

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

PEDAGOGICKÁ FAKULTA

Katedra biologie

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Bioluminiscence živočichů

Tereza Kazdová

Olomouc, 2024

Mgr. Kateřina Sklenářová Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Bioluminiscence živočichů“ vypracovala samostatně a citovala všechny použité zdroje.

V Olomouci dne 15.4.2024

.....

Podpis autora

Poděkování

Ráda bych poděkovala Mgr. Kateřině Sklenářové Ph.D. za trpělivost, odborné vedení bakalářské práce a praktické připomínky. Zároveň bych chtěla poděkovat všem, kteří mi při vytváření bakalářské práce jakkoli pomáhali.

ANOTACE

Jméno a příjmení:	Kazdová Tereza
Katedra:	Katedra biologie
Vedoucí práce:	Mgr. Kateřina Sklenářová Ph.D.
Rok obhajoby:	2024

Název práce:	Bioluminiscence živočichů
Název v angličtině:	Bioluminiscence in Creatures
Zvolený typ práce:	Rešerše
Anotace práce:	Hlavním cílem bakalářské práce bude vypracování uceleného přehledu o problematice bioluminiscence živočichů. V práci bude postupně popsána bioluminiscence a zároveň fluorescence jako chemicko-biologický děj a možnosti jejich využití (jak pro živočichy, tak pro člověka). Dále budou uvedeny jednotlivé příklady živočichů se schopností vydávat/vyzařovat světlo, např. obrněnky, medúzy, měkkýši, členovci, ostnokožci, ryby. Vybraní živočichové budou zařazeni do taxonomického systému, bude věnována pozornost jejich biologii a ekologii. Bakalářská práce bude založena na rešerši odborné literatury týkající se bioluminiscence živočichů.
Klíčová slova:	Bioluminiscence, luciferin, luciferáza, bioluminiscenční organismy

Anotace v angličtině:	The main goal of the bachelor thesis will be to develop a comprehensive overview of the problems of animal bioluminescence. In the thesis will be progressively described bioluminescence and simultaneously fluorescence as chemical-biological process and its opportunities of usage (for both animals and humans). Furthermore, individual examples of animals with the ability to emit/beam light, will be given, for example Dinoflagellate, Jellyfishes, Molluscs, Anthropods, Echinoderms, Fishes. The selected animals will be classified into a taxonomic system and attention will be paid to their biology and ecology. The bachelor thesis will be based on a specialized literature search on animal bioluminescence.
Klíčová slova v angličtině:	Bioluminescence, luciferin, luciferase, bioluminiscent organisms
Rozsah práce:	60 stran
Jazyk práce:	český

OBSAH

ÚVOD	9
CÍLE PRÁCE	10
1. BIOLUMINISCENCE	11
1.1 Rozdíl mezi bioluminiscencí a fluorescencí	11
1.2 Rozdíl mezi bioluminiscencí a difrakcí	12
1.3 Podstata bioluminiscence	12
1.3.1 Popis reakce	13
1.4 Funkce bioluminiscence	13
1.4.1 Komunikace	14
1.4.2 Ochrana před predátorem.....	14
1.4.3 Hledání potravy	14
1.4.4. Kamufláž.....	15
1.5 Využití.....	15
1.6 Historie	16
2. BIOLUMINISCENCE OBRNĚNEK (<i>Dinoflagellata</i>)	21
2.1 Svítilka třpytivá (<i>Nocticula scintillans</i>).....	21
2.1.1 Stavba buňky.....	22
2.1.2. Výskyt	22
2.1.3 Bioluminiscence.....	22
3. BIOLUMINISCENCE ŽAHAVCŮ (<i>Cnidaria</i>)	24
3.1. Talířovka svítivá (<i>Pelagia noctiluca</i>)	24
3.1.1 Stavba těla	25
3.1.2 Výskyt	25
3.1.3 Bioluminiscence.....	25
3.2 Korunovka purpurová (<i>Periphylla periphylla</i>).....	25
3.2.1 Stavba těla	26

3.2.2 Výskyt	26
3.2.3 Bioluminiscence.....	26
4. BIOLUMINISCENCE MĚKKÝŠŮ (<i>Mollusca</i>)	27
4.1 Bystřičník svítivý (<i>Latia neritoides</i>).....	27
4.1.1 Stavba těla	28
4.1.2 Výskyt	28
4.1.3 Bioluminiscence.....	28
4.2 Skulař vrtavý (<i>Pholas dactylus</i>)	29
4.2.1 Stavba těla	29
4.2.2 Výskyt	29
4.2.3 Bioluminiscence.....	30
4.3 <i>Watasenia scintillans</i>	30
4.3.1 Stavba těla	30
4.3.2 Výskyt	31
4.3.3 Bioluminiscence.....	31
5. BIOLUMINISCENCE ČLENOVCŮ (<i>Anthropoda</i>).....	32
5.1. Světluška větší (<i>Lampyris noctiluca</i>)	32
5.1.1. Stavba těla	33
5.1.2 Výskyt	33
5.1.3 Bioluminiscence.....	33
5.1.4 Hrozba světlušek v podobě rodu <i>Photuris</i>	34
5.2 Kovařík svítivý (<i>Pyrophorus noctilucus</i>)	34
5.2.1 Stavba těla	35
5.2.2 Výskyt	35
5.2.3 Bioluminiscence.....	35
6. BIOLUMINISCENCE OSTNOKOŽCŮ (<i>Echinodermata</i>).....	36
6.1 <i>Amphipholis squamata</i>	36

6.1.1 Stavba těla	37
6.1.2 Výskyt	37
6.1.3. Bioluminiscence.....	37
7. BIOLUMINISCENCE PLÁŠTĚNCŮ (<i>Tunicata</i>)	38
7.1 Ohnivka atlantická (<i>Pyrosoma atlanticum</i>)	38
7.1.1 Stavba těla	39
7.1.2 Výskyt	39
7.1.3 Bioluminiscence.....	39
8. BIOLUMINISCENCE RYB (<i>Osteichthyes</i>)	40
8.1 Světločka malá (<i>Photoblepharon palpebratum</i>).....	40
8.1.1 Stavba těla	41
8.1.2 Výskyt	41
8.1.3 Bioluminiscence.....	41
8.2 Světločka tmavá (<i>Anomalops katoptron</i>).....	42
8.3 Zubatka Sloanova (<i>Chauliodus sloani</i>)	42
8.3.1 Stavba těla	43
8.3.2 Výskyt	43
8.3.3 Bioluminiscence.....	43
8.4 Ďas mořský (<i>Lophius piscatorius</i>).....	44
8.4.1 Stavba těla	44
8.4.2 Výskyt	45
8.4.3 Rybolov	45
8.4.4 Bioluminiscence.....	45
ZÁVĚR.....	46
LITERATURA	48
SEZNAM OBRÁZKŮ	60

ÚVOD

Bioluminiscence, tedy produkce světla živými organismy, fascinuje lidstvo od pradávna. Lidé si většinou s tímto pojmem představí drobná létající světélka, která se objevují za letních teplých večerů mezi keři a stromy. Světlušky neboli svatojánské mušky patří mezi brouky z čeledi světluškovitých (*Lampyridae*), kteří své jméno dostali právě podle schopnosti svítit (Beckerová, 2018b). Dříve lidé věřili, že tyto tajemné „bludičky“ lákají svým světlem zbloudilé poutníky do bažin. Světlušky jsou zřejmě nejznámějšími, avšak nejsou jedinými světélkujícími organismy. Námořníci si vykládali o tajemných světlech v mořích či vznikaly fámy o svítících ptácích (Lee, 2008a).

Světélkujících organismů si všímali již staří Řekové. Aristoteles si povšiml, že světlo vyzařují některé houby, oči ryb či shnilé maso. Starořímský přírodovědec Plinius zkoumal škeble, jež vydávaly světlemodrou zář. Počátky vědy o bioluminiscenci se datují od roku 1655, kdy o ní v Curychu vyšla první vědecká kniha. Novým impulsem v bádání se stalo vynalezení mikroskopu (Koukal, 2007). Jedním z prvních, kdo provedl experimenty s bioluminiscenčními organismy, byl v polovině 19. století Francouz Raphaël Dubois. Ten poodhalil chemickou podstatu bioluminiscence (Lee, 2008a).

Světlo vzniká při oxidaci organické látky (luciferinu), kterou katalyzuje enzym luciferáza. Reakce spotřebovává energii, která je dodávána ve formě sloučeniny ATP – adenosintrifosfát (Chemie a světlo.cz, 28. 11. 2018). Účinnost přeměny energie při této chemické reakci na světlo je velmi vysoká, podle některých zdrojů až 96 %, a jen minimum se mění na teplo. Světlo vzniklé bioluminiscencí se označuje jako studené. Jeho barva je ovlivňována především hodnotou pH při reakci a pohybuje se od namodralé, zelené či žluté až po červenou. Intenzita světla je poté regulována přísunem ATP. Luciferin a luciferáza se liší strukturou i vlastnostmi, proto různé organismy a jejich prostředí poskytují rozdílné podmínky pro reakci, čímž je ovlivněna barva a intenzita světla (Beckerová, 2018b).

Mezi světélkující organismy patří bakterie, plankton, houby a další, především bezobratlí živočichové. Většina světélkujících organismů žije v mořích a ve většině případů emitují fialovo-modré světlo, jehož vlnové délky jsou nejvhodnější pro přenos vodou a zároveň jsou to vlnové délky, na které jsou nejvíce citlivé pigmenty ve fotoreceptorech většiny mořských živočichů. Suchozemské organismy potom žijí často v tmavých místech, jako jsou jeskyně a emitují v zelené, žlutém i červeném spektru (Beckerová, 2018b).

CÍLE PRÁCE

Cílem mé bakalářské práce bude vytvořit ucelený přehled o bioluminiscenci živočichů na základě rešerše odborné literatury. Práce se bude věnovat popisu samotného jevu a jednotlivým světélkujícím druhům, kdy se zaměřím na jejich biologii, ekologii, zařazení v systému a také, jak bioluminiscenci využívají. Dále bude popsána i historie bioluminiscence a využití pro člověka.

1. BIOLUMINISCENCE

Slovo bioluminiscence pochází z řečtiny a latiny. *Bios* znamená řecky život a *lumen* latinsky světlo (Chemie a světlo.cz, 28. 11. 2023).

Bioluminiscenci chápeme jako emisi světla z živých organismů, která plní určitou biologickou funkci. Zjednodušeně tedy můžeme říct, že se jedná o vyzařování světla jednotlivými skupinami živočichů (Lee, 2014).

Většina emisí má modrou barvu, nacházíme ji hlavně u mořských živočichů. To ale není jediná barva, se kterou se v bioluminiscenci setkáváme. Dalším příkladem může být zelená, fialová a zřídka oranžová či červená (Widder, 2010).

Existuje celá řada organismů z různých biotopů schopných bioluminiscence. Některé organismy produkují světlo samy, jiné využívají symbioticky žijící druhy. Bioluminiscenční živočichové se vyskytují od polárních oblastí až po tropické a od souše až po oceánské dno. Naprostá většina živočichů schopná bioluminiscence sídlí ve vodě, respektive v oceánu. Přibližně je to asi 80 % všech bioluminiscenčních živočichů. Z toho lze vyčíst, že bioluminiscence na souši je poměrně vzácná, přestože je mezi lidmi více známá (Widder, 2010).

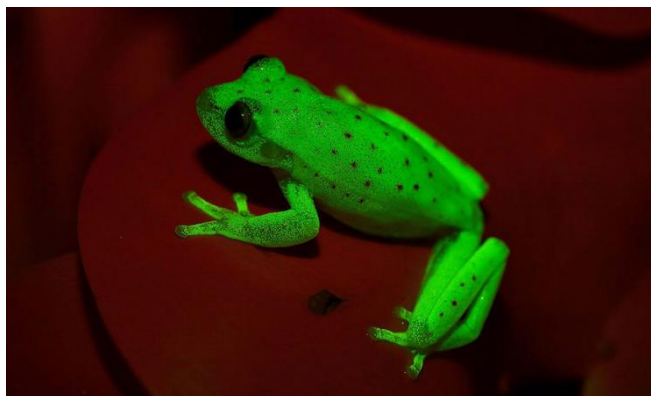
Tuto emisi světla ale musíme odlišovat od jiných forem luminiscence, jako je například fluorescence či difrakce (Widder, 2010).

1.1 Rozdíl mezi bioluminiscencí a fluorescencí

Bioluminiscence a fluorescence jsou dvě různé formy vyzařovaného světla.

U bioluminiscence je světlo produkováno chemickou reakcí v živých organismech, jednoduše by se tedy dalo říct, že bioluminiscence je proces řízený organismem (Lee, 2014). Naopak fluorescence vyžaduje vnější zdroj excitace, což je světlo, které je vyzařováno až po absorpci energie a jejího následného vydávání (Jameson, 2014).

Fluorescenčním živočichem je například rosnička puntíkatá (*Hypsiboas punctatus*). Její pokožka absorbuje světlo, které poté emituje, což způsobí, že září modrozelenou barvou (Obr. 1) (Lagorio, 2017).



Obrázek 1: Fluorescence u rosníčky puntíkaté (Inhabitat.com, 28. 11. 2023).

1.2 Rozdíl mezi bioluminiscencí a difrakcí

Difrakce, jinak řečeno ohyb světla, způsobuje odlišné šíření světla. Projevuje se tím, že se světlo šíří i do prostoru, kam by za běžných okolností neproniklo. To může zapříčinit ztrátu ostroty pozorovaného předmětu. O difrakci máme první zmínky od Leonarda da Vinciho, avšak první, kdo provedl první pozorování na mřížce a od kterého pochází název, je Francesco Maria Grimaldi (Králová, 2007).

1.3 Podstata bioluminiscence

Bioluminiscenční systémy jsou nedostatečně prostudovány. S jistotou však víme, že bioluminiscence probíhá pouze za přítomnosti kyslíku. Při reakci je potřeba 2 látek – enzymu luciferázy a substrátu luciferinu.

- Luciferin – substrát, který produkuje světlo.
- Luciferáza – enzym, který reaguje se substrátem (luciferinem).

