

Last updated 28/1/2012

Genom Wikiscience tillhandahåller SSEESS korta vetenskapliga synteser av forskningsläget för globala miljö- och resursfrågor. Målet är att göra denna information mer lättgänglig för svenska beslutsfattare. För att säkra kvalitén på synteserna har initierade och uppdaterade forskare inom varje ämne gjort sammanställningarna, som sedan har referegranskats.

## Författare:

Tomas Persson, Institutionen för matematikämnet och naturvetenskapsämnenas didaktik, Stockholms universitet

## INLEDNING

Kretsloppen för kväve (N) och fosfor (P) har förändrats sedan jordbruksrevolutionen, huvudsakligen på grund av mänskliga aktiviteter. Både kväve och fosfor är näringsämnen som alla levande organismer behöver i stora mängder. Båda ämnena ingår i viktiga molekyler som till exempel proteiner och DNA. Kväve och fosfor utgör huvudkomponenterna i konstgödsel och de har därmed tillförts biosfären på artificiell väg. Följderna kan nu ses i bland annat den förändrade uppbyggnaden av olika ekosystem.

## KVÄVE

Grundämnet kväve finns i många olika former i luft, vatten och mark. I mark och vatten är nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) den vanligaste formen av kväve. Kväve i gasform ( $\text{N}_2$ ) utgör 78 % av vår atmosfär, men de flesta organismer kan inte ta upp kvävgas. Kvävefixerande bakterier däremot kan omvandla kvävgas till nitrat som är en biologiskt tillgänglig form av kväve (Leigh 2000). Inom alla ekosystem i mark och vatten utgör kväve ett nyckelämne för livets uppbyggnad. Tillgången på biologiskt tillgängligt kväve utgör ofta den begränsande faktorn för tillväxt i akvatiska och terrestra ekosystem (Tamm 1991; Bobbink and Roelofs 1995), till stor del på grund av att kväve snabbt lakas ut ur jorden eller avgår till luft.

## INGREPP I KVÄVETS KRETSLOPP

Människans omvandling av kvävgas till biologiskt tillgängligt kväve drivs av fyra processer: industriell fixering för framställning av konstgödsel (Haber-Bosch-Metoden); odling av baljväxter; förbränning av fossila bränslen; och förbränning av biomassa (Gruber and Galloway 2008; Rockström et al. 2009). Idag överstiger tillförseln av kväve som omvandlats från kvävgas genom mänsklig aktivitet tillförseln från biologisk fixering av kväve på land och i haven (Gruber and Galloway 2008).

Bönder har i alla tider utvecklat olika metoder för att hindra de förluster av näringsämnen i jorden som sker genom uttaget av jordbruksprodukter. Användning av naturgödsel, växtrotation

med baljväxter för att nyttja deras kvävefixerande bakterier och att låta fälten växa igen med naturlig vegetation (lägga marken i träda) utgör exempel på traditionella metoder. Metoden att tillverka ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) av atmosfäriskt kväve, som utvecklades i början av nittonhundratalet, har haft en enorm påverkan på jordbruket. Sedan 1960 har användningen av kvävegödsling ökat sjufalt (Vitousek et al. 1997) på grund av det högtintensiva jordbrukets stora beroende av oorganiska gödselmedel. Tillverkningsprocessen för konstgödsel är mycket energikrävande och har uppgetts utgöra 1,1% av världens energikonsumtion (Swaminathan and Sukalac 2004).

## KVÄVE I EKOSYSTEMET

Kväve är en nyckelfaktor som har stor betydelse för artsammansättning, biologisk mångfald och artsamverkan i de flesta ekosystem på land, i sötvatten och i havet (Vitousek et al. 1997). Vid gödselanvändning avgår mellan hälften och två tredjedelar av allt kväve till ekosystem utanför jordbruket (Tilman 1998). Detta beror på gasavgång, urlakning samt småpartiklar som bärs iväg av vinden.

