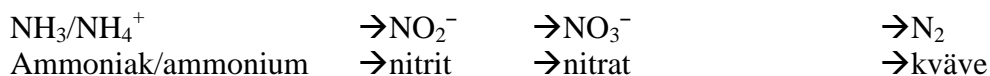
Nitrat är relativt harmlöst för fiskar, men lägre djur och även några känsliga fiskarter trivs bättre om de får vistas i helt nitratfritt vatten. 10-20 mg/l får anses vara harmlöst, dubbel halt får anses vara acceptabelt kortfristig. Vissa lägre djur som förekommer i saltvattensakvarier kan dock inte odlas eller ens hållas framgångsrikt i vatten som innehåller nitrat. I övriga fiskakvarier kan man (kortfristig) tillåta mycket höga nitratkoncentrationer på ända upp till 300 mg/l utan att fiskarna dör av detta. I naturliga vattendrag har man kunnat uppmäta värden på 500 mg/l (detta värde erhöles när man försökte ta reda på under vilka förhållanden som praktbotian leker). Sådana värden bör naturligtvis inte betraktas som optimala, de förekommer ute i naturen exempelvis i uttorkade vattendrag strax före regntidens början. Fiskarna har där kunnat anpassa sig under lång tid under det att dessa värden stigit långsamt. När sedan regntidssäsongen inträder späds vattnet ut igen av regnet och isolerade vatten kommer återigen i kontakt med strömmande vatten som forslar bort sådana ämnen. En jämförbar situation råder mycket sällan i ett akvarium. Man riskerar alltså dödsfall vid nitrathalter på 200-300 mg/l.

I ett akvarium råder det emellertid ett nära kemiskt samband mellan nitrat och nitrit (de är båda salter som bildas av salpetersyra respektive salpetersyrighet), och nitrit är redan i små koncentrationer ett dödligt gift för fiskarna. Dödlighet kan inträffa redan vid en nitritkoncentration på 1 mg/l, men det finns fiskarter som kortfristig kan tolerera högre halter (2 mg/l) ett tag. Tröskelvärdet för giftighet hos Guppy är vid 1 mg/l. Som en tumregel kan man säga att "nitrit är tusen ggr farligare än nitrat". Halter på över 0,5 mg/l är farliga och bör undvikas. Mer om nitrit senare.

Att ta bort nitrat med hjälp av ett jonbytarfilter är litet väl dyrbart för hobbyakvaristen. Detta gäller både sött och salt vatten. De allra flesta akvarister (åtminstone i Europa men inte lika ofta i USA) väljer därför att låta nyttobakterier ta hand om saken, här rör det sig om denitrifikation som försiggår i syrefri miljö (och under närvaron av organiska kolväten). Detta är samma sak som biologisk rening eller filtrering i akvariet. Den biologiska reningen består i att nitraten avlägsnas genom reduktion av nitrat till gasformigt kväve med hjälp av bakterier.

När bakterier arbetar i syrefri miljö, exempelvis i akvariets bottenstrukt eller möjligen längst in i ett filtersystem, kallas de för anaeroba. Motsatsen är aeroba bakterier, som behöver syre för att kunna arbeta. Sådana bakterier finns nästan överallt i akvariet, i akvarievattnet, i bottenstruktet och särskilt i ytskiktet av fungerande filter.

Så här ser sambandet mellan ammoniak/ammonium-nitrit-nitrat och kväve ut i kortfattad form:



(-----) (-----)

Nitrifikation/Nitritation Denitrifikation/Nitratation
i aerob (syrerik) miljö

därefter bildas kväve i anaerob
(syrefattig) miljö

Nitrifikationen sker i två steg: steg ett med hjälp av syreälskande bakterier som heter Nitrosomonas europaea (och möjligen Nitrosococcus oceanus, kanske mest i bräckta eller salta vatten) och steg två med hjälp av andra syreälskande bakterier vid namn . Denitrifikationen sker med hjälp av syreskyende bakterier som heter Nitrospira (möjligen Nitrospira moscoviensis och Nitrospira marina). Hela processen som populärt kallas för kvävecykeln sker i flera steg och är hela tiden beroende av övriga faktorer i vattnet, främst pH-värdet. Slutligen reduceras nitratet till kvävgas med hjälp av syreskyende bakterier (heterotrofa bakterier såsom Paracoccus denitrificans, Thiobacillus denitrificans och diverse Pseudomonas) och därefter avges ofarligt kväve i form av kvävgas samt syrgas ut i atmosfären. Så här går det till:

Fiskarna äter sitt foder som spjälkas i matsmältningen och därmed bildas proteiner som avges i form av aminosyror (kvävehaltiga organiska ämnen) ut i akvarievattnet, i form av urin och fast avföring. Då bildas ammonium som är en kvävehaltig jon som skrivs NH_4^+ .