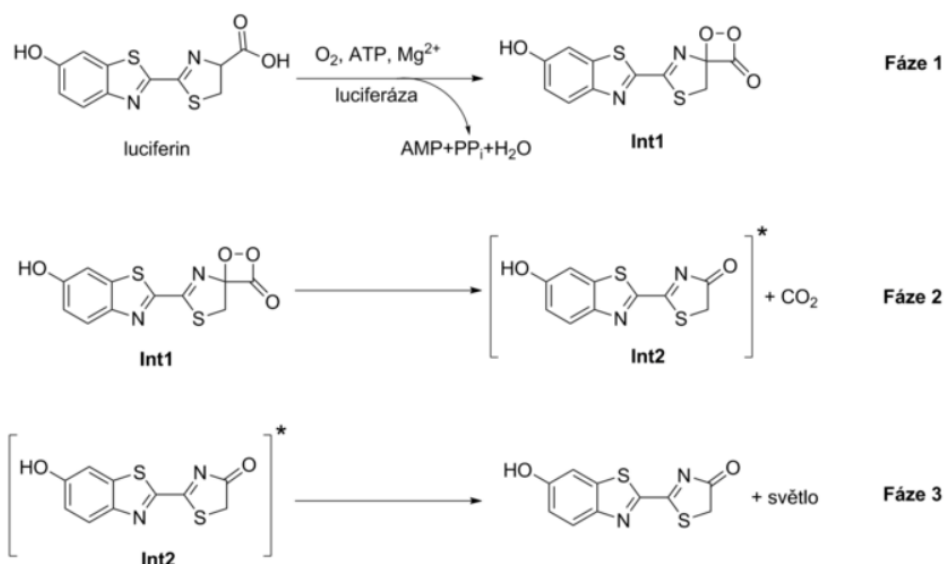
Živočichové mohou luciferin získávat dvěma způsoby. První způsob je získání luciferinu skrz potravu, druhý vnitřní syntézou (Bocáková, 2009).

Existují dva typy luciferázy, dělí se podle toho, kde se vyskytují. Luciferázu I. typu najdeme u hmyzu. Naopak s luciferázou II. typu se setkáme především u živočichů v mořském prostředí. Oba typy luciferázy poté reagují s určitým substrátem. U luciferázy I. typu se jedná o luciferin L a D, kdy právě D luciferin je typický pro světlušky. Pro luciferázu II. typu je nezbytný substrát kolenterazin (Žižková, 2018).

Výsledkem reakce těchto dvou látek je bioluminiscence. V některých reakcích však luciferáza nedominuje, místo ní je zde chemická látka zvaná fotoprotein. K tomu, aby vzniklo světlo, potřebuje fotoprotein ke katalyzaci ještě další činidlo, tím je často iont vápníku (Evers, 2023).

1.3.1 Popis reakce

Průběh reakce se dělí na 3 fáze (Obr. 2). V první fázi probíhá za přítomnosti kyslíku reakce luciferinu s enzymem luciferáza, který tuto reakci katalyzuje. Oxidací luciferinu vzniká nová sloučenina – oxyluciferin. To vše probíhá při spotřebě ATP, Mg^{2+} . V druhé fázi se poté oxyluciferin rozpadá za vzniku CO_2 . Poté nastává třetí fáze, ve které dochází ke vzniku světla (Chemie a světlo.cz, 28. 11. 2023).



Obrázek 2: Mechanismus bioluminiscence využívající luciferin (Chemie a světlo.cz, 28. 11. 2023).

1.4 Funkce bioluminiscence

Bioluminiscence plní pro organismus určitou biologickou funkci. Většinou jde o pomocný prostředek pro přežití v přirozeném prostředí. Každý živočich využívá bioluminiscenci jiným způsobem specifickým pro jeho prostředí či potřeby (Lee, 2014). Nejčastější funkce je komunikace, hledání partnera, ochrana před predátorem, rozptýlení predátora či kamufláž.

1.4.1 Komunikace

Komunikace mezi organismy je velice důležitá, a to ať už mluvíme o nesvítících organismech, tak o těch bioluminiscenčních. Bioluminiscence může hrát roli v sexuální komunikaci, což je běžné například u světlušek. U světlušek se uvažuje i tom, zda používají světlo i ke svolávání jedinců stejného druhu k sobě (Lloyd, 1983). Dalším příkladem může být varování ostatních před blížícím se nebezpečím (Widder, 2001).

1.4.2 Ochrana před predátorem

Živočichové využívají světlo k rozptýlení a oslepení predátora či dokonce k přilákání sekundárního predátora. Jako příklad lze uvést medúzu *Attola wyvillei*, která využívá světla právě k přilákání sekundárního predátora (Widder, 2001). Když se medúza cítí ohrožena, začne vydávat světlo díky svým zářícím prstencům, což predátorům ztíží určení její velikosti a umístění v prostoru. Zároveň díky prstencům naláká sekundárního predátora, což medúze zajistí čas uprchnout od nebezpečí (Scuba.com, 19. 12. 2023).

Dalším příkladem je hlubokomořská kreveta *Acanthephyra purpurea*, která vyloučí svítící sekret do tváře útočníka, tím ho oslepí a díky tomu má šanci na únik (Obr. 3) (Widder, 2001).



Obrázek 3: *Acanthephyra purpurea* produkující světlo na oslepení predátora *Gonostoma elongatum* (Widder, 2001, str. 3).

1.4.3 Hledání potravy

V tomto případě užívají živočichové svítící návnady nebo bioluminiscenční baterky či lucerny, jelikož hledání potravy ve tmě je obtížné. Příkladem může být ryba zubatka Sloanova (*Chauliodus sloani*), která má luminiscenční návnadu na konci ploutve. Návnadu udržuje

u čelisti s obrovskými tesáky, kterými poté kořist zabije (Widder, 2001).

Dále existuje hlubinná ryba ďas mořský (*Lophius piscatorius*), která svou svítící lucernou vábí kořist ke svým ústům. Ďas má dva typy bioluminiscence, první v lucerně, ten je bakteriálního původu a druhý typ, vlastní, který je zatím neprozkoumaný, se nachází na čelisti (Widder, 2010).

1.4.4. Kamufláž

Tato schopnost opět slouží k obraně proti predátorům. Kamufláž užívá většina živočichů pro splnutí s okolím. U těchto živočichů se světelné orgány většinou nachází na spodní straně těla. Pokud osvětlí své tělo podobnými barvami, jako je světlo kolem nich, stanou se neviditelnými (Herring, 2000). Souvisí to s pohledem predátora vzhůru k hladině, kdy ryby plovoucí nad ním po osvětlení splynou s rozptýleným světlem, které přichází od hladiny (Denton et al., 1972). Příkladem tohoto maskování mohou být ryby z čeledi sekernatkovití (Herring, 2000).

U krilu jsou světelné orgány více rozšířeny. Každý jedinec má na svém těle až deset světelných orgánů, a to na jejich očích, hrudníku a břiše. Nejpropracovanější kamufláž mají však chobotnice a olihně. Fotofony, orgány k produkci světla, mají po celém těle, nejvíce poté pod oční bulvou, kde poskytují maskování (Herring, 2000).

1.5 Využití

Luminiscence má v dnešní době vysokou schopnost využití. Můžeme ji využít například v mikroskopii, konkrétně ke zviditelnění buněk nebo jejich částí či k detekci patogenních virů a bakterií. Příkladem jsou fluorescenční barviva, fluorofory, díky kterým můžeme sledovat, analyzovat či třídit konkrétní buňky (Beckerová, 2018a).

Využívat ji můžeme také v ekotoxikologii či imunologii. V tomto případě využíváme bioluminiscenční bakterie pro testování toxicity látek či schopnost buněk fagocytovat (Beckerová, 2018a). Nalezla uplatnění i v lékařství, např. luminiscenční sondy. Pomáhá detekovat různá onemocnění, třeba rakovinové bujení (Ševicová, 2022).

Luminiscenci lze využít i v hodnocení zboží či materiálů. Některé bankovky bývají označeny, na normálním světle neviditelnou, luminiscenční značkou. Díky tomu lze prokázat pravost či nepravost bankovky (Patrovský, 1982).

Velmi široké využití je zejména v elektronice. Příkladem mohou být luminiscenční diody, zářivky, televizory, stínítka obrazovek. Luminiscenční materiály se využívají v bezpečnostní osvětlovací technice. Reflexní prvky najdeme na oblečení, varovných dopravních značkách (Richterová, 2012).

1.6 Historie

Přestože se lidé začali usazovat v zemědělských komunitách již 10 000 let př. n. l. v Číně a Mezopotámii, tak písemná pozorování bioluminiscence se objevují až později, jelikož se nejdříve uchovávaly pouze informace nezbytné pro přežití (Lee, 2008a). Zmínky o světélkujících organismech jsou dochovány pouze z poezie, mýtů a lidových písní (Lee, 2008b).

Nejstarší písemné záznamy o světélkování pochází z Číny, z let okolo 1500 do 1000 př. n. l., které odkazují na světlušky, kdy jde pouze o popis tohoto jevu, a ne o pokus tento jev pochopit (Roda, 2011).

Prvním, kdo provedl pozorování světélkujících druhů, byl Aristoteles (384-332 př. n. l.). Psal o svítivosti mrtvých ryb a masa, které bylo nejspíše způsobeno bioluminiscenčními bakteriemi (Lee, 2008a).

Dále Plinius starší (23-79 n. l.) publikoval úplné a rozsáhlé popisy světelných organismů. Napsal knihu *Naturalis Historia*, která obsahuje popis mnoha bioluminiscenčních živočichů, jako jsou například světélkující brouci, světlušky, světélkující měkkýš či talířovka svítivá, kterou stále můžeme najít ve Středozeří (Roda, 2011). Také psal o svítících ptácích v Černém lese v Německu, ale sám uvedl, že se jedná spíše o fámu (přesto se této fámě věřilo ještě více než 1000 let poté) (Lee, 2008a).

Ve 13. století Albertus Magnus (1206-1280 n. l.), mnich a údajně první německý přírodovědec, sepsal zmínky o luminiscenci. Popsal mnoho druhů jako i jeho předchůdce Plinius starší. V roce 1478, kdy byl vynalezen knihtisk, byla jeho práce zveřejněna jako kniha s názvem *De Animalibus*. Zmiňoval se i o tom, že je možné vyrobit extrakt ze světlušek produkující stálou luminiscenci (Roda, 2011).

Zmínky o tajemných světlech v moři přinášeli i cestovatelé v 15. století, kdy jedním z nich byl Kryštof Kolumbus (1492). Nejspíše se jednalo o mořského červa *Odontosyllis*, který je v karibských vodách známý (Lee, 2008b).

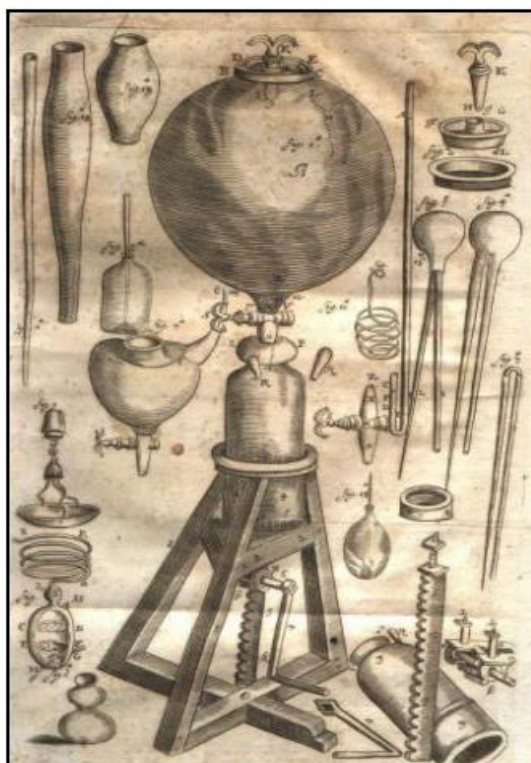
Další zmínky o bioluminiscenci můžeme najít i v díle Gonzala Fernandez de Oviedea (1478-1557), který identifikoval kovařika svítivého či bioluminiscenční larvu rodu *Phrixothrix* (Roda, 2011). Dále u Sira Francise Drakea (1516-1565), který popsal tropické světlušky na východě či u Conrada Gestnerea (1516-1565), který v roce 1555 vydal knihu *De Lunariis* věnovanou bioluminiscenci a chemiluminiscenci (Lee, 2008b).

Začátkem 17. století, v období vědecké revoluce, byl jedním z ústředních momentů zájem o vědecké vysvětlení světla, a to jak o živočišné, tak i anorganické světlo. René Descartes navrhl teorii světla, která je založena na tom, že se světlo tvoří pomocí tření částic o sebe. V knize *Principia Philosophia* podává vysvětlení různých forem luminiscence, jako je například světlo v moři, vznikající při rozrušení hladiny lodí či bioluminiscenci ryb v důsledku částic soli pronikajících do jejich pórů. Koncem 17. století byla teorie světla upravena (Lee, 2008a).

Athanasius Kircher (1602-1680), německý jezuitský kněz, sepsal knihu o luminiscenci. Shromáždil zde zatím všechny dosavadní zmínky, které sahají až k Aristotelovi, a vytvořil tabulku pozorování „světla, které je zvířatům vlastní.“ V jednom z příkladů pozorování – u světlušek, si všiml, že když s hmyzem manipuluje, světlo se ztlumí, a pokud je hmyz o samotě, opět se objeví. Domníval se, že podobně to mají i bioluminiscenční ryby v hlubinách, tedy pro komunikaci. S ohledem na současný stav bádání tedy můžeme říct, že Kircherovy poznatky byly správné (Lee, 2008a).

Nejuznávanější a nejvíce obsáhlou knihou o luminiscenci je kniha *De Luce Animalium* (1647), kterou napsal dánský lékař Bartholin (1616-1680). Popisoval, že světlo je přítomno ve všech věcech a uváděl, že tvoří pátý princip hmoty (ve starověku pouze 4 principy – voda, oheň, vzduch a země). Dnes většinu jeho výroků považujeme za nepravdivou (Lee, 2008a).

Robert Boyle (1627-1691) byl předním vědcem v 17. století a je jedním ze zakladatelů Královské společnosti neboli Akademie pro podporu věd v Londýně. V časopise *Proceedings of Royal Society* publikoval mnoho článků právě na téma luminiscenčních jevů, kde si byl vědom jak světla anorganického, tak živočišného (Roda, 2011). Se svým asistentem Robertem Hookem zkonstruoval vzduchové čerpadlo (Obr. 4) pro pozorování účinků vzduchu na různé formy luminiscence (Lee, 2008a). Zjistil, že bez vzduchu luminiscence neprobíhá nebo je vyzařované světlo tlumené. Z toho tedy plyne, že kyslík je potřebný jak pro dýchání, tak i pro bioluminiscenci (Lee, 2008b).



Obrázek 4: Vzduchové čerpadlo vytvořené Robertem Hookem a Robertem Boylem (Lee, 2008a, str. 200).

V 18. století se vědci zabývali hlavně zkoumáním elektřiny, tepla, světla a složením vzduchu – to vedlo k objevu kyslíku. Povaha spalování kyslíku a tvorba světelné emise vedla k poznání, že by se mohlo jednat o podobné biologické procesy (Roda, 2011).

Byly prověřeny Boyleovy experimenty a jeho výsledky byly potvrzeny. Foster, který prováděl podobný experiment jako Boyle, pozoroval záblesky světla u světlušky při odstraňování či přidávání kyslíku. Dále Spallanzani v roce 1797 zjistil, že při odstranění vzduchu se ztlumí světlo jak u světélkujícího dřeva, tak u mrtvé bioluminiscenční chobotnice, ale přidáním vzduchu se opět rozzáří. Došel k závěru, že bioluminiscence byla v přírodě pomalým hořením (Lee, 2008a).

