

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Fakulta rybářství a ochrany vod

Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický

Bakalářská práce

Potenciál selekčního šlechtění při zvyšování užitkovosti
kapra obecného (*Cyprinus carpio* L.): přehledová studie

Autor: Jindřich Daniel

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Prchal, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce: doc. Ing. Martin Kocour, Ph.D.

Studijní program a obor: Rybářství

Forma studia: Prezenční

Ročník: 3.

České Budějovice, 2024

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracoval pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

Datum: 13.5.2024

Podpis studenta.....

Jindřich Daniel

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Martinu Prchalovi, Ph.D., za odbornou pomoc a vedení při psaní bakalářské práce, za jeho ochotu a poskytnutí potřebných materiálů. Dále bych chtěl poděkovat svému konzultantovi doc. Ing. Martinu Kocourovi, Ph.D. Rád bych také velmi poděkoval mé rodině za podporu během tvorby bakalářské práce i během celého studia.

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Fakulta rybnářství a ochrany vod

Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Jindřich DANIEL
Osobní číslo: V21B027P
Studijní program: B4103 Zootechnika
Studijní obor: Rybnářství
Téma práce: Potenciál selekčního šlechtění při zvyšování užitkovosti kapra obecného (*Cyprinus carpio* L.): přehledová studie
Zadávací katedra: Výzkumný ústav rybnářský a hydrobiologický

Zásady pro vypracování

Kapr obecný je v celosvětovém měřítku všech produkovaných druhů ryb na čtvrtém místě s celkovou produkcí nad 4 mil. tun ročně. Roční produkce kapra se v České republice pohybuje okolo 85-90 % ze všech tržních ryb, jež činí přibližně 20 000 tun. Je proto důležité udržet rentabilitu jeho chovu, která je po dlouhou dobu klesající i díky jen velmi pomalu rostoucí ceně ryb, ale významně rostoucím celkovým nákladům (krmení, energie, pohonné hmoty atd.). Jednou z možností, jak zajistit udržitelnost chovu kapra, je zlepšit užitkové vlastnosti (zejména růst, odolnost vůči nemocem a výtěžnost jedlých částí těla) s využitím šlechtitelských metod. Šlechtění kapra obecného probíhá převážně formou hybridizace. Nicméně u většiny akvakulturních druhů je při zvyšování užitkovosti aplikována především systematická selekce. Brvné výsledky selekčních experimentů kapra obecného však byly protichůdné a nevedly k lepší užitkovosti růstu. Každopádně většina novějších studií naznačuje, že selekce by mohla být účinným nástrojem při zlepšování genetického potenciálu růstu, ale i dalších užitkových znaků kapra, a to i v našich podmínkách rybníčního chovu.

Cílem této práce je popsat a definovat možnosti využití tradičního i moderního selekčního šlechtění kapra obecného v našich podmínkách s ohledem na různé užitkové vlastnosti, jež jsou v centru zájmu produkčních rybnářů. Bakalářská přehledová práce by měla být koncipována kriticky s ohledem na potenciál selekčního šlechtění, ale i možnosti rybnářské praxe v našich podmínkách. Nástrojem pro vypracování rešerše bude především dostupná vědecká literatura, ale i seznámení se se stavem českého produkčního rybnářství a jeho mechanismy. Práce by se určitě měla dotýkat následujících témat: 1) Analýzy současného stavu šlechtění kapra v ČR a ve světě, 2) Pojmenování nejdůležitějších užitkových znaků, jež jsou v zájmu chovatelů a zákazníků, 3) Definování základních pojmů kvantitativní genetiky: složky fenotypové proměnlivosti, heterozní efekt, heritabilita, genetické korelace, QTL aj. 4) Srovnání výhod a nevýhod hybridizace a selekce kapra obecného, 5) Analýzy potenciálu různých metod selekčního šlechtění kapra obecného ve smyslu genetických a genomických parametrů užitkových znaků, 6) Srovnání postavení a významu selekčního šlechtění u ostatních druhů ryb, 7) Definování situace a trendů chovu kapra v České republice, 8) Kritického zhodnocení možnosti realizace selekčního šlechtění do podmínek českého rybnářství a 9) Navržení udržitelné strategie selekčního programu pro rybnářské subjekty.

Rozsah pracovní zprávy: 25-50 stran
Rozsah grafických prací: dle potřeby
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam doporučené literatury:

Dong, Z., Nguyen, N.H., Zhu, W., Genetic evaluation of a selective breeding program for common carp *Cyprinus carpio* conducted from 2004 to 2014. BMC Genetics 16, 94.
Hu, X., Li, C., Shang, M., Ge, Y., Jia, Z., Wang, S., et al. (2017). Inheritance of growth traits in Songpu mirror carp (*Cyprinus carpio* L.) cultured in Northeast China. Aquaculture 477, 1-5.
Kocour, M., Prchal, M., Gela, D., Kocour Kroupová, H., Steinbach, Ch., Garayová, M., Polícar, T., Opatření na zkrácení generačního intervalu u kapra

obecného. FROV JU Vodňany, Edice metodik (technologická řada) č. 198, 53 s.

Nielsen, H.M., Odegard, J., Olesen, I., Gjerde, B., Ardo, L., Jeney, G., Jeney, Z., 2010. Genetic analysis of common carp (*Cyprinus carpio*) strains I: genetic parameters and heterosis for growth traits and survival. *Aquaculture* 304, 14-21.

Ninh, N.H., Ponzoni, R.W., Nguyen, N.H., Woolliams, J.A., Taggart, J.B., McAndrew, B.J., Penman, D.J., 2013. A comparison of communal and separate rearing of families in selective breeding of common carp (*Cyprinus carpio*): Responses to selection. *Aquaculture* 408-409, 152-159.

Palaiokostas, C., Robledo, D., Vesely, T., Prchal, M., Pokorova, D., Piačkova, V., Pojezdal, L., Kocour, M., Houston, R.D., 2018. Mapping and sequencing of a significant quantitative trait locus affecting resistance to Koi herpesvirus in common carp. *G3: Genes, Genome, Genetics* 8(11).

Palaiokostas, C., Vesely, T., Kocour, M., Prchal, M., Pokorova, D., Piačkova, V., Pojezdal, L., Houston, R.D., 2019. Optimizing genomic prediction of host resistance to Koi herpesvirus disease in carp. *Frontiers in Genetics* 10, 543.

Peng, W., Xu, J., Zhang, Y., Feng, J., Dong, C., Jiang, L., Feng, J., Chen, B., Gong, Y., Chen, L., 2016. An ultra-high density linkage map and QTL mapping for sex and growth-related traits of common carp (*Cyprinus carpio*). *Scientific Reports* 6, 1-16.

Prchal, M., Bugeon, J., Vandeputte, M., Kause, A., Vergnet, A., Zhao, J., Gela, D., Genestout, L., Bestin, A., Haffray, P., Kocour, M., 2018a. Potential for genetic improvement of the main slaughter yields in common carp with in vivo morphological predictors. *Frontiers in Genetics* 9, 283.

Prchal, M., Kause, A., Vandeputte, M., Gela, D., Allamelou, J.M., Girish, K., Bestin, A., Bugeon, J., Zhao, J., Kocour, M., 2018b. The genetics of overwintering performance in two-year old common carp and its relation to performance until market size. *PLoS ONE* 13(1), e0191624.

Prchal, M., Zhao, J., Gela, D., Kašpar, J., Lepič, P., Kašpar, V., Kocour, M., 2021. Simplified method for genetic slaughter yields improvement in common carp under European pond conditions. *Aquaculture Reports* 21, 100832

Prchal, M., Gela, D., Flajšhans, M., Piačková, V., Kocour Kroupová, H., Kocour, M., 2021. Využití amurského lysce pro zefektivnění produkce kapra v rybníční akvakultuře ČR. FROV JU Vodňany, Edice metodik (technologická řada) č. 189, 51 s.

Vandeputte, M., 2003. Selective breeding of quantitative traits in the common carp (*Cyprinus carpio*): a review. *Aquatic Living Resources* 16, 399-407.

Zhao, J., Prchal, M., Kause, A., Vandeputte, M., Gela, D., Kocour Kroupová, H., Piačková, V., Šauer, P., Steinbach, C., Allamelou, J.-M., Palaiokostas, C., Houston, R.D., Kocour, M., 2021. The role of energy reserves in common carp performance inferred from phenotypic and genetic parameters. *Aquaculture* 541, 736799

Zhao, J., Prchal, M., Palaiokostas, C., Houston, R.D., Kause, A., Vandeputte, M., Vergnet, A., Bugeon, J., Bestin, A., Veselý, T., Pokorová, D., Piačková, V., Pojezdal, L., Genestout, L., Gela, D., Kroupová, K. Hana, Kocour, M., 2020. Genetic relationship between koi herpesvirus disease resistance and production traits inferred from sibling performance in Amur mirror carp. *Aquaculture* 520, 734986

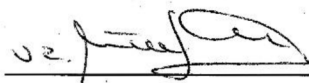
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Prchal, Ph.D.**
Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický


Konzultant bakalářské práce: **doc. Ing. Martin Kocour, Ph.D.**
Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický

Datum zadání bakalářské práce: **6. ledna 2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **2. května 2024**

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
FAKULTA RYBÁŘSTVÍ A OCHRANY VOD
Zátíší 728/II
389 25 Vodňany (2)
I.S.


prof. Ing. Pavel Kozák, Ph.D.
děkan


prof. Ing. Tomáš Randák, Ph.D.
ředitel

V Českých Budějovicích dne 13. února 2023

1. ÚVOD.....	10
2. ZÁKLADNÍ POJMY KVANTITATIVNÍ GENETIKY	12
2.1. Kvantitativní znaky	12
2.2. Složky fenotypové proměnlivosti	13
2.3. Variance prostředí	13
2.4. Variance genetické složky.....	14
2.5. Vztahy mezi genetickou složkou a prostředím	14
2.5.1. Korelace mezi genotypem a prostředím	14
2.5.2. Interakce mezi genotypem a prostředím	14
2.6. Aditivní složka genetické variance.....	14
2.7. Neaditivní složka genetické variance	15
2.7.1. Variance dominance	15
2.7.2. Variance interakce	15
2.8. Maternální variace	15
2.9. Heterozní efekt.....	16
2.10. Základní genetické parametry.....	16
2.10.1. Heritabilita.....	16
2.10.2. Genetické korelace	16
2.10.3. Předpověď selekční odezvy – genetický zisk	17
2.10.4. Inbríding	17
3. SOUČASNÝ STAV ŠLECHTĚNÍ VE SVĚTĚ	19
3.1. Křížení (Hybridizace).....	19
3.2. Genomové manipulace	21
3.3. Selektce.....	22

4. METODY SELEKČNÍHO ŠLECHTĚNÍ	23
4.1. Typy selekce	23
4.1.1. Selekce podle počtu selektovaných znaků	23
4.1.1.1. Selekce na jeden znak	23
4.1.1.2 Selekce na více znaků	23
4.1.2. Selekce podle způsobu selektovaných jedinců.....	23
4.1.2.1. Individuální selekce	23
4.1.2.2. Rodinná selekce.....	24
4.1.2.3. Selekce uvnitř rodu.....	24
4.1.3. Pozitivní a negativní selekce	24
4.1.4. Přímá a nepřímá selekce	24
4.1.5. Selekce podle plemenné hodnoty.....	25
4.1.6. Genomická selekce	25
4.1.7. Marker-asistovaná selekce (MAS)	26
5. HLAVNÍ UŽITKOVÉ ZNAKY PRO SELEKČNÍ ŠLECHTITELSKÉ PROGRAMY	27
5.1. Růst.....	27
5.2. Obsah tuku a jeho kvalita	28
5.3. Jateční výtěžnost	29
5.4. Odolnost vůči nemocem či ektoparazitům	30
5.5. Odolnost vůči globálním změnám.....	31
5.6. Barva kůže či masa	32
5.7. Konverze krmiva	33
5.8. Pohlavní zralost	33

6. HISTORIE A POTENCIÁL SELEKČNÍHO ŠLECHTĚNÍ

KAPRA V ČR.....	34
6.1. Historie chovu kapra	34
6.2 Strategie chovu kapra.....	35
6.3. Produkce kapra a jeho situace na trhu.....	36
6.4. Způsoby chovu kapra	38
6.5. Legislativní omezení chovu kapra.....	38
6.6. Selekční šlechtění kapra obecného	41
6.6.1. Historie a vývoj selekčního šlechtění kapra obecného.....	41
6.6.2. Hlavní užitkové znaky pro selekci kapra obecného	42
6.6.2.1. Růst	42
6.6.2.2. Odolnost vůči KHV.....	43
6.6.2.3. Jateční výtěžnost	44
6.6.2.4. Obsah tuku	45
6.6.2.5. Přežití v hypoxickém prostředí	45
6.6.2.6. Snížení obsahu mezisvalových kostí	46
6.6.2.7. Požadovaný rámec těla.....	46
6.6.2.8. Vzhled ošupení	47
6.6.2.9. Kumulativní hodnota přežití	47
6.6.3. Selekční šlechtění kapra v podmínkách české rybníční akvakultury	49
6.6.3.1. Selekční program s využitím opatření na zkrácení generačního intervalu	49
6.6.3.1.1. Generační interval a pohlavní dospívání	49
6.6.3.1.2. Zakládání selekčního programu	50
6.6.3.1.3. Opatření na zkrácení generačního intervalu	51

6.6.3.1.4. Ekonomické aspekty.....	52
7. POSTAVENÍ A VÝZNAM SELEKČNÍHO ŠLECHTĚNÍ U VÝZNAMNÝCH DRUHŮ RYB	53
7.1. Losos atlantský (<i>Salmo salar</i>)	53
7.2. Pstruh duhový (<i>Oncorhynchus mykiss</i>).....	54
7.3. Losos kisuč (<i>Oncorhynchus kisutch</i>)	55
7.4. Tlamoun nilský (Tilápie nilská) (<i>Oreochromis niloticus</i>)	56
7.5. Sumeček tečkovaný (<i>Ictalurus punctatus</i>).....	58
7.6. Pražma královská (<i>Sparus aurata</i>).....	58
7.7. Mořčák evropský (<i>Dicentrarchus labrax</i>)	59
8. ZÁVĚR	60
9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	61
10. ABSTRAKT	80
11. ABSTRACT	81

1. ÚVOD

Kapr obecný (*Cyprinus carpio*) je velmi významný akvakulturní druh. Světová produkce kapra je přes 4 miliony tun ročně, což ho řadí na čtvrté místo všech produkovaných druhů ryb. V České republice se jedná o dominantní akvakulturní druh v rybničním chovu. Jeho roční produkce je cca 17-18 tisíc tun, což činí cca 85-90 % ze všech tržních ryb (CZ-Ryby, 2024). Avšak rentabilita chovu kapra v České republice dlouhodobě klesá kvůli rostoucím nákladům na výrobu (mzdy, krmení, energie...). Situaci rovněž zkomplikovala celosvětová pandemie způsobená onemocněním COVID-19, neboť se ztížil vývoz ryb do zahraničí. Z tohoto důvodu české rybářství musí reagovat na rychle se měnící podmínky s ohledem na dlouhodobě udržitelnou rentabilitu do níž se propisuje celá řada více či méně ovlivnitelných faktorů. Jednou z možností, jak tohoto docílit, je zlepšení užitkových vlastností (např. růst, výtěžnost jedlých částí těla, odolnost vůči nemocem, tvar těla, ošupení...) s využitím šlechtitelských metod.

Nejčastěji využívané šlechtitelské metody u ryb jsou hybridizace, genomové manipulace a selekce. Hybridizací rozumíme vzájemné páření většinou geneticky vzdálených plemen téhož druhu. Tito kříženci mají obvykle lepší užitkové vlastnosti jako je růst, přežití či požadovaný tvar těla aj. Nevýhodou hybridizace je její dočasnost, jelikož ke zlepšení užitkových vlastností dochází jen v první generaci (Hulata, 1995; Nielsen a kol., 2010). Další metodou jsou genomové manipulace, které se zabírají indukovanou polyploidii, a to zejména vytvářením triploidů (3n), tetraploidů (4n) a tvorbou monosexních populací (Cherfas a kol., 1993; Piferrer a kol., 2009) za účelem zlepšení užitkových vlastností zejména růstu (Galbreath a kol., 1994). Poslední metodou je selekční šlechtění. Tedy selekce ryb s požadovanými užitkovými vlastnostmi. Hlavní a nejdůležitější výhodou selekčního šlechtění je, že získaný genetický zisk je kumulativní, a tedy je dlouhodobý a trvalý po více generací (Gjedrem a kol., 2012; Gjedrem a Rye, 2016).

U většiny akvakulturních druhů se ke zlepšení užitkových vlastností používá právě selekce. U kapra se však nejvíce používá hybridizace, jelikož první selekční experimenty ukázaly spíše negativní výsledky se závěrem, že selekční šlechtění na rychlejší růst u kapra obecného je neefektivní. Novější a lépe designované studie však ukazují mnohem pozitivnější výsledky což naznačuje, že selekce by mohla být vhodným nástrojem ke zlepšování užitkových vlastností i u kapra, a to i v podmínkách rybniční akvakultury. Novější studie také ukazují, že u mnoha užitkových vlastností

kapra je střední až vysoká heritabilita (dědivost), tedy je značný prostor pro jejich genetické zlepšení pomocí selekce, například: rychlost růstu ($h^2= 0,17-0,70$) (Kocour a kol., 2007; Ninh a kol., 2011, 2013; Dong a kol., 2015; Prchal a kol., 2021b), výtěžnost jedlých částí těla ($h^2= 0,21-0,66$) (Kocour a kol., 2007; Prchal a kol., 2018a), tvar těla a ošupení ($h^2=0,51-0,89$) (Prchal a kol., 2021ab; Prchal, 2024 os. sdělení), obsah tuku ($h^2=0,51-0,64$) (Prchal a kol., 2018b; Prchal a kol., 2021b) aj.).

Hlavním cílem této práce je popsat a definovat selekční šlechtění a jeho potenciál v chovech kapra obecného, ale i v chovech jiných významných druhů ryb. Dalším cílem je popsat nejpoužívanější šlechtitelské metody, metody selekce a způsoby jejich aplikace. Dále pak popsat nejdůležitější užitkové znaky vhodné pro šlechtitelské programy a základní pojmy kvantitativní genetiky, které jsou důležité pro pochopení obecných principů selekce. Posledním cílem této práce je popsat chov kapra v České republice a možné využití selekčního programu v podmínkách českého rybářství.

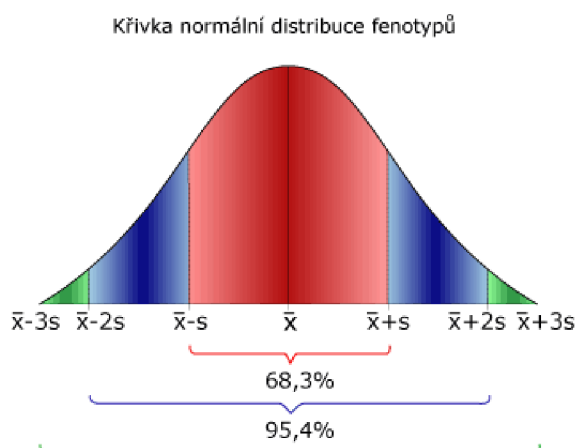
K vypracování práce byly použity domácí i zahraniční vědecké studie z multioborových databází (Web of Science, Scopus, Google Scholar) a knihy a metodiky pocházející z produkce FROV JU.

2. ZÁKLADNÍ POJMY KVANTITATIVNÍ GENETIKY

2.1. Kvantitativní znaky

Tyto znaky jsou obvykle řízeny desítkami až stovkami různých genů, lze je nějakým způsobem kvantifikovat či vyjádřit číselnou hodnotou. Kvantitativní znaky jsou velmi silně ovlivněny okolním prostředím (enviromentálními faktory). Tyto znaky jsou tzv. kontinuálně proměnlivé což znamená, že v populaci přechází fenotypy jednotlivých genotypů plynule jeden v druhý. Mezi tyto znaky se řadí většina užitkových znaků jako jsou například: růst, přežití, plodnost, kvalita masa, jateční výtěžnost aj. (Gjedrem a Baranski 2009).

Většinou mají kvantitativní znaky v populaci tzv. normální rozdělení, nebo se s ním alespoň pro zjednodušení počítá. Takovéto normální rozdělení lze běžně vyjádřit pomocí Gaussovy křivky. Na této křivce se dá kvantitativní znak definovat, a to pomocí průměru, směrodatné odchylky a variačního koeficientu. Takováto křivka je na obr. č.1, kde směrodatná odchylka udává rozsah proměnlivosti na obě strany a průměr $S\pm$ zahrnuje 68 % všech naměřených hodnot, průměr $2S\pm$ zahrnuje 95 % všech hodnot a průměr $3S\pm$ zahrnuje 99,7 % všech hodnot (Gjedrem a Baranski 2009; Flajšhans a kol., 2013). V případě nenormálního rozdělení je pak nutné takovéto data transformovat či případně využít neparametrickou statistickou metodu pro zjištění relevantní statistické evaluace dat.



Obr. č.1 Křivka normální distribuce fenotypů; Zdroj:

<https://user.mendelu.cz/urban/vsg3/kvantita/kvant4.html>

2.2. Složky fenotypové proměnlivosti

Složky fenotypové proměnlivosti lze také vyjádřit rovnicí.

$$P = G + E$$

(Phenotype) = (Genotype) + (Environment)

Fenotypovou varianci lze také vyjádřit pomocí rovnice.

$$\sigma^2 P = \sigma^2 G + \sigma^2 E$$

(Fenotypová variance) = (Genetická variance) + (Variance prostředí)

Jednotlivé složky fenotypové variance jsou popsány níže v práci.

2.3. Variance prostředí

Variance prostředí $\sigma^2 P$ se na varianci všech kvantitativních znaků ve fenotypu podílí velmi podstatně. To znamená, že všechny sledované znaky mohou být ovlivněny prostředím, a to ve všech fázích života (od plůdku po tržní velikost). Výsledek genetické variance znaků závisí na tom, zdali jsme schopni varianci prostředí přímo kvantifikovat, tzn. jestli jsme schopni zajistit stejné podmínky pro všechny skupiny zkoumaných jedinců (Gjedrem, 2005).

Faktory, které se podílejí na varianci prostředí lze rozdělit na dvě skupiny. První skupinou jsou faktory trvalé neboli permanentní či systematické a druhou skupinou jsou vlivy dočasné neboli temporální či náhodné. Variance vlivů náhodných u sledovaných skupin může být stabilizována opakovaným měřením v čase nebo měřením většího počtu jedinců, a to na více lokalitách. Opakování je nejideálnější, protože variance těchto znaků na fenotypu je prakticky neodhadnutelná. Mezi dočasné vlivy patří například nemoci, stres, teplota, soupeření atd. (Gjedrem, 2005).

Vlivy trvalé nejde minimalizovat, jako vlivy dočasné, opakovaným měřením, protože by takových opakování muselo být tolik, že je to prakticky nereálné. Příkladem takovýchto vlivů je například věk ryb, pohlaví, krmení, chovatelská technologie či klimatické podmínky. Avšak hranice mezi náhodnými a trvalými vlivy není pevná, a tak mohou některé vlivy zasahovat do obou skupin (Flajšhans a kol., 2013).

2.4. Variance genetické složky

2.5. Vztahy mezi genetickou složkou a prostředím

2.5.1. Korelace mezi genotypem a prostředím

Tento jev zpravidla nastává, když jsou lepší genotypy podpořeny lepším prostředím. Prakticky to znamená například to, že geneticky rychleji rostoucí skupina ryb je podpořena větším množstvím krmiva. Se znalostí tohoto faktu lze také podpořit užitek v chovu a v selekčních programech (Gjedrem, 2005).

2.5.2. Interakce mezi genotypem a prostředím

Zjednodušeně interakce mezi genotypem a prostředím vzniká v případě, že rozdílné genotypy reagují na změnu podmínek různým způsobem. Nelze však hovořit o lepších či horších podmínkách jako tomu bylo u korelace, nýbrž jde spíše o konkrétní situaci (Flajšhans a kol., 2013). Vyšší hodnoty interakcí byly zaznamenány u kapra obecného v extenzivních či polointenzivních chovech s podílem přirozené potravy podílejícím se na růstu ryb, a to díky vyššímu vlivu prostředí než v porovnání s chovem ryb v kontrolovaných podmínkách (RAS, průtočné systémy). S interakcí mezi genotypem a prostředím je nezbytné počítat i při plánování šlechtitelských programů.

2.6. Aditivní složka genetické variance

Princip spočívá v prostém sčítání účinku jednotlivých aktivních alel. Neutrální alely zodpovídají za fenotypovou hodnotu znaku, kterou zvyšují aktivní alely, a to o určitý počet jednotek. Aditivní složka je příčinou podobnosti mezi příbuznými jedinci a je ovlivňována nejvíce fenotypovou selekcí, a proto je její odhad využíván v selekčních programech (Gjedrem 2005).

Vezmeme-li v úvahu vztahy dominance či neúplné dominance mezi alelickými páry, můžeme očekávat obrovské množství různých fenotypových tříd. Aditivní varianci jako jedinou můžeme za určitých okolností snadno vypočítat z naměřených dat užitkových znaků na základě rodokmenu či genomických markerů. Jak již bylo řečeno, využívá se zejména při odhadování účinnosti selekce pomocí heritability cílového znaku. U většiny druhů ryb tvoří aditivní variance významnou část celkové fenotypové variance napříč užitkovými znaky (Gjedrem a Rye 2016).