Växter som finns naturligt i marken brukar anpassa sig till den oftast låga kvävehalten (Chapin 1980; Tamm 1991). En ökning av kvävehalten i naturliga ekosystem kan få negativa konsekvenser, som till exempel: förlust av näringsämnen i marken, såsom kalcium och kalium; försurning av mark, vattendrag och sjöar; och minskad biologisk mångfald. Växter som är anpassade till effektiv kvävehushållning kan försvinna, vilket kan leda till att också djur och mikroorganismer som är beroende av dessa specifika växter går förlorade (Vitousek et al. 1997). Sedan 1950-talet har förekomsten av växtarter med hög kvävetolerans ökat medan kvävekänsliga arter har minskat inom Europas myrmarker, hedar, gräsmarker och skogar (Bobbink et al. 1998; Lee et al. 1998; Diekmann et al. 1999). På gräsmarker ses ett linjärt förhållande mellan oorganisk kvävedeposition och minskad artrikedom (Stevens et al. 2004).

I både sötvattensystem och i marin miljö kan förhöjda kvävehalter leda till en total förändring av ekosystemen (Carpenter 2005; Zillén et al. 2008). Algblomning som beror på mänsklig påverkan är huvudsakligen ett resultat av tillförsel av kväve och fosfor. (Conley et al. 2009). Förhöjda kvävehalter i akvatiska ekosystem leder även till försurning, låga syrehalter och ökad toxinproduktion, vilket

leder till minskad biologisk mångfald (*Rabalais 2002*).

Kvävets kretslopp har definierats som en av de planetära gränserna, vilket betyder att biosfären inte tål en alltför stor förändring. Rockström m.fl. (2009) beskrev hur vi redan har överskridit dess biokemiska gränsvärde och ett tak på industriell kvävefixering som är ca 40% lägre än dagens fixeringshastighet föreslogs.

## ■ KVÄVE OCH KLIMATFÖRÄNDRING

Kväve kan påverka klimatförändringen på många olika komplexa sätt. Lustgas ( $N_2O$ ) är en kraftfull växthusgas (*Prather et al. 2001*). Tillförsel av gödsel inom jordbruket orsakar stora utsläpp av lustgas (*Crutzen et al. 2008*).

Större mängder tillgängligt kväve inom landbaserade ekosystem ökar produktionen och upplagringen av biomassa, åtminstone på kort sikt (*Vitousek and Howarth 1991*). Dessa förändringar leder till lägre halter av koldioxid i atmosfären (*Schimel et al. 1995*). Att omvandla ett ekosystem med liten biomassa ovan och under mark till ett ekosystem med stor biomassa är ett sätt att kompensera för människans koldioxidutsläpp. Både regeringar (till exempel Sverige: Proposition 2007/08:108) och forskare (*Magnani et al. 2007; Larsson et al. 2009*) har därför förespråkat skogsgödsling. Kvävegödsling av boreala skogar verkar dessutom inte orsaka några större lustgasutsläpp (personlig kommunikation med Annika Nordin, UPSC, 2009).

## ■ FOSFORNS KRETSLOPP

Liksom kväve är fosfor ett grundämne som är avgörande för livet på jorden och som behövs i stora mängder av alla levande organismer. Brytning av fosforhaltiga bergarter utgör början på den nästan linjära "fosforcykeln". 95% av all fosfor som bryts används i konstgödsel, djurfoder och växtskyddsmedel (*Cisse and Mrabet 2002*). Det är således på grund av jordbruket som mängden biologiskt tillgängligt fosfor har fyrdubblats i biosfären sedan jordbruksrev-olutionen (*Falkowski et al. 2000; Cordell et al. 2009*).

Från jordbruksmark sprids fosfor till sjöar och hav, främst genom jorderosion och urlakning ner till grundvattnet. Fosfor ackumuleras sedan på vattendragets botten och inom en geologisk tidsrymd blir den åter fosforhaltig berggrund (*Filippelli 2011*).

