

Edith A. Widder

Harbor Branch Oceanographic Institution, Fort Pierce, Florida

## Bioluminescens i haven

### Varför producerar så många havsdjur ljus?

#### Vem producerar ljus och varför?

Med bioluminescens menas synligt ljus som produceras av levande organismer. Sådana organismer är sällsynta på land, men de är oerhört vanliga i haven. En lista på några av de många olika ljusproducerande organismerna i världen, där dessa delats upp i de olika livsmiljöer de lever i, ger en uppfattning av bioluminescens betydelse i den marina miljön jämfört med situationen i insjövattnet och på land (Tabell 1).

Bioluminescerande organismer finns i alla hav och på alla djup, men de flesta hittar man i de vidsträckta havens övre 1000 metrar. Att de återfinns mest här beror på de speciella visuella förhållande som råder i denna miljö. Detta är en värld utan gömställen där solljuset, som filtreras ned genom vattnet, avtar med en 10-potens för varje 75 m tills allt synligt ljus försvinner under ca 1000 m. I denna skymningsmiljö är ljuset svagt, blått och främst riktat uppifrån, vilket gör att de enda varelser som syns är de som finns rakt ovanför eller som själva kan producera biologiskt ljus. Här kan bioluminescens vara betydelsefullt för en organisms överlevnad på tre viktiga sätt:

#### 1. Bioluminescens kan hjälpa ett djur att finna föda.

När man letar efter något i mörkret kan en ficklampa bli ett viktigt redskap och många djur har inbyggda luminiserande ficklampor. Den så kallade lyktfiskens är ett bra exempel på denna anpassning (Videoavsnitt 1). Bioluminescens kan också fungera som ett lockbete för att dra till sig byten. Den här *Chauliodus sloani*, "huggormsfisken" som på engelska heter 'viperfish' har ett luminiserande bete i spetsen på en ombildad fenstråle, som den kan böja ned framför sin mun (Figur 1). [Observera att det i många fall inte finns allmänt accepterade svenska namn på fiskarna. Ibland har därför bara det engelska namnet angetts i denna artikel. Latinska namnet framgår av figurtexterna]. Under de rådande skumma ljusförhållandena är lockbetet det enda som bytesdjuret ser, och när det skall hugga fångas det snabbt på de enorma, nålliknande tänderna som har gett "huggormsfisken" dess namn (Figur 2). Dessa betar är så långa, att om de satt inne i munnen skulle fisken spetsa sin egen hjärna.

#### KORRESPONDANS TILL

Edith A. Widder

Harbor Branch Oceanographic  
Institution, Fort Pierce, FL 34946,  
United States of America.  
widder@hboi.edu

Fig. 1



Fig. 2



Fig. 3



Fig. 4a



Fig. 4b



Hos denna fisk ('löskäksfisk', *Photostomias guernei*) kan huvudljusen dras in. Figur 4a och 4b visar hur en fiskhona rullar ihop sitt ljusorgan in i huvudet. Precis som med strålkastarna på en bil kan fisken sätta på och stänga av dessa ljusorgan utan att dra in dem. Så varför finns denna möjlighet att dra in organen? Jo, precis som på bilstrålkastare finns i organens inre ett reflekterande skikt, som hjälper till att rikta ljuset utåt. Detta kan oavsiktligt avslöja djurets närvaro för ett rovdjur, då det också reflekterar allt annat ljus i motsats till djurets övriga sammetssvarta och fjällösa kropp. Så fisken rullar in ljusorganen så de inte syns när de inte används och fisken blir då närmast osynlig i det rådande mörkret.

## 2. Bioluminescens kan hjälpa till att attrahera en partner för fortplantningen.

Till exempel kan de bioluminiserande kindljusen på denna "löskäksfisk" [eng. 'loosejaw fish'] fungera för att hitta byten i mörkret, men de kan troligen också hjälpa till för att finna en könspartner eftersom ljusorganen på hanarna (Figur 3) är mycket större än honornas (Figur 4).