2.7.Neadditivní složka genetické variance

2.7.1.Variance dominance

Zahrnuje všechny genetické účinky lokusů, které jsou způsobeny vzájemnými vztahy alel uvnitř těchto lokusů. Variance dominance je způsobena vztahy dominance, neúplné dominance či superdominance mezi alelami uvnitř lokusů (Falconer a Mackey, 1996). Variance dominance, resp. teorie dominance a superdominance je s největší pravděpodobností zodpovědná za heterozní efekt a předpokládá se, že právě u kapra se teorie superdominance nejvíce podílí na celkově vyšší užitkovosti hybridů (Flajšhans a kol., 2013).

2.7.2.Variance interakce

Genetické účinky vzniklé působením epistatických interakcí mezi geny. V praxi se počítá jen s interakcemi nižších řádů. U interakcí polygenních systémů je velmi složité odhadnout množství variance, kterou generují. U jednoduchých experimentů je začleněna variace interakcí do variance dominance, proto se obě variance společně označují jako neadditivní složka genetické variance. Na druhou stranu, pokud bychom chtěli kvantifikovat i tuto složku genetické variance, musíme vycházet z analýzy údajů získaných při schématu dialelního křížení (křížení všech skupin se všemi), které se díky náročnosti na množství odchovných ploch nevyužívá (Flajšhans a kol., 2013).

2.8.Maternální variance

Při hodnocení kvantitativních znaků se v některých případech u potomstva zohledňuje i tzv. maternální variance neboli variance způsobená vlivem matek. Nachází se na hranici mezi genetickou a negenetickou variací, protože se na ní podílejí obě složky. U ryb se projevuje především ve velikosti a kvalitě jiker, líhivosti, odolnosti váčkového plůdku a jeho počátečním růstu. Na těchto ukazatelích se nejvíce podílí celkový zdravotní stav jikernaček v období výtěru. Některé z těchto efektů mají genetický základ, ale některé jsou silně ovlivněny podmínkami prostředí. Obecně vzato byl vyšší maternální efekt pozorován u ryb s větší jikrou jako například u lososovitých druhů ryb (Gjedrem 2005), naopak u kapra obecného byl maternální efekt odhadován jako nevýznamný napříč užitkovými znaky a věkovými kategoriemi (Prchal a kol., 2018b).

2.9. Heterozní efekt

Je jev, který má úzkou návaznost na varianci neaditivní složky genetické proměnlivosti. Vyskytuje se zejména při křížení geneticky vzdálených plemen téhož druhu. Tento jev se projevuje u organismu jako celku a jeho výsledkem je zlepšení celé řady fyziologických funkcí. Nevýhodou je, že se projevuje jen v první filiální generaci, tudíž projev je jen dočasný a další šlechtění s očekáváním zlepšení vlastností v příštích generacích je tak nemožné. Právě proto se křížení využívá pro produkci užitkových hybridů určených pouze pro konzumaci (Flajšhans a kol.,2013).

2.10.Základní genetické parametry

2.10.1.Heritabilita

Heritabilita je jeden z nejdůležitějších parametrů při šlechtitelské práci, zejména využívaný při selekci. Udává, jak velký podíl na celkové fenotypové varianci má genetická složka, respektive její aditivní genetická složka. Heritabilita neboli dědivost má pro každý znak nenahraditelnou a neopakovatelnou hodnotu, tzn. hodnota vypočtená pro jednu populaci nemusí být platná pro jinou populaci. Proto by pro každou populaci měla být heritabilita odhadnuta zvlášť. Heritabilitu kvantifikujeme na základě fenotypových dat zkoumané populace s využitím buď rodokmenu (rodokmenová heritabilita) či genomických dat (genomická heritabilita) dané populace (Gjedrem a Baranski 2009).

Ve většině případů využíváme heritabilitu v užším slova smyslu, kdy udává podíl aditivní genetické variance na celkové fenotypové varianci.

Hodnoty koeficientu heritability mohou nabývat hodnot $0 \leq h^2 \leq 1$. Pokud se zjištěná hodnota blíží 0, je podíl genetické variance (rozptyl) daného znaku v populaci nízký a více se uplatňují vlivy prostředí. V tomto případě je výhodnější zaměřit se na optimalizaci podmínek prostředí. Pokud je hodnota koeficientu heritability blízká k 1, je podíl genetické variance na projevu znaku značný a cílenou selekcí je možno danou vlastnost v populaci vylepšit (Gjedrem 2005; Flajšhans a kol.,2013).

2.10.2. Genetické korelace

V selekčním šlechtění mají genetické korelace velký význam. Poskytují pochopení genetického pozadí každého sledovaného znaku vzájemně. To znamená, že určité geny

různých vlastností mohou být ve vzájemné korelaci (jeden nebo více lokusů ovlivňují stejný znak) (Gjedrem, 2005).

Rozlišujeme dva typy genetických korelací a to pozitivní, která zvyšuje projev obou znaků, které jsou v korelaci a negativní, kde se jeden projev znaku zvyšuje a druhý snižuje. Z tohoto důvodu je znalost genetických korelací velmi důležitá již před samotným selekčním programem (Gjedrem, 2005). V minulosti byly nalezeny negativní genetické korelace mezi vyšším výnosem a kvalitou masa u skotu (Feitosa a kol., 2017) a u kapra obecného (Prchal a kol., 2018c), zhoršení chuti u rajčat (Tieman a kol., 2017) či pulmonální hypertenzi kuřat (Hocking, 2010; Muir a kol., 2014).

2.10.3. Předpověď selekční odezvy – genetický zisk

Genetický zisk (ΔG) je rozdíl mezi průměrnou hodnotou selektovaného znaku v původní populaci a v populaci, která vznikla rozmnožením rodičů z původní populace. Genetický zisk slouží jako nástroj k odhadnutí úspěšnosti selekce.

Základem úspěšnosti selekce je dostatečný podíl aditivní genetické variance na výsledném projevu selektovaného znaku. Takovýto podíl se nazývá heritabilita (h^2). Důležitým aspektem pro odhad úspěšnosti selekce je také selekční diferenciál (S), což je rozdíl mezi průměrnou hodnotou selektovaného znaku u rodičů a průměrem populace ze které rodiče pocházejí. Samotný genetický zisk (ΔG) se poté počítá podle následující rovnice $\Delta G = S \cdot h^2$ (Flajšhans a kol., 2013).

Hodnoty genetického zisku, například u rychlosti růstu, činí v průměru 13% za generaci to znamená, že by se dal růstový potenciál zdvojnásobit už za 6 generací selekčního šlechtění. Toto tvrzení bylo prokázáno například u lososa atlantského (*Salmo salar*) a tilápie nilské (*Oreochromis niloticus*). Podobně tomu je i u odolnosti vůči nemocem, kde je genetický zisk také velmi vysoký. I přes tyto fakta selekční šlechtění v akvakultuře výrazně zaostává za rostlinou a hospodářskou výrobou (Gjedrem a Rye, 2016).

2.10.4. Inbríding

Inbríding (z anglického slova Inbreeding) je důsledkem rozmnožování příbuzných jedinců. Projevuje se ve více či méně uzavřených populacích jako jsou generační hejna nebo ryby na farmách, ale i v přírodě, když je populace oddělena od ostatních (Flajšhans a kol., 2013).

Důsledkem je zvyšování homozygotnosti a pokles heterozygotnosti v populacích, kvůli čemuž se zvyšuje riziko výskytu letálních alel či nežádoucích genů v homozygotně recesivní sestavě. Toto se nazývá inbrední deprese a vede k celkovému snížení reprodukční zdatnosti (Gjedrem 2005).

Při inbrídingu dochází ke změně genotypových frekvencí, ale ne alel. U ryb se inbríding vyskytuje více než u ostatních hospodářských zvířat, například kvůli vysoké reprodukční schopnosti. Právě proto je nutno extrémním důsledkům inbrídingu předcházet, protože inbrední deprese může v chovu ryb způsobit velké ekonomické ztráty (Gjedrem 2005).

Aby se předešlo možné inbrední depresi, je nutné zvolit správný počet a poměr pohlaví rodičů použitých k reprodukci. Důležitým faktorem je efektivní velikost populace (N_e), její vzorec je uveden na obr. č.2. Obecně platí, že čím nižší je efektivní velikost populace, tím více vzrůstá genetický drift (náhodná změna ve frekvenci genů). Tímto jevem dochází ke zvyšování homozygotnosti populace, které následně vede k inbrední depresi (Flajšhans a kol., 2013).

$$N_e = \frac{4 \text{ (počet samic) (počet samců)}}{\text{(počet samic) + (počet samců)}}$$

Obr. č.2 Efektivní velikost populace; Zdroj: Flajšhans a kol., 2013

K minimalizaci inbrední deprese za generaci by měla populace mít alespoň 50 jedinců ($N_e=50$) (FAO, 1981). V rybářské praxi se však používá menší počet rodičů i vzhledem k náročnosti přípravy generačních ryb a celkovému managementu jejich odchovu (Flajšhans a kol., 2013). I přesto byla efektivní velikost populace napříč hlavními chovanými druhy v Evropě, včetně kapra, odhadnuta z genomických dat, nižší jak 50 a v průměru kolem 25 (Saura a kol., 2021).

Další důležitou možností, jak předejít inbrední depresi, je správně zvolené schéma křížení. Nejlepší metodou je faktoriální nebo částečně faktoriální křížení. Faktoriální křížení znamená, že sperma každého otce bylo použito k oplození jiker více matek (min. 15 ks) a zároveň jikry každé matky jsou rozděleny na více porcí a jsou oplozeny spermatem více otců (min. 25 ks). Částečně faktoriální křížení spočívá v tom, že se v rámci výtěrové skupiny vytvoří podskupiny s jikrami, které se následně oplodní

spermatem různých samců (Gjedrem 2005). V případě selekčních experimentů kapra obecného v ČR se například osvědčil způsob částečně faktoriálního křížení dvaceti jikernaček a čtyřiceti mlíčáků se ziskem až 200 úplných rodin (Prchal a kol., 2021a).

3. SOUČASNÝ STAV ŠLECHTĚNÍ VE SVĚTĚ

Šlechtění je ekonomicky výhodnější než prostá produkce živočišných produktů ať v krátkodobém či dlouhodobém hledisku. Šlechtění se v širším slova smyslu dá rovněž chápat jako genetické zlepšování požadovaných vlastností rostlin nebo zvířat či vyšlechtěných nových plemen či odrůd. Cíl šlechtění ryb je stejný jako cíl šlechtění jiných hospodářských zvířat nebo rostlin, a to zlepšování užitkových vlastností či znaků (například: Odolnost, růst, výtěžnost...) změnou genetické složky (výběr nejlepších genotypů) fenotypové proměnlivosti, jejíž cílem je zvýšit plemennou hodnotu zvířat (vytvářet geneticky nadřazené jedince). Šlechtitelskou prací tedy rozumíme soubor všech zootechnicko-organizačních a ekonomických opatření, které vedou k všestrannému zvyšování užitkovosti. Nejčastěji využívané šlechtitelské metody u ryb jsou křížení, genomové manipulace a selekce (Flajšhans a kol., 2013).

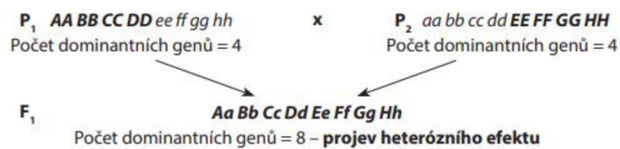
3.1. Křížení (Hybridizace)

Křížení je v dnešní době nejpoužívanějším způsobem k zlepšování užitkových vlastností kapra obecného, ale i ostatních druhů ryb (Vandeputte, 2003; Kocour a kol., 2005a; Nielsen a kol., 2010). Křížení obecně využívá tzv. neaditivní složku genotypové variance, která může vést k heteroznímu efektu neboli tzv. hybridní zdatnosti. Heterozní efekt se projevuje u organismu jako celku a jeho výsledkem je zlepšení celé řady fyziologických funkcí (Gjedrem, 2005). Jeho nevýhodou je dočasnost, tzn. že se vyskytuje jen u první filiální generace (F1). Z tohoto důvodu je heterozii využíváno zejména pro produkci užitkových populací, které jsou určeny ke konzumaci, ale ne k dalšímu křížení či selekčnímu šlechtění (Wohlfarth, 1993; Hulata, 1995). Studie ukazují, že kříženci mají obvykle lepší užitkové vlastnosti (zvýšený růst, přežití, jateční výnosy, plodnost, odolnost vůči nepříznivým podmínkám prostředí a odolnost vůči různým chorobám) v porovnání s čistokrevnými jedinci, a to až o 35 % (Wohlfarth, 1993; Bakos a Gorda, 1995; Hulata, 1995; Gela a Linhart, 2000; Gela a kol., 2003; Vandeputte, 2003; Kocour a kol., 2005 a; Nielsen a kol., 2010; Piačková a kol., 2013).

Heterozní efekt je však s největší pravděpodobností způsoben tím, že rodičovské populace pocházejí z příbuzných jedinců (vliv inbrídingu) a jsou ve větší míře

homozygotní (Kohlmann a Kersten, 1999, Kohlmann a kol., 2003, 2005). Na vysvětlení heterozního efektu existují dnes 3 teorie a to: teorie dominance, teorie superdominance (též heterozygotnosti) a teorie epistáze (Moll a Stuber, 1974).

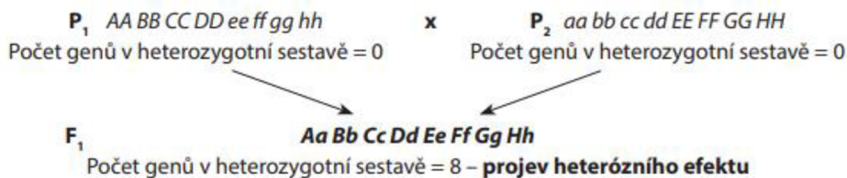
Teorie dominance (Obr. č.3) vychází z toho, že geny, zodpovědné za vitalitu a růst v F1 generaci, jsou geny dominantní a geny, které způsobují obecně nižší užitkovost pro jedince, jsou geny recesivní. To znamená, že křížením vhodných rodičů s rozdílnými dominantními alelami vznikne potomek s vysokým heterozním efektem.



Obr. č.3 Teorie dominance; Zdroj: Flajšhans a kol., 2013

Z této teorie zároveň vyplývá, že by bylo možné heterozní efekt fixovat, ale to by bylo možné jen v případě, že by byl počet komplementárních genů nízký. Toto ale nelze, protože počet genů podílejících se na výsledném fenotypovém projevu je vysoký (stovky až tisíce), takže možnost segregace těchto žádoucích genů v druhé generaci je velmi nízká (Tsaftaris, 1995).

Teorie superdominance (Obr. č.4) předpokládá, že existují lokusy, avšak relativně vzácné, které když se sejdou v heterozygotní sestavě v F1 generaci způsobí lepší vitalitu a růst než u rodičů, kteří mají lokusy v homozygotní sestavě.



Obr. č.4 Teorie superdominance; Zdroj: Flajšhans a kol., 2013

Z důvodu lepších vlastností jen v první filiální generaci, křížení není vhodné k dlouhodobému šlechtění narozdíl od selekčního šlechtění, které se projevuje kumulativně a po vícero generací (Flajšhans a kol., 2013). Křížení se dá rovněž použít k vyšlechtění nových plemen metodou tzv. reprodukčního křížení, která se v současnosti využívá především ke šlechtění lysých forem kapra. Díky této metodě křížení vznikl v ČR severský lysec (M72) a amurský lysec ve dvou liniích, vodňanská (AL_v) a pohořelická (AL_p). Všechna tato plemena se vyznačují vyšší nespecifickou imunitou díky genům divokého amurského sazana a v současnosti jsou jedni z nejpoužívanějších

lyských plemen k produkci užitkových kříženců v ČR (Kocour a kol., 2011; Prchal a kol., 2021a).

3.2. Genomové manipulace

Druhým typem šlechtění jsou genomové manipulace. Obecně se genomové manipulace zabývají indukovanou polyploidii, a to zejména vytvářením triploidů ($3n$) (Cherfas a kol., 1993; Basavaraju a kol., 2002) a tetraploidů ($4n$) tlakem nebo teplotou (Recoubratsky a kol., 1989; Linhart a kol., 1991; Cherfas a kol., 1993; Zhou a Gui, 2017). Výsledky studií ukázaly, že u kapra tyto triploidní a tetraploidní jedinci, vykazují nižší růst, a dokonce i nižší přežití, než obyčejní diploidní jedinci. Avšak tyto studie byly prováděny před mnoha lety a jejich experimentální design nebyl vždy zcela správně nastaven. Je proto vhodná revize těchto výsledků např. celoplošným testem užitkovosti $2n$ a $3n$ skupin kapra od plůdku až do tržní velikosti s využitím interní kontroly. Tento jev horších růstových vlastností mohl být způsoben tím, že kapr je považován evolučně za alotetraploidní druh (Larhammar a Risinger, 1994; Xu a kol., 2014), ale nové studie, které dostatečně zohlední efekt prostředí možná prokážou, že triploidní obsádky kapra mohou být produkčně výkonnější. Produkce $3n$ obsádek je však u ostatních druhů ryb běžně používána, například chovy pstruha duhového ve Francii a Anglii využívají zejména genomové manipulace, k produkci $3n$ celosamičích populací (Piferrer a kol., 2009).

Za rovněž efektivní metodu genomických manipulací je považována produkce monosexních populací pomocí zvratu pohlaví s využitím gynogeneze/androgenese či kombinace s hormonálním ošetřením. Gynogeneze zajistí, že potomek obdrží DNA jen od matky. Embryonální vývoj je sice spuštěn spermií, ale pokračuje bez její DNA, které je degradováno T-paprsky, rentgenovým zářením, anebo UV zářením (Güner a kol., 2016). Kombinace gynogeneze a zvratu pohlaví je dnes využíváno u pstruha duhového, kde ryby z takového chovu dosahují lepších užitkových vlastností (Galbreath a kol., 1994). Hormonální zvrát pohlaví se dá provádět například přidáním dávky estradiolu nebo methyltestosteronu v krmivu a to rybám, které dosáhly larválního stádia a začaly již přijímat potravu (Sheperd a kol., 1990; Pandian a Koteeswaran, 1998). Pro lososovité ryby se přidává 20mg estradiolu do 1kg krmiva po dobu 40-60 dnů (Turan a kol., 2011). Tyto ryby jsou fenotypově samice, produkující jikry, ale geneticky jsou stále nositeli pohlavního chromozomu XX a mohou se používat jen jako generační hejno

k produkci celosamičích populací, kdy s indukci gynogeneze, triploidie a selekcí, nejčastěji na růst a výtěžnost filet poté dávají základ produkčním obsádkám pstruha (Sheperd a kol., 1990). U kapra takovéto celosamičí populace vykazují o 15% lepší užitkovost než normální populace využívané na komerční prodej (Cherfas a kol., 1993; Kocour a kol. 2005b). I přes tento fakt se žádné celosamičí populace kapra v produkčním rybářství neprodukují, i díky nižšímu přežití a faktu, že u čtyřletých ryb (obě pohlaví již zralá) se tento efekt již neobjevuje. Jedním z dalších druhů, u kterých se tvorba monosexních populací využívá, je například tilápie nilská (Basavaraju, 2023)

3.3. Selekcce

Selekční šlechtění je jednou z nejpoužívanějších metod šlechtění zvířat i rostlin za účelem zlepšení vlastností požadovaným směrem. Hlavní a nejdůležitější výhodou selekčního šlechtění je, že získaný genetický zisk je kumulativní, a tedy je dlouhodobý a trvalý po více generací a vhodný k využití ve dlouhodobě udržitelných šlechtitelských programech až do tzv. selekčního stropu (Gjedrem a Baranski, 2009; Gjedrem a kol., 2012; Gjedrem a Rye, 2016).

Rozdíl mezi křížením a selekčním šlechtěním je v tom, že u selekce se využívá aditivní složka genetické variance. Nicméně selekční šlechtění kapra je stále jen na počátku, a v Evropě ještě není plně rozvinuto a využíváno, na rozdíl od ostatních významných druhů evropských ryb (jako je losos obecný (*Salmo salar*), pstruh duhový (*Oncorhynchus mykiss*), mořčák evropský (*Dicentrarchus labrax*) a pražma královská (*Sparus aurata*) (Vandeputte, 2003; Wang, 2009; Chavanne a kol., 2016; Janssen a kol., 2017ab).

Z dnešních studií však jasně vyplývá, že selekce zaměřená na růstové vlastnosti, výtěžnost nebo odolnost vůči nemocem by měla být u kapra obecného úspěšná a efektivní (Vandeputte a kol., 2004, 2008; Kocour a kol., 2007; Nielsen a kol., 2010; Ødegård a kol., 2010; Ninh a kol., 2011; Dong a kol., 2015; Nguyen, 2016; Hu a kol., 2017; Tadmor-Levi a kol., 2017; Prchal a kol., 2018b, 2021b; Zhao a kol., 2020).

4. METODY SELEKČNÍHO ŠLECHTĚNÍ

4.1. Typy selekce

4.1.1. Selekce podle počtu selektovaných znaků

4.1.1.1. Selekce na jeden znak

Selekční šlechtění má několik metod. První selekční metoda je metoda, která se rozděluje podle počtu selektovaných znaků, a to na jeden znak či na více znaků. Při selekci na jeden znak, která je jednoduchá a dá se říct, že i nejpoužívanější, se vybere jeden fenotypový znak, který bude selektován. Avšak při použití této metody je třeba brát v úvahu, že mezi některými znaky je negativní korelace, to znamená, že se selekcí na jeden znak můžeme zhoršit znak druhý. Příkladem je šlechtění na rychlejší růst, kdy je tento znak podpořen, ale může být i zhoršen znak méně významný z hlediska celkové rentability (barva masa, kvalita tuku aj.) (Gjedrem, 2005).

4.1.1.2 Selekce na více znaků

Tato metoda je složitější a pracnější, protože se zabývá šlechtěním na více ekonomicky důležitých znaků. K tomuto se dá použít například tandemová selekce. Tandemová selekce je taková, kde se nejprve šlechtí jeden znak, a to až do dosažení požadované genetické úrovně, tzn. po několik generací, a poté se začne šlechtit na znak druhý (Flajšhans a kol., 2013).

Pokud selektujeme všechny znaky najednou, ale nezávisle, hovoříme o selekci dle nezávislých výběrových úrovní. Při této metodě se vybere ryba, která splňuje selekční kritérium neboli selekční práh alespoň u jednoho znaku (Flajšhans a kol., 2013).

Třetím typem je metoda zvaná selekční index. Při této metodě selektujeme jedince podle všech vybraných znaků najednou, a to podle hodnot zjištěných na jedinci samotném, či na jeho příbuzných. Dále se poté tato hodnota vypočítává podle statistických programů a dle důležitosti jednotlivých znaků se stanovuje selekční práh (Flajšhans a kol., 2013).

4.1.2. Selekce podle způsobu selektovaných jedinců

4.1.2.1. Individuální selekce

Individuální, často taktéž nazývána jako hromadná selekce, je základní metoda selekčního šlechtění. Při této metodě se vybere jedinec na základě jeho vlastních

užitkových vlastností, tedy dle jeho vlastního fenotypu. Tato metoda je nejjednodušší, a i do dnešní doby často používána. Tuto selekci je důležité provádět na jedincích stejného věku a ve stejných podmínkách, jinak je možnost vyskytnutí chyby vysoká (selektování ryb splňujících selekční práh, nikoliv však skutečný genetický základ jedince pro daný znak). Při individuální selekci, se však dopouštíme vyšší chybovosti splňující selekční práh, než v případě selekce na základě plemenné hodnoty (rodokmenové) či genomické selekce (Gjedrem 2005).

4.1.2.2. Rodinná selekce

Při této selekci se zjišťuje průměrná užitkovost celých rodin, a poté jsou tyto rodiny s nejlepší užitkovostí vybírány k dalšímu šlechtění (Gjedrem 2005).

4.1.2.3. Selektce uvnitř rodin

Tato selekce je opakem rodinné selekce, protože se k dalšímu šlechtění vybírají jedinci, kteří vykazují vyšší užitkovost cílového znaku od průměru rodiny (Flajšhans a kol., 2013).

4.1.3. Pozitivní a negativní selekce

Při pozitivní selekci vybíráme jen takové jedince, kteří splňují selekční kritérium, nebo jeho varianty, to znamená, že můžeme vyřadit i ryby zdravé, pokud nesplňují selekční kritérium. Procento takto vybraných ryb je nízké, protože čím nižší počet nejlepších ryb vybereme, tím vyšší můžeme očekávat selekční zisk v dalších generacích.

Naopak je tomu při negativní selekci, kde vyřazujeme ryby, které se liší od běžného standardu v populaci, tzn. ryby, které mají tzv. mínus varianty. Zde se řídíme spíše zkušeností a subjektivním hodnocením vzhledu či zdravotního stavu ryby. I zde procento vyřazených ryb nebývá velké, jelikož se vyřazují jen ryby nemocné nebo s tělesnými vadami či špatným vzorem ošupení (Flajšhans a kol., 2013).

