

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Fakulta rybnářství a ochrany vod
Ústav akvakultury

Diplomová práce

Optimalizace technologie fotostimulace pro oddálení
pohlavní zralosti u sivena amerického
(*Salvelinus fontinalis*)

Autor: Bc. Jakub Jung

Vedoucí diplomové práce: Ing. Vlastimil Stejskal, Ph.D.

Konzultant diplomové práce: prof. Ing. Jan Kouřil, Ph.D.

Studijní program a obor: B4103 Zootechnika, Rybnářství

Forma studia: Prezenční

Ročník: 2.

České Budějovice, 2016

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že, v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění, souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě, případně v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných FROV JU. Zveřejnění probíhá elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 5. května 2016

Podpis studenta

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Vlastimilu Stejskalovi, Ph.D. za příkladné vedení, odborné rady a velkou trpělivost. Ještě větší slovo díky patří mé rodině, bez které bych vůbec neměl možnost studovat na vysoké škole.

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jakub JUNG**
Osobní číslo: **V13N008P**
Studijní program: **N4103 Zootechnika**
Studijní obor: **Rybářství**
Název tématu: **Optimalizace technologie fotostimulace pro oddálení pohlavní zralosti u sivena amerického (*Salvelinus fontinalis*)**
Zadávací katedra: **Ústav akvakultury a ochrany vod**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

V práci bude testována funkčnost a efektivita technologie fotostimulace pro kontrolu a oddálení pohlavního dospívání u sivena amerického pomocí halogenových a úsporných LED (light emitting diode) reflektorů. V období po nejdelších dnech v roce (22.6.) při zkracování délky dne (konec července) roční násadě 1+ aplikována letní fotoperioda (pomocí halogenových nebo úsporných LED reflektorů) platná pro 50. rovnoběžku severní šířky (18h světelná fáze: 6h temná fáze). Kontrolní skupina bude ponechána na přirozené fotoperiodě. V druhé části práce bude testován efekt načasování fotostimulace s cílem maximálně zkrátit periodu, kdy je potřeba rybám prodlužovat fotoperiodu tak, aby bylo dosaženo pohlavního efektu (oddálení dozrávání). Na základě průběžných měření individuálně značených ryb budou získána data, která poskytnou informace o vývoji rychlosti růstu, konverzi krmiva, mortality, gonadosomatického indexu, stádia gonád, o četnosti dospělých a dospívajících jedinců, výtěžnosti filetů u tržních ryb, a to vše v závislosti na pohlaví. Dále bude v podzimním (výtěrovém období) sledován vliv fotostimulace na sekundární zaplísnění ryb. Hodnocen bude rovněž průběh výše zmíněných ukazatelů v období po skokové změně délky světelného dne.

V České republice technologie fotostimulace pro kontrolu pohlavního dospívání u salmonidů není využívána a zcela chybí zhodnocení její funkčnosti a efektivity v našich podmínkách. Tento fakt je významným nedostatkem české intenzivní produkce lososovitých ryb a především sivena amerického.

Rozsah grafických prací: 10 - 20 stran

Rozsah pracovní zprávy: 60 - 80 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

- Bromage, N., Randall, C., Davies, B., McAndrew, B., 1992. The control of reproduction in salmonid fish, *Icel. Agr. Sci.* 6, 11-23
- Endal, H.P., Taranger, G.L., Stefansson, S.O., Hansen, T., 2000. Effects of continuous additional light on growth and sexual maturity in Atlantic salmon, *Salmo salar*, reared in sea cages, *Aquaculture* 191, 337-349
- Fjellidal, P.G., Hansen, T., Huang, T., 2011. Continuous light and elevated temperature can trigger maturation both during and immediately after smoltification in male Atlantic salmon (*Salmo salar*), *Aquaculture* 321, 93-100
- Gillet, C., 1994. Egg production in Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.) broodstock: effects of photoperiod on the timing of ovulation and egg quality, *Ca. J. Zool.* 72, 334-338
- Henderson, N.E., 1963. Influence of light and temperature on the reproductive cycle of the eastern brook trout (*Salvelinus fontinalis*), *J. Fish. Res. Board Can.* 20, 859-897
- Holcombe, G.W. Pasha, M.S., Jensen, K.M., Tietge, J.E., Ankley, G.T., 2000. Effect of photoperiod manipulation on brook trout reproductive development, fecundity and circulating sex steroid concentrations, *N. AM. J. Aquicult.* 62, 1-11
- Krakenes, R., Hansen, T., Stefansson, S.O., Taranger, G.L., 1991. Continuous light increases growth rate of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) postsmolts in sea cages, 281-287
- Saunders, R.L., Henderson, E.B., Harmon, P.R., 1985. Effects of photoperiod on juvenile growth and smolting of atlantic salmon and subsequent survival and growth in sea cages, *Aquaculture* 45, 55-66
- Taylor, J.F., North, B.P., Porter, M.J.R., Bromage, N.R., Migaud, H., 2006. Photoperiod can be used to enhance growth and improve feeding efficiency in farmed rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, *Aquaculture* 256, 216-234

Vedoucí diplomové práce: Ing. Vlastimil Stejskal, Ph.D.


Ústav akvakultury a ochrany vod

Konzultant diplomové práce: prof. Ing. Jan Kouřil, Ph.D.


Ústav akvakultury a ochrany vod

Datum zadání diplomové práce: 11. prosince 2015

Termín odevzdání diplomové práce: 6. května 2016


prof. Ing. Otomar Linhart, DrSc.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
FAKULTA RYBÁŘSTVÍ A OCHRANY VOD
Žitná 728/II
389 25 Vodňany (2)


Ing. Jan Mráz, Ph.D.
ředitel

V Českých Budějovicích dne 29. března 2016

1. Úvod.....	9
2. Literární přehled.....	11
2.1. Obecná biologická charakteristika	11
2.1.1. Taxonomické zařazení	12
2.1.2. Popis.....	12
2.1.3. Pohlavní dimorfismus	13
2.1.4. Výskyt a nároky na prostředí	13
2.2. Hospodářský význam	14
2.3. Vliv světla na organismus ryb.....	15
2.4. Definice pohlavního dozrávání (nástupu puberty)	16
2.4.1. Kdy vlastně pubertální období začíná?	16
2.4.2. Hmotnostní a věková variabilita při nástupu puberty	17
2.4.3. Puberta vs. hormonální faktory	18
2.4.4. Epifýza - šišinka.....	20
2.4.5. Korelace mezi růstem, výživným stavem (alokací energie) a nástupem puberty	22
2.5. Důsledky nástupu puberty.....	23
2.5.1. Vliv na somatický růst	23
2.5.2. Vliv na konverzi krmiva.....	24
2.5.3. Vliv na sexuální chování	24
2.6. Role fotoperiody v procesu pohlavního dozrávání	25
2.7. Alternativy prevence pohlavního dospívání.....	27
2.7.1. Triploidie.....	27
2.7.2. Produkce monosexních populací.....	29
3. Materiál a metodika	31
3.1. Experiment 1: Porovnání účinnosti LED a metalhalogenových zdrojů světla pro oddálení nástupu puberty	31
3.1.1. Popis experimentálního systému pro odchov ryb	31
3.1.2. Vlastní popis experimentu.....	33
3.1.3. Denní režim a harmonogram celého pokusu.....	34
3.1.4. Sledované parametry	35
3.1.5. Zpracování získaných dat a údajů	37
3.2. Experiment 2: Fotostimulace pomocí LED a metalhalogenových zdrojů světla jako prevence ztrát u sivenů v podzimním období.....	37
3.3. Experiment 3: Vliv načasování fotoperiodického opatření na oddálení nástupu puberty	38

3.3.1. Popis experimentálního systému pro odchov ryb	38
3.3.2. Vlastní popis experimentu.....	39
3.3.3. Denní režim a harmonogram celého pokusu.....	40
3.3.4. Sledované parametry.....	40
3.3.5. Zpracování získaných dat a údajů	41
4. Výsledky	42
4.1. Experiment 1: Porovnání účinnosti LED a metalhalogenových zdrojů světla pro oddálení nástupu puberty	42
4.1.1 Podmínky a průběh experimentu	42
4.1.2. Růstové parametry sivenů v průběhu pokusu dle pohlaví.....	43
4.1.3. Produkční ukazatel konverze krmiva a výtěžnost ryb.....	44
4.1.4. Somatické indexy	46
4.1.5. Sledování stupně vývoje gonád a procenta ryb připravených k výtěru.....	50
4.1.6. Porovnání vybarvení (svatebního šatu) a morfologických rozdílů	53
4.1.7. Spotřeba elektrické energie	56
4.2. Experiment 2: Fotostimulace pomocí LED a metalhalogenových zdrojů jako prevence ztrát u sivenů v podzimním období.....	56
4.3. Experiment 3: Vliv načasování fotoperiodického opatření pro oddálení nástupu puberty	59
4.3.1. Podmínky a průběh experimentu	59
4.3.2. Kumulativní a celkové přežití ryb	60
4.3.3. Růstové parametry sivenů v průběhu pokusu dle pohlaví.....	62
4.3.4. Výtěžnost ryb a produkční ukazatel konverze krmiva	63
4.3.5. Somatické indexy	64
4.3.6. Spotřeba elektrické energie	68
5. Diskuze.....	69
5.1. Experiment 1 a 3	69
5.1.1. Průběh experimentů a přežití	69
5.1.2. Délkový a hmotnostní růst	69
5.1.3. Konverze krmiva	71
5.1.4. Výtěžnost trupu	72
5.1.5. Koeficient vyživenosti	72
5.1.6. Gonadosomatický index.....	73
5.1.7. Hepatosomatický index	74
5.1.8. Index periviscerálního tuku.....	75
5.1.9. Ukazatel vysokohřbetosti a index širokohřbetosti	76

5.1.10. Sledování stupně vývoje gonád a procenta ryb připravených k výtěru.....	77
5.1.11. Ekonomické zhodnocení Experimentů 1 a 3.....	78
5.2. Experiment 2: Fotostimulace pomocí LED a metalhalogenových zdrojů jako prevence ztrát u sivenů v podzimním období.....	79
6. Závěr	81
7. Přehled použité literatury	83
8. Přílohy.....	98
9. Abstrakt.....	102
10. Abstract.....	103

1. Úvod

Siven americký (*Salvelinus fontinalis* Mitchell, 1814) je jedním z nejvýznamnějších druhů lososovitých ryb v České republice. Je stále oblíbenější rybou, jak pro gastronomii, tak i pro zarybňování volných vod. Jeho důležitost na trhu tkví především v relativní jednoduchosti odchovu, který je v současné době realizován v mnoha objektech pro chov lososovitých ryb. Ten je založen výhradně na předkládání umělých průmyslových krmiv, které siven bez problémů přijímá a následně vykazuje dobré růstové předpoklady.

Výše zmíněné výhody v sobě přeci jen skýtají problém. Tím je období nástupu pohlavní dospělosti. U ryb dospívá zpravidla dříve mlíčák, a to platí i v případě sivena amerického, kde je možné pozorovat pohlavní dospělost již na konci prvního roku života. U jikernaček je tomu zpravidla až na konci roku druhého. Proces pohlavního dospívání je pevně spjat s kvantitativními a kvalitativními změnami pohlavních orgánů. V této části odchovu je tedy velká část energie z přijatého krmiva spotřebována pro tvorbu gonád a pohlavních produktů. Tím dochází v komerčním odchovu k několika nepříjemnostem. Jedná se především o sníženou konverzi krmiva projevující se sníženým hmotnostním a délkovým růstem, zhoršením organoleptické kvality svaloviny a snížením výtěžnosti. Rovněž značnou komplikací odchovu v období pohlavního dospívání je sexuální chování mlíčáků. To se projevuje teritorialitou a častými souboji, které vedou ke zraněním a následnému kvalitativnímu znehodnocení finálního produktu. Nezřídka kdy dochází u zraněných ryb k sekundárnímu zaplísnění, jež zpravidla končí až zvýšenou mortalitou. Je tedy pochopitelné, že kritické období gametogeneze negativně ovlivňuje ekonomickou stránku odchovu a jeho následnou rentabilitu. Je nezbytné nástup pohlavní zralosti oddálit natolik, aby co nejméně ovlivnil ekonomický výsledek chovu.

Dnešní moderní akvakultura a její nástroje ale mohou tomuto problému předcházet. Jednou z možností je umělá indukce polyploidního stavu, respektive proces zvaný triploidizace. Výsledkem jsou triploidní ryby, které vykazují absenci výše zmíněných negativ. Byť by se mohlo zdát, že triploidizace je proces plný benefitů, není tomu tak. Triploidní jedinci mohou vykazovat celou řadu negativ. Snad největší nevýhodou triploidních ryb je jejich snížené přežití vlivem některého z fyzikálních šoků k navození triploidního stavu. Problémy se zvýšenou agresivitou samců lze řešit i chovem monosexních populací - v případě sivena amerického celosamičí populací. Tyto

akvakulturní biotechnologie jsou ale zpravidla náročné na provedení, vybavení, zkušenosti a znalosti.

Jako vhodnější alternativa se jeví umělá manipulace světelného režimu (fotoperiody) procesem zvaným fotostimulace. Jelikož světlo a jeho periodické změny jsou jedním z hlavních faktorů, které řídí biologické rytmy, včetně nástupu pohlavního dospívání ryb. Jedinou podmínkou a dá se říci, že i logickým předpokladem využití této metody je dřívější pohlavní dospělost, než tržní velikost ryby. Což siven americký bezpochyby splňuje. Ačkoliv je tento proces s úspěchem využíván v mnoha zemích k produkci lososovitých ryb, v České republice tomu tak není. A to především z důvodu, že zcela chybí zhodnocení její funkčnosti, efektivity a rentability.

Předložená diplomová práce popisuje teoretický přehled problematiky pohlavního dospívání. Praktická část práce má za cíl ověřit funkčnost a efektivitu technologie fotostimulace pro kontrolu a oddálení pohlavního dospívání u sivena amerického, včetně vlivu fotostimulace na důsledky agresivního chování mlíčáků.

2. Literární přehled

2.1. Obecná biologická charakteristika

Siven americký je krátkověký druh, většinou nepřežívající 4 roky. V podmínkách Střední Evropy obvykle dosahuje hmotnosti 0,5-1 kg a délky do 50 cm (Baruš a Oliva, 1995; Kouřil a kol., 2008). V přirozeném prostředí roste podle Baruše a Olivy (1995) poměrně pomalu, což souvisí s chladnomilným charakterem a potravní nabídkou v prostředí jeho teplotního optima (10-14 °C). S tímto faktem souhlasí i Dubský a kol. (2003), kteří udávají délku na konci jeho prvního roku života okolo 10-15 cm. Podobnou délku za stejné časové období uvádějí i Lusk a kol. (1992), avšak ti jeho růst označují za rychlý. Pokorný a kol. (2003) se shodují, že jeho růst je rychlý především v prvních dvou letech života a je do značné míry ovlivněn prostředím a podmínkami.

Pohlavní dospívání sivena je spjato s relativně krátkou délkou života, proto nastává brzy. Většina autorů se shoduje, že mlíčák dospívá zpravidla ve druhém roce života, jikernačka pak o rok později (Sedlár, 1989; Dubský a kol., 2003; Pokorný a kol., 2003). Existují ale i záznamy, kdy samci dospívají již na konci prvního roku života, v délce menší než 10 cm (Moyle, 1976; Baruš a Oliva, 1995; Svinger a kol., 2015). Podle Kouřila a kol. (2008) tomu zpravidla bývá u jedinců z farmových chovů. K vlastnímu výtěru pak dochází v podzimním až zimním období. Obecně lze udat období od konce září do prosince při teplotě vody 3-5 °C (Lusk a kol., 1992; Dubský a kol., 2003; Pokorný a kol., 2003). Kouřil a kol. (2008) uvádějí možnost výtěru i v lednu. Plodnost je závislá na stáří a velikosti samice. Relativní plodnost se pohybuje v rozmezí 2000-5000 kusů jiker (Lusk a kol., 1992; Dubský a kol., 2003). Inkubační doba je v závislosti na teplotě 500-520 d° (Pokorný a kol., 2003).

Co se potravy týče, tak v přirozeném prostředí se zpočátku živí drobnou vodní zvířenou, později larvami vodního hmyzu. V menší míře mohou potravní spektrum doplňovat měkkýši (Kouřil a kol., 2008).

2.1.1. Taxonomické zařazení

- říše: živočichové (Animalia)
- kmen: strunatci (Chordata)
- podkmen: obratlovci (Vertebrata)
- třída: paprskoploutví (Actinopterygii)
- řád: lososotvaří (Salmoniformes)
- čeleď: lososovití (Salmonidae)
- rod: *Salvelinus*
- druh: Siven americký (*Salvelinus fontinalis*, Mitchill, 1814)

2.1.2. Popis

Tělo je protáhlého, torpédovitého tvaru ze stran zploštělé. Obecně lze říci, že tvarem odpovídá ostatním lososovitým rybám. Hlava je velká, podlouhlá s koncovými ústy, která jsou rozštěpená až za zadní okraj oka a hluboce ozubena. Šupiny jsou poměrně malé. Zbarvení sivena amerického je výrazné. Hřbet je tmavší s olivově zeleným odstínem a tmavým mramorováním. Boky jsou světlejší a břicho žlutobílé, někdy s načervenalým či oranžovým nádechem. Na těle jsou v hojném počtu zastoupeny červené a žluté skvrnky. Odstín barev je různý u populací z různých vod a mění se i v průběhu roku. První paprsek párových ploutví a řitní ploutve je krémově bílý, za ním následuje jeden černý paprsek. Zbývá plocha ploutví je načervenalá. Charakteristiku lososovité ryby dokazuje přítomnost tukové ploutvičky. Hřbetní a ocasní ploutev je zpravidla tmavého zbarvení (Karas, 1997; Lusk a kol., 1992; Dubský a kol., 2003). Zbarvení a stavba těla je zobrazena na Obr. č. 1.



Obr. č. 1: Siven americký (foto Jakub Jung).

2.1.3. Pohlavní dimorfismus

V předvýtěrovém období lze poměrně spolehlivě odlišit jikernačku od mlíčáka. Hlavně samci jsou pestře zbarvení a pozorujeme u nich tzv. svatební šat. Mlíčáci se prezentují širšími ústy, jejichž horní čelist zasahuje dále za zadní okraj oka. Spodní čelist se může zakřivovat směrem vzhůru a na jejím konci je možno pozorovat „háček“. Před obdobím tření se u samců zvyšuje tělo a prodlužuje hlava. Jikernačky mívají rozšířenou břišní část těla, na rozdíl od mlíčáků vykazují absenci černého zbarvení na spodině hlavy a na břiše. Jejich tvar těla se ale příliš nemění. Je důležité podotknout, že mimo dobu tření jsou rozdíly mezi pohlavími nepříliš zřetelné (Moyle, 1981; Baruš a Oliva, 1995; Kouřil a kol., 2008).

2.1.4. Výskyt a nároky na prostředí

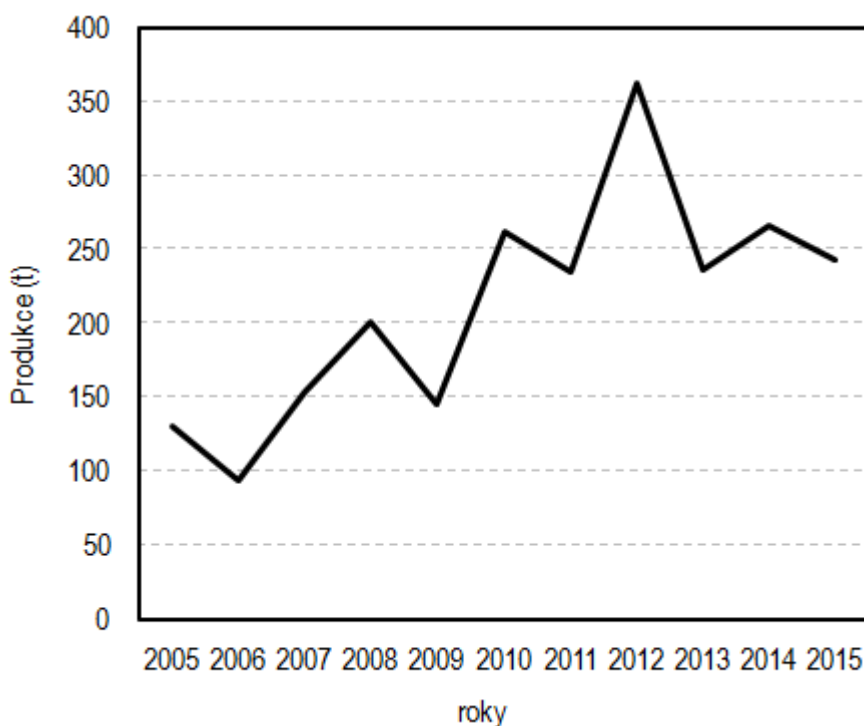
Siven americký je původně rozšířen v Severní Americe (úmoří Atlantského oceánu), jedná se tedy o východní část Severní Ameriky. Uměle byl introdukován na všechny kontinenty mimo Antarktidu a dnes se vyskytuje v mnoha zemích světa (Kouřil a kol., 2008). Co se týče jeho umělého rozšíření na evropský kontinent, tak zde se informace poněkud různí. Holčík a Mihálik (1971) uvádějí jeho první výskyt roku 1884, konkrétně v Německu. Naproti tomu Baruš a Oliva (1995) udávají jeho přítomnost v Anglii již roku 1869. Introdukce na naše území je rovněž částečně zahalena tajemstvím. Mnozí autoři jsou stejného názoru, že byl dovezen z Německa (Holčík a Mihálik, 1971; Dubský a kol., 2003; Pokorný a kol., 2003; Kouřil a kol., 2008). Avšak co se týče roku vysazení v našich vodách, zde se autoři již tak jednoznačně neshodují. Dubský a kol. (2003) uvádějí rok 1885, Holčík a Mihálik (1971) udávají rok 1884 a podle Pokorného a kol. (2003) tomu bylo již v roce 1883.

Jak uvádějí Lusk a kol. (1992) jeho naturálním habitatem byla především severoamerická jezera. Ve své domovině ale rovněž obývá čisté a chladné potoky či menší řeky. V zemích nepůvodního výskytu se poměrně snadno adaptoval v tocích a jezerech obdobné kvality (Rhead, 2000). Snáší i kyselejší vodu, je schopen se přizpůsobit a přežít v prostředí pH pod hodnotu 5 (Dubský a kol., 2003). Ve volných vodách může částečně potravně konkurovat pstruhu obecnému, kterého může i vytlačit z patřičných úseků (Dubský a kol., 2003). Je tomu z důvodu obdobného potravního spektra se zároveň větší „agresivitou“ spojenou s příjmem potravy sivena amerického (Kouřil a kol., 2008). Na druhou stranu si tyto druhy příliš teritoriálně nekonkurují, jelikož siven nevyžaduje tolik úkrytů jako pstruh. Z tohoto důvodu může obývat i regulované vodní toky (Dubský

a kol., 2003). Tuto myšlenku ale nepodporuje Moyle (1976), podle kterého si siven především ve vodních tocích drží svá teritoria. Způsob života je obecně vázaný na poměrně malé stanoviště. Avšak jeho náročnost na výše zmíněnou teplotu vody (její pokles) může znamenat opuštění stanoviště (Baruš a Oliva, 1995).

2.2. Hospodářský význam

Siven americký je cennou lososovitou rybou. Hodí se pro zarybňování horských toků a jezer (i v případě, že byly uměle regulovány). V současné době dochází v řadě oblastí k poklesu hodnot pH, siven se ale jeví jako vhodný druh pro vysazování do těchto lokalit, jelikož má vyšší toleranci vůči kyselým vodám. Pro své kvalitní a chutné maso je oblíbeným úlovkem sportovních rybářů, ale i druhem pro intenzivní chov. Velice ochotně přijímá předkládaná umělá krmiva a vykazuje dobré růstové schopnosti (Dubský a kol., 2003; Pokorný a kol., 2003). Produkce sivena amerického v České republice v posledních letech je zobrazena v Grafu č. 1 (Rybářské sdružení, 21. 3. 2016 – *osobní sdělení*).



Graf č. 1: Produkce sivena v ČR.

2.3. Vliv světla na organismus ryb

Většina základních rytmů v přírodě, ať denních či sezónních, je spojena s periodicitou světla. Z toho vyplývá, že světlo respektive sluneční záření je jedním z nejvýznamnějších abiotických faktorů vůbec (Losos a kol., 1985). Především pak kolísání intenzity osvětlení a délky světelné části dne (fotoperiody) se zásadním vlivem odráží v biorytmech vodních organismů. Celkově se tedy světlo podílí na většině biologických dějů ve vodním ekosystému (Pokorný a kol., 2003; Kulczykowska a kol., 2010; Schwoerbel, 2016).

K hlavním biologickým jevům u ryb, jež jsou ovlivněny periodicitou světelného záření, patří například denní či noční aktivita, migrace, tvorba pigmentu, orientace zrakem, či v případě praktické části předložené diplomové práce, stimulace hormonů ovlivňujících následnou reprodukci (Nelson a kol., 2010). Světlo proniká do vody procesem zvaným insolace, při kterém voda pohlcuje jen část světla na ni dopadajícího, a to v závislosti na úhlu dopadu paprsků. Odráží tedy více světla v ranních a večerních hodinách a než v poledne, kdy světlo dopadá kolměji. Obdobně v zimě odráží více světla než v létě (Hartman a kol., 2010). Následně množství světla ve vodě ovlivňuje zásadním způsobem teplotu vody, která je ohřívána pohlcenou částí slunečního záření (Schubert a Lellák, 1973). Ryby, jako poikilotermní organismy jsou na teplotě okolního prostředí životně závislé. Teplotní parametry jsou tedy úzce spjaty s těmi světelnými. Světlo ale neovlivňuje jen teplotu, nýbrž i průhlednost vody (Dubský a kol., 2003).

Hlavním naturálním zdrojem světla je pochopitelně sluneční záření. Podle Boeufa a Le Baie (1999) ale nesmíme opomenout ani sekundární zdroje světla jako je měsíční světlo, svit hvězd či zdroj světla produkující luminiscenčními organismy. Na druhé straně stojí umělé zdroje osvětlení. Ty nacházejí velice široké uplatnění v moderní technické akvakultuře. Jako příklad takového osvětlení můžeme jmenovat elektroluminiscenční diody (LED) a halogenové žárovky (HAL), které ve svém experimentu využili You a kol. (2006). Z výše zmíněných skutečností vyplývá, že přírodní či umělý zdroj světla se zásadní měrou podílí na udržitelnosti biologické rovnováhy organismu ryby. Na druhou stranu, jak uvádějí například Jobling (1987), Makinen a Ruhonen (1992) či Mortensen a Damsgård (1993) umělou manipulací s výše popsányi faktory můžeme do této rovnováhy poměrně snadno zasáhnout.

2.4. Definice pohlavního dozrávání (nástupu puberty)

Puberta, čili nástup pohlavní dospělosti, je vývojové období života jedince, jež zahrnuje přechod od pohlavně nezralých juvenilních ryb k zralým, pohlavně dospělým jedincům s funkčními reprodukčními orgány a následnou schopností se sexuálně reprodukovat (Jalabert, 2005). Proces puberty je z hlediska energetických nároků založen na investici energie do růstu a diferenciaci zárodečné tkáně s konečnou produkcí pohlavních buněk (Thorpe, 2007). Toto období, respektive nástup pohlavní dospělosti, je z hlediska komerční akvakultury velice důležité. Předčasná puberta je problémem mnoha chovaných druhů ryb a negativně ovlivňuje například růstovou schopnost, konverzi krmiva, svalovou kompozici (kvalitu masa), vnější vzhled, zdravotní stav či samotné přežití (Brännäs a kol., 2005; Taranger a kol., 2010).

Na druhou stranu, zpoždění či úplné vynechání puberty, rovněž způsobuje problémy v podmínkách chovu. Jako příklad lze uvést úhoře říčního (*Anguilla anguilla*), kde umělá reprodukce stále není plně propracována, což brání uzavření celého životního cyklu v umělém prostředí. Je třeba ale dodat, že pomocí hormonální stimulace jsme již schopni v některých případech uměle indukovat spermiaci, respektive ovulaci a následně provést umělý výtěr. Problémem ale zůstává odchov larev (Pedersen, 2003; van Ginneken a Maes, 2005). Nedostatky spojené s pubertálním obdobím lze pozorovat i u jeseterovitých ryb, zejména samic, které produkují jikry, čili kaviár. Jeseterovité se vyznačují svou pozdní pohlavní dospělostí. Proto musejí být dlouho chováni v hospodářských zařízeních, což se negativně projeví na ekonomice celého chovu zaměřeného na produkci kaviáru (Taranger a kol., 2010).

2.4.1. Kdy vlastně pubertální období začíná?

Puberta začíná v závislosti na druhu určitý čas po sexuální diferenciaci a je úzce spojena se zráním zárodečných buněk a tvorbou somatických buněk pohlavních žláz. Následně pubertální období pokračuje a projevuje se hlavní funkcí pohlavních žláz, tj. produkcí pohlavních buněk a syntézou pohlavních steroidních hormonů. Za vrchol puberty se pak považuje spermiace a ovulace (Taranger a kol., 2010).

Informace o jasném začátku pubertálního období se různí. Okuzawa (2002) uvádí, že počátek puberty je charakterizován zahájením spermatogeneze u mlíčáků a vitelogeneze u jikernaček. Tentýž autor rozděluje pubertální období na dvě části, a to ranou a pozdní pubertu. V brzké pubertě jsou pozorovány vitelogenní oocyty u jikernaček a

spermatocyty u mličáků. V pozdní fázi puberty již dochází k dozrání pohlavních produktů a spermii, respektive ovulaci. Podle Thorpea (2007) začíná pohlavní dospívání de facto již v jikře a plynule pokračuje až do období, kdy je jedinec schopen se sexuálně reprodukovat. Zde pubertální období končí. Podle Piferrera (2001) je možno začátkem puberty chápat období diferenciacce pohlaví, čili zřetelný vývoj buď varlat, nebo vaječníků.

2.4.2. Hmotnostní a věková variabilita při nástupu puberty

Věkové a velikostní parametry při nástupu puberty jsou podmíněny značnou genotypovou a fenotypovou rozmanitostí (Taranger a kol., 2010). Alm (1959) udává, že významnou genotypovou vlastností je, že rychleji rostoucí jedinci jsou často pohlavně dospělí v mladším věku než ti pomaleji rostoucí. Z toho můžeme usuzovat na fakt, že věk a velikost ryby v nástupu puberty jsou druhově závislé (Taranger a kol., 2010). Avšak například u lososa obecného (*Salmo salar*) byly zaznamenány velikostní a věkové rozdíly s ohledem na nástup pohlavní dospělosti i mezi populacemi, a dokonce i v rámci jedné populace (Hutchings a Jones, 1998).