Den konstiga käkstrukturen, efter vilken fisken fått sitt namn, tillåter ett exceptionellt stort gap som kan greppa över mycket stora byten. Eftersom fisken lever djupt ner i havet och tidigare endast setts som döda exemplar från nätfångster, var det ett utomordentligt sällsynt tillfälle att kunna få se denna fisk i levande tillstånd. Denna fisk togs från 600 m djup i ett nät med en temperaturisolerad ändkopp, som kan stängas till nere i djupet. På så vis kan man undvika att djuren som lever i det kalla vattnet på stora djup formligen kokas levande när de dras upp genom det mycket varmare ytvattnet. Man kan sedan hålla dem levande i timmar eller t o m dagar i laboratoriet. Eftersom kroppen på denna fisk till 92% består av vatten och den inte har simblåsa skadas den inte av den enorma tryckskillnaden då den dras upp. En fisk med simblåsa skulle närmast sprängas genom gasutvidgningen i denna (se rutan nedanför).

## Simblåsa

Många benfiskar har en simblåsa eller en gasblåsa som ger en jämvikt i deras svävförmåga i vattnet. Detta innebär att fisken slipper använda energi för att inte sjunka till botten. Fisken har bara denna jämvikt i svävförmågan vid ett visst djup. Om fisken stiger upp över jämviktsläget kan resultatet bli katastrofalt. Då vattentrycket sjunker, expanderar simblåsan och fisken får en ökad lyftkraft — den måste då simma nedåt för att inte flyta upp mot ytan. En djuphavsfisk som inte kan avge gas från sin simblåsa kommer till ytan med den utvidgade simblåsan hängande ut ur munnen, eller helt enkelt sprängd.

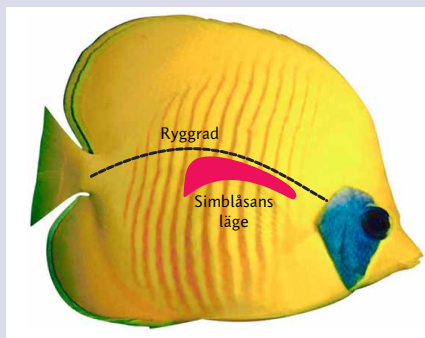




Fig. 6



*Djuphavsmaneten, Atolla wyvillei.*

Fig. 7



*Silveryxan, Argyropelecus affinis.*

Fig. 8



*Bioluminescens från silveryxans undersida tar bort fiskens siluett. Ljusspridningen i vattnet gör att enskilda ljuskällor smälter samman till en diffus sådan, som stämmer perfekt överens i både färg och intensitet med det uppifrån nedträngande solljuset.*

Fig. 9



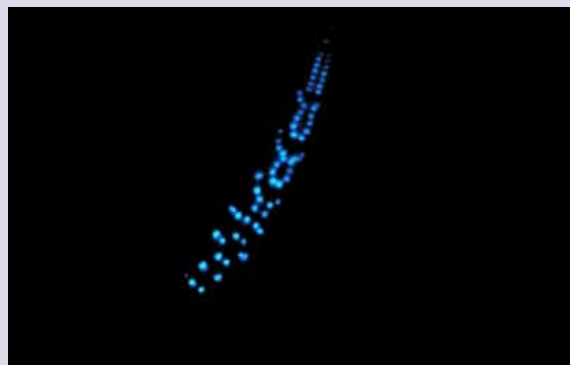
*'The benttooth bristlemouth' Cyclothone pallida (svenskt namn saknas).*

Fig. 10a



*En av en stor mängd arter av lyktfiskar (Myctophids) som lever i havens skymningszon. De juvellignande ljusorganen på magen och undre sidorna kallas fotoforer.*