4.1.4. Přímá a nepřímá selekce

I tato selekce má dva způsoby, na které ji lze rozdělit. Prvním způsobem je selekce přímá, při níž vybíráme jedince podle znaku, který je skutečně předmětem selekce. Například když budeme selektovat na zvýšení hmotnosti, budeme jedince vybírat na základě jejich hmotnosti. U nepřímé selekce se jedinci vybírají na jiný znak, než na který je selekce založena, a to na základě toho, že mezi znakem vybíraným a znakem,

který je předmětem selekce, je významná genetická korelace (Gjedrem, 2005). Příkladem takovéto selekce mohou být prediktory výtěžnosti (Haffray a kol., 2014; Vandeputte a kol., 2017; Prchal a kol., 2021b) či konverze krmiva (De Verdal a kol., 2018), či například i selekce na hmotnost ale dvou věkových kategorií K_2 a K_3 (Prchal a kol., 2018b; 2021a).

4.1.5. Selekcce podle plemenné hodnoty

Při použití této metody se plemenné ryby vybírají na základě odhadu plemenných hodnot, cílových vlastností odvozených od jejich rodičů, prarodičů anebo i vzdálených předků. Je tedy nutné dokonale znát rodokmen či genotypy všech populací v selekčním programu. Selekcce podle plemenné hodnoty je nejvíce účelná u znaků s nižší dědivostí. Odhad plemenné hodnoty, tj. odhad genetického založení jedince, na základě odchylky v užitkové vlastnosti od průměru vrstevníků. Přesnost při použití odhadu je vyšší, než v případě tradiční individuální/hromadné selekce (Gjedrem a Baranski, 2009). Odhad plemenné hodnoty dle rodokmenu (tzv. PBLUP) se tradičně využívá ve šlechtitelských programech napříč hospodářskými zvířaty včetně ryb, protože zvyšuje přesnost selekce oproti selekci klasické individuální, ovšem může zvyšovat nekontrolovatelně inbríding kvůli upřednostňování rodin s vyšší užitkovostí.

V dnešní době s rychlým rozvojem molekulárních nástrojů se používají moderní metody odhadu, tzv. genomická selekcce, která na základě statistického modelu (GBLUP) odhadne genomickou plemennou hodnotu spojenou s užitkovostí znaku za pomoci genomických markerů, nejčastěji jednonukleotidových polymorfismů – SNP, napříč genomem. Z výsledků posledních studií vyplývá, že tento odhad je mnohem přesnější než klasický odhad dle rodokmenu (Gjedrem a Rye, 2016; Houston a kol., 2020; Boudry a kol., 2021; Allal a kol., 2022; Yanez a kol., 2023).

4.1.6. Genomická selekcce

Pracuje se na základě rozdělení celého genomu do chromozomových úseků definovaných sousedními markery a následného sledování efektů těchto chromozomových úseků.

Tato metoda využívá strategii hustého pokrytí markerů v celém genomu z toho důvodu, aby byly zachyceny všechny QTL, jak velké, tak i malé, které jsou v dostatečné ne vazebné rovnováze s markery nebo haplotypy markerů. Prakticky se tato metoda provádí tak, že se předpokládá, že všechny markery mohou být ve vazbě ke genu

ovlivňujícím danou vlastnost (Meuwissen a kol., 2001). Předpokladem pro tento typ selekce je, aby bylo dostatečně husté pokrytí markery tak, aby byl odhad genomické plemenné hodnoty (GEBV) co nejpřesnější.

Tato metoda byla dříve používána jen u suchozemských zvířat, ale dnes je již vhodná i pro vodní druhy živočichů, protože už jsou dostupné genetické mapy, které obsahují tisíce markerů (například čipy pro lososa, které se dnes nejvíce používají, mají 5119, 55 000, 200 000, 286 021 SNP.) (Lien S. a kol., 2011; Houston a kol., 2014; Yanez a kol., 2016; Bangera a kol., 2018). Pro pstruha duhového se dnes nejvíce používá 57 000 SNP čip (Palti a kol., 2015; Liu a kol., 2018) a pro kapra obecného byl publikován 250 000 SNP čip (Peng a kol., 2016).

Tato metoda probíhá ve dvou základních krocích, přičemž v prvním kroku se odhadují efekty jednotlivých SNP v referenční populaci (znám fenotyp i genotyp) a v druhém kroku se jedná o předpověď GEBV kandidátních jedinců, u kterých je znám pouze genotyp (Gjedrem a Baranski, 2009). Genomická selekce tak dovoluje selektovat tisíce jedinců z kandidátní populace, bez nutnosti fenotypování dané vlastnosti a zjištění plemenné hodnoty, jen na základě odhadu a propojení mezi referenční a kandidátní populací (Gjedrem a Baranski 2009).

4.1.7. Marker-asistovaná selekce (MAS)

MAS je nepřímý selekční proces, při kterém se daná vlastnost vybírá na základě markeru (variace DNA / RNA) spojeného se sledovanou vlastností. Předpokladem je, že marker asociuje s vysokou frekvencí se zájmovým genem nebo lokusem kvantitativního znaku (QTL) v důsledku genetické vazby (těsná vazba mezi lokusem a danou vlastností) (Gjedrem a Baranski, 2009). Úspěšné provedení MAS závisí na řadě faktorů, a to zejména na efektu daného QTL, který musí vysvětlovat významnou část genetické variability cílového znaku (Gjedrem a Baranski, 2009). V dnešní době je tato metoda stále prakticky nepoužívaná s výjimkou MAS u lososa obecného na odolnost vůči ISA (Infekční anémie lososů) (Moen a kol., 2004) a pstruha duhového na odolnost vůči IPN (Infekční nekróza pankreatu) (Ozaki a kol., 2001).

Dále byl zjištěn relativně silný QTL u kapra, který se vztahuje k odolnosti k nízkým teplotám (Sun a Liang 2004) a odolnosti k vyšší salinitě (Lee, 2003). Dalšími relativně silnými QTL jsou váha těla (BW), délka těla (BL) a tloušťka těla (BT) (Laghari a kol., 2015). Rovněž byl nalezen QTL, který vysvětloval až 7 % genetické variance odolnosti

kapra vůči onemocnění KHV (Palaiokostas a kol., 2018b). MAS je dnes velice využívanou metodou zejména při šlechtění rostlin a některých hospodářských zvířat, u nichž byl nalezen dostatečný silný QTL. Většina takových QTL však po jedné generaci selekce zaniká a je třeba hledat nové genetické vazby. V takovém případě je účinnější a efektivnější metodou genomická selekce (Bertrand a Mackill 2007).

5. HLAVNÍ UŽITKOVÉ ZNAKY PRO SELEKČNÍ ŠLECHTITELSKÉ PROGRAMY

Mezi nejdůležitější užitkové znaky nejen u ryb, ale i u ostatních druhů hospodářských zvířat, patří z hlediska rentability chovu zejména: růst a jatečná výtěžnost (opracovaný trup nebo filety), zvýšení odolnosti vůči nemocem, obsah tuku a jeho kvalita (kompozice mastných kyselin), či ranější pohlavní zralost. V neposlední řadě i znaky, související s odolností vůči globální změně klimatu (hypoxie, hypertermie, zvýšená salinita, pH aj.). Z hlediska kvality produktu se čím dál častěji zařazuje do šlechtění barva masa, anebo se hledají způsoby zvýšení konverze krmiva formou zejména nepřímé selekce.

5.1. Růst

Růst patří mezi nejdůležitější užitkovou vlastnost z hlediska ekonomiky a praktičnosti šlechtitelského programu (Gjedrem a Baranski, 2009; Gjedrem a kol., 2012; Gjedrem a Rye, 2016). Rychle rostoucí ryby zvyšují ziskovost chovu a snižují tak náklady na jejich produkci, protože tyto ryby potřebují méně krmiva a dosahují tržní velikosti rychleji než pomalu rostoucí ryby (Vandeputte a kol., 2022). Růst se dá vyjádřit nejen jako hmotnost, ale i jako standardní délka (délka od rypce po konec ocasního násadce), a to díky vysoké genetické a fenotypové korelaci mezi těmito dvěma znaky. Dále se měří rychlost růstu podle dvou vzorců SGR (Specific growth ratio, specifická rychlost růstu v %) anebo TGC (Thermal growth coefficient, se započtením průměrné teploty vody za sledované období). Růst se tak řadí mezi nejpraktičtější znak. Střední až vysoká heritabilita (dědivost) růstu u ryb a vysoký variační koeficient (obvykle 20-30 %) znamená, že tělesná hmotnost je dobrým prediktorem pro očekávanou pozitivní reakci na selekci. (Vandeputte a kol., 2003; Gjedrem, 2005; Gjedrem a Rye, 2016). Selekcce na růst tak může vést k významnému genetickému zisku v budoucích generacích.

5.2. Obsah tuku a jeho kvalita

Obsah tuku ve svalovině a kvalita mastných kyselin patří mezi užitkové znaky, které je potřeba kontrolovat při provádění selekčního šlechtění ryb i díky vysoké dědivosti tohoto znaku napříč rybími druhy (kapr obecný $h^2=0,58\pm 0,09$; $0,62 \pm 0,12$; losos atlantský $h^2= 0,16-0,33$; mořčák evropský $h^2= 0,28 \pm 0,12$; $0,36 \pm 0,14$; síh severní (*Coregonus mareana*) $h^2= 0,37\pm 0,10$; pražma královská $h^2 \approx (0,31 \pm 0,08)$; pstruh duhový $h^2= 0,43-0,57$) (Kocour a kol., 2007; Powell a kol., 2008; Saillant a kol., 2009; Kause a kol., 2011; GarcíaCeldrán a kol., 2015; Kause a kol., 2016; Janhunen a kol., 2017, Prchal a kol., 2018c).

Výhodou selekce na obsah tuku je, že ji lze provádět i na živých jedincích, a to za pomoci tukoměřů (např. Distell FFM 692, 992). Obsah tuku lze také ovlivnit i nepřímo, a to například prostřednictvím korelovaných znaků jako je tělesná hmotnost či jatečná výtěžnost (Oberle a kol., 1997; Nguyen a kol., 2010; Janhunen a kol., 2017; Prchal a kol., 2018c).

Avšak nekontrolované zvyšování obsahu tuku může negativně ovlivnit kvalitu mastných kyselin a senzorické vlastnosti masa (Oberle a kol., 1997; Nguyen a kol., 2010; Janhunen a kol., 2017; Prchal a kol., 2018c). Nicméně i ryba potřebuje mít určitý obsah tuku jako energetickou rezervu, a pokud dojde k poklesu obsahu tuku pod určitou hladinu, může to negativně ovlivnit přežívání během přezimování (Steffens, 1996). Ovšem jak nedávné studie ukázaly, možná více než tuk, je důležitý glykogen, který je základní energetickou rezervou v případě suboptimálních podmínek, a tak jeho hladina může ovlivnit přežívání v zimě či v hypoxických podmínkách (Cunjak a Power, 1986; Rios a kol., 2006; Zhao a kol., 2021).

Přezimování je pro produkci kapra zejména v Evropě náročné a každoročně způsobuje značné ekonomické ztráty, zejména u plůdku (Bauer a Schlott, 2004; Horváth a kol., 1992). Při poklesu teploty vody pod 8 °C, kapr výrazně sníží intenzitu svého metabolismu, to znamená, že sníží příjem potravy, hibernuje a začne ztrácet hmotnost (Bauer a Schlott, 2004). Při poklesu intenzity metabolismu dojde nejprve k využití zásob lipidů, a právě z tohoto důvodu je tuk nezbytný pro přežití kapra v zimě (Hurst, 2007). Ovšem v případě mírnějších zim, z důvodu změny klimatu, může naopak vyšší obsah tuku vést k vyšší mortalitě během přezimování. Bližší informace o tomto fenoménu budou vysvětleny v kapitole „Hlavní užitkové znaky pro selekci kapra obecného“.

Rybí tuk není důležitý jen pro ryby, ale i pro lidi, protože je důležitým zdrojem esenciálních mastných kyselin (MK), především omega-3 polynenasycených mastných kyselin (n-3 PUFA), zastoupených zejména kyselinou eikosapentaenovou (EPA) a kyselinou dokosahexaenovou (DHA), které jsou velmi prospěšné pro lidské zdraví, zejména pro osoby trpící kardiovaskulárními onemocněním a zároveň slouží jako prevence proti tomuto onemocnění (Calder a Yaqoob, 2009; Tocher, 2015; Steffens, 2016). Avšak je velmi dobře známo, že environmentální nutriční faktory mohou významně ovlivňovat obsah mastných kyselin v rybím těle (Mráz a Pickova 2011; Marković a kol. 2016; Trbović a kol. 2017).

Situace u ryb pocházejících z rybníční akvakultury je ve skutečnosti mnohem více komplikovaná v porovnání s intenzivní akvakulturou v podobě klecového nebo RAS chovu. Při chovu ryb v rybnících s polointenzivním způsobem hospodaření, je potrava tvořena z cca 50 % přirozenou potravou, zastoupenou různými druhy zooplanktonu a zoobentosu, a z 50 % doplňkovým příkrmováním obilovinami (pšenicí, triticales aj.) nebo granulami (lisované obilí, řepka) Kompozice mastných kyselin je tedy významně ovlivněna podmínkami prostředí, podílem přirozené potravy a příkrmováním.

5.3. Jateční výtěžnost

Do jateční výtěžnosti ryb, která se vyjadřuje v %, patří výtěžnost opracovaného trupu (poměr mezi hmotností těla bez hlavy, vnitřností, šupin a ploutví a hmotností filetů) a filetů (poměr mezi hmotností filetu a hmotností těla). Výtěžnosti tzv. jedlých podílů těla jsou ekonomicky cenné zejména u lososovitých druhů ryb jako je pstruh duhový nebo losos, případně u druhů jako je pražma královská nebo mořčák evropský. Nicméně význam a poptávka po již zpracované komoditě stoupá i u kapra, kde je zájem o filety.

Na druhou stranu, přímé hodnocení a selekce na výtěžnost jedlých částí těla je časově náročná a letální pro kandidátní jedince. V některých selekčních programech se stále využívá sourozenecká selekce, při které jsou užitkově lepší jedinci ve smyslu výtěžnosti vybíráni podle průměrné užitkovosti jejich sourozenců (Kause a kol., 2007). Nicméně i tato metoda je časově i finančně náročná, a tak se jako nejlepší metoda jeví nepřímá selekce na základě korelovaných prediktorů výtěžnosti. Mezi takovéto prediktory výtěžnosti patří: tloušťka břišní stěny měřená pomocí ultrazvuku, hloubka břišní dutiny měřená pomocí ultrazvuku, obsah tuku ve svalovině měřený pomocí tukoměřů. Dalšími prediktory jsou různé délkové, obsahové a poměrové ukazatele 2D

(pomocí fotografie) nebo 3D (pomocí 3D ramene) (Haffray a kol., 2014; Vandeputte a kol., 2017; Prchal a kol., 2018a; 2020; 2021b).

U hlavních druhů chovaných ryb byla zjištěna dědivost opracovaného trupu a výtěžnosti filet nízká až střední, například: kapr obecný ($h^2 = 0,20-0,50$); pstruh duhový ($h^2 = 0,47-0,55$); losos atlantský ($h^2 = 0,009-0,53$); mořčák evropský ($h^2 = 0,21-0,57$); tilápie nilská ($h^2 = 0,06-0,16$) (Kocour a kol., 2007; Powell a kol., 2008; Gjedrem a kol., 2012; Haffray a kol., 2013; Vandeputte a kol., 2017; Prchal a kol., 2021b), což u většiny z těchto druhů ryb vytváří dostatečný prostor pro jejich genetické zlepšení. Zároveň je ale velmi důležité, zda se výtěžnost vyjadřovala v procentech nebo jako rezidua mezi hmotností filet a těla. V případě % může být toto relativní matematické vyjádření výtěžnosti nepřesné a neodráží skutečnou výtěžnost korigovanou na alometrii těla (Vandeputte a kol., 2020).

Rovněž je velká variabilita mezi jednotlivými experimenty. Například jateční výtěžnost kapra v jednom ze selekčních pokusů byla u výtěžnosti opracovaného trupu 66 % a výtěžnost filetů 50 % (Prchal a kol., 2018a; 2020). Výtěžnost filet u jiné studie byla v rozsahu 34-39 % (Bauer a kol., 2009), takže lze usoudit, že hodnoty jatečné výtěžnosti se experiment od experimentu velmi liší v závislosti na technickém provedení zpracování ryby.

5.4. Odolnost vůči nemocem či ektoparazitům

Odolnost vůči nemocem představuje jeden z hlavních výzkumných cílů genetického zlepšování druhů v akvakultuře (Ødegård a kol., 2011; Houston, 2017). Při provádění selekce na odolnost se nedá použít přímé selekce z etického hlediska, ale lze použít selekci nepřímou. Používají se metody na základě genetických korelací mezi odolností vůči onemocnění a jinými znaky, anebo se dají využít genetické či genomické informace.

Jednou z takovýchto možností je selekce na základě znalosti plemenné hodnoty odolnosti z rodokmenu, ta se provádí na základě znalosti odolnosti podle pořadí rodin dle přiřazených plemenných hodnot. Do dalšího chovu se při takovéto selekci vybírají jedinci, kteří vykazovali nejlepší výsledky v odolnosti vůči nemocem. Další vhodnou a nejmodernější metodou je tzv. marker asistovaná selekce, tedy hledání vztahu mezi odolností ryb a jejich specifickými lokusy na chromozomu (QTL) či genomická selekce

s využitím několika set až tisíc funkčních markerů, nejčastěji jednonukleotidových polymorfismů (SNP).

Odolnost se v takovýchto selekčních programech testuje několika způsoby. Prvním způsobem je tzv. „challenge test“. V takovémto testu se ryby přímo infikují virem anebo se jim na kůži nasadí parazit. Další možností challenge testu je využití tzv. kohabítace. Této metody se využívá například u kapra obecného při testování odolnosti vůči viru KHV. Tato metoda spočívá v tom, že se do nádrže k testovaným kaprům (plemena, hybridy) přidá několik infikovaných vnímavých ryb, u kapra je to Koi kapr. Metoda kohabítace je nejbližší přírodním podmínkám, protože zde dochází k infekci z ryby na rybu a umožňuje lépe kvantifikovat virovou či parazitární nálož, které je jedinec vystaven (Prchal a kol., 2021a). Pro kontrolu úspěšnosti infekce je ke každému takovému testu přiřazena skupina ryb, která vůči nákaze vykazuje největší vnímavost. Test je považován za validní jen v případě, že v pozitivní kontrole uhynulo více než 90% jedinců (Palaiokostas a kol., 2018b; Prchal a kol., 2021a; 2023a).

Například u lososa atlantského se takovéto pokusy provádí na infekční onemocnění pankreatu (IPNV), kde byla zjištěna heritabilita 0,31 (Wetten a kol., 2007). U pstruha duhového se tyto pokusy týkají odolnosti vůči IPN a cytofagóze lososovitých (BCWD), kterou způsobuje bakterie *Flavobacterium psychrophilum*. U tohoto onemocnění byla zjištěna heritabilita 0,18 (Evenhuis a kol., 2015). Dalším druhem je tilápie nilská. U tohoto druhu se jedná například o virové onemocnění TiLV v angličtině též zvané „Tilapia Lake virus“. Zde byla zjištěná heritabilita odolnosti 0,40-0,63 (Barria a kol., 2021). Dalším druhem ryb, u kterého se provádí selekční pokusy na zjištění odolnosti, je mořčák evropský. Zde se jedná o onemocnění VNN v angličtině „viral nervous necrosis“. Zjištěná heritabilita z těchto pokusů dosahovala hodnoty 0,15-0,23 (Fagion a kol., 2021).

5.5. Odolnost vůči globálním změnám

Teplotní a kyslíkové parametry ve vodě významně ovlivňují růst a welfare ryb. V dnešní době jsou největšími stresory nedostatek rozpuštěného kyslíku–hypoxie a nadměrně se zvyšující teplota vody–hypertermie, případně kombinace těchto stresorů. Dalšími stresory pak mohou být i zvyšující se salinita a pH vod, rovněž zapříčiněné globálními změnami klimatu. Hypoxie negativně ovlivňuje imunitní reakce a fyziologii

ryb a také jejich růst. Při hypoxii se aktivují rozsáhlé biochemické a fyziologické procesy, aby se předešlo možnému poškození (Chen a kol., 2022).

Teplota vody také ovlivňuje celou řadu biologických procesů u ryb, a to zejména růst a reprodukci. Aby mohly zvládat měnící se teploty, tak si akvakulturní druhy vyvinuly různé stupně tolerance. Kapr obecný snese mimořádně široký rozsah okolních teplot, což mu umožňuje přežít v různých geografických oblastech. U kapra, ale i například u pstruha duhového byla také nalezena vyšší exprese proteinu tepelného šoku (*hsp70*), která souvisí s teplotní tolerancí a přežitím při chronické, ale i akutní hypertermii (Chen a kol., 2022; Lagarde a kol., 2023;). U pstruha duhového byla zjištěna heritabilita na odolnost vůči akutní hypertermii 0,32 (Lagarde a kol., 2023) a na odolnost vůči akutní hypoxii 0,24-0,28 (Prchal a kol., 2023b) což dává prostor pro potenciální zlepšení odolnosti proti těmto stresorům s využitím selekce.

U pstruha obecného, sivena amerického a lososa atlantského byla zjištěná heritabilita 0,09-0,27 na odolnost vůči kyselým vodám. V 60. a 70. letech minulého století docházelo k masivnímu zakyselování toků, a právě díky tomu byla u různých druhů ryb zaznamenána různá tolerance vůči pH (Gjedrem, 2012).

5.6. Barva kůže či masa

Barva masa je vysoce ceněná u lososovitých druhů ryb, jako jsou losos či pstruh. Tento znak je zejména atraktivní pro zákazníka. Zbarvení kůže či masa zapříčiňují karotenoidy, jenže ryby nejsou schopny biosyntézy karotenoidů a musí se spoléhat na ty, co jsou jim dodány v potravě (Chen a kol., 2021). Mezi karotenoidy, které se přidávají do krmiv, patří například astaxanthin, astaxanthin dipalmit, cantaxanthin. (Storebakken a kol., 1987). Zbarvení se mění během života a je víceméně závislé na používané dietě (Selvakumar a kol., 2011). Byly prováděny i pokusy, jestli má selekční šlechtění vliv na barvu masa. V jedné z takovýchto studií byla zjištěna heritabilita pro barvu svaloviny 0,02-0,04 po osmi generacích šlechtění Lososa kisuče (Dufflocq a kol., 2017). Selekční šlechtění na barvu masa se prakticky vůbec nepoužívá a zbarvení svaloviny je primárně ovlivňováno pomocí krmiv.

Zatímco u lososovitých druhů ryb se jedná spíše o barvu svaloviny, tak naopak u kapra se jedná spíše o barvu kůže. Kapr se vyskytuje v několika barevných kombinacích jak přirozeně, tak uměle pomocí selekce na určitou barvu. První barevní kapři se poprvé objevili v Japonsku a zde dostali název Koi kapr. V dnešní době jsou oblíbeni po celém

světě, a to jako okrasné ryby do jezírek či okrasných nádrží. Cena koi kaprů je závislá na typu a intenzitě zbarvení a velikosti. Běžně se může pohybovat od 400 Kč do 20 000 Kč za kus, tato cena je však velmi variabilní. Nejdražší koi kapr byl prodán za 40 000 000 Kč.

5.7. Konverze krmiva

Účinnost krmiva je jedním z hlavních faktorů, který ovlivňuje ekonomickou návratnost chovu zvířat a představuje více než 60 % jejich nákladů (Gjedrem a kol., 2010). Běžně se používá tzv. Feed conversion ratio-FCR. FCR vyjadřuje množství krmiva na jednotku přírůstku a počítá se jako poměr mezi spotřebovaným krmivem a přírůstkem. Zlepšení účinnosti krmiva může být klíčem ke snížení výrobních nákladů a snížení znečišťování vod (De Verdal a kol., 2010).

Přímá selekce na tento znak vyžaduje metody měření individuální spotřeby krmiva, což je u ryb poměrně obtížné. Výsledky studií, které byly na toto téma provedeny, byly neuspokojivé a zjištěné heritability byly velmi nízké, právě kvůli nesprávným postupům při měření spotřeby krmiva. Vhodnou by mohla být nepřímá selekce založená na korelaci s jinými znaky v kombinaci s genomickou selekcí (odhad plemenné hodnoty) (De Verdal a kol., 2010; Meuwissen a kol., 2016).

5.8. Pohlavní zralost

Pohlavní zralost lze chápat jako stav, ve kterém je organismus schopen reprodukce tzn. je schopen produkovat zralé pohlavní buňky (Okuzawa, 2002). Ryby se dostávají do puberty, až když je dokončena jejich diferenciací, a až po zahájení dozrávání zárodečných buněk (Tarangel a kol., 2010). Nástup a trvání puberty jsou v celku důležité období u ryb, jelikož zde dochází k mnoha fyziologickým změnám, které se netýkají pouze gonád. U ryb s vnějším pohlavním dimorfismem dochází ke zviditelnění sekundárních pohlavních znaků, a dále má tento stav vliv i na užitkové vlastnosti jako jsou například: rychlost růstu, kvalita masa, odolnost vůči nemocem přežití a jiné. (Taranger a kol., 2010) U většiny druhů ryb má počátek puberty spíše pozitivní vliv na tyto užitkové vlastnosti (Kadri a kol., 1996).