V minulosti i současnosti byl, respektive je prováděn rozsáhlý výzkum týkající se puberty, včetně hmotnostně-velikostních charakteristik napříč velkým množstvím komerčně využívaných druhů ryb (Taranger a kol., 2010). Leč hranice mezi genotypovými a fenotypovými rozdíly v nástupu puberty v závislosti na věku a velikosti těla je velmi úzká a často se nedaří přesně určit, do jaké míry jsou za ni odpovědny genetické faktory či vnější podmínky prostředí (Morita a kol., 2005). Mezi nástroje, které částečně vnášejí pomyslné světlo do této problematiky, jsou tzv. pravděpodobnostní reakční normy pohlavního dozrání (z anglického výrazu Probabilistic maturation reaction norms - PMRNs). Tato flexibilní metoda nám pomáhá charakterizovat fenotypovou plasticitu v procesu pohlavního dozrání (Stearns a Koella, 1986; Dieckmann a Heino, 2007). Věkovou a velikostní variabilitu ryb během pohlavního dozrání lze pozorovat i z evolučního hlediska. Zde zaznamenáváme poměrně zajímavé trendy. Jako příklad lze uvést zpoždění, či úplné vynechání pubertálního období (a následného zvýšení věku ryby) při nevyhovujících životních podmínkách, projevujících se zpravidla sníženým růstem (Stearns a Koella, 1986). To, že si příroda sama umí poradit i bez „pomoci“ člověka prezentovali ve své studii Olsen a kol. (2005), kdy demonstrovali na příkladu tresky obecné (*Gadus morhua*), že tento druh byl částečně ovlivněn

intenzivním rybolovem. A to tím způsobem, že snižuje věkovou a velikostní hranici puberty a urychluje reprodukční cyklus. To znamená, že se současným klesajícím stavem těchto ryb se zvyšuje jejich růstové a reprodukční tempo.

Obecně známy jsou rozdíly ve věku a velikosti ryb v závislosti na pohlaví. Zde se jedná o tzv. sexuálně dimorfní růst. U mnoha chovaných druhů ryb zpravidla pohlavně dospívá dříve samec, a to i při menší velikosti těla než samice. S největší pravděpodobností je tak z důvodu, že plodnost samice, kvalita potomstva a jeho následné přežití je více spjato se zvyšující se velikostí těla jikernaček než v případě mlíčáků (Taranger a kol., 2010). Značná fenotypová odezva, projevující se snížením věkové a velikostní hranice pro pohlavní dospělost, je pozorována u ryb z rybochovných objektů. Tyto ryby mají vlivem předkládaného krmiva zdokonalené růstové podmínky oproti rybám, které žijí ve volných vodách (Svásand a kol., 1996). To představuje základ pro selekční programy, protože takovéto fenotypové odezvy mohou pozměnit obecnou genetickou věkovou a velikostní variabilitu a například stimulovat žádoucí pozdější pohlavní dospělost (Taranger a kol., 2010).

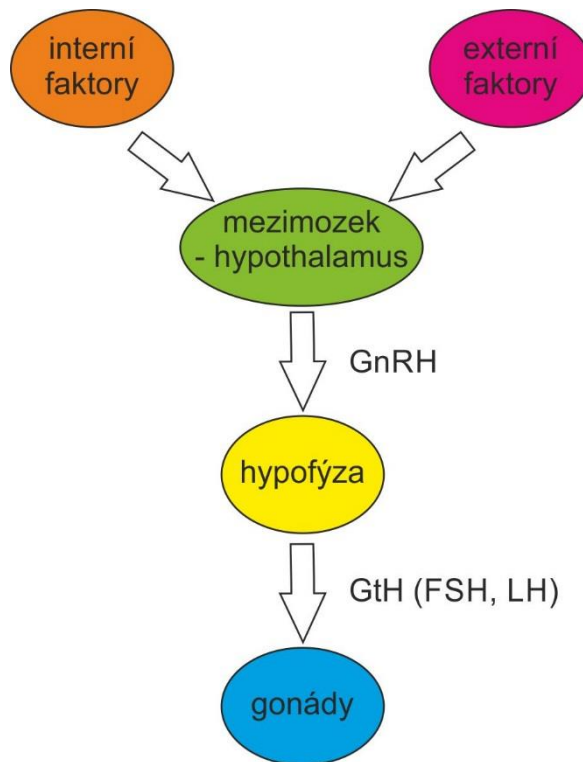
2.4.3. Puberta vs. hormonální faktory

Znalosti týkající se endokrinní regulace reprodukčních procesů jako je diferenciaci pohlaví a nástup pohlavní dospělosti jsou ještě stále neúplné (Hoar a Randall, 2014). S jistotou ale můžeme tvrdit, že nástup puberty a následný reprodukční cyklus kostnatých ryb je řízen endokrinním systémem, který zahrnuje osu mozek-hypofýza-gonády (Hoar a kol., 1983; Dufour a Rousseau, 2007). Schematické znázornění této osy je zobrazeno na Obr. č. 2. Je nezbytné zmínit, že zcela zásadní vliv na aktivaci a vlastní posloupnosti jednotlivých procesů na ose mozek-hypofýza-gonády mají externí a interní faktory. Hlavními externími faktory jsou určitě fotoperioda a teplota (Taranger a kol., 2010). Mezi interní faktory lze zařadit například biologické hodiny organismu nebo výživný stav (Weltzien a kol., 2004). Hypofýza je v této ose nadřazenou endokrinní žlázou všem ostatním žlázám s vnitřní sekrecí, zároveň je podřízena části mezimozku zvané hypothalamus (Dvořák a kol., 2014). Právě hypothalamus produkuje spouštěcí hormon gonadotropinu GnRH (gonadotropine-releasing hormone), který přímo ovlivňuje hypofýzu (Taranger a kol., 2003; Choi a kol., 2010). Následně dochází k zesílení tohoto signálu pomocí gonadotropinu, neboli gonadotropních hormonů (GtH) produkovaných hypofýzou, které již přímo spouští pubertální vývoj pohlavních žláz a syntézu steroidních

hormonů (Bentley, 1998). Produkce gonadotropních hormonů je regulována dopaminem, který inhibuje jejich koncentraci. O stimulaci se stará právě spouštěcí hormon gonadotropinu GnRH (Khan a Thomas, 1992). Gonadotropní hormony (GtH) produkuje střední část adenohipofýzy (Dubský a kol., 2003). Tato třída hormonů byla dříve rozdělena na GtH I a GtH II. Nicméně, tato systematika se v dnešní době již příliš nepoužívá a byla nahrazena označeními FSH (GtH I) a LH (GtH II) (Cabrita a kol., 2008). Jejich vylučování je časově odděleno. V raných fázích vývoje pohlavních buněk je zaznamenávána především činnost FSH, naopak ve fázi dozrávání se vyskytuje LH (Swanson a kol., 2003). Folikuly stimulující hormon (FSH) působí u jikernaček na rozvoj a zrání folikulů vaječníků. U mlíčáků se podílí na rozvoji semenného epitelu a tvorbě, respektive zrání pohlavních buněk. Tento hormon je tedy nezbytným pro celý proces spermatogeneze. Dalším hormonem je luteinizační hormon (LH), který obecně kontroluje činnost pohlavních žláz. U mlíčáků se LH podílí na tvorbě zárodečné tkáně varlat a sekreci testosteronu. U jikernaček podporuje spolu s FSH ovulaci (Yadav, 2008). Uvolnění gonadotropních hormonů (FSH, LH) z hypofýzy v konečném důsledku stimuluje steroidogenezi v pohlavních žlázách. Procesem steroidogeneze vznikají již steroidní hormony, které stimulují růst a zrání pohlavních produktů (Rodríguez a kol., 2004).

Jako majoritní samčí steroidní hormony jsou považovány testosteron a jeho derivát 11-ketotestosteron. Především tyto dva steroidní hormony jsou odpovědné za proces spermatogeneze. Jelikož byly zaznamenány vysoké hladiny 11-ketotestosteronu v období, kdy se objevovaly sekundární pohlavní znaky, tak se usuzuje, že právě tento hormon je odpovědný za pohlavní dimorfismus. V procesu tvorby a dozrávání pohlavních produktů hrají roli, i když v menší míře, i další pohlavní steroidy. Jsou jimi estrogeny a progestinní hormony.

V případě jikernaček vaječnící produkují v období gametogeneze a vitelogeneze převážně 17 β -estradiol a testosteron. Testosteron se zde neobjevuje v řídicí roli. Je pouze zodpovědný za syntézu 17 β -estradiolu pomocí enzymu aromatázy. Velký význam pro závěrečné dozrávání oocytů zde mají i 17 α ,20 β -dihydroxy-4-pregnen-3-one (17 α ,20 β -P) a 17 α ,20 β ,21-trihydroxy-4-pregnen-3-one (20 β -S). Výše uvedená problematika steroidních hormonů včetně mechanismů působení je detailně popsána v pracích od autorů Hoar a kol. (1983), Matty (1985), Wootton a Smith (2014).



Obr. č. 2: Osa mozek-hypofýza-gonády
(upraveno podle Weltziena a kol., 2007).

2.4.4. Epifýza - šišinka

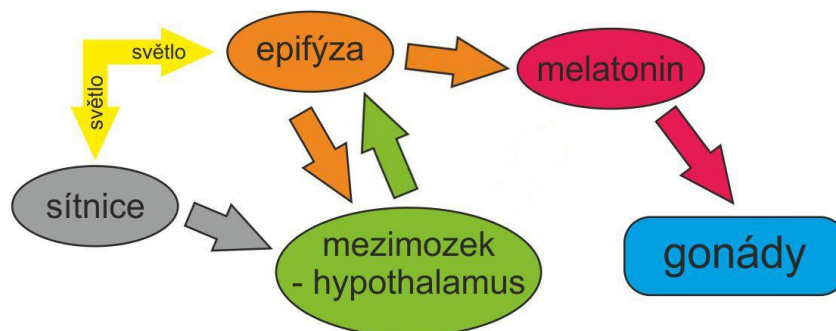
Epifýza je žláza s vnitřní sekrecí, která je součástí endokrinní soustavy. Spolu s nervovou soustavou tvoří tzv. neurohumorální regulační systém (Hoar a Randall, 2014). Vzniká ze středu mezimozku ze dvou váčků, z nichž přední zaniká, zadní se dále rozvíjí a dělí na dvě části. Z přední části se zakládá váček (*saccus dorsalis*), ze zadní výše zmíněná šišinka (Baruš a Oliva, 1995). Epifýza má u kostnatých ryb tvar plochého váčku, který vystupuje nad mozkové pleny a je protkaný tukovými buňkami. Je lokalizována na svrchní ploše mozku, těsně pod krycími kostmi lebeční stěny (Dvořák a kol., 2014). Právě umístění a absence chromatoforů v kůži této oblasti jsou podle Dubského a kol. (2003) hlavním důvodem, proč epifýza tak citlivě reaguje na světlo. S tím souhlasí i Kawauchi a kol. (1983), kteří navíc uvádějí, že reakce epifýzy na světlo má zásadní vliv na sezónní rytmy organismu. Mezi tyto biorytmy se řadí především reprodukce, migrace, pigmentace, ale i růst (Hardeland a kol., 2006). Obecně lze shrnout, že vliv epifýzy se projevuje především na dlouhodobé procesy. Je tomu tak z důvodu, že činnost hormonů je dlouhodobější a pomalejší proces nežli činnost nervové soustavy (Norris a Carr, 2013).

Na těchto biologických pochodech se značně podílí epifýzou produkovaný hormon melatonin. Tento hormon je svým složením definován jako N-acetyl-5methoxytryptamin.

Světlo, jako nejvýznamnější environmentální faktor ovlivňuje jeho denní rytmy a to takovým způsobem, že světlo jeho tvorbu v organismu snižuje. Znamená to tedy, že zkracující se část světelného dne a tím zvyšující se hladiny melatoninu bude ryby (vytírající se v podzimním období) stimulovat k výtěru (Dubský a kol., 2003; Helfman a kol., 2009; Kulczykowska a kol., 2010). Epifýza ale produkuje ještě jeden hormon a to serotonin, který je z chemického hlediska definován jako 5-hydroxytryptamin (Winberg a kol., 1997). Je to látka patřící do skupiny biogenních aminů, která vzniká z aminokyseliny tryptofanu. Jeho role spočívá v přenosu vzruchů v nervové tkáni (Hardeland a kol., 2006).

2.4.4.1. Melatonin a reprodukce

Na Obr. č. 3 je vidět schéma vlivu světla na pohlavní dospívání. Světlo, jako základní předpoklad nástupu vývoje gonád dopadá na fotoreceptory (tyčinky, čípky) sítnice, ale i na epifýzu. Zde tedy začíná synchronizace „vnitřních biologických hodin“. Zpracované informace jsou po nervové dráze převedeny do mezimozku, konkrétně do oblasti hypothalamu. Zde tyto informace podněcují indikaci délky dne či světelné rozdíly v okolním prostředí. Hypothalamus ovlivňuje aktivitu šišinky. V případě kladného vyhodnocení dochází k sekreci melatoninu z epifýzy. Ten je následně „rozpuštěn“ v krvi a v konečném důsledku ovlivňuje vývoj gonád.



Obr. č. 3: Vliv světla na pohlavní dospívání (upraveno podle Falcóna a kol., 2007).

2.4.5. Korelace mezi růstem, výživným stavem (alokací energie) a nástupem puberty

Vlastní podstata proč vlastně manipulovat s procesem pohlavního dospívání tkví v tom, že oddalujeme výtěr ryb a stimulujeme růst. Tento trend se projevuje v ekonomické stránce snížením nákladů na spotřebu krmiva a rychlejším dosažení finální hmotnosti produktu pro spotřebitele. Díky tomu se zvyšuje rentabilita celého chovu. K pubertě u ryb dochází, stejně jako u všech obratlovců, když jsou splněny některé specifické podmínky. Z individuálního hlediska se jedná o dosažení určité kombinace věku a velikosti ryby (Taranger a kol., 2010).

Důležitým faktorem se také jeví obsah tuku, zpravidla tělesného, který pokrývá energetické požadavky procesu pohlavního dozrávání. Tyto vztahy byly a jsou široce zkoumány u lososovitých ryb (McCormick a Naiman, 1984; Taranger a kol., 1999). To, že má obsah tuku v jarním období (květen u lososa obecného) důležitý vliv na nástup pohlavní dospělosti prezentovali ve svých studiích například Rowe a kol. (1991) či Silverstein a kol. (1998). Tito autoři prokázali na příkladu lososa obecného, že pokud ryba nedosáhne určité hladiny tuku ve výše zmíněném období, je potlačeno pohlavní dozrávání. Adipozita, čili ukládání tuku je v daleko vyšším měřítku zaznamenána v podmínkách intenzivního chovu, kde ryby mají lepší přístup ke krmivům oproti rybám stejného druhu z divokých populací (Thorpe, 2007; Taranger a kol., 2010).

Jako problém se jeví ale i nadbytek tukové tkáně. Existuje totiž silná negativní korelace mezi růstem a adipozitou. A právě v chovu lososů se někdy používá tzv. vysokoenergetické krmivo se zvýšeným obsahem tuku. Po zkrmování takového krmiva dochází ke zvýšení tukové tkáně s negativní zpětnou vazbou na příjem krmiva, jelikož se snižuje apetit ryb. Ve výsledku dochází k negativnímu snížení růstu (Johansen a kol., 2002). Právě apetit ryb je úzce spjat s příjmem potravy, růstem, adipozitou či nástupem pohlavní dospělosti.

Tyto procesy jsou regulovány interakcemi mezi mozkiem a periferními signály. V tomto případě u savců nachází uplatnění hormon leptin, který působí na mozek a snižuje příjem potravy tím, že reguluje aktivitu neuronů v hypothalamu (Bouret a kol., 2004; Zieba a kol., 2005). Bohužel informace o regulačních mechanismech týkajících se příjmu potravy u ryb jsou dosti skrovné. Nicméně, jak je uvedeno výše, je dokázáno, že adipozita snižuje chuť k jídlu se všemi jeho důsledky (Shearer a kol., 1997). Vztah mezi růstem, ukládáním lipidů a nástupem pohlavní dospělosti vykazuje značnou

plasticitu, a to jak mezidruhovou, tak i vnitrodruhovou. Jako příklad lze uvést lososa obecného, kdy jeho pohlavní dospívání je věkově variabilní dle geografického místa výskytu od 1 do 10 roků (Hutchings a Jones, 1998).

2.5. Důsledky nástupu puberty

2.5.1. Vliv na somatický růst

Brzký nástup pohlavní dospělosti se u ryb v akvakulturních chovech projevuje sníženou růstovou schopností (Taranger a kol., 1999). Mnoho autorů se shoduje, že důvod je jednoduchý a prostý. V tomto období dochází v těle ke kvalitativním a kvantitativním změnám, vedoucím k vývoji pohlavních žláz s následnou produkcí pohlavních produktů a reprodukčním chováním. Z tohoto důsledku se snižuje somatický růst před a během období tření (Hendry a Beall, 2004). Celý tento proces je úzce spjat se spotřebou energie, která by ale z hlediska produkčních chovů měla být spíše využita na somatický růst (Salem a kol., 2006; Beaumont a kol., 2010). Obecně lze shrnout, že pohlavní dozrávání je fyziologický proces, který způsobuje posun od somatického růstu k růstu gonadálnímu (Taranger a kol., 2010).

Poměrně zajímavou myšlenku udává Skilbrei (1989), který zjistil, že u lososa obecného, v počátku puberty dochází k jevu diametrálně odlišnému. Je to vlivem zvýšené chuti k jídlu. Jedinci, kteří učinili „rozhodnutí“ pohlavně dozrát, jsou obvykle větší, než ryby, které ještě nezačaly pohlavně dozrávat. Jejich tempo somatického růstu se tedy zvyšuje. McLay a kol. (1992) doplňují, že tento zvýšený růst je jen dočasný a je limitován obdobím začínající produkce pohlavních hormonů s nástupem gametogeneze. Zde začíná somatický růst a hmotnost opět klesat se souběžným rychlým růstem pohlavních žláz.

Raná pohlavní dospělost ale nemá vliv jen na somatický růst, nýbrž i na kvalitu svaloviny. Je tedy zřejmé, že raný nástup puberty je i z tohoto hlediska nepříliš žádoucí. A to hlavně v období, kdy mají být ryby prodávány ke spotřebě (Piferrer a kol., 2009). V takovýchto případech dochází ke svalové atrofii spojené s katabolismem bílkovin, když energie a živiny jsou spotřebovány pro vývoj gonád (Aussanasuwannakul a kol., 2011). Kubota a kol. (2000) uvádějí, že u lososovitých ryb dochází k proteolýze, čili rozkladu proteinů ve svalu. Negativně se proces nástupu pohlavní dospělosti tedy podílí na složení svalové tkáně a struktuře filet (Kiessling a kol., 2006).

2.5.2. Vliv na konverzi krmiva

Konverze krmiva je definována jako spotřeba krmiva na jednotku přírůstku (Parker, 2011). Spotřeba krmiva je pevně spojena s apetitem ryb. To, že se chuť k jídlu snižuje před a během období tření je dokázáno na experimentech od Kadriho a kol. (1995) či Tveitena a kol. (1996). Stead a kol. (1999) uvádějí, že v důsledku snižující se chuti k jídlu dochází k jeho snížené konzumaci. Tímto způsobem dochází k negativnímu ovlivnění somatického růstu na základě snížené konverze krmiva. Nelze opomenout ani reprodukční chování, které je spjato se zvýšenými energetickými nároky projevujícími se rovněž snižováním krmného koeficientu (Hendry a Beall, 2004). Z výše uvedených informací mohou vyplývat závěry, že korelace mezi konverzí krmiva a pubertálním obdobím mají negativní důsledky pro komerční akvakulturu. Závislosti vlivu pohlavního dospívání na konverzi krmiva se zabývali i Stead a kol. (1999), kteří konstatovali, že se zvyšujícími se hladinami pohlavních steroidních hormonů dochází ke snižování růstového tempa a naopak. Což částečně potvrzuje souvislosti mezi obdobím tření a nechutenstvím ryb.

Další negativum je spjato s vysokou spotřebou krmiv, která negativně ovlivňuje celkovou udržitelnost chovu ryb daného podniku. Jde o to, že ztráta hmotnosti spojená s pohlavním dozráváním oddaluje tržní velikost daného druhu. Ve výsledku pokud ryba musí projít jedním či více reprodukčními obdobími před dosažením tržní velikosti, tak po celou dobu musí být krmivem pokrýván její bazální metabolismus a zvýšené nároky na reprodukci (z výše popsaných důvodů), což se bezpochyby negativně projeví na ekonomické stránce konkrétního podniku (Taranger a kol., 2010).

2.5.3. Vliv na sexuální chování

Existuje silná korelace mezi reprodukčními cykly a sexuálním chováním. Hlavní roli v tomto procesu hrají hladiny steroidních hormonů, kdy je sexuální chování zaznamenáno v souvislosti s vyšší koncentrací pohlavních hormonů (Hoar a kol., 1983). Sexuální chování je rozličné mezi samci a samicemi. Jikernačky mají nepříliš výrazné reprodukční chování, které je založeno především na přírodním výběru samců s cílem produkce potomstva a jejich následného přežití (Fleming, 1996). U samců je situace poněkud zajímavější. Často zde můžeme pozorovat tzv. sekundární pohlavní znaky. Zpravidla dochází ke změnám v morfologii, anatomii ale i změně chování. Co se změny chování týče, tak je možno registrovat agonistické, čili agresivní chování, které je u lososovitých ryb velmi obvyklé (Järvi, 1990; Fleming, 1996). Toto chování je založeno na kompetici

mezi samci, kteří svádějí „souboje“ o přístup k samicím s vidinou následné reprodukce (Järvi, 1990). Toto chování má negativní důsledky v komerční akvakultuře, jelikož dochází ke zraňování mezi takovými jedinci. To posléze může vést k sekundárnímu zaplísnění povrchu těla, znehodnocení finálního produktu a zpravidla končí až zvýšenou mortalitou (Svinger a kol., 2015).

Agresivní chování spojené s reprodukcí ale může být zaznamenáno i v jiných souvislostech než jen v soubojích samců. Může jít například o ochranu výtěrového teritoria, výtěrového hnízda či ochranu potomstva. Ne vždy ale musí agresivní chování bezpodmínečně souviset s pohlavním dospíváním, respektive reprodukcí obecně. Lze ho pozorovat i ve vegetačním období. Je zaznamenána například agrese spojená s postavením jedince v hierarchii hejna či ochrana teritoria jako životního prostoru (Hoar a kol., 1983; Abbott a Dill, 1985). Mnoho druhů včetně lososovitých si také chrání své potravní teritorium (Hutchison a Iwata, 1998). Zajímavým případem sexuálního chování některých salmonidů se jeví výběr mlíčka jikernačkou na základě velikosti tukové ploutvičky. Petersson a kol. (1999) to prokázali ve svém experimentu, kdy samice pstruha obecného (*Salmo trutta morpha fario*) upřednostňovaly samce s větší tukovou ploutvičkou. Zároveň tyto samice vykazovaly prvky agresivního chování a napadaly samce, kteří měli vzhledem ke své velikosti těla malou tukovou ploutvičku. Nejvíce je sexuální chování popsáno u mnoha druhů lososů. Zde platí jednoduché pravidlo, čím dominantnější samec, tím vyšší šance, že se bude reprodukovat. Dominance u lososů se obvykle hodnotí podle velikosti „háku“ na spodní čelisti (Järvi, 1990). Poměrně zajímavou myšlenkou jak snížit agresivní chování u lososa obecného se prezentovali Godin a kol. (1974), kteří experimentálně pozorovali snížení agresivního chování po intraperitoneální injekci hormonu tyroxinu T4.

2.6. Role fotoperiody v procesu pohlavního dozrávání

O tom, že má manipulace se světelným režimem čili proces fotostimulace značný vliv na pohlavní dozrávání jsme se přesvědčili již roku 1937. Hoover (1937) demonstroval ve svém výzkumu, že siveni američtí, kterým byly uměle navozeny sezónní změny světelných cyklů, dospívali o 3-4 měsíce dříve, než jejich protějšky v podmínkách přirozené fotoperiody. Postupem času se tyto techniky stále zdokonalovaly. Dnes je manipulace s fotoperiodou účinným akvakulturním nástrojem, který umožňuje uměle zasahovat do reprodukce mnoha rybích druhů. Fotoperioda, respektive délka světelného

dne je pravděpodobně nejdůležitějším řídicím faktorem reprodukčního cyklu lososovitých ryb a manipulace s ní je pomyslným klíčem v komerční akvakultuře (Bromage a kol., 1992).

Dalším faktorem, který se na tomto procesu také podílí a někdy i významně je teplota (Pankhurst a King, 2010). Duston a Bromage (1988) udávají, že tyto dva externí faktory se velkou měrou podílejí na procesu pohlavního dozrávání. Zároveň ale připomínají, že hlavní proměnná a to, na co ryby spolehlivě reagují, je charakter změny této hodnoty. Právě změna teploty a fotoperiody synchronizuje vnitřní biologické hodiny. Celý proces fotostimulace se všemi jeho náležitostmi je založen na přesměrování energie k žádoucímu vyššímu somatickému růstu (Boeuf a Le Bail, 1999; Jonassen a kol., 2000). V období pohlavního dospívání je cílem manipulovat se zráním gamet a následně oddálit tření (Randall a kol., 2001; Gines a kol., 2003). Toho je dosaženo použitím umělého osvětlení, jelikož salmonidé (jak již bylo zmíněno) intenzivně registrují délku světelného dne. Důležité je využitím umělého světelného režimu postihnout specifické období finálního dozrávání pohlavních produktů (Taranger a kol., 2010). Ve výsledku je procesem fotostimulace ovlivněno období pohlavního dozrávání včetně následné reprodukce, přičemž tyto biologické události jsou řízeny pineální sekrecí melatoninu (Wilkinson a kol. 2010; Porter a kol. 1999). Ten působí jako iniciátor pro endogenní rytmy rybiho organismu. Účinnost umělého osvětlení je pak založena na dostatečně vysoké intenzitě svítivosti při temné fázi a výsledkem je snížení hladiny melatoninu v krevní plazmě pod prahovou úroveň a ovlivnění celého biologického procesu rozmnožování (Porter a kol., 1999).

Oddálení reprodukce u lososovitých ryb, vytírajících se v období zkracující se části světelného dne, tedy můžeme dosáhnout prodlužováním světelné periody v podzimním/zimním období (Randall a kol., 1998). Pohlavní zralost u většiny lososovitých ryb nastává přibližně 5-8 měsíců po období nejdelších dnů v roce, tedy po 21. 6. (Švinger a Kouřil, 2012). U lososovitých ryb je gonadální vývoj poměrně dlouhé období. Počátek vývoje pohlavních buněk je situován do časového horizontu „dlouhých dnů“. Zatímco konečné zrání je zaznamenáno během „krátkých dnů“ (Falcón a kol., 2010).

V současné době je již k dispozici nepřeberné množství experimentů, které jsou založeny na umělé manipulaci s fotoperiodou napříč všemi druhy ryb (Fülberth a kol., 2009; de-Freitas a kol., 2014; Biswas a kol., 2016). Navzdory tomu ale Taranger a

kol. (2010) udádějí že je tento proces do jisté míry stále nepředvídatelný s často nejistými výsledky.

2.7. Alternativy prevence pohlavního dospívání

Fotostimulace je jednou, nikoliv však jedinou možností jak zefektivnit produkci lososovitých ryb. Dalšími možnostmi mohou být například využití triploidních ryb nebo produkce monosexních obsádek (Flajšhans a kol., 2013).

2.7.1. Triploidie

Alternativou procesu fotostimulace a zároveň další z možností prevence pohlavního dospívání je dnes využívaný proces umělé indukce triploidie, respektive triploidizace (Loopstra a Hansen, 2008). Tato technologie je široce využívána jak v akvakultuře ryb (Tiwary a kol., 2004), tak i u ostatních vodních organismů, jako jsou například ústřice či krevety (Piferrer a kol., 2009; Suquet a kol., 2016). Význam této metody a jejím hlavním opodstatněním je produkce reprodukčně sterilních ryb. Tato sterilita je vysvětlena narušením párování chromozomů v období meiozy přítomností tří sad homologních chromozomů (Carrasco a kol., 1998). Sterilita ale může být v některých případech pouze částečná a jedinec může být schopen produkovat gamety. Avšak tyto pohlavní buňky jsou obvykle aneuploidní, tzn., že nedokáží vytvořit životaschopné potomstvo (Ihssen a kol., 1990).

V praxi je tento proces založen na umělém zásahu do vývoje zygoty, čili do raného stádia oplozené jikry (Pandian a Koteeswaran, 1998). Tímto zásahem se rozumí využití některého z polyploidizačních šoků. Pro lososovité ryby se využívají primárně fyzikální šok teplou vodou, či šok hydrostatickým tlakem (Dubé a kol., 1991; Piferrer a kol., 2009). Avšak Smith a Lemoine (1979) uvádějí i navození triploidního stavu u sivena amerického použitím tzv. chemického šoku, konkrétně použitím vřetenkového jedu kolchicinu. Šok jako zásah do biologického vývoje musí postihnout přesně období druhé fáze meiotického dělení a depolymerací tubulinových vláken dělicího vřetenka zabránit oddělení druhého pólového tělíska (Havelka a kol., 2014). Výsledkem je multiplikace (zmnožení, znásobení) chromozomové sady nad normální diploidní sadu chromozomů. Výsledný triploidní ($3n$) jedinec nese ve svých buňkách 3 sady chromozomů. Jedna sada ze samčí genetické informace (spermie), druhá ze samičí genetické informace (jikry) a třetí z druhého pólového tělíska. Pro dosažení maximálního počtu triploidních jedinců a maximálního procenta přežití jsou zásadní tři proměnné. Jejich kombinace rozhoduje o

úspěchu celého procesu. Jsou jimi: doba aplikace po oplození a aktivaci gamet, intenzita šoku a expoziční doba (Flajšhans a kol., 2013). Yang a Guo (2006) uvádějí, že triploidní jedinec může vzniknout i křížením tetraploidního jedince s „normálním“ diploidním jedincem.