Ammoniumjoner bildas även när foderrester, döda växtdelar (detritus) fiskar och snäckor lämnas att ruttna i akvariet istället för att ta bort dem. Tillåts de här förruttnelseprocesserna att bli alltför omfattande klarar nyttobakterierna inte av att omvandla alla dessa rester till slutprodukten nitrat. Men om det finns normala mängder av sådant avfall i akvariet räcker filterkapaciteten, bakterierna och syret till för att föra processen vidare i kvävecykeln. Det kan vara roligt att veta att vid utfodring av 1 gram protein bildas ungefär 0,708 gram nitrat (en del källor anger 0,75 gram, beroende på vilka aminosyror som ingår i proteinet).

Ett litet räkneexempel:

Akvariet är 250 liter stort och du matar med 5 fodertabletter om vardera 0,6 gram.

Proteinhalten är enligt innehållsdeklarationen 40%. Vi använder formeln som säger att 100

gram äggvita ger 17 gram kväve som efter nitrifikation och denitrifikation omvandlas till 71 gram nitrat.

Följande mängd protein har du tillfört i akvariet:

$$0,6 \times 5 \times 0,40 = 1,2 \text{ gram}$$

Detta ger $1,2 : 100 \times 17 = 0,2$ gram kväve,

som i slutändan ger följande mängd nitrat:

$$0,6 \times 5 \times 0,40 : 100 \times 71 = 0,852 \text{ gram nitrat}$$

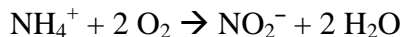
Alltså har nitrathalten i exempelakvariet efter matningen ökat med 3,5 mg/l! Detta är den mängd nitrat som tillförs varje dag och som slutligen måste avlägsnas via vattenbyte.

För att i exemplet ovan omvandla kvävet (i form av ammoniumjoner) till nitrit, vilket är bara ett av de nödvändiga stegen i nedbrytningen, så går det åt ungefär 1 mg syrgas. Totalt går det åt mer. Det frigjorda kvävet avges slutligen som kvävgas ut i rumsluften. Men slutprodukten Nitrat måste avlägsnas manuellt. Med detta i åtanke, inses snabbt att ett akvarium, även om det är stort, inte utgör ett komplett naturligt system utan en enhet som kontinuerligt måste övervakas och skötas för att vara en miljö som är bra för fiskarna.

Nitrifikation (Nitritation):

I fiskarnas urin och avföring finns urinämnen m.m. som belastar vattnet med sitt kväveinnehåll. I reaktionens första steg oxideras kvävet N_2 till ammonium NH_4^+ . Det heter oxidation eftersom det sker under närvaro av syre. Kommande reaktionssteg är ytterligare en oxidation.

Ammoniumet kommer i kontakt med bakterier som lever i bottenlagret och i filtret, där ammoniumjonerna oxideras av nitrosomonasbakterierna till en mellanprodukt i kvävecykeln som heter nitrit. Ammoniumet reagerar med syret och bildar vatten och nitrit.

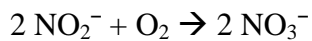


Nitrit är ett ämne som skrivs NO_2^- och är som tidigare nämnts rättså giftigt för fiskarna. Den här processen liksom nästa reaktionssteg är syrekrävande och därför till viss del temperaturberoende. För att omvandla 1 mg kväve bundet i Ammoniumjon-form går det åt ungefär 4,6 mg syrgas. Kyligare vatten kan hålla mera syre och kan därför stimulera denna omvandling lättare än varmare och syrefattigare vatten. I varmt vatten är det särskilt viktigt att rengöra filtret ofta och se till att genomströmningen (=syrehalten) upprätthålls, både för den kemiska jämviktens skull och för fiskarnas gäländning. Vid nitritförgiftning är syrebrist ett vanligt symptom eftersom gälarna skadas (syrebrist uppstår trots att det kan finnas normala mängder syre tillgängligt). Det uppstår då ofta en brunaktig beläggning av methemoglobin inuti gälarna (händer även vid bas-sjukan). Man bör även se till att bottenlagret inte är alltför kompakt utan tillåter genomströmning.