V 18. století došlo i ke dvěma důležitým objevům. Prvním z nich bylo, že princip odpovědný za emisi světla byl oddělitelný od živého zvířete. Experiment se prováděl u škeble rodu *Pholas*, kdy se světelný prvek seškrabal a vytvořila se z něj pasta. Pasta po vysušení nesvítla, světlo se obnovilo až po přidání vody. Podobný experiment byl prováděn na medúze. Z toho usoudili, že bioluminiscence jednoznačně probíhá ve vodním roztoku. Druhý objev, který se týkal světla v moři, mikroskopicky zkoumal mořské luminiscenční organismy. Tento výzkum vedl k závěru, že světlo v moři je opravdu živočišného původu (Lee, 2008a).

Už začátkem 19. století vycházelo mnoho časopisů a knih, založilo se mnoho vědeckých společností a začaly se rozdělovat, specializovat vědní obory. Zároveň už se prováděla velmi přesná měření, na rozdíl od předchozích staletí, na výzkum povahy světla. Moderní svět přinesl pro biologie řadu vybavení, které umožnilo provádět další objevy (Lee, 2008a).

Charles Darwin (1809-1882) ve svých teoriích operoval s pojmem bioluminiscence. V roce 1859 publikoval dílo O původu druhů, kde uvádí zmínku právě o světelných orgánech (Roda, 2011).

MaCartney (1810) popsal, že bioluminiscence u obrněnek reaguje na mechanický stimul a že emise světla by tedy mohla být ochrannou reakcí. Ve 20. století se potvrdilo, že světlušky využívají bioluminiscenci ke komunikaci, která posléze vede k páření. Toto tvrzení bylo poté přirozeně rozšířeno na obrněnky a jiné organismy. Mikroskopické studie obrněnek prokázaly, že bioluminiscence je lokalizována v částicích plovoucích v cytoplazmě. Dnes jsou tyto struktury produkující světlo nazývány scintilony (Roda, 2011).

V této době se věřilo, že světlo pochází z fosforu či některé z jeho forem, proto se bioluminiscenci přisuzoval termín fosforescence. Dnes má jiné vědecké užití, a to jako zpožděný typ fluorescenční emise (Lee, 2008a).

Roku 1877 byla objevena první chemiluminiscenční reakce. Ta vznikla oxidací organické látky lophinu. To vedlo k zařazení bioluminiscence do forem chemiluminiscence, která se vyskytuje uvnitř organismu (Lee, 2008a).

Raphaël Dubois roku 1887, jako první, poodhalil chemickou podstatu bioluminiscence. Popsal, že tepelně stabilní částice byla pravděpodobně organická molekula, nazval ji jako luciferin. V tu dobu probíhaly výzkumy enzymů, z toho Dubois usoudil, že extrakt, který udržuje reakci v chladu, je enzymem, který pojmenoval jako luciferáza (Lee, 2008b).

Další pokrok přinesla zdokonalená technologie zaoceánských lodí, to zvýšilo možnosti průzkumu světla. Mezi nejznámější vědecké výpravy patří Darwinovy cesty na lodi Beagle (1831-1836) či expedice HMS Challenger (1872-1876) (Lee, 2008a). Konkrétně na palubu lodi HMS Challenger byl naistalován parní stroj pro zvedání a spouštění bagru, který byl určen pro sběr vzorků, a vlečná síť. Také zde nechyběla laboratoř s mikroskopy a dalším vědeckým vybavením pro určování a uchovávání živočichů (Obr. 5) (Wordpress.com, 5. 2. 2024). Díky tomu byli objeveni živočichové v hlubinách oceánu (Lee, 2008a).

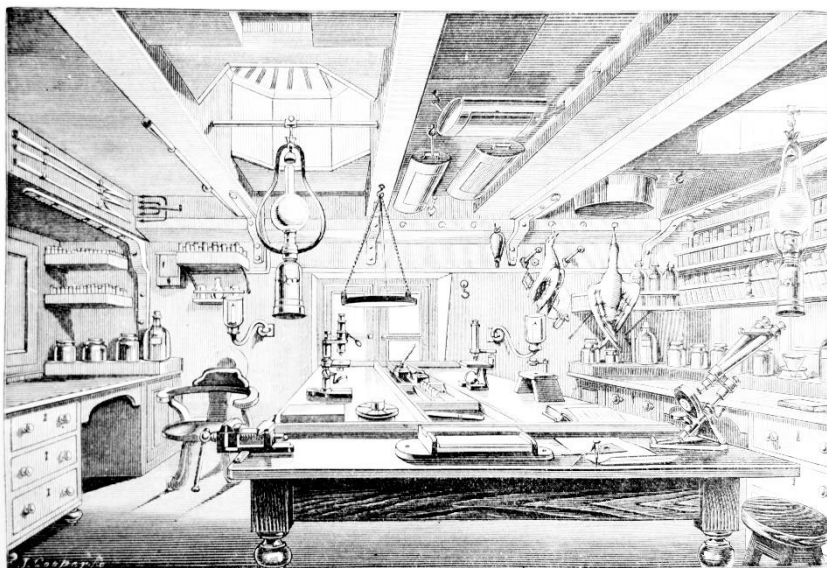


FIG. 2.—Zoological Laboratory on the Main Deck.

Obrázek 5: Laboratoř na lodi HMS Challenger (Wordpress.com, 5. 2. 2024).

V důsledku aktivní sběratelské činnosti v tomto období byla popsána většina dodnes známých bioluminiscenčních druhů. 19. století je tak právem označováno, jako začátek „moderní vědy“ (Lee, 2008a).

2. BIOLUMINISCENCE OBRNĚNEK (*Dinoflagellata*)

Obrněnky jsou jednobuněčné eukaryotní vodní organismy, které se řadí mezi bičíkovce (*Flagellata*) (Kalina & Váňa, 2005), kmene *Dinozoa*, říše *Chromalveolata*, skupiny *Alveolata* (BioLib.cz, 14. 3. 2024).

Vyskytují se jak ve sladké, brakické, tak i mořské vodě. V letních měsících se poté mohou přemnožit a způsobit tak vodní květ, označovaný jako „red tide“ (Kalina & Váňa, 2005). Mezi faktory pro tvorbu vodního květu řadíme obohacení vody o živiny, zejména fosfor, dále pak zvýšenou teplotu a či změnu proudění vody (Lom, 1995). Obrněnky, hlavně ty v mořské a brakické vodě, jsou důležitou složkou fytoplanktonu. Rozmnožují se pomocí dělení buněk (Kalina & Váňa, 2005).

Kromě bioluminiscence je další schopností obrněnek produkce toxických látek. Tyto látky mohou člověku způsobit vážnou otravu či onemocnění nazývané ciguatera (Saldarriaga et al., 2003). Toxiny se mohou vyskytovat v tělech měkkýšů, ostnokožců nebo ryb, které člověk zkonzumuje (Lom, 1995; Saldarriaga et al., 2003). Toxiny jsou v tělech živočichů kumulativní, ale přesto nejsou v tělech živočichů při konzumaci člověkem cítit, neovlivňují chuť masa. Následky jsou ale velice vážné a bolestivé. Projevy otravy jsou spojeny s nevolností, průjmy či bolestmi ve svalu, se svalovou paralýzou či může dojít i k respiračnímu selhání. Mezi nejvíce toxické obrněnky patří *Gambierdiscus toxicus* a *Pfiesteria piscicida* (Lom, 1995).

2.1 Svítilka třpytivá (*Nocticula scintillans*)

Svítilka třpytivá (Obr. 6) je druh heterotrofní obrněnky, která má průzračnou barvu a dosahuje rozměrů 0,2 – 1,2 mm (Kalina & Váňa, 2005). Rozlišují se dvě formy. První, zelená *Nocticula scintillans*, se vyskytuje pouze omezeně a zelená je díky zelenému fotosyntetickému organismu *Pedinomonas noctilucae* (Sweeney, 1976), který se vyskytuje v jejích vakuolách. Druhá, červená forma, je naopak široce rozšířena a zbarvení je zapříčiněno karotenoidy, které získává z potravy (Balch & Haxo, 1984).

Svítilku třpytivou řadíme do třídy *Noctiluciphyceae*, řádu *Noctilucales*, čeledi *Noctilucaceae*, rodu *Nocticula* (BioLib.cz, 8. 3. 2024).



Obrázek 6: *Noctiluca scintillans* (Flickr.com, 13. 2. 2024).

2.1.1 Stavba buňky

Buňka je obalena mnohovrstevnou tékou, která je rozdělena příčnou rýhou, cingulum, na horní epitéku a dolní hypotéku (Kalina & Váňa, 2005). K pohybu ve vodním sloupci používají 2 bičíky, jeden příčný a druhý podélný (Saldarriaga et al., 2003). Mají světločivnou organelu, stigma, která je součástí fotoreceptoru buňky. Jádro obrněnek, které obsahuje chromozomy, se nazývá dinokaryon. Zásobní látkou je škrob, který je uložený v cytoplazmě. Obsahují také chlorofyly a + c₂, β-karoten a xantofyly (Kalina & Váňa, 2005).

2.1.2. Výskyt

Obě formy svítilky se vyskytují u hladiny. Zelená forma se vyskytuje omezeně, a to pouze v tropických asijských vodách, v Arabském moři, Ománském zálivu a Rudém moři. Naopak červená forma se široce rozšířena, můžeme ji nalézt od vod mírného pásu až po subtropické oblasti. Červená a zelená forma svítilky třpytivé se ve svém výskytu překrývají v Arabském moři (Harrison et al., 2011).

2.1.3 Bioluminescence

Obrněnky vydávají jasné modré světlo, jako reakci na vnější narušení povrchu těla. Světlo je vyzařováno pomocí scintilonů, které jsou přítomny v cytoplazmě. Narušení způsobí takzvaný akční potenciál, jenž zapříčiní pokles pH v scintilonech a spustí reakci luciferinu

a luciferázy, díky čemuž vznikne světlo. Podle studie bioluminiscenci svítilky třpytivé ovlivňuje i světlo, kdy během dne nastává fotoinhibice a v noci luminiscence (Parvathi et al., 2021).

Hypotéza naznačuje, že bioluminiscence může pomoci při úniku před predací zooplanktonem (Esaias & Curl, 1972), ale také se předpokládá, že by mohla být pouze vedlejším produktem, který zabrání toxicitě kyslíku (Wilson & Hastings, 2013).

3. BIOLUMINESCENCE ŽAHAVCŮ (*Cnidaria*)

Žahavci jsou kmen zejména mořských živočichů, do kterého řadíme 4 základní třídy, a to korálnatce (*Anthozoa*), polypovce (*Hydrozoa*), čtyřhranky (*Cubozoa*) a medúzovci (*Scyphozoa*) (BioLib.cz, 14. 3. 2024).

Žahavci dostali tento název díky žahavým buňkám – knidocytům, které využívají k lovu, obraně, pohybu i přichycování. Mají primárně paprscitou symetrii a rozmanitý tvar i velikost těla. Žijí přisedle nebo volně a často vytvářejí kolonie. Žahavci mají difúzní nervovou soustavu a pohlavní i nepohlavní rozmnožování. Dochází ke střídání polypového a medúzového stádia – metagenезi. Jejich larva se nazývá planula (Rogers et al., 2009).

3.1. Talířovka svítivá (*Pelagia noctiluca*)

Talířovka svítivá (Obr. 7) je malá pelagická medúza, která má obvykle růžovou, fialovou či světle hnědou barvu. Dospělý jedinec dosahuje rozměrů od 3 do 12 cm. Biologický cyklus talířovky svítivé je roční, vykazuje vysokou přirozenou úmrtnost a bylo zjištěno, že se rozmnožuje po celý rok. Tato medúza má přímý vývoj, tím pádem nemá stádium benthického scyphistoma (Mariottin et al., 2008). Živí se planktonními živočichy, které loví u hladiny vody (BioLib.cz, 27. 12. 2023).

V systému ji řadíme do kmene žahavci, třídy medúzovci, řád talířovky (*Semaeostomeae*), rod talířovka (*Pelagia*) (BioLib.cz, 27. 12. 2023).



Obrázek 7: *Pelagia noctiluca* (Vita4you.cz, 27. 12. 2023).

3.1.1 Stavba těla

Tělo medúzy má tvar zvonu. Zespodu zvonu se nachází ústní otvor, okraje zvonu jsou zřasené s osmi žahavými chapadly a čtyřmi ústními pažemi (Banister & Campbell, 1985). Na povrchu těla se nacházejí neuromasty – proudové orgány (Mariottin et al., 2008).

Neuromasty, které se nacházejí na zvonu, chapadlech, ústí ramen, lze je rozdělit do 3 skupin podle morfologie. První skupinou jsou velké kulovité neuromasty. Druhá skupina jsou menší a eliptické neuromasty a poslední, třetí, skupinou jsou nejmenší eliptické neuromasty s vyčnívajícím operkulem (Mariottin et al., 2008).

3.1.2 Výskyt

Tento druh má široké rozšíření. Lze ji nalézt hlavně v tropických zónách, ale díky vodním proudům i v mírných a studených mořích, jako je severní Atlantik a severní Tichý oceán. Velký výskyt je poté ve Středozemním moři, kde je nalezneme v pelagických vodách od března do května. Kolem 70. a 80. let 20. století došlo k přemnožení tohoto druhu, a tím pádem se stala nejvíce rozšířenou medúzou ve Středozemním moři (Mariottin et al., 2008).

3.1.3 Bioluminiscence

Při podráždění medúza světélkuje, což je možno pozorovat hlavně v noci. Není však stále zcela jasné, co v tomto případě luminiscenci způsobuje. Podle jedné hypotézy je bioluminiscence řízena nervovým systémem, hypotéza ale nebyla prokázána (Moore, 1926).

3.2 Korunovka purpurová (*Periphylla periphylla*)

Korunovka purpurová (Obr. 8) se řadí mezi hlubinné medúzy (Jarms et al., 2002) a má červenohnědou barvu. Rozmnožuje se po celý rok a navíc má nízkou úmrtnost, což umožňuje udržovat vysokou hustotu populace. Tento druh medúzy se tedy dožívá i vysokého věku (Sørnes et al., 2007).

V systému ji řadíme do kmene žahavci, třídy medúzovci, řádu korunovky (*Coronatae*), rod korunovka (*Periphylla*) (BioLib.cz, 15. 2. 2024).



Obrázek 8: *Periphylla periphylla* (Seawater.no, 15. 2. 2024).

3.2.1 Stavba těla

Korunovka purpurová může dosáhnout velikosti až 30 cm. Deštník je spíše vyšší než širší a má tvar hrotu. Na deštníku se vyskytují 4 prohlubně, na jejichž vnitřní straně se vytvářejí žaludeční přepážky (Jarms et al., 2002). Medúza má celkem 12 oranžových chapadel, které mohou být dlouhé více než 50 cm (Ternes, 2023).