Dosažení pohlavní dospělosti je záležitost čistě individuální a je závislé na mnoha okolnostech, například: prostředí a výživa nebo celkový fyziologický stav ryby. Dosažení pohlavní zralosti je tedy velice komplexní a není do určité míry závislé na věku a velikosti ryby (Thorpe, 2007).

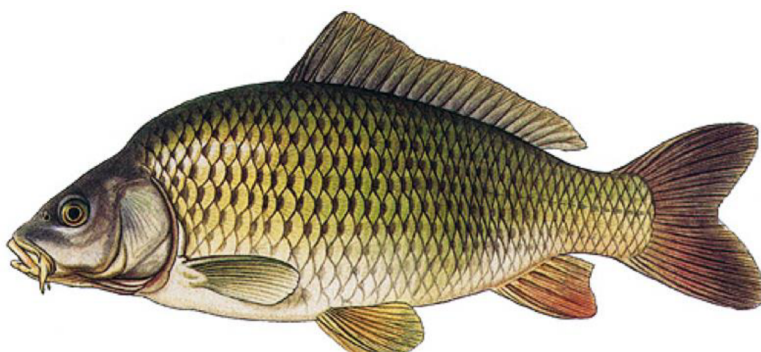
Z pohledu chovatelů se dá na dřívější nebo pozdější nástup pohlavní zralosti nahlížet jako na užitkový znak. U producentů ryb jen za účelem růstu je tento znak velmi důležitý, zvláště pokud ryby dosáhnou pohlavní dospělosti před dosažením tržní velikosti anebo současně s ní. V tomto případě je vhodné pro producenty, aby nástup pohlavní dospělosti oddálili. Naopak je tomu například u jeseterovitých ryb chovaných pro produkci kaviáru, v tomto případě je pro chovatele výhodnější dřívější nástup pohlavní zralosti (Feist a kol., 2004).

Z pohledu šlechtitelských programů je dosažení pohlavní zralosti také velmi důležité, jelikož zde dochází k posouvání průměrné hodnoty jednoho či více znaků požadovaným směrem v následujících generacích. U generačních ryb ze selekčního programu je tedy vhodné zkrátit nástup do pohlavní zralosti a tím urychlit proces selekčního šlechtění rychlejší produkcí vylepšených ryb. U *Lososa atlantského* je hodnota heritability pro tento znak 0,12-0,34, dřívější nástup pohlavní dospělosti výběrem ryb s ranějším výtěrem byl rovněž pozorován u síha marény (*Coregonus maraena*), tilapie nilské nebo lososa kisuče (Longalong a kol., 1999; Gjedrem 2005; Niera a kol., 2006; Kause a kol., 2011;).

6. HISTORIE A POTENCIÁL SELEKČNÍHO ŠLECHTĚNÍ KAPRA V ČR

6.1. Historie chovu kapra

Kapr obecný (*Cyprinus carpio* L.)



Obr. č.5 Kapr obecný (*Cyprinus carpio*); Zdroj: <https://www.rybaribechyne.cz/atlas-ryb/kapr-obecnny/>

Kapr obecný (Obr. č.5) pravděpodobně pochází z oblasti Kaspického moře z období konce třetihor. V období čtvrtohor se v dobách ledových vyvinul z tohoto prapředka dnešní druh *Cyprinus carpio* a rozšířil se do Černého moře a Aralského jezera. Odtud se

dále rozšířil na západ, až do povodí řeky Dunaj a na východ do Asie. V Dunaji se Kapr poprvé objevil před cca 8 000 - 10 000 lety (Balon, 1995). Současná oblast výskytu je rozdělena na západní (Kaspické a Černé moře, Aralské jezero) a na východní (východ a jihovýchod Asie) oblast (Balon, 1995). Také bylo potvrzeno, že Asijskou a Evropskou populaci lze taxonomicky rozlišit (Kohlmann a kol., 2003, 2005).

Rozšíření kapra z povodí Dunaje do většiny Evropy začalo již za Římské říše. Kapr byl pro Římany atraktivní jako jeden ze sezonních zdrojů potravy pro armádu, neboť byl poměrně odolný a snášel náročnější podmínky transportu k vojenským jednotkám. Jelikož Římané ovládali techniky umělého chovu ryb, mohli kapra rozšířit i do oblastí kde se přirozeně nevyskytoval (Balon, 2006).

S pádem Římské říše a postupným rozvojem křesťanství pokračoval chov kapra v klášterních rybnících, protože kapr byl považován za postní rybu a mniši ho proto potřebovali mít dostatek a kdykoliv k jídlu. Díky těmto chovům docházelo k postupné adaptaci a částečné domestikaci kapra. V Čechách zakládání klášterních rybníků zmiňuje Kladrubská listina (1115) a Kosmova Kronika (1119) (Balon, 1995; 2006).

Z hlediska taxonomie má kapr obecný současně dvě geneticky odlišné větve, které jsou brány jako samostatné druhy; evropský kapr *Cyprinus carpio* a asijský kapr *Cyprinus rubrofasciatus* (Huckstorf, 2012; Froese a Pauly, 2018). Avšak někteří autoři pokládají kapra obecného *Cyprinus carpio* za jeden druh, který má 2-3 poddruhy (Chistiakov a Voronova, 2009; Xu a kol., 2014).

Plemena kapra v Evropě či jeho linie pocházejí většinou z divokých kaprů z Dunaje (Flajshans a Hulata 2009). V rámci druhu existuje mnoho plemen, linií či populací, které se od sebe liší nejen geneticky, ale i vzhledem, morfologií, užitkovostí či ošupením. Mezi nejčastěji chovaná plemena v ČR zejména k produkci užitkových hybridů patří například: Maďarský lysec (M2), Severský lysec (M72), Amurský lysec (vodňanská linie-AL_v a pohořelická linie-AL_p, Telčský lysec (Te), Pohořelický lysec (PoL), Žďárský lysec (Žď-L).

6.2 Strategie chovu kapra

Kapr obecný se v České republice chová v rybnících. Chová se ve dvou cyklech, a to ve tříletém a čtyřletém cyklu. Podniky, které se zabývají chovem kapra, mají celkem 3 strategie chovu. První je, že si násadové ryby vychovávají sami, a to chovem generačních ryb, jejich následným výtěrem a odchovem plůdku až do tržní ryby. Druhou

strategií je, že si nakoupí váčkový plůdek z rybářských líhní a následně ho odchovávají až do tržní ryby (Dubský 1998). Třetí strategie je taková, že podnik si nakoupí násadu kapra a tu poté odchovává až do velikosti tržní ryby. Metod výtěru ryb je několik: umělý výtěr, staročeská metoda nebo Dubraviova metoda. Nejvíce používanou metodu v České republice je umělý výtěr. Při odchovu plůdku lze použít dvě metody, a to s přelovením nebo bez přelovení. (Dubský 2015).

Umělý výtěr se v České republice používá od 70. let 20. století. Umělý výtěr probíhá tzv. suchou metodu v plně kontrolovatelných podmínkách líhně. Tento proces začíná přípravou generálních ryb k výtěru. K vlastní indukci výtěru se používá teplotní a hormonální stimulace pomocí suspenze kapří hypofýzy a fyziologického roztoku. Ta se u jikernaček se podává ve dvou dávkách (přípravná – 0,5 mg.kg⁻¹ a hlavní – 2,5 mg.kg⁻¹) a u mlíčáků v jedné dávce (0,7 – 1,5 mg.kg⁻¹ (Gela a kol., 2009). Pro snadnější a šetrnější manipulaci s rybami se využívá anestetik (phenoxytyethanol, hřebíčkový olej, MS222). Poté následuje již samotný výtěr, který se provádí lehkým tlakem na břišní partii, který vytlačuje jikry do suché misky po pečlivém osušení pohlavní papily. Výtěr mlíčáků probíhá také tlakem na břišní partii po osušení pohlavní papily, kdy mlíčí je vytlačováno přímo na jikry anebo odebíráno do injekčních stříkaček či pomocí vývěvy (Gela a kol., 2009). Na jednu jikernačku je vhodné použít min. 2-3 mlíčáky či v případě založení selekčního programu nebo záchovy čistého plemene lze využít faktoriální schéma křížení (viz kapitola „Základní pojmy kvantitativní genetiky“. Po výtěru se mlíčí s jikrami lehce promíchá a proběhne aktivace vodou či aktivačním roztokem. Po aktivaci proběhne odlepkování nejčastěji pomocí mléka, nebo nově i roztokem taninu (Kašpar a kol., 2023). Po odlepkování nastává inkubace v Zugských lahvích. Inkubace trvá 60-70denních stupňů a následné rozplavání nastává 6.-8. den inkubace (Gela a kol., 2009).

6.3. Produkce kapra a jeho situace na trhu

Kapr obecný je v České republice nejčastěji chovanou rybou. Jeho roční produkce tvoří 85–90 % všech tržních ryb (viz tabulka č.1). Avšak trh s kaprem v ČR se v posledních pěti letech potýká s mnoha problémy. Největším problémem je snižující se či stagnující poptávka po kapru obecném, kvůli které klesají výkupní ceny. Dalším velkým problémem byla pandemie Covidu 19, která omezila vývoz ryb do zahraničí. K tomuto všemu se ještě výrazně zvedla cena nákladů na produkci ryb (Prchal a kol., 2021a).

Z těchto důvodů musí České rybářství reagovat na měnící se podmínky a snažit se udržet rentabilitu chovu. K tomuto by mohlo vést například využití šlechtitelských programů. V tabulce č.2 je uveden cenový vývoj kapra vyvezeného do zahraničí.

Tabulka č.1, produkce kapra v České republice; Zdroj: Rybářské sdružení; cz-ryby.cz

ROK	Produkce kapra v (t)	Ryby celkem v (t)
2013	16 809	19 358
2014	17 833	20 135
2015	17 860	20 200
2016	18 362	20 952
2017	18 460	21 685
2018	18 430	21 751
2019	17 945	20 986
2020	17 370	20 401
2021	17 616	20 991
2022	16 437	19 259

Tabulka č. 2, Cenový vývoj kapra vyvezeného do zahraničí; Zdroj: Situační a výhledová zpráva ryby 2022

Rok	Země	Německo	Slovensko	Rakousko	Francie	Maďarsko	Polsko	Itálie
2017	tuny	2 232	1 327	672	721	485	4 304	98
	Kč/kg	53,13	53,87	61,46	58,4	48,97	50,70	51,2
2018	tuny	2456	1324	668	709	570	3 291	119
	Kč/kg	53,84	54,48	60,72	58,61	51,56	52,97	50,4
2019	tuny	2 722	1 174	638	641	474	2 981	165
	Kč/kg	48,83	49,89	58,65	58,9	45	39,05	46,1
2020	tuny	2 844	960	614	473	307	2 481	83
	Kč/kg	50,17	51,80	58,84	60,2	45,03	40,53	47,9
2021	tuny	2 744	1 101	675	498	212	2 862	54
	Kč/kg	56,11	58,03	61,37	62,3	53,27	55,53	47,8

Z této tabulky můžeme zjistit, že cena vyvážených kaprů se během let nijak razantně nemění napříč monitorovanými roky. Nejvýznamnější podíl ve vývozu živých kaprů má za roky 2017-2022 Polsko.

6.4. Způsoby chovu kapra

V České republice existuje několik způsobů chovu kapra, které jsou rozděleny podle intenzity chovu. Intenzita chovu je závislá na rybnících, a to podle toho, jestli má rybník i jiné využití než rybochovné (vodohospodářské, rekreační, ochranné pásmo zvláště chráněného území) anebo podle maximálního stupně intenzifikace rybníka (Čítek, 1998). Prvním způsobem je extenzivní způsob. Podstatou tohoto způsobu je chovat ryby bez použití krmiv či hnojiv nebo jen s minimálním množstvím. Tento způsob je založen na přírůstku z přirozené potravy. Produkce může dosahovat 0,1-0,5 t. ha⁻¹ vodní plochy.

Druhým způsobem je polointenzifikační způsob, který je v České republice nejpoužívanější k chovu kapra. Tento způsob je založen na podpoře přirozené potravy, především hnojením statkovými hnojivy (v dnešní době už spíše méně nebo vůbec, jelikož rybníky jsou přeplněny živinami) (Čítek, 1998), a na produkci z přikrmování krmivy rostlinného původu jako například obilovinami (pšenice, ječmen) (Čítek, 1998). Tento způsob hospodaření lze dobře sladit s většinou rybníků. Produkce z tohoto způsobu může dosahovat až 1500 kg/ ha⁻¹ (Čítek, 1998). Průměrná produkce kapra v České republice je ovšem okolo 500-600 kg z hektaru lišící se podle kraje, průměrné délky vegetační sezony a úživnosti rybníků (Dubský, 2015).

Třetím je intenzifikační způsob chovu. Zde je produkce dosahováno pomocí kompletních krmných směsí a větším množstvím hnojení než v polointenzifikačním způsobu. U tohoto způsobu je vhodné používat automatizaci či mechanizaci. Produkce z hektaru může dosahovat až 3 t.ha⁻¹. Podobným je i průmyslový způsob chovu, kde produkce může dosahovat až 20 t.ha⁻¹ (Čítek, 1998). Tyto způsoby dnes nelze použít na žádném rybníce, kvůli kvalitě vody či kvůli jiným legislativním omezením a je spíše typický pro chov kapra v Číně a Vietnamu. Obdobou tohoto způsobu může být chov ryb v RAS, tento způsob se však pro chov kapra nepoužívá z důvodu nízké rentability.

6.5. Legislativní omezení chovu kapra

Z legislativního hlediska se chovu kapra týkají dva zákony. Prvním z nich je vodní zákon (zákon č.254 /2001 Sb.), podle něhož se vydává např. povolení k nakládání s vodami, které je nutno mít při chovu ryb. Dále se podle vodního zákona udává

povolení k aplikaci závadných látek, což v rybníkářství znamená hnojiva, léčiva či krmiva. Podmínky udělení takového povolení jsou popsány v metodickém pokynu ZP03/2002 a v nařízení vlády č.82/1999 Sb. V této metodice jsou také uvedeny maximální dávky krmiv, hnojiv či množství nasazených ryb na hektar (viz tabulka č.3). V brzké době se očekává vydání nové vyhlášky, která tuto metodiku nahradí, jelikož tato metodika je již svým způsobem zastaralá a pokyny v ní neodpovídají dnešnímu stavu rybníků, jejichž kvalita se výrazně zlepšila i přes snahu některých orgánů napadat rybáře jako hlavní strůjce eutrofizace vod. V tomto zákoně je však také uvedeno, že příkrmování ryb krmivy rostlinného původu lze aplikovat do té míry, aby množství podávaných krmiv bylo rybí obsádkou zkonsumováno, a nedošlo tak k rozkladu krmiv a s tím spojenému zhoršení jakosti vod. Díky tomu není třeba výjimka z použití závadných látek, ve smyslu krmení, nutná. Druhým zákonem je zákon č.99/2004 Sb. Tento zákon například udává povinnost vedení evidence o hospodaření a o dosaženém hospodářském výsledku v rybníkářství.

Tabulka č.3, Maximální povolené, dávky hnojiv, krmiva a množství nasazení ryb; Zdroj: Metodický pokyn ZP03/2002

Krmiva	Polointenzifikační rybník
Max. denní dávka do 5% živé hmotnosti rybí obsádky	50 kg.ha ⁻¹
Maximální roční dávka	3000 kg.ha ⁻¹
Období aplikace	Březen až Říjen, výjimečně celoročně
Organická hnojiva	
Max. jednorázová dávka chlévské mrvy	400 kg.ha ⁻¹
Komposty	800 kg.ha ⁻¹
Kejdy	800 kg.ha ⁻¹
Max. roční dávka	
Chlévská mrva	3 500 kg.ha ⁻¹
Komposty	10 000 kg.ha ⁻¹
Kejdy	10 000 kg.ha ⁻¹
Období aplikace	Listopad až květen
Vápenatá hnojiva	
Max. jednorázová dávka	
Mletý vápenec	1000 kg.ha ⁻¹
Pálené vápno	700 kg.ha ⁻¹
Chlorové vápno	30 kg.ha ⁻¹
Max. roční dávka	
Mletý vápenec	2000 kg.ha ⁻¹
Pálené vápno	1000 kg.ha ⁻¹
Chlorové vápno	120 kg.ha ⁻¹
Období aplikace	celoročně
Počet ryb	
Váčkový plůdek (K0)	40 000 ks až 100 000 ks.ha ⁻¹
Plůdek kapra (K1)	1000 ks až 3000 ks.ha ⁻¹
Násada kapra (K2)	500 ks až 1000 ks.ha ⁻¹

6.6. Selekční šlechtění kapra obecného

6.6.1. Historie a vývoj selekčního šlechtění kapra obecného

Až do roku 1970 se selekce na zlepšení užitkových znaků u ryb nepoužívala, ale v poslední době je tomu naopak a dochází k velkému rozvoji v tomto odvětví (Dunham, 1996, Houston a kol., 2020). V dnešní době je známo více než 200 odhadů heritability kvantitativních znaků vodních organismů (Dunham a kol., 2001; Gjedrem, 2005; Gjedrem a Rye, 2016; Houston a kol., 2020; Boudry a kol., 2021; Song a kol., 2023;). Vůbec první selekční program byl založen na tzv. rodinné selekci lososa atlantského na divokých rybách a poté následoval rychlý rozvoj selekčních programů u dalších významných druhů ryb (pstruh duhový, mořčák evropský, tilapie nilská, pražma královská aj.) (Gjedrem a Rye, 2016). U kapra však systematický a dlouhodobě udržitelný program nebyl zatím plně aplikován.

V minulosti byl potenciál selekce kapra studován na několika selekčních pokusech, nejvíce na odolnost vůči nemocem, odolnost vůči chladu a na rychlost růstu. Tyto studie ukázaly pozitivní odpověď na selekci, však u růstu tato odpověď byla spornější. (Vandeputte, 2003). První provedený selekční pokus byl proveden v Sovětském svazu (SSSR) za účelem zlepšení růstu a odolnosti vůči chladu. Tento pokus byl založen na křížení Amurského divokého kapra, který byl odolný vůči chladu, a rychle rostoucího Galacijského kapra, a na jejich následné selekci po dobu 5 generací. Ohledně růstu nebyla získána žádná data, ale ohledně odolnosti vůči chladu se ukázalo lepší přežití o 47,4 % přes zimu (Kirpichnikov, 1974). Další selekční pokus v SSSR byl na odolnost vůči kapénkovým onemocněním. Zde byl zjištěn značný rozdíl v mortalitě u selektovaných a neselektovaných jedinců. U selektovaných byla mortalita 11,5 % a u neselektovaných byla 57 % tedy téměř 5x vyšší (Schäperclaus, 1962).

Další selekční pokus byl proveden ve Vietnamu, kde použili metody hromadné selekce na rychlost růstu. Během dvou generací zjistili u jedné linie realizovanou heritabilitu pro hmotnost těla 0,20-0,29 (Tran a Nguyen, 1993). Avšak v tomto pokusu reagovala na selekci jen jedna linie ze tří vybraných. Z těchto pokusů vyšlo najevo, že selekce na odolnost vůči nemocem funguje a, že selekce na rychlost růstu se také prohlašuje za úspěšnou, ale s nejasným genetickým pozadím a bez vědeckých důkazů (Vandeputte, 2003).

Další selekční pokusy na rychlost růstu byly prováděny v Izraeli, a to od roku 1965. První pokus byl zaměřen na rychlost růstu po dobu pěti generací (Moav a Wohlfahrt, 1976). V první generaci selektované linie vykázaly malou odpověď na selekci a v páté generaci došlo dokonce k poklesu zlepšení znaku ve srovnání s první generací. Heritabilita, která byla zjištěna při tomto pokusu byla 0,3 v prvních třech generacích a ve čtvrté a páté generaci byla heritabilita na hodnotě 0 (Moav a Wohlfahrt, 1976). Existuje několik důvodů, které mohly zapříčinit tento neúspěch selekce. Například plemena, která byla použita, již dosáhla selekčního stropu (Moav a Wohlfahrt, 1976) nebo zde byla silná interakce mezi genotypem a prostředím, protože u kapra je dobře známo, že tento typ interakcí existuje (Gross a Wohlfahrt, 1994; Wang a Li, 2007; Ponzoni a kol., 2008). Dalším důvodem mohla být i snížená genetická variance aditivní složky, způsobená předešlou domestikací kapra (Hulata, 2001) nebo je možné, že tento neúspěch způsobila vysoká míra inbrídingu (Vandeputte, 2003). V Izraeli proběhl i další pokus, který byl zaměřen na tvar těla, poměr mezi výškou a délkou těla, u tohoto pokusu byla zjištěna heritabilita 0,33 (Ankorion a kol., 1992).

V nedávné době již probíhaly více sofistikované selekční pokusy, které používaly k odhadu genetických parametrů užitkových znaků individuální značení a genotypování k určení rodičovství, tak aby všechny experimentální populace ryb byly chovány za stejných podmínek. Tyto pokusy například zjistily u syntetické linie směsi maďarských lisců (HSM) heritabilitu u hmotnosti těla 0,21-0,33 a u délky těla 0,31-0,44 (Vandeputte 2004; 2008). I další pokusy odhadly střední až vysokou heritabilitu užitkových znaků. (Yousefian a kol., 2011; Ninh a kol., 2011; 2014). Z těchto výsledků tedy vyznívá, že selekce kapra je proveditelná s očekávaným genetickým ziskem v dalších generacích.

Novodobé výsledky různých užitkových znaků, na které by se dal selekční program kapra obecného zaměřit jsou podrobněji popsány níže včetně heritabilit v tabulce č.3.

6.6.2. Hlavní užitkové znaky pro selekci kapra obecného

6.6.2.1. Růst

Hlavním znakem pro každý selekční program je selekce na rychlost růstu. Výhodou je jednoduché měření tohoto znaku, a to zvážením hmotnosti těla nebo změřením délky těla, protože mezi těmito dvěma znaky je významná genetická korelace a to $r_g \geq 0.90$ (Gjedrem, 2005; Kocour a kol., 2007; Ninh a kol., 2011). Selekcí se mimo jiné snažíme zrychlit růst a zkrátit produkční cyklus, což může zefektivnit produkci.

Z genetického hlediska má hmotnost těla střední až vysokou heritabilitu $h^2 = 0,17 - 0,70$ (Kocour a kol., 2007; Nielsen a kol., 2010; Ninh a kol., 2013; Dong a kol., 2015; Hu a kol., 2017; Prchal a kol., 2018bc, 2021b). Podobně jako heritabilita může být i variační koeficient poměrně dobrým prediktorem očekávané pozitivní odpovědi na selekci. U hmotnosti těla je variační koeficient okolo 20 % (Vandeputte a kol., 2008; Prchal a kol., 2018b). Z těchto studií byl také zjištěn genetický zisk na generaci u znaku růstu, a to 21,4 % po dvou generacích (Ninh a kol., 2013), 7 % po čtyřech generacích (Dong a kol., 2015) a 12 % po jedné generaci (Vandeputte a kol., 2008). Vzhledem ke všem těmto předpokladům může selekce na růst kapra obecného v budoucnu být úspěšná. Hodnoty heritabilit růstu a dalších vybraných užitkových znaků jsou uvedeny v tabulce č.3.

6.6.2.2. Odolnost vůči KHV

U kapra obecného je vážným problémem virové onemocnění s názvem Koi herpesvirus neboli KHV. Z dnešních studií vyplývá, že selekce významně ovlivňuje odolnost vůči chorobám jako je například KHV (Vandeputte a kol., 2004, 2008; Kocour a kol., 2007; Nielsen a kol., 2010; Ødegård a kol., 2010; Ninh a kol., 2011; Dong a kol., 2015; Nguyen, 2016; Hu a kol., 2017; Tadmor-Levi a kol., 2017).

První velká ohniska KHV byla zaznamenána v Izraeli a USA v roce 1998 (Hedrick a kol., 2000), následně se KHV rozšířilo do celého světa (Haenen a kol., 2004). První výzkumy odolnosti ke KHV se zaměřovaly na identifikaci čistokrevných plemen nebo kříženců, kteří jsou vůči KHV odolnější. V rámci nich byly u některých plemen a kříženců kaprů zjištěny pozitivní výsledky zejména u plemen či kříženců s geny divokého amurského sazana (Shapira a kol., 2005; Ødegård a kol., 2010; Piačková a kol., 2013; Tadmor-Levi a kol., 2017).

Kromě toho bylo zjištěno, že genetická variabilita rezistence vůči KHV je značná, na rozdíl od odolnosti vůči například *Aeromonas hydrophila* (Erythrodermatitida) (Ødegård a kol., 2010; Tadmor-Levi a kol., 2017). Proto by se odolnost vůči KHV mohla zvýšit použitím odolnějších jedinců a poté ji ještě zlepšit selekcí. U takovéto selekce se nedá použít selekce přímé výběrem odolných ryb vystavených viru, ale lze využít selekce nepřímé. Jednou z možností je využít metodu rodinné selekce na základě znalosti odolnosti rodin a polorodin. Díky známé negativní genetické korelaci mezi odolností vůči KHV a tvarem těla lze selektovat i ryby tímto způsobem (Zhao a kol., 2020).

Nicméně by takto došlo k výraznému protažení těla což může být pro zákazníka nevýhodné. V neposlední řadě lze využít moderních genomických markerů SNP a využití metody genomické selekce (Palaiokostas a kol., 2019; Prchal a kol., 2023a).

Jako vhodným kandidátem selekce může být například amurský lysec, který vykazuje velice vysokou heritabilitu odolnosti vůči KHV v rozmezí 0,61-0,96 (Palaiokostas a kol., 2018b; Zhao a kol., 2020; Prchal a kol., 2023a).

