

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Katedra ekologie



**FENOTYP SPERMIÍ A JEJICH VZTAH
K INDIVIDUÁLNÍ KONDICI**

Bakalářská práce

Autor práce: Linda Köstelová

Vedoucí práce: Ing. Jana Svobodová, Ph.D.

2016

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Linda Köstelová

Aplikovaná ekologie

Název práce

Fenotyp spermií a jejich vztah k individuální kondici

Název anglicky

Sperm phenotype and it's relationship to individual condition

Cíle práce

U většiny sociálně monogamních pěvců byl zjištěn poměrně vysoký podíl mimopárových mláďat (Griffith et al. 2002), proto reprodukční úspěšnost samců může být zásadně ovlivněna konkurenční schopností jejich spermií (t. j. schopnost fertilizace, Birkhead & Møller 1992, Birkhead 1998). Schopnost fertilizace může souviset s tvarem (morfologií, Laskemoen et al. 2010), rychlostí (motilitou, Gage et al. 2004; Malo et al. 2005; Birkhead et al. 1999, Donoghue et al. 1999) a množstvím vyprodukovaných spermií (Gage & Morrow 200, Laskemoen et al. 2010). Nicméně dosud není zcela jasné, podle jakých znaků samice odhadují kvalitu ejakulátu. I když u některých pěvců bylo zjištěno, že fenotyp spermií může korelovat s druhotnými znaky samců (ornamenty, zpěv atd.; např. Calhim et al. 2009), u jiných druhů tyto vztahy nebyly nalezeny (např. Birkhead et al. 1998).

1. Práce podá přehled o vztahu fenotypu spermií k individuální kondici
2. Dále bude testovat, zda kondiční znaky samců sýkory koňadry koreluje s kvalitou jejich spermií.

Metodika

Náš tým disponuje daty o samcích sýkory koňadry (hmotnost, základní míry, hematologická data, standardní digitální fotografie, vzorky peří karotenoidního i melaninového ornamentu, vzorky ejakulátu), která byla odchycena v hnízdních budkách nebo v jejich blízkosti na studijní ploše Čimický-Ďáblický háj v r. 2015. Fenotyp spermií bude vyhodnocen standardními postupy pomocí mikroskopu (mikroskop CX41 s fázovým kontrastem, digitální kamera UI-1540-C, program QuickPhoto Industrial 12.3, Olympus).

Doporučený rozsah práce

30 stran

Klíčová slova

morfologie spermií, individuální kondice, *Parus major*, sýkora koňadra

Doporučené zdroje informací

- Birkhead TR, Fletcher F, Pellat EJ 1998. Sexual selection in the zebra finch *Taeniopygia guttata*: condition, sex traits and immune capacity. *Behav Ecol Sociobiol* 44: 179-191.
- Birkhead TR, Martínez JG, Burke T, Forman DP 1999. Sperm mobility determines the outcome of sperm competition in the domestic fowl. *Proc R Soc Lond B* 266: 1759-1764.
- Birkhead TR, Møller AP 1992. *Sperm Competition in Birds: Evolutionary causes and Consequences*. Academic Press, London.
- Birkhead TR 1998. Sperm competition in birds. *Reviews of Reproduction* 3: 123- 129.
- Calhim S, Lampe HM, Slagsvold T, Birkhead TR 2009. Selection on sperm morphology under relaxed sperm competition in a wild passerine bird. *Biol Letters* 5: 58-61.
- Donoghue AM, Sonstegard TS, King LM, Smith EJ, Burt DW 1999. Turkey sperm mobility influences paternity in the context of competitive fertilization. *Biology of Reproduction* 61: 422-427.

Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Jana Svobodová, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra ekologie

Elektronicky schváleno dne 16. 3. 2016

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 16. 3. 2016

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 03. 04. 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod odborným vedením Ing. Jany Svobodové, Ph.D., a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu, ze kterých jsem čerpala.

V Praze dne 12.4. 2016

.....

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat především vedoucí mé bakalářské práce Ing. Janě Svobodové, Ph.D. za ochotu, veškerou trpělivost při měření, pomoc se statistikou a čas, který mi věnovala. Našemu pracovnímu týmu děkuji za data, která mi byla poskytnuta. Zároveň bych chtěla poděkovat Josefovi Kutlvašrovi, Janě Pelarové a Janu Hrejsemnou za všechny rady a pomoc.

V Praze dne 12.4. 2016

.....