2.7.1.1. Výhody triploidie

Pifferer a kol. (2009) řadí mezi hlavní důvody využití triploidie zvýšený růst. Podle Boulangera (1991) může být růstová schopnost sivena amerického ve srovnání s diploidními jedinci až o 20 % vyšší. Rychlejší růst je založen na skutečnosti, že triploidní ryby využívají energii přijatou z krmiva na somatický růst, nikoliv na tvorbu pohlavních produktů (Beaumont a kol., 2010). Ne vždy ale triploidie znamená růstové zvýhodnění. Například u tlamovce zlatého (*Oreochromis aureus*) byl prokázán snížený růst triploidů oproti rybám s „normální“ diploidní sadou chromozomů (Byamungu a kol., 2001).

Dalším využitím je podle Dunhama (2011) možnost vysazování nepůvodních druhů ryb do volných vod, kde se tyto jedinci přirozeně nevyskytují. Z důvodu jejich sterility pak nehrozí nekontrolované šíření nepůvodního druhu. V komerční akvakultuře jedna z primárních předností triploidních ryb je snížení sexuálního a teritoriálního chování, která vede k menšímu stresu a nižšímu plýtvání energií (Pifferer a kol., 2009).

V poslední řadě je nutno poznamenat lepší organoleptickou kvalitu masa triploidů. Jelikož není využívána značná část svalového tuku k tvorbě a růstu gonád (Werner a kol., 2008). S touto myšlenkou se ztotožnili i Manor a kol. (2012), kteří věnovali svou pozornost na přítomnost či absenci mastných kyselin ve svalovině pstruha duhového. Shledali, že obsah kyseliny eikosapentaneové (20: 5n-3), dokosahexaenové (22: 6n-3), a arachidonové (20: 4n-6) je důležitý pro kvalitu jiker a celkovou plodnost. Jejich spotřeba pro reprodukci následně snižuje nutriční hodnoty filetu. Dále bylo pozorováno zhoršení textury a vybarvení svaloviny.

2.7.1.2. Nevýhody triploidie

Co se nevýhod ploidie týče, tak nelze opomenout fakt, že triploidní jedinci vykazují vyšší mortalitu v embryonálním stádiu. Ta je způsobena různými typy šoků za účelem retence druhého pólóvého tělíska (Flajšhans a kol., 2013).

Comai (2005) ve své práci *The advantages and disadvantages of being polyploid* zmiňuje myšlenku, že zvýšený obsah genetického materiálu v buňce může negativně ovlivnit zdraví organismu a způsobit některé nežádoucí abnormality.

Atkins a Benfey (2008) na základě jejich studie prokázali, že triploidní siven americký hůře reaguje na změny teplot, respektive má nižší teplotní optimum než jeho diploidní protějšek.

Výše popsané má za úkol podat stručný přehled o indukci triploidie, která se řadí mezi důležité biotechnologie akvakultury. Záměrně jsou vynechány detaily týkající se intenzity jednotlivých šoků, či expoziční doby. Byť jsou to důležité, ba dokonce zásadní informace o procesu triploidizace, nejsou součástí předložené diplomové práce.

2.7.2. Produkce monosexních populací

Další z možností jak zvýšit efektivitu chovů lososovitých ryb je produkce monosexních populací. V akvakultuře lososovitých ryb se konkrétně jedná o celosamičí populaci. A to z důvodu, že samice obvykle nedosahují pohlavní dospělosti během prvního roku života, tak jako v případě sivena amerického. Nevýhodou samců je také jejich zvýšená agresivita během reprodukčního období a zároveň zvýšená náchylnost k onemocnění, především pak k plísni *Saprolegnia fungus* (Haffray a kol., 2009). Z praktického hlediska lze navodit celosamičí charakter populace v zásadě dvěma způsoby. A to buď „přímou“ či „nepřímou“ feminizací (Piferrer, 2001).

2.7.2.1. Zvrat pohlaví

„Přímou feminizací“ se rozumí zvrat pohlaví. Ten způsobuje změnu procesu diferenciaci pohlaví vlivem působení pohlavních steroidních hormonů. V případě feminizace tak dochází k jevu, že se u genotypových samců vyvíjejí vaječníky (Dunham, 2011). Avšak jak uvádí Piferrer (2001) dochází pouze ke změně fenotypu hormonálně ošetřených ryb, jejich genotyp zůstává stejný.

V praxi je tento proces založen na podávání steroidních hormonů. Pro získání samičích obsádek se využívají látky s estrogením účinkem. Podle Pandiana a Shelly (1995) je vůbec nejčastěji používaným hormonem 17 β -estradiol. Co se týče designu provedení takového experimentu, jedná se o několik možností. Bye a Lincoln (1986) aplikovali steroidní hormon do koupele, kde se následně ošetřily již oplozené jikry. Další metodou může být předkládání hormonu v krmivu (Pandian a Shella, 1995). Poslední

možností je aplikace hormonu již odrostlejšími rybám. Způsob aplikace spočívá v intraperitoneálním či intramuskulárním podání hormonu (Piferrer, 2001). Autor popisuje výhodu tohoto způsobu, která tkví v injekčním podání hormonu a tudíž jeho menší spotřebě oproti podání hormonu v dietě.

Výše zmíněné způsoby produkce monosexní populace lze ale používat jen pro vědecké účely a nikoliv pro lidskou spotřebu (Haffray a kol., 2009). Jelikož podle Evropské Unie (směrnice rady 96/22/ ES, 1996) je zakázáno používat látky s hormonálním či tyreostatickým účinkem v průmyslových chovech zvířat. Tento zákaz se rovněž vztahuje i na dovoz takto ošetřeného masa z třetích zemí.

2.7.2.2. Feminizace

Možností, jak produkovat jedince pro lidskou spotřebu, je aplikace tzv. „nepřímé feminizace“. Tento proces je založen na kombinaci několika důležitých kroků v jejich chronologickém sledu (Galbreath a kol., 2003; Stejskal a kol., 2009). Aplikací krmiva s obsahem 17 α -methyltestosteronu celosamičímu potomstvu s chromozomovým určením pohlaví XX dojde ke zvratu pohlaví, čili maskulinizaci. Tím vzniknou jedinci, kteří budou genotypově samice, ale fenotypově samci. Takovýto jedinec je Lucasem a Southgatem (2012) definován jako neomlčák, neosamec. Tito samci produkující spermie jsou kříženi s diploidními samicemi XX. Ve výsledku pak vzniká celosamičí potomstvo (Lee a kol., 2004).

V Evropě je k užitkovému chovu povolena pouze možnost „nepřímé feminizace“. Že se jedná o proces, kterému je zapotřebí přikládat značnou důležitost svědčí to, že až 80 % veškeré produkce pstruha duhového je založena na celosamičích chovech (Piferrer a kol., 2009).

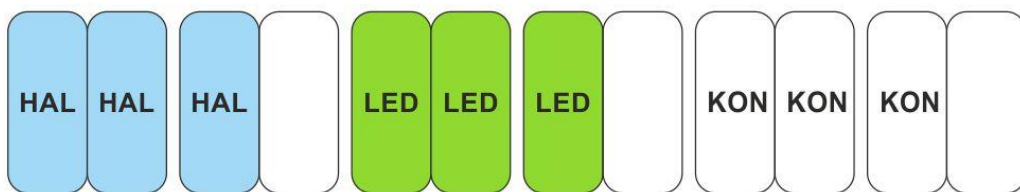
3. Materiál a metodika

Předložená diplomová práce se skládá ze tří experimentů. První z nich byl realizován na průtočném rybochovném objektu v Anníně, jež je součástí společnosti Klatovské rybářství a.s. Cílem bylo porovnat účinnost světlo emitujících diod (LED) a metalhalogenových zdrojů světla (HAL) pro oddálení nástupu puberty. Druhý experiment simuloval podmínky převozu fotostimulovaných ryb na jiné rybochovné zařízení (se zaměřím na sledování náchylnosti k sekundárnímu zaplísnění) a probíhal na experimentálním rybochovném zařízení Fakulty rybářství a ochrany vod ve Vodňanech. Třetí experiment se uskutečnil na pstruhařství v Nedošíně, které patří společnosti Rybářství Litomyšl s.r.o. Zde bylo otestováno vlastní načasování fotoperiodického opatření s cílem rovněž oddálit nástup puberty.

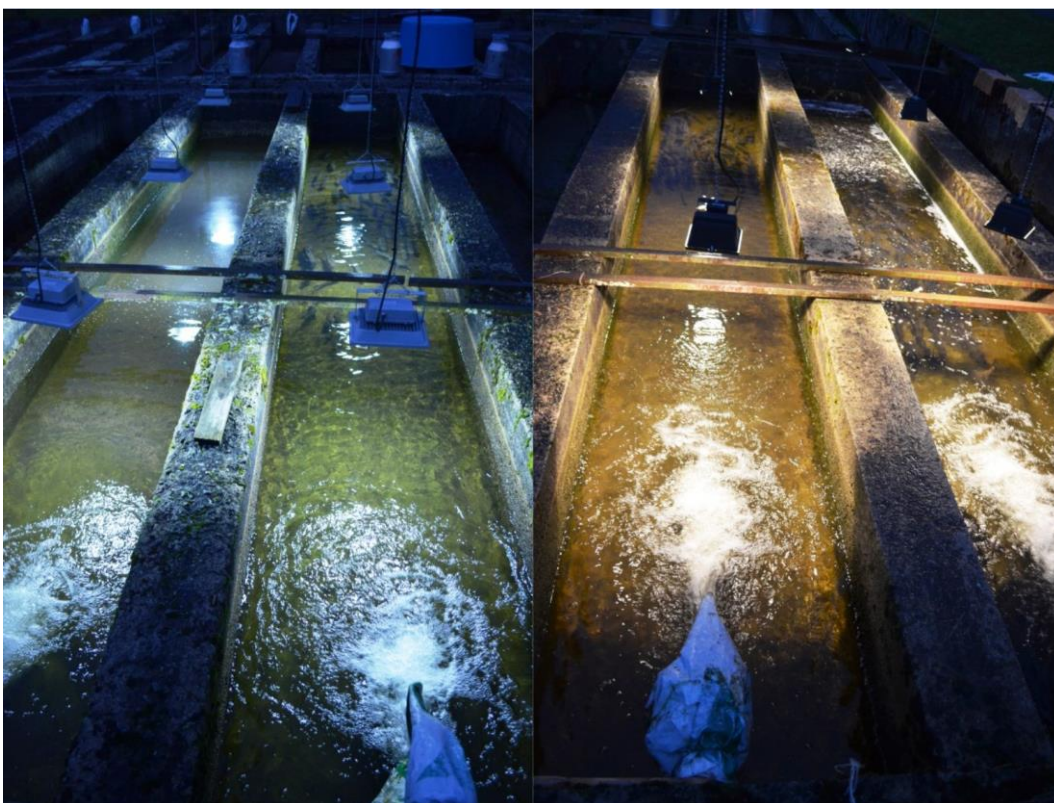
3.1. Experiment 1: Porovnání účinnosti LED a metalhalogenových zdrojů světla pro oddálení nástupu puberty

3.1.1. Popis experimentálního systému pro odchov ryb

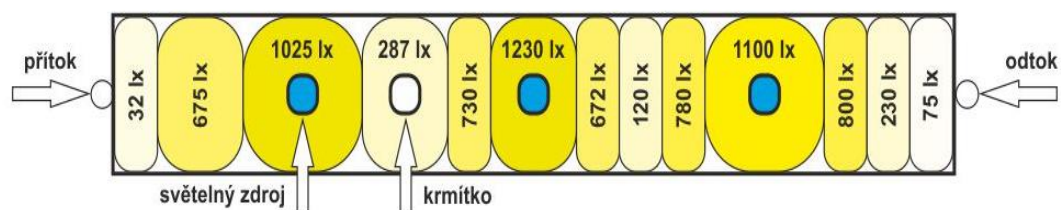
Vlastní odchov probíhal v devíti betonových průtočných žlabech o konstrukčních rozměrech 720 x 100 cm s výškou vodního sloupce 50-55 cm. To představovalo objem vody 3,6 m³ na jeden žlab. Průtok jedním žlabem činil 5,1-5,7 m³.h⁻¹. Tyto žlaby byly vybaveny osvětlovacím systémem založeným na využití LED svítidel a metalhalogenových reflektorů. Nad každým odchovným žlabem byly umístěny tři světelné zdroje. Přičemž metalhalogenový zdroj se sestával ze svítidla (reflektoru) Panlux V500/C a výbojky OSRAM HALOLINE[®] ECO (400W, 9000 lm, 2950 K) a v případě LED osvětlení se jednalo o typ svítidla Epistar 50W LED CO8 (50W, 4000 lm, 6000 K). Obr. č. 4 schematicky znázorňuje celkový pohled na všechny odchovné žlaby včetně rozmístění světelných zdrojů. Vlastní fotografie odchovných žlabů pod LED a HAL zdrojem světla je na Obr. č. 5. Schéma jednoho odchovného žlabu pod halogenovým zdrojem včetně intenzity osvětlení je znázorněno na Obr. č. 6. Obdobné schéma bylo vypracováno i pro žlab pod LED zdrojem světla (Obr. č. 7). Intenzita světla byla měřena podvodním luxmetrem Hydrolux (BGB Innovation) v polovině výšky vodního sloupce, tj. 25 cm nade dnem.



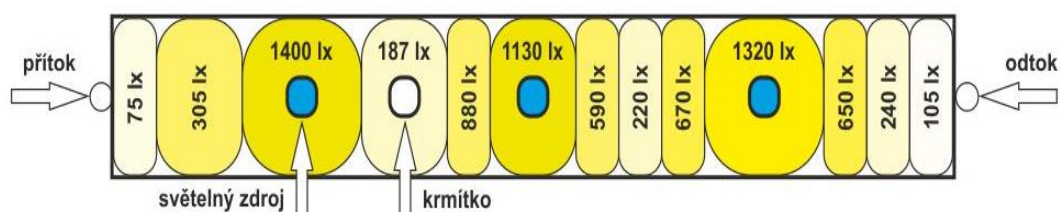
Obr. č. 4: Schéma odchovných žlabů včetně rozmístění světelných zdrojů.



Obr. č. 5: Odchovné žlaby pod světelnými zdroji HAL a LED (foto Vlastimil Stejskal).



Obr. č. 6: Schéma odchovného žlabu pod HAL zdrojem světla.



Obr. č. 7: Schéma odchovného žlabu pod LED zdrojem světla.

3.1.2. Vlastní popis experimentu

Pro vlastní experiment zahrnující odchov sivenů byly využity ryby adaptované na příjem kompletního granulovaného krmiva. Tyto ryby byly chovány od kategorie násady o průměrné kusové hmotnosti 100 g do kategorie tržních ryb o průměrné kusové hmotnosti 300-600 g. Nasazované ryby ve stáří 16 měsíců od vykolení byly před nasazením rovněž chovány v intenzivních podmínkách průtočného systému. Celkem bylo nasazeno do testu 2700 ks sivenů, což představovalo celkovou počáteční biomasu 265,7 kg. Na každý z devíti žlabů bylo nasazeno 300 ks ryb.

Celkem byly testovány tři skupiny ryb, které se lišily technologií osvětlení. Každá jednotlivá skupina ryb byla chována ve třech žlebech, respektive ve třech opakováních. Celkově lze testované skupiny charakterizovat takto:

- **HAL** – ryby chované v období od 24. 4. do 18. 6. při přirozené fotoperiodě, od 18. 6. do 6. 11. byla rybám prodloužena fotoperioda na 18 hodin světla pomocí metalhalogenových reflektorů.
- **LED** – ryby chované v období od 24. 4. do 18. 6. při přirozené fotoperiodě, od 18. 6. do 6. 11. byla rybám prodloužena fotoperioda na 18 hodin světla pomocí LED svítidel.
- **KON** – ryby chované po celé období při přirozené fotoperiodě. Tato skupina byla použita jako kontrolní pro porovnání výsledků experimentu.

3.1.3. Denní režim a harmonogram celého pokusu

Experiment v celkové délce 195 dní byl proveden od 24. 4. do 6. 11. 2014. Během tohoto období proběhlo celkem 8 kontrolních přelovení, během kterých byly monitorovány biometrické ukazatele odchovávaných ryb (celková délka těla, standardní délka těla, hmotnost), biomasa a počet ryb. Veškerá měření na živých rybách probíhala po anestezii v lázni hřebíčkového oleje ($0,03 \text{ ml.l}^{-1}$). Krmný den začínal v 7:00 a končil v 17:00 hodin. Během tohoto intervalu byly ryby krmeny pomocí krmítek s hodinovým strojkem v dávkách podle doporučení výrobce krmiva. Denní krmná dávka byla korigována s ohledem na teplotu vody. Množství spotřebovaného krmiva bylo monitorováno pro účely pozdější kalkulace krmného koeficientu. Během odchovu byla předkládána krmiva firmy Skretting typ Optiline HE (viz Příloha č. 1). Dva dny před a během plánovaného kontrolního přelovení ryb se nekrmilo. Důvodem bylo nemanipulovat s rybami s nestrávenou či částečně natrávenou potravou. Takovéto jedince není vhodné vystavovat stresovým situacím.

Monitoring obsahu kyslíku, teploty, pH a případných úhynů probíhal 1x denně v 7:00 a údaje byly zaznamenány do protokolu o krmném dnu. K těmto vyhodnocením byly využity pH metr GRYF 259 a oxymetr Oxi 3210 (sonda Cellox® 325). Z úhynů ryb se následně počítalo celkové a kumulativní přežití ryb.

V průběhu experimentu byly u obsádek sivenů v období od 24. 4. do 6. 11. hodnoceny změny a průběh u následujících zootechnických ukazatelů:

$$\text{denní kusové ztráty (\%)} = 100 / P_{nas} \times P_{úhy}$$

$$\text{přežití (\%)} = 100 - (100 / P_{nas} \times P_{vyl})$$

$$\text{koeficient vyživenosti (Fultonův)} = 100 \times w / CD^3$$

$$\text{konverze krmiva} = F / (w_k - w_p)$$

Legenda:

$P_{úhy}$ = počet uhynulých ryb podle protokolu

P_{nas} = počet nasazených ryb

P_{vyl} = počet vylovených ryb

w = individuální hmotnost

CD = celková délka těla

F = celková spotřeba krmiva za sledované období

w_p = počáteční hmotnost ryb

w_k = konečná hmotnost ryb

3.1.4. Sledované parametry

Napříč celým experimentem bylo sledováno vícero dílčích ukazatelů, které měly v konečném důsledku posloužit k celkovému zhodnocení technologie fotostimulace. Fotografie z kontrolního přelovení je zobrazena v Příloze 2.

3.1.4.1. Výtěžnost a somatické indexy

V termínech 18. 6., 13. 8., 8. 10. a 6. 11. bylo vždy odebráno 30 mlíčáků a 30 jikernaček z každé experimentální skupiny pro celkovou pitvu, odběr gonád, stanovení výtěžnosti, gonadosomatického indexu (GSI), hepatosomatického indexu (HSI) a indexu periviscerálního tuku (IPV). Vzorky gonád a orgánů tělní dutiny byly odebrány do Bouinova roztoku. Jednotlivé indexy byly později stanovovány z konzervovaných vzorků, které byly označeny dle testovaných skupin. Analýza probíhala v prostorách Fakulty rybářství a ochrany vod, kde byly u všech vzorků, respektive ryb stanoveny hmotnostní parametry gonád, jater, periviscerálního tuku a následně stanoveny indexy. Výtěžnost byla ve zmíněných termínech stanovována *in situ*.

$$\text{gonadosomatický index (\%)} = (100 \times w_{gon})/w$$

$$\text{hepatosomatický index (\%)} = (100 \times w_{jat})/w$$

$$\text{index periviscerálního tuku (\%)} = (100 \times w_{tuk})/w$$

$$\text{výtěžnost (\%)} = (100/w)/w_{tru}$$

Legenda:

w = individuální hmotnost

w_{gon} = hmotnost gonád

w_{jat} = hmotnost jater

w_{tuk} = hmotnost periviscerálního tuku

w_{tru} = hmotnost trupu

3.1.4.2. Porovnání morfologických ukazatelů jednotlivých skupin chovaných ryb v období pohlavní zralosti

V termínu 6. 11. byly hodnoceny morfologické změny mezi rybami chovanými v různých světelných podmínkách. Celkem bylo porovnáno 30 mlíčáků a 30 jikernaček z každé testované skupiny (celkem 180 ryb). Morfologické ukazatele byly vypočteny následovně:

$$\text{index širokohřbetosti (\%)} = (\check{S} \times 100)/CD$$

$$\text{ukazatel vysokohřbetosti} = CD/V$$

Legenda:

CD = celková délka těla

Š = šířka těla

V = výška těla

3.1.4.3. Sledování stupně vývoje gonád a procenta ryb připravených k výtěru

V průběhu experimentu byly u obsádek sivenů v termínech 18. 6., 13. 8., 8. 10. a 6. 11. odebrány vzorky gonád pro účely pozdějšího histologického vyšetření. Vzorky gonád byly zpracovány s využitím karuselového tkáňového automatu Histomaster, zalévací linky Leica EG 1150HC, rotačního mikrotomu Diapath Galileo a barvicího automatu Sakura Tissue-Tek® DRS 2000™. Zpracování vzorků probíhalo v histologické laboratoři VÚRH JU Vodňany. V termínech 8. 10. a 6. 11. byl v každé skupině ryb sledován počet ovulujících jikernaček a mlíčáků produkujících sperma pro účely vyjádření poměru ryb připravených k reprodukci.

3.1.4.4. Porovnání vybarvení (svatebního šatu) chovaných ryb

V termínu 6. 11. byly hodnoceny změny ve vybarvení (svatebním šatu) u ryb chovaných v různých světelných podmínkách. Celkem 50 ks jikernaček a 50 ks mlíčáků z každé testované skupiny (celkem 300 ks ryb) bylo fotografováno (Nikon D5100) na bílém pozadí v temné komoře pomocí stativu. Ryby byly foceny v prostředí fotografického stanu (boční rozptýlené světlo). Fotoaparát byl vyvážen na bílou barvu.

3.1.5. Zpracování získaných dat a údajů

Zpracovaná data a údaje byly editovány v softwarovém programu Microsoft Excel 2010 (Microsoft, Inc., USA), kde byly za pomoci výše popsaných vzorců stanoveny vlastní výsledky, které byly posléze graficky zobrazeny. Tyto výsledky byly následně statisticky analyzovány softwarovým programem Statistica 12.0 (StatSoft., Inc., USA). Jelikož nebyla splněna normalita dat, tak byl k porovnání rozdílů použit Kruskal-Wallisův test. Všechny testy byly provedeny na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$.

3.2. Experiment 2: Fotostimulace pomocí LED a metalhalogenových zdrojů světla jako prevence ztrát u sivenů v podzimmím období

V termínu od 6. 11. do 11. 12. byl proveden krátkodobý experiment zaměřený na hodnocení náchylnosti sivenů odchovaných v různých světelných podmínkách k sekundárnímu napadení plísněmi. Tento 35 denní experiment měl za účel stimulovat převoz ryb v živém stavu na farmu s jinými hydrochemickými poměry a vyhodnotit projevy sekundárního zaplísnění. V tomto případě byl využit experimentální průtočný objekt VÚRH ve Vodňanech. Pro účely tohoto pozorování byly ryby nasazeny do závěsných plastových nádrží (3 x 1 x 0,9 m). Skupiny ryb, které byly původně chovány v podmínkách prodloužené fotoperiody (18 hodin světelné fáze: 6 hodin temné fáze) pod různými světelnými zdroji (LED, HAL) a kontrolní skupina byly nasazeny do celkem 27 nádrží (objem vody 3 m³ pro jednu nádrž). Celkem bylo založeno 9 testovaných skupin, každá ve 3 opakováních:

- 1) Hj/m = ryby odchované pod halogenovým osvětlením nasazené v poměru pohlaví 1:1
- 2) Hj = jikernačky odchované pod halogenovým osvětlením
- 3) Hm = mlíčáci odchované pod halogenovým osvětlením
- 4) Lj/m = ryby odchované pod LED osvětlením nasazené v poměru pohlaví 1:1
- 5) Lj = jikernačky odchované pod LED osvětlením
- 6) Lm = mlíčáci odchované pod LED osvětlením
- 7) Kj/m = ryby odchované pod přirozeným osvětlením nasazené v poměru pohlaví 1:1
- 8) Kj = jikernačky odchované pod přirozeným osvětlením
- 9) Km = mlíčáci odchované pod přirozeným osvětlením

Každá nádrž byla nasazena 100 ks ryb, přičemž při smíšené obsádce byl poměr pohlaví 50 mlíčáků a 50 jikernaček. V týdenních intervalech byl v nádržích sledován počet ryb napadených plísní. Mortalita ryb byla sledována denně.

$$\text{denní kusové ztráty (\%)} = 100 / P_{nas} \times P_{úhy}$$

$$\text{přežití (\%)} = 100 - (100 / P_{nas} \times P_{vyl})$$

$$\text{prevalence ryb napadených plísní (\%)} = 100 / (P_{nas} / P_{nap})$$

Legenda:

$P_{úhy}$ = počet uhynulých ryb podle protokolu

P_{nas} = počet nasazených ryb

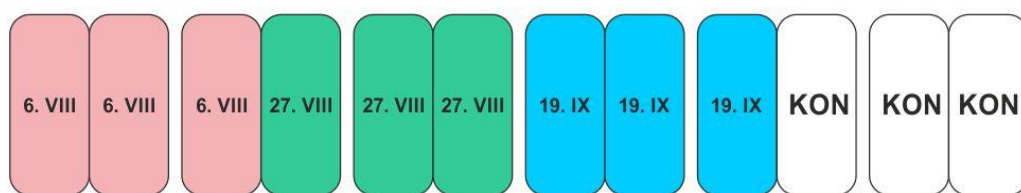
P_{vyl} = počet vylovených ryb

P_{vyl} = počet ryb napadených plísní

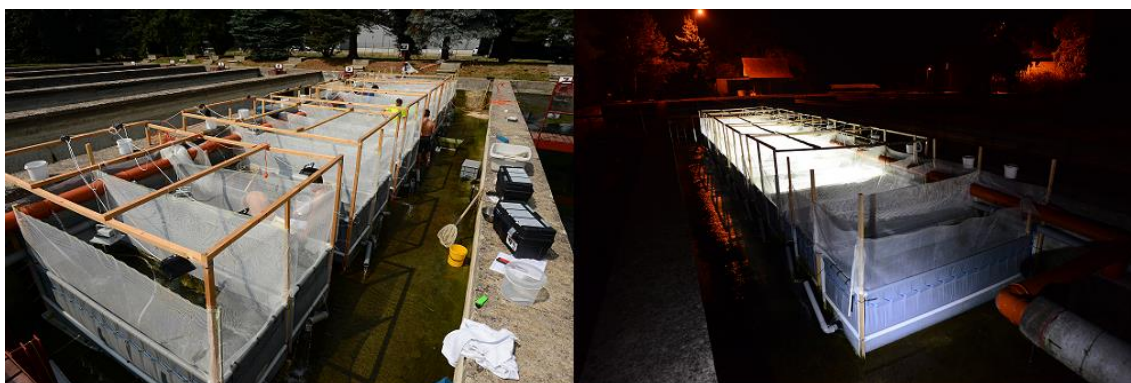
3.3. Experiment 3: Vliv načasování fotoperiodického opatření na oddálení nástupu puberty

3.3.1. Popis experimentálního systému pro odchov ryb

Odchov probíhal v průtočném systému o 12 závěsných plastových nádržích při objemu každé nádrže 2,7 m³ (300 x 100 x 90 cm). Průtok vody byl v každé nádrži nastaven na 3-3,5 m³.h⁻¹. Aerace byla zabezpečena pomocí vzduchovacího válce, rozvodů vzduchu a turbíny SCL 06-MS MOR (FPZ Blower technology). Z důvodu ochrany ryb před vyskakováním byl každý žlab obehnán sakovinou. Vyjma kontrolní skupiny chované při přirozené fotoperiodě byl každý žlab vybaven závěsným systémem s LED osvětlením. Celkem byly nad každým žlabem umístěny 2 zdroje světla sestávající se ze svítidla Epistar 50W LED CO8 (50W, 4000 lm, 6000 K) o nastavené intenzitě při hladině 250-1000 luxů (v závislosti na vzdálenosti od světelného zdroje). Intenzita osvětlení byla měřena podvodním luxmetrem Hydrolux (BGB Innovation). Z předchozího experimentu v Anníně bylo již zřejmé, že LED osvětlení se jeví jako rentabilnější zdroj světla. Z tohoto důvodu již nebylo využito metalhalogenových reflektorů. Na Obr. č. 8 jsou schematicky znázorněny odchovné žlaby včetně počátku fotostimulačního opatření, které odpovídalo testovaným skupinám ryb. Níže lze vidět fotografii odchovných žlabů pod LED zdrojem osvětlení (Obr. č. 9).



Obr. č. 8: Schéma odchovných žlabů s počátkem fotostimulačního opatření.



Obr. č. 9: Odchovné žlaby pod LED zdrojem světla (foto Radek Holcman).

3.3.2. Vlastní popis experimentu

Pro experiment načasování fotostimulace u sivena amerického byly využity ryby, které byly adaptovány na příjem kompletního granulovaného krmiva. Tito juvenilní jedinci o průměrné kusové hmotnosti 192 g byli nasazeni v počtu 150 ks na nádrž do celkem 12 nádrží, což představovalo počáteční biomasu 342 kg. Celkem bylo v pokusu použito 1800 ks ryb. Při testování vlivu načasování startu (zahájení) fotostimulace byly založeny tři experimentální skupiny lišící se termínem počátku aplikace prodloužené fotoperiody, z nichž každá jednotlivá skupina byla založena ve třech opakováních. Tyto skupiny lze charakterizovat takto:

- **6.VIII** – ryby, jimž byla prodloužena světelná perioda na 18 hodin světla pomocí LED svítidel ke dni 6. 8. 2015 (46 dní po letním slunovratu).
- **27.VIII** – ryby, jimž byla prodloužena světelná perioda na 18 hodin světla pomocí LED svítidel ke dni 27. 8. 2015 (67 dní po letním slunovratu).
- **19.IX** – ryby, jimž byla prodloužena světelná perioda na 18 hodin světla pomocí LED svítidel ke dni 19. 9. 2015 (91 dní po letním slunovratu).
- Pro porovnání výsledků testování byla rovněž založena kontrolní skupina (**KON**) chovaná při přirozených světelných podmínkách.