Fig. 10b



*Bioluminescens från undersidan av lyktfisken Ceratoscopelus maderensis.*

Bioluminescens kan också fungera som ett kamouflage. Djur som vistas nere i skymningsljuset och tittar uppåt kan lätt se siluetten av andra djur mot det svaga blå ljus som filtreras ned genom vattnet och har ingen svårighet att angripa dessa byten. Därför har många predatorer i de öppna haven uppåtriktade ögon och munnar liksom denna silveryxa [eng. 'hatchetfish'] (Figur 7). Men silveryxan utgör också ett byte för större fiskar som simmar längre ned, så för att inte upptäckas så lätt har den en smal siluett och silverfärgade kroppssidor. Från buksidan kan den också avge bioluminescens som avpassas precis till både färg och intensitet som det solljus som tränger ned från ytan (Figur 8). Om ett moln passerar framför solen, så att solljuset avtar, så minskar fisken på bioluminescensen för att matcha bakgrundsljuset. Denna förmåga, som kallas "motstrålning", måste man nästan se för att tro på. Beviset på hur effektivt detta system är ser man på det mycket stora antalet djur, som använder sig av det. Bland dessa finns den fiskart, som kanske är det allra vanligast förekommande ryggradsdjuret på denna planet, *Cyclothone pallida* [eng. 'benttooth bristlemouth'] (Figur 9), lyktfisken (Figur 10), huggormsfisken (Figur 1), den fjälliga drakfisken [eng. 'scaly dragonfish'] (Figur 11), krill (Figur 12) och en bläckfisk (Videoavsnitt 3).

Många djur använder bioluminescens i mer än ett syfte. Denna svarta drakfisk tillhörande melanostomiderna (*Melanostomias bartonbeani*) (Figur 13) har till exempel ficklampor intill varje öga som den kan använda för att hitta byten eller signalera med till en könspartner, den har en skäggtöm som kan användas som ett lockbete, den har ljusorgan placerade längs buksidan som kan användas för att ta bort siluetten, och den har lysande små kroppar inbäddade i underhuden mellan fenstrålarna att användas som tjuvlarmssignal, som du kan se genom att klicka på bilden av denna fisk (Videoavsnitt 4).

Fig. 11

Den fjälliga drakfisken, *Stomias brevibarbatus*, alstrar bioluminescens från fotoferer längs undersidan av kroppen och från en skäggtöm, som den använder som lockbete.



Fig. 12

Liksom flertalet krillarter har *Meganyctiphanes norvegica* fotoferer som används som motljus (för att ta bort siluetten).



Fig. 13



Den svarta drakfisken, *Melanostomias bartonbeani*, har en imponerande arsenal av ljusorgan, som den aktiverar när den kämpar för livet i en rovfisks käkar. Klicka på bilden för att se hur fisken ser ut först i ljus och sedan i mörker.

### Hur producerar de ljus?

Hur producerar levande organismer ljus utan att brinna upp? Det gör de genom en högst effektiv kemisk reaktion, som involverar ett enzym kallat luciferas och ett substrat kallat luciferin. Olika djur producerar många olika typer av dessa substanser (Figur 14).

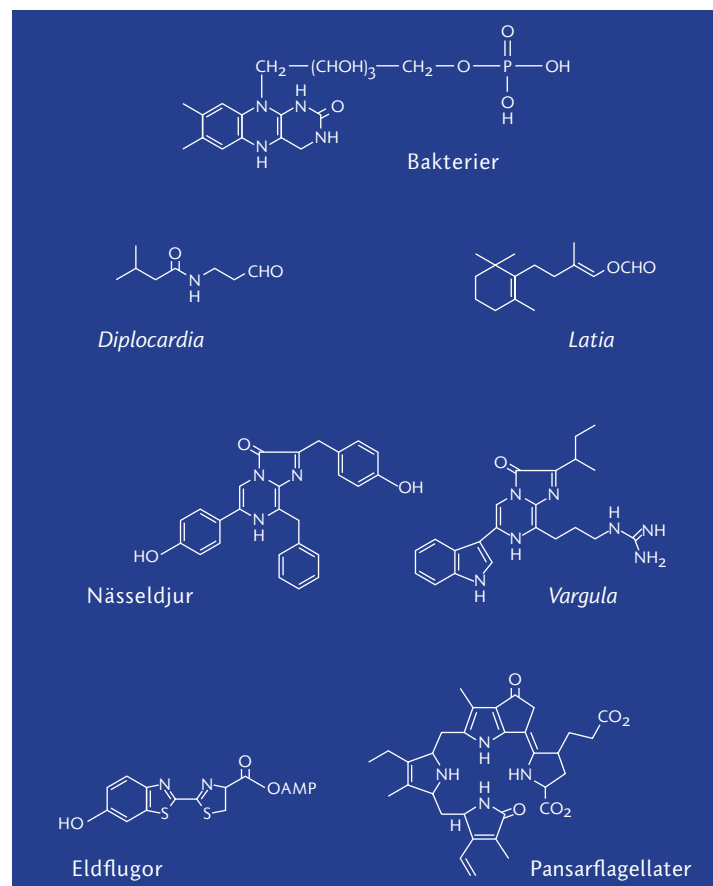
Hos till exempel eldflugor byggs luciferin upp av aminosyrorna tyrosin och cystein, medan luminiserande bakterier använder reducerat riboflavinfosfat (FMNH<sub>2</sub>) och dinoflagellater (pansarflagellater) använder tetrapyrol, som påminner om klorofyll. Dessa mycket olika substanser som används för ljusproduktion antyder att bioluminescens har utvecklats många olika gånger oberoende av varandra under evolutionens gång. I själva verket är bioluminescens ett utmärkt exempel på konvergent evolution där liknande karaktärer utvecklas vid flera tillfällen och oberoende av varandra som svar på likartade selektiva krafter. I fallet med bioluminescens har selektionen baserats på behovet att överleva i skymningsmiljöer.