Abstrakt

U živočichů je známo mnoho znaků, které vyvinuli ve snaze uspět při sexuální selekci, tyto sekundární sexuální ukazatele by podle předešlých výzkumů měly korelovat s kvalitou ejakulátu daného samce. Z literární rešerše vyplývá, že čím delší měl samec spermie, tím spermie byli rychlejší, životaschopnější a pohyblivější. Životaschopnost souvisela s délkou střední části spermie, která obsahuje mitochondrii. Zároveň spermie, které disponovaly delším bičíkem, byly rychlejší, naopak samci, jejichž spermie se vyznačovali delšími hlavičkami, měli tyto spermie pomalejší. Práce měla za úkol osvětlit vliv fenotypu spermie na ukazatele kondice. Zjistit, zda podle fenotypu samce je možné určit kvalitu ejakulátu samce. Pro tuto práci, která probíhala na sýkoře koňadře, byla jako ukazatel kvality zvolena délka spermií. Byla měřena délka jak celé spermie, tak i všech jejích částí. Každá z těchto částí má jinou funkci pro pohyb spermie a její životaschopnost. Testovali jsme, zda délka spermie koreluje s ukazateli kondice. Ukazateli kondice spermie byla zvolena délka melaninového ornamentu, váha samce, délka tarsu a počet leukocytů v krvi. Výsledky ukázaly, že délka hlavičky spermie koreluje s délkou melaninového ornamentu sýkory koňadry. Mezi ostatními námi zvolenými parametry kondice nebyla prokázána žádná souvislost.

Klíčová slova: morfologie spermií, individuální kondice, *Parus major*, sýkora koňadra

Abstract

Animals are known to have evolved many different characters in order to improve their chances during the sexual selection. These secondary sexual characters should correlate with given male's quality of ejaculate, according to previous research. The literal part of this paper shows us, that the longer the sperm was, the faster, more viable and agile it was. There was a connection between the viability and the length of the middle part of the sperm, that holds the mitochondria. At the same time, sperms with longer tails were faster, as oppose to those with bigger heads, that were slower. This paper was meant to clarify the influence the sperm phenotype on male's ejaculate. For this paper, which focuses on Great tit, the sperm length was chosen as the character of quality. Not only the length of the whole sperm, but also the length of all of its parts were measured. Every one of these parts is associated with the movement and the viability of the sperm in its own way. We tested whether the length of the sperm correlates with characters of the condition or not. The characters we had chosen for this were the length of melanine ornament, the weight of the male, the length of tars and number of leukocytes in blood. The results show that the length of the sperm head correlates with the length of melanine ornament of Great tit. We didn't find any other connection among the other secondary sexual characters we had chosen.

Key words: sperm morphology, individual condition, Parus major, Great Tit

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Cíle práce	11
3	Literární rešerše.....	12
3.1	Spermie ptáků.....	12
3.1.1	Kvalita spermií a jejich fenotyp	13
3.1.2	Množství spermií v ejakulátu	14
3.1.3	Hemživost spermií	15
3.1.4	Rychlost spermií	15
3.1.5	Délka spermií	17
3.1.6	Morfologie spermií a kompetice spermií	17
3.2	Sekundární znaky	18
3.2.1	Karotenoidní ornamenty.....	19
3.2.2	Melaninové ornamenty.....	20
3.2.3	Další druhotné sexuální ukazatele.....	21
3.3	Diskuze k literární rešerši a závěry z ní plynoucí.....	21
4	Vlastní práce.....	23
4.1	Modelový druh	23
4.2	Metodika.....	24
4.2.1	Analýza spermií	24
4.2.2	Statistická analýza dat	25
4.3	Výsledky	27
4.4	Diskuze.....	31
4.5	Závěr	32
5	Zdroje literatury	34
6	Přílohy.....	43

1 Úvod

Sexuální selekce (též pohlavní výběr) je založena na dvou hlavních částech a to kompetici mezi samci a dále na samičím výběru (Andersson 1994). Fenotypy pářících se jedinců jsou upřednostňovány pohlavním výběrem na základě prekopulačních procesů (tj. na úrovni výběru mezi jedinci) anebo postkopulačních procesů (tj. na úrovni pohlavních buněk – spermií a vajíček, Birkhead a Pizzari 2002). Jednotlivci v populacích se mnohokrát liší ve způsobu řešení těchto sociálních a ekologických výzev. Každý jedinec může zvolit odlišnou strategii v získávání zdrojů a reprodukční soutěži (Kuerthy et al. 2015).

Kvůli schopnosti uspět při sexuálním výběru se vyvinula široká škála ozdob, nazývaných sexuální znaky (též ornamenty). Každý druh má jiný způsob pro zaujetí protějšku. Jedná se o velikost rohů u býků, velikost klů slonů atd. Nejen u velkých savců se vyskytují druhotné sexuální znaky. Například u ryb se jedná o zbarvení rozmnožovací oblasti. Sexuální znaky také slouží jako indikátory rysů kvality jedince (Simon et al. 2014). Individuální kondice závisí a odráží se na jeho schopnosti investovat jak do sekundárních pohlavních znaků, tak do znaků ejakulátu (počet spermií a velikost spermií). Sexuální rysy mohou signalizovat kvalitu spermií (Mehlis et al. 2013).