3.3.3. Denní režim a harmonogram celého pokusu

Experiment probíhal od 5. 8. do 24. 11. 2015. Tudíž celková délka se rovnala 112 krmným dnům, přičemž délka světelného dne byla k výše zmíněným datům, respektive skupinám ryb nastavena na 18 hodin světelné fáze: 6 hodin temné fáze a řízena automaticky pomocí digitálních spínacích hodin. Během tohoto období byly provedeny 4 kontrolní přelovení v intervalu 28 dní, při kterých byly monitorovány biometrické ukazatele odchovávaných ryb. Konkrétně se vždy jednalo o vzorek 50 ryb z každé nádrže. Biometrické měření ryb probíhalo po předchozí šetrné anestezii pomocí hřebíčkového oleje o koncentraci 0,03 ml.l⁻¹. Zjištění individuální hmotnosti, celkové délky těla, standardní délky těla, počtu ryb a celkové biomasy ryb bylo provedeno *in situ*. Krmný režim byl rozdělen do dvou krmných dávek (v 8:00 a v 15:00 hodin) v množství uvedené výrobcem krmiva s ohledem na restrikcii krmné dávky v závislosti na teplotě. Krmení probíhalo ručně z plastových kbelíků s předem naváženým krmivem. Množství spotřebovaného krmiva bylo monitorováno pro účely pozdější kalkulace krmného koeficientu. Zkrmováno bylo suché krmivo značky Biomar EFICO Alpha 756 3 mm a 4,5 mm. Nutriční složení je uvedeno v Příloze. č. 3.

Před a během plánovaného kontrolního přelovení ryb se nekrmilo. Dvakrát denně (v 8:00 a v 15:00 hodin) byla měřena teplota vody a koncentrace rozpuštěného kyslíku. Sledované hodnoty nasycení kyslíkem byly měřeny pomocí oxymetru Oxi 3210 (sonda Cellox® 325). Rovněž se zaznamenávaly případné úhyny, pro pozdější analýzu kumulativního a celkového přežití. Veškeré tyto údaje se zaznamenávaly do protokolu o krmném dnu.

V termínech 29. 9., 27. 10. a 23. 11. bylo odebráno 30 ks jikernaček a 30 ks mlíčáků z každé experimentální skupiny (10 ks jikernaček a 10 ks mlíčáků z každé nádrže) pro stanovení výtěžnosti a celkovou pitvu.

3.3.4. Sledované parametry

V tomto experimentu byly sledovány růstové parametry, výtěžnost a somatické indexy (viz Experiment 1). Výsledky byly následně vztaženy k jednotlivým termínům počátku prodloužení světelného režimu, respektive skupinám ryb. V prostorách Fakulty rybářství a ochrany vod se po jednotlivých kontrolních přeloveních stanovovala výtěžnost, odebíraly se vzorky gonád a orgánů dutiny tělní do Bouinova roztoku. Tyto vzorky se následně zpracovávaly, přičemž byly získány nezbytné informace pro vypočítání zmíněných ukazatelů. Z hlediska celkového finálního zhodnocení bylo

důležité zaznamenat, který z počátků fotostimulačních opatření má největší vliv na oddálení pohlavní dospělosti. Zároveň bylo také sledováno kumulativní a celkové přežití ryb. Ukázka z kontrolního přelovení je zobrazena v Příloze 4.

3.3.5. Zpracování získaných dat a údajů

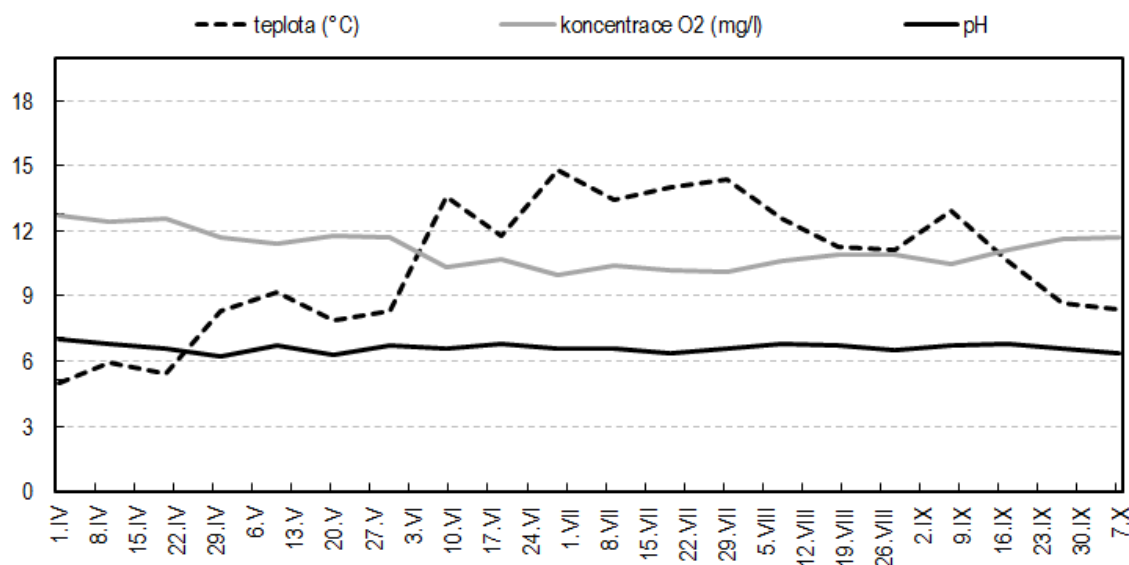
Zpracovaná data a údaje byly editovány v softwarovém programu Microsoft Excel 2010 (Microsoft, Inc., USA), kde byly za pomoci výše popsaných vzorců stanoveny vlastní výsledky, které byly posléze graficky zobrazeny. Tyto výsledky byly následně statisticky analyzovány softwarovým programem Statistica 12.0 (StatSoft., Inc., USA). Jelikož nebyla splněna normalita dat, tak byl k porovnání rozdílů použit Kruskal-Wallisův test. Všechny testy byly provedeny na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$.

4. Výsledky

4.1. Experiment 1: Porovnání účinnosti LED a metalhalogenových zdrojů světla pro oddálení nástupu puberty

4.1.1 Podmínky a průběh experimentu

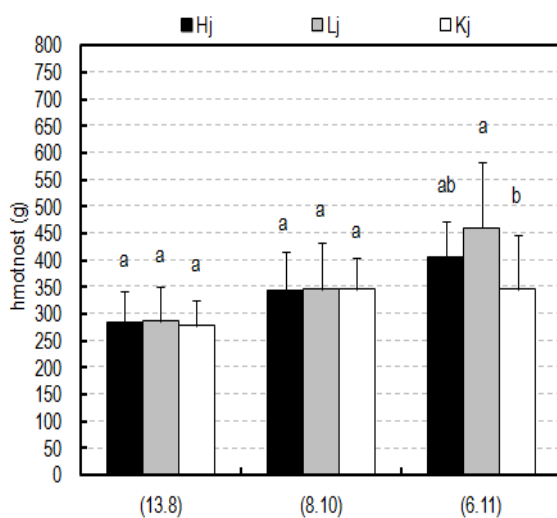
Z výsledků měření vyplývá, že průměrná teplota vody za celou dobu odchovu byla $10,7 \pm 2,9$ °C. Maximální naměřená teplota byla 14,9 °C a minimální 4,5 °C. V průběhu ověřování technologie nebyl zaznamenán žádný problém s nedostatkem rozpuštěného kyslíku ve vodě. Během odchovu byla maximální hladina rozpuštěného kyslíku ve vodě na úrovni $12,9 \text{ mg.l}^{-1}$ a minimální hladina rozpuštěného kyslíku ve vodě $9,7 \text{ mg.l}^{-1}$. Pokud jde o pH, tak maximální a minimální hodnoty byly zaznamenány na úrovni 7,1 a 6,2 respektive. Průběh výše zmíněných parametrů ve vodě během odchovu je znázorněn v Grafu č. 2. V průběhu celého experimentu nedocházelo k vyšším úhynům, respektive byly zaznamenány úhyny v řádu několika kusů. Z toho lze vyvodit výsledné finální přežití na úrovni vyšší než 99 %.



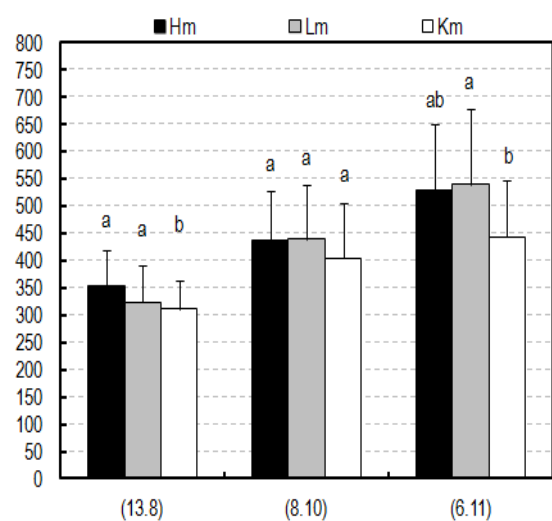
Graf č. 2: Průběh teploty, koncentrace rozpuštěného kyslíku a pH během odchovu sivenů.

4.1.2. Růstové parametry sivenů v průběhu pokusu dle pohlaví

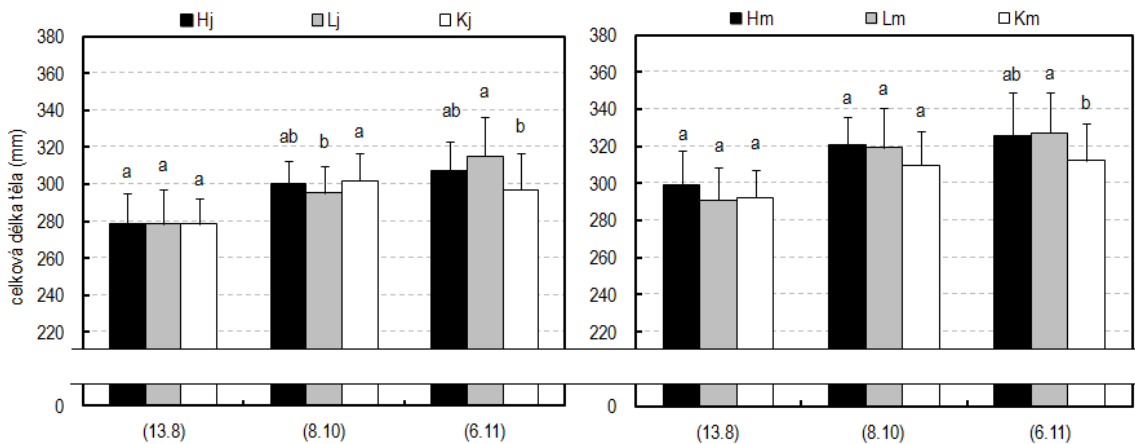
Graf č. 3 a Graf č. 4 zohledňuje v růstové analýze vliv pohlaví ryb a zdroje osvětlení na hmotnostní růst. Z těchto grafů je patrné, že ryby v testovaných skupinách přirůstaly po celé sledované období. Hmotnostní přírůstek byl zaznamenán i u mlíčáků v kontrolní skupině v posledním sledovaném období, avšak nedosahoval takových hodnot jako u ryb pod HAL a LED zdrojem osvětlení. Z hlediska délkových přírůstků (celkové délky) bylo pozorováno, že ryby testovaných skupin přirůstaly po celý experiment, na rozdíl od kontrolní skupiny, kde délkový růst v posledním sledovaném období stagnoval (Graf č. 5 a Graf č. 6).



Graf č. 3: Hmotnostní růst jikernaček chovaných v různých světelných podmínkách (n = 60). Hj = jikernačky pod HAL osvětlením, Lj = jikernačky pod LED osvětlením, Kj = jikernačky pod přirozeným osvětlením. Sloupce znázorňují průměr a chybové úsečky (směrodatnou odchylku).



Graf č. 4: Hmotnostní růst mlíčáků chovaných v různých světelných podmínkách (n = 60). Hm = mlíčáci pod HAL osvětlením, Lm = mlíčáci pod LED osvětlením, Km = mlíčáci pod přirozeným osvětlením. Sloupce znázorňují průměr a chybové úsečky (směrodatnou odchylku).

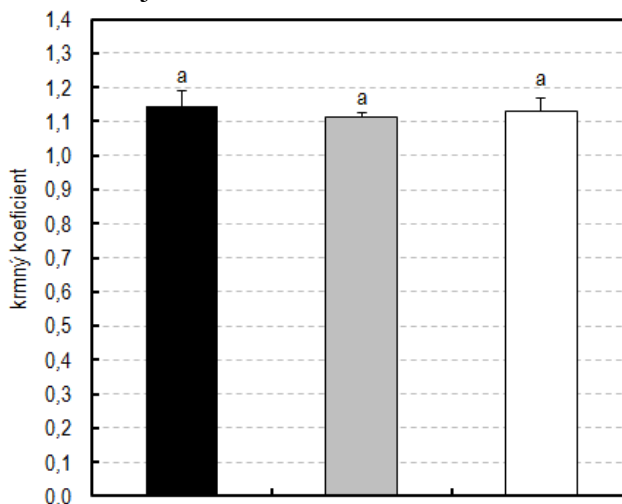


Graf č. 5: Délkový růst jikernaček chovaných v různých světelných podmínkách (n = 60). Hj = jikernačky pod HAL osvětlením, Lj = jikernačky pod LED osvětlením, Kj = jikernačky pod přirozeným osvětlením. Sloupce znázorňují průměr a chybové úsečky (směrodatnou odchylku).

Graf č. 6: Délkový růst mličáků chovaných v různých světelných podmínkách (n = 60). Hm = mličáci pod HAL osvětlením, Lm = mličáci pod LED osvětlením, Km = mličáci pod přirozeným osvětlením. Sloupce znázorňují průměr a chybové úsečky (směrodatnou odchylku).

4.1.3. Produkční ukazatel konverze krmiva a výtěžnost ryb

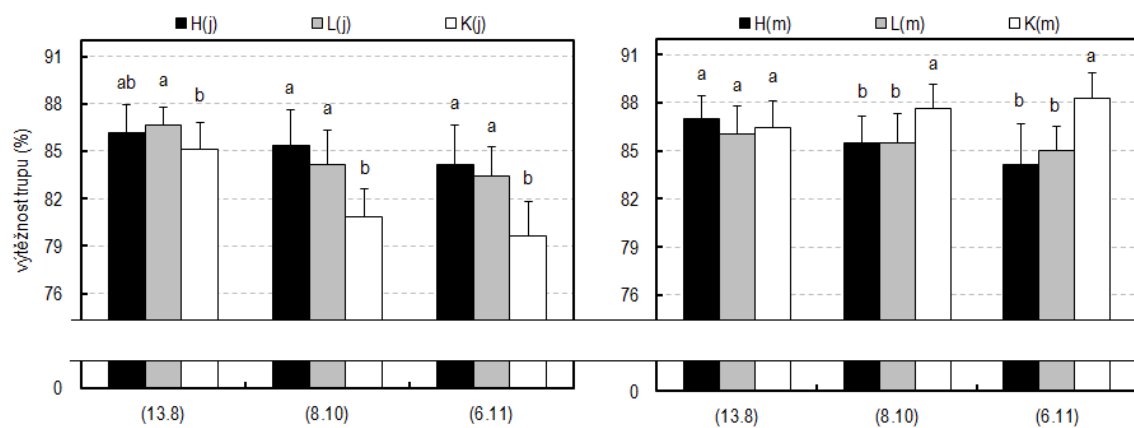
Chov sivenů v různých světelných podmínkách se neprojevil na výrazných změnách v krmném koeficientu u některé z testovaných skupin. Celkový krmný koeficient za sledované období znázorňuje Graf č. 7.



Graf č. 7: Hodnoty konverze krmiva v testovaných variantách za sledované období (n = 3). Sloupce znázorňují průměr a chybové úsečky (směrodatnou odchylku).

Při hodnocení výtěžnosti trupu byla pozorována redukce (5%) ve výtěžnosti u jikernaček chovaných v kontrolních podmínkách proti oběma skupinám ryb, které byly odchovány při prodloužené fotoperiodě (Graf č. 8). Výrazné rozdíly byly zaznamenány v termínu od 8. 10.

Naopak mlíčáci vykazovali ve skupinách s prodlouženou fotoperiodou snížené hodnoty výtěžnosti trupu (kuchaných těl). Podobně jako u jikernaček byly rozdíly zaznamenány až od 8. 10. (Graf č. 9).

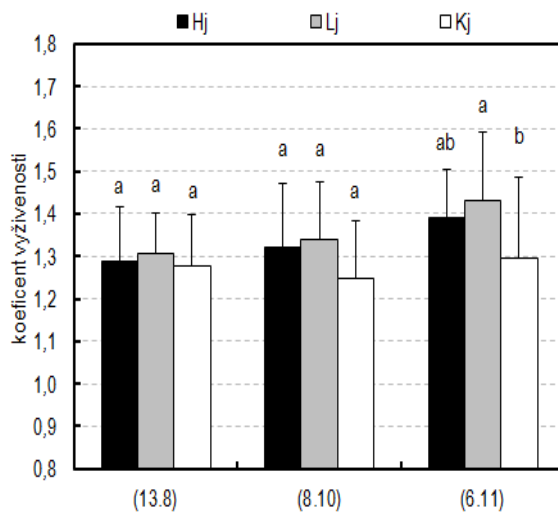


Graf č. 8: Výtěžnost trupu jikernaček chovaných v různých světelných podmínkách (n = 60). Hj = jikernačky pod halogenovým osvětlením, Lj = jikernačky pod LED osvětlením, Kj = jikernačky pod přirozeným osvětlením. Sloupce znázorňují průměr a chybové úsečky (směrodatnou odchylku).

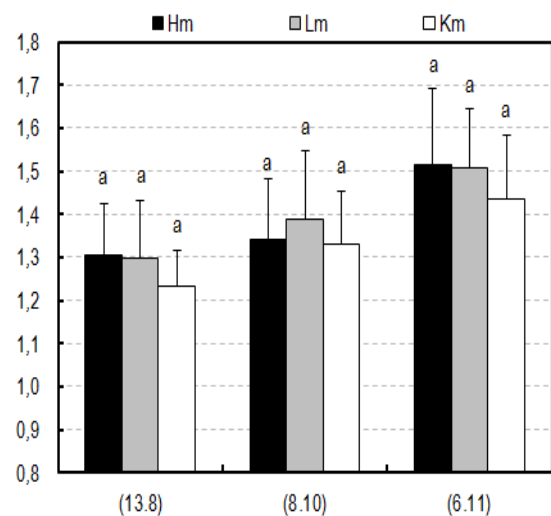
Graf č. 9: Výtěžnost trupu mlíčáků chovaných v různých světelných podmínkách (n = 60). Hm = mlíčáci pod HAL osvětlením, Lm = mlíčáci pod LED osvětlením, Km = mlíčáci pod přirozeným osvětlením. Sloupce znázorňují průměr a chybové úsečky (směrodatnou odchylku).

4.1.4. Somatické indexy

Graf č. 10 a Graf č. 11 vyjadřuje vliv testovaného osvětlení na koeficient výživného stavu se zřetelem na jednotlivá pohlaví. Z těchto grafů vyplývá, že v případě mlíčáků nebyly pozorovány signifikantní změny ve prospěch testovaných skupin. U jikernaček byly shledány statisticky významné změny až v posledním sledovaném období, kdy ryby pod LED zdrojem osvětlení měly vyšší hodnoty koeficientu vyživenosti než ryby kontrolní.

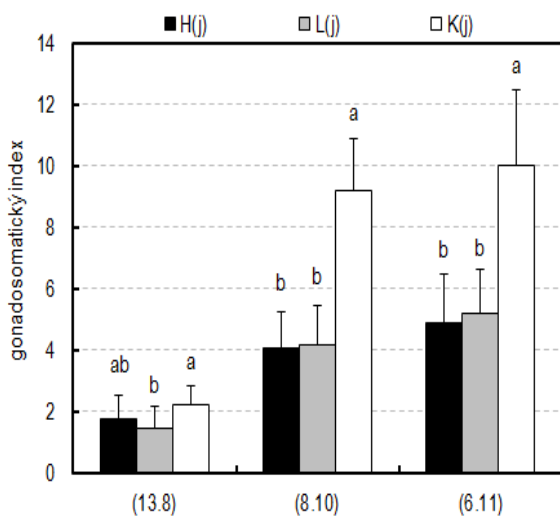


Graf č. 10: Koeficient vyživenosti jikernaček chovaných v různých světelných podmínkách (n = 60). Hj = jikernačky pod halogenovým osvětlením, Lj = jikernačky pod LED osvětlením, Kj = jikernačky pod přirozeným osvětlením. Sloupce znázorňují průměr a chybové úsečky (směrodatnou odchylku).

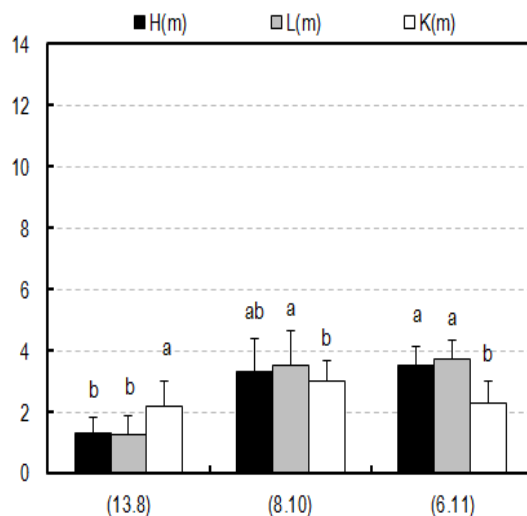


Graf č. 11: Koeficient vyživenosti mlíčáků chovaných v různých světelných podmínkách (n = 60). Hm = mlíčáci pod HAL osvětlením, Lm = mlíčáci pod LED osvětlením, Km = mlíčáci pod přirozeným osvětlením. Sloupce znázorňují průměr a chybové úsečky (směrodatnou odchylku).

U samičího pohlaví vykazovaly jikernačky ve skupinách s prodlouženou fotoperiodou snížení GSI až o 55 %, přičemž nejvýraznějších rozdílů bylo dosaženo v obdobích 8. 10., respektive 6. 11. (Graf č. 12). U mlíčáků pod HAL a LED zdrojem osvětlení bylo pozorováno zpomalení vývoje testes v termínu 13. 8. (o 40 %) s postupným vyrovnáním hodnot GSI (8. 10.) až k vyšším hodnotám v termínu 6. 11. (Graf č. 13).

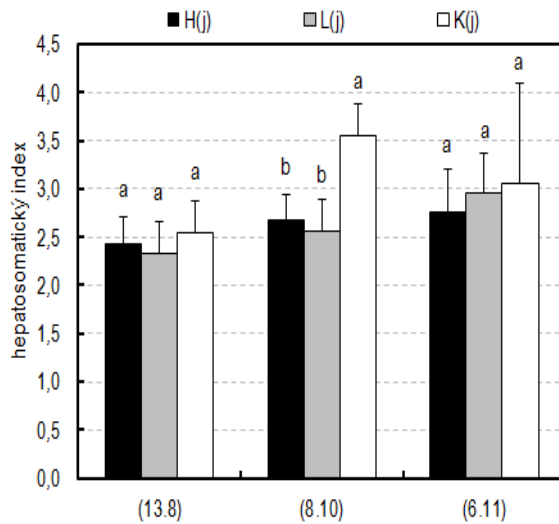


Graf č. 12: Gonadosomatický index jikerkaček chovaných v různých světelných podmínkách (n = 60). Hj = jikerkačky pod halogenovým osvětlením, Lj = jikerkačky pod LED osvětlením, Kj = jikerkačky pod přirozeným osvětlením. Sloupce znázorňují průměr a chybové úsečky (směrodatnou odchylku).

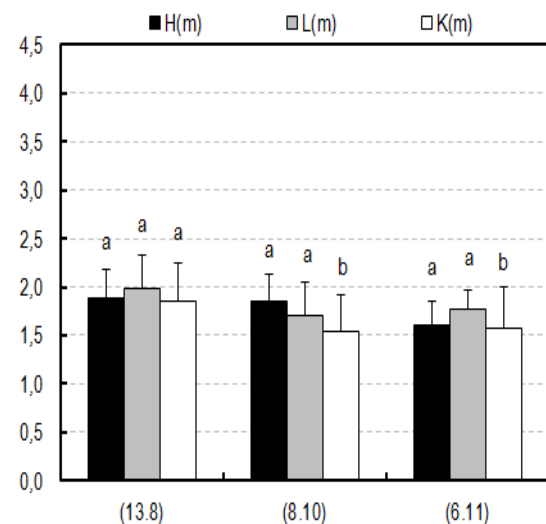


Graf č. 13: Gonadosomatický index mlíčáků chovaných v různých světelných podmínkách (n = 60). Hm = mlíčáci pod halogenovým osvětlením, Lm = mlíčáci pod LED osvětlením, Km = mlíčáci pod přirozeným osvětlením. Sloupce znázorňují průměr a chybové úsečky (směrodatnou odchylku).

Z pozorování hodnot hepatosomatického indexu lze konstatovat, že zvýšených hodnot HSI (o 28 %) bylo zaznamenáno k datu 8. 10. u jikernaček v kontrolní skupině. Následovalo postupné vyrovnání hodnot se skupinami ryb v prodloužené fotoperiodě (Graf č. 14). U mlíčáků byly pozorovány statisticky významné rozdíly v HSI v období 8. 10., respektive 6. 11., kdy ryby v kontrolní skupině vykazovaly nižší hodnoty HSI (Graf č. 15).

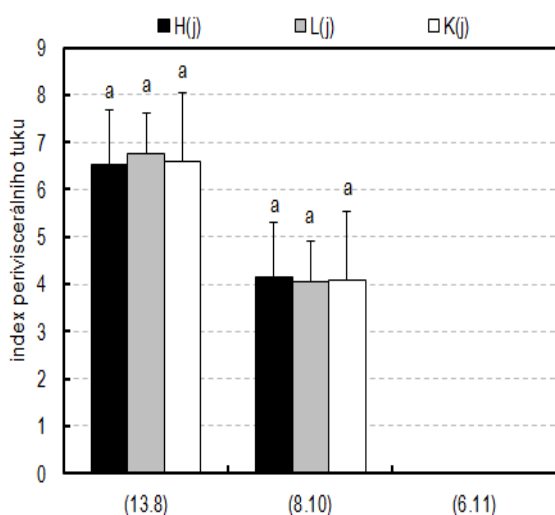


Graf č. 14: Hepatosomatický index jikernaček chovaných v různých světelných podmínkách (n = 60). Hj = jikernačky pod halogenovým osvětlením, Lj = jikernačky pod LED osvětlením, Kj = jikernačky pod přirozeným osvětlením. Sloupce znázorňují průměr a chybové úsečky (směrodatnou odchylku).

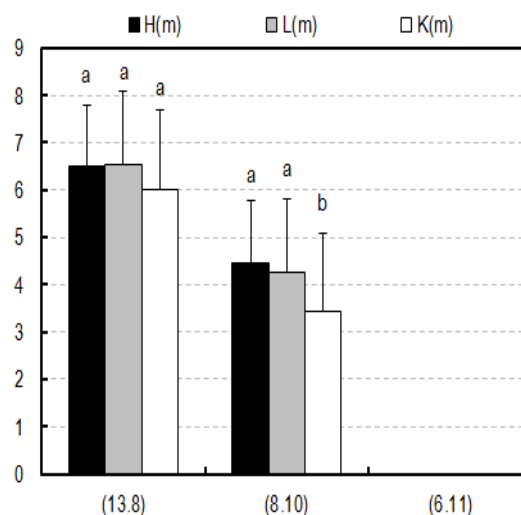


Graf č. 15: Hepatosomatický index mlíčáků chovaných v různých světelných podmínkách. (n = 60). Hm = mlíčáci pod halogenovým osvětlením, Lm = mlíčáci pod LED osvětlením, Km = mlíčáci pod přirozeným osvětlením. Sloupce znázorňují průměr a chybové úsečky (směrodatnou odchylku).

V hodnotách indexu periviscerálního tuku byl v průběhu testování zaznamenán klesající trend a to jak při porovnání jikernaček (Graf č. 16), tak i mlíčáků (Graf č. 17). Bohužel z důvodu znehodnocení vzorků nebylo možné vyhodnotit tuto hodnotu k datu 6. 11.

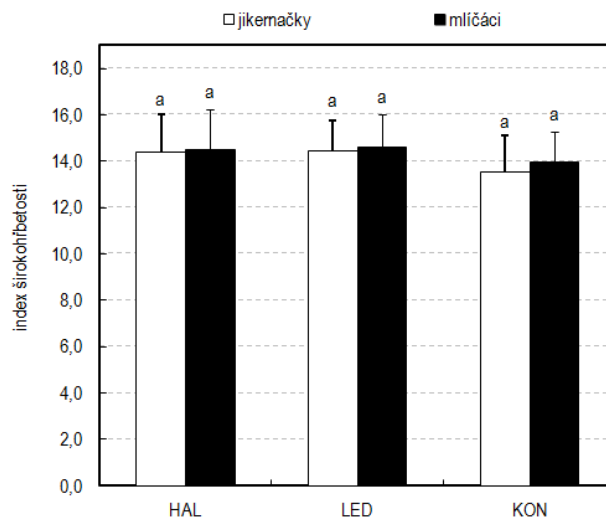


Graf č. 16: Index periviscerálního tuku u jikernaček chovaných v různých světelných podmínkách (n = 60). Hj = jikernačky pod halogenovým osvětlením, Lj = jikernačky pod LED osvětlením, Kj = jikernačky pod přirozeným osvětlením. Sloupce znázorňují průměr a chybové úsečky (směrodatnou odchylku).

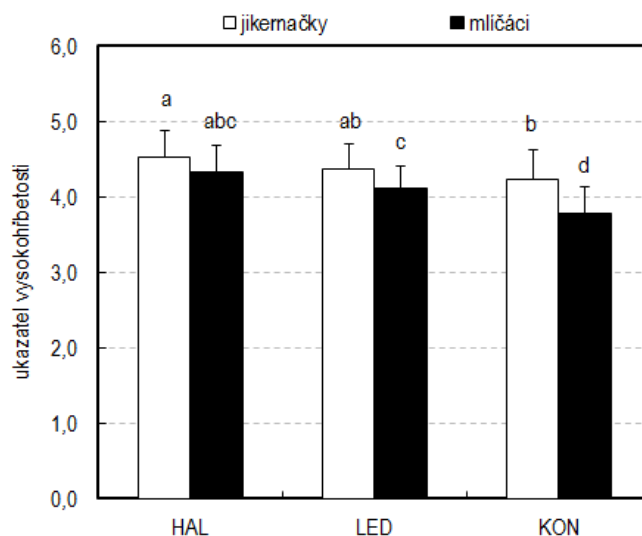


Graf č. 17: Index periviscerálního tuku u mlíčáků chovaných v různých světelných podmínkách (n = 60). Hm = mlíčáci pod halogenovým osvětlením, Lm = mlíčáci pod LED osvětlením, Km = mlíčáci pod přirozeným osvětlením. Sloupce znázorňují průměr a chybové úsečky (směrodatnou odchylku).