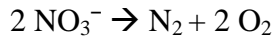
I ett välskött akvarium anrikas tack och lov inte detta giftiga nitrit, för det kommer snabbt i kontakt med syreälskande nitrospira-bakterier som lever i bl.a. akvariets bottenlager. Nitrospira-bakterierna skickar nitritet vidare i kvävecykeln genom att omvandla det till den ofarliga slutprodukten nitrat. Den här processen, som kallas nitratation eller denitrifikation, störs dock lätt och kan upphöra helt när man har ett igenslammat bottenlager eller när man medicinerat i karet. Den kan inte heller stimuleras med hjälp av tillsats av starterbakterier, dessa innehåller ”fel” bakteriesorter!

Denitrifikation (Nitratation):

Även detta reaktionssteg innebär en oxidation. Nitrit oxideras i ett mycket snabbt förlopp till nitrat.



Nitratet reduceras sedan i en aerob (=syrefri) miljö under närvaro av närsalter och organiska kolväten med hjälp av diverse heterotrofa bakterier (exempelvis *Paracoccus denitrificans*, *Thiobacillus denitrificans* eller diverse *Pseudomonas*-bakterier) till rent kvävgas och rent syrgas som diffunderar ut i atmosfären via vattenytan. Nitratet är däremot ingen gas och stannar därför kvar i vattnet som en restprodukt.



Nitratreduceringen KAN försiggå även på kemisk väg, men då endast under tillsättande av starka oxidationsmedel såsom ozon eller väteperoxid H_2O_2 . Som slutprodukt uppstår då ogiftigt kväve N_2 och rent syre O_2 , precis som för vid den biologiska metoden (man kan även reducera nitrat med hjälp av filtrering över aktivt kol).

Den kvarvarande slutprodukten i det organiska kretsloppet i akvariet heter alltså nitrat. Nitratet kan i akvariemiljö inte tas omhand effektivt på något kemiskt vis, detta måste avlägsnas på mekanisk väg via vattenbyten. Åtminstone så länge man tillför organiska ämnen i form av fiskmat till kretsloppet. Det finns heller inga tillsatsämnen som kan trolla bort nitratet fullständigt ur akvariet, även om en del producenter av akvaristiska produkter gärna vill påstå motsatsen i sin reklam. Teoretiskt så kan den bakteriella nitrifikationsprocessen som i akvariet försiggår i det inre av filter eller i bottensediment exempelvis, ta bort ALL kvävgas, men är i praktiken av underordnad betydelse. Droppfilter och ett fungerande bottensediment underlättar denna process, men ger inte heltäckande effekt. Vattenbyte är det som gäller för att bli av med nitratet, ett akvarium är tyvärr inget perfekt kretslopp såsom ute i naturen.

Vilka kan delta i kvävenedbrytningen i akvariet? Dags att skrota några gamla idéer.

Nitrosomonas-bakterierna, som ansvarar för Nitrifikationen (Nitritationen) är en vanlig typ av bakterier, som man kan hitta både i jord, sötvatten och saltvatten. Det är frågan om gram-negativa (heter så efter en färgningsmetod) korta till långa stavar. Det finns både orörliga och rörliga typer, de har polärt placerade flageller (som ett släpänkare), och kan vara membranförsedda eller ej.

Nitrospira-bakterierna, som ansvarar för Denitrifikationen (Nitratationen) är en typ av mest solstråle-formade eller liknande bakterier, som är saknar rörelseförmåga och egna membran. De förekommer ute i haven och i jorden. Det finns även Nitrospira-bakterier som kan oxidera ammonium till nitrit, men dessa har man inte funnit i akvarier (det är då väldigt rörliga, spiralformade bakterier utan igenkänningsbart cellmembran och som bara förekommer i marken). Deras huvudsakliga verkan i akvarier är alltså att omvandla Nitrit till Nitrat.