Vid sidan av att det är många olika substanser som används, så är det också många olika sätt dessa ämnen kan aktiveras på. Hos dinoflagellaterna, till exempel, så lagras luciferin och luciferas i särskilda organeller, som kallas scintilloner. När cellmembranet sträcks eller förändras tränger vätejoner in i organellerna och utlöser en ljusblint. Hos maneter å andra sidan är det kalciumjoner och inte vätejoner som utlöser ljusblinten. I själva verket har det visat sig att kalciumreglerande fotoproteiner (stabla komplex av luciferin och luciferas), som man extraherat från maneter, är utomordentligt värdefulla för forskningen rörande kalciumjonens roll som budbärare (messenger) inne i cellen.

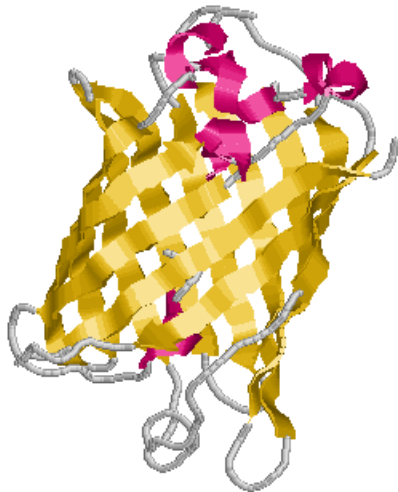
Fig. 14

De kemiska strukturerna på olika typer av luciferiner, inkl. den hos dagmasken *Diplocardia*, sötvattensnäckan, *Latia*, och musselkräftan (*Ostracoda*) *Vargula*, är mycket olika.

Alla dessa substanser har en sak gemensamt – de skall reagera med syre för att producera ljus. Genom oxidationen blir molekylerna exciterade. När molekylerna sedan återgår till en lägre energinivå avges energin i form av en foton av synligt ljus.



**Fig. 15**  
Grönt fluorescerande protein (GFP) från maneten *Aequorea victoria*. Data till datormodellen erhöles från *Protein Data Bank*, ID kod 1EMB. Se Referens [2].



Ett sådant fotoprotein är aequorin, som extraheras från maneten *Aequorea victoria*. Från samma manet har man också extraherat det numera mer kända grönfluorescerande proteinet GFP (Figur 15). GFP är ett accessoriskt protein som tar upp energi från en bioluminescens-reaktion och avger den som **ljus med en längre våglängd**. Detta protein har visat sig värdefullt för forskare inom genteknologi som använder det för analyser av proteinproduktion och funktion. Genom att låta genen för GFP kopplas till andra gener kan man avgöra när och var dessa gener är aktiva och proteiner produceras genom att följa när och var grön fluorescens uppträder i cellen.