K datu 6. 11. bylo provedeno porovnání vybraných morfologických ukazatelů, a to indexu širokohřbetosti (Graf č. 18) a ukazatele vysokohřbetosti (Graf č. 19). Bylo zaznamenáno snížení hodnot ukazatele vysokohřbetosti u mlíčáků, tzn, že docházelo ke zvyšování jejich těla. Tyto změny byly zvláště patrné u mlíčáků z kontrolní skupiny. Naopak nebyly zaznamenány změny v indexu širokohřbetosti.



Graf č. 18: Index širokohřbetosti u jikernaček a mličáků chovaných v různých světelných podmínkách (n = 60). Sloupce znázorňují průměr a chybové úsečky (směrodatnou odchylku).

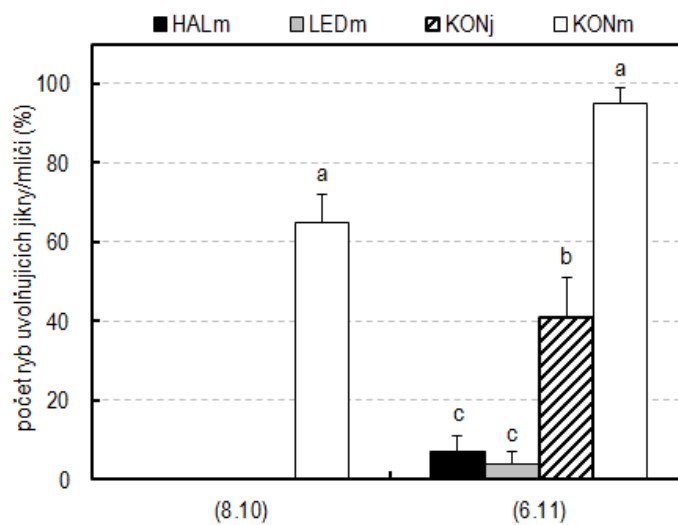


Graf č. 19: Ukazatel vysokohřbetosti u jikernaček a mličáků chovaných v různých světelných podmínkách (n = 60). Sloupce znázorňují průměr a chybové úsečky (směrodatnou odchylku).

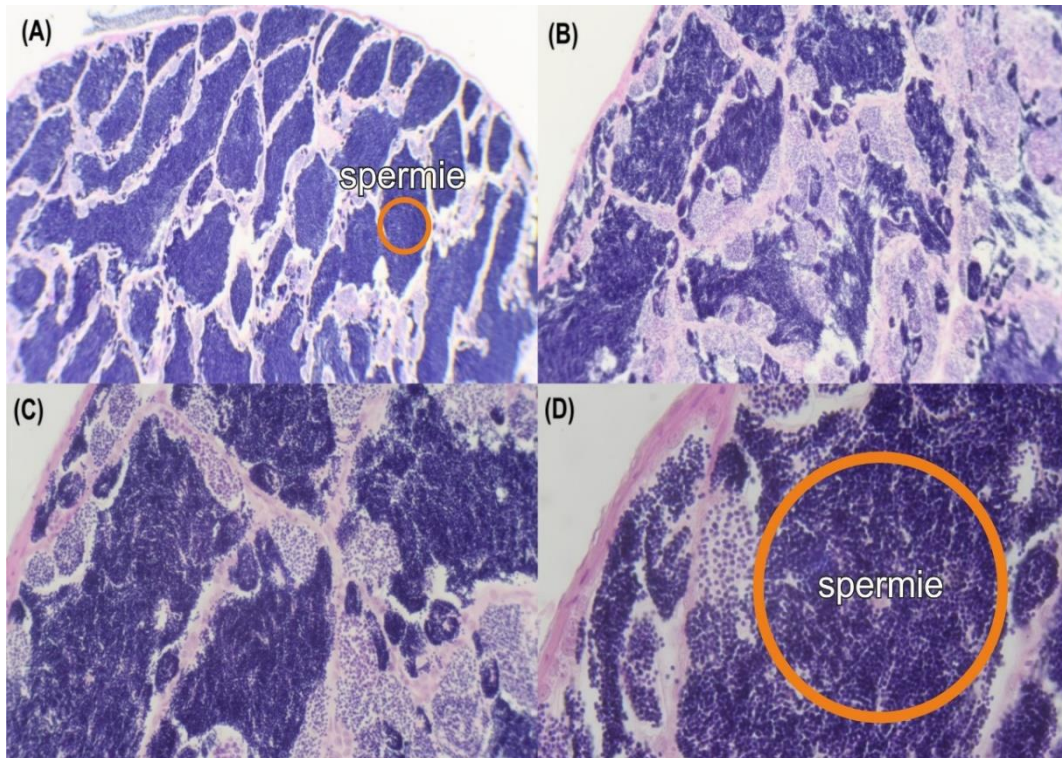
4.1.5. Sledování stupně vývoje gonád a procenta ryb připravených k výtěru

Graf č. 20 znázorňuje procentuální podíl ryb připravených k výtěru. Z tohoto grafu vyplývá, že v termínu 8. 10. bylo již průměrně 65 % mličáků v kontrole reprodukčně aktivních. Naopak nebyly zaznamenány žádné ryby připravené k výtěru z fotostimulovaných skupin. V testování provedeném k datu 6. 11. se již objevily i

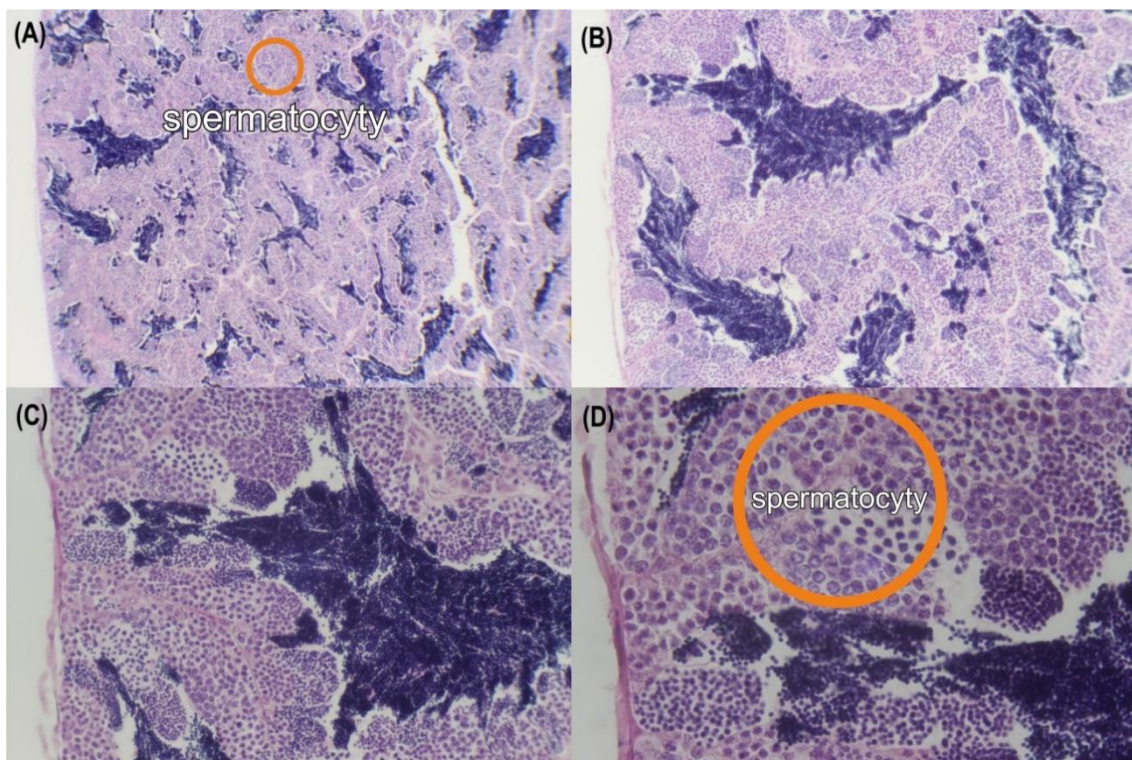
reprodukčně aktivní ryby z fotostimulovaných skupin, ale tento podíl byl naprosto minoritní a navíc šlo ve všech případech o mlíčáky. Z výsledků histologického vyšetření mlíčáků, které bylo provedeno k datu 8. 10., vyplývá, že mlíčáci v kontrolní skupině vykazovaly naprostou převahu pohlavních buněk ve stádiu spermií připravených k reprodukci (Obr. č. 10). Ve skupinách ryb chovaných v prodloužené fotoperiodě pod LED (Obr. č. 11) a HAL osvětlením (Obr. č. 12) byla většina buněk ve stádiu spermatocytů (ve velmi omezené míře i spermatogonií).



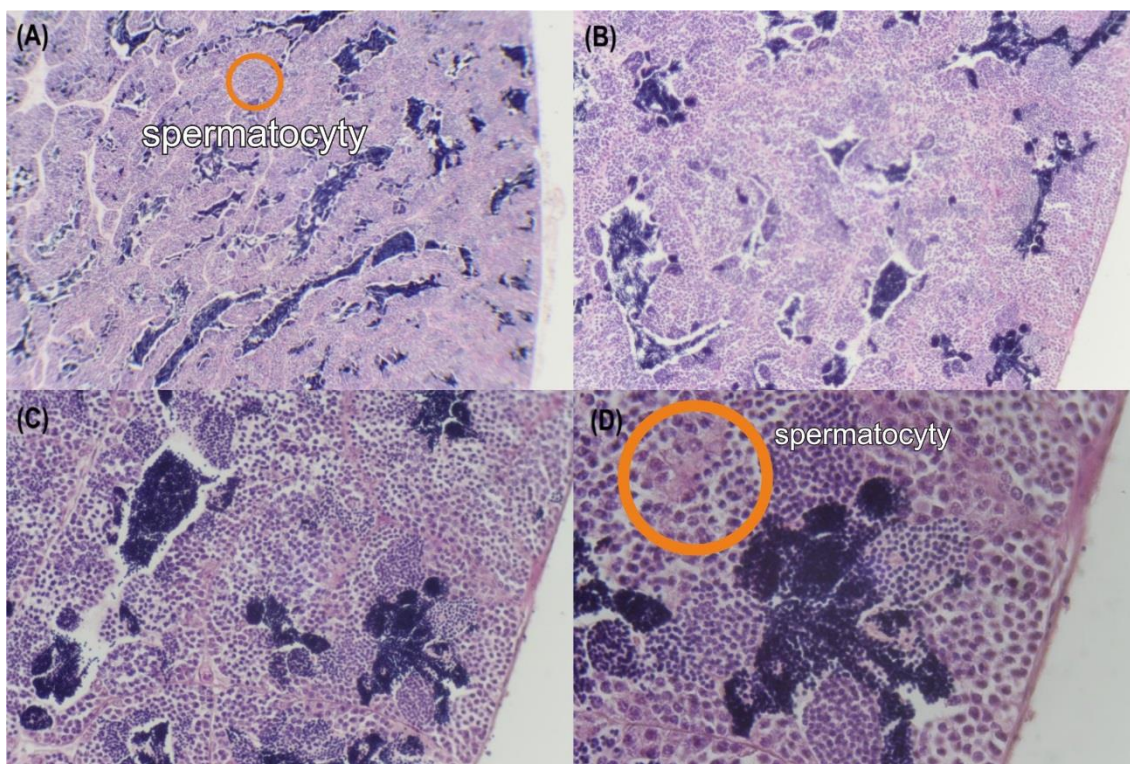
Graf č. 20: Porovnání připravenosti k výtěru u mlíčáků a jikernaček chovaných v různých světelných podmínkách. Sloupce znázorňují průměr a chybové úsečky (směrodatnou odchylku).



Obr. č. 8: Histologický řez testes sivena amerického chovaného pod přirozeným osvětlením při zvětšení 40x (A), 100x (B), 200x (C) a 400x (D) (foto Zuzana Linhartová).



Obr. č. 9: Histologický řez testes sivena amerického chovaného pod LED osvětlením při zvětšení 40x (A), 100x (B), 200x (C) a 400x (D) (foto Zuzana Linhartová).



Obr. č. 10: Histologický řez testes sivena amerického chovaného pod halogenovým osvětlením při zvětšení 40x (A), 100x (B), 200x (C) a 400x (D) (foto Zuzana Lihartová).

4.1.6. Porovnání vybarvení (svatebního šatu) a morfologických rozdílů

Při porovnání zbarvení a morfologie byly shledány výrazné rozdíly mezi fotostimulovanými skupinami ryb a rybami v kontrolní skupině. Tyto rozdíly byly zvláště výrazné u mlíčáků (Obr. č. 13), méně již u jikernaček (Obr. č. 14). V příloze č. 5 jsou zobrazeny největší rozdíly mezi testovanými mlíčáky. Pohlavní dimorfismus spodiny těla je zobrazen v Příloze č. 6. Testování bylo provedeno k datu 6. 11.

HAL

LED

kontrola



Obr. č. 11: Rozdíly ve zbarvení (svatebním šatu) u mlíčáků sivena amerického chovaného pod halogenovým (první sloupec), LED (druhý sloupec) a přirozeným osvětlením (třetí sloupec), (foto Vlastimil Stejskal).

HAL

LED

kontrola



Obr. č. 12: Rozdíly ve zbarvení (svatebním šatu) u jikernaček sivena amerického chovaného pod halogenovým (první sloupec), LED (druhý sloupec) a přirozeným osvětlením (třetí sloupec), (foto Vlastimil Stejskal).

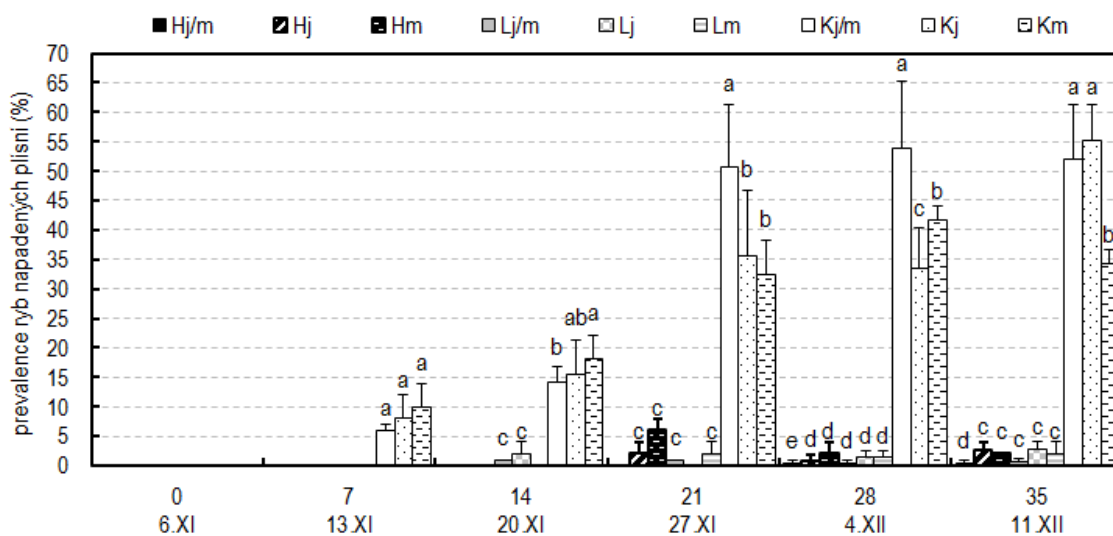
4.1.7. Spotřeba elektrické energie

Co se spotřeby elektrické energie týče, tak metalhalogenovými reflektory bylo za období od 18. 6. do 6. 11. spotřebováno 9 200 kWh elektrické energie na tři žlaby pro HAL skupinu ryb. V případě použití LED technologie bylo za stejné období spotřebováno 1 150 kWh elektrické energie na tři žlaby pro LED skupinu ryb.

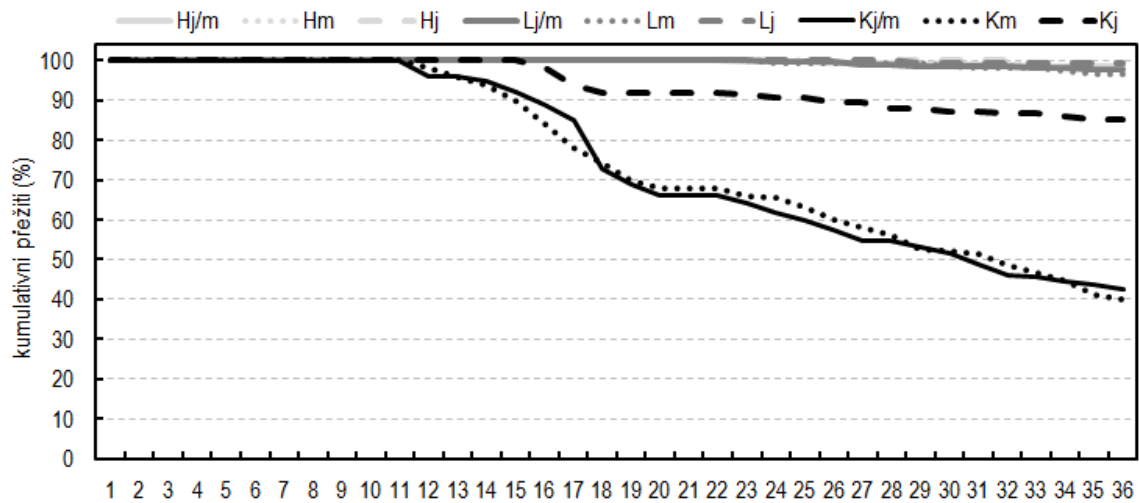
4.2. Experiment 2: Fotostimulace pomocí LED a metalhalogenových zdrojů jako prevence ztrát u sivenů v podzimním období

Z výsledků krátkodobého experimentu (35 dní) je patrné, že proces projevu onemocnění v kontrolní skupině je rychlý a první napadené ryby se objevují již za 7 dní po převozu s postupně vzrůstající tendencí až k poslednímu dni experimentu. Během prvních 14 dní pozorování nebyly zaznamenány příznaky sekundární mykózy na rybách chovaných v podmínkách prodloužené fotoperiody. Od 14. dne se postupně objevovaly ojedinělé výskyty mykotického onemocnění ve skupinách LED a HAL testovaných mlíčáků (Graf č. 21). Mykoticky zasažený jedinec je zobrazen v Příloze č. 7.

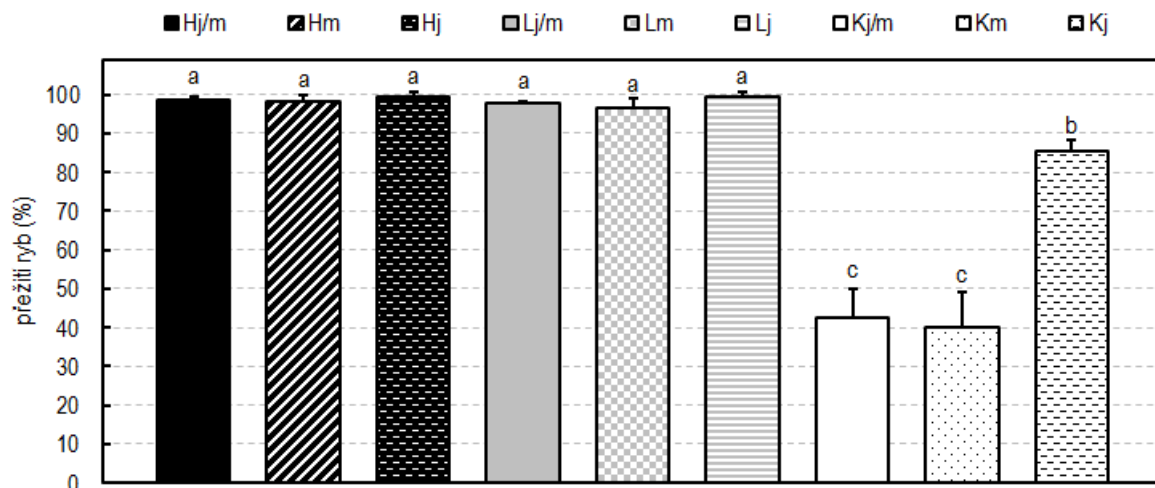
Z Grafu č. 22, který znázorňuje kumulativní přežití ryb v % je patrné, že denní kusové úhyny jsou vyšší v kontrolní skupině ryb, především pak v celosamčí a smíšené obsádce. Žádné zvýšení denních kusových ztrát nebylo pozorováno u fotostimulovaných skupin ryb bez ohledu na pohlaví a variantu osvětlení. Celkové přežití s nejvíce mykoticky zasaženými kontrolními skupinami (celosamčí a smíšená obsádka) kleslo na úroveň 45 % po 35 dnech sledování (Graf č. 23).



Graf č. 21: Prevalence ryb napadených sekundárními plísněmi ve skupinách sivenů odchovaných při použití prodloužené fotoperiody a v kontrolní skupině po převozu ryb na jiné odchovné zařízení. Hj/m = smíšená obsádka (50:50 %) odchovaná pod halogenovým osvětlením, Hj = jikernačky (100 %) odchované pod halogenovým osvětlením, Hm = mlíčáci (100 %) odchovaní pod halogenovým osvětlením, Lj/m = smíšená obsádka (50:50 %) odchovaná pod LED osvětlením, Lj = jikernačky (100 %) odchované pod LED osvětlením, Lm = mlíčáci (100%) odchovaní pod LED osvětlením, Kj/m = smíšená obsádka (50:50 %) odchovaná pod přirozeným osvětlením, Kj = jikernačky (100 %) odchované pod přirozeným osvětlením, Km = mlíčáci (100 %) odchovaní pod přirozeným osvětlením. Sloupce znázorňují průměr a chybové úsečky (směrodatnou odchylku).



Graf č. 22: Kumulativní přežití sivenů napadených sekundárními plísněmi ve skupinách sivenů odchovaných při použití prodloužené fotoperiody a v kontrolní skupině po převozu ryb na jiné odchovné zařízení. Hj/m = smíšená obsádka (50:50 %) odchovaná pod halogenovým osvětlením, Hj = jikernačky (100 %) odchované pod halogenovým osvětlením, Hm = mlíčáci (100 %) odchovaní pod halogenovým osvětlením, Lj/m = smíšená obsádka (50:50 %) odchovaná pod LED osvětlením, Lj = jikernačky (100 %) odchované pod LED osvětlením, Lm = mlíčáci (100%) odchovaní pod LED osvětlením, Kj/m = smíšená obsádka (50:50 %) odchovaná pod přirozeným osvětlením, Kj = jikernačky (100 %) odchované pod přirozeným osvětlením, Km = mlíčáci (100 %) odchovaní pod přirozeným osvětlením. Sloupce znázorňují průměr a chybové úsečky (směrodatnou odchylku).

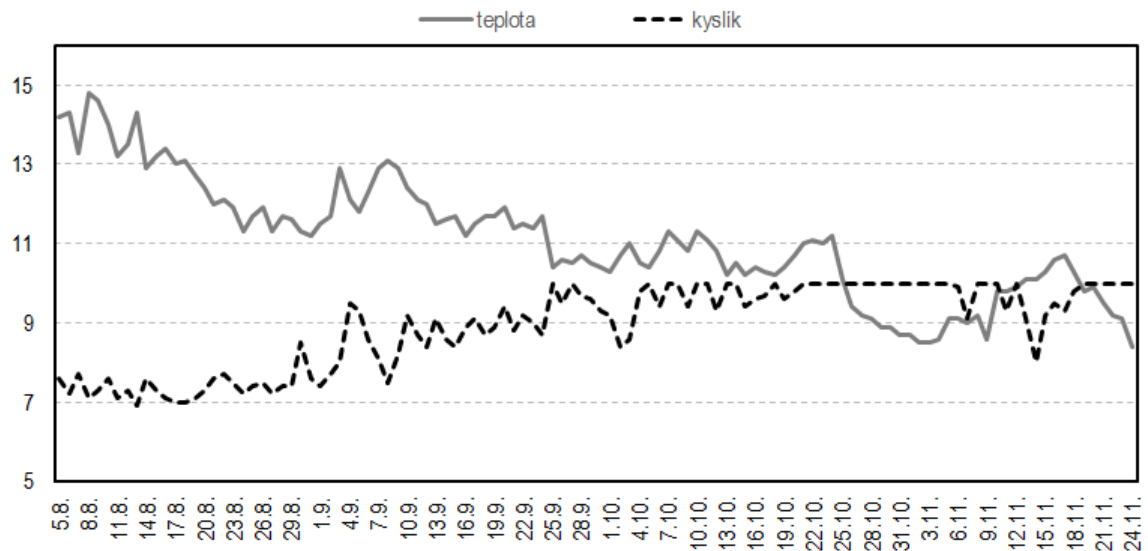


Graf č. 23: Finální přežití sivenů v podzimním období (11. 12.) odchovaných při použití prodloužené fotoperiody a v kontrolní skupině po převozu ryb na jiné odchovné zařízení. Hj/m = smíšená obsádka (50:50 %) odchovaná pod halogenovým osvětlením, Hj = jikernačky (100 %) odchované pod halogenovým osvětlením, Hm = mlíčáci (100 %) odchovaní pod halogenovým osvětlením, Lj/m = smíšená obsádka (50:50 %) odchovaná pod LED osvětlením, Lj = jikernačky (100 %) odchované pod LED osvětlením, Lm = mlíčáci (100%) odchovaní pod LED osvětlením, Kj/m = smíšená obsádka (50:50 %) odchovaná pod přirozeným osvětlením, Kj = jikernačky (100 %) odchované pod přirozeným osvětlením, Km = mlíčáci (100 %) odchovaní pod přirozeným osvětlením. Sloupce znázorňují průměr a chybové úsečky (směrodatnou odchylku).

4.3. Experiment 3: Vliv načasování fotoperiodického opatření pro oddálení nástupu puberty

4.3.1. Podmínky a průběh experimentu

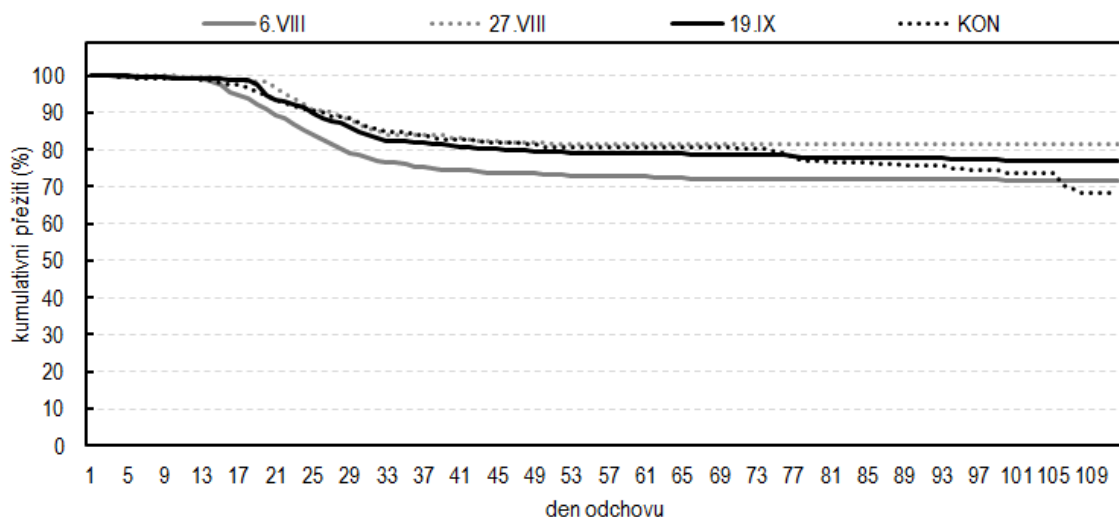
Z výsledků měření vyplývá, že teplota vody se pohybovala v rozmezí 8,4 až 14,8 °C. Koncentrace rozpuštěného kyslíku během sledovaného období kolísala od 6,9 do 10 mg.l⁻¹. Výše naměřené hodnoty odpovídají fyziologickým nárokům lososovitých ryb (Graf č. 24).



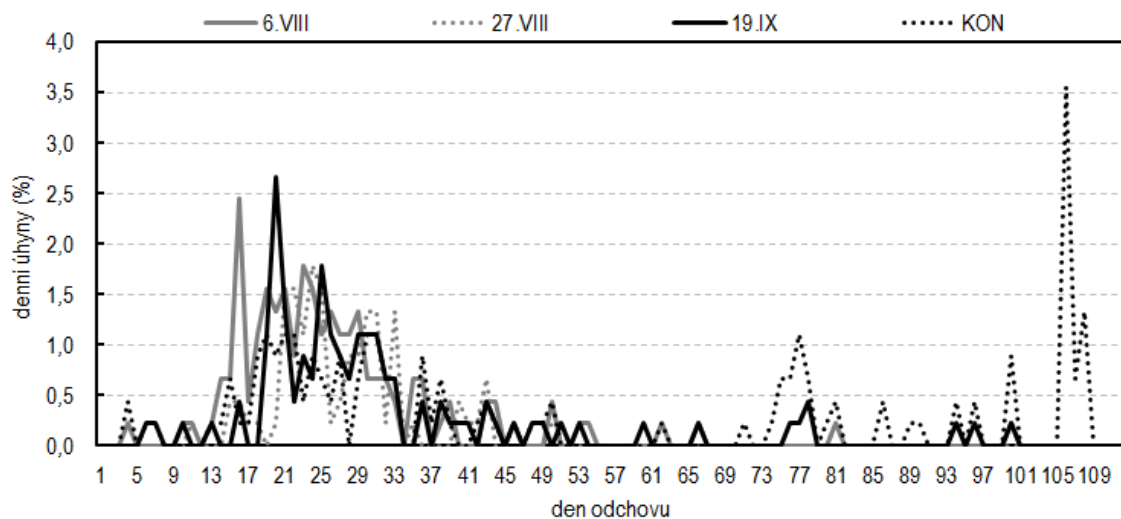
Graf č. 24: Průběh teploty a koncentrace rozpuštěného kyslíku během odchovu sivenů.