U ptáků se nejvíce jako sexuální znaky uplatňuje zbarvení peří. U druhů, kde byli samci více zbarveni, bylo dokázáno, že jsou daleko energičtější a plodnější, než méně zbarvení jedinci (Jones et al. 2014). Zbarvení sexuálních ornamentů samce závisí na tom, zda je samec schopný kopulovat za oxidačního stresu. Protože s oxidačním zatížením dochází zároveň k poškození ornamentace (Mehlis et al. 2013). Ptačí ornamenty bývají tvořeny karotenoidy, melaniny a nebo porfiriny, podle kterých si samice vybírají samce při předkopulačních výběrech (Mehlis et al. 2013; Calhim et al. 2009). U ptáků je důležitým sexuálním ukazatelem kvality samce také jeho zpěv (Hector et al. 2010).

Hlavní funkce spermií, samčích pohlavních buněk, je oplození vajíčka. Navzdory tomuto univerzálnímu účelu existuje mezi živočichy obrovská odlišnost ve fenotypu spermií (Pitnick et al. 2009). Fenotyp spermií je charakteristickým znakem nejen pro

jednotlivé druhy, ale i pro individuální samce v rámci jednoho druhu (Birkhead & Fletcher, 1995).

Proto cílem rešerše je porozumět kvalitě ejakulátu, prezentovat jednotlivé ukazatele kvality s jejich vlastnostmi a zjistit, zda samice podle fenotypu samce může určit kvalitu jeho spermatu. První část literární rešerše je věnována popisu spermií v závislosti na sekundárních sexuálních znacích a popisu vybraných sexuálních znaků. Vlastní práce je zaměřena především na délku spermií a její vztah k sekundárním znakům.

2 Cíle práce

Cílem rešerše je zjistit souvislost mezi fenotypem spermií a sekundárními a kondičními znaky jedince.

Vlastní výzkum je zaměřen na hodnocení individuální kondice samce na základě vybraných ukazatelů kondice samce ve vztahu k fenotypu spermií daného samce. Výzkum probíhal na spermiích sýkory koňadry (*Parus major*), kde podle znaků určujících kvalitu (délka melaninového pruhu, počet leukocytů v krvi, váha samce a délka tarsu) byla porovnávána délka spermie a délky jednotlivých částí spermie. V práci se předpokládá pozitivní souvislost kondičních znaků s délkou spermie, podle dřív zjištěných výsledků v této teorii. Předpoklad byl doložen v několika vědeckých publikacích, které budou zmíněny v literární rešerši. Cílem vlastní práce je tuto souvislost ověřit.

3 Literární rešerše

Tato část je věnována rozboru dřívějších výzkumů věnovaným fenotypu spermií ve vztahu s individuální kondicí samce. Nejprve je popsána ptačí spermie. Je zde popsána souvislost mezi kvalitou ejakulátu a sekundárními sexuálními ukazateli. Pro pochopení této souvislosti je v práci vysvětleno, co je kvalita ejakulátu. Poslední část je věnována některým ze sekundárních sexuálních znaků. Především je zaměřena na barevné ornamenty ptáků, protože s tou je spojena i vlastní práce.

3.1 Spermie ptáků

Samčí pohlavní buňky ptáků jsou složeny ze dvou hlavních částí. Tyto dvě části se skládají z hlavy (head) a bičíku (flagellum). Bičík, konečný úsek spermie, se dále dělí na střední část, neboli krček (midpiece; Koehler et al. 1995) a konečnou část, bičík. U krčku se ve skutečnosti jedná o velkou mitochondrii. Hlavička spermie má špičatý akrozom, spirálovitě tvarovanou střední část a charakteristicky protáhlý midpiece (Immler et al. 2005). Přepokládá se, že samci disponující delším krčkem mají rychlejší spermie a to právě díky mitochondrii, která v buňce funguje jako zásobárna energie (Calhim et al. 2009) a na bičík (Koehler et al. 1995). Zatímco spermie savců se pohybují za pomoci mrskání bičíkem, spermie ptáků se pohybují rotováním kolem vlastní osy (Vernon & Wooley 1999).

V celkové průměrné délce spermií u ptáků je vysoká mezidruhová diverzita. Spermie ptáků jsou relativně dlouhé, jejich velikost se pohybuje v rozmezí od 42,7 μm u ťuhýka obecného (