Hos bioluminescerande bakterier produceras ständigt ljus. Detta i motsats till andra ljusproducerande organismer, hos vilka ljus alstras med avbrott och där regleringen av ljusproduktionen sker genom nervös eller endokrin kontroll. Det finns några få djur som lever i symbios med ljusproducerande bakterier. Lyktfisken som syns på Videoavsnitt 1 är ett exempel. I det lyktorgan som sitter under båda ögonen finns luminiserande bakterier, där de förses med näring från fisken och kan tillväxa bra i antal. De ljuspulser som syns på videon åstadkoms genom att en hudflik kan glida över lyktorganet (som ett ögonlock) och med intervaller stänga ute ljuset från bakterierna. Andra djur som använder symbiotiska bakterier är till exempel en djuphavsmarulk, som har sitt lockbete fullt med bioluminescerande bakterier (Figur 16) och en bläckfisk från Hawaii (*Euprymna scolopes*), som använder bakterieluminiscens som skyddsljus för att minska chansen att bli sedd underifrån.

Klonade gener från luminiserande bakterier kan användas av biotekniker på samma sätt som ovan för GFP och kan också användas i analyser på föroreningar och gifter.

**Fig. 16**  
Djuphavsmarulken *Oneirodes* sp. har ett välutvecklat lockbete, kallat "esca", som är fullt av bioluminescerande bakterier.



## Några vanliga missförstånd rörande bioluminescens

Det är vanligt med felaktiga uppfattningar rörande bioluminescens. Tyvärr har sådana felaktigheter ibland upprepats så ofta att de börjat bli accepterade som sanning.

### Bioluminescens är inte detsamma som fosforescens

Även om Steinbeck, Hemmingway och t o m Darwin refererade till "phosphorescence of the sea" var detta snarare en litterär än en vetenskaplig beskrivning. Med fosforescens menas ett fördröjt avgivande av ljus från en källa som stimulerats av ljus. Exempel på detta är färger och leksaker som kan lysa i mörker efter att de träffats av ljus.

### Bioluminescens är inte detsamma som fluorescens

Precis som med fosforescens är det ljus och inte kemikaliereaktioner som stimulerar till avgivande av ljus. Vid fluorescens är den stimulerande våglängden alltid kortare, d v s har högre energi, än den återutsända. Denna senare upphör omedelbart när det stimulerande ljuset stängs av. En del av denna förvirring kan ha uppstått eftersom några, men inte alla, luciferiner är fluorescerande och några få för stimuleringsenergin vidare till fluorescerande proteiner som GFP (Figur 15).

### Bioluminescens är inte detsamma som irisering

De vackra regnbågsfärger man kan se i cilieplatttraderna på kammaneter (Figur 17) misstas ofta för att vara bioluminescens. Detta missförstånds förstärks av förhållandet att en del kammaneter faktiskt kan avge luminiscens som kommer från cilieplatttradernas närhet (Figur 18). Som en allmän regel gäller dock, att om den allmänna belysningen är tillräckligt stark för att man skall se iriseringen, då är ljuset troligen för starkt för att man skall se bioluminiscensen.

### All bioluminescens kommer inte från bakterier

Detta vanliga missförstånd kommer möjligen av att de flesta akvarieutställningar som visar på djur med bioluminescens använder sig av lyktfiskar. Det verkliga antalet djur som använder sig av luminiserande bakterier är litet jämfört med det totala antalet som själva syntetiserar sina ljusproducerande kemikalier.

### Alla kammaneter är inte bioluminiserande

I naturen finns vanligen åtminstone ett undantag till varje regel. I det här fallet är *Pleurobrachia* ett undantag.