6.6.2.3. Jateční výtěžnost

Zlepšování výtěžnostních ukazatelů jako je opracovaný trup nebo filet s kůží je v návaznosti na zvýšenou poptávku po zpracovaném rybím produktu stále častěji cílem šlechtitelských programů u ryb, včetně kapra obecného. Selektce na zvýšení výtěžnosti jedlých částí těla je však náročnější, než je tomu například u růstu, jelikož se ryby musí usmrtit a dále zpracovat pro zjištění skutečné hodnoty výtěžnosti. V takových případech se volí tzv. nepřímá selekce s využitím silných genetických korelací jiných znaků či s využitím tzv. prediktorů výtěžnosti na základě ultrazvukového měření (viz kapitola „Hlavní užitkové znaky pro selekční šlechtitelské programy“, Obr. č.6). Rovněž heritabilita výtěžnosti jedlých podílů kapra obecného a jejich prediktorů je střední až vysoká (0,21-0,66; Kocour a kol., 2007; Prchal a kol., 2018a; Prchal a kol., 2020; Prchal a kol., 2021b). Dále bylo zjištěno, že selekce s využitím prediktoru lze praktikovat již na dvouletých rybách, kdy genetický zisk za generaci v absolutních číslech byl odhadnut v rozmezí 0,93-1,18 % (Prchal a kol., 2021b). Při takovéto selekci je ale třeba pamatovat na to, že může zároveň docházet k významnému protažení tvaru těla a ke zmenšování hlavy což může ovlivnit respirační kapacitu žaber, a je proto nutné tento negativní efekt hlídat i v dalších generacích (Prchal a kol., 2021b).



Obr. č.6 - Měření tloušťky břišní svaloviny veterinárním ultrazvukem SonoScape E2 s využitím konvexní sondy, Foto: M. Prchal

6.6.2.4. Obsah tuku

Obsah tuku ve svalovině je dalším zajímavým znakem pro selekci. U tohoto znaku byla zjištěna vysoká heritabilita (0,50-0,62) (Kocour a kol., 2007; Prchal a kol., 2018c). Selekcce na tento znak může být prováděna buďto na živých jedincích (pomocí tukoměřů) anebo pomocí nepřímé selekcce na základě korelací (tělesná hmotnost nebo jateční výtěžnost) (Nguyen a kol., 2010; Janhunnen a kol., 2017).

Důležitou roli hraje obsah tuku i při přezimování. U kapra toto období způsobuje značné ekonomické ztráty. Dle Prchala a kol. (2018b) byla zjištěna heritabilita pro změnu obsahu tuku během přezimování $h^2 = 0,12-0,15$. Dále také bylo zjištěno, že selekcce proti ztrátě hmotnosti a obsahu tuku, by mohla zlepšit přežití během zimního období a růst v dalším roce života. Mezi obsahem tuku během přezimování a přežitím po komorování byla zjištěna negativní genetická korelace ($r_g = -0,59-0,53$) (Prchal a kol., 2018b). Z tohoto vyplývá, že selekcce na vyšší obsah tuku může snížit přežití v zimním období. Toto tvrzení je však relevantní pouze v případě teplých zim poslední dekády. Více než obsah tuku tak může hrát významnou roli v přežití během komorování obsah glykogenu, jak pozorovala u dvouletého kapra Zhao a kol. (2021) ve své studii.

Rybí tuk je také důležitým zdrojem omega 3 nenasycených mastných kyselin (MUFA, PUFA, EPA...). Obsah nenasycených mastných kyselin je však velmi ovlivněn okolním prostředím a potravou (Mráz a Piackova, 2011). Genetické pozadí má ale také významný vliv na obsah nenasycených mastných kyselin (Overturf, a kol., 2013). Podle Prchala a kol. (2018c) je heritabilita kompozice mastných kyselin kapra středně vysoká ($h^2 = 0,23-0,26$), ale je v silné negativní genetické korelaci s růstovými znaky. Tedy selekcce na vyšší růst by se mohla negativně projevit v kvalitě masa ve smyslu mastných kyselin. V tom případě by bylo vhodné využít úpravy krmné směsi na bázi lněných a řepkových výlisků (Mráz a kol., 2012).

6.6.2.5. Přežití v hypoxickém prostředí

Kapr obecný je dobře znám pro svou toleranci k nízkému obsahu kyslíku ve vodě. Dokáže přežít měsíce pod ledem při velmi nízkém obsahu kyslíku. Právě toto vedlo k zájmu zjistit, který genetický mechanismus je základem této tolerance. Jedna studie se zabývala myoglobiny a zjistili, že myoglobin mb₂ hraje ochrannou roli proti produkci H₂O₂ během hypoxie a reoxygenace (Helbo, a kol., 2012).

Selekční pokusy této odolnosti však ještě nebyly sofistikovaně provedeny. Pouze jedna studie popisuje, že heritabilita odolnosti vůči hypoxii je 0,51 u kapra ve velikosti 10g (Nagy a kol., 1980), avšak pozadí tohoto pokusu je nejasné, a dědivost tohoto znaku je třeba ověřit (Vandeputte a kol., 2003). Odolnost vůči hypoxii by mohl být do budoucna velice zajímavý znak pro selekční programy kapra obecného, vzhledem ke globální změně a zejména deficitům v letních měsících.

6.6.2.6. Snížení obsahu mezisvalových kostí

Přítomnost mezisvalových kostí značně snižuje ekonomickou hodnotu kapra. Snížení obsahu mezisvalových kostí by mohlo vést k větší poptávce kapra na trhu. V minulosti byly provedeny selekční pokusy na tento znak, ale neměly dobré výsledky (Kossman, 1972). Experimentální práce je v tomto případě ztížena velkou náročností při určování počtu kostí ve svalovině ryb (Meske, 1972).

U tohoto znaku byla zjištěna nízká až střední heritabilita 0,15-0,44 (Tang a kol., 2020). V Číně právě probíhá intenzivní výzkum na produkci kaprovitých ryb bez mezisvalových kostí pomocí editace genů, tedy „vystřížením“ genů kódujících tyto kosti. První výsledky nasvědčují, že tato metoda by mohla být úspěšná, ale může být výrazně narušena fyziologie ryb a celková užitkovost a rovněž etická otázka produkce takových ryb je diskutabilní.

6.6.2.7. Požadovaný rámec těla

Dalším výhodným znakem pro selekci, a to zejména při chovech, kde se ryby prodávají živé, je požadovaný rámec těla. Tento znak se dá měřit pomocí IV (Index vysokohřbetosti, poměr mezi délkou a výškou těla). U kapra byla zjištěna realizovaná heritabilita tohoto znaku 0,47 při zvyšování poměru mezi výškou a délkou těla tzv. protahování těla. Naopak při snižování poměru mezi výškou a délkou těla tzv. selekce na čtvercový rámec, byla vypočtena realizovaná heritabilita 0,33 (Ankorion a kol., 1992). Další možností je využití nepřímé selekce na Fultonův kondiční koeficient (FK), protože mezi těmito dvěma znaky je velice silná genetická korelace. Selekcí na vyšší FK by se relativně rychle mohl změnit požadovaný tělesný rámec ke čtvercovému tvaru. Naopak selekcí na nižší FK by docházelo ke změně tvaru těla na typický říční. Heritabilita tohoto znaku byla zjištěna na úrovni 0,51-0,93 (Prchal a kol., 2018b; Prchal a kol., 2021a).

Ovšem tělesný rámec se často mění i podmínkami prostředí v rybníce. Obecně platí, že ryby, které se nacházejí v horších podmínkách (nedostatek krmiva) budou protaženějšího tvaru těla a naopak ryby, které budou mít dostatek krmiva, budou mít i vyšší tělesný rámec.

6.6.2.8. Vzhled ošupení

Dalším zajímavým znakem pro selekci je vzhled ošupení zejména u lysých plemen s geny amurského sazana (M72, AL). Neustálený počet a rozložení šupin lysých plemen kapra jsou pro zákazníka spíše nežádoucí s výjimkou sportovních rybářů, kteří tyto ryby naopak vyhledávají. Pokud by se tedy realizoval selekční program lysých plemen kapra s neustáleným ošupením a ryby z tohoto programu by se prodávaly v živém stavu, bude nutné po nějakou dobu aplikovat selekci na vzhled ošupení (tzv. stabilizační selekci).

Například u amurského lysce by toto bylo možné, jelikož tento znak má vysokou heritabilitu ($h^2=0,50-0,89$) (Prchal a kol., 2021a; Prchal, 2024 os. sdělení). Výhodou je, že selekce na vzhled ošupení by neměla mít zásadní negativní vliv na rychlost růstu či na obsah tuku ve svalovině (Prchal a kol., 2021a). Výběrem ryb požadovaného vzhledu v chovném hejnu by se tak mohlo poměrně rychle zvednout zastoupení ryb se standardním vzhledem typického lysého fenotypu. Již za 3 generace selekce na požadovaný lysý fenotyp by mohlo být zastoupení ryb v populaci s lysým vzhledem nad úrovní 80 % (Prchal a kol., 2021a).

6.6.2.9. Kumulativní hodnota přežití

Hodnoty heritability u přežití ve vyšší věkových kategoriích jsou nízké (Nielsen a kol., 2010; Dong a kol., 2015; Prchal a kol., 2018b). Snaha o vylepšení tohoto znaku pomocí selekce tedy nemá opodstatnění a je proto lepší se spíše zaměřit na zlepšené podmínky chovu. Nejkritičtější a nejvariabilnější je hodnota přežití u kapra v prvním roce života (K_0-K_1 a zimní období u K_1). Kalkulace heritability přežití v první vegetační sezóně včetně zimování je velmi technicky náročná a nebyla dosud provedena (Prchal a kol., 2021a). Lze ale předpokládat, že i v těchto případech bude heritabilita nízká, protože konkrétní hodnoty přežití jsou závislé na mnoha faktorech (kondiční a zdravotní stav, stres, průběh zimy aj).

Dalším problémem při selekci na vyšší přežití je fakt, že nelze použít hromadnou selekci, protože všechny ryby, které by přežily by splnily selekční kritérium. Jedinou možností je použití rodinné selekce (výběr jedinců z rodin, jejichž hodnota je vyšší

oproti průměru celé populace). Očekávaný genetický zisk při provedení rodinné selekce na vyšší přežití, není zajímavý vzhledem k pracnosti a nákladnosti takového selekčního programu (Prchal a kol., 2021a).

Tabulka č.3, Heritability vybraných užitkových znaků; Převzato a upraveno: Prchal a kol.,2021a

Znak	Věk	h ² (± S.E.)	Zdroj
Hmotnost (Růst)	Plůdek K ₁	0,26±0,05	Palaiokostas a kol. (2018a)
	Násada K ₂	0,49-0,51±0,08	
	Tržní velikost K ₃	0,40±0,09	Prchal a kol. (2018b) Prchal a kol. (2021b)
Přežití	K ₁ – K ₂	0,03±0,05	Prchal, 2024 os. sdělení
	K ₂ -K ₃	0,15±0,05	Prchal a kol. (2018b)
KHV odolnost	Plůdek K ₁	0,61±0,96	Palaiokostas a kol. (2018b); Prchal a kol., 2023a
Lysé ošupení AL	Násada K ₂	0,62-0,89	Prchal, 2024 os. sdělení
% Jateční výtěžnost filet	Tržní velikost K ₃	0,50-±0,8	Prchal a kol. (2018a)
% Jateční výtěžnost opracovaný trup	Tržní velikost K ₃	0,53±0,10	Prchal a kol. (2021b)
		0,41 ± 0,09	
Fultonův kondiční koeficient (FK)	Násada K ₂	0,73-0,93±0,10	Prchal a kol. (2018a)
	Tržní velikost K ₃	0,51±0,10	Prchal a kol. (2021b)
Relativní délka hlavy (RDH)	Tržní velikost K ₃	0,60±0,10	Prchal a kol. (2021b)
		1,00±0,09	Prchal a kol. (2018a)
% Obsah tuku	Násada K ₂	0,62-0,64±0,14	Prchal a kol., (2018b)
	Tržní velikost K ₃	0,51±0,10	Prchal a kol. (2021a)
Index vysokohřbetosti (IV)	Tržní velikost K ₃	1,00±0,09	Prchal a kol. (2018a)
		0,60±0,10	Prchal a kol. (2021b)
Obsah mezisvalových kostí		0,15-0,44± 0,08- 0,12	Tang a kol. (2020)
Přežití v hypoxickém prostředí	Plůdek K ₁	0,51	Nagy a kol. (1980)

6.6.3. Selekční šlechtění kapra v podmínkách české rybníční akvakultury

Na základě zjištěných středních až vysokých heritabilit u většiny užitkových znaků kapra obecného je potenciál pro jeho úspěšné genetické zlepšování systematickou selekcí vcelku vysoký. Na druhou stranu je tento typ šlechtění časově ale i finančně náročný v porovnání s běžně využívanými kříženci. Je proto zásadní se zaměřit jen na ty znaky, které by opravdu zvýšily produkci kapra či v dlouhodobém hledisku výrazně snížily náklady na jeho produkci. Problémem ovšem je dlouhý generační interval kapra, v mírných klimatických podmínkách střední Evropy, který je zpravidla 4-5 let u jikernaček, a je proto zásadní pro urychlení selekce dobu pohlavního dozrání zkrátit. I díky této myšlence se vědci z FROV JU pokusili generační interval kapra zkrátit a popsat v metodice Kocoura a kol. (2022). V této části se budu hlouběji věnovat této metodice a jejímu provázání do praktického provedení selekčního programu v podmínkách české rybníční akvakultury. Dále se budu věnovat využití amurského lysce v selekčním programu kapra obecného jako vhodného a modelového kandidáta pro selekci kapra v ČR na základě odborných informací podle Prchala a kol. (2021a).

6.6.3.1. Selekční program s využitím opatření na zkrácení generačního intervalu

6.6.3.1.1. Generační interval a pohlavní dospívání

Pohlavní dospívání kapra je do určité míry ovlivněné různými faktory, například: genetická predispozice zdravotní a kondiční stav, hormonální řízení, teplota vody, světelný režim... (Wang a kol., 2010; Tarangel a kol., 2010; Kocour a kol., 2017; Virote a kol., 2020; Roh a kol., 2020). Podle metodiky Kocoura a kol. (2022), lze podle těchto faktorů zkrátit generační interval kapra obecného z původních 4-5 let na 2-3 roky využitím kombinace rybníční akvakultury a RAS systému. Tyto informace jsou relevantní zejména pro podmínky rybníční akvakultury střední Evropy, kdy do chovu ryb zasahuje i zimní období. V podmínkách například jihovýchodní Asie, kde kapr roste a pohlavně dospívá v průběhu celého roku, lze pohlavní dospělosti u kapra obecného dosáhnout mnohem rychleji (1-2 roky).

Nejdůležitějším faktorem, který ovlivňuje pohlavní dospívání kapra je tedy teplota vody a světelný režim. Pro dosažení pohlavní dospělosti je nutné, aby ryby dosáhly 12 500 °D, s minimální denní teplotou vody nad 15 °C (Horváth 1985). V podmínkách české akvakultury je toto velmi ovlivněno již zmíněnými klimatickými podmínkami, a

proto by bylo možné rychleji dosáhnout požadovaných °D chovem generačních ryb v RAS systému s optimálními podmínkami teploty vody, zejména během zimního období.

6.6.3.1.2. Zakládání selekčního programu

Prvním krokem při zakládání selekčního programu je založení výchozí populace, která by měla mít dostatečně vysokou genetickou variabilitu. Při zakládání selekčního programu lze využít tzv. syntetickou linii (variabilní populace ryb různého původu) anebo ryby z jednoho kmenového hejna (jednoho plemena apod.). U kapra je vhodné při využití syntetické linie volit plemena nebo linie podobného vzhledu, původu či ošupení, příkladem může být směs Maďarských lysců označována jako HSM (Kocour a kol., 2010). Z toho vyplývá, že důležitým faktorem zakládání selekčního programu je vhodně vybrané plemeno kapra, jelikož každé plemeno kapra je jiné a má jiné užitkové vlastnosti či nároky na chov. V České republice existuje několik plemen a linií kapra. Jedním takovým plemenem může být například amurský lysec-vodňanská linie (Obr. č.7), což je nově vyšlechtěné plemeno lysce (certifikováno jako nové plemeno v roce 2014) s geny divokého amurského sazana s odhadnutou vysokou genetickou variabilitou ekonomicky důležitých užitkových znaku jako je růst, výtěžnost jedlých částí těla, odolnost vůči KHV aj. (Prchal a kol., 2021a).

Dalším krokem je volba znaku, na který chceme selektovat. V podmínkách české rybniční akvakultury je nejvhodnější použití selekce na rychlost růstu. K provedení selekce lze využít metody, které jsou popsány výše v práci, avšak nejvhodnější metodou selekce kapra v našich podmínkách je hromadná selekce (Kocour a kol., 2010). Samozřejmě lze využít i novější metody selekce, například selekci na základě plemenné hodnoty, ale ta je zatím finančně nákladná a nejspíše v blízkém budoucnu ještě nenajde své uplatnění pro českou akvakulturu.

Při selekci na rychlost růstu lze využít přímé (ryby tržní velikosti) i nepřímé selekce (Kocour a kol., 2010). V případě nepřímé selekce byla u amurského lysce prokázána vysoká genetická korelace (0,74) mezi hmotností K_2 a K_3 . To znamená, že lze selektovat dvouleté ryby a zlepšení znaku by se projevilo i u tržních ryb (genetický zisk cca 10 % za generaci). Tento fakt by velice zjednodušil proces selektování, díky lepší manipulaci s menší rybou při zjišťování selekčního prahu a také kvůli menší potřebě manipulačních bazénů (Prchal a kol., 2021a). Pokud budeme selektovat na výtěžnost jedlých částí těla, lze využít pouze selekce nepřímé, a to díky výše zmíněné genetické korelaci mezi

prediktorem výtěžnosti a podílem opracovaného trupu či filetů. Při této selekci díky zjištěným genetickým korelacím hrozí, že bude docházet k tzv. protahování těla a zmenšování hlavy, které by mohlo v dalších generacích narušit dýchací kapacitu žaber (Kocour a kol., 2007; Prchal a kol., 2018a; 2021b). To samé platí i v případě selekce na odolnost vůči KHV u amurského lysce, kdy protahováním těla by se zejména upřednostňovali geny spojené s amurským sazanem (Prchal a kol., 2021a).

Ke zvolenému hlavnímu znaku selekce je vhodné přidat i vedlejší znak selekce, tedy pokud chce podnik prodávat ryby živé, je vhodné selektovat i na tělesný rámec či na vzhled ošupení, v případě lysých plemen s neustáleným ošupením. Toto platí hlavně u amurského lysce, jelikož jeho protáhlejší tvar těla a neustálený počet a rozložení šupin jsou nežádoucí pro zákazníky. Oba tyto znaky mají vysoké heritability takže se dají výrazně zlepšit selekcí (vzhled ošupení $h^2=0,62-0,89$ Prchal a kol., 2021a; Prchal, 2024 os. sdělení) a tělesný rámec $h^2=0,60-1$ (Prchal a kol., 2018a; 2021b).

Podle zvoleného znaku následně probíhá samotná selekce. Podle metodiky Kocoura a kol. (2010) je doporučeno vybírat 10 % z nejméně 2000 ks ryb, které mají nejvyšší či nejnižší hodnotu požadovaného znaku, jelikož čím nižší počet ryb vybereme (vyšší selekční tlak), tím větší můžeme očekávat genetický zisk.



Obr. č.7 Amurský lysec-vodňanská linie; Foto: Vojtěch Kašpar

6.6.3.1.3. Opatření na zkrácení generačního intervalu

Počáteční odchov selekčních kandidátů by probíhal v rybníční akvakultuře, a to až do dosažení kategorie K_2 (po druhé vegetační sezoně). Následně by probíhala selekce na požadovaný znak (popsáno výše) a vybrané ryby by se individuálně identifikovaly pomocí PIT (Passive Integrated Transponder) čipů k vedení dalších důležitých záznamů o rybě (váha, pohlaví aj.) případně by se vzorkovala i DNA pro pozdější určení rodičovství, důležité při zakládání nové populace. V případě zkrácení generačního intervalu na tři roky (selekce může proběhnout na jaře, ale nejlépe na podzim). Zkrácení

generačního intervalu na dva roky a možný vliv interakce genotypu a prostředí jsou nyní intenzivně studovány (Prchal a kol., 2024, os. sdělení).

Dále dle metodiky Kocoura a kol. (2022) se ryby přesunou na RAS, kde optimální teplota vody v nádržích by měla být nad 20 °C a nejlépe přirozený světelný režim či i výrazně kratší cca 2-4 hodiny denně, dle možností daného provozu. Při nasazování ryb z rybníka do RAS se musí dávat pozor na možný teplotní šok a ryby šetrně připravit na vyšší teplotní rozdíl. Následně jsou ryby v RAS systému chovány až do dosažení pohlavní dospělosti, která se stanovuje kontrolou vývoje gonád u kontrolní skupiny ryb. Během tohoto období jsou ryby krmeny kompletními krmnými směsmi.

Kontrola vývoje gonád se provádí na začátku odchovu v RAS a poté ve 2 až 3 měsíčních intervalech. Jako znak kontroly vývoje gonád slouží gonadosomatický index. Tato kontrola se provádí na rybách pocházejících ze stejné populace (neselektovaná, kontrolní skupina), a které jsou chovány ve stejném RAS jako generační ryby. Když ryby dosáhnou pohlavní dospělosti (gonadosomatický index =8-10) je vhodné je přemístit před samotným výtěrem do rybníků (březen). Na základě toho jsou generační ryby dále stimulovány přirozeně vzrůstající teplotou vody v rybníce a prodlužujícím se denním světlem. V době výtěrového období (duben-květen) jsou ryby sloveny a přepraveny na líheň a připraveny na samotný výtěr (zvýšení teploty, hormonální stimulace; viz kapitola „Strategie chovu kapra“.

6.6.3.1.4. Ekonomické aspekty

Hlavním cílem každého úspěšného šlechtitelského programu je, aby byl rentabilní. Dle Kocoura a kol., 2010 je nárůst zisku závislý na roční produkci, typu selekce, prodejní strategii (prodej ryb v živém stavu nebo jako výrobky z ryb). Podle Prchala a kol. (2021a) by za 20 let fungování selekčního programu v podniku, který má roční produkci 200 t kapra, měl nárůst hrubého zisku činit 2 miliony Kč. Dle Kocoura a kol. (2022) by se hrubý roční zisk výrazně zvyšoval při zkrácení generačního intervalu na tři, respektive dva roky v rozmezí 6,7-9,2 mil korun. Genetický zisk, dosažený za 20 let fungování selekčního programu bez zkrácení generačního intervalu, by byl s využitím metody zkrácení generačního intervalu dosažen za 10 let (zkrácení intervalu na 3 roky) nebo za 7 let (zkrácení intervalu na 2 roky) (Kocour a kol., 2022). Selekcí šlechtění je dozajista finančně i technicky náročná metoda zejména v prvních fázích aplikace, ale celková budoucí návratnost by měla převyšovat nad nevýhodami a selekce by měla být zakotvena u kapra stejně jako u jiných důležitých druhů ryb.

7. POSTAVENÍ A VÝZNAM SELEKČNÍHO ŠLECHTĚNÍ U VÝZNAMNÝCH DRUHŮ RYB

7.1. Losos atlantský (*Salmo salar*)



Obr. č. 8 – Losos atlantský (*Salmo salar*); Zdroj : <https://www.fisheries.noaa.gov/species/atlantic-salmon-protected>

Losos atlantský (Obr. č. 8) patří v dnešní době mezi nejvíce chované druhy ryb v Evropě. Mezi největší producenty lososa patří například Norsko, Chile, Dánsko, Irsko, Japonsko.... Roční produkce v Evropě se pohybuje okolo 1 664 541 tun (FEAP 2014-2019). Je velmi oblíbený mezi spotřebiteli kvůli jeho chuti, textuře, i faktu, že filety neobsahují mezikostní kosti.

Význam selekčního šlechtění na lososovi si ukážeme na pokusu, který začal v Norsku v roce 1975 a byl prováděn skupinou AKVAFORSK (Gjedrem 2000). Zde byla v prvních dvou pokusech hlavním sledovaným kritériem rychlost růstu. V pozdějších generacích se přidávaly i další vlastnosti jako například: ranná pohlavní zralost, odolnost vůči různým nemocem (VHS, IPN, ...) nebo jiné vlastnosti, které ovlivňují kvalitu produktu. Po prvních 6 generacích selekčního šlechtění na rychlost růstu bylo dosaženo 14 % průměrného selekčního rozdílu za generaci (Gjerde a Korsvoll 1999).

Dále se prováděly odhady reakcí na selekci pro rychlost růstu, kde byl zjištěn genetický zisk na generaci 12,5-30,8 % dle hmotnosti ryby (Gjedrem a Rye, 2016). Ve studii z roku 2020 byla zjištěna heritabilita rychlosti růstu 0,42-0,72 (Thorland a kol., 2020).