3.2.2 Výskyt

Tento druh medúzy má celosvětové rozšíření, avšak největší populace byla objevena v hlubokých vodách některých norských fjordů (Russell, 1970), kde může žít 20-320 jedinců na metr³. V noci nebo při putování za potravou se mohou přiblížit i k hladině. K této vertikální migraci ale dochází zejména v chladnějších oblastech (Sørnes et al., 2007).

3.2.3 Bioluminescence

Všechna vývojová stadia této medúzy jsou bioluminiscenční. Intenzita světla poté vzrůstá s růstem, pravděpodobně kvůli rozvoji nervové soustavy (Jarms et al., 2002). Bioluminiscenční záblesky tedy pravděpodobně vznikají díky fotocytm, které jsou zásobeny nervovou soustavou (Flood et al., 1996). Důležitou informací ale je, že medúza září pouze po podráždění, v běžném stavu nikoliv. Předpokládá se, že korunovka purpurová využívá luminiscenci jako varování predátorům označující, že medúza je nejedlá (Jarms et al., 2002).

4. BIOLUMINISCENCE MĚKKÝŠŮ (*Mollusca*)

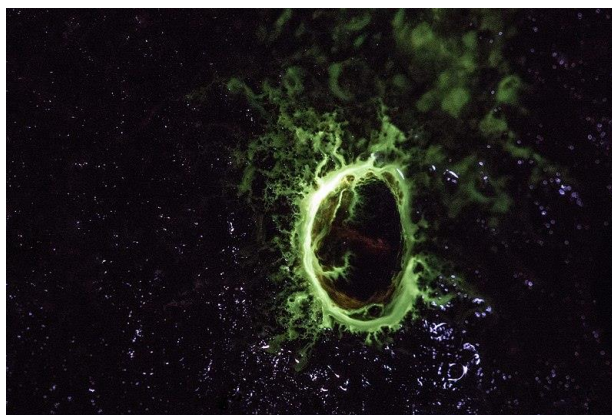
Měkkýši jsou významnou skupinou bezobratlých živočichů, kteří obývají jak mořské, tak i sladkovodní a suchozemské prostředí. Řadíme sem 3 třídy, a to plže (*Gastropoda*), mlže (*Bivalvia*) a hlavonožce (*Cephalopoda*). Jejich rozměry tedy mohou být od několika milimetrů, až po několik metrů (BioLib.cz, 12. 3. 2024).

Tělo měkkýšů je měkké a složené ze 3 hlavních částí – z hlavy, nohy, útrobního vaku. Na hlavě se nacházejí ústa a smyslové orgány. Pohyb měkkýše zajišťuje svalnatá noha. V útrobním vaku se poté nacházejí důležité orgány. Významnou funkci má i plášť, který produkuje schránku z CaCO_3 . Na přehybu pláště se nachází plášťová dutina, kde jsou uloženy dýchací orgány, řitní otvor, gonády a vylučovací orgány (Bruyne, 2004). K dýchání ve vodě jim slouží žábry nebo ktenidie, na souši dýchají pomocí plicního vaku či mohou dýchat pláštěm a povrchem těla (Puranik & Bhate, 2007). Rozmnožování může probíhat dvojím způsobem, buď jsou to gonochoristé či hermafrodité a vývin je přímý či nepřímý přes larvu, kdy u mořských měkkýšů má název veliger, u sladkovodních mlžů, jako například škeble rybniční (*Anodonta cygnea*), je larva glochidium. Cévní soustava je otevřená, kdy srdce má 1 komoru a 1-4 předsíně (Frasma.cz, 28. 3. 2024). Nervová soustava je velmi jednoduchá a je složena z ganglií, která jsou navzájem propojena. Trávicí soustava, začínající ústním otvorem a končící řitním otvorem, se skládá z trubice a dobře vyvinutých trávicích žláz. V ústním otvoru se nachází radula, kterou rozmělnují potravu. U mlžů radula chybí, jelikož jsou to filtrátoři (Puranik & Bhate, 2007).

4.1 Bystřičník svítivý (*Latia neritoides*)

Bystřičník svítivý (Obr. 9) je velmi malý bioluminiscenční plž, který je přitisknutý k podkladu (Ohmiya et al., 2005) podobně jako přílipka (*Patella*). Jedinci za svůj život vyprodukují velké množství vajíček, což naznačuje velkou úmrtnost vajíček či mladých jedinců (Moore & Meyer–Rochow, 1988).

V systému jej řadíme do kmene měkkýši, třídy plži, řádu plicnatí (*Pulmonata*), čeledi bystřičníkovití (*Latiidae*), rodu bystřičník (*Latia*) (BioLib.cz, 23. 2. 2024).



Obrázek 9: *Latia neritoides* (Inaturalist.org, 23. 2. 2024).

4.1.1 Stavba těla

Tito sladkovodní plži mají malé spíše oválné schránky, které mají hmotnost pouze 0,03-0,05 g. Schránka má černou barvu (Ohmiya et al., 2005). Přílnavost schránky k povrchu zajišťuje velké chodidlo s řasinkovým povrchem a slizovými žlázami. Potravu přijímají do jícnu a následně žaludku, na který navazuje střevo s komplexem trávicích žláz, které ústí až do řitního otvoru (Moore & Meyer–Rochow, 1988). Mají také dvě tmavě hnědé oči (Meyer-Rochow & Bobkova, 2001).

4.1.2 Výskyt

Vyskytují se pouze v rychle tekoucích vodách na Severním ostrově Nového Zélandu, jedná se tedy o endemitní druh. Jsou přichyceny na spodních stranách kamenů, tedy si jich nelze často všimnout. Bystřičník svítivý je jediný bioluminiscenční živočich, o kterém je do dnešní doby známo, že se vyskytuje ve sladké vodě (Ohmiya et al., 2005).

4.1.3 Bioluminiscence

Bystřičník svítivý vyvrhuje hlen, který produkuje jasně zelenou záři (Ohmiya et al., 2005). Luminiscenční hlen může vyvrhovat už larva, veliger, a to již 10 dní poté, co se vyklubala z vajíčka (Moore & Meyer–Rochow, 1988). Tento druh plže vykazuje luciferin – luciferázovou reakci (Nakamura et al., 2004).

4.2 Skulař vrtavý (*Pholas dactylus*)

Skulař vrtavý (Obr. 10) je dlouhověký (bylo zjištěno, že maximální životnost je 14 let), pomalu rostoucí druh mořského mlže (Pinn et al., 2005), který se zavrtává do substrátu. Ve své vyhloubené noře v substrátu zůstávají po celý život a na povrch vyčnívá pouze sifon. Jedinci jsou gonochoristé, kteří se rozmnožují ojedinele a jejich larva, veliger, žije planktonním způsobem, dokud se neusadí na substrát (Hill, 2006).

V systému jej řadíme do kmene měkkýši, třídy mlži, řádu *Myida*, čeledi skulařovití (*Pholadidae*), rodu skulař (*Pholas*) (BioLib.cz, 23. 2. 2024).



Obrázek 10: *Pholas dactylus* (BioLib.cz, 23. 2. 2024).

4.2.1 Stavba těla

Jeho schránka má eliptický tvar s protáhlým předním koncem, který může být až 12 cm dlouhý. Schránka je tenká s paprscitými liniemi a má nejčastěji bílou nebo šedou barvu. Sifony jsou spojené a alespoň jeden z nich má dvojnásobnou délku pláště (Hill, 2006). Sifony slouží k nasávání vody s částmi potravy a následně k vyvrhování vody s odpadními látkami (Bruyne, 2004).

4.2.2 Výskyt

Skulař vrtavý se vyskytuje ve Středozemním moři, Černém moři a východním Atlantiku od Norska až po Kapverdy, kdy ho lze nalézt v mělčinách skalnatých pobřeží (Micu, 2007). V minulosti byl rozšířený po celém světě, ale kvůli nadměrnému sběru lidmi a znečištění vod, se jeho areál výskytu zmenšil (Michelson, 1978).

Dnes je tak tento druh mlže oficiálně chráněn v celém Středomoří, a to díky Bernské a Barcelonské úmluvě (Papathanassiou & Zenetos, 2005).

4.2.3 Bioluminescence

Obrys mlže ve tmě září zelenomodrým světlem (Hill, 2006). Světelné žlázy, které sekret vytvářejí, jsou dva podélné pruhy ve výdechovém sifonu, pár trojúhelníkových orgánů v dutině pláště blízko sifonu a pruh kolem okraje pláště (Panceri, 1872).

4.3 *Watasenia scintillans*

Watasenia scintillans (Obr. 11) je malá světélkující hlubokomořská oliheň (Teranishi & Shimomura, 2008), která dorůstá rozměrů 7-8 cm (Tsuchiya, 2007). Životní cyklus je u tohoto druhu jednorocní (Teranishi & Shimomura, 2008). Oliheň je aktivní predátor, loví hlavně koryše, ryby, kraby a krevety (Hayashi & Hirakawa, 1997).

V systému ji řadíme do kmene měkkýši, třídy hlavonožci, čeledi *Enoploteuthidae*, rodu *Watasenia* (BioLib.cz, 23. 2. 2024).



Obrázek 11: Firefly squid (*Watasenia scintillans*) (Animal.memozee.com, 23. 2. 2024).

4.3.1 Stavba těla

Oliheň má hydrodynamický tvar těla s ploutví ve tvaru trojúhelníku, která se nachází v zadní části těla. Na pažích i chapadlech má háčky a jednu řadu přísavek. Má dvě složené oči po straně těla. Po celém povrchu těla má chromatofory, kterými může měnit svoji barvu, a fotofory, světelné orgány. Ústní dutina, která má tmavou pigmentaci, je zakončena zobákem (Tsuchiya, 2007). K vyztužení těla slouží tzv. sépiová kost.

4.3.2 Výskyt

Watasenia scintillans je endemitní druh, vyskytující se v Japonsku (Teranishi & Shimomura, 2008). Většinu svého života stráví v hloubce kolem 200 až 400 metrů, v noci se mohou přiblížit k hladině, aby ulovili svoji kořist (Dalhgren ,1992). Na hladině se vyskytují také v období jara, kdy migrují na mělčinu naklást vajíčka. Když je tento proces dokončen, jedinec umírá (Teranishi & Shimomura, 2008).

4.3.3 Bioluminescence

Oliheň má kolem každého oka 5 fotoforů, poté mnoho fotoforů na plášti a 3 černě pigmentované světelné orgány na vrcholu čtvrtého páru ventrálních ramen. Tyto fotofony produkují nepřetržitě modré světlo. Na pažích vydávají světelné orgány pouze záblesky světla (Teranishi & Shimomura, 2008).

Předpokládá se, že luminiscence slouží jako vnitrodruhová komunikace, ale také k omráčení kořisti (Haddock et al., 2010). To bylo zjištěno pomocí kamer, které zachytily, že se z fotoforů na koncích paží při útoku na kořist uvolňovaly záblesky světla (Kubodera et al., 2010).

5. BIOLUMINISCENCE ČLENOVCŮ (*Anthropoda*)

Členovci jsou jedním z nejvíce rozšířených a největších živočišných kmenů. Do tohoto kmene zahrnujeme 4 podkmeny. Řadíme sem podkmenné klepítkatce (*Chelicerata*), stonožkovce (*Myriapoda*), korýši (*Crustacea*) a šestinoze (*Hexapoda*) (BioLib.cz, 14. 3. 2024).

Mezi hlavní znaky kmene členovců řadíme článkované končetiny, heteronomní segmentaci, vnější exoskelet tvořený chitinovou kutikulou, tělní dutinu mixocoel a otevřenou cévní soustavu. Tělo dělíme na 3 části – hlavu (*caput*), hrud' (*thorax*) a zadeček (*abdomen*). Trávicí soustava je v podobě trávicí trubice, začínající ústním otvorem a končící řitním otvorem. Dýchací soustava se přizpůsobuje prostředí, kde se živočich nachází, korýši mají žábry, pavoukovci dýchají plicními vaky a hmyz dýchá pomocí vzdušnic. U některých vodních larev hmyzu je dýchání zajištěno pomocí tracheálních žaber. Vylučování probíhá pomocí metanefridií či u hmyzu pomocí malpighických tubic. Nervová soustava je gangliová, s největší uzlinou (gangliem) s lokací v hlavě. Jedná se o gonochoristy, mají oddělené pohlaví, s přímým vývojem v případě pavouků nebo raků, či nepřímým vývojem v případě hmyzu (Frasma.cz, 12. 3. 2024).

Hmyz, který řadíme do podkmene šestinoz, je nejvíce rozšířenou skupinou suchozemských organismů, který navíc disponuje bioluminiscencí. Většinu bioluminiscenčního hmyzu tvoří brouci (*Coleoptera*), jako například *Phengodidae*, světlušky (*Lampyridae*) či kovařici (*Elateridae*) (Srivastava & Katiyar, 2021). Zrovna kovařici jsou jednou z nejbohatších čeledí na bioluminiscenční druhy mezi brouky (Amaral et al., 2016). Bioluminiscenci mohou mít ve všech fázích života nebo pouze v larválním stádiu (Srivastava & Katiyar, 2021).

5.1. Světluška větší (*Lampyris noctiluca*)

Světluška (Obr. 12) je nejvíce známým suchozemským bioluminiscenčním živočichem, které se také lidově přezdívá svatojánská muška. Samičím světlušek se také jinak říká svítící červi („glow-worms“) (Baudry et al., 2021). Životní cyklus světlušky začíná larvou, která se přemění v dospělého jedince, a končí po naklazení vajíček (Beckerová, 2018b).

V systému ji řadíme do kmene členovci, třídy hmyz, řádu brouci, čeledi světluškovití (BioLib.cz, 1. 3. 2024).



Obrázek 12: Světluška větší – vlevo samec, vpravo samice (BioLib.cz, 1. 3. 2024).

5.1.1. Stavba těla

Tělo světlušky je ploché, kdy mají obvykle 7 břišních článků, kdy na posledním se nachází světelné orgány. Tykadla jsou nitkovitá s 11 články. Na pětičlánekových končetinách má jednoduché tarzální drápky. Oči jsou většinou nápadné (McDermott, 1964). Světlušky mají pohlavní dimorfismus, kdy samci mohou dosahovat velikosti kolem 10-12 mm, samice je větší s velikostí 15-20 mm. Larva světlušky může mít až 23 mm (BioLib.cz, 1. 3. 2024). Samci mají křídla krytá krovkami, zatímco samice je bez křídel a připomíná spíše larvu (Baudry et al., 2021).

5.1.2 Výskyt

Světlušky jsou rozšířené po celém světě, kdy druhová rozmanitost je vyšší v oblastech s vlhčím klimatem, a naopak nižší v oblastech se suchým klimatem (Branham et al., 2010).