Om du vid läsningen av denna text studsar vid beteckningen Nitrospira-bakterier är du inte ensam. Det är sedan länge vetenskapligt känt, men kanske inte i akvaristiska kretsar, att bakterier av typen *Nitrospira moscoviensis* och *Nitrospira marina* oxiderar nitrit till nitrat i akvariemiljö, och inte *Nitrobacter*-bakterier (främst av typen *Nitrobacter winogradskyi*), vilket man tidigare trodde.

När man utförde DNA-analyser på bakteriefilm från fungerande akvarier där Denitrifikation (Nitratation) förelåg, fann man inga Nitrobakter. Istället fann man Nitrospira-bakterier (av typen Nitrospira moscoviensis och Nitrospira marina, men man är inte säker på om man fann dessa eller en ny, med båda närbesläktad art). Inte heller i de akvarier, där man tillsatt kommersiella preparat innehållande "starterbakterier" (Nitrobacter) kunde man finna några tecken på tillväxt av Nitrobacter, men däremot fungerande Nitrospira-bakterier. Detta tyder på att Nitrobacter inte fungerar i akvariemiljö. Dessutom kan man lätt konstatera, att de kommersiellt sålda "starterbakterierna" är verkningslösa. Teoretiskt skulle Nitrobacter-bakterier kunna fungera som denitrifikationsbakterier (nitratationsbakterier) även i akvarier, men så är alltså inte fallet i praktiken. Mej veterligen finns det bara ett enda preparat på den svenska marknaden just nu, som innehåller de verksamma Nitrospira-bakterierna. I utlandet finns några fler. Men historien har ju tydligt visat, att det går bra ändå....

En annan missuppfattning är att man tror att kvävecykeln störs när man byter vatten. Det gör faktiskt inte särskilt mycket om man skulle avlägsna allt vatten. Nyttobakterierna finns inte i nämnvärd utsträckning i själva vattnet, utan i biofilm som omger föremål i välgående kar, i bottenstratumets olika skikt (aeroba och anaeroba) samt filtersstratumets olika skikt (aeroba och anaeroba områden). Du kan lugnt byta hur mycket vatten som helst, ur denna synpunkt (förutsatt att fiskarna inte utsätts för onödig osmotisk stress).

Förutom nyttobakterierna, kan även vattenväxter medverka till att eliminera kväveföreningar ur vattnet, genom att omvandla ammonium respektive nitrat. Men detta har endast övergående effekt och nettot blir +/- 0, om du inte skulle rensa akvariet från levande eller döende växtmaterial. Kväveföreningarna används till att bygga upp biomassan, men framför allt som beståndsdel i klorofyllet. När de gamla löven börjar dö och ruttna, så återförs kvävet till akvarievattnet. Om du däremot rensar friskt bland gamla blad, då gör du dig av med mycket skräp, inte bara nitrat utan även fosfater mm. På så sätt minskar du eventuellt överskott av näringsämnen i vattnet och därmed algutvecklingen.

Nitrospirabakterier har påvisats i DNA-tester med hjälp elfores sedan 1997 av ett stort antal vetenskapsmän: Exempelvis så citeras ofta en rapport av Timothy A. Hovanec, Lance T. Taylor, Andrew Blakis, och Edward F. Delong, Department of Ecology, Evolution and Marine Biology, University of California, Santa Barbara, Santa Barbara, California 93106,1 and Aquaria Inc., Moorpark, California 930212, 4 September 1997 (godkändes 27 October 1997). Undersökningen finns publicerad som artikel: *Nitrospira*-Like Bacteria Associated with Nitrite Oxidation in Freshwater Aquaria, Appl Environ Microbiol, January 1998, p. 258-264, Vol. 64, No. 1. Artikeln har citerats i många andra vetenskapliga artiklar runt om i världen.

En bra information om kvävecykeln (generellt, inte bara i akvarier) kan du få i den engelska delen av Wikipedia: Använd sökordet "The Nitrogen Cycle". En annan bra hemsida som du kan använda när du vill ha reda på aktuell kunskap kring bakterier är en sorts "bakteriewikipedia", som ständigt fylls på av studenter inom området (rekommenderas!): <http://microbewiki.kenyon.edu/index.php/MicrobeWiki>