V další studii společnosti AKVAFORSK bylo zjištěno, že u selektovaných jedinců se zvýšila retence bílkovin i energie, ačkoli tyto jedinci nebyli na tyto vlastnosti přímo selektováni. Toto je jasný důkaz, že selekce na rychlost růstu u lososů zlepšuje využití a efektivitu bílkovin a energie právě díky vysoké korelaci mezi těmito vlastnostmi. Díky vyšší retenci bílkovin a energie z krmiva byla až o 20 % lepší hodnota FCR, oproti původní populaci. Když vezmeme v úvahu, že až 60 % výrobních nákladů chovu lososa

tvoří krmivo, tak o 20% menší spotřeba krmiva by měla dramatický vliv na ziskovost chovů lososa, a to v dobrém slova smyslu (Gjedrem a Baranski, 2009).

Dále byl proveden selekční pokus na odolnost vůči viru pankreatické nekrózy (IPNV), a to s použitím selektovaných ryb z populace Aqua Gen a z divokého kmene z řeky Rauma. Selektce probíhala výběrem dvou skupin ryb, jedna na vyšší a druhá na nižší odolnost vůči IPNV. Výsledky ukázaly, že potomstvo z rodin selektovaných na nízkou odolnost vůči IPNV mělo dvakrát vyšší mortalitu (66,6 %) než potomstvo z rodin selektovaných na vysokou odolnost vůči IPNV (29 %) (Storset a kol., 2007). V roce 2010 objevily dvě nezávislé skupiny silný QTL pro odolnost vůči IPNV u lososa, který vysvětluje 80–100 % genetické variability odolnosti vůči této nemoci u plůdku (Houston a kol., 2008; Moen a kol., 2009). Tento poznatek vedl k využití zmíněné selekční metody MAS, která pomohla snížit výskyt nákaz IPNV až o 75 % (Moen a kol., 2015).

7.2. Pstruh duhový (*Oncorhynchus mykiss*)



Obr. č.9 Pstruh duhový (*Oncorhynchus mykiss*); Zdroj: <https://www.iowadnr.gov/idnr/Fishing/Iowa-Fish-Species/Fish-Details/SpeciesCode/RBT>

Pstruh duhový (Obr. č. 9) je chován už více než sto let a tento druh se dnes chová ve více než 50 zemích po celém světě (Gjedrem a Barasnki 2009). U pstruha byla selekce na růst velmi úspěšná, přičemž odhady genetického zisku se pohybují mezi 10-13 % za generaci (Gjerde 1986) (Kincaid a kol. 1977). U novějších studií byl odhad genetického zisku 9 % za generaci (Gjedrem a Rye, 2016).

Ve Finsku byl proveden selekční pokus na rychlost růstu a rannou pohlavní dospělost, kde reakce na selekci rychlejšího růstu byla asi 7 % za generaci, (Kause a kol., 2005). Další studie, která se zabývala růstem pstruha, zjistila heritabilitu pro tento znak 0,24-0,52 (Kause a kol.,2007).

Další studie se zabývala zjišťováním genetických zisků hlavních užitkových znaků u pstruha duhového za 10 generací. Z této studie se zjistilo, že v desáté generaci byla hmotnost až o 61 % vyšší vůči původní populaci (Vandeputte a kol., 2022).

Další pokus byl proveden v Kalifornii (USA), a to na pohlavní dospělost. Tento pokus prokázal značnou genetickou variabilitu pro tento znak a odhadovaná heritabilita byla přibližně 0,50 (Siitonen a Gall 1989). U pstruha stejně jako u lososa se ukázalo jako problém onemocnění IPNV, a proto další selekční pokus na toto téma proběhl v Japonsku. Odolnost pstruha na toto onemocnění byla selekcí výrazně zlepšena a to tak, že průměrná mortalita u odolných ryb na onemocnění IPNV byla pouhých 4,3 % ve srovnání s 96,1 % u vysoce citlivých ryb (Okamoto a kol., (1993).

V dnešní době je problémem i onemocnění BCWD (Bacterial cold water disease-cytofagóza lososovitých). Z tohoto důvodu proběhl pokus se třemi liniemi pstruha, ze kterého vyplynulo, že odolnější linie měla lepší výsledky v přežití, a to až o 30 %, oproti linii náchylné (Wiens, a kol., 2013). Dalším pokusem bylo šlechtění na snížení obsahu svalových lipidů, protože u lososovitých ryb je toto důležitým atributem, který ovlivňuje sensorické vlastnosti masa. Vysoký obsah lipidů je spojen se snížením jatečné výtěžnosti (Johansson a kol., 2000). Heritabilita pro tento znak byla 0,25 (Quillet a kol., 2005).

7.3. Losos kisuč (*Oncorhynchus kisutch*)



Obr. č.10 Losos kisuč (*Oncorhynchus kisutch*); Zdroj: <https://www.fisheries.noaa.gov/species/coho-salmon>

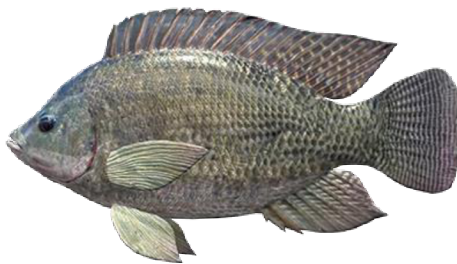
Losos kisuč (Obr. č. 10) je chován v akvakultuře více než 40 let. Do roku 1980 se jeho produkce pohybovala do 1000 tun ročně. V roce 1980 byly v Chile a Japonsku založeny rozsáhlé klecové chovy, které velmi navýšily produkci. Do roku 1994 vzrostla produkce těchto dvou států na 57 300 tun ročně, což tehdy tvořilo cca 98% veškeré produkce. V roce 2001 se produkce lososa kisuče v Chile dramaticky navýšila, a to až

na 137 000 tun ročně. Po roce 2001 však docházelo k úpadku produkce, a to kvůli chovu lososa atlantského a pstruha duhového. Mimo Chile a Japonsko patří mezi významné producenty i Kanada. Dnes však produkce lososa kisuče opět vzrostla a pohybuje se okolo 230 000 tun za rok (FAO, 2024).

Na univerzitě v Seattlu byl proveden selekční experiment s cílem zlepšit znaky důležité pro chov v mořských klecích. Po čtyřech generacích se selekcí rychlost růstu zvýšila o 15-60 % (Hershberger a kol., 1990).

V pozdější studii, kdy byla selekce prováděna po 16 generací, bylo zjištěno, že potomci selektovaných ryb využívali lipidy z potravy mnohem efektivněji, a díky tomu mohli využívat bílkoviny pro růst. Naopak u neselektovaných ryb docházelo k ukládání lipidů z krmiva v podobě tělesného (viscerálního) tuku (Neely a kol., 2008; Gjedrem, 2009).

7.4. Tlamoun nilský (Tilápie nilská) (*Oreochromis niloticus*)



Obr. č.11 Tlamoun nilský (*Oreochromis niloticus*); Zdroj : https://wiki.fishingplanet.com/Nile_Tilapia/en

Tlamoun nilský (Obr. č. 11) je ryba, která je původem z Afriky, ale v dnešní době se již chová ve více než 150 zemích světa a její produkce stále roste (Gjedrem a Baranski, 2009). V roce 2019 byla produkce tilápie nilské okolo 4-5 milionů tun (FAO, 2024).

První tři selekční experimenty tilápie přinesly odrazující výsledky. Všechny tyto studie použily individuální selekci na rychlost růstu, která měla zanedbatelnou odezvu na selekci. Ovšem hlavním důvodem neúspěšné selekční odpovědi, pravděpodobně bylo nerespektování podmínek prostředí, selekce ryb napříč populacemi a rovněž i malý počet rodičů použitých k založení experimentální populace (Teichert-Coddington 1983; Hulata a kol., 1986; Huang a Liao 1990).

V roce 1988 byl na Filipínách proveden další experiment. Ten provedli společnosti ICLARM a AKVAFORSK a výslednou populaci nazvali jako GIFT (geneticky vylepšené chované tilápie, genetic improved farmed tilapia). Základní populace pro tuto

selekcí byla vytvořena křížením osmi plemen, a to čtyř divokých plemen z Afriky a čtyř domestikovaných plemen z Filipín, která se zde chovala přibližně 20 let. Počáteční testy užitkovosti ukázaly, že větší rychlost růstu měly ryby z Afriky, a to z Keni a Egypta. Po tomto porovnání byl zahájen již samotný selekční experiment na rychlost růstu. Po pěti generacích se ukázala genetická odezva okolo 17 % (Eknath a kol., 1993; Gjedrem 2009).

I jiné pokusy, které byly prováděny na jiných místech a jinými společnostmi ukázaly shodné výsledky s pokusem na Filipínách (Bolivar a kol., 1999; Gjedrem ,2009). V jedné z dalších studií, kde se tilápie selektovaly na lepší růst v brakické vodě, a to po čtyři generace, byl zjištěn genetický zisk rychlosti růstu na generaci, měřený jako odhadnutá plemenná hodnota vyjádřená genetickou směrodatnou odchylkou σ_G 1,1-1,6 (Ninh a kol., 2014). V jiné studii, která se zabývala stanovováním růstových parametrů, včetně výtěžnosti jedlých částí těla, bylo zjištěno, že po šesti generacích selekce na více znaků se výrazně zlepšily růstové vlastnosti, a to až o 60-90 % se selekčním ziskem na úrovni 8 % za generaci (Thodesen a kol., 2011).

V Bangladéši a Číně se chovala druhá generace GIFT a bylo zjištěno snížení výrobních nákladů až o 30 % (Dvergedal a kol., 2019). Dalším z důležitých znaků, který se dnes zařazuje do selekčních programů tilápie, je odolnost vůči nemocem, a to na TiLV (Tilapia lake virus) a bakteriální onemocnění způsobené streptokokem *Streptococcus agalactide*. K odolnosti vůči onemocnění TiLV byla zjištěna střední heritabilita 0,23 což ukazuje na zajímavý potenciál pro selekční šlechtění k odolnosti vůči této nemoci (Barría a kol., 2020). Další významná heritabilita byla zjištěna i u odolnosti na *Streptococcus agalactide* a to 0,22 (Suebsong a kol., 2019).

Značná genetická variabilita byla u tilápií prokázána i u dalších znaků, včetně dřívější pohlavní dospělosti. Pozdní pohlavní dospívání je v chovu tilápií značným problémem, a proto se selekční programy zabývají i touto problematikou (Gjedrem,2009).

7.5. Sumeček tečkovaný (*Ictalurus punctatus*)



Obr. č.12 Sumeček tečkovaný (*Ictalurus punctatus*); Zdroj:

<https://www.ncwildlife.org/Learning/Species/Fish/Channel-Catfish>

Chov sumečka tečkovaného (Obr. č.12) má v jižních částech USA dlouholetou tradici. Chov této ryby dosáhl nejvyšší produkce v roce 1996 a to 270 000 tun (FAO, 2024). Selektce na vyšší rychlost růstu, která byla prováděna v Americe, měla vynikající výsledky. Například v Georgii byl v 70. letech prováděn selekční pokus na zlepšení rychlosti růstu. Změny hmotnosti, které se měřily jako odchylky od ryb v kontrolní linii, byly zhruba 20 % (Bondary 1983).

V jedné z novějších studií je uvedeno, že po šesti generacích selektce na rychlost růstu, byla zaznamenána genetická odezva cca 80 % od původní, neselektované populace, což odpovídá zhruba 13 % na generaci (Dunham (2006).

V další z novějších studií, která probíhala v letech 2008-2015, se prováděl selekční pokus na zvýšení tržní hmotnosti a jateční výtěžnosti. Pro hmotnost byla zjištěna heritabilita 0,21 a pro jateční výtěžnost 0,32 (Bosworth a kol., 2020).

7.6. Pražma královská (*Sparus aurata*)



Obr. č.13 Pražma královská (*Sparus aurata*); Zdroj : <https://philosofish.eu/en/sea-bream/>

Pražma královská se do 80. let chovala převážně extenzivně. Po roce 1980 se však začala chovat převážně v systémech intenzivní akvakultury, kvůli jejím dobrým adaptačním schopnostem na tyto systémy. V roce 2021 byla produkce pražmy okolo 320 000 tun (FAO, 2024). Selektce pražmy královské (Obr. č. 13) probíhala v Řecku, a to selektce na zvýšení rychlosti růstu, snížený výskyt deformací a lepší pigmentaci a

vzhled. Protože pražma je hermafroditický druh, tedy kulí se jako samec a po 2-3 letech se přeměňuje na samice, jejich první selekce proběhla na samicích. Genetický zisk pro rychlost růstu se odhadoval na 12,1 % a pro druhou generaci dokonce 22 % (Thorland a kol., 2006). Dalším klíčovým znakem pro selekci je také odolnost vůči chorobám, zejména pasterelóze (*Pseudotuberculosis*). Heritabilita u odolnosti na toto onemocnění byla 0,18-0,45 (Antonello a kol., 2009).

7.7. Mořčák evropský (*Dicentrarchus labrax*)



Obr. č.14 Mořčák evropský (*Dicentrarchus labrax*); Zdroj: <https://www.makro.cz/inspirace/ryby-a-morske-plody/morske-ryby/vlk-morsky>

Mořčák evropský, rovněž znám jako mořský vlk (Obr. č. 14), má v Evropě zásadní hospodářský a kulturní význam, jelikož je to velmi ceněná ryba pro rekreační rybolovy, ale i chutná ryba pro gastronomii. Mořský vlk byl první mořskou nelososovitou rybou, která byla komerčně chována v Evropě. Jeho chov začal v roce 1970 (Vandeputte a kol., 2019). První selekční programy byly založeny teprve v roce 1990 (Chatain a Chavanne 2009). Ačkoliv je selekční šlechtění mořského vlka relativně nové, i tak již v Evropě funguje několik funkčních a efektivních programů. V roce 2016 bylo známo 7 selekčních programů v Řecku, Francii a Turecku (Chavanne a kol., 2017). Hlavní znaky, které jsou zařazeny v selekčních programech, jsou růst, odolnost vůči chorobám (například: VNN-virová nervová nekróza, vibrióza aj.) a kvalita masa. Tyto programy nejčastěji využívají selekci individuální, rodinnou a s rychlým vývojem komerčně dostupných SNP čipů se rozvíjí i genomická selekce (Vandeputte a kol., 2019). Jeden ze selekčních programů zaznamenal genetický zisk u rychlosti růstu 23-42 % za generaci (Thorland a kol., 2017).

8. ZÁVĚR

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo popsat a definovat možnosti selekčního šlechtění u kapra i jiných druhů ryb a popsat hlavní užitkové znaky, které jsou v zájmu producentů a možné využití selekčního šlechtění pro České rybářské podniky. Selekční šlechtění již u akvakulturně významných druhů ukázalo skvělé výsledky v podobě vysokého genetického zisku napříč hlavními užitkovými vlastnostmi (Gjedrem a Rye, 2016). Tento potenciál potvrzují i dnešní studie v případě kapra (Vandeputte 2004; 2008; Kocour a kol., 2007; Ninh a kol., 2011, 2013; Dong a kol., 2015; Hu a kol., 2017; Prchal a kol., 2018ab; Prchal a kol., 2021b;), i přestože studie, které byly provedeny minulosti, ukazovaly spíše protichůdné výsledky, a to zejména u růstu (Moav a Wohlfahrt, 1976; Vandeputte, 2003). Tyto studie však nebyly správně navrhnuty a jejich výsledky jsou kritizovány napříč přehledovými pracemi (Vandeputte, 2003) a rovněž vyvráceny novějšími vědeckými publikacemi.

Z bakalářské práce vyplývá, že selekční šlechtění skutečně může být cesta, jak zvýšit užitkovost hlavních produkčních vlastností kapra obecného a tím částečně zlepšit udržitelnost a rentabilitu českého rybářství, jelikož u mnoha užitkových znaků kapra byl zjištěn dostatečný prostor pro jejich genetické zlepšování. Důležitým aspektem je však i volba vhodného plemene pro zvolený užitkový znak, jelikož určitá plemena mají různé předpoklady pro různé užitkové znaky. Jedním takovým by mohl být například amurský lysec-vodňanská linie, což je poměrně nové české plemeno lysého kapra, u kterého byla odhadnuta značná perspektiva pro selekci v podobě vysoké genetické variability napříč užitkovými znaky (růst, odolnost vůči KHV, výtěžnost jedlých částí těla, tvar těla, ošupení aj.) (Prchal a kol., 2018 abc; Prchal a kol., 2021a).

Velkým problémem selekčního šlechtění kapra, v podmínkách české rybníční akvakultury, je dlouhý generační interval (4-5 let). Z publikovaných informací však vyplývá, že tato problematika, by se dala vyřešit kombinací rybníčního chovu a chovu v RAS s cílem zkrácení generačního intervalu na tři roky, případně i roky dva a tím výrazně urychlit selekci (Kocour a kol., 2022). I přesto, že využití RAS v selekčním programu má velké počáteční finanční náklady (krmení, energie, léčiva), provedené kalkulace ukázaly, že i takto designované selekční programy mohou být v dlouhodobém horizontu ziskové a jeví se jako udržitelnou investicí v případě celkového zlepšování užitkovosti plemen kapra systematickou selekcí (Prchal a kol., 2021a; Kocour a kol., 2022).

9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- Allal, F., & Nguyen, N. H. (2022). Genomic selection in aquaculture species. In *Genomic Prediction of Complex Traits: Methods and Protocols* (pp. 469-491). New York, NY: Springer US.
- Ankorion, Y., Moav, R., & Wohlfarth, G. W. (1992). Bidirectional mass selection for body shape in common carp. *Genetics Selection Evolution*, 24(1), 43-52.
- Antonello, J., Massault, C., Franch, R., Haley, C., Pellizzari, C., Bovo, G., ... & Bargelloni, L. (2009). Estimates of heritability and genetic correlation for body length and resistance to fish pasteurellosis in the gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.). *Aquaculture*, 298(1-2), 29-35.
- Bakos, J., Gorda, S., 1995. Genetic improvement of common carp strains using intraspecific hybridization. *Aquaculture* 129, 183–186.
- Balon, E. K., 1995. Origin and domestication of the wild carp, *Cyprinus carpio*: from Roman gourmets to the swimming flowers. *Aquaculture* 129: 3–48.
- Balon, E.K., 2006. The oldest domesticated fishes, and the consequences of an epigenetic dichotomy in fish culture. *Journal of Ichthyology And Aquatic Biology* 11: 47–86.
- Bangera, R., Thorland, I., Hillestad, B., Avitua, S. V., Johansen, H., & Refstie, T. (2018). Accuracy of genomic predictions for yield traits, flesh colour and fillet fat in Atlantic salmon (*Salmo salar*). In *Proceedings of the World Congress on Genetics Applied to Livestock Production* (Vol. 627, No. 10.1128, pp. 00990-18).
- Barria, A., T. Q. Trinh, M. Mahmuddin, J. A. H. Benzie, V. M. Chadag, and R. D. Houston. 2020. Genetic parameters for resistance to Tilapia Lake Virus (TiLV) in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 522 (May):1–7. doi:10.1016/j. aquaculture.2020.735126.
- Barria, A., Trinh, T. Q., Mahmuddin, M., Peñaloza, C., Papadopoulou, A., Gervais, O., Mohan Chadag, V., Benzie, J.A.H., (2021). A major quantitative trait locus affecting resistance to Tilapia lake virus in farmed Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Heredity*, 127(3), 334-343.
- Basavaraju, Y. (2023). Monosex population in aquaculture. In *Frontiers in aquaculture biotechnology* (pp. 89-101). Academic Press.
- Basavaraju, Y., Mair, G.C., Kumar, H.M., Kumar, S.P., Keshavappa, G., Penman, D.J., 2002. An evaluation of triploidy as a potential solution to the problem of precocious sexual maturation in common carp, *Cyprinus carpio*, in Karnataka, India. *Aquaculture* 204, 407– 418.
- Bauer, C., & Schlott, G. (2009). Fillet yield and fat content in common carp (*Cyprinus carpio*) produced in three Austrian carp farms with different culture methodologies. *Journal of Applied Ichthyology*, 25(5), 591-594.

- Bauer, C., Schlott, G., 2004. Overwintering of farmed common carp (*Cyprinus carpio L.*) in the ponds of a central European aquaculture facility — measurement of activity by radio telemetry. *Aquaculture* 241, 301–317.
- Bolivar, R. B. (1998). Estimation of response to within-family selection for growth in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*).
- Bondary, K. 1983. Response to bidirectional selection for body weight in channel catfish. *Aquaculture*, 33: 73–81
- Bosworth, B., Waldbieser, G., Garcia, A., Tsuruta, S., Lourenco, D. (2020). Heritability and response to selection for carcass weight and growth in the Delta Select strain of channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *Aquaculture*, 515, 734507.
- Boudry, P., Allal, F., Aslam, M. L., Bargelloni, L., Bean, T. P., Brard-Fudulea, S., Briec M.S.O., Calboli, F.C.F., Gilbey, J., Haffray, P., Lamy, J., Morvezen, R., Purcell, C., Prodöhl, P.A., Vandeputte, M., Waldbieser G.C., Sonesson, A.K., Houston, R. D. (2021). Current status and potential of genomic selection to improve selective breeding in the main aquaculture species of International Council for the Exploration of the Sea (ICES) member countries. *Aquaculture Reports*, 20, 100700.
- Calder, P.C., Yaqoob, P., 2009. Omega-3 polyunsaturated fatty acids and human health outcomes. *BioFactors* 35, 266–272.
- Collard, B. C., & Mackill, D. J. (2008). Marker-assisted selection: an approach for precision plant breeding in the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1491), 557-572.
- Cunjak, R. A., & Power, G. (1986). Winter habitat utilization by stream resident brook trout (*Salvelinus fontinalis*) and brown trout (*Salmo trutta*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 43(10), 1970-1981.
- CZ-Ryby2024. www.cz-ryby.cz Navštíveno 22. dubna 2024.
- Čítek, J., Krupauer, V., Kubů, F., :*Rybníkářství*. Informatorium, Praha, 1998, s. 38-42
- De Verdal, H., Komen, H., Quillet, E., Chatain, B., Allal, F., Benzie, J.A., Vandeputte, M., 2018. Improving feed efficiency in fish using selective breeding: a review. *Reviews in Aquaculture*. 10, 833-851.
- De Verdal, H., Mignon-Grasteau, S., Jeulin, C., Le Bihan-Duval, E., Leconte, M., Mallet, S., ... & Narcy, A. (2010). Digestive tract measurements and histological adaptation in broiler lines divergently selected for digestive efficiency. *Poultry science*, 89(9), 1955-1961.
- Dong, Z., Nguyen, N.H., Zhu, W., 2015. Genetic evaluation of a selective breeding program for common carp *Cyprinus carpio* conducted from 2004 to 2014. *BMC Genetics* 16, 94.
- Dubský K. 2015, Chov ryb v rybnících pro stavební zaměření, Střední rybářská škola Vodňany, 192s

- Dufflocq, P., Lhorente, J. P., Banger, R., Neira, R., Newman, S., & Yáñez, J. M. (2017). Correlated response of flesh color to selection for harvest weight in coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Aquaculture*, 472, 38-43.
- Dunham, R. A. (2007). Comparison of six generations of selection, interspecific hybridization, intraspecific crossbreeding and gene transfer for growth improvement in ictalurid catfish. *Aquaculture*, 272, S252-S253.
- Dunham, R.A., 1996. Contribution of genetically improved aquatic organisms to global food security. International Conference on Sustainable Contribution of Fisheries to Food Security. Government of Japan and FAO, Rome, 150 pp.
- Dunham, R.A., Majumdar, K., Hallerman, E., Bartley, D., Mair, G., Hulata, G., Liu, Z., Pongthana, N., Bakos, J., Penman, D., Gupta, M., Rothlisberg, P., Hoerstgen-Schwark, G., 2001. Review of the status of aquaculture genetics. In R.P. Subasinghe, P. Bueno, M.J. Phillips, C. Hough, S.E. McGladdery & J.R. Arthur, eds. *Aquaculture in the Third Millennium. Technical Proceedings of the Conference on Aquaculture in the Third Millennium*, Bangkok, Thailand, 20–25 February 2000. s. 137–166. NACA, Bangkok and FAO, Rome.
- Dvergedal, H., J. Ødegård, M. Øverland, L. T. Mydland, and G. Klemetsdal. 2019. Selection for feed efficiency in Atlantic salmon using individual indicator traits based on stable isotope profiling. *Genetics Selection Evolution* 51 (1):1–14. doi:10.1186/s12711-019-0455-9.
- Eknath, A.E., Tayamen, M.M., Palada-de Vera, M.S., Danting, J.C., Reyes, R.A., Dinoisio, E.E., Capilli, J.B., Bolivar, H.L., Abella, T.A., Circa, A.V., Bentsen, H.B., Gjerde, B., Gjedrem, T. and Pullin, R.S.V. 1993. Genetic improvement of farmed tilapias: The growth performance of eight strains of *Oreochromis niloticus* tested in different farm environments. *Aquaculture*, 111: 171–188.
- Evenhuis, J. P., Leeds, T. D., Marancik, D. P., LaPatra, S. E., & Wiens, G. D. (2015). Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) resistance to columnaris disease is heritable and favorably correlated with bacterial cold water disease resistance. *Journal of animal science*, 93(4), 1546-1554.
- Faggion, S., Bertotto, D., Babbucci, M., Dalla Rovere, G., Franch, R., Bovolenta, M., Laureau, S., Pascoli, F., Toffan, A., Bargelloni, L., & Carnier, P. (2021). Resistance to viral nervous necrosis in European sea bass (*Dicentrarchus labrax L.*): heritability and relationships with body weight, cortisol concentration, and antibody titer. *Genetics Selection Evolution*, 53, 1-12.
- Falconer, D.S., Mackay, T.F.C., 1996. *Introduction to quantitative genetics*. 4th edition. Longman, Harlow, UK, 464 pp
- FAO 2024, Losos kisuč https://www.fao.org/fishery/en/culturedspecies/oncorhynchus_kisutch/en navštíveno 22.4.2024
- FAO, 2024, Losos kisuč <https://www.fao.org/fishery/en/aqspecies/2118/en> navštíveno 1.5.2024

- FAO, 2024, Pražma královská <https://www.fao.org/fishery/en/aqspecies/2384/en> navštíveno 1.5.2024
- FAO, 2024, Tlamoun nilský <https://www.fao.org/fishery/en/aqspecies/3217/en> navštíveno 1.5.2024
- FAO,2024, Sumeček tečkovaný
https://www.fao.org/fishery/en/culturedspecies/ictalurus_punctatus/en navštíveno 1.5.2024
- FEAP,2014-2019, https://feap.info/wp-content/uploads/2020/10/20201007_feap-production-report-2020.pdf navštíveno 22.4.2024
- Feist, G., Van Eenennaam, J. P., Doroshov, S. I., Schreck, C. B., Schneider, R. P., Fitzpatrick, M. S. (2004). Early identification of sex in cultured white sturgeon, *Acipenser transmontanus*, using plasma steroid levels. *Aquaculture*, 232(1-4), 581-590.
- Feitosa, F.L.B., Olivieri, B.F., Aboujaoude, C., Pereira, De Lemos, M.V.A., Chiaia, H.L.J., Berton, M.P., Peripolli, E., Ferrinho, A.M., Mueller, L.F., Mazalli, M.N.R., de Albuquerque, L.G.O., de Oliveira, H.N., Tonhati, H., Espigolan, R., Tonussi, R.L., de Oliveira Silva, R.M., Gordo, D.G.M., Magalhães, A.F.C.B., Aguilar, I., Baldi, F., 2017. Genetic correlation estimates between beef fatty acid profile with meat and carcass traits in Nellore cattle finished in feedlot. *J. Appl. Genet.* 58, 123–132
- Flajšhans, M., Hulata, G., 2007. Common carp – *Cyprinus carpio*. In: Svaasand, T., Crossetti, D., García-Vásquez, E., Verspoor, E. (Eds), *Genetic impact of aquaculture activities on native populations – Evaluation of genetic impact of aquaculture activities on native populations. Genimpact final scientific report*, pp. 32–39.
- Flajšhans, M., Kocour, M., Ráb, P., Hulák, M., Petr, J., Bohlen Šlechtová, V., Šlechta, V., Havelka, M., Kašpar, V., Linhart, O., 2013. *Genetika a šlechtění ryb (Fish Genetics and Breeding)*. Druhé rozšířené a upravené vydání. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, Vodňany, 305 s.
- Galbreath, P. F., Jean, W. S., Anderson, V., Thorgaard, G. H. (1994). Freshwater performance of all-female diploid and triploid Atlantic salmon. *Aquaculture*, 128(1-2), 41-49.
- García-Celdrán, M., Ramis, G., Manchado, M., Estévez, A., Navarro, A., Armero, E., 2015. Estimates of heritabilities and genetic correlations of raw fish quality traits in a reared gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) population sourced from broodstocks along the Spanish coasts. *Aquaculture* 446, 181–186
- Gela, D., Kocour, M., Rodina, M., Flajšhans, M., Beránková, P., Linhart, O., 2009. Řízená reprodukce kapra obecného. Certifikovaná metodika. Edice metodik, FROV JU, Vodňany, č. 99, 41 s.
- Gela, D., Linhart, O., 2000. Evaluation of slaughter value of common carp from diallel crossings. *Czech Journal of Animal Science.* 45, 53–58.

