

Er cyanobakterieoppblomstringer en gunstig nisje for utvikling av heterotrofe bakteriepopulasjoner?

Av Hans Utkilen, Inger Anne Kvernør og Nina Gjølme

Hans Utkilen er seniorforsker,
Inger Anne Kvernør senioringeniør
og Nina Gjølme overingeniør
ved Nasjonalt folkehelseinstitutt

Sammendrag

Det har lenge vært kjent at cyanobakterier og cyanobakterieoppblomstringer produserer et vidt spekter av toksiner som har resultert i død av dyr og mennesker. Det har også vært kjent i lang tid at **heterotrofe bakterier** trives godt i cyanobakterieoppblomstringer, og at cyanobakterier eller ekstrakter av disse har en positiv effekt på veksten av noen patogene bakterier. Cyanobakterier har egenskaper som gjør at de flyter opp til overflaten i en vannkilde, og som ofte fører til at de danner en form for biofilm i vannoverflaten. Denne biofilmen er en god nisje for vekst og utvikling av heterotrofe bakterier. Det er ikke utenkelig at patogene bakterier som tilføres en vannkilde, kan slå seg ned i denne biofilmen og utvikle seg til et potensielt helseproblem. Muligheten for at det kan forekomme patogene bakterier i cyanobakterie-

oppblomstringer, bør studeres nærmere for å kunne gjennomføre en fullstendig risikovurdering ved bruk av en vannkilde, med oppblomstring av cyanobakterier, til drikkevannsforsyning eller bading.

Summary

It is well documented that cyanobacteria and cyanobacteria blooms produce a wide range of toxins that have resulted in animal and human deaths. It has also for some time been known that bacteria blooms are associated with a wide range of heterotrophic bacteria, and that the growth of some pathogenic bacteria is enhanced by cyanobacteria or extracts of cyanobacteria. It is possible that some of these heterotrophs associated with blooms could be pathogenic bacteria added to the water source through runoff or by sewage effluent. Since the cyanobacteria have the

capability to float on a water source and provide a kind of biofilm that can prevent bacteria to sink to the bottom of the lake, a cyanobacteria bloom could harbour heterotrophic pathogenic bacteria. This possibility should be examined in order to perform a complete health risk assessment for use of a water source for drinking water or bathing purposes.

Innledning

Cyanobakterier og cyanobakterieoppblomstringer har i mange tiår vært assosiert med produksjon av potente toksiner og tumorpromotorer (Chorus og Bartram, 1999). Biofilmen cyanobakterier danner når de i løpet av en oppblomstring flyter opp til overflaten og legger seg der, og hva den kan inneholde av andre bakterier, har imidlertid vært oversett. Studier har vist at slike oppblomstringer kan inneholde mange forskjellige heterotrofe bakterier, dvs. bakterier som bruker organisk stoff som energikilde (Eiler, 2007, Pope og Patel, 2008). Det har også vært diskusjoner rundt muligheten for at cyanobakterier kan være et reservoar for patogene bakterier, dvs. sykdomsfremkallende bakterier (Islam et al., 1990). Denne litteraturen viser at cyanobakterieoppblomstringer blir et potensielt reservoar for mange heterotrofe bakterier, deriblant patogene bakterier. Dette mulige samspillet mellom cyanobakterier og heterotrofe bakterier bør kartlegges i norske innsjøer, med henblikk på å vurdere risikoen for eksponering av patogene bakterier knyttet til vann med cyanobakterieoppblomstringer.

Om cyanobakterier og deres evne til å produsere toksiner

Cyanobakterier (blågrønnalger) er en urgammel organismegruppe som finnes over hele kloden i miljøer som varierer fra arktisk jord til vulkanske varme kilder. Ofte finnes cyanobakteriene i miljøer hvor ingen andre organismer kan vokse (Bold & Wynne, 1985). Cyanobakteriene hører til prokaryotene (bakterier) og har de klassiske kjennetegnene for denne gruppen, som mangel på cellekjerne og mitokondrier. I motsetning til andre fotosyntetiske bakterier har cyanobakteriene vanlig klorofyll og danner oksygen i likhet med fotosyntetiske eukaryote organismer (planter og alger). Dette er grunnen til at de opprinnelig ble klassifisert som alger.