## ■ TILLGÅNGEN PÅ FOSFOR

Det har varnats för att det håller på att bli brist på fosfor som är lättillgänglig för brytning (*Cordell et al. 2009*). Detta skulle bli problematiskt eftersom det inte finns några kända alternativ till fosforbrytning. Under de senaste åren har fler brytbara fosfortillgångar hittats, och i en rapport av the International Fertilizer Development Center (IFDC) förutspås att fosfortillgångarna inte kommer att ta slut förrän om 300-400 år med dagens brytningshastighet (*Van Kauwenbergh 2010*). Det finns inga kända reserver i norra Europa. Det största reserverna kontrolleras av USA, Kina och Marocko. Noteras bör att 85% av världens tillgängliga fosforresurser finns i områden som kontrolleras av Marocko (*Elser and Bennett 2011*).

## ■ FOSFOR I EKOSYSTEMET

Att fosfor ändrar balansen i ekosystemet kan man se med blotta ögat i akvatiska ekosystem nu när dramatiska algblomningar blir allt vanligare runt om i världen. De huvudsakliga källorna till mänskligt orsakad tillförsel av fosfor till vattendrag är obehandlat avloppsvatten och avrinning från jordbruksområden (*Conley et al. 2009*). Man har påvisat en förlust på ca 60 % av den fosfor som används inom jordbruket, främst på grund av ytavrinning (*Cordell et al. 2009*).

För att maximera tillväxten sker ofta övergödsling, men i Europa och Nordamerika har jordbruksmarken passerat "kritiska" fosforhalter. Sådan mark behöver därmed endast begränsade gödselmängder för att ersätta den fosfor som tas ut vid skörd (*FAO 2006*).

## ■ ÅTERFÖRING AV FOSFOR

Det råder allmän enighet om att det finns behov av att återvinna fosfor både av miljöskäl och av geopolitiska skäl (*Sustainable Phosphorus Summit 2011*).

En del länder t.ex. Sverige (*Naturvårdsverket 2002*) har satt upp mål för återföring av fosfor från avlopp. Ansamlat avloppsslam kan ersätta gödsel från brytbart fosfor.

För att minska mängden fosforavrinning till ytvatten har olika direktiv upprättats. EU:s direktiv 91/271 om rening av avloppsvatten och EU:s vattendirektiv kräver att de stater som undertecknat direktiven avskiljer fosfor från kommunalt och industriellt avloppsvatten.

## ■ SLUTSATS

En växande befolkning (*FN stat 2010*) innebär ett växande behov av livsmedel. Kött- och mjölkproduktion kräver stora mängder fosfor, och båda dessa livsmedelsgrupper ökar i popularitet, särskilt i Kina och Indien. Allt detta förutspås leda till en global ökning av kväve- och fosfortillförseln (*EFMA 2000*), vilket skulle kunna leda till oväntade förändringar i många olika ekosystem. Eftersom ekosystemtjänsterna är beroende av en lämplig och balanserad tillförsel av både kväve och fosfor kan drastiska förändringar få skadliga konsekvenser för människors hälsa och välbefinnande.