- Gela, D., Rodina, M., Linhart, O., 2003. Top-crossing with evaluation of slaughtering value in common carp (*Cyprinus carpio L.*) off spring. *Aquaculture. International*. 11, 379–387.
- Gjedrem, T. 2000. Genetic improvement of cold-water fish species. *Aquaculture Research*, 31: 25–33
- Gjedrem, T., & Rosseland, B. O. (2012b). Genetic variation for tolerance to acidic water in salmonids. *Journal of fish biology*, 80(1), 1-14.
- Gjedrem, T., 2005. Selection and breeding programs in aquaculture. Springer, Dordrecht, The Netherlands, 364 pp.
- Gjedrem, T., 2010. The first family-based breeding program in aquaculture. *Reviews in Aquaculture* 2, 2–15.
- Gjedrem, T., Baranski, M., 2009. Selective Breeding in Aquaculture: an Introduction. Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 221.
- Gjedrem, T., Robinson, N., Rye, M. (2012). The importance of selective breeding in aquaculture to meet future demands for animal protein: a review. *Aquaculture*, 350, 117-129.
- Gjedrem, T., Rye, M., 2016. Selection response in fish and shellfish: a review *Reviews in Aquaculture* 0, 1–12.
- Gjerde, B. 1986. Growth and reproduction in fish and shellfish. *Aquaculture*, 57: 37–55
- Gjerde, B. and Korsvoll, A. 1999. Realized selection differentials for growth rate and early sexual maturity in Atlantic salmon. Abstracts, *Aquaculture Europe 99*, Trondheim, Norway, August 7–10: 73–74.
- Gross, R., Wohlfarth, G.W., 1994. Use of genetic markers in growth testing of common carp, *Cyprinus carpio L.*, carried out over 2 or 3 year cycles. *Aquaculture and Fisheries. Management*. 25: 585–599.
- Güner, Y., Peker, Z., & Altunok, M. (2016). Optimization of thermal shock for poliploidy induction in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) under photoperiodic control of spawning. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 16(4), 797-804.
- Haenen, O., Way, K., Bergmann, S., Ariel, E., 2004. The emergence of koi herpesvirus and its significance to European aquaculture. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists*. 24, 293–307.
- Haffray, P., Bugeon, J., Rivard, Q., Quittet, B., Puyo, S., Allamelou, J. M., Vandeputte, M., Dupont-Nivet, M. (2013). Genetic parameters of in-vivo prediction of carcass, head and fillet yields by internal ultrasound and 2D external imagery in large rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 410, 236-244.
- Hedrick, R. P., Gilad, O., Yun, S., Spangenberg, J. V., Marty, G. D., Nordhausen, R. W., Kebus, M.J., Bercovier, H., Eldar, A. (2000). A herpesvirus associated with mass mortality of juvenile and adult koi, a strain of common carp. *Journal of Aquatic Animal Health*, 12(1), 44-57.

- Helbo, S., Dewilde, S., Williams, D. R., Berghmans, H., Berenbrink, M., Cossins, A. R., Fago, A. (2012). Functional differentiation of myoglobin isoforms in hypoxia-tolerant carp indicates tissue-specific protective roles. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 302(6), R693-R701.
- Hershberger, W.K., Myers, J.M., Iwamoto, R.N., Mcauley, W.C. and Saxton, A.M. 1990. Genetic changes in the growth of coho salmon (*Onchorhynchus kisutch*) in marine net-pens, produced by ten years of selection. *Aquaculture*, 85: 187–197.
- Hocking, P., 2010. Developments in poultry genetic research 1960–2009. *British Poultry Science*. 51, 44–51
- Horváth, L., 1985. Egg development (oogenesis) in the common carp (*C. carpio L.*) In: Muir J.F. and Roberts R.J. (Editors), *Recent Advances in Aquaculture*, Vol. II. Croom Helm. London and Westview Press, Boulder Co., pp. 31-77.
- Horváth, L., Tamás, G., Seagrave, C., 1992. *Carp and pond fish culture including Chinese herbivorous species, pike, tench, zander, wels catfish and goldfish*. Oxford, Fishing News Books Ltd, pp. 170.
- Houston, R. D., Gheyas, A., Hamilton, A., Guy, D. R., Tinch, A. E., Taggart, J. B., McAndrew, B.J., Haley, C.S., Bishop, S. C. (2008). Detection and confirmation of a major QTL affecting resistance to infectious pancreatic necrosis (IPN) in Atlantic salmon (*Salmo salar*). In *Animal Genomics for Animal Health* (Vol. 132, pp. 199-204). Karger Publishers.
- Houston, R. D., Taggart, J. B., Cézard, T., Bekaert, M., Lowe, N. R., Downing, A., Talbot, R., Bishop, S.C., Archibald, A.L., Bron, J.E., Penman, D.J., Davassi, A., Brew, F., Tinch, A.E., Gharbi, K., Hamilton, A. (2014). Development and validation of a high density SNP genotyping array for Atlantic salmon (*Salmo salar*). *BMC genomics*, 15, 1-13.
- Houston, R.D., 2017. Future directions in breeding for disease resistance in aquaculture species. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 46, 545–551.
- Houston, R.D., Bean, T.P., Macqueen, D.J., Gundappa, M.K., Jin, Y.H., Jenkins, T.L., Selly, S.L.C., Martin, S.A., Stevens, J.R., Santos, E.M., 2020. Harnessing genomics to fast-track genetic improvement in aquaculture. *Nat Rev Genet*. 21, 389-409.
- Hu, X., Li, C., Shang, M., Ge, Y., Jia, Z., Wang, S., Zhang, Q., Shi, L., 2017. Inheritance of growth traits in Songpu mirror carp (*Cyprinus carpio L.*) cultured in Northeast China. *Aquaculture* 477, 1–5.
- Huang, S.S.O. and Liao, I.C. 1990. Response to mass selection for growth rate in *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 85: 199–205
- Hulak, M., Kaspar, V., Kohlmann, K., Coward, K., Tešitel, J., Rodina, M., Gela, D., Kocoru, M., Linhart, O. (2010). Microsatellite-based genetic diversity and differentiation of foreign common carp (*Cyprinus carpio*) strains farmed in the Czech Republic. *Aquaculture*, 298(3-4), 194-201.

- Hulata, G., 1995. A review of genetic improvement of the common carp (*Cyprinus carpio L.*) and other cyprinids by crossbreeding, hybridization and selection. *Aquaculture* 129, 143–155.
- Hulata, G., 2001. Genetic manipulation in aquaculture: a review of stock improvement by classical and modern technologies. *Genetica* 111: 155–173.
- Hulata, G., Wohlfarth, G.W. and Halevy, A. 1986. Mass selection for growth rate in the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 57: 177–184
- Hurst, T.P., 2007. Causes and consequences of winter mortality in fishes. *Journal of Fish Biology*. 71, 315– 345.
- Chatain B. & Chavanne H. (2009) La génétique du bar (*Dicentrarchus labrax L.*). *Cahiers Agricultures* **18**, 249–55..
- Chavanne, H., Janssen, K., Hofherr, J., Contini, F., Haff ray, P., Komen, H., Nielsen, E.E., Bargelloni, L., 2016. A comprehensive survey on selective breeding programs and seed market in the European aquaculture fish industry. *Aquaculture International*. 24, 1287–1307
- Chen, L., Xu, J., Sun, X., & Xu, P. (2022). Research advances and future perspectives of genomics and genetic improvement in allotetraploid common carp. *Reviews in Aquaculture*, 14(2), 957-978.
- Cherfas, N., Gomelsky, B., Peretz, Y., Bendom, N., Hulata, G., Moav, B., 1993. Induced gynogenesis and polyploidy in the Israeli common carp line Dor-70. *Israeli Journal of Aquaculture*. 45, 59–72
- Chistiakov, D.A., Voronova, N.V., 2009. Genetic evolution and diversity of common carp *Cyprinus carpio L.* *Central European Journal of Biology* 4: 304–312.
- Janhunen, M., Nousiainen, A., Koskinen, H., Vehviläinen, H., Kause, A., 2017. Selection strategies for controlling muscle lipid content recorded with a non-destructive method in European whitefish, *Coregonus lavaretus*. *Aquaculture* 481, 229–238.
- Janssen, K., Berentsen, P., Besson, M., Komen, H., 2017b. Derivation of economic values for production traits in aquaculture species. *Genetic Selection Evolution*. 49, 5.
- Janssen, K., Chavanne, H., Berentsen, P., Komen, H., 2017a. Impact of selective breeding on European aquaculture. *Aquaculture* 472, 8–16.
- Johansson, L., Kiessling, A., Kiessling, K. H., Berglund, L. (2000). Effects of altered ration levels on sensory characteristics, lipid content and fatty acid composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Food Quality and Preference*, 11(3), 247-254.
- Kadri, S., Mitchell, D. F., Metcalfe, N. B., Huntingford, F. A., Thorpe, J. E. (1996). Differential patterns of feeding and resource accumulation in maturing and immature Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture*, 142(3-4), 245-257.
- Karel Dubský, 1998, *Základy chovu kapra*, Institut zemědělství a výchovy mládeže, 8-12 s.

- Kašpar, V., Hubálek, M., Franěk, R., Novotný, V., Gela, D., 2023 Umělá reprodukce kapra s využitím alternativních způsobů odlepkování jiker. Edice metodik, FROV JU Vodňany, č. 201, 16-25s
- Kause, A., Kiessling, A., Martin, S.A., Houlihan, D., Ruohonen, K., 2016. Genetic improvement of feed conversion ratio via indirect selection against lipid deposition in farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss Walbaum*). *British Journal of Nutrition*. 116, 1656–1665.
- Kause, A., Paananen, T., Ritola, O., & Koskinen, H. (2007). Direct and indirect selection of visceral lipid weight, fillet weight, and fillet percentage in a rainbow trout breeding program. *Journal of animal science*, 85(12), 3218-3227.
- Kause, A., Quinton, C., Airaksinen, S., Ruohonen, K., Koskela, J., 2011. Quality and production trait genetics of farmed European whitefish. *Journal of Animal Science*. 89, 959–971.
- Kause, A., Ritola, O., Paananen, T., Mäntysaari, E., Eskelinen, U. (2003). Selection against early maturity in large rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*: the quantitative genetics of sexual dimorphism and genotype-by-environment interactions. *Aquaculture*, 228(1-4), 53-68.
- Kause, A., Ritola, O., Paananen, T., Wahlroos, H., & Mäntysaari, E. A. (2005). Genetic trends in growth, sexual maturity and skeletal deformations, and rate of inbreeding in a breeding programme for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 247(1-4), 177-187.
- Kincaid, H.L., Bridges, W.R. and Limbach, B. 1977. Three generations of selection for growth rate in fall spawning rainbow trout. *Transaction of the American Fisheries Society*, 106: 621–629
- Kirpichnikov, V., Ilyasov, I., Shart, L., Vikhman, A., Ganchenko, M., Ostashevsky, A., Simonov, V., Tikhonov, G., Tjurin, V., 1993. Selection of Krasnodar common carp (*Cyprinus carpio L.*) for resistance to dropsy: principal results and prospects *Aquaculture* 11, 7–20.
- Kirpichnikov, V.S., Ponomarenko, K.V., Tolmacheva, N.V., Tsoi, R.M., 1974. Methods and effectiveness of breeding Ropshian carp. II. Methods of selection. *Sovietskaja Genetika* 10: 1108–1116.
- Kocour, M., Flajšhans, M., Gela, D., Rodina, M., Hulák, M., Kašpar, V., Linhart, O., 2010. Metodické postupy při aplikaci selekčního programu zaměřeného na zvyšování užitkovosti ryb v podmínkách českého rybářství. Edice Metodik, FROV JU Vodňany, č. 103, 86 s.
- Kocour, M., Gela, D., Rodina, M., Linhart, O., 2005a. Testing of performance in common carp *Cyprinus carpio L.* under pond husbandry conditions I: top-crossing with Northern mirror carp. *Aquaculture Research*. 36, 1207–1215.
- Kocour, M., Linhart, O., Gela, D., Rodina, M., 2005b. Growth Performance of All-Female and Mixed-Sex Common Carp *Cyprinus Carpio L.* Populations in the Central Europe Climatic Conditions. *Journal of World Aquaculture Society* 36, 103–113.

- Kocour, M., Mauger, S., Rodina, M., Gela, D., Linhart, O., Vandeputte, M., 2007. Heritability estimates for processing and quality traits in common carp (*Cyprinus carpio* L.) using a molecular pedigree. *Aquaculture* 270, 43–50.
- Kocour, M., Prchal, M., Gela, D., Kroupová, H.K., Steinbach, Ch., Garayová, M., Policar, T., 2022. Opatření na zkrácení generačního intervalu u kapra obecného, *Edice metodik, VÚRH JU Vodňany*, č. 198, 53 s
- Kocour, M., Prchal, M., Kroupová, H.K., Piačková, V., Gela, D., Veselý, T., Lipka, J., Voráček, V., 2017. FISHBOOST – Evropský projekt na podporu a rozvoj selekčních programů hospodářsky významných druhů ryb. In: Urbánek, M. (Ed.). *Sborník referátů 4. ročníku odborné konference Rybářského sdružení ČR*, 9. – 10. února, 2017, České Budějovice. s. 7- 15.
- Kocour, M., Flajšhans, M., Kašpar, V., Gela, D., Hulák, M., Rodina, M., Linhart, O., 2011. Metodické postupy při aplikaci hybridizačních programů u ryb v podmínkách českého rybářství, *Edice Metodik, FROV JU, Vodňany*, č. 119, 53 s.
- Kohlmann, K., Gross, R., Murakaeva, A., Kersten, P., 2003. Genetic variability and structure of common carp (*Cyprinus carpio*) populations throughout the distribution range inferred from allozyme, microsatellite and mitochondrial DNA markers. *Aquatic Living Resources*. 16, 421–431.
- Kohlmann, K., Kersten, P., 1999. Genetic variability of German and foreign common carp (*Cyprinus carpio* L.) populations. *Aquaculture* 173, 435–445.
- Kohlmann, K., Kersten, P., Flajšhans, M., 2005. Microsatellite-based genetic variability and differentiation of domesticated, wild and feral common carp (*Cyprinus carpio* L.) populations. *Aquaculture* 247, 253–266.
- Kossmann, H. (1972). Studies on genetic variability of intermuscular bones in the carp. *Theoretical and Applied Genetics*, 42, 130-135.
- Lagarde, H., Lallias, D., Patrice, P., Prchal, M., Francois, Y., D'Ambrosio, J., Segret, E., Acin-Perez, A., Cachelou, F., Haffray, P., Dupont-Nivet, M., Phocas, F., 2023. Genetic architecture of acute hyperthermia resistance in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and genetic correlations with production traits. *Genet. Sel. Evol.* 55, 39.
- Laghari, M. Y., Lashari, P., Zhang, X., Xu, P., Narejo, N. T., Xin, B., Zhang, Y., Sun, X. (2015). QTL mapping for economically important traits of common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Journal of applied genetics*, 56, 65-75.
- Larhammar, D., Risinger, C., 1994. Molecular genetic aspects of tetraploidy in the common carp *Cyprinus carpio*. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 3, 59–68.
- Lee, W.J. 2003. Detection of QTL for salinity tolerance of tilapia. In: *Final Abstracts Guide. Plant and Animal Genome Conference XI*, January 11–15, San Diego, California.

- Lien, S., Gidskehaug, L., Moen, T., Hayes, B. J., Berg, P. R., Davidson, W. S., Omholt, S.W., Kent, M.P. (2011). A dense SNP-based linkage map for Atlantic salmon (*Salmo salar*) reveals extended chromosome homeologies and striking differences in sex-specific recombination patterns. *BMC genomics*, 12, 1-10
- Linhart, O., Flajšhans, M., Kvasnička, P., 1991. Induced triploidy in the common carp (*Cyprinus carpio* L.): a comparison of two methods. *Aquatic Living Resources*. 4, 139–145.
- Longalong, F. M., Eknath, A. E., Bentsen, H. B. (1999). Response to bi-directional selection for frequency of early maturing females in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 178(1-2), 13-25.
- Marković, Z., Stanković, M., Rašković, B., Dulić, Z., Živić, I., Poleksić, V., 2016. Comparative analysis of using cereal grains and compound feed in semi-intensive common carp pond production. *Aquaculture International*, 24, 1699–1723.
- Meske, Ch., 1968. Breeding carp for reduced number of intermuscular bones and growth of carp in aquaria. *Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh*. 20 (4): 105-120.
- Metodický pokyn ZP 03/2003, <https://eagri.cz/public/web/file/17602/MP35508.pdf> navštíveno 22.4.2024
- Meuwissen T.H.E., Hayes B., Goddard M. (2016) Genomic selection: A paradigm shift in animal 1050 breeding. *Animal Frontiers*, 6, 6-14.
- Meuwissen, T.H.E., Hayes, B.J. and Goddard, M.E. 2001. Prediction of total genetic value using genome-wide dense marker maps. *Genetics*, 157: 1819–1829.
- Moav R., Wohlfarth G. W., 1976. Two way selection for growth rate in the common carp (*Cyprinus carpio* L.), *Genetics* 82: 83–101.
- Moen, T., Baranski, M., Sonesson, A. K., Kjøglum, S. (2009). Confirmation and fine-mapping of a major QTL for resistance to infectious pancreatic necrosis in Atlantic salmon (*Salmo salar*): population-level associations between markers and trait. *BMC genomics*, 10, 1-14.
- Moen, T., Fjalestad, K.T., Munck, H. and Gomez-Raya, L. 2004. A multistage testing strategy for detection of quantitative trait loci affecting disease resistance in Atlantic salmon. *Genetics*, 167: 851–858.
- Moen, T., Torgersen, J., Santi, N., Davidson, W. S., Baranski, M., Ødegård, J., Kjøglum, J., Velle, B., Kent, M., Lubieniecki, K.P., Isdal, E., Lien, S. (2015). Epithelial cadherin determines resistance to infectious pancreatic necrosis virus in Atlantic salmon. *Genetics*, 200(4), 1313-1326.
- Moll, R.H., Stuber, C.W., 1974. Quantitative genetics – empirical results relevant to plant breeding. In: Brady, N.C. (Ed.), *Advances in Agronomy*. Academic Press, San Francisco, USA, pp. 277–313.

- Mráz, J., Pickova, J., 2011. Factors influencing fatty acid composition of common carp (*Cyprinus carpio*) muscle. *Neuro-endocrinology Letters*, 32, 3-8.
- Mraz, J., Machova, J., Kozak, P., Pickova, J. 2012. Lipid content and composition in common carp - optimization of n-3 fatty acids in different pond production systems. *Journal of Applied Ichthyology*, 28: 238-244.
- Muir, W.M., Cheng, H.W., Croney, C., 2014. Methods to address poultry robustness and welfare issues through breeding and associated ethical considerations. *Frontiers in Genetics*, 5, 407
- Myers, J.M., Heggelund, P.O., Hudson, G., Iwamoto, R.N. 2001. Genetics and broodstock management of coho salmon. *Aquaculture*, 197: 43–62.
- Neely, K.G., Myers, J.M., Hard, J.J. and Shearer, K.D. 2008. Comparison of growth, feed intake, and nutrient efficiency in a selected strain of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) and its source stock. *Aquaculture*, 283: 134–140.
- Neira, R., Díaz, N. F., Gall, G. A., Gallardo, J. A., Lhorente, J. P., Alert, A. (2006). Genetic improvement in coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). II: Selection response for early spawning date. *Aquaculture*, 257(1-4), 1-8.
- Nguyen, N.H., 2016. Genetic improvement for important farmed aquaculture species with a reference to carp, tilapia and prawns in Asia: achievements, lessons and challenges. *Fish and Fisheries*, 17, 483–506.
- Nguyen, N.H., Ponzoni, R.W., Yee, H.Y., Abu-Bakar, K.R., Hamzah, A., Khaw, H.L., 2010. Quantitative genetic basis of fatty acid composition in the GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) selected for high growth. *Aquaculture* 309, 66–74
- Nielsen, H.M., Ødegård, J., Olesen, I., Gjerde, B., Ardo, L., Jeney, G., Jeney, Z., 2010. Genetic analysis of common carp (*Cyprinus carpio*) strains. I: Genetic parameters and heterosis for growth traits and survival. *Aquaculture* 304, 14–21.
- Ninh, N.H., Ponzoni, R.W., Nguyen, N.H., Woolliams, J.A., Taggart, J.B., McAndrew, B.J., Penman, D.J., 2011. A comparison of communal and separate rearing of families in selective breeding of common carp (*Cyprinus carpio*): estimation of genetic parameters. *Aquaculture* 322- 323, 39–46.
- Ninh, N.H., Ponzoni, R.W., Nguyen, N.H., Woolliams, J.A., Taggart, J.B., McAndrew, B.J., Penman, D.J., 2013. A comparison of communal and separate rearing of families in selective breeding of common carp (*Cyprinus carpio*): Responses to selection. *Aquaculture* 408– 409, 152–159.
- Ninh, N.H., Thoa, N.P., Knibb, W., Nguyen, N.H. (2014). Selection for enhanced growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in brackish water (15–20 ppt) in Vietnam. *Aquaculture*, 428, 1-6.