Světluška větší se vyskytuje od Evropy, například Portugalsko, Velká Británie, až po Asii, kde ji můžeme nalézt například v Číně. V České republice tento druh není příliš rozšířen (Wikipedia.org, 10. 3. 2024).

5.1.3 Bioluminiscence

Všechny životní fáze u světlušky jsou luminiscenční, zeleným světlem září tedy jak vajíčka, larvy, kukly, tak i dospělci. V případě světlušek se jedná o luciferin-luciferázovou reakci (Amaral et al., 2016). U dospělých jedinců vydává světlo nápadným způsobem ale pouze

samice. Emise u samců je slabá a tím pádem i málo prozkoumaná (Dreisig, 1971). Světlušky mají své světelné orgány v koncových člancích zadečku a mohou je ovládat pomocí nervového systému (Beckerová, 2018b).

Larvy využívají světlo jako obrannou funkci (Srivastava & Katiyar, 2021), kdy předstírají smrt. Mnoho predátorů totiž nemá zájem o nehybný či mrtvý hmyz. V přírodě bylo dokonce pozorováno, že larva přestává zářit a zároveň dokáže zůstat nehybná až několik minut, když zachycuje vibrace z okolí (Day, 2011). Dospělí jedinci poté ke komunikaci, a to především té sexuální (Booth et al., 2004), kdy samice svítí tak dlouho, dokud nedojde k páření. Za jednu noc samice svítí 1-3 hodiny. Samec si poté k páření vybírá samici, která září jasněji, než ty ostatní (Baudry et al., 2021).

5.1.4 Hrozba světlušek v podobě rodu *Photuris*

Hrozbou světlušek může být rod *Photuris*. Tento rod světlušek je velmi agresivní a specializuje se na predaci jiných druhů světlušek. Samičky napodobují kódované záblesky světla samiček jiného druhu, aby přilákaly nic netušící samce a poté je napadly. Samečci poté napodobují světelné záření samečků jiného druhu, kteří by mohli být kořistí jejich samiček. Zdá se, že by mohlo jít o strategii hledání partnera, kdy samci oplodní samice i s rizikem sebeobětování se (Lloyd, 1983).

5.2 Kovařík svítivý (*Pyrophorus noctilucus*)

Kovařík svítivý (Obr. 13) patří mezi bioluminiscenční hmyz, který má jedno z nejjasnějších světél. Dospělý jedinec dosahuje rozměrů 2-4 cm a jejich tělo má tmavě hnědé zbarvení (Wikipedia.org, 14. 3. 2024). Označují se také jako „click beetles“, jelikož jsou známí pro své klikání, které je vymrští do vzduchu a umožní jim uniknout. Ke skoku však nevyužívají končetiny, jako většina brouků, ale využívají hrudní struktury (Ruan et al., 2022).

V systému ho řadíme do kmene členovci, třídy hmyz, řádu brouci, čeledi kovaříci, rodu kovařík (*Pyrophorus*) (BioLib.cz, 14. 3. 2024).



Obrázek 13: *Pyrophorus noctilucus*
(BioLib.cz, 14. 3. 2024).

5.2.1 Stavba těla

Larvy kovaříků, drátovci, mají dlouhé a červovité tělo, které je pokryto tvrdým exoskeletem. Poslední článek mají protažený ve špičku. Dospělci mají dlouhé a zploštělé tělo (Hogue, 1993). Hrudní štít je protažený směrem dozadu ve výběžky a ukrývá v sobě svaly, které jsou uzpůsobeny ke skákání (Evans, 1973). Na vrchní straně protoraxu se nacházejí dva kulaté světelné orgány a další se nacházejí na spodní straně prvního břišního segmentu. Tykadla mají většinou zpeřená (Hogue, 1993).

5.2.2 Výskyt

Tento druh kovaříka, stejně jako ostatní druhy rodu *Poryphorus*, je rozšířený v Karibiku, poté také ve Střední a Jižní Americe (Costa, 1976).

5.2.3 Bioluminiscence

Kovařík svítivý má na zádech dva světelné orgány, které jsou téměř kruhového tvaru, a na rozdíl od světlušek může kontrolovat jas světla, které vyzařuje (Willett, 2018). Bioluminiscence je zřetelná v noci, kdy ji využívají pro sexuální komunikaci podobně jako světlušky. Vyzařované světlo ventrálních světelných orgánů má žlutooranžovou barvu. Naopak dorzální světelné orgány, které vyzařují žlutozelené světlo, plní funkci obrannou, když jsou brouci stlačeni (Feder & Velez, 2009). Bioluminiscenční jsou všechny vývojové fáze (Wikipedia.org, 14. 3. 2024). Jedná se o luciferin-luciferázovou reakci (Kim et al., 2022).

6. BIOLUMINISCENCE OSTNOKOŽCŮ (*Echinodermata*)

Ostnokožci se řadí mezi nejvíce rozšířené a nejvíce běžné živočichy v moři. Jsou výhradně mořští a nacházejí se od přílivové zóny až po velké hloubky. Žijí pospolu, většinou volně. Symetrie je obvykle radiální, pětičetná u dospělců a u larev je biradiální. Tvar těla se u zástupců liší, může být kulatý či kulovitý, válcovitý, protáhlý nebo hvězdnicovitý. Barevnost je velice rozmanitá, ale mohou být i průhlední. Exoskelet je vytvořený z vápenatých destiček a trnů, endoskelet je z destiček, které tvoří skořápku nazývanou téka či test, nebo je tvořena ze samostatných malých kůstek. Coelom je velmi prostorný a je lemovaný řasinkovou podbřišnicí, jsou v něm uloženy trávicí a rozmnožovací orgány. Trávicí soustava je stočená trubice, která vychází z úst, nacházejících se na povrchu ústního a řitního otvoru. Orálně situovaný řitní otvor je ve světě zvířat výjimečný. K dýchání ostnokožcům slouží papuly, peristomiální žábry, či genitální burzy. Nervový systém je primitivní, skládá se z prstence a radiálních nervů. Pohlaví jsou oddělená, není patrný žádný pohlavní dimorfismus, kdy vajíčka a spermie vypouští do vodního sloupce. Někteří ostnokožci se rozmnožují nepohlavně, a to příčným dělením (Puranik & Bhate, 2007).

Do ostnokožců řadíme tyto třídy živočichů: lilijice (*Crinoidea*), hvězdice (*Asteroidea*), hadice (*Ophiuroidea*), ježovky (*Echinoidea*), sumýši (*Holothuroidea*) (BioLib.cz, 14. 3. 2024). Jedinou třídou ostnokožců bez bioluminiscence jsou ježovky (Herring, 1987).

6.1 *Amphipholis squamata*

Amphipholis squamata (Obr. 14) je jedním z nejdůležitějších ostnokožců, u kterého byla bioluminiscence popsána (Attaran-Fariman et al., 2016). Tento druh ostnokožce se vyznačuje malou velikostí, hermafroditním rozmnožováním a absencí larvální fáze (Nisolle, 1990). Je všežravý, filtruje jak částičky sedimentů, tak plankton (Emson & Whitfield, 1989). Svůj význam má v hlavně v biotechnologických a molekulárních studiích. Po celém světě má velmi rozmanité genetické, barevné, tak i bioluminiscenční rysy. Zatím bylo hlášeno celkem 11 různých barevných variací tohoto druhu (Attaran-Fariman et al., 2016).

V systému tento druh řadíme do kmene ostnokožci, třídy hadice, řádu *Ophiurida*, čeledi hadicovití, rodu *Amphipholis* (BioLib.cz, 14. 3. 2024).



Obrázek 14: *Amphipholis squamata*
(Bioimages.org, 14. 3. 2024).

6.1.1 Stavba těla

Střed těla tvoří kruhový disk s černými skvrnami a krátkými trny, na který se napojuje 5 ramen, které mají rozměr 6 cm. Disk je pokrytý malými nepravidelnými šupinami, které se částečně překrývají. Ústní štít je pětiboký, vějířovitý a je spíše delší než široký. Mají velký hřbetní štít a 2 ústní papily s dlouhou distální částí na obou apikálních stranách čelisti (Attaran-Fariman et al., 2016).

6.1.2 Výskyt

Je to kosmopolitní druh, který se vyskytuje v široké škále biotopů, s výjimkou arktické a antarktické oblasti. Druh byl hlášen například ze Spojených států amerických, Mexika, Brazílie (Benavides-Serrato et al., 2011), z Evropy od Středozemního moře či z pobřeží Afriky a Madagaskaru (Alva & Vadon, 1989). Můžeme ho nalézt od přílivových zón až po hloubku 2000 metrů (Hendler, 1995). Celosvětové rozšíření výsledkem jeho pobřežní migrace (Fell, 1962).

6.1.3. Bioluminiscence

Noční luminiscenci mu vytváří přítomnost tmavých a světlých pigmentů na ramenech, bioluminiscenci řídí nervovým systémem (Deheyn et al., 1994). Bioluminiscenci využívají k zamezení predace a také k vystrašení predátorů (Grober, 1990).

7. BIOLUMINESCENCE PLÁŠTĚNCŮ (*Tunicata*)

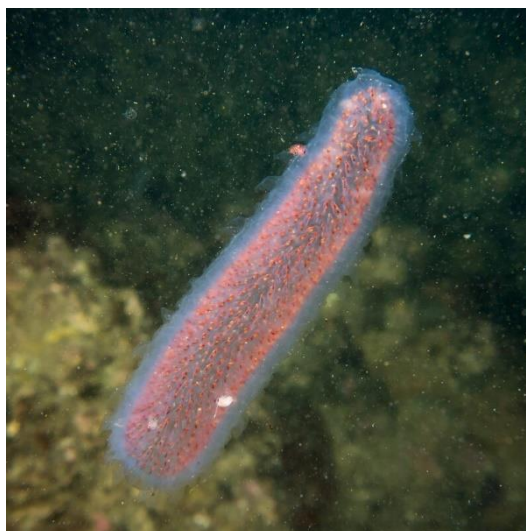
Pláštěnci jsou mořští živočichové, kteří žijí buď přisedle či volně, a mohou vytvářet kolonie či žít samotářsky. Název tohoto podkmene lze odvodit od povrchu těla, kterým je plášť (*tunica*). Plášť je tvořený z polysacharidu tunicinu. Jedná se o hermafrodity, kteří mají nepřímý vývoj. Stádium larvy má nervovou soustavu a v ocasní části těla chordu, dospělci nervovou soustavu ani chordu nemají, s výjimkou vršenek (*Appendicularia*). Trávicí soustava je trubicovitá, živí se filtrací planktonu. Cévní soustava je otevřená, což je u kmene strunatců, do kterého pláštěnce řadíme, výjimkou. Také nemají vylučovací orgány (Gaisler & Zima, 2007).

Do pláštěnců řadíme 3 třídy živočichů, a to sumky (*Ascidacea*), salpy (*Thaliacea*), vršenky (BioLib.cz, 18. 3. 2024).

7.1 Ohnivka atlantická (*Pyrosoma atlanticum*)

Ohnivka atlantická (Obr. 15) je druh koloniální pláštěnky, která je součástí zooplanktonu. Kolonie může dosahovat rozměrů od několika centimetrů až po několik metrů (Drits et al., 1992). Jsou nedílnou součástí mořského ekosystému, kdy hrají roli jako kořist ve stravě mořských živočichů, jako například želv či ryb (Harbison, 1998).

V systému ji řadíme do kmene strunatci, podkmene pláštěnci, třídy salpy, řádu ohnivky, čeledi ohnivkovití, rodu ohnivka (*Pyrosoma*) (BioLib.cz, 15. 3. 2024).



Obrázek 15: *Pyrosoma atlanticum*
(Scuba.spanglers.com, 15. 3. 2024).

7.1.1 Stavba těla

Jejich tělo je 95 % tvořeno vodou a je tedy průhledné. Pohyb, dýchání i příjem potravy zajišťuje kontrakce svalstva (Berger et al., 2021). Mají ústní sifony, které ústí vně kloakálních sifonů, které spojují vzájemnou koloniální kloaku (Drits et al., 1992).

7.1.2 Výskyt

Ohnivka vytváří kolonie, které jsou omezeny na teplé otevřené oceánské vody mezi 50° s. š. a 50° j. š., jsou rozšířeny po celém světě (Perissinotto et al., 2007). Je známá jako stěhovavý druh (Ambler & Miller, 1987).

7.1.3 Bioluminiscence

Ohnivka atlantická je známá pro svou „ohnivou“ bioluminiscenci. Bioluminiscence u pláštěnců je jedinečná, není však dobře prozkoumaná (Berger et al., 2021). Mnoho autorů uvádí, že ve svých světelných orgánech ukrývají bioluminiscenční symbiotické bakterie z čeledi *Vibrionaceae* (Mackie & Bone, 1978). V jedné studii byly u ohnivky atlantické zjištěny 2 světelné orgány oválného tvaru, ve kterých se nacházely bakterie, které jsou geneticky nejbližší rodu *Photobacterium*. Ohnivka díky těmto bakteriím vyzařuje oranžové („ohnivé“) světlo (Berger et al., 2021).

8. BIOLUMINESCENCE RYB (*Osteichthyes*)

Ryby jsou početně největší skupinou obratlovců. Vyskytují se ve všech vodách, jak sladkých, tak i slaných. Tělo je tvořeno hlavou, trupem a ocasem. Tvar těla je hydrodynamický a uzpůsobený prostředí, ve kterém žijí. Mají proměnlivou teplotu těla, teplota tedy závisí na teplotě okolí. Na povrchu těla se nacházejí šupiny, které mohou být 2 typu – ganoidní či leptoidní. Dýchají pomocí žaber, které jsou kryta skřelemi. V těle mají plynový měchýř, který má funkci hydrostatického orgánu. Cévní soustava je uzavřená, kdy srdce má 1 předsíň a 1 komoru. Jsou to gonochoristé, oplození mají vnější. Mají rozvinutou nervovou soustavu, hlavně díky mozečku a střednímu mozku, a smyslové orgány. Trávicí soustava začíná ústy, která jsou podle směru buď spodní, koncová nebo svrchní, a je zakončena urogenitálními vývody. Vylučují amoniak pomocí ledvin a močových cest (Gaisler & Zima, 2007).

Mezopelagické ryby, které žijí v hloubce v rozmezí 200-1000 m, patří početně mezi nejvýznamnější skupinu obratlovců v oceánech a mají většinou celosvětové rozšíření (Eduardo et al., 2020).

8.1 Světločka malá (*Photoblepharon palpebratum*)

Světločky malé (Obr. 16), také nazývané flashlight fishes, jsou malé hlubinné ryby, které mají tmavou barvu. Jsou spíše samotářské nebo se pohybují pouze v malých skupinkách, popřípadě v páru (McCosker, 1977). Přesto ale nevykazují agresivní teritoriální chování (Myeyer-Rochow, 1976).

V systému ji řadíme do kmene strunatci, třídy paprskoploutví (*Actinopterygii*), řádu pilonoši (*Beryciformes*), čeledi světločkovití (*Anamalopidae*), rodu *Photoblepharon* (BioLib.cz, 8. 3. 2024).