4.3.2. Kumulativní a celkové přežití ryb

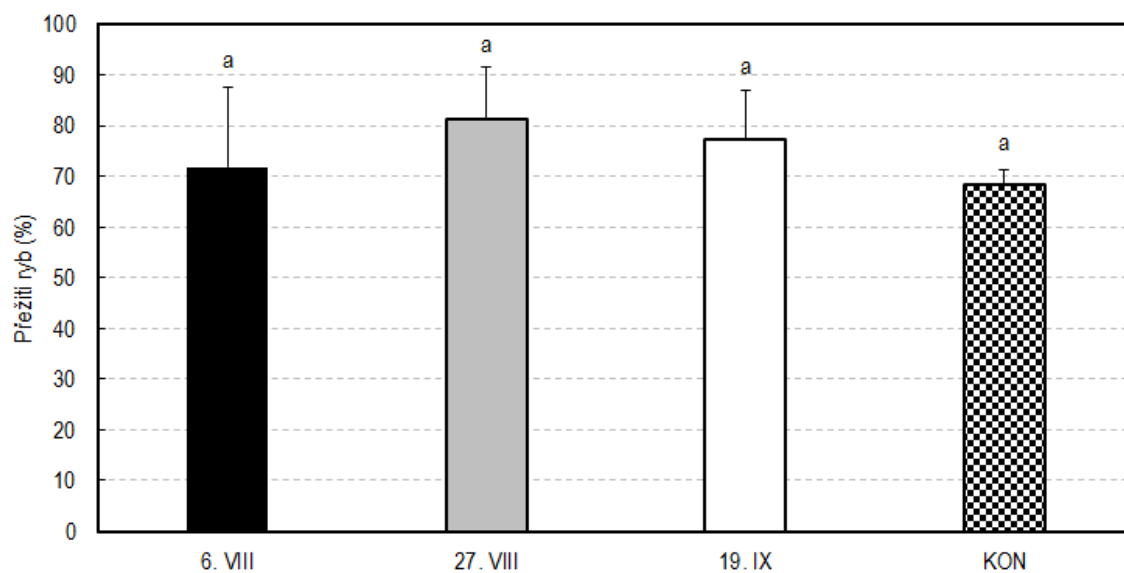
V Grafu č. 25 je zobrazeno kumulativní přežití sivenů v průběhu celého experimentu. Graf č. 26 znázorňuje denní úhyny. Z těchto grafů je patrné, že byly pozorovány zvýšené úhyny ve všech testovaných skupinách a kontroly od 13. dne experimentu do zhruba 45. dne experimentu. Od 73. dne experimentu byl zaznamenán postupně zvyšující se úhyn v kontrolní skupině s nejvyšším progresem mezi 105. až 109. dnem. Graf č. 27 zobrazuje finální přežití ryb k poslednímu dni experimentu.



Graf č. 25: Kumulativní přežití testovaných skupin a kontroly v průběhu experimentu (n=3).



Graf č. 26: Denní úhyny testovaných skupin a kontroly v průběhu experimentu.

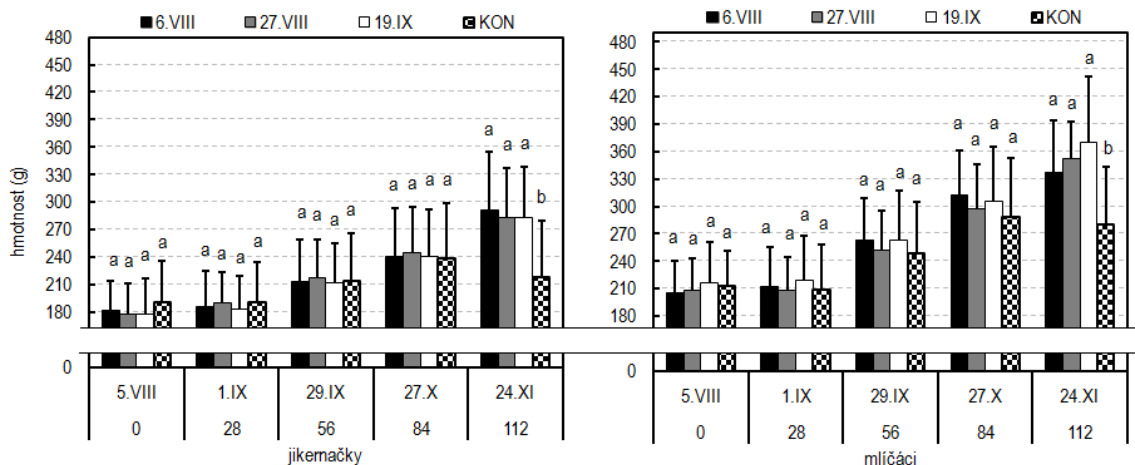


Graf č. 27: Finální přežití testovaných skupin a kontroly k poslednímu dni experimentu (n=3). Sloupce znázorňují průměr a chybové úsečky (směrodatnou odchylku).

4.3.3. Růstové parametry sivenů v průběhu pokusu dle pohlaví

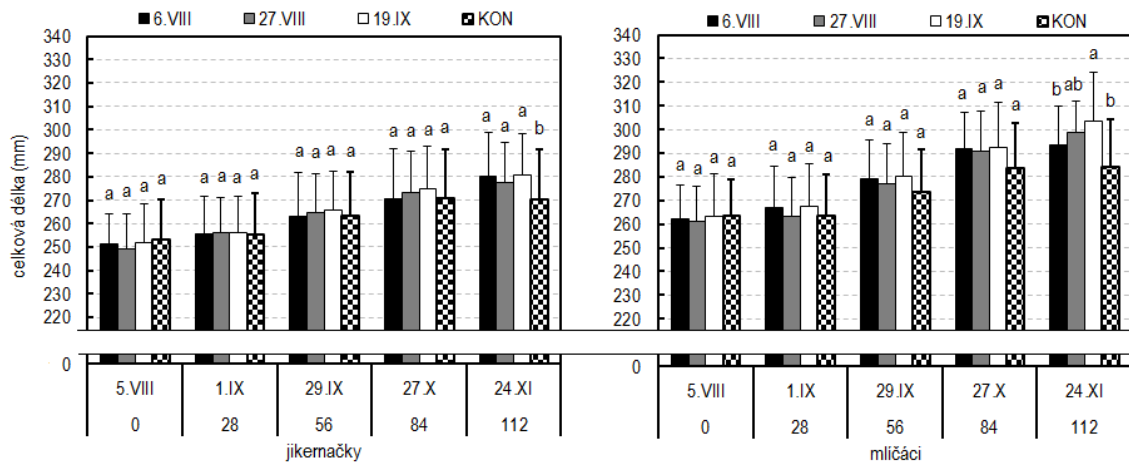
V Grafu č. 28 a Grafu č. 29 je znázorněn hmotnostní růst jikernaček, respektive mlíčáků v gramech. V případě obou pohlaví lze konstatovat, že hmotnost ryb měla vzestupnou tendenci až do přelovení 27. 10. (avšak nebylo shledáno statisticky významných rozdílů mezi jednotlivými skupinami). Od této doby až do posledního přelovení (24. 11.) byl v kontrolní skupině registrován úbytek na váze, především v případě jikernaček. Ryby testovaných skupin ale nadále zvyšovaly svou hmotnost. Tudíž všechny skupiny ryb chované za prodloužené fotoperiody vykazovaly v tomto posledním sledovaném období vyšší hmotnostní růst než ryby kontrolní a to bez ohledu na počátek fotostimulačního opatření.

Z hlediska délkového růstu můžeme sledovat obdobný trend, kdy se růst všech skupin postupně zvyšoval až do 27. 10. (bez sledovaných rozdílů mezi skupinami). V posledním sledovaném období růst jikernaček i mlíčáků stagnoval. Testované skupiny ryb s prodlouženou fotoperiodou ale stále délkově přirůstaly (Graf. č. 30 a Graf č. 31).



Graf č. 28: Hmotnostní růst jikernaček v závislosti na různé historii aplikace fotostimulace vyjádřený pomocí průměrné hmotnosti (n = 60). Sloupce znázorňují průměr a chybové úsečky (směrodatnou odchylku).

Graf č. 29: Hmotnostní růst mlíčáků v závislosti na různé historii aplikace fotostimulace vyjádřený pomocí průměrné hmotnosti (n = 60). Sloupce znázorňují průměr a chybové úsečky (směrodatnou odchylku).

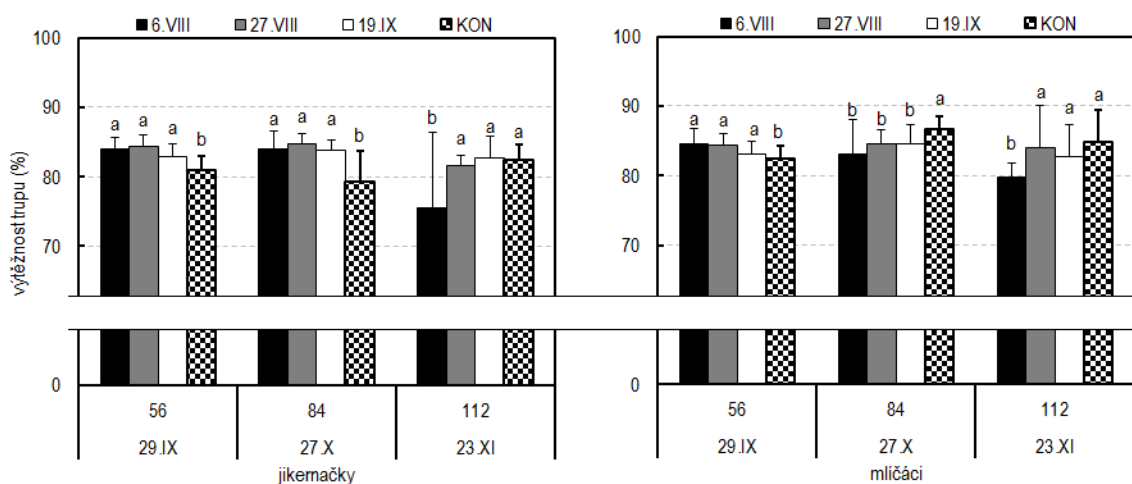


Graf č. 30: Délkový růst jikernaček v závislosti na různé historii aplikace fotostimulace vyjádřený pomocí celkové délky těla (n = 60). Sloupce znázorňují průměr a chybové úsečky (směrodatnou odchylku).

Graf č. 31: Délkový růst mlíčáků v závislosti na různé historii aplikace fotostimulace vyjádřený pomocí celkové délky těla (n = 60). Sloupce znázorňují průměr a chybové úsečky (směrodatnou odchylku).

4.3.4. Výtěžnost ryb a produkční ukazatel konverze krmiva

Ve vyhodnocení výtěžnosti trupu bylo u jikernaček v datech 29. 9. a 27. 10. shledáno, že ryby v kontrolní skupině měly prokazatelně nižší výtěžnost. Rozdíly se pohybovaly až na úrovni 5 % (Graf č. 32). U mlíčáků bylo nejprve zaznamenáno zvýšených hodnot ve výtěžnosti ve prospěch všech testovaných skupin oproti kontrole, aby se tato situace diametrálně odlišně změnila k datu druhého kontrolního přelovení (27. 10.), kdy výtěžnost v kontrolní skupině dosahovala 86,5 % (Graf č. 33). Z důvodu onemocnění obsádek a následných úhynů nebyl hodnocen produkční ukazatel konverze krmiva.

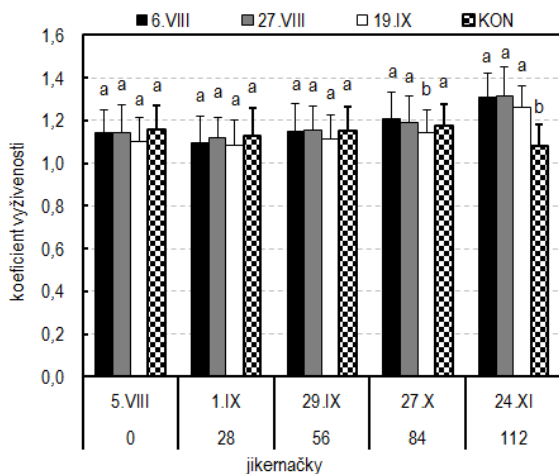


Graf č. 32: Výtěžnost trupu u jikernaček v závislosti na různé historii aplikace fotostimulace (n = 60). Sloupce znázorňují průměr a chybové úsečky (směrodatnou odchylku).

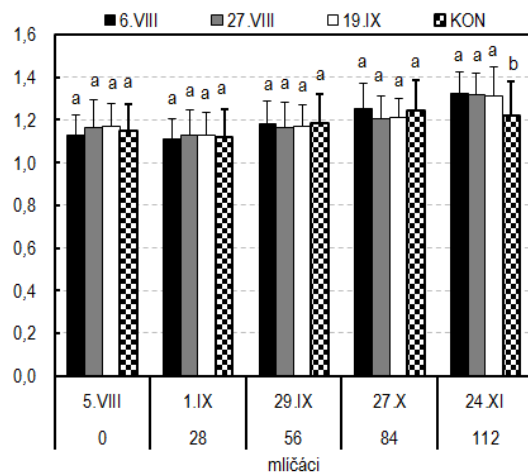
Graf č. 33: Výtěžnost trupu u mlíčáků v závislosti na různé historii aplikace fotostimulace (n = 60). Sloupce znázorňují průměr a chybové úsečky (směrodatnou odchylku).

4.3.5. Somatické indexy

V Grafu č. 34 (jikernačky) a Grafu č. 35 (mlíčáci) je hodnocen výživný stav. Je patrné, že až do 27. 10. nebyly pozorovány výraznější rozdíly mezi uvedenými skupinami. Během posledního sledovaného období ale byly shledány změny v koeficientu kondice. Kontrolní skupina (jikernačky i mlíčáci) vykázala nižší koeficient vyživenosti než testované ryby bez ohledu na počátek fotostimulačního opatření.



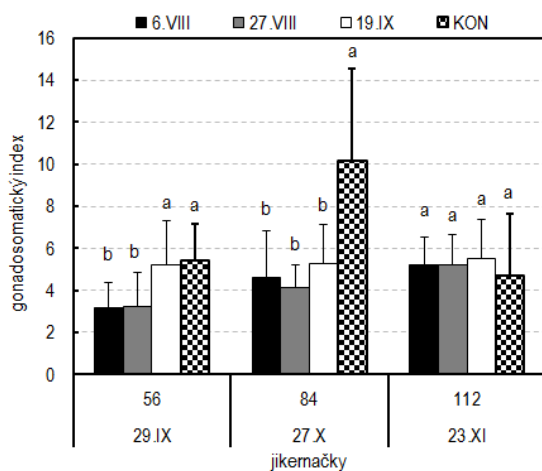
Graf č. 34: Koefficient vyživenosti u jikernaček v závislosti na různé historii aplikace fotostimulace (n = 60). Sloupce znázorňují průměr a chybové úsečky (směrodatnou odchylku).



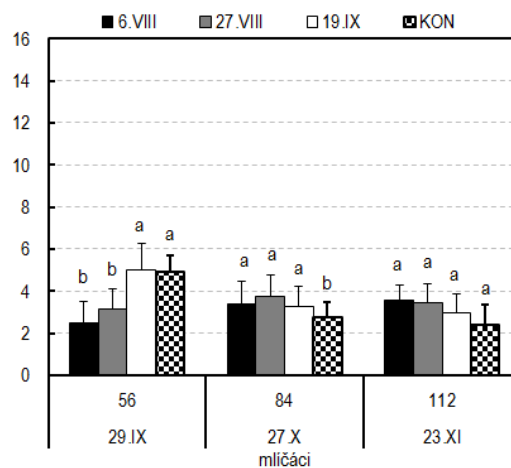
Graf č. 35: Koefficient vyživenosti u mlíčáků v závislosti na různé historii aplikace fotostimulace (n = 60). Sloupce znázorňují průměr a chybové úsečky (směrodatnou odchylku).

V případě gonadosomatického indexu lze zpočátku pozorovat stejný vývoj u kontrolní skupiny a testované skupiny vystavené nejpozdější aplikaci fotostimulačního opatření (19. 9.) a to bez ohledu pohlaví. To znamená, že tento typ zvoleného osvětlení se neodrazí v kýženém poklesu GSI. V dalším sledovaném období nastal výrazný nárůst gonadosomatického indexu u jikernaček v kontrolní skupině. Rozdíl mezi kontrolní a testovanými skupinami činil nejméně 46 %. Při posledním přelovení již nebyly shledány změny v hodnotách GSI (Graf č. 36).

U mlíčáků docházelo od 56. dne experimentu ke snižování hodnot GSI v kontrolní skupině, naopak v testovaných skupinách byl ve stejném období zaznamenán nárůst hodnot GSI s postupným vyrovnáním k poslednímu dni experimentu (Graf č. 37).

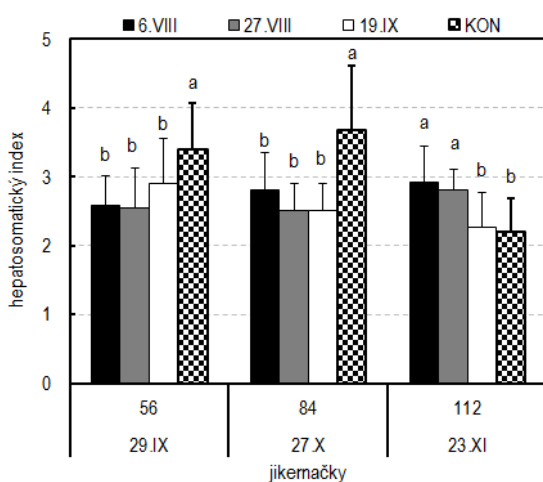


Graf č: 36: Gonadosomatický index u jikernaček v závislosti na různé historii aplikace fotostimulace (n = 60). Sloupce znázorňují průměr a chybové úsečky (směrodatnou odchylku).

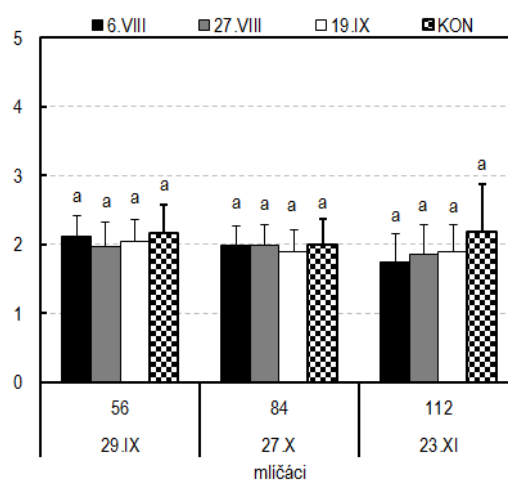


Graf č: 37: Gonadosomatický index u mlíčáků v závislosti na různé historii aplikace fotostimulace (n = 60). Sloupce znázorňují průměr a chybové úsečky (směrodatnou odchylku).

V hodnotách hepatosomatického indexu mlíčáků nebyly shledány změny v průběhu celého testování (Graf č. 39). Jiná situace byla u jikernaček. Nejvyšší hodnoty HSI byly zaznamenány v kontrolní skupině 84. den testování s postupným klesáním HSI do finálního období experimentu (23. 11.). Testované skupiny s prodlouženou fotoperiodou k datu 6. 8. a 27. 8. naopak vykazovaly v tomto posledním sledovaném období vzrůstající hodnoty HSI (Graf č. 38).

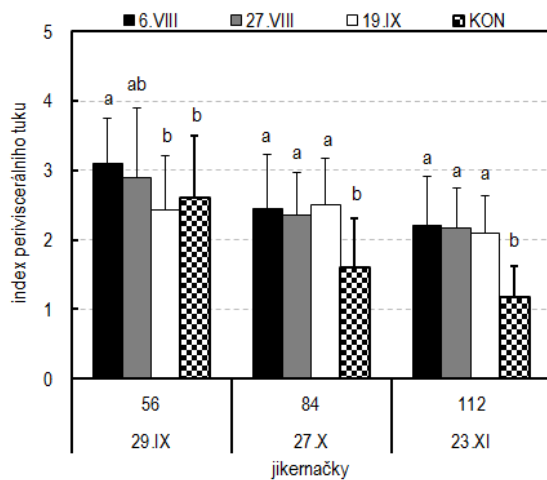


Graf č. 38: Hepatosomatický index u jikernaček v závislosti na různé historii aplikace fotostimulace (n = 60). Sloupce znázorňují průměr a chybové úsečky (směrodatnou odchylku).

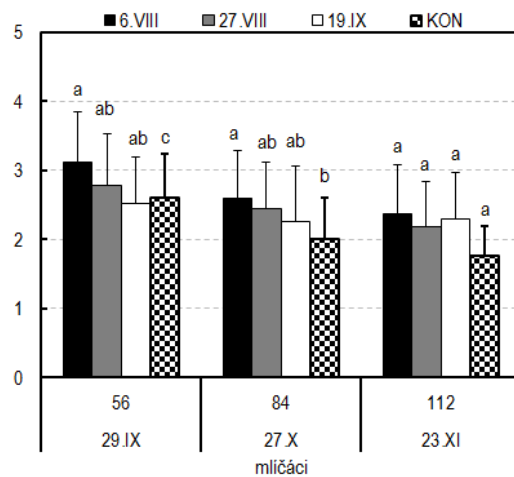


Graf č. 39: Hepatosomatický index u mlíčáků v závislosti na různé historii aplikace fotostimulace n = 60. Sloupce znázorňují průměr a chybové úsečky (směrodatnou odchylku).

Index periviscerálního tuku vykazoval za celé testování klesající tendenci a to napříč všemi testovanými skupinami. Tento trend byl nejvýraznější v kontrolních skupinách, přičemž více se projevil u jikernaček (Graf č. 40) méně již u mlíčáků (Graf č. 41).



Graf č. 40: Index periviscerálního tuku u jikernaček v závislosti na různé historii aplikace fotostimulace (n = 60). Sloupce znázorňují průměr a chybové úsečky (směrodatnou odchylku).



Graf č. 41: Index periviscerálního tuku u mlíčáků v závislosti na různé historii aplikace fotostimulace (n = 60). Sloupce znázorňují průměr a chybové úsečky (směrodatnou odchylku).

4.3.6. Spotřeba elektrické energie

Za celé sledované období bylo spotřebováno pro jednotlivé skupiny, respektive počátky fotostimulačních opatření následující množství elektrické energie: **6. VIII** – 599 kWh, **27. VIII** – 486 kWh, **19. IX** – 362 kWh.

5. Diskuze

5.1. Experiment 1 a 3

5.1.1. Průběh experimentů a přežití

Fyzikálně-chemické parametry vody byly v obou experimentech (podle Dubského a kol., 2003) v normě pro lososovité ryby. Co se přežití ryb týče, tak nebyly zaznamenány žádné zvýšené úhyny v Experimentu 1. V Experimentu 3 došlo ke zvýšeným úhynům v jeho rané fázi. Důvodem byla bakteriální infekce. Nicméně po úspěšném přeléčení nebyl ovlivněn celkový výsledek experimentu.

5.1.2. Délkový a hmotnostní růst

Sledování růstu ryb v průběhu pokusu neprokázalo negativní ovlivnění pokusných skupin umělým osvětlením (prodlouženou fotoperiodou) oproti rybám v přirozeném světelném režimu. Toto zjištění je velmi důležité, jelikož je známo, že například raná stádia sivena amerického vykazují negativní fototaxi (Wurtsbaugh a kol., 1975; Pokorný a kol., 2003). Případná negativní reakce na řízenou fotoperiodu, která se lišila od přirozeného světla během experimentu, by u pokusných ryb mohla zapříčinit vystavení stresu, který by byl pravděpodobně násoben zvýšenou obsádkou v žlábech a naprostou absencí úkrytů před světlem. Tyto negativní faktory by se pravděpodobně odrazily na sníženém příjmu potravy a nižším přírůstku, ale i zhoršení konverze krmiva. Nicméně výsledky ukázaly, že výše zmíněné faktory nebyly ovlivněny. Naopak bylo při všech kontrolních měřeních zjištěno, že ryby chované pod řízeným osvětlením dosahovaly zpravidla vyšší tělesné hmotnosti a délky těla než ryby z kontrolních skupin, leč tyto změny, vyjma posledního přelovení nebyly signifikantní. Lze tedy tvrdit, že skupiny s umělým osvětlením se bez problémů adaptovaly na změnu podmínek.

Vliv testovaných opatření na jikernačky

Při porovnání hmotnostních růstových rozdílů ošetřovaných skupin mezi pohlavími jednotlivě bylo zjištěno, že u jikernaček všech testovaných skupin (Experiment 1 a 3) nebyly zaznamenány signifikantní rozdíly do předposledního měření (8. 10. respektive 27. 10.). V dalším a tedy posledním období experimentů již došlo u jikernaček z kontrolních skupin k výtěru. Tudíž jejich celková hmotnost byla ovlivněna ztrátou

hmotnosti ovulovaných jiker a pravděpodobně i snížením tukových zásob, což potvrzuje analýza IPV, kdy u kontrolních skupin bylo shledáno výrazné snížení těchto hodnot.

Naopak u jikernaček s umělým světelným režimem došlo mezi předposledním a posledním měřením k dalšímu hmotnostnímu růstu. Nabízí se domněnka, že se mohlo jednat o příbytek na váze z důvodu dozrávání jiker, nicméně analýza GSI prokázala, že v tomto kritickém období došlo u jikernaček z ošetřovaných skupin k nárůstu GSI maximálně o 1 %, což vzhledem k celkové hmotnosti ryb nemohlo představovat významnou část na celkovém přírůstku ve zmiňovaném období. Lze tedy tvrdit, že jikernačky z ošetřovaných skupin byly do jisté míry ovlivněny nástupem třetího období, nicméně stále docházelo k tělesnému růstu, kdy jikernačky HAL a LED skupin zvýšily svojí hmotnost o více než 50 a 100 g respektive (Experiment 1). V Experimentu 3 byl rovněž zaznamenán přírůstek v testovaných skupinách (na úrovni 65 g), a to bez ohledu na počátek fotostimulačního opatření.

Z hlediska délkového růstu lze sledovat obdobný trend jako v případě hmotnostního, kdy nebylo shledáno statisticky významných rozdílů zvyšování délkového růstu ve prospěch testovaných skupin až do předposledního přelovení 8. 10. (Experiment 1) a 27. 10. (Experiment 3). V následujícím období docházelo k žádoucím délkovým přírůstkům jen u ošetřovaných skupin. Délkový růst jikernaček v kontrolních skupinách zůstal v tomto období beze změny.

Vliv testovaných opatření na mlíčáky

Hmotnostní růst mlíčáků byl v průběhu prvních měření poměrně vyrovnaný s malými rozdíly mezi jednotlivými skupinami, kdy nebyl zaznamenán rozdíl hmotnosti větší než 50 g ve prospěch ošetřovaných skupin (Experiment 1 a 3). Leč rozdíl mezi kontrolou a ošetřovanými skupinami byl zjištěn rovněž při posledním vážení. Zde byl zjištěn zvýšený hmotnostní přírůstek testovaných skupin oproti kontrole. V obou experimentech činil tento zvýšený přírůstek až 100 g.

Co se délkového růstu týče, tak rovněž platilo, že růst testovaných a kontrolních skupin byl (na základě statistického vyhodnocení) v obou experimentech totožný až do předposledního přelovení. Dále pak přirůstaly jen ryby v testovaných skupinách, přičemž růst v kontrolních skupinách stagnoval.

Vyšší přírůstky u ryb s umělým světelným režimem byly pravděpodobně zapříčiněny tím, že byl ovlivněn jeden z nejdůležitějších faktorů, které ovlivňují životní cyklus u ryb – fotoperioda. Získané výsledky ale naznačují, že umělý světelný režim se výrazně projevil na hmotnostním a délkovém přírůstku oproti kontrole až v době těsně před výtěrem (v posledním sledovaném období Experimentu 1 a 3). Zde ryby testovaných skupin prokazatelně vykázaly využití energie pro somatický růst, nikoliv pro tvorbu pohlavních produktů. Z výsledků testování během vegetačního období ale vyplývá, že se fotostimulace sama o sobě neprojevila zvýšeným somatickým růstem, tak jak uvádějí u pstruha duhového Taylor a kol. (2006) nebo Turker (2009), či v případě lososa obecného Kråkenes a kol. (1991).

V Experimentu 1 byly délko-hmotnostní přírůstky v posledním sledovaném období prokázány na základě statistické významnosti ($\alpha = 0,05$) jen mezi LED a kontrolní skupinou. Z toho vyplývá, že ryby testovaných skupin rostly prokazatelně rychleji ve srovnání s kontrolou jen v LED skupinách. Jelikož byly ve žlabech pod HAL a LED osvětlením naměřeny obdobné hodnoty světelné intenzity, lze předpokládat, že mohlo mít na ryby vliv světelné spektrum (barva světla). Podle Delabbia (2015) je problematika vlivu světelného spektra značně komplikovaná a stále plná nejasností. Tento autor zároveň udává, že světelné spektrum je především v larválních stádiích odpovědné za stimulaci, respektive redukci v růstu. Možná právě světelný zdroj mohl sehrát svoji roli v tomto období, co se růstu týče.

5.1.3. Konverze krmiva

V případě konverze krmiva nebyly v Experimentu 1 shledány změny mezi testovanými a kontrolní skupinou ryb. Zde bych se rád odkázal na problematiku konverze krmiva, jež byla zpracována v literární části mé práce. Mnozí autoři se ve svých experimentech shodují, že koeficient konverze krmiva se zlepšuje souběžně s prodloužením fotoperiody. Jako modelové druhy v experimentech od Nordgardena a kol. (2003) a Taylora a kol. (2006) byly použity losos obecný, respektive pstruh duhový. O tom, že fotoperioda má významný vliv na krmný koeficient i u ryb, které taxonomicky nenáleží do čeledi Salmonidae, uvádějí Biswas a kol. (2005). Tito autoři na příkladu ryby *Pagrus major* (mořan japonský - platný český název podle Hanela, 2000) testovali vliv různých světelných režimů na krmný koeficient s výsledky, které potvrzují výše zmíněné

tvrzení u lososovitých ryb. Důvodem proč se prodloužený světelný režim v Experimentu 1 neprojevil (ve srovnání s kontrolní skupinou) na změnách v krmném koeficientu může být samotný druh – siven americký. Ten je znám svou vysokou agresivitou spjatou s příjmem potravy, která patrně mohla převažovat nad snižujícím se apetitem v době pohlavního dospívání.