## REFERENSER

- Bobbink R, Roelofs JGM (1995). Nitrogen critical loads for natural and semi-natural ecosystems: the empirical approach. *Water, Air and Soil Pollution* 85: 2413-2418
- Bobbink R, Hornung M, Roelofs JGM (1998). The effects of air-borne nitrogen pollutants on species diversity in natural and semi-natural European vegetation. *Journal of Ecology* 86: 717-738
- Carpenter SR (2005) Eutrophication of aquatic ecosystems: bistability and soil phosphorus. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 102: 10002-10005
- Chapin FS, (1980). The mineral nutrition of wild plants. *Annual Review of Ecological Systems* 11: 233-260
- Cisse L, Mrabet T (2002). World Phosphate Production: Overview and Prospects. *Phosphorus Research Bulletin* 15: 21-25
- Conley DJ, Paerl HW, Howarth RW, Boesch DF, Seitzinger SP, Havens KE, Lancelot C, Likens GE (2009). Ecology. Controlling eutrophication: nitrogen and phosphorus. *Science* 323: 1014-1015.
- Cordell D, Drangert JO, White S (2009). The story of phosphorus: Global food security and food for thought. *Glob Environ Change* 19: 292-305.
- Crutzen PJ, Mosier AR, Smith KA, Winiwarter W (2008). N<sub>2</sub>O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. *Atmospheric Chemistry and Physics* 8: 389-395
- Diekmann M, Brunet J, Ruhline A, Falkengren-Grerup U (1999) Effects of Nitrogen Deposition: Results of a Temporal-Spatial Analysis of Deciduous Forests in South Sweden. *Plant Biology* 1: 471-481
- Elser J, Bennett E (2011). A broken geochemical cycle. *Nature* 478: 29-31
- EFMA, European Fertilizer Manufacturers Association, 2000. Phosphorus: Essential Element for Food Production. European Fertilizer Manufacturers Association (EFMA), Brussels.
- FAO (2006). Plant Nutrition for Food Security: A Guide for Integrated Nutrient Management, FAO Fertilizer And Plant Nutrition Bulletin 16. Food And Agri-culture Organization Of The United Nations Rome.
- Falkowski P, Scholes RJ, Boyle E, Canadell J, Canfield D, Elser J, Gruber N, Hibbard K, Högberg P, Linder S, Mackenzie FT, Moore B 3rd, Pedersen T, Rosenthal Y, Seitzinger S, Smetacek V, Steffen W (2000). The global carbon cycle: a test of our knowledge of earth as a system. *Science* 290: 291-296.
- Filippelli GM (2011). Phosphate rock formation and marine phosphorus geochemistry: the deep time perspective. *Chemosphere* 84: 759-66.
- FN stat 2010 - World Population Prospects, the 2010 Revision: [http://esa.un.org/wpp/unpp/panel\\_population.htm](http://esa.un.org/wpp/unpp/panel_population.htm)
- Gruber N Galloway JN, (2008). An earth system perspective of the global nitrogen cycle. *Nature* 451: 293-296
- van Kauwenbergh, SJ (2010). World Phosphate Rock Reserves and Resources, Technical Bulletin IFDC-75. IFDC.
- Larsson S, Lundmark T, Ståhl G (2009). Möjligheter till intensivodling av skog. Slutrapport från regeringsuppdrag Jo 2008/1885
- Lee JA, Caporn SJM (1998) Ecological effects of atmospheric reactive nitrogen deposition on semi-natural terrestrial ecosystems. *New Phytologist* 139: 127-134
- Leigh JA (2000) Nitrogen Fixation In Methanogens: The Archaeal Perspective. *Current Issues in Molecular Biology* 2: 125-131
- Magnani F, Mencuccini M, Borghetti M, Berbigier P, Berninger F, Delzon S, Grelle A, Hari P, Jarvis PG, Kolari P, Kowalski AS, Lankreijer H, Law BE, Lindroth A, Loustau D, Manca G, Moncrieff JB, Rayment M, Tedeschi V, Valentini R, Grace J (2007). The human footprint in the carbon cycle of temperate and boreal forests. *Nature* 447: 848-850