Obrázek 16: Flashlight Fish (Realmonstrosities.com, 8. 3. 2024).

8.1.1 Stavba těla

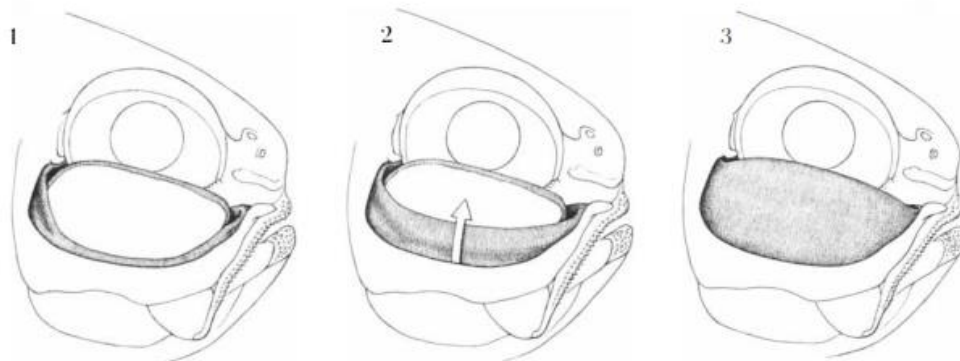
Dochází k pohlavnímu dimorfismu, kdy je samec o něco světlejší a menší než samice (Myeyer-Rochow, 1976). Pod okem mají velké světelné orgány tvaru fazole (Myeyer-Rochow et al., 1982). Světelný orgán mohou překrýt clonou, která je elastická a vzniká v dolním rohu očníce (Johnson & Rosenblatt, 1988). Světločky mají pouze jednu hřbetní ploutev, nemají tukovou ploutev. Mezi prsní a hřbetní ploutví se nachází linie reflexních šupin (Froese, 2017).

8.1.2 Výskyt

Tento druh ryby je velmi rozšířený v tropických vodách, nalézt ho můžeme například v Rudém moři či Indickém oceánu (McCosker, 1977). Ve dne tuto rybu lze najít pouze v temných jeskyních či v záhybech hlubokomořského útesu (Myeyer-Rochow et al., 1982). Teprve v noci opouští své úkryty, aby ulovily kořist, kterou bývají malí korýši nebo plankton (McCosker, 1977).

8.1.3 Bioluminiscence

Světločky využívají bioluminiscenci ke komunikaci, lákání kořisti, odlákání či zmatení predátora nebo pro zlepšení viditelnosti. Ryba má pod okem speciální orgán, kde se nacházejí symbiotické luminiscenční bakterie. Jejich záření poté připomíná světlo baterky, proto jsou označovány jako flashlight fishes. Pro bakterie je světlo zelené barvy pouze vedlejším produktem metabolismu. Důležité je zmínit i to, že ryba svítí neustále. Aby se světlo zhaslo, tak ho musí ryba překrýt černou clonou (Obr. 17) (McCosker, 1977).



Obrázek 17: Mechanismus překrytí světelného orgánu clonou u *Photoblepharon palpebratus* (McCosker, 1977, str. 112).

8.2 Světločka tmavá (*Anomalops katoptron*)

Světločka tmavá (Obr. 18) je velmi podobná světločce malé a také se řadí mezi flashlight fishes. Odlišuje se pouze mechanismem zastínění světla. Světločka tmavá nepoužívá clonu, ale pouze světelný orgán otočí dolů do speciální kapsy. Také je více společenská, může vytvářet hejna, která jsou tvořena až z 200 jedinců. Luminiscenci využívá k přilákání kořisti, zmatení predátora, komunikaci, ale také osvětlení, aby ryba viděla kolem sebe (McCosker, 1977).



Obrázek 18: *Anomalops katoptron* (McCosker, 1977, str. 108).

8.3 Zubatka Sloanova (*Chauliodus sloani*)

Zubatka Sloanova (Obr. 19) je hlubinná mezopelagická ryba (Mallefet et al., 2019). Její kořisti jsou epipelagické migrující druhy, zejména pak ryby z čeledi lampovňíkovití (*Myctophidae*) (Eduardo et al., 2020), dále například korýši či hlavonožci (Greven et al., 2009).

V systému ji řadíme do kmene strunatci, třídy paprskoploutví, řádu velkoústí, čeledi světloňošovití, rodu zubatka (*Chauliodus*) (BioLib.cz, 8. 3. 2024).



Obrázek 19: *Chauliodus sloani* (Widder, 2001, str. 1).

8.3.1 Stavba těla

Má dlouhé laterálně zploštěné tělo. Její strany jsou stříbřitě zbarvené s fotofory a efektivně tak odrážejí dopadající okolní světlo, čímž splynou s okolím (Denton et al., 1972). Mají čelisti plné různě dlouhých zubů, kdy nejdelší jsou přední na dolní čelisti, které dosahují až k očím (Greven et al., 2009). Hřbetní ploutev se nachází blízko hlavy, kdy první paprsek je prodloužený a je na něm připevněna návnada. Hřbetní tuková ploutev a řitní ploutev jsou pak v blízkosti ploutve ocasní. Mezi prsními ploutvemi se poté nachází dvě řady fotoforů (Dalyan & Eryilmaz, 2008).

8.3.2 Výskyt

Tento druh ryby se vyskytuje v hloubce od 400 do 1000 m, kdy ve dne se nacházejí ve větší hloubce než v noci, a je známo, že obývá suboxické vody, tedy vody na rozhraní mezi kyslíkatou a bezkyslíkatou vrstvou (Eduardo et al., 2020).

Nacházejí se v subtropických a mírných oblastech jako je Středozemní moře, Tichý oceán, Arabské moře, Indický oceán či severní Atlantský oceán. Jedinou výjimkou, kde se jedinci nacházejí blíže povrchu, jsou tropické vody Somálska (Eduardo et al., 2020).

8.3.3 Bioluminiscence

Zubatka využívá bioluminiscenci k přilákání kořisti. K tomu jí slouží luminiscenční návnada, kterou má na konci prvního paprsku hřbetní ploutve. Návnadu umístí před čelist s mohutnými tesáky, kterými poté svoji kořist nabodne (Widder, 2001).

Bioluminiscence souvisí nejen s přítomností luciferinu, ale také s přítomností adrenalinu a noradrenalinu, které má ryba ve fotoforech i všech ostatních orgánech. Bylo však zjištěno, že v přítomnosti noradrenalinu nemohou fotofory vyzařovat světlo déle než 30 minut, naopak v přítomnosti adrenalinu mohou zářit až několik hodin. Z tohoto plyne, že noradrenalin bude využíván spíše pro krátkodobé záření a adrenalin pro dlouhodobé, což naznačuje na hormonální spolupráci na řízení luminiscence (Mallefet et al., 2019).

8.4 Ďas mořský (*Lophius piscatorius*)

Ďas mořský (Obr. 20), také přezdíváný ďas bílý, je ryba charakteristická svoji luminiscenční návnadou, kterou mají i ostatní zástupci řádu ďasové. Mají potravní strategii „sit-and-wait“, kdy na kořist čekají zavrtání do povrchu dna a před ústy mají návnadu (Crozier, 1985). Živí se nejčastěji malými rybami, jako je například hruj hadovitá (*Ophidion barbatum*) či gospice velká (*Cepola macrophthalma*), či korýši a hlavonožci (López et al., 2016).

V systému jej řadíme do kmene strunatci, třídy paprskoploutví, řádu ďasové, čeledi ďasovití, rodu ďas (*Lophius*) (BioLib.cz, 8. 3. 2024).



Obrázek 20: *Lophius piscatorius* (Fishipedia.com, 8. 3. 2024).

8.4.1 Stavba těla

Ďas mořský vykazuje pohlavní dimorfismus, kdy je samice mnohem větší než samec (Pietsch, 1976) a navíc je schopnost bioluminiscence omezena pouze na samice (Bertelsen, 1951). Samice má svoji charakteristickou návnadu na špičce čenichu. Návnada (*esca*), která je připevněna na vlákno (*illicium*), je vlastně upravený první paprsek hřbetní ploutve a slouží

k lovu kořisti. Druhá hřbetní ploutev má 11-12 paprsků a řitní ploutev 9-10 paprsků (Colmenero, 2017).

Jejich tělo má tvar zploštěného kosodélníku. Ústa jsou velmi široká se silnými čelistmi, kde se nachází stlačitelné a vracející se zuby. Kůže je tenká a bez šupin, kdy hřbetní část těla má nahnědlou barvu, která se mění s okolím, a břišní část těla, která je bílá. Na vrcholu hlavy jsou dvě oči. Po boku hlavy jsou poté připevněny výrazné kostěné trny (Colmenero, 2017).

8.4.2 Výskyt

Tento druh ryby je rozšířený od Atlantiku až po Středozemní a Černé moře, kde se vyskytuje ještě s d'asem černým (*Lophius budegassa*) (Colmenero, 2017). Lze je nalézt při dně kontinentálního šelfu, kdy dosahují hloubek až 1000 m (Carlucci et al., 2009).

8.4.3 Rybolov

V posledním desetiletích má tento druh velký komerční význam, kdy nejcennější loviště se nachází v západní a jižní Evropě. A ačkoliv dochází k regulaci rybolovu, nedostatek základních informací o tomto druhu jsou hlavními důvody absence posouzení výlovu (Lleonart & Maynou, 2003). Informací o druhu myslíme pohlavní zralost a rozmnožování, přirozenou úmrtnost či parametry rozměrů a hmotnosti. Tyto informace by mohly pomoci vyhodnotit potenciál tohoto druhu a zároveň snížit jejich rybolov (García-Díaz et al., 2006).

8.4.4 Bioluminiscence

Řas mořský používá k lovu kořisti luminiscenční návnadu. V návnadě jsou bioluminiscenční symbiotické bakterie (Beckerová, 2018b), kdy většina těchto bakterií je z rodu *Enterovibrio*, jako například *E. escacola* a *E. luxaltus*. Svoji návnadu využívá i samice k přilákání samce (Isakov, 2022).

ZÁVĚR

Cílem mé bakalářské práce v podobě literární rešerše bylo shrnout základní informace o bioluminiscenci a uvést několik vybraných příkladů napříč systémem živočichů, které mají tuto schopnost, protože světélkující organismy fascinují lidstvo odjakživa.

Podstatou bioluminiscence je chemická reakce v živých organismech, při které je potřeba enzymu luciferázy a substrátu luciferinu. Mezi důležité funkce bioluminiscence nejčastěji patří komunikace, ochrana před predátorem, kamufláž či hledání sexuálního partnera nebo potravy. Bioluminiscence je významná také pro člověka, neboť k využití dochází, např. v lékařství, elektronice, bezpečnostní osvětlovací technice. Bioluminiscence má také zajímavou historii, přičemž první písemné zmínky pochází ze starověké Číny. Aristoteles (4. století) byl prvním, kdo provedl pozorování světélkujících druhů. Začátek 17. století je spojen se zájmem o vědecké vysvětlení světla. Významné byly práce od René Descarta či dánského lékaře Bartholina. Luminiscenčními jevy se zabýval i Robert Boyle, jehož závěry byly v 18. století potvrzeny. V 18. století se také prováděly experimenty, a to například na mlži rodu *Pholas*, skulaři vrtavém, díky kterému se prokázalo, že světlo v moři je živočišného původu. V 19. století Raphaël Dubois poodhalil chemickou podstatu bioluminiscence a díky sběratelské činnosti byla popsána většina živočišných druhů se schopností bioluminiscence, proto se 19. století označuje jako počátek moderní vědy.

Bioluminiscence obrněnek dokáže rozzářit mořskou hladinu modrým světlem, které člověka přitahuje, avšak může pro něho znamenat vážné zdravotní komplikace. Toxiny obrněnek mohou vyvolat u člověka velmi vážné onemocnění (ciguatera). Také způsobují masové úhyny mořských tvorů.

Nejvíce rozšířenou skupinou bioluminiscenčních suchozemských živočichů je hmyz. Bioluminiscenci mohou mít a užívat ve všech fázích života. Světelné signály využívají především ke komunikaci. Světlušky rodu *Photuris* však mohou vydávání světla využívat také na predaci jiných druhů světlušek.

Jedním z nejdůležitějších ostnokožců s bioluminiscencí je *Amphipholis squamata*, jež je předmětem biotechnologických a molekulárních výzkumů. V lékařství se využívá také mlž skulař vrtavý.

Několikametrové kolonie vytváří ohnivka atlantická, jejíž dospělci na rozdíl od larev nedisponují nervovou soustavou. Zajímavá je i její oranžová („ohnivá“) barva, neboť většina organismů vydává světlo modré či zelené.

U ryb se jedná především o symbiózu s luminiscenčními bakteriemi, jež jim umožňují vydávat světlo, které využívají především k přilákání kořisti.

Bioluminiscence patří mezi fascinující přírodní jevy. Byla, je a stále bude předmětem vědeckého výzkumu. Toto téma mě velmi zaujalo, informace o některých bioluminiscenčních organismech byly pro mě zcela nové a ohromující. Domnívám se, že by mohly být objeveny i nové světélkující druhy, díky moderním technologiím. Tomuto tématu bych se chtěla věnovat i v budoucnu, například ve své diplomové práci či během mé pedagogické praxe.

LITERATURA

ALVA, V. & VADON, C. Ophiuroids from the western coast of Africa (Namibia and GuineaBissau). *Scientia Marina*, 1989, 53(4), 827–845.

AMARAL, Danilo T., et al. A new orange emitting luciferase from the Southern-Amazon *Pyrophorus angustus* (Coleoptera: Elateridae) click-beetle: structure and bioluminescence color relationship, evolutionary and ecological considerations. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 2016, 15: 1148-1154.

AMBLER, J. W. & MILLER, C. B. Vertical habitat-partitioning by copepodites and adults of subtropical oceanic copepods. *Marine Biology*, 94, 1987, 561-577.

ATTARAN-FARIMAN, G., BEYGMORADI, A. and BOOS, K. First record of *Ophionereis dubia* (Echinodermata: Ophiuroidea) from Chabahar Bay (Oman Sea, Iran). *Marine Biodiversity Records* 7(2). 2016, 1-5.

BALCH, W. M., & HAXO, F. T. Spectral properties of *Noctiluca miliaris* Suriray, a heterotrophic dinoflagellate. *Journal of Plankton Research*, 1984, 6(3), 515–525.

BANISTER, D., CAMPBELL D. (eds). Sea Anemones and Jellyfishes. In: The Encyclopedia of Aquatic Life. *New York: Fact on File Publications*. 1985, pp. 176-177.

BAUDRY, Gautier, et al. Female sexual signaling in a capital breeder, the european glow-worm *Lampyris noctiluca*. *Journal of Insect Behavior*, 2021, 34: 16-25.