5.1.4. Výtěžnost trupu

Dalším ukazatelem, který byl ovlivněn procesem fotostimulace, byla výtěžnost trupu. V Experimentu 1 a 3 docházelo s postupně blížícím se výtěrovým obdobím ke snižování výtěžnosti u samičího pohlaví v kontrolních skupinách až na hranici 79 %. Naopak v případě mlíčáků (rovněž z kontrolních skupin) se v tomto kritickém období výtěžnost zvyšovala a to až k 88 %. Důvodem byl pravděpodobně vliv fotostimulace na pohlavní dospívání, respektive vývoj pohlavních produktů, což potvrzují i analýzy GSI. U jikernaček v kontrolních skupinách se hodnoty GSI rapidně zvyšovaly až do výtěrového období a právě to se negativně projevilo na výtěžnosti. U mlíčáků fotostimulovaných skupin byl vývoj pohlavních produktů zpočátku zbrzděn, nicméně ne zastaven. Tudíž s postupným vývojem pohlavních žláz se snižovala výtěžnost těchto ryb. Tuto myšlenku potvrzují Pavlík a kol. (2011), když udávají (na příkladu pstruha duhového), že výtěžnost trupu je ovlivněna podílem nevyužitelných částí (tedy i gonádami). Značné kolísání hodnot výtěžnosti v Experimentu 1 a 3 bude tedy s vysokou pravděpodobností způsobeno rozdílným vývojem pohlavních produktů napříč všemi skupinami. Jako lze uvést průměrnou výtěžnost trupu pstruha duhového, která je podle Čady (2006) 80,6-84,1 %.

5.1.5. Koeficient vyživenosti

Koeficient vyživenosti měl u testovaných i kontrolní skupiny v Experimentu 1 vzrůstající tendenci napříč celým sledovaným obdobím, přičemž vyšší byl u fotostimulovaných skupin (1,50 pro mlíčáky; 1,43 pro jikernačky). V posledním přelovení bylo u jikernaček zaznamenáno statisticky významného rozdílu v porovnání LED a kontrolní skupiny, kdy ryby v kontrole vykazovaly prokazatelně horší výživný stav. V Experimentu 3 byla situace poněkud odlišnější. Je totiž patrné, že ryby v kontrolních skupinách během posledního sledovaného období (výtěrové období) strádaly, což signalizoval pokles koeficientu vyživenosti, který byl v posledním přelovení 1,08 (jikernačky) a 1,22 (mlíčáci). Ještě větších rozdílů bylo zaznamenáno ve srovnání s testovanými skupinami, které v tomto období vykazovaly koeficient vyživenosti na

úrovni 1,31 – jikernačky i mlíčáci. U tohoto indexu podle Kouřila (2011) zpravidla existuje lineární závislost na délce děla, kdy se zvyšujícím se délkovým růstem současně stoupá i koeficient vyživenosti. Což vyjma posledního sledovaného období je možné pozorovat i v Experimentu 1 a 3.

Prvním, kdo vyslovil, že koeficient vyživenosti (též Fultonův koeficient) se mění v souvislosti s výtěrovým obdobím, byl Heincke 1908 (Nash a kol., 2006). Herbinger a Friars (1991) hledali ve svém experimentu závislost koeficientu vyživenosti na indexu periviscerálního tuku u lososa obecného (ve stádiu strdlíce). Výsledky zněly jednoznačně a autoři shledali silnou pozitivní korelaci mezi těmito faktory. Což lze přirovnat k trendu, který byl pozorován u ryb v kontrolních skupinách (především jikernaček) v Experimentu 1 a 3. Z výsledků experimentu Htuna-Hana (1978) vyplývá, že existuje inverzní korelace mezi koeficientem vyživenosti a gonadosomatickým indexem. Ačkoliv autor založil experiment na odlišném druhu (platýs – *Limanda limanda*), předpokládám, že jeho reprodukční biologie se dá přirovnat k výsledkům, které byly zjištěny v Experimentu 1 a 3. Protože právě tato závislost byla pozorována u jikernaček v kontrolních skupinách v předvýtěrovém a výtěrovém období. Důvodem bude pravděpodobně hospodaření s tuky v období tvorby pohlavních produktů a zvýšené energetické nároky spjaté s reprodukcí. Čada (2006) uvádí pro pstruha duhového průměrné hodnoty koeficientu vyživenosti 1,51-1,87 %, leč v jeho analýze nezohledňuje výtěrové období. V prezentované práci naměřené nižší hodnoty lze tedy vysvětlit výše zmíněnými důvody.

5.1.6. Gonadosomatický index

Vliv testovaných opatření na jikernačky

Při hodnocení gonadosomatického indexu jikernaček lze pozorovat v Experimentu 1 a 3 podobný vývoj, kdy hodnoty GSI v kontrolních skupinách plynule rostly (současně s nastupujícím výtěrovým obdobím) až na úroveň 10 %. Od této hranice docházelo v kontrolních skupinách k opětovnému snižování hodnot vlivem ztráty ovulovaných jiker. U testovaných skupin docházelo rovněž ke zvyšování hodnot GSI, avšak tento trend nebyl zdaleka tak rapidní jako u kontrolních skupin a procentuální zastoupení gonád se u těchto ryb pohybovalo na hranici 5 %. V Experimentu 3 se i nejpozději volená varianta osvětlení projevila na kýženém snížení hodnot GSI, což znamená zpomalení vývoje ovárií. Rapidní zvyšování hodnot GSI u jikernaček je dáno podle Tylera a kol. (1990) fyziologickým procesem dozrávání oocytů. Na základě jejich experimentu založeném na

sledování vývoje ovárií u pstruha duhového, lze konstatovat, že každoročně dochází k velkému kolísání hodnot GSI, od 0,5 % ve vegetačním období až k hranici 20 % GSI těsně před ovulací. Nejvyšší nárůst GSI je zaznamenán v období vitellogeneze, což koresponduje s nejvyššími hodnotami hepatosomatického indexu ve zmiňovaném období (Tyler a kol., 1998). To se plně projevilo i v Experimentu 1 a 3, kdy bylo nejvyšších hodnot GSI zaznamenáno současně s nejvyššími hodnotami HSI.

Vliv testovaných opatření na mlíčáky

V případě mlíčáků vykazovaly ryby v kontrolních skupinách zvýšené hodnoty gonadosomatického indexu spíše v ranějších fázích experimentu a dále GSI klesal. To je dáno obecně rychlejším pohlavním dospíváním mlíčáků, což ve svém experimentu prokázali i Dziewulska a Domagała (2005). Důvodem snižování GSI u samců z kontrolních skupin bylo pravděpodobně postupné uvolňování spermatu. Naopak u testovaných skupin byl v obou experimentech zaznamenán pozvolný nárůst hodnot GSI, což signalizovalo vývoj varlat, který byl v úvodu Experimentů 1 a 3 zbrzděn vlivem fotostimulačního opatření. Přirozeně nedocházelo ke zvyšování hodnot jako u jikernaček, a hodnoty GSI v průměru nepřesahovaly hranici 4 %. To uvádějí Dubský a kol. (2003), když tvrdí, že varlata se nevyvíjí do takových rozměrů, jako vaječníky. Oddálení pohlavní dospělosti u mlíčáků lososa obecného včetně snížených hodnot GSI vlivem umělé manipulace s fotoperiodou dosáhli také Fjelldal a kol. (2011).

5.1.7. Hepatosomatický index

Vliv testovaných opatření na mlíčáky

Z výsledků testování hepatosomatického indexu vyplývá, že nedocházelo ke změnám v porovnání testovaných a kontrolní skupiny u samčího pohlaví v Experiment 3. V Experimentu 1 byly pozorovány lehce zvýšené hodnoty na základě statistické významnosti ($\alpha = 0,05$) HSI u testovaných skupin ve srovnání s kontrolou. Dle mého názoru bych tuto skutečnost u samčího pohlaví nepřikládal k nějakému biologickému jevu, který je spjat s reprodukcí. Pravděpodobně se jednalo pouze o zvýšený příjem krmiva v těchto skupinách a následnému zvýšení ukládání tuku v játrech. Jelikož tuk se podle Dubského a kol. (2003) ukládá právě v játrech. Tuto ideu vysvětlují ve své publikaci Dutta a Datta-Mushi (1996), kteří udávají, že v případě mlíčáků nedochází k drastickým změnám HSI v souvislosti s pohlavním dospíváním. V souvislosti s tím tito

autoři uvádějí, že HSI index v předvýtěrovém období je obvykle vyšší u jikernaček než mličáků.

Vliv testovaných opatření na jikernačky

U samičího pohlaví byl sledován jiný vývoj hodnot HSI (zvláště pak v kontrolní skupině). Zde docházelo v Experimentu 1 i Experimentu 3 k plynulému zvyšování hodnot na úroveň 3,5 % HSI. Přičemž po dosažení vrcholu (z výsledků lze usuzovat na data 8. 10. pro Experiment 1 a 27. 10. pro Experiment 3) docházelo ke snižování procentuálního podílu jater z celkové hmotnosti těla. V případě hodnot HSI testovaných ryb pod prodlouženou fotoperidou docházelo rovněž ke zvyšování hepatosomatického indexu. Tento trend byl v Experimentu 1 zhruba měsíc opožděn a dosahoval maximálních hodnot 3% HSI. V případě Experimentu 3, který zohledňoval počátek fotostimulačního opatření na nástup pohlavní dospělosti, lze tvrdit, že i nejpozději zvolená varianta fotostimulačního opatření, tj. 19. 9. se neprojevila na zvyšování hodnot HSI.

Trend zvyšování hmotnosti jater v průběhu předvýtěrového období vysvětlují Tingaud-Sequeira a kol. (2012) jako jaterní syntézu vitellogeninu. Vitellogenin je látka definovaná jako glyko-fosfo-protein, jež je syntetizovaná v játrech jikernaček. Právě tato skutečnost se podílí na zvyšování jejich hmotnosti. Jaterní vitellogeneze je stimulována estrogenními hormony, především pak 17 β -estradiolem (E2). Vitellogenin je následně krevním řečištěm transportován do ovárií, kde se podílí na růstu oocytů (Bon a kol., 1997). Výše zmíněnou problematiku zrání oocytů zkoumali ve svém experimentu van Bohemen a kol. (1981), kteří uvádějí, že HSI a posléze koncentrace vitellogeninu v krevní plazmě a mají u jikernaček pstruha duhového vzrůstající tendenci směrem k výtěrovému období. To potvrzují i Dubský a kol. (2003), kteří uvádějí, že hmotnost jater jikernaček pstruha obecného může být před výtěrem až 4 % hmotnosti těla, což potvrzují i výsledky našeho sledování. Gebaurer (2004) a (Čada) 2006 udávají, že hepatosomatický index (pstruha duhového) by se v intenzivních chovech měl pohybovat na úrovni 1,25-1,95 %, což jsou obdobné hodnoty, které byly pozorovány u mličáků v obou experimentech. U jikernaček jsou hodnoty HSI přirozeně vyšší z výše zmíněných důvodů.

5.1.8. Index periviscerálního tuku

V případě indexu periviscerálního tuku byl pozorován v obou experimentech klesající trend směrem k výtěrovému období, a to jak v případě jikernaček, tak i v případě

mlíčáků. Jelikož nebylo možné vyhodnotit IPV k poslednímu dni v Experimentu 1, kde lze právě očekávat největší změny, tak se v této části budu spíše věnovat Experimentu 3. Tento index se u jikernaček v kontrolní skupině postupně snižoval z 2,6 % na 1,2 %, u mlíčáků v kontrolní skupině pak z 2,6 % na 1,8 %. U ryb z testovaných skupin bylo rovněž zaznamenáno snižování hodnot IPV, avšak tyto změny nebyly zdaleka tak markantní. Gebeurer (2004) udává průměrné hodnoty vnitřnostního tuku u pstruha duhového v zimním období 2,84-3,42 %. Skutečnost snižování periviscerálního tuku nezávisle na pohlaví lze vysvětlit u jikernaček i mlíčáků v zásadě dvěma způsoby. U jikernaček je tuk základem pro správný vývoj vajíčka. Ten je přiváděn do oocytů prostřednictvím vitellogeninu, jak uvádí Wiegand (1996). Jelikož je podle Dvořáka a kol. (2014) tuk hlavním energetickým zdrojem ryb, tak lze skutečnost snižování tuku chápat také jako zvýšenou spotřebu energie v předvýtěrovém období. Možná právě tento proces vysvětluje snižování tuku u mlíčáků, především v kontrolní skupině. Zde docházelo k agonistickému chování, jež se projevovalo zvýšenou agresivitou a vzájemnému napadání v rámci kompetice samců o jikernačky. Snižování periviscerálního tuku spojené zvýšenou spotřebou energie pravděpodobně ovlivnila i vysoká hustota obsádky. To ve svém pokusu shledali i Vijayan a Leatherland (1998), kteří testovali u sivena amerického stresovou odezvu na zvyšující se hustotu obsádky. Přičemž na konci experimentu pozorovali zvyšující se hladiny kortizolu v krevní plazmě. Kortizol je definován jako hormon ze skupiny kortikosteroidů produkovaný v hladové části ledvin, jehož zvýšená hladina v krevní plazmě je pozorována jako reakce na stresový faktor (Dubský a kol., 2003). Lze usuzovat, že v případě snížené hustoty obsádky by nedocházelo ke zvyšování spotřeby tuku jako energie (*leč je toto v moderní akvakultuře při zachování stávající rentability proveditelné?*). V souvislosti se zvýšenou spotřebou energie je nasnadě i možnost ovlivnění hodnot IPV v důsledku bakteriální infekce, kterou prodělaly obsádky v Experimentu 3. Ta pravděpodobně v konečném důsledku rovněž snižovala zásoby tuku, jako pohotovostního zdroje energie. Tomu nahrává i fakt, že ryby v tomto období vykazovaly sníženou spotřebu krmiva, které je podle Nassoura a Légera (1989) důležitým zdrojem exogenního tuku.

5.1.9. Ukazatel vysokořbetosti a index širokohřbetosti

V případě ukazatele vysokořbetosti docházelo v předvýtěrovém a výtěrovém období u samců (především v kontrolních skupinách) v Experimentu 1 ke zvyšování jejich těla

na základě pohlavního dimorfismu, který byl popsán v literárním přehledu. Tento ukazatel byl u mlíčáků v kontrolních skupinách 3,77 k datu 6. 11. Gebaurer (2004) udává hodnotu tohoto ukazatele 3,97-4,41 u pstruha duhového v zimním období.

V případě jikernaček by mělo v předvýtěrovém období docházet ke zvětšování tělní dutiny a zároveň i indexu širokohřbetosti. Tento trend ale pozorován nebyl, a to ani u kontrolních skupin, kde by se to přirozeně očekávalo. V Experimentu 1 byl tento index stanoven k datu 6. 11. a to bez rozdílu mezi jednotlivými skupinami, přičemž průměrná hodnota byla 14,1 %. Pavlík a kol. (2011) udávají index širokohřbetosti u pstruha duhového o průměrných hodnotách 12,81-14,05 %, avšak jejich studie nezohledňuje vliv reprodukce na výše zmíněný morfologický ukazatel.

5.1.10. Sledování stupně vývoje gonád a procenta ryb připravených k výtěru

Z výsledků testování vývoje gonád v Experimentu 1 vyplývají závěry dřívějšího pohlavního dospívání ryb z kontrolní skupiny (především pak mlíčáků). V tomto případě bylo k datu 8. 10. celkem 65 % testovaných mlíčáků z kontrolní skupiny reprodukčně aktivních. Zhruba o měsíc později byl procentuální podíl těchto ryb již na úrovni přesahující 90 %. Teprve v tomto období se objevovaly i reprodukčně aktivní ryby z fotostimulovaných skupin. Z toho můžeme usuzovat na fakt, že u mlíčáků pod prodlouženým světelným režimem došlo k posunu termínu výtěru minimálně o jeden měsíc. To potvrzují i výsledky histologického vyšetření. O tom, že samci obecně dospívají dříve, bylo pojednáno v literární části. Rovněž lze poukázat i na fakt dřívější pohlavní dospělosti ryb z intenzivních odchovů (vlivem předkládaného krmiva). Právě vliv krmeného režimu spolu s úpravou fotoperiody na nástup pohlavní dospělosti sivena amerického sledovali ve svém experimentu McCormick a Naiman (1984). Z jejich výsledků je patrné, že právě restrikce krmné dávky zcela jednoznačně oddaluje iniciaci pohlavní dospělosti, a to jak v případě mlíčáků, tak i jikernaček. Z toho vyplývá, že mezi zásadní determinanty, jež se podílejí na nástupu pohlavní zralosti u ryb, patří především příjem potravy, který následně ovlivňuje velikost, rychlost růstu a tím i vývoj gonád (Taranger a kol., 2010). Nicméně je otázkou, do jaké míry je rentabilní omezovat krmnou dávku za účelem vyhnutí se dosažení pohlavní zralosti. Jelikož dochází ke zpomalení růstu a tím i k nutnosti odchovávat ryby déle. Navíc je velmi pravděpodobné, že toto opatření nelze vždy aplikovat plošně, kdy nelze zajistit, aby v rámci odchovného prostoru každý jedinec přijal vždy jen takové množství krmiva, které omezí jeho pohlavní rozvoj.

Co se oddálení pohlavní dospělosti týče, tak lze výsledky našeho experimentu přirovnat k výzkumu od Allisona (1951), který použitím prodloužené fotoperiody rovněž dosáhl oddálení nástupu puberty u sivena amerického řádově o několik týdnů. Na tento fakt lze volně navázat studií Holcomba a kol. (2000). Tito autoři rovněž prokázali (v případě sivena amerického), že umělým prodloužením světelného dne (18 hodin světelné fáze: 6 hodin temné fáze) je možné zamezit reprodukci během „normální“ podzimní doby rozmnožování. Zároveň udávají, že pokud budou tyto ryby následně umístěny do opačného světelného režimu (tedy zkrácenému světelnému dni) dojde k opožděné reprodukci v měsících dubnu až květnu, přičemž nebude ovlivněna kvalita a životaschopnost potomstva.

5.1.11. Ekonomické zhodnocení Experimentů 1 a 3

Při pořizování LED technologie je nutno počítat s vyššími investičními náklady (cca 6krát), neboť LED technologie pro osvětlení jednoho prezentovaného žlabu stála 3642 Kč. Náklady pro technologii metalhalogenových výbojek byly 600 Kč. Nicméně vyšší vstupní náklady na LED technologii se v porovnání s metalhalogenovými výbojkami vrátí již po 21 dnech provozu. To je dáno především spotřebou elektrické energie, která je u metalhalogenových výbojek nesrovnatelně vyšší. Osvětlení žlabů pro skupinu HAL činilo k poslednímu dni experimentu 30 360 Kč. Naopak osvětlení pro LED skupinu ryby činilo výrazně méně, a to 3 800 Kč (bylo počítáno s cenou 3,3 Kč/kW – reálná místní cena pro rok 2014).

Z výsledků Experimentu 3 vyplývá, že nejpozději volený termín umělého osvětlení má naprosto srovnatelné výsledky, co se oddálení pohlavní dospělosti týče, s termíny dřívější aplikace. Náklady na osvětlení skupiny ryb, která byla testována pod tímto osvětlením, činily 1 800 Kč (bylo počítáno s cenou 5 Kč/kW – reálná místní cena pro rok 2015).

Po provedení Experimentu 1 se nabízela zásadní otázka: *Jaké zvolit načasování umělé fotoperiody?* Zdali je nutné použít stimulaci téměř 5 měsíců dlouhou, nebo postačí kratší doba. Dnes již víme (z výsledků Experimentu 3), že z hlediska oddálení pohlavní dospělosti, a tím pádem i zvýšenému růstu v tomto období, by stačilo nastolení umělého světelného režimu na úrovni 67 dnů před předpokládaným výtěrovým obdobím. Toto zjištění je velice důležité, neboť zásadním způsobem může ovlivnit ekonomickou stránku v budoucnu podobně orientovaných experimentů.

5.2. Experiment 2: Fotostimulace pomocí LED a metalhalogenových zdrojů jako prevence ztrát u sivenů v podzimním období

Hydrochemické poměry (nižší pH-6 a vyšší obsah huminových kyselin) v původním průtočném areálu chovu sivena v Anníně zapříčiňují (praktické zkušenosti), že se zde u pohlavně dospělých sivenů neprojevují negativní důsledky agrese mlíčáků (sekundární zaplísnění, úhyny). Což s určitou dávkou nadsázky lze považovat za jakési monopolní postavení v produkci sivena amerického v České republice. Právě fyzikálně-chemické parametry vody jsou důvodem, proč zde mykotické onemocnění vůbec nepropukne. Z výsledků experimentu 2 vyplývá, že po převozu ryb na rybochovné zařízení s jiným chemismem vody (vyšší pH-7,2 a pravděpodobně nižší koncentrace huminových kyselin) dochází k zvýšené prevalenci jedinců trpících tímto onemocněním v kontrolních skupinách, především pak v celosamčích a smíšené obsádce. Zaznamenány ale byly i zvýšené úhyny v kontrolní celosamčí skupině (to patrně signalizuje přítomnost některého z mlíčáků a tudíž špatné třídění ryb na počátku experimentu). Podíly ryb napadených povrchovou saprolegnií byly ve fotostimulovaných skupinách naprosto minoritní, tudíž efekt fotostimulace se pozitivně projevila na opoždění nastolení reprodukčního chování a tyto ryby se vzájemně nenapadaly. O tomto onemocnění, jež je také definováno jako saprolegnióza, pojednávají Svobodová a kol. (2007). Tito autoři rovněž zmiňují myšlenku, že bychom měli toto onemocnění chápat až jako sekundární, uplatňující se po předchozím poranění kůže či žaber. To plně koresponduje s našimi výsledky, které jsou právě na tomto principu založeny. O tom, proč jsou k tomuto onemocnění nejvíce citlivé ryby v období pohlavního dospívání, pojednává Willoughby a Pickering (1997), přičemž tyto autoři udávají, že jakákoliv stresová reakce negativně ovlivňuje produkci kožního slizu, která je během pohlavního dozrávání čeledi Salmonidae již tak zeslabena. Především mlíčáci mají ve výtěrovém období výrazně méně epidermálního slizu než jikernačky, což je důvodem, proč jsou více citliví k povrchovému zaplísnění během pohlavního dospívání. Pickering a Duston (1983) ve svém experimentu sledovali závislost stresu na výskyt saprolegniózy u pstruha obecného. Výsledkem byly jasné závěry, že zvyšující se hladina kortizolu v krevní plazmě zvyšuje vnímavost jedinců k saprolegnióze. Z tohoto důvodu, nemusejí být výsledky Experimentu 2 přičítány pouze hydrochemickým poměrům, nýbrž i transportu ryb, který bezpochyby stresující faktor je.

Ačkoliv nepatří saprolegnióza mezi sledované nákazy, za určitých okolností může vyvolat značné ekonomické ztráty (Svobodová a kol., 2007).

6. Závěr

V teoretické části předložené diplomové práce byl popsán proces pohlavního dospívání a to jak z biologického, tak i z pohledu akvakultury, kde se v podstatě jedná o nežádoucí jev, který se může významně projevit na ekonomice chovu. Praktická část se již zabývala oddálením pohlavní zralosti na experimentální úrovni. Cílem diplomové práce bylo zhodnotit funkčnost, efektivitu, ale i rentabilitu procesu fotostimulace u sivena amerického za účelem oddálení maturace v podmínkách intenzivního chovu dvou českých farem. Ze získaných výsledků (na základě dvou experimentů) vyplývá, že v předvýtěrovém a výtěrovém období měli jikernačky i mlíčáci fotostimulovaných skupin statisticky prokazatelně vyšší somatický růst než ryby odchovávané pod přirozenou fotoperiodou. Důsledkem bylo oddálení pohlavní dospělosti u takto ošetřovaných ryb a to až o jeden měsíc. To potvrzují i analýzy gonadosomatického indexu, potažmo histologické vyšetření. Žádoucí oddálení pubertálního období eradikuje produkční ztráty spojené s odchovem ryb, jelikož přijatá energie je využívána primárně na růst a nikoliv na dozrávání gonád, respektive pohlavních produktů. Z hlediska úspory elektrické energie, jako výrazné ekonomické položky produkčních chovů, se jednoznačně lépe osvědčilo využití elektroluminiscenčních diod (LED) oproti halogenovým žárovkám (HAL). Co se počáteční aplikace fotostimulačního opatření týče, bylo shledáno, že i nejpозději volená varianta umělého osvětlení měla srovnatelný vliv s těmi dřívějšími, což se rovněž kladně podepisuje pod finanční náklady. Pozitivní vliv fotostimulace se také projevil v kýženém snížení negativních důsledků agonistického chování mlíčáků.

Jelikož je finanční stránka současné moderní akvakultury stále aktuálním tématem (a dá se předpokládat, že i nadále bude) přirozeně se nabízí otázka: *Lze ještě nějak zvýšit rentabilitu spjatou s procesem fotostimulace?* Zde je nasnadě možnost střídavé aplikace umělého světelného režimu v předvýtěrovém období. Zdali se ryba bez problémů adaptuje na takto relativně radikální změnu a s úspěchem dojde k oddálení výtěrového období, nebo bude vystavena zvýšenému stresovému faktoru s jeho následnými negativy. Tato problematika by mohla být součástí v budoucnu podobně orientovaných experimentů. Samotným závěrem lze říci, že fotostimulace jako perspektivní nástroj akvakultury lososovitých ryb může nacházet své uplatnění i v České republice. Toto

zjištění, které je podloženo výsledky experimentů, dokládá, že bylo splněno v úvodu vytyčených cílů mé diplomové práce.

7. Přehled použité literatury

- Abbott, J.C., Dill, L.M., 1985. Patterns of aggressive attack in juvenile steelhead trout (*Salmo gairdneri*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 42, 1702-1706.
- Allison, N.L., 1951. Delay of spawning in eastern brook trout by means of artificially prolonged light intervals: An attempt to decrease losses among hold-over stock during normal fall spawning season. The Progressive Fish-Culturist 13, 111-116.
- Alm, G. 1959. Connection between maturity, size and age in fishes. Reports from the Institute of Freshwater Research, Drottningholm, 40, 5-145.
- Atkins, M.E., Benfey, T.J., 2008. Effect of acclimation temperature on routine metabolic rate in triploid salmonids. Comparative Biochemistry and Physiology 149, 157-161.
- Aussanasuwannakul, A., Kenney, P.B., Weber, M.G., Yao, J., Slider, D.S., Manor, L.M., Salem, M., 2011. Effect of sexual maturation on growth, fillet composition, and texture of female rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) on a high nutritional plane. Aquaculture 317, 79-88.
- Baruš, V., Oliva, O., 1995. Mihulovci Petromyzontes a ryby Osteichthyes (1). Academia, Praha, 624 s.
- Beaumont, A., Boudry, P., Hoare, K., 2010. Biotechnology and Genetics in Fisheries and Aquaculture. John Wiley & Sons, New Jersey, p. 216.
- Bentley, P.J., 1998. Comparative vertebrate endocrinology. Cambridge univerzity Press, Cambridge, p. 562.
- Biswas, K.A., Seoka, M., Inoue, Y., Takii, K., Kumai, H., 2005. Photoperiod influences the growth, food intake, feed efficiency and digestibility of red sea bream (*Pagrus major*). Aquaculture 250, 666-673.
- Biswas, A., Takaoka, O., Kumai, H., Takii, K., 2016. Combined effect of photoperiod and self-feeder on the growth performance of striped knifejaw, *Oplegnathus fasciatus*. Aquaculture, 452, 183-187.

- Boeuf, G., Le Bail, P.L., 1999. Does light have an influence on fish growth? *Aquaculture* 177, 129-152.
- Bon, E., Barbe, U., Rodriguez, N.J., Cuisset, B., Pelissero, C., Sumpter, P.J., Le Menn, F., 1997. Plasma Vitellogenin Levels during the Annual Reproductive Cycle of the Female Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*): Establishment and Validation of an ELISA. *Comparative Biochemistry and Physiology* 117, 75-84.
- Boulanger, Y., 1991. Performance comparison of all-female, diploid and triploid brook trout. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences 1789, 111-119.
- Bouret, S.G., Draper, S.J., Simerly, R.B., 2004. Trophic action of leptin on hypothalamic neurons that regulate feeding. *Science* 304, 108-110.
- Brännäs, E., Chaix, T., Nilsson, J., Eriksson, L.O., 2005. Has a 4 generation selection programme affected the social behaviour and growth pattern of Arctic charr (*Salvelinus alpinus*)? *Applied Animal Behaviour Science* 94, 165-178.
- Bromage, N., Randall, C., Davies, B., McAndrew, B., 1992. The control of reproduction in salmonid fish. *Icelandic Agricultural Sciences* 6, 11-23.
- Bye, J.V., Lincoln, F.R., 1986. Commercial methods for the control of sexual maturation in rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.). *Aquaculture* 57, 299-309.
- Byamungu, N., Darras, M.V., Kühn, R.E., 2001. Growth of heat-shock induced triploids of blue tilapia, *Oreochromis aureus*, reared in tanks and in ponds in Eastern Congo: feeding regimes and compensatory growth response of triploid females. *Aquaculture* 198, 109-122.
- Cabrita, E., Robles, V., Herráez, P., 2008. *Methods in reproductive aquaculture: Marine and freshwater species*. CRC Press, London, p. 568.
- Carrasco, L.A.P., Doroshov, S., Penman, D.J., Bromage, N., 1998. Long-term, quantitative analysis of gametogenesis in autotriploid rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of Reproduction and Fertility* 113, 197-210.

- Choi, S., Lee, H.C., Kim, J.D., Sohn, C.Y., Park, W., 2010. Effects of shortened photoperiod on gonadotropin-releasing hormone, gonadotropin, and vitellogenin gene expression associated with ovarian maturation in rainbow trout. *Zoological Science* 27, 24-32.
- Comai, L., 2005. The advantages and disadvantages of being polyploid. *Nature Reviews Genetics* 6, 836-846.
- Čada, M., 2006. Zhodnocení produkční účinnosti vybraných krmných směsí v provozních podmínkách chovu pstruha duhového (*Oncorhynchus mykiss* W.). Brno, 74 s. Diplomová práce. MZLU v Brně.
- de-Freitas, G.E., Carvalho, B.T., Oliveira, F.R., 2014. Photoperiod modulation of aggressive behavior is independent of androgens in a tropical cichlid fish. *General and Comparative Endocrinology* 207, 41-49.
- Delabbio, J., 2015. Advantages of LED Lighting Systems in Larval Fish Culture. [cit. 10. 4. 2016]. Dostupné z: <http://www.onceinnovations.com/wp/wp-content/uploads/2014/10/Delabbio-1-1.pdf>.
- Dieckmann, U., Heino, M., 2007. Probabilistic maturation reaction norms: their history, strengths, and limitations. *Marine Ecology Progress Series* 335, 669-678.
- Dubé, P., Blanc, M.J., Chouinard, M., de la Noüe, J., 1991. Triploidy induced by heat shock in brook trout (*Salvelinus fontinalis*). *Aquaculture* 92, 305-311.
- Dubský, K., Kouřil, J., Šrámek, V., 2003. *Obecné rybářství. Iformatorium*, Praha, 308 s.
- Dufour, S., Rousseau, K., 2007. Neuroendocrinology of fish metamorphosis and puberty: evolutionary and ecophysiological perspectives. *Journal of Marine Science and Technology* 15, 55-68.
- Dunham, A.R., 2011. *Aquaculture and Fisheries Biotechnology: Genetic Approaches*. CABI Publishing, Wallingford, p. 495.

- Duston, J., Bromage, N., 1988. The entrainment and gating of the endogenous circannual rhythm of reproduction in the female rainbow trout. *The Journal of Comparative Physiology* 164, 259-268.
- Dutta, M.H., Datta-Mushi, S.J., 1996. *Fish Morphology*. CRC Press, London, p. 434.
- Dvořák, P., Pyszko, M., Velíšek, J., Dvořáková-Líšková, Z., Andreji, J., 2014. *Anatomie a fyziologie ryb*. Jihočeská univerzita, Fakulta rybářství a ochrany vod, Vodňany, 189 s.
- Dziewulska, K., Domagała, J., 2005. Differentiation of gonad maturation in sibling precocious males of the sea trout (*Salmo trutta m. trutta* L.) in their first year of life. *Aquaculture* 250, 713-725.
- Evropské společenství. Nařízení rady (ES) 96/22 ze dne 29. 4. 1996, o zákazu používání některých látek s hormonálním nebo tyreostatickým účinkem a beta-sympatomimetik v chovech zvířat a o zrušení směrnic 81/602/EHS, 88/146/EHS a 88/299/EHS.
- Falcón, J., Besseau, L., Sauzet, S., Boeuf, G., 2007. Melatonin effects on the hypothalamo–pituitary axis in fish. *TRENDS in Endocrinology and Metabolism* 18, 81-88.
- Falcón, J., Migaud, H., Munoz-Cueto, J.A., Carrillo, M., 2010. Current knowledge on the melatonin system in teleost fish. *General and Comparative Endocrinology* 165, 469-482.
- Fjellidal, G.P., Hansen, T., Huang, S.T., 2011. Continuous light and elevated temperature can trigger maturation both during and immediately after smoltification in male Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 321, 93-100.
- Flajšhans, M., Kocour, M., Ráb, P., Hulák, M., Petr, J., Šlechtová, V.B., Šlechta, V., Havelka, M., Kašpar, V., Linhart, O., 2013. *Genetika a šlechtění ryb*. VÚRH JU, Vodňany, 230 s.
- Fleming, I.A., 1996. Reproductive strategies of Atlantic salmon: Ecology and evolution. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 6, 379-416.
- Fülberth, M., Moran, D., Jarlbaek, H., Støttrup, G.J., 2009. Growth of juvenile Atlantic cod *Gadus morhua* in land-based recirculation systems: Effects of feeding regime, photoperiod and diet. *Aquaculture* 292, 225-231.

- Galbreath, P., Adams, N., Sherrill, L., 2003. Successful sex reversal of brook trout with 17 alpha-methylidihydrotestosterone treatments. *North American Journal of Aquaculture* 65, 235-239.
- Gebauer, D., 2004. Zhodnocení efektu aplikace krmných směsí s různým obsahem energie v chovu pstruha duhového (*Oncorhynchus mykiss*) v zimním období. Brno, 84 s. Diplomová práce. MZLU v Brně.
- Gines, R., Afonso, J.M., Argüello, A., Zamorano, M.J., Lopez, J.L., 2003. Growth in adult gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) as a result of interference in sexual maturation by different photoperiod regimes. *Aquaculture Research* 34, 73-83.
- Godin, J.G., Dill, P.A., Drury, D.E., 1974. Effects of thyroid hormones on behavior of yearling Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 31, 1787-1790.
- Haffray, P., Petit, V., Guiguen, Y., Quillet, E., Rault, P., Fostier, A., 2009. Successful production of monosex female brook trout *Salvelinus fontinalis* using gynogenetic sex reversed males by a combination of methyltestosterone immersion and oral treatments. *Aquaculture* 290, 47-52.
- Hanel, L. 2000. Ryby II. Svět zvířat, Albatros, Praha, 157 s.
- Hardeland, R., Pandi-Perumal, S.R., Cardinali, D.P., 2006. Melatonin. *International Journal of Biochemistry and Cell Biology* 38, 313-316.
- Hartman, P., Příkryl, I., Štědranský, E., 2010. Hydrobiologie. Informatorium, Praha, 364 s.
- Havelka, M., Kříž, M., Flajšhans, M., 2014. Ověření technologie hromadné indukce triploidie u sivena amerického (*Salvenilus fontinalis*) v provozních podmínkách. *Edice Metodik, VÚRH JU Vodňany*, č. 139, 17s.
- Helfman, G., Collete, B.B., Facey, E.D., Bowen, W.B., 2009. The diversity of fishes biology, evolution and ecology. John Wiley & Sons, New Jersey, p. 736.
- Hendry, A. P., Beall, E., 2004. Energy use in spawning Atlantic salmon. *Ecology of Freshwater Fish* 13, 185-196.

- Herbinger, M.C., Friars, W.G., 1991. Correlation between condition factor and total lipid content in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., parr. *Aquaculture* 22, 527-529.
- Hoar, S.W., Randall, J.D., 2014. *Fish Physiology: The Endocrine system*. Academic Press, New York, p. 447.
- Hoar, S.W., Randal, J.D., Donaldson, M.E., 1983. *Fish Physiology: Reproduction*. Academic Press, New York, p. 476.
- Holcombe, W.G., Pasha, S.M., Jensen, M.K., Tietge, E.J., Ankley, T.G., 2000. Effects of Photoperiod Manipulation on Brook Trout Reproductive Development, Fecundity, and Circulating Sex Steroid Concentrations. *North American Journal of Aquaculture* 62, 1-11.
- Holčík, J., Mihálik, J. 1971. *Sladkovodní ryby*. Artia, Praha, 133 s.
- Hoover, E.E., 1937. Experimental modification of the sexual cycle in trout by control of light. *Science* 86, 425-426.
- Htun-Han, M., 1978. The reproductive biology of the dab *Limanda limanda* (L.) in the North Sea: Seasonal changes in the ovary. *Journal of Fish Biology* 13, 351-359.
- Hutchings, J.A., Jones, M.E.B., 1998. Life history variation and growth rate thresholds for maturity in Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 55, 22-47.
- Hutchison, M.J., Iwata, M., 1998. Effect of thyroxine on the decrease of aggressive behaviour of four salmonids during the parr-smolt transformation. *Aquaculture* 168, 169-175.
- Ihssen, E.P., McKay, R.L., McMillan, I., Phillips, B.R., 1990. Ploidy Manipulation and Gynogenesis in Fishes: Cytogenetic and Fisheries Applications. *Transactions of the American Fisheries Society* 119, 698-717.
- Jalabert, B. 2005. Particularities of reproduction and oogenesis in teleost fish compared to mammals. *Reproduction, Nutrition, Development* 45, 261-279.
- Järvi, T., 1990. The effects of male dominance, secondary sexual characteristics and female mate choice on the mating success of male Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Ethology* 84, 123-132.

- Jobling, M., 1987. Growth of Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.) under conditions of constant light and temperature. *Aquaculture* 60, 243-249.
- Jonassen, T.M., Imsland, A.K., Kadowaki, S., Stefansson, S.O., 2000. Interaction of temperature and photoperiod on growth of Atlantic halibut *Hippoglossus hippoglossus*. *Aquaculture Research* 31, 219-227.
- Johansen, S.J.S., Ekli, M., Jobling, M., 2002. Is there lipostatic regulation of feed intake in Atlantic salmon *Salmo salar* L.? *Aquaculture Research* 33, 515-524.
- Kadri, S., Metcalfe, N.B., Huntingford, F.A., Thorpe, J.E., 1995. What controls the onset of anorexia in maturing female Atlantic salmon? *Functional Ecology* 9, 790-797.
- Karas, N., 1997. Brook trout. Lyons & Burford, New York, p. 371.
- Kawauchi, H., Kawazoe, I., Tsuokowa, M., Kishida, M., Baker, B.I., 1983. Characterization of melanin concentrating hormone in chum salmon pituitaries. *Nature* 305, 321-323.
- Khan, I .A., Thomas, P., 1992. Stimulatory effects of serotonin on maturational gonadotropin release in the Atlantic croaker, *Micropogonias undulatus*. *General and Comparative Endocrinology* 88, 388-396.
- Kiessling, A., Ruohonen, K., Bjørnevik, M., 2006. Muscle fibre growth and quality in fish. *Archives Animal Breeding* 49, 137-146.
- Kråkenes, R., Hansen, T., Stefansson, O.S., Taranger, L.G., 1991. Continuous light increases growth rate of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) postsmolts in sea cages. *Aquaculture* 95, 281-287.
- Kubota, S., Kinoshita, M., Yokohama, Y., Toyohara, H., Sakaguchi, M., 2000. Induction of gelatinolytic activities in ayu muscle at the spawning stage. *Fisheries Science* 66, 574-578.
- Kulczykowska, E., Popek, W., Kappor, G.B., 2010. *Biological Clock in Fish*. CRC Press, London, p. 280.

- Kouřil, J., Mareš, J., Pokorný, J., Adámek, Z., Randák, T., Kolářová, J., Palíková, M., 2008. Chov lososovitých druhů ryb, lipana a síhů. VÚRH JU, Vodňany, 141 s.
- Kouřil, J., 2011. Technická zpráva pilotního projektu: využití monosexní obsádky pstruha duhového s cílem zvýšení produkce v intenzivním chovu. [cit. 17. 4. 2016]. Dostupné z: <http://www.pstruharstvi.cz/soubory/ostatni/tz-pp-2010-2011.pdf>
- Lee, P., King, H., Pankhurst, N., 2004. Preliminary assessment of sex reversal of farmed Atlantic salmon by dietary and immersion androgen treatments. *North American Journal of Aquaculture* 66, 1-7.
- Loopstra, P.D., Hansen, A.P., 2008. Induction of Triploidy in Rainbow Trout (*Oncorhynchus Mykiss*) Using Hydrostatic Pressure. *Fishery Data Series*, 8-22.
- Losos, B., Gulička, J., Lellák, J., Pelikán, J., 1985. Ekologie živočichů. SPN, Praha, 320 s.
- Lucas, S.J., Southgate, C.P., 2012. *Aquaculture: Farming Aquatic Animals and Plants*. John Wiley & Sons, New Jersey, p. 629.
- Lusk, S., Baruš, V., Vostradovský, J., 1992. Ryby v našich vodách. Academia, Praha, 248 s.
- Makinen, T., Ruhonen, K., 1992. Effect of delayed photoperiod on the growth of a Finnish rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) stock. *Journal of Applied Ichthyology* 8, 40-50.
- Manor, L.M., Weber, M.G., Salem, M., Yao, J., Aussanasuwannakul, A., Kenney B.P., 2012. Effect of sexual maturation and triploidy on chemical composition and fatty acid content of energy stores in female rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture* 364-365, 312-321.
- Matty, J.A., 1985. *Fish endocrinology*. Croom Helm, London, p. 267.
- McCormick, S.D., Naiman, R.J., 1984. Some determinants of maturation in brook trout, *Salvelinus fontinalis*. *Aquaculture* 43, 269-278.
- McLay, H.A., Youngson, A.F., Wright, R.S., Johnstone, R., 1992. Effects of rearing density on sexual maturation and growth in sea-cage reared Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Aquaculture and Fishery Management* 23, 353-365.

- Morita, K., Morita, S. H., Fukuwaka, M., Matsuda, H., 2005. Rule of age and size at maturity of chum salmon (*Oncorhynchus keta*): implications of recent trends among *Oncorhynchus* spp. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 62, 2752-2759.
- Mortensen, A., Damsgård, B., 1993. Compensatory growth and weight segregation following light and temperature manipulation of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.). Aquaculture 114, 261-272.
- Moyle, P.B., 1981. Review of E. K. Balon (Editor), Charrs, salmonid fishes of the Genus *Salvelinus*. Transactions of the American Fisheries Society 110, 313-316.
- Moyle, P.B., 1976. Inland Fishes of California. University of California Press, Los Angeles, p. 405.
- Nash, M.D.R., Valencia, H.A., Geffen, J.A., 2006. Origin of Fulton's Condition Factor-Setting the Record Straight. Essay: Fisheries history 31.
- Nassour, I., Léger, L.C., 1989. Deposition and mobilisation of body fat during sexual maturation in female trout (*Salmo gairdneri* Richardson). Aquatic Living Resources 2, 153-159.
- Nelson, J.R., Denlinger, L.D., Somers, E.D., 2010. Photoperiodism: The Biological Calendar. Oxford University Press, Oxford, p. 600.
- Nordgarden, U, Oppedal, F., Taranger, L.G., Hemre, I.G., Hansen, T., 2003. Seasonally changing metabolism in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) I – Growth and feed conversion ratio. Aquaculture nutrition 9, 287-293.
- Norris, O.D., Carr, A.J., 2013. Vertebrate Endocrinology. Academic Press, New York, p. 580.
- Okuzawa, K., 2002. Puberty in teleosts. Fish Physiology and Biochemistry 26, 31-41.
- Olsen, E., Lilly, G.R., Heino, M., Morgan, M.J., Brattey, J., Dieckmann, U., 2005. Assessing changes in age and size at maturation in collapsing populations of Atlantic cod (*Gadus morhua*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 62, 811-823.

- Pandian, J.T., Koteeswaran, R., 1998. Ploidy induction and sex control in fish. *Hydrobiologia* 384, 167-243.
- Pandian, T.J., Sheela, S.G., 1995. Hormonal induction of sex reversal in fish. *Aquaculture* 138, 1-22.
- Pankhurst, N.W., King, H.R., 2010. Temperature and salmonid reproduction: implications for aquaculture. *Journal of Fish Biology* 76, 69-85.
- Parker, R., 2011. *Aquaculture Science*. Cengage Learning, Boston, p. 672.
- Pavlík, M., Brabec, T., Lang, Š., Kopp, R., Mareš, J., 2011. Influence of breeding conditions rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) to its nutritional value to its nutritional value. [cit. 15. 4. 2016]. Dostupné z: <http://www.rybarstvi.eu/pub%20rybari/2011%20pavlik%20mendelnet.pdf>
- Pedersen, H.B., 2003. Induced sexual maturation of the European eel *Anguilla anguilla* and fertilisation of the eggs. *Aquaculture* 224, 323-338.
- Pettersson, E., Järvi, T., Olsén, H., Mayer, I., Hedenskog, M., 1999. Male–male competition and female choice in brown trout. *Animal Behaviour* 57, 777-783.
- Pickering, D.A., Duston, J., 1983. Administration of cortisol to brown trout, *Salmo trutta* L., and its effects on the susceptibility to *Saprolegnia* infection and furunculosis. *Journal of Fish Biology* 23, 163-175.
- Piferrer, F., 2001. Endocrine sex control strategies for the feminization of teleost fish. *Aquaculture* 197, 229-281.
- Piferrer, F., Beaumont, A., Falguière, C.J., Flajšhans, M., Haffray, P., Colombo, L., 2009. Polyploid fish and shellfish: Production, biology and applications to aquaculture for performance improvement and genetic containment. *Aquaculture* 293, 125-156.
- Pokorný, J., Adámek, Z., Šrámek, V., Dvořák, J., 2003. *Pstruhařství, 2. přepracované vydání*. Informatorium, Praha, 242 s.

- Porter, R.J.M., Duncan, J.N., Mitchell, D., Bromage, R.N., 1999. The use of cage lighting to reduce plasma melatonin in Atlantic salmon (*Salmo salar*) and its effects on the inhibition of grilising. *Aquaculture* 176, 237-244.
- Randall, C.F., Bromage, N.R., Duston, J., Symes, J., 1998. Photoperiod induced phaseshifts of the endogenous clock controlling reproduction in the rainbow trout: a circannual phase-response curve. *Journal of Reproduction and Fertility* 112, 399-405.
- Randall, C., North, B., Futter, W., Porter, M., Bromage, N., 2001. Photoperiod effects on reproduction and growth in rainbow trout. *Trout News* 32, 12-16.
- Rhead, L., 2000. *The Speckled Brook Trout*. Derrydale Press, Maryland, p. 232.
- Rodríguez, L., Carrillo, M., Sorbera, A.L., Zohar, Y., Zanuy, S., 2004. Effects of photoperiod on pituitary levels of three forms of GnRH and reproductive hormones in the male European sea bass (*Dicentrarchus labrax*, L.) during testicular differentiation and first testicular rekrudescence. *General and Comparative Endocrinology* 136, 37-48.
- Rowe, D.K., Thorpe, J.E., Shanks, A.M., 1991. Role of fat stores in the maturation of male Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 48, 405-413.
- Rybářské sdružení, 21. 3. 2016, osobní sdělení.
- Salem, M., Kenney, P.B., Rexroad, C.E., Yao, J., 2006. Molecular characterization of muscle atrophy and proteolysis associated with spawning in rainbow trout. *Comparative Biochemistry and Physiology* 1, 227-237.
- Schubert, A., Lellák, J., 1973. *Život ve sladkých vodách*. Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 285 s.
- Schwoerbel, J., 2016. *Methods of Hydrobiology: Freshwater Biology*. Elsevier, New York, p. 210.
- Sedlár, J., 1989. *Atlas ryb*. Obzor, Bratislava, 373 s.

- Shearer, K.D., Silverstein, J.T., Plisetskaya, E.M., 1997. Role of adiposity in food intake control of juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Comparative Biochemistry and Physiology* 118, 1209-1215.
- Silverstein, J.T., Shearer, K.D., Dickhoff, W.W., Plisetskaya, E.M., 1998. Effects of growth and fatness on sexual development of chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) parr. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 55, 2376-2382.
- Skilbrei, O.T., 1989. Relationships between smolt length and growth and maturation in the sea of individually tagged Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 83, 95-108.
- Smith, L.T., Lemoine, H.L., 1979. Colchicine-induced polyploidy in brook trout. *Prog. Fish-Cult.* 41, 86-88.
- Stead, S.M., Houlihan, D.F., McLay, H.A., Johnstone, R., 1999. Food consumption and growth in maturing Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 56, 2019-2028.
- Stearns, S.C., Koella, J.C., 1986. The evolution of phenotypic plasticity in life-history traits – predictions of reaction norms for age and size at maturity. *Evolution* 40, 893-913.
- Stejskal, V., Kouril, J., Policar, T., Hamackova, J., Musil, J., 2009. The growth pattern of all-female perch (*Perca fluviatilis* L.) juveniles – is monosex perch stock beneficial? *Journal of Applied Ichthyology* 25, 432-437.
- Suquet, M., Malo, F., Quere, C., Ledu, C., Le Grand, J., Benabdelmouna, A., 2016. Gamete quality in triploid Pacific oyster (*Crassostrea gigas*). *Aquaculture* 451, 11-15.
- Svåsand, T., Jørstad, K.E., Otterå, H., Kjesbu, O.S., 1996. Differences in growth performance between Arcto-Norwegian and Norwegian coastal cod reared under identical conditions. *Journal of Fish Biology* 49, 108-119.
- Svinger, V., Stejskal, V., Prokesova, M., Matousek, J., Sebesta, R., Kouril, J., Novikava, K., 2015. Environmentale Verzögerung der Geschlechtsreifung bei zweisömmerigen Bachsaiblingen durch Einsatz zweier verschiedenen Beleuchtungssysteme. *Fischer und Teichwirt* 5, 163-166.

- Svobodová, Z., Kolářová, J., Navrátil, S., Veselý, T., Chloupek, P., Tesarčík, J., Čítek, J., 2007. Nemoci sladkovodních a akvarijských ryb. Informatorium, Praha, 264 s.
- Swanson, P., Dickey, J.T., Campbell, B., 2003. Biochemistry and physiology of fish gonadotropins. *Fish Physiology and Biochemistry* 28, 53-59.
- Švinger, V., Kouřil, J., 2012. Hormonálně řízená reprodukce lososovitých ryb. Edice Metodik, VÚRH JU Vodňany, č. 123. 38 s.
- Taranger, G.L., Carrillo, M., Rüdiger, W.S., Fontaine, P., Zanuy, S., Felip, A., Weltzien, A.F., Dufour, S., Karlson, Ø., Norberg, B., Andersson, E., Hansen, T., 2010. Control of puberty in farmed fish. *General and Comparative Endocrinology* 165, 483-515.
- Taranger, G.L., Haux, C., Hansen, T., Stefansson, S.O., Björnsson, B.T., Walther, B.T., Kryvi, H., 1999. Mechanisms underlying photoperiodic effects on age at sexual maturity in Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture* 177, 47-60.
- Taranger, G.L., Vikingstad, E., Klenke, U., Mayer, I., Stefansson, S. O., Norberg, B., Hansen, T., Zohar, Y., Andersson, E., 2003. Effects of photoperiod, temperature and GnRHa treatment on the reproductive physiology of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) broodstock. *Fish Physiology and Biochemistry* 28, 403-406.
- Taylor, F.J., North, P.B., Porter, R.J.M., Bromage, R.N., Migaud, H., 2006. Photoperiod can be used to enhance growth and improve feeding efficiency in farmed rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture* 256, 216-234.
- Thorpe, J.E., 2007. Maturation responses of salmonids to changing developmental opportunities. *Marine Ecology Progress Series* 335, 285-288.
- Tingaud-Sequeira, A., Knoll-Gellida, A., André, M., Babin, J.P., 2012. Vitellogenin Expression in White Adipose Tissue in Female Teleost Fish. *Biology of Reproduction* 86, 1-11.
- Tiwary, K.B., Kirubakaran, R., Ray, K.A., 2004. The biology of triploid fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 14, 391-402.

- Turker, A., 2009. Effect of photoperiod on growth of trout (*Oncorhynchus mykiss*) in cold Ambient sea water. *The Israeli Journal of Aquaculture* 61, 57-62.
- Tveiten, H., Johnsen, H.K., Jobling, M., 1996. Influence of maturity status on the annual cycles of feeding and growth in Arctic charr reared at constant temperature. *Journal of Fish Biology* 48, 910-924.
- Tyler, C.R., Sumpter, J.P., Bromage, N.B., 1988. Selectivity of protein sequestration by vitellogenic oocytes of rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *J. Rap. Zool.* 248, 199- 206.
- Tyler, R.C., Sumpter, P.J., Witthames, R.P., 1990. The Dynamics of Oocyte Growth during Vitellogenesis in the Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Biology of Reproduction*, 43 202-209.
- van Bohemen, G.C., Lambert, D.G.J., Peute, J., 1981. Annual changes in plasma and liver in relation to vitellogenesis in the female rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *General and Comparative Endocrinology* 44, 94-107.
- van Ginneken, J.T.V., Maes, E.G., 2005. The European eel (*Anguilla anguilla*, Linnaeus), its lifecycle, evolution and reproduction: a literature review. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 15, 367-398.
- Vijayan, M.M., Leatherland, F.J., 1988. Effect of stocking density on the growth and stress-response in brook charr, *Salvelinus fontinalis*. *Aquaculture* 75, 159-170.
- Weltzien, A.F., Andersson, E., Andersen, Ø., Shalchian-Tabrizi, K., Norberg, B., 2004. The brain–pituitary–gonad axis in male teleosts, with special emphasis on flatfish (Pleuronectiformes). *Comparative Biochemistry and Physiology* 137, 447-477.
- Werner, C., Poontawee, K., Mueller-Belecke, A., Hoerstgen-Schwark, G., Wicke, M., 2008. Flesh characteristics of pan-size triploid and diploid rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared in a commercial fish farm. *Archiv Tierzucht* 51, 71-83.
- Wiegand, D.M., 1996. Composition, accumulation and utilization of yolk lipids in teleost fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 6, 259-286.

- Wilkinson, J.R., Longland, R., Woolcott, H., Porter, R.J.M., 2010. Effect of elevated winter–spring water temperature on sexual maturation in photoperiod manipulated stocks of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 309, 236-242.
- Willoughby, L.G., Pickering, A.D., Viable Saprolegnia spores on the epidermis of salmonid fish *Salmo trutta* and *Salvelinus alpinus*. *Transactions of the British Mycological Society* 68, 91-95.
- Winberg, S., Nilsson, A., Hylland, P., Söderstöm, V., Nilsson, E.G., 1997. Serotonin as a regulator of hypothalamic-pituitary-interrenal activity in teleost fish. *Neuroscience Letters* 230, 113-116.
- Wootton, J.R., Smith, C., 2014. *Reproductive Biology of Teleost Fishes*. John Wiley & Sons, New Jersey, p. 496.
- Wurtsbaugh, A.W., Brocksen, W.R., Goldman, R.C. 1975. Food and Distribution of Underyearling Brook and Rainbow Trout in Castle Lake, California. *Transactions of the American Fisheries Society* 104, 88-95.
- Yadav, M., 2008. *Fish Endocrinology*. Discovery Publishing House, New Delhi, p. 296
- Yang, H., Guo, X., 2006. Polyploid induction by heat shock-induced meiosis and mitosis inhibition in the dwarf surfclam, *Mulinia lateralis* Say. *Aquaculture* 252, 171-182.
- You, K., Yang, H., Liu, Y., Liu, S., Zhou, Y., Zhang, T., 2006. Effects of different light sources and illumination methods on growth and body color of shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 252, 557-565.
- Zieba, D.A., Amstalden, M., Williams, G.L., 2005. Regulatory roles of leptin in reproduction and metabolism: a comparative review. *Domestic Animal Endocrinology* 29, 166-185.

8. Přílohy

Optiline HE

	jednotky	2P	3P	surovinové složení
granulace	mm	4	6	rybí moučka
hrubý protein	%	43,5	41,5	rybí olej
hrubý tuk	%	26,5	28,5	sojový extrahovaný šrot
karbohydráty	%	15,5	15	bob obecný
popeloviny	%	6,5	6,5	hemoglobinová moučka
celulosa	%	2	2	péřová moučka
fosfor	%	0,8	0,8	pšeničný lepek
stravitelná energie	MJ.kg ⁻¹	20,9	21,1	sojový proteinový koncentrát
vitamin A	IU.kg ⁻¹	5000	5000	drůbeží olej
vitamin D	IU.kg ⁻¹	750	750	řepkový olej
vitamin E	IU.kg ⁻¹	150	150	lněný olej

Příloha č. 1: Nutriční složení krmiva Optiline HE.



Příloha č. 2: Kontrolní přelovení Annín (foto Vlastimil Stejskal).

EFICO Alpha 756			
	jednotky	3 mm	4,5 mm
N-látky	%	39-42	39-42
tuk	%	21-24	21-24
karbohydráty (NFE)	%	21	21
vláknina	%	4,7	4,7
popeloviny	%	5,9	5,9
celkový fosfor	%	0,8	0,8
hrubá energie	MJ.kg ⁻¹	20-24	20-24
stravitelná energie	MJ.kg ⁻¹	18,7	18,7

Příloha č. 3: Nutriční složení krmiva EFICO Alpha 756.



Příloha č. 4: Kontrolní přelovení Litomyšl (foto Radek Holcman).



Příloha č. 5: Pohlavní dimorfismus HAL, LED a KON mlíčáků (foto Vlastimil Stejskal).



Příloha č. 6: Pohlavní dimorfismus spodiny těla sivena amerického (foto Vlastimil Stejskal).



Příloha č. 7: Mykoticky napadený jedinec sivena amerického (foto Vlastimil Stejskal).

9. Abstrakt

Cílem práce bylo na základě dvou experimentů zhodnotit proces fotostimulace jako prevence nástupu pohlavní dospělosti u sivena amerického (*Salvelinus fontinalis*). Dalším, dílčím experimentem bylo posouzení efektu fotostimulace na důsledky agresivního chování mlíčáků. V prvním experimentu byly založeny dvě testované skupiny lišící se zdrojem osvětlení: metalhalogenové reflektory (HAL) a elektroluminiscenční diody (LED). V následujícím experimentu se testovalo již vlastní načasování aplikace fotostimulace. Řízený světelný režim byl v obou případech prodloužen na 18 hodin světelné fáze: 6 hodin temné fáze ve srovnání s kontrolní skupinou pod přirozenou fotoperiodou. Z výsledků obou experimentů vyplývá, že v předvýtěrovém období měli testované jikernačky i mlíčáci prokazatelně vyšší hmotnostní růst, a to až o 100 g ($\alpha=0,05$) z důvodu právě žádoucího oddálení pohlavního dospívání (až o jeden měsíc). Při získání stejných výsledků byl jednoznačně rentabilnější zdroj osvětlení LED diody, zároveň postačila aplikace 67 dní před předpokládaným výtěrovým obdobím. Pozitivně se fotostimulace projevila také na eliminaci důsledků agresivního chování mlíčáků. Získané výsledky naznačují, že fotostimulace může najít své uplatnění v intenzivním chovu lososovitých ryb v České republice.

Klíčová slova: fotostimulace; fotoperioda; pohlavní dospívání; siven americký.

10. Abstract

The aim of the present work, based on two experiments, was to evaluate the impact of photostimulation as a prevention for delaying the sexual maturation of brook trout (*Salvenilus fontinalis*). Another additional experiment was to describe which effect has photostimulation on the consequences of aggressive behaviour of males. Two experimental groups were established and differed in illumination sources: the metal halide lamps (HAL) and the light emitting diodes (LED). The photostimulation timing (photoperiod) was tested in following experiment. In both tested groups (HAL and LED) the photoperiod was prolonged to 18L:6D in comparison to the control group with natural photoperiod. The results shows that before spawning females and males in both tested groups (HAL and LED) reached significantly higher body weight up to 100 g ($\alpha=0.05$) due to desirable delayed sexual maturation (up to one month). By obtaining the same results in both groups, clearly profitable source of illumination was LED and the time for sufficient application before spawning was 67 days. Moreover photostimulation had also positively reflected in the elimination of aggressive behaviour of males. The results of the present study suggest that photostimulation may be applicable in the intensive culture systems of salmonids in the Czech Republic.

Keywords: brook trout; photoperiod; photostimulation; sexual maturation.