### Rapporterna att stormunshajen [eng. 'Megamouth shark']

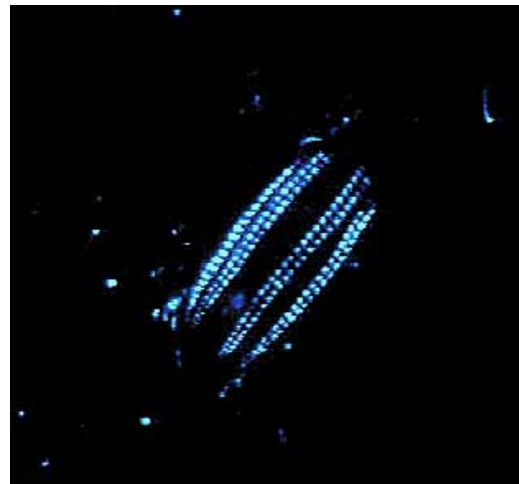
*Megachasma pelagios* är bioluminiserande är troligen felaktiga. Beskrivningar att överkäken och gommen skulle vara "märkligt iriserande" är förmodligen orsaken till spekulationer rörande en luminiserande mun för att locka till sig bytesdjur. Det finns emellertid inga verkliga bevis för att denna haj är bioluminiserande, och eftersom den filtrerar födan från vattnet finns det knappast någon anledning att ha ett system för att locka till sig byten. Det finns dock andra hajar som är bioluminiserande (se Tabell 1).

Fig. 17



Irisingen hos kammaneter, som hos *Euplokamis sp.*, misstas ofta för bioluminescens.

Fig. 18



Bioluminescens hos kammaneten *Euplokamis sp.* kommer från närheten av kamplatttraderna.

## Referenser

- 1 Herring, P.J. (1987) Systematic distribution of bioluminescence in living organisms. *Journal of Bioluminescence and Chemiluminescence* 1, 147–163.
- 2 Brejc, K. *et al.* (1997) Structural basis for the dual excitation and photoisomerization of the *Aequorea victoria* green fluorescent protein. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 94, 2306.

## Ytterligare läsning

- Herring, P.J. (1977) Bioluminescence in marine organisms. *Nature* 267, 788–793.
- Herring, P.J. (ed) (1978) *Bioluminescence in action*. London: Academic Press.
- Herring, P.J. and Widder, E.A. (2001) Plankton: Light production in marine organisms, mechanisms and functions. In *Encyclopædia of Ocean Sciences*. London: Academic Press.  
[http://www.unibo.it/isbc/Files/BC\\_PlanktonNekton.htm](http://www.unibo.it/isbc/Files/BC_PlanktonNekton.htm)
- Widder, E.A. (1997) Bioluminescence — Shedding some light on plankton distribution patterns. *Sea Technology*. March 1997, pp. 33–39.
- Widder, E.A. (1998) *The Bioluminescence Coloring Book*. Harbor Branch Oceanographic Institution, Fort Pierce, Florida.  
<http://www.store.yahoo.com/hboigiftstore/biolcolbook.html>
- Widder, E.A. (1999) Bioluminescence. In *Adaptive mechanisms in the ecology of vision* (eds Archer, S.N. *et al.*) pp. 555–581. Leiden: Kluwer Academic Publishers.
- Widder, E.A. (in press) Bioluminescence and the pelagic visual environment. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*.

## Video filmer

- Marine bioluminescence: Secret lights in the sea.  
*26 min educational video. Produced, directed and written by Dr Edith Widder and Brian Cousin (2000) Harbor Branch Oceanographic Institution, Fort Pierce, Florida. Winner of the 2001 Silver Reel Award in Media Excellence.* For details of how to obtain this recording, see:  
<http://www.store.yahoo.com/hboigiftstore/marbiolsecli.html>

## Webb sidor

- HBOI – More about bioluminescence  
<http://www.biolum.org/>
- Marine bioluminescence page  
<http://lifesci.ucsb.edu/~biolum/>
- Naval oceanographic office (NAVOCEANO)  
<http://www.navo.navy.mil/biolum/blwebpge.htm>
- Scripps bioluminescence page  
[http://siobiolum.ucsd.edu/Biolum\\_intro.html](http://siobiolum.ucsd.edu/Biolum_intro.html)

## Copyright

Copyright till alla fotografier i denna artikel ägs av Edith Widder/HBOI, 1999 med undantag för figur 13 där den ägs av T. Smoyer/HBOI, 1999.