Det har lenge vært kjent at cyanobakteriene produserer toksiner som har ført til massedød av fisk, fugl, husdyr og til humane dødsfall (Chorus og Bartram, 1999). Det er vist at cyanobakterier produserer og skiller ut flere hundre forskjellige toksiske peptider (Welker og von Dören, 2006), tabell 1, og mange toksiske alkaloider (Chorus og Bartram, 1999), tabell 2.

Forskere og forvaltningsmyndigheter har i lang tid vært opptatt av toksinproduserende cyanobakterier og de helseproblemer dette representerer. Det har lenge vært kjent at cyanobakterier og oppblomstringer av disse danner et godt miljø for utvikling av heterotrofe bakterier (Pearl, 1982), og at veksten for noen patogene bakterier påvirkes positivt av cyanobakterier (Tison et al., 1980, Eiler, 2007).

Peptidtoksinklasser	Peptidtoksin varianter	Produsenter
Aeruginosiner	27	<i>Microcystis, Planktothrix, Nodularia</i>
Microgininer	38	<i>Microcystis, Planktothrix, Nostoc</i>
Anabaenopeptiner	32	<i>Anabaena, Aphanizomenon, Microcystis, Planktothrix, Plectonema, Nodularia, Schizothrix</i>
Cyanopeptoliner	82	<i>Anabaena, Dolabella, Lyngbya, Microcystis, Planktothrix, Scytonema, Symploca</i>
Microcystiner/nodulariner	89	<i>Anabaena, Hapalosiphon, Microcystis, Nodularia, Nostoc, Planktothrix</i>
Microveridiner	10	<i>Microcystis, Planktothrix, Nostoc</i>
Cyclamider	21	<i>Lyngbya, Microcystis, Nostoc, Planktothrix, Stigonema, Westelliopsis</i>

Tabell 1. Peptidtoksiner som produseres av ulike cyanobakterier

Alkaloider	Målorgan	Produsenter
Anatoksin-a	Nervesynapser	<i>Anabaena, Planktothrix</i>
Anatoksin-a(s)	Nervesynapser	<i>Anabaena</i>
Aplysiatoksin-a	Hud	<i>Lyngbya, Schizothrix, Planktothrix</i>
Cylindrospermopsin	Lever	<i>Cylindrospermopsis, Aphanizomenon, Umezakia</i>
Lyngbiatoksin-a	Hud, mage-/tarmsystemet	<i>Lyngbya</i>
Saxitoksiner	Nerveaxoner	<i>Anabaena, Aphanizomenon, Lyngbya, Cylindrospermopsis</i>
Lipopolysakkarider (LPS)	Potensiell irritant påvirker alt eksponert vev	<i>Alle cyanobakterier</i>

Tabell 2. Toksiske alkaloider som produseres av cyanobakterier

Oppblomstring av cyanobakterier - Mulig betydning for utvikling av andre bakteriepopulasjoner

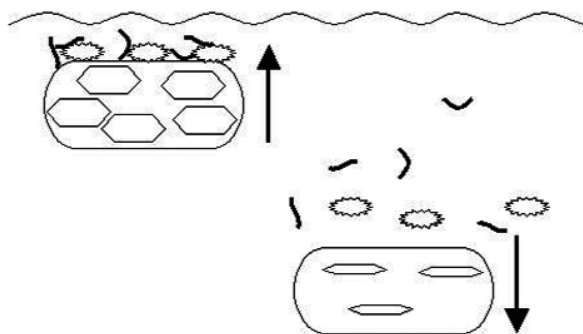
Cyanobakterier har evnen til å bevege seg, selv om de ikke har noen bevegelige deler som flageller eller cilier. På

faste overflater har filamentære cyanobakterier en glidende bevegelse i lengderetningen, og bevegelsen kan gå i begge retninger. Denne bevegelsen er ledsaget av en rotasjon av filamentene, men selve mekanismen for bevegelsen er ikke kjent.

Planktoniske cyanobakterier har også evnen til å regulere oppdriften i vann ved hjelp av gassvakuoler. Gassvakuolene dannes av gassvesikler som er små hule sylindere laget av et proteinskall som er fylt med gass. Disse strukturene kan utgjøre fra 2 til 20 % av cellevolumet. Mengden gassvesikler, og dermed oppdriften, kontrolleres av lysforhold og næringskonsentrasjoner (Reynolds, 1987). De cyanobakteriene som produserer gassvesikler, danner flere slike ved svakt lys enn ved sterkt lys. Dette fører til at disse cyanobakteriene kan vandre oppover eller nedover i en vannsøyle avhengig av lysforholdene (Fogg og Walsby, 1971). Det er også disse strukturene som gjør at cyanobakterier kan danne vannblomst (synlig forekomst i overflaten) på relativt kort tid.