BENAVIDES-SERRATO, M., BORREROPEREZ, G. H. and DIAS SANCHEZ, C. M. Equinodermos del Caribe colombiano I: Crinoidea, Asteroidea y Ophiuroidea. *Serie de Publicaciones Especiales de Invemar*, 22. Santa Marta, 2011, 384P.

BERGER, Alexis, et al. Microscopic and genetic characterization of bacterial symbionts with bioluminescent potential in *Pyrosoma atlanticum*. *Frontiers in Marine Science*, 2021, 8: 606818.

BERTELSEN, E. The ceratioid fishes. Ontogeny, taxonomy, distribution and biology. *Dana Report*. 1951, 39: 1–276.

BOCÁKOVÁ, Milada. Bioluminescence u brouků a její evoluce. *Živa*. 2009, 57(5), 226–227. ISSN 0044-4812.

BOOTH, David; STEWART, Alan JA; OSORIO, Daniel. Colour vision in the glow-worm *Lampyrus noctiluca* (L.) (Coleoptera: Lampyridae): evidence for a green-blue chromatic mechanism. *Journal of Experimental Biology*, 2004, 207.14: 2373-2378.

BRANHAM, Marc A., et al. 4.15. Lampyridae Latreille, 1817. 2010.

BRUYNE, R., H., de. Encyklopedie ulit a lastur. - 1. vydání, *Rebo Productions CZ*, Dobřejovice, 2004, 336 pp.

CARLUCCI R., CAPEZZUTO F., MAIORANO P., SION L., D'ONGHIA G. Distribution, population structure and dynamics of the black anglerfish (*Lophius budegassa*) (Spinola, 1987) in the Eastern Mediterranean Sea. *Fisheries Research*. 2009, 95:76-87.

COLMENERO, Ana I. Towards biological and ecological knowledge of *Lophius* spp. in the *NW Mediterranean Sea for a sustainable fishery*. 2017.

COSTA, C. Speciation and geographical patterns in *Pyrophorus* Bilberg, 1820 (Coleoptera, Elateridae, Pyrophorini). *Papeis Avulsos de Zoologia*, 1976, 29:141–154.

CROZIER, W. W. Observations on the food and feeding of the angler-fish, *Lophim piscatorius* L., in the northern Irish Sea. *The Fisheries Society of the British Isles*. 1985, 27, 655-665.

DAHLGREN, U. Phosphorescent plants and animals. *Natural History*, 1922, 22: 19.

DALYAN, Cem; ERYILMAZ, Lütfiye. A new deepwater fish, *Chauliodus sloani* Bloch & Schneider, 1801 (Osteichthyes: Stomiidae), from the Turkish waters of Levant sea (Eastern Mediterranean). *Journal of Black Sea/Mediterranean Environment*, 2008, 14.1: 33-37.

DAY, John C. Parasites, predators and defence of fireflies and glow-worms. *Lampyrid*, 2011, 1: 70-102.

DEHEYN, D., MALLEFET, J. and JANGOUX, M. Variations of bioluminescence intensity in the ophiuroid *Amphipholis squamata* (Delle Chiaje, 1828). In *Echinodermata* (ed. B. David et al.), 1994, 409P.

DENTON, Eric James; GILPIN-BROWN, John B.; WRIGHT, Paul G. The angular distribution of the light produced by some mesopelagic fish in relation to their camouflage. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences*, 1972, 182.1067: 145-158.

DREISIG, Hans. Control of glowing of *Lampyrus noctiluca* in the field (Coleoptera: Lampyridae). *Journal of Zoology*, 1971, 165.2: 229-244.

- DRITS, Alexander V.; ARASHKEVICH, Elena G.; SEMENOVA, Tatjana N. *Pyrosoma atlanticum* (Tunicata, Thaliacea): grazing impact on phytoplankton standing stock and role in organic carbon flux. *Journal of Plankton Research*, 1992, 14.6: 799-809.
- EDUARDO, Leandro Nolé, et al. Trophic ecology, habitat, and migratory behaviour of the viperfish *Chauliodus sloani* reveal a key mesopelagic player. *Scientific reports*, 2020, 10.1: 20996.
- EMSON, R.H. & WHITFIELD, P.J. Aspects of the life history of a tide pool population of *Amphipholis squarata* (Ophiuroidea) from south Devon. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 69, 1989, 27-41.
- ESAIAS W. E., CURL H. C., Jr. Effect of dinoflagellate bioluminescence on copepod ingestion rates. *Limnology and Oceanography*. 1972, 17(6):901–906.
- EVANS, M.E.G. The jump of the click beetle (Coleoptera: Elateridae) – energetics and mechanics. *Journal of Zoology*. 1973, 169: 181-194.
- FEDER, Jeffrey L.; VELEZ, Sebastian. Intergenic exchange, geographic isolation, and the evolution of bioluminescent color for *Pyrophorus* click beetles. *Evolution*, 2009, 63.5: 1203-1216.
- FELL, H.B. Evidence for the validity of Matsumoto's classification of the Ophiuroidea. *Publications of the Seto Marine Biological Laboratory* 10(2), 1962, 145-152.
- FLOOD P. R., BASSOT J. M., HERRING P. J. The microscopical structure of the bioluminescence system in the medusa *Periphylla periphylla*. In: Hastings JW, Kricka LJ, Stanley PE (eds). *Proceedings of the 9th international symposium for bioluminescence and chemiluminescence*. Wiley, Chichester, 1996, pp. 149–153.
- FROESE Rainer, PAULY Daniel (eds.). *Photoblepharon palpebratum*. *FishBase.se*. 2017.
- GAISLER, Jiří a ZIMA, Jan. *Zoologie obratlovců*. Vyd. 2., přeprac. *Praha: Academia*, 2007. ISBN 978-80-200-1484-9.
- GARCÍA-DÍAZ M., GONZÁLEZ J. A., LORENTE M. J., TUSET V. M. Spawning season, maturity sizes, and fecundity in blacktail comber (*Serranus atricauda*) (Serranidae) from the eastern-central Atlantic. *Fishery Bulletin*. 2006, 104:159-166.

- GREVEN, Hartmut; WALKER, Yasmin; ZANGER, Klaus. On the structure of teeth in the viperfish *Chauliodus sloani* Bloch & Schneider, 1801 (Stomiidae). *Bulletin of Fish Biology*, 2009, 11: 87-98.
- GROBER, M.S. Aposematism and bioluminescence in coastal marine communities. In *Adaptive coloration in invertebrates* (ed. M. Wicksten), 1990, pp. 77-87.
- HADDOCK, Steven H. D.; MOLINE, Mark A.; CASE, James F. Bioluminescence in the sea. *Annual review of marine science*, 2010, 2: 443-493.
- HARBISON G. R. The parasites and predators of Thaliacea. In: Bone, Q. (ed). The biology of pelagic tunicates. *Oxford University Press*, Oxford, 1998, 187–214.
- HARRISON, Paul James, et al. Geographical distribution of red and green *Noctiluca scintillans*. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2011, 29: 807-831.
- HAYASHI, S., HIRAKAWA K. Diet composition of the firefly squid, *Watasenia scintillans*, from Toyama Bay, Southern Japan Sea. *Bulletin of the Japan Sea National Fisheries Research Institute*, 1997, 47: 57-66.
- HENDLER, G. Echinoderms of Florida and the Caribbean, Sea stars, sea urchins and allies Class Ophiuroidea. *Smithsonian Institution Press*, Washington, 1995, 89-195.
- HERRING, Peter J. Bioluminescent signals and the role of reflectors. *Journal of Optics A: Pure and Applied Optics*, Volume 2, Number 6, 2000.
- HERRING, P. J. Systematic distribution of bioluminescence in living organisms. *Journal of Bioluminescence and Chemiluminescence*, 1, 1987, 147-163.
- HILL, J. M. *Pholas dactylus*. Common piddock. 2006.
- HOGUE, Charles Leonard. Latin American insects and entomology. *Berkeley: University of California Press*, 1993, 259-260. ISBN 0520078497.
- ISAKOV, Noah. Histocompatibility and reproduction: Lessons from the anglerfish. *Life*, 2022, 12.1: 113.
- JAMESON, David M. Introduction to fluorescence. Boca Raton: *CRC Press*, Taylor & Francis Group, 2014. ISBN 1439806047.

JARMS G.; TIEMANN H. a BÅMSTEDT U. Development and biology of Periphylla periphylla (Scyphozoa: Coronatae) in a Norwegian fjord. *Marine Biology*. 2002, 141, 4, pp. 647-657. ISSN 0025-3162.

JOHNSON, G. David; ROSENBLATT, Richard H. Mechanisms of light organ occlusion in flashlight fishes, family Anomalopidae (Teleostei: Beryciformes), and the evolution of the group. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 1988, 94.1: 65-96.

KALINA, Tomáš a VÁŇA, Jiří. Sinice, řasy, houby, mechorosty a podobné organismy v současné biologii. *Praha: Karolinum*, 2005. ISBN 80-246-1036-1.

KIM, Minkyu, et al. Co-Assembly of Biosynthetic Chiral Nematic Adhesive Materials with Dynamic Polarized Luminescence. *Small*, 2022, 18.2: 2104340.

KUBODERA T., KOYAMA Y., MORI K. Observations of wild hunting behaviour and bioluminescence of a large deep-sea, eight-armed squid, *Taningia danae*. *Proc. Biol. Sci.*, 2010, 274:1029–34.

LEE, John. Bioluminescence: the first 3000 years. *Журнал Сибирского федерального университета. Биология*, 2008a, 1.3: 194-205.

LEE, John. A History of Bioluminescence. *Fotobiologie. Np*, 2008b.

LEE, John. Basic bioluminescence. *Department of Biochemistry and Molecular Biology University of Georgia*. 2014.

LLEONART J., MAYNOU F. Fish stock assessments in the Mediterranean: state of the art. *Scientia Marina*. 2003, 67:37-49.

LLOYD, J.A. Bioluminescence and Communication in Insects. *Annual Review of Entomology*, 1983, 28:1, 131-160.

LOM, Jiří. Nebezpečné obrněnky. In: *Vesmír*. 74, 629, 1995/11. ISSN 1214-4029.

LÓPEZ N., NAVARRO J., BARRÍA C., ALBO-PUIGSERVER M., COLL M., PALOMERA I. Feeding ecology of two demersal opportunistic predators coexisting in the northwestern Mediterranean Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2016, 175:15-23.

MACKIE, G. O., BONE, Q. Luminescence and associated effector activity in *Pyrosoma* (Tunicata: Pyrosomida). *The Royal Society Publishing*. 1978.

MALLEFET, Jérôme, et al. Luminescence control of Stomiidae photophores. *Acta Histochemica*, 2019, 121.1: 7-15.

MARIOTTIN, Gian Luigi, Elisabetta GIACCO a Luigi PANE. The Mauve Stinger Pelagia noctiluca (Forsskål, 1775). Distribution, Ecology, Toxicity and Epidemiology of Stings. A Review. *Marine Drugs*. 2008, 2008(6), 496-513. ISSN 1660-3397.

MCCOSKER, John E. Flashlight fishes. *Scientific American*, 1977, 236.3: 106-115.

MCDERMOTT, Frank A. The taxonomy of the Lampyridae (Coleoptera). *Transactions of the American Entomological Society* (1890-), 1964, 90.1: 1-72.

MEYER-ROCHOW, Victor B. Some observations on spawning and fecundity in the luminescent fish Photoblepharon palpebratus. *Marine Biology*, 1976, 37: 325-328.

MEYER-ROCHOW, V. B.; BABURINA, V.; SMIRNOV, S.. Histological observations on the eyes of the two luminescent fishes Photoblepharon palpebratus (Boddaert) and Anomalops katoptron (Blkr.). *Zoologischer Anzeiger—A Journal of Comparative Zoology*, 1982, 209.1/2: 65-72.

MEYER-ROCHOW, V. Benno; BOBKOVA, Marina V. Anatomical and ultrastructural comparison of the eyes of two species of aquatic, pulmonate gastropods: The bioluminescent Latia neritoides and the non-luminescent Ancylos fluviatilis. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 2001, 35.4: 739-750.

MICHELSON A. M. Purification and properties of Pholas dactylus luciferin and luciferase. — Methods in Enzymology, 1978, 57: 385-406.

MICU, Dragoş; BULGARIAN ACADEMY OF SCIENCES, SOFIA(BULGARIA). INSTITUTE OF ZOOLOGY. Recent records of Pholas dactylus (Bivalvia: Myoida: Pholadidae) from the Romanian Black Sea, with considerations on its habitat and proposed IUCN regional status. *Acta Zoologica Bulgarica*, 2007, 59.3: 267-273.

MOORE, A. R. Galvanic stimulation of luminescence in Pelagia noctiluca. *Journal of General Physiology*. 1926, 9:375-379.

MOORE, S.; MEYER-ROCHOW, V. B. Observations on habitat and reproduction in the pulmonate, basommatophoran gastropod Latia neritoides Gray 1850—the only bioluminescent freshwater mollusc in the world: With 6 figures in the text. Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen, 1988, 23.4: 2189-2192.

- NAKAMURA, Mitsuhiro, et al. Synthesis of Latia luciferin benzoate analogues and their bioluminescent activity. *Tetrahedron letters*, 2004, 45.10: 2203-2205.
- NISOLLE, V. Modalités de l'incubation chez l'ophiure *Amphipholis squamata* (Delle Chiaje, 1829) (Echinodermata). *Mémoire de licence*. Université de Mons-Hainaut, 1990.
- OHMIYA, Yoshihiro, et al. Bioluminescence in the limpet-like snail, *Latia neritoides*. *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, 2005, 78.7: 1197-1205.
- PANCERI, P. The luminous organs and the light of pholades. *Quart. F. micr. Sci.* 1872, Vol. 12, 254-260.
- PAPATHANASSIOU, E. & ZENETOS, A. (eds.). State of the Hellenic Marine Environment. *HCMR Publications*, 2005, 360 p.
- PARVATHI, A., et al. Bioluminescence of green *Noctiluca scintillans* from the coastal waters of Kochi (southwest coast of India) and in vivo experiments on bioluminescence in response to mechanical stimuli and its diurnal variations. *Marine Biology Research*, 2021, 17.7-8: 554-568.
- PATROVSKÝ, Věnceslav Ing., CSc. Luminiscenční analýza. *Rozhledy matematicko-fyzikální* (61), 1982/3, 341-347.
- PERISSINOTTO, R., et al. Grazing by *Pyrosoma atlanticum* (Tunicata, Thaliacea) in the south Indian Ocean. *Marine Ecology Progress Series*, 2007, 330: 1-11.
- PIETSCH, T.W. Dimorphism, parasitism and sex: reproductive strategies among deepsea ceratioid anglerfishes. *Copeia*. 1976, 4: 781–793.
- PINN E. H., C. A. RICHARDSON, R. C. THOMPSON, S. J. HAWKINS. Burrow morphology, biometry, age and growth of piddocks (Mollusca: Bivalvia: Pholadidae) on the south coast of England. – *Marine Biology*, 2005, 147: 943-953.
- PURANIK, Prakash; BHATE, Asha. Animal forms and functions: Invertebrata. *Sarup & Sons*, 2007.
- RODA, Aldo (ed.). Chemiluminescence and bioluminescence: past, present and future. *Royal Society of Chemistry*, 2011.
- ROGERS, Alex D.; HEDGES, S. B.; KUMAR, S. Cnidarians (Cnidaria). *The Timetree of Life*, 2009, 233-238.