- Naturvårdsverket 2002: <http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/620-5214-4.pdf>
- Oldeman LR (1998) Soil degradation, a threat to food security? Report 98/01, International Soil Reference and Information Centre, Wageningen
- Prather M, Ehhalt D, Dentener F, Derwent R, Dlugokencky E, Holland E, Isaksen I, Katima J, Kirchhoff V, Matson P, Midgley P, Wang M, Bernsten T, Bey I, Brasseur G, Buja L, Collins WJ, Daniel J, DeMore WB, Derek N, Dickerson R, Etheridge D, Feichter J, Fraser P, Friedl R, Fuglestvedt J, Gauss M, Grenfell L, Grubler A, Harris N, Hauglustaine D, Horowitz L, Jackman C, Jacob D, Jaeglé L, Jain A, Kanakidou M, Karlsdottir S, Ko M, Kurylo M, Lawrence M, Logan JA, Manning M, Mauzerall D, McConnell J, Mickley L, Montzka S, Müller JF, Olivier J, Pickering K, Pitari G, Roelofs GJ, Rogers H, Rognerud B, Smith S, Solomon S, Staehelin J, Steele P, Stevenson D, Sundet J, Thompson A, van Weele M, von Kuhlmann R, Wang Y, Weisenstein D, Wigley T, Wild O, Wuebbles D, Yantosca R (2001). Atmospheric chemistry and greenhouse gases, in: *Climate Change 2001 Working group I: The Scientific Basis*, edited by: Joos F, McFarlan M, 239-287, Cambridge University Press, Cambridge, UK
- Rabalais NN (2002). Nitrogen in aquatic ecosystems. *Ambio* 31: 102-112
- Rockström J, Steffen W, Noone K, Persson Å, Chapin FS III, Lambin EF, Lenton TM, Scheffer M, Folke C, Schellnhuber J, Nykvist B, de Wit CA, Hughes T, van der Leeuw S, Rodhe H, Sörlin S, Snyder PK, Costanza R, Svedin U, Falkenmark M, Karlberg L, Corell RW, Fabry VJ, Hansen J, Liverman D, Richardson K, Crutzen P, Foley JA (2009). A safe operating space for humanity. *Nature* 461: 472-475
- Schimel DS, Enting IG, Heimann M, Wigley TML, Raynard D, Alves D, Siegenthaler U (1995). CO<sub>2</sub> and the carbon cycle in Climate change 1994: radiative forcing of climate change (Eds. Houghton JT, Meira Filho LG, Bruce J, Lee H, Callander BA, Haites E, Harris N, Maskell K). Cambridge University Press, Cambridge, England. Pp 39-71
- Stevens CJ, Dise NB, Mountford JO, Gowing DJ (2004). Impact of nitrogen deposition on the species richness of grasslands. *Science* 303: 1876-1879
- Sustainable Phosphorus Summit (2011). Consensus statement: [http://sols.asu.edu/frontiers/2011/pdf/fils\\_consensus\\_2011.pdf](http://sols.asu.edu/frontiers/2011/pdf/fils_consensus_2011.pdf)
- Swaminathan B, Sukalac KE (2004). Technology transfer and mitigation of climate change: The fertilizer industry perspective. Presented at the IPCC Expert Meeting on Industrial Technology Development, Transfer and Diffusion, Tokyo, Japan, 21-23 Sept. 2004.
- Tamm CO (1991). Nitrogen in Terrestrial Ecosystems: Questions of Productivity, Vegetational Changes and Ecosystem. Springer-Verlag, Berlin, Germany
- Tilman D (1998). The greening of the Green Revolution. *Nature* 396: 211-212.
- Vitousek PM, Aber J, Howarth RW, Likens GE, Matson PA, Schindler DW, Schlesinger WH, Tilman GD. (1997). Human Alteration of the Global Nitrogen Cycle: Causes and Consequences *Journal of Applied Ecology* 7: 737-750
- Vitousek PM, Howarth RW (1991). Nitrogen limitation on land and in the sea: How can it occur? *Biogeochemistry*, 13:87-115.
- Zillén L, Conley DJ, Andrén T, Andrén E, Björck S (2008). Past occurrences of hypoxia in the Baltic Sea and the role of climate variability, environmental change and human impact. *Earth Science Reviews* 91:77-92