Generasjonstiden for cyanobakterier (doblingstiden) er funnet å variere fra 14 timer til 14,7 døgn, og gjennomsnittlig generasjonstid for vannblomstproduserende cyanobakterier er på ca. 2 døgn under optimale forhold (Reynolds og Walsby, 1975). På slutten av en cyanobakterieoppblomstring vil de cyanobakteriene som finnes i vannmassene, stige til

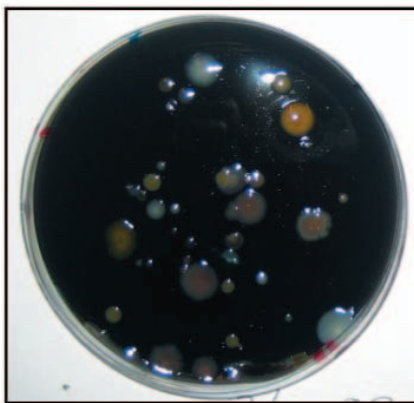
overflaten og samles der ved hjelp av økt gassvesikkelproduksjon på grunn av gunstige lysforhold i de dypere vannlag. Resultatet av denne mekanismen er at cyanobakteriene danner et lag (biofilm) i overflaten som kan være stabilt i en lang periode. Cyanobakterier skiller ut mange næringsstoffer, som aminosyrer, karbohydrater og mindre proteiner (Whitton, 1965), noe som fører til at biofilmen blir en næringsrik nisje for andre mikroorganismer. I tillegg beskytter oppblomstringen de mikroorganismer som oppholder seg i cyanobakteriefilmen, mot å sedimentere og forsvinne fra vannoverflaten. På ferden mot overflaten vil de bakterier som cyanobakteriene møter, kunne feste seg på cyanobakteriene og bli med oppover og reddes fra å synke til bunns, figur 1. Når cyanobakteriene har behov for å synke, som ved sterkt lys, økes cellenes turgortrykk (cellenes indre trykk mot celleveggen) og gassvakuolene klapper sammen, eller cyanobakteriene akkumulerer karbohydrater som resulterer i at cellene blir tyngre. Begge disse forholdene fører til at cyanobakteriene synker i vannsøylen (Utkilen et al. 1985).



Figur 1.
Cyanobakterier med mange gassvakuoler stiger mot overflaten og kan ta med seg de bakteriene de treffer på veien. Cyanobakterier med få eller flatklemte gassvakuoler synker i vannsøylen.

En flytende biofilm av cyanobakterier kan ha like stor betydning i vannkilder som en biofilm i et ledningsrør eller andre installasjoner hvor der dannes biofilmer med bakterievekst som til tider skaper helseproblemer. For eksempel så påvirkes veksten av *Legionella pneumophila* (Tison et al., 1980) og *Vibrio cholerae* (Eiler, 2007) positivt av cyanobakterier. Det er vist at det er stor artsvariasjon av heterotrofe bakterier knyttet til oppblomstring av cyanobakterier. Siden forskjellige bakteriearter kan ha forskjellige krav til vekstmiljø kan dette artsmangfoldet tyde på at det er mange forskjellige nisjer i en oppblomstring, som kan være gunstige for spesielle bakterier. Flere av disse nisjene har vist seg å være dominert av bakterier fra divisjonene: *Bacteroidetes*, *Proteobacteria*, *Actinobacteria*, *Firmicutes*, *Planctomycetes*, *Verrucomicrobia*, *Acidobacteria* eller *Fibrobacteres*. Mange av bakteriene som ble funnet, er tidligere beskrevet som ferskvannsgupper, men 12 nye grupper tilhørende divisjonene *Proteobacteria*, *Verrucomicrobia*, *Planctomycetes* og *Fibrobacteres* ble oppdaget blant bakteriene som var assosiert med cyanobakterieoppblomstringer. Da 9 av disse gruppene ikke hadde noen likhet med andre bakterier i bakteriedatabasen NCBI (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>), kan disse representere bakteriepopulasjoner som er begrenset til nisjer dannet av cyanobakterieoppblomstringer (Eiler, 2007).