RUAN, Yongying, et al. Functional morphology of the thorax of the click beetle *Campsosternus auratus* (Coleoptera, Elateridae), with an emphasis on its jumping mechanism. *Insects*, 2022, 13.3: 248.

RUSSELL F. S. The medusae of the British Isles. II. Pelagic Scyphozoa with a supplement to the first volume on hydromedusae. 1970, *Cambridge University Press*, Cambridge.

SALDARRIAGA, Juan F., TAYLOR "Max" F.J.R., CAVALIER-SMITH Thomas, MENDEN-DEUER Susanne a KEELING Patrick J. Molecular data and the evolutionary history of dinoflagellates. *European Journal of Protistology*. 2003, 2004 (40), 85-111.

SØRNES Tom A., AKSNES Dag L., BÅMSTEDT Ulf, YOUNGBLUTH Marsh J. Causes for mass occurrences of the jellyfish *Periphylla periphylla*: a hypothesis that involves optically conditioned retention, *Journal of Plankton Research*, Volume 29, Issue 2, FEBRUARY 2007, Pages 157–167.

SRIVASTAVA, Aditya; KATIYAR, Kalpna. The Ecology of Bioluminescence. In: *Bioluminescence-Technology and Biology. IntechOpen*, 2021.

SWEENEY, B. M. *Pedinomonas noctilucae* (Prasinophyceae), the flagellate symbiotic in *Noctiluca* (Dinophyceae) in Southeast Asia. *Journal of Phycology*, 1976, 12, 460–464.

TERANISHI, Katsunori; SHIMOMURA, Osamu. Bioluminescence of the arm light organs of the luminous squid *Watasenia scintillans*. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, 2008, 1780.5: 784-792.

WILLETT, Sophie. How many bioluminescent insects would be needed to produce the same level of light pollution as London?. *Journal of Interdisciplinary Science Topics*, Volume 7, 2018, 9.

WILSON a HASTINGS. *Bioluminescence: Living Lights, Lights for Living*. *Harvard University Press*, 2013. ISBN 0674071913.

WIDDER, Edith A. Marine bioluminescence. Why do so many animals in the open ocean make light? 2001.

WIDDER, Edith A. Bioluminescence in the ocean: origins of biological, chemical, and ecological diversity. *Science*, 2010, 328.5979: 704-708.

Internetové zdroje

Amphipholis squamata. *BioLib.cz* [online]. 2005, 21.2.2021 [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://www.biolib.cz/cz/taxon/id80025/>

Amphipholis squamata. *Bioimages.org* [online]. 2010 [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://www.bioimages.org.uk/html/r164847.htm?10>

Anthropoda (členovci). *BioLib.cz* [online]. 2004, 6.3.2024 [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://www.biolib.cz/cz/taxon/id14955/#system>

Atolla Jellyfish: A Mesmerizing Encounter Under the Sea. *Scuba.com* [online]. 27.7.2023 [cit. 2023-12-19]. Dostupné z: <https://www.scuba.com/blog/creatures-deep-atolla-jellyfish/>

BECKEROVÁ, Deborah. Jak luminiscence osvětluje vědcům cestu vpřed. *Zprávy z MUNI* [online]. 2018a [cit. 2023-11-26]. ISSN 1801-0814. Dostupné z: <https://www.em.muni.cz/vite/10250-jak-luminiscence-osvetluje-vedcum-cestu-vpred>

BECKEROVÁ, Deborah. Svítící organismy: Jak to jen dělají? *Zprávy z MUNI* [online]. 2018b [cit. 2023-12-27]. ISSN 1801-0814. Dostupné z: <https://www.em.muni.cz/vite/10150-svitici-organismy-jak-to-jen-delaji>

Bioluminiscence. *Chemie a světlo.cz* [online]. 2018. [cit. 2023-11-28]. Dostupné z: <https://www.chemieasvetlo.cz/teorie/bioluminiscence/>

Bystřičník svítivý. *BioLib.cz* [online]. 2013, 20.2.2021 [cit. 2024-02-23]. Dostupné z: <https://www.biolib.cz/cz/taxon/id1076190/>

Cnidaria (žahavci). *BioLib.cz* [online]. 2004, 20.2.2021 [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://www.biolib.cz/cz/taxon/id14930/#system>

Členovci (*Anthropoda*). *Frasma.cz* [online]. 2012 [cit. 2024-03-12]. Dostupné z: <http://www.zoologie.frasma.cz/mmp%20210%20clenovci/%C4%8Dlenovci.html>

Řas mořský. *BioLib.cz* [online]. 2005, 20.2.2021 [cit. 2024-03-08]. Dostupné z: <https://www.biolib.cz/cz/taxon/id126776/>

Dinoflagellata (obrněnky). *BioLib.cz* [online]. 2006, 21.2.2021 [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://www.biolib.cz/cz/taxon/id165105/>

Echinodermata (ostnokožci). *BioLib.cz* [online]. 2004, 31.1.2022 [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://www.biolib.cz/cz/taxon/id14962/#system>

EVERS, Jeannie (ed.). *Bioluminescence* [online]. National Geographic Education. 2023, 19.10.2023. [cit. 2023-11-28]. Dostupné z: <https://education.nationalgeographic.org/resource/bioluminescence/>

Firefly squid (*Watasenia scintillans*). *Animal.memozee.com* [online]. 2021 [cit. 2024-02-23]. Dostupné z: <http://animal.memozee.com/view.php?tid=2&did=42664>

Flashlight Fish. *Realmonstrosities.com* [online]. [cit. 2024-03-08]. Dostupné z: <http://www.realmonstrosities.com/2013/11/flashlight-fish.html>

Fluorescence u rosníčky puntíkaté. *Inhabitat.com* [online]. 2017 [cit. 2023-11-28]. Dostupné z: <https://inhabitat.com/first-fluorescent-frog-in-the-world-found-in-south-america/fluorescent-frog-carlos-taboada/>

KOUKAL, Milan. *Nejzáhadnější světlo se skrývá pod hladinou* [online]. 21.století. 2007 [cit. 2023-12-27]. Dostupné z: <https://21stoleti.cz/2007/05/19/nejzahadnejsi-svetlo-se-skryva-pod-hladinou/>

Korunovka listová. *BioLib.cz* [online]. 2005, 20.2.2021 [cit. 2024-02-15]. Dostupné z: <https://www.biolib.cz/cz/taxon/id73385/>

KRÁLOVÁ, Magda. *EDU.TECHMANIA.cz*. Ohyb světla [online]. 2007 [cit. 2024-03-29]. Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/svetlo/ohyb-svetla>

LAGORIO, Maria Gabriela. World's First Glow-In-The-Dark Frog Found in Argentina. *Sci.News* [online]. 2017, 30.3.2017 [cit. 2023-12-27]. Dostupné z: <https://www.sci.news/biology/glow-dark-frog-hypsiboas-punctatus-04745.html>

Lampyrus noctiluca. *Wikipedia.org* [online]. 2007, 10.9.2023 [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Lampyrus_noctiluca

Latia neritoides. *Inaturalist.org* [online]. 2016 [cit. 2024-02-23]. Dostupné z: <https://www.inaturalist.org/photos/3045869>

Lophius piscatorius. *Fishipedia.com* [online]. [cit. 2024-03-08]. Dostupné z: <https://www.fishipedia.com/fishes/lophius-piscatorius>

Měkkýši (*Mollusca*). *Frasma.cz* [online]. 2012 [cit. 2024-03-28]. Dostupné z: <http://www.zoologie.frasma.cz/mmp%20208%20mekkysi/m%C4%9Bkk%C3%BD%C5%A1i.html>

Mollusca (měkkýši). *BioLib.cz* [online]. 2003, 4.4.2024 [cit. 2024-03-12]. Dostupné z: <https://www.biolib.cz/cz/taxon/id2441/>

Noctiluca scintillans. *Flickr.com* [online]. 2017 [cit. 2024-02-13]. Dostupné z: <https://www.flickr.com/photos/microagua/36790189235>

Pelagia noctiluca. *Vita4you.cz* [online]. 2022 [cit. 2023-12-27]. Dostupné z: <https://www.vita4you.gr/blog-vita4you/en/item/jellyfish-pelagia-noctiluca-sting-and-treatment.html>

Periphylla periphylla. *Seawater.no* [online]. 2004 [cit. 2024-02-15]. Dostupné z: <https://www.seawater.no/fauna/cnidaria/periphylla.html>

Pholas dactylus. *BioLib.cz* [online]. 2006, 21.2.2021 [cit. 2024-02-23]. Dostupné z: <https://www.biolib.cz/cz/taxon/id167914/>

Pyrophorus noctilucus (kovařík svítivý). *BioLib.cz* [online]. 2005, 22.2.2021 [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://www.biolib.cz/cz/taxon/id55496/>

Pyrophorus noctilucus. *Wikipedia.org* [online]. 2012, 17.1.2024 [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://www.biolib.cz/cz/taxon/id55496/>

Pyrosoma atlanticum (ohnivka atlantická). *BioLib.cz* [online]. 2004, 20.2.2021 [cit. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://www.biolib.cz/cz/taxon/id15112/>

Pyrosoma atlanticum (Pyrozom). *Scuba.spanglers.com* [online]. 2021 [cit. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://scuba.spanglers.com/image/2021-01-31a-a42764?location=all&species=pyrosoma-atlanticum>

RICHTEROVÁ, Jana Bc. Využití luminiscenčních materiálů v textilních aplikacích [online]. Liberec, 2012 [cit. 2023-12-27]. Dostupné z: <https://dspace.tul.cz/server/api/core/bitstreams/274d803b-d027-4794-86c6-ee0e6b432387/content>.

Scientific Equipment on HMS Challenger. *Wordpress.com* [online]. 2015 [cit. 2024-02-05]. Dostupné z: <https://rammhmschallenger.wordpress.com/2015/06/02/scientific-equipment-on-hms-challenger/>

Světloočka malá. *BioLib.cz* [online]. 2006, 25.2.2022 [cit. 2024-03-08]. Dostupné z: <https://www.biolib.cz/cz/taxon/id277502/>

- Světluška větší. *BioLib.cz* [online]. 2003, 3.12.2022 [cit. 2024-03-08]. Dostupné z: <https://www.biolib.cz/cz/taxon/id9568/>
- Svítilka třpytivá. *BioLib.cz* [online]. 2006, 30.1.2022 [cit. 2024-03-08]. Dostupné z: <https://www.biolib.cz/cz/taxon/id166339/>
- ŠEVICOVÁ, Michaela. Světélkování organismů jako didaktické téma [online]. Praha, 2022 [cit. 2023-11-26]. Dostupné z: <https://dspace.cuni.cz/handle/20.500.11956/172789>.
- Talířovka svítivá. *BioLib.cz* [online]. 2004, 12.2.2022 [cit. 2023-12-27]. Dostupné z: <https://www.biolib.cz/cz/taxon/id43636/>
- TELNES, Kåre. Helmet Jelly – Periphylla periphylla. *Seawater.no* [online]. 27.2.2023 [cit. 2024-03-04]. Dostupné z: <https://www.seawater.no/fauna/cnidaria/periphylla.html>
- Tunicata* (pláštěnci). *BioLib.cz* [online]. 2004, 20.2.2021 [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <https://www.biolib.cz/cz/taxon/id15055/>
- TSUCHIYA, K. "Watasenia scintillans" [online]. 2007. Dostupné z: http://tolweb.org/Watasenia_scintillans/19645.
- Watasenia scintillans*. *BioLib.cz* [online]. 2005, 21.2.2021 [cit. 2024-02-23]. Dostupné z: <https://www.biolib.cz/cz/taxon/id134782/>
- Zubatka Sloanova. *BioLib.cz* [online]. 2005, 20.2.2021 [cit. 2024-03-08]. Dostupné z: <https://www.biolib.cz/cz/taxon/id126635/>
- ŽIŽKOVÁ, Klára. Automatizace toxikologických testů [online]. Hradec Králové, 2018 [cit. 2023-11-28]. Dostupné z: <https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/104253/150043141.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Fluorescence u rosníčky puntíkaté (Inhabitat.com, 28. 11. 2023).....	12
Obrázek 2: Mechanismus bioluminiscence využívající luciferin (Chemie a světlo.cz, 28. 11. 2023).....	13
Obrázek 3: <i>Acanthephyra purpurea</i> produkující světlo na oslepení predátora <i>Gonostoma elongatum</i> (Widder, 2001, str. 3).....	14
Obrázek 4: Vzduchové čerpadlo vytvořené Robertem Hookem a Robertem Boylem (Lee, 2008a, str. 200).....	18
Obrázek 5: Laboratoř na lodi HMS Challenger (Wordpress.com, 5. 2. 2024).....	20
Obrázek 6: <i>Noctiluca scintillans</i> (Flickr.com, 13. 2. 2024).....	22
Obrázek 7: <i>Pelagia noctiluca</i> (Vita4you.cz, 27. 12. 2023).....	24
Obrázek 8: <i>Periphylla periphylla</i> (Seawater.no, 15. 2. 2024).....	26
Obrázek 9: <i>Latia neritoides</i> (Inaturalist.org, 23. 2. 2024).....	28
Obrázek 10: <i>Pholas dactylus</i> (BioLib.cz, 23. 2. 2024).....	29
Obrázek 11: Firefly squid (<i>Watasenia scintillans</i>) (Animal.memozee.com, 23. 2. 2024).....	30
Obrázek 12: Světluška větší – vlevo samec, vpravo samice (BioLib.cz, 1. 3. 2024).....	33
Obrázek 13: <i>Pyrophorus noctilucus</i> (BioLib.cz, 14. 3. 2024).....	35
Obrázek 14: <i>Amphipholis squamata</i> (Bioimages.org, 14. 3. 2024).....	37
Obrázek 15: <i>Pyrosoma atlanticum</i> (Scuba.spanglers.com, 15. 3. 2024).....	38
Obrázek 16: Flashlight Fish (Realmonstrosities.com, 8. 3. 2024).....	41
Obrázek 17: Mechanismus překrytí světelného orgánu clonou u <i>Photoblepharon palpebratus</i> (McCosker, 1977, str. 112).....	42
Obrázek 18: <i>Anomalops katoptron</i> (McCosker, 1977, str. 108).....	42
Obrázek 19: <i>Chauliodus sloani</i> (Widder, 2001, str. 1).....	43
Obrázek 20: <i>Lophius piscatorius</i> (Fishipedia.com, 8. 3. 2024).....	44