- Oberle, M., Schwarz, F.J., Kirchgessner, M. (1997). Growth and carcass quality of carp (*Cyprinus carpio* L.) fed different cereals, lupin seed or zooplankton. *Archiv fur Tierernahrung*, 50(1), 75-86.
- Ødegård, J., Baranski, M., Gjerde, B., Gjedrem, T., 2011. Methodology for genetic evaluation of disease resistance in aquaculture species: challenges and future prospects. *Aquaculture Research*, 42, 103–114.
- Ødegård, J., Olesen, I., Dixon, P., Jeney, Z., Nielsen, H.M., Way, K., Joiner, C., Jeney, G., Ardó, L., Rónyai, A., Gjerde, B., 2010. Genetic analysis of common carp (*Cyprinus carpio*) strains. II: Resistance to koi herpesvirus and *Aeromonas hydrophila* and their relationship with pond survival. *Aquaculture* 304, 7–13.
- Okamoto, N., Tayaman, T., Kawanobe, M., Fujiki, N., Yasuda, Y., Sano, T. 1993. Resistance of a rainbow trout strain to infectious necrosis. *Aquaculture*, 117: 71–76.
- Okuzawa, K., 2002. Puberty in teleosts. *Fish Physiology and Biochemistry* 26(1): 31-41. Páez D.J., Bernatchez L., Dodson J.J., 2011. Alternative life histories in the Atlantic salmon: genetic covariances within the sneaker sexual tactic in males. *Proceedings of Royal Society B*, 278: 2150– 2158.
- Oppedal, F., Taranger, G.L., Hansen, T. 2003. Growth performance and sexual maturation in diploid and triploid Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in seawater tanks exposed to continuous light or simulated natural photoperiod. *Aquaculture*, 215: 145–162.
- Overturf, K., Welker, T., Barrows, F., Towner, R., Schneider, R., LaPatra, S., 2013. Variation in rainbow trout, (*Oncorhynchus mykiss*), to biosynthesize eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid when reared on plant oil replacement feeds. *Journal of World Aquaculture Society*, 44, 326–337.
- Ozaki, A., Sakamoto, T., Khoo, S.K., Nakamura, K., Coimbra, M.R.M., Akutsu, T. and Okamoto, N. 2001. Quantitative trait loci (QTLs) associated with resistance/susceptibility to infectious pancreatic necrosis virus (IPNV) in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Molecular Genetics and Genomics*, 265: 23–31.
- Palaiokostas, C., Kocour, M., Prchal, M., Houston, R. D., 2018a. Accuracy of genomic evaluations of juvenile growth rate in common carp (*Cyprinus carpio*) using genotyping by sequencing. *Frontiers in Genetics* 9: 82
- Palaiokostas, C., Robledo, D., Veselý, T., Prchal, M., Pokorová, D., Piačková, V., Pojezdal, L., Kocour, M., Houston, R.D., 2018b. Mapping and sequencing of a significant quantitative trait locus affecting resistance to Koi herpesvirus in common carp. *G3: Genes, Genome, Genetics* 8: 3507–3513.

- Palaiokostas, C., Vesely, T., Kocour, M., Prchal, M., Pokorova, D., Piackova, V., Pojezdal, L., Houston, R. D. (2019). Optimizing genomic prediction of host resistance to koi herpesvirus disease in carp. *Frontiers in Genetics*, 10, 543.
- Palti, Y., Gao, G., Liu, S., Kent, M. P., Lien, S., Miller, M. R., Rexroad III., C.E., Moen, T. (2015). The development and characterization of a 57 K single nucleotide polymorphism array for rainbow trout. *Molecular ecology resources*, 15(3), 662-672
- Pandian, T. A., & Koteeswaran, R. (1998). Ploidy induction and sex control in fish. *Hydrobiologia*, 384, 167-243.
- Peng, W., Xu, J., Zhang, Y., Feng, J., Dong, C., Jiang, L., Feng, J., Chen, B., Gong, Y., Chen, L., Xu, P. (2016). An ultra-high density linkage map and QTL mapping for sex and growth-related traits of common carp (*Cyprinus carpio*). *Scientific reports*, 6(1), 26693.
- Piačková, V., Flajšhans, M., Pokorová, D., Reschová, S., Gela, D., Čížek, A., Veselý, T., 2013. Sensitivity of common carp, *Cyprinus carpio* L., strains and crossbreeds reared in the Czech Republic to infection by cyprinid herpesvirus 3 (CyHV-3; KHV). *The Journal of Fish Diseases*, 36, 75–80.
- Piferrer, F., Beaumont, A., Falguière, J. C., 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(3-4), 125-156.
- Ponzoni, W. R., Nguyen, N. H., Khaw, L. H., Ninh, H. N., 2008. Accounting for genotype by environment interaction in economic appraisal of genetic improvement programs in common carp *Cyprinus carpio*. *Aquaculture* 285: 47–55.
- Powell, J., White, I., Guy, D., Brotherstone, S., 2008. Genetic parameters of production traits in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 274, 225–231.
- Prchal, M., Bugeon, J., Vandeputte, M., Kause, A., Vergnet, A., Zhao, J., Gela, D., Genestout, L., Bestin, A., Haffray, P., Kocour, M., 2018a. Potential for genetic improvement of the main slaughter yields in common carp with in vivo morphological predictors. *Frontiers in Genetics*, 9, 283.
- Prchal, M., D'Ambrosio, J., Lagarde, H., Lallias, D., Patrice, P., François, Y., Poncet, C., Desgranges, A., Haffray, P., Dupont-Nivet, M., Phocas, F. (2023b). Genome-wide association study and genomic prediction of tolerance to acute hypoxia in rainbow trout. *Aquaculture*, 565, 739068.
- Prchal, M., Gela, D., Flajšhans, M., Piačková, V., Kocour Kroupová, H., Kocour, M., 2021a. Využití amurského lysce pro zefektivnění produkce kapra v rybníční akvakultuře ČR. Edice metodik, VÚRH JU VODŇANY, č.189, 45 s.

- Prchal, M., Kause, A., Vandeputte, M., Gela, D., Allamelou, J.M., Girish, K., Bestin, A., Bugeon, J., Zhao, J., Kocour, M., 2018b. The genetics of overwintering performance in two-year old common carp and its relation to performance until market size. *PLoS One* 13, e0191624.
- Prchal, M., Kocour, M., Vandeputte, M., Kause, A., Vergnet, A., Zhao, J., Gela, D., Kašpar, V., Genestout, L., Bestin, A., Haffray, P., Bugeon, J. (2020). Morphological predictors of slaughter yields using 3D digitizer and their use in a common carp breeding program. *Aquaculture*, 520, 734993.
- Prchal, M., Palaiokostas, C., Gela, D., Piačková, V., Reschova, S., Kocour, M. (2023a). Genetic parameters and genomic prediction of resistance to koi herpesvirus disease using a low-density SNP panel on two Amur mirror carp populations. *Aquaculture Reports*, 30, 101582.
- Prchal, M., Vandeputte, M., Gela, D., Doležal, M., Buchtová, H., Rodina, M., Flajšhans, M., Kocour, M., 2018c. Estimation of genetic parameters of fatty acids composition in flesh of market size common carp (*Cyprinus carpio L.*) and their relation to performance traits revealed that selective breeding can indirectly affect flesh quality. *Czech Journal of Animal Science*, 63, 280–291.
- Prchal, M., Zhao, J., Gela, D., Kašpar, J., Lepič, P., Kašpar, V., Kocour, M. (2021b). Simplified method for genetic slaughter yields improvement in common carp under European pond conditions. *Aquaculture Reports*, 21, 100832.
- Prchal, M., 2024- osobní sdělení (Vědecký, výzkumný a vývojový pracovník FROV JU, Zátíši 728/II, 389 25 Vodňany) dne 22.4. 2024.
- Quillet, E., Guillou, S.L., Aubin, J., Fauconneau, B. 2005. Two-way selection for muscle lipid content in pan-size rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 245: 49–61
- Recoubratsky, A., Gomelsky, B., Emelyanova, O., Pankratyeva, E., 1989. Obtaining triploid and tetraploid carp progeny with heat shock. *Proc. Res. Inst. Pond Fish* 58, 54–60.
- Ríos-Utrera, A., Cundiff, L. V., Gregory, K. E., Koch, R. M., Dikeman, M. E., Koohmaraie, M., Van Vleck, L. D. (2006). Effects of age, weight, and fat slaughter end points on estimates of breed and retained heterosis effects for carcass traits. *Journal of animal science*, 84(1), 63-87.
- Roh, H., Park, J., Kim, A., Kim, N., Lee, Y., Kim, B.S., Vijayan, J., Lee, M.K., Park, C.I., Kim, D.H., 2020. Overfeeding-induced obesity could cause potential immuno-physiological disorders in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Animals* 10: 1499.
- Saillant, E., Dupont-Nivet, M., Sabourault, M., Haffray, P., Laureau, S., Vidal, M. O., & Chatain, B. (2009). Genetic variation for carcass quality traits in cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquatic Living Resources*, 22(1), 105-112.
- Saura, M., Caballero, A., Santiago, E., Fernández, A., Morales-González, E., Fernández, J., Cabaleiro, S., Millán, A., Martínez, P., Palaiokostas, C., Kocour, M., Aslam, M.L., Houston, R.D., Prchal, M., Bargelloni, L., Tzokas, K., Haffray, P., Bruant, J.-S., Villanueva, B., 2021.

- Estimates of recent and historical effective population size in turbot, seabream, seabass and carp selective breeding programmes. *Genetics Selection Evolution*, 53, 1-8.
- Selvakumar D., Kandasamy D., (2011). Application of microbial carotenoids as a source of colouration and growth of ornamental fish *Xiphophorus helleri*. *World Journal of Fish and Marine Sciences*. ;3:137-144.
- Shapira, Y., Magen, Y., Zak, T., Kotler, M., Hulata, G., Levavi-Sivan, B., 2005. Differential resistance to koi herpes virus (KHV)/carp interstitial nephritis and gill necrosis virus (CNGV) among common carp (*Cyprinus carpio L.*) strains and crossbreds. *Aquaculture* 245, 1–11.
- Sheperd, J. & Bromage, N., 1990. *Intensive Fish Farming*. Oxford, BSP Professional Books
- Schäperclaus, W., 1962. *Trate de Pisciculture en Etang*. Vigot Freres, Paris 208, 208–227.
- Schäperclaus, W., 1962. *Traité de pisciculture en étang*. Vigot Freres, Paris.
- Siitonen, L. and Gall, G.A.E. 1989. Response to selection for early spawn date in rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Aquaculture*, 78: 153–161.
- Situační a výhledová zpráva ryby, 2022. <https://eagri.cz/public/portal/-q321521---GXo22cjp/situacni-a-vyhledova-zprava-ryby-2022> navštíveno 21.4.2024
- Song, H., Dong, T., Yan, X., Wang, W., Tian, Z., Sun, A., ... & Hu, H. (2023). Genomic selection and its research progress in aquaculture breeding. *Reviews in Aquaculture*, 15(1), 274-291.
- Steffens, W. (1996). Protein sparing effect and nutritive significance of lipid supplementation in carp diets. *Archives of Animal Nutrition*, 49(1), 93-98.
- Steffens, W., 2016. Aquaculture produces wholesome food: cultured fish as a valuable source of n-3 fatty acids. *Aquaculture International*. 24, 787–802
- Storebakken, T., Foss, P., Schiedt, K., Austreng, E., Liaaen-Jensen, S., Manz, U. (1987). Carotenoids in diets for salmonids: IV. Pigmentation of Atlantic salmon with astaxanthin, astaxanthin dipalmitate and canthaxanthin. *Aquaculture*, 65(3-4), 279-292.
- Storset, A., Strand, C., Wetten, M., Kjøglum, S., Ramstad, A. (2007). Response to selection for resistance against infectious pancreatic necrosis in Atlantic salmon (*Salmo salar L.*). *Aquaculture*, 272, S62-S68.
- Suebsong, W., Poompuang, S., Srisapoome, P., Koonawootrittriron, S., Luengnaruemitchai, A., Johansen, H., Rye, M. (2019). Selection response for *Streptococcus agalactiae* resistance in Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Journal of fish diseases*, 42(11), 1553-1562.
- Sun, X. and Liang, L. 2004. A genetic linkage map of common carp (*Cyprinus carpio L.*) and mapping of a locus associated with cold tolerance. *Aquaculture*, 238: 165–172.
- Sung, Y. Y., Liew, H. J., Ambok Bolong, A. M., Abdul Wahid, M. E., MacRae, T. H. (2014). The induction of Hsp70 synthesis by non-lethal heat shock confers thermotolerance and resistance to lethal ammonia stress in the common carp, *Cyprinus carpio* (Linn). *Aquaculture research*, 45(10), 1706-1712.

- Šusta, J., 1898. Fünf Jahrhunderte der Teichwirtschaft zu Wittingau. Stettin. S. 4 u.f.
- Tadmor-Levi, R., Asoulin, E., Hulata, G., David, L., 2017. Studying the genetics of resistance to CyHV-3 disease using introgression from feral to cultured common carp strains. *Frontiers in Genetics*, 8, 24.
- Tang, G., Lv, W., Sun, Z., Cao, D., Zheng, X., Tong, G., Wang, H., Zhang, X., Kuang, Y. (2020). Heritability and quantitative trait locus analyses of intermuscular bones in mirror carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture*, 515, 734601.
- Tarangel, G.L., Carrillo, M., Schultz, R.W., Fontaine, P., Zanuy, S., Felip, A., Weltzien, F.A., Dufour, S., Karlsen, Ø., Norberg, B., Andersson E., Hansen, T., 2010. Control of puberty in farmed fish. *General and Comparative Endocrinology* 165(3): 483-515
- Teichert-Coddington, D. 1983. Divergent selection for prematuration body weight in tilapia niloticus. M.S. Thesis, Auburn University, Auburn, AL.
- Thodesen, J., Rye, M., Wang, Y. X., Yang, K. S., Bentsen, H. B., & Gjedrem, T. (2011). Genetic improvement of tilapias in China: genetic parameters and selection responses in growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) after six generations of multi-trait selection for growth and fillet yield. *Aquaculture*, 322, 51-64.
- Thorland, I., Kottaras, L., Refstie, T., Papanna, K., Papaharisis, L., Rye, M. (2017). Response to selection for harvest weight in sea bass (*Dicentrarchus labrax*). In *Aquaculture* (Vol. 472, pp. 136-137).
- Thorland, I., Papaioannou, N., Kottaras, L., Refstie, T., Papasolomontos, S., Rye, M. (2006). Family base selection for production traits in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*) in Greece. In *Book of Abstracts* (p. 104). Montpellier, France: IX International Symposium on Genetics in Aquaculture (IAGA).
- Thorland, I., Thodesen, J., Refstie, T., Folkedal, O., Stien, L. H., Nilsson, J., Seim R.R., Kristiansen, T.S., Rye, M. (2020). Genetic variation in growth pattern within a population of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) during a standard production cycle. *Aquaculture*, 518, 734735.
- Thorpe, J. E. (2007). Maturation responses of salmonids to changing developmental opportunities. *Marine Ecology Progress Series*, 335, 285-288.
- Tieman, D., Zhu, G., Resende, M.F., Lin, T., Nguyen, C., Bies, D., Rambla, J.L., Beltran, K.S.O., Taylor, M., Zhang, B., 2017. A chemical genetic roadmap to improved tomato flavor. *Science*. 355, 391–394
- Tocher, D.R., 2015. Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids and aquaculture in perspective. *Aquaculture* 449, 94–107.
- Tran, M. T., and Nguyen, C. T., 1993. Selection of common carp (*Cyprinus carpio* L.) in Vietnam. *Aquaculture*, 111: 301–302.

- Trbović, D., Živić, I., Stanković, M., Živić, M., Dulić, Z., Petronijević, R., Marković, Z., 2017. Dependence of the common carp (*Cyprinus carpio* L.) fatty acid profile on diet composition in a semi-intensive farming system: tissue and time variability. *Aquaculture Research*, 48, 3121–3133.
- Turan, F., & Akyurt, İ. (2011). Effects of androstenedione on sex reversal and gonadal development in the African catfish (*Clarias gariepinus* (Burchell, 1822)).
- Urban, T., [online]. Virtuální svět genetiky 3 – principy genetiky populací a kvantitativních znaků. <https://user.mendelu.cz/urban/vsg3/index.html> Navštíveno 21. Dubna 2024.
- Vallejo, R. L., Silva, R. M., Evenhuis, J. P., Gao, G., Liu, S., Parsons, J. E., Martin, K.E., Wiens, G.D., Lourenco, A.L., Leeds, T.D., Palti, Y. (2018). Accurate genomic predictions for BCWD resistance in rainbow trout are achieved using low-density SNP panels: Evidence that long-range LD is a major contributing factor. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 135(4), 263-274.
- Vandeputte, M., 2003. Selective breeding of quantitative traits in the common carp (*Cyprinus carpio*): a review. *Aquatic Living Resources*, 16, 399–407.
- Vandeputte, M., Corraze, G., Doerflinger, J., Enez, F., Clota, F., Terrier, F., Horat, M., Larroquet, L., Petit, V., Haffray, P., Skiba-Cassy, S., Dupont-Nivet, M. (2022). Realised genetic gains on growth, survival, feed conversion ratio and quality traits after ten generations of multi-trait selection in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*, fed a standard diet or a “future” fish-free and soy-free diet. *Aquaculture Reports*, 27, 101363.
- Vandeputte, M., Fraslin, C., Haffray, P., Bestin, A., Allal, F., Kocour, M., Prchal, M., Dupont-Nivet, M. (2020). How to genetically increase fillet yield in fish: Relevant genetic parameters and methods to predict genetic gain. *Aquaculture*, 519, 734877.
- Vandeputte, M., Gagnaire, P. A., Allal, F. (2019). The European sea bass: a key marine fish model in the wild and in aquaculture. *Animal genetics*, 50(3), 195-206.
- Vandeputte, M., Kocour, M., Mauger, S., Dupont-Nivet, M., De Guerry, D., Rodina, M., Gela, D., Vallod, D., Chevassus, B., Linhart, O. (2004). Heritability estimates for growth-related traits using microsatellite parentage assignment in juvenile common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Aquaculture*, 235(1-4), 223-236.
- Vandeputte, M., Kocour, M., Mauger, S., Rodina, M., Launay, A., Gela, D., Dupont-Nivet, M., Hulak, M., Linhart, O., 2008. Genetic variation for growth at one and two summers of age in the common carp (*Cyprinus carpio* L.): Heritability estimates and response to selection. *Aquaculture* 277, 7–13.
- Vandeputte, M., Puledda, A., Tyran, A. S., Bestin, A., Coulombet, C., Bajek, A., Baldit, G., Vergnet, A., Allal, F., Bugeon, J., Haffray, P. (2017). Investigation of morphological predictors of fillet

- and carcass yield in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) for application in selective breeding. *Aquaculture*, 470, 40-49.
- Virote, B.D.C.R., Moreira, A.M.S., Silva Souza, J.G.D., Castro, T.F.D., Melo, N., Carneiro, W.F., Drummond, C.D., Vianna, A.R.D.C.B., Murgas, L.D.S., 2020. Obesity induction in adult zebrafish leads to negative reproduction and offspring effects. *Reproduction* 160(6): 833- 842.
- Wang, C. H., Li, Si – Fa., 2007. Genetic effects and genotype × environment interactions for growth – related traits in common carp, (*Cyprinus carpio* L). *Aquaculture* 272: 267–272.
- Wang, C., 2009. Quantitative genetic estimates of growth-related traits in the common carp (*Cyprinus carpio* L.): A review. *Frontiers of Biology in China* 4, 298–304.
- Wang, N., Teletchea, F., Kestemont, P., Milla, S., Fontaine, P., 2010. Photothermal control of the reproductive cycle in temperate fishes. *Reviews in Aquaculture* 2(4): 209-222.
- Wetten, M., Aasmundstad, T., Kjøglum, S., Storset, A. (2007). Genetic analysis of resistance to infectious pancreatic necrosis in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 272(1-4), 111-117.
- Wiens, G. D., LaPatra, S. E., Welch, T. J., Evenhuis, J. P., Rexroad III, C. E., Leeds, T. D. (2013). On-farm performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) selectively bred for resistance to bacterial cold water disease: effect of rearing environment on survival phenotype. *Aquaculture*, 388, 128-136.
- Wohlfarth, G.W., 1993. Heterosis for growth rate in common carp. *Aquaculture* 113, 31-46.
- Xu, P., Zhang, X., Wang, X., Li, J., Liu, G., Kuang, Y., Xu, J., Zheng, X., Ren, L., Wang, G., 2014. Genome sequence and genetic diversity of the common carp, *Cyprinus carpio*. *Nature Genetics* 46: 1212–1219.
- Yanez, J. M., Barria, A., Lopez, M. E., Moen, T., Garcia, B. F., Yoshida, G. M., Xu, P. (2023). Genome-wide association and genomic selection in aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 15(2), 645-675.
- Yáñez, J. M., Naswa, S., López, M. E., Bassini, L., Correa, K., Gilbey, J., Bernatchez, L., Norris, A., Neira, R., Lhorente, J.P., Schnable, P.S., Newman, S., Mileham, A., Deeb, N., Genova, A.Di., Maass, A. (2016). Genomewide single nucleotide polymorphism discovery in Atlantic salmon (*Salmo salar*): validation in wild and farmed American and European populations. *Molecular ecology resources*, 16(4), 1002-1011.
- Yousefian, M., Sharifrohani, M., Hosseinzadeh–Sahafi. H., Laloei, F., 2011. Heritability estimation for growth – related traits in juvenile wild common carp (*Cyprinus carpio* L.) in the south of Caspian sea. *Iranian Journal of Fisheries Sciences* 10(4): 740 – 748.
- Zákon č.254/2001 Sb. <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254> navštíveno 22.4.2024
- Zákon č.99/2004 Sb. <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-99> navštíveno 22.4.2024

- Zhao, J., Prchal, M., Kause, A., Vandeputte, M., Gela, D., Kroupová, H. K., Piačková, V., Šauer, P., Steinbach, C., Alamellou, J-M., Palaiokostas, C., Houston, R.D., Kocour, M. (2021). The role of energy reserves in common carp performance inferred from phenotypic and genetic parameters. *Aquaculture*, 541, 736799.
- Zhao, J., Prchal, M., Palaiokostas, C., Houston, R. D., Kause, A., Vandeputte, M., Vergnet, A., Bugeon, J., Bestin, A., Veselý, T., Pokorová, D., Piačková, V., Pojezdal, L., Genestout, L., Gela, D., Kroupová, H.K., Kocour, M. (2020). Genetic relationship between koi herpesvirus disease resistance and production traits inferred from sibling performance in Amur mirror carp. *Aquaculture*, 520, 734986.
- Zhou, L., & Gui, J. (2017). Natural and artificial polyploids in aquaculture. *Aquaculture and Fisheries*, 2(3), 103-111.

10.ABSTRAKT

Potenciál selekčního šlechtění při zvyšování užitkovosti kapra obecného (*Cyprinus carpio L.*): přehledová studie

Cílem této bakalářské práce bylo vypracovat přehledovou studii o selekčním šlechtění a jeho potenciálu v chovech kapra obecného, ale i jiných významných druhů ryb. Jelikož ceny kapra na trhu jsou dlouhodobě nízké a stoupají jen pomalu, a naopak náklady na jeho produkci rostou významně, je třeba zvyšovat celkovou udržitelnost a rentabilitu jeho chovu. Jednou z možností dlouhodobě udržitelného způsobu šlechtění je selekční šlechtění. V této práci jsou popsány nejpoužívanější šlechtitelské metody, metody selekce a způsoby jejich aplikace. Dále pak, nejdůležitější užitkové znaky vhodné pro šlechtitelské programy nejen kapra ale i dalších významných druhů ryb. Tato práce se také věnuje základním pojmům kvantitativní genetiky, které jsou důležité pro pochopení obecných principů selekce jako nástroje pro genetické zlepšování užitkovosti ryb. Poslední část této bakalářské práce se týká chovu kapra v České republice a možností využití selekčních programů v podmínkách českého rybářství s využitím opatření na zkrácení generačního intervalu s cílem dlouhodobé udržitelnosti selekce kapra. K vypracování práce byly použity domácí i zahraniční vědecké studie z multioborových databází (Web of Science, Scopus, Google Scholar) a knihy a metodiky pocházející z produkce FROV JU. Tato práce přináší ucelený přehled o možnostech selekčního šlechtění kapra ale i dalších druhů ryb a může sloužit jako podklad pro další studie zabývající se touto problematikou.

Klíčová slova: heritabilita, akvakulturní druhy, kvantitativní genetika, užitkové znaky, generační interval

11.ABSTRACT

Potential of Selective Breeding in Increasing the Performance of Common Carp (*Cyprinus carpio*): Literature Review

The aim of this bachelor thesis was to develop a review study on selective breeding and its potential in common carp farming, but also in other important fish species. As carp market prices have been low and rising only slowly for a long time and, on the other hand, the cost of carp production is increasing significantly, there is a need to increase the overall sustainability and profitability of carp farming. One of the options for sustainable breeding is selective breeding. This paper describes the most commonly used breeding methods, selection methods and their application. In addition, the most important performance traits suitable for breeding programmes not only for carp but also for other important fish species. This work also covers the basic concepts of quantitative genetics, which are important for understanding the general principles of selection as a tool for genetic improvement of performance traits. The last part of this bachelor thesis concerns carp breeding in the Czech Republic and the possibilities of using selection programmes in the conditions of the Czech fishery with the use of measures to shorten the generation interval with the aim of long-term sustainability of carp selection. For the elaboration of the thesis, domestic and foreign scientific studies from multidisciplinary databases (Web of Science, Scopus, Google Scholar) and books and methodologies from the production of FROV JU were used. This work provides a comprehensive overview of the possibilities of selective breeding in carp and other fish species and can serve as a basis for further studies dealing with this issue.

Key words: heritability, aquaculture species, quantitative genetics, performance traits, generation interval,