En vannprøve fra Årungen 07.11.07 viser at det er mange bakterier knyttet til oppblomstring av cyanobakterier der, figur 2.



Figur 2. Utstryk av 0,1 ml vann fra Årungen tatt 07.11.07, mens det fremdeles var en cyanobakterieoppblomstring i vannet.

Som tidligere nevnt viser publiserte studier at mange heterotrofe bakterier er assosiert med cyanobakterieoppblomstringer (Eiler, 2007). Så langt har det ikke vært fokusert på om det finnes patogene bakterier blant dem som trives i cyanobakterieoppblomstringer. Vann i norsk natur inneholder vanligvis en meget lav bakgrunn av patogene og/eller opportunistiske bakterier, men veksten av enkelte slike bakterier kan fremmes av cyanobakterier eller produkter fra cyanobakterier. Det er derfor ikke utenkelig at en cyanobakterieoppblomstring kan fremme veksten av disse bakteriene, til en slik grad at de blir en helse risiko. Det er også en mulighet for at avrenning og kloakktilførsel kan føre med seg patogene bakterier til en vannkilde. Disse bakteriene ville kanskje sedimentert helt ned til bunnen under normale forhold og dermed ikke vært noen trussel, men dersom vannkilden inneholder cyano-

bakterier, og de patogene bakteriene fester seg til cyanobakteriene, så vil de ikke sedimentere, men tvert imot ende opp i et miljø som vil kunne fremme veksten for noen av dem. Muligheten for at det kan forekomme patogene bakterier i cyanobakterieoppblomstringer, bør studeres nærmere for å kunne gjennomføre en fullstendig risikovurdering ved bruk av en vannkilde med oppblomstring av cyanobakterier til drikkevannsforsyning eller bading.

Referanser

- Bold, H.C. & Wynne, M.J. (1985). Introduction to the algae. Structure and reproduction. 2nd ed. Prentice-Hall Inc., Eaglewood Cliffs, N.J.
- Chorus, I. & Bartram J. (1999). Toxic cyanobacteria in water. A guide to their public health consequences, monitoring and management. WHO publication. E & FN Spon, London.
- Eiler, A. (2007). The niches of bacterial populations in productive waters. Doktorgrad ved Universitetet i Uppsala.
- Fogg, G.E. & Walsby, A.E. (1971). Buoyancy regulation and growth of planktonic blue-green algae. Mitt. Int. Verein. Limnol., 19, 182-188.
- Islam, Md.S., Drasar, B.S. & Bradley, D.J. (1990). Long-term persistence of toxigenic *Vibrio cholerae* 01 in the mucilaginous sheath of a blue-green alga, *Anabaena variabilis*. J. Tropical Medicine and Hygiene, 93, 133-139.
- Pearl, H.W. (1982). Interactions with bacteria. In: The biology of cyanobacteria (Eds. N.G. Carr & B.A. Whitton). Botanical Monographs vol. 19. Blackwell Scientific Publications.
- Pope, P.B. & Patel, B.K.C. (2008). Metagenomic analysis of a freshwater toxic cyanobacteria bloom. FEMS Microbiol. Ecol., 64, 9-27.
- Reynolds, C.S. (1987). Cyanobacterial water blooms. Adv. Biol. Res., 13, 67-143.
- Reynolds, C.S. & Walsby, A.E. (1975). Water-blooms. Biol. Rev., 50, 437-481.
- Tison, D.L., Pope, D.H., Cherry, W.B. & Fliermans, C.B. (1980). Growth of *Legionella pneumophila* in association with blue-green algae (cyanobacteria). Appl. Env. Microbiology, 39, 456-459.
- Utkilen, H.C., Oliver, R.L. & Walsby, A.E. (1985). Buoyancy regulation in a red *Oscillatoria* unable to collapse gas vacuoles by turgor pressure. Arch. Hydrobiol., 102, 319-329.
- Welker, M. & von Döhren, H. (2006). Cyanobacterial peptides – Nature's own combinatorial biosynthesis. FEMS Microbiol Rev., 1-34.
- Whitton, B.A. (1965). Extracellular products of blue-green algae. J. Gen. Microbiol., 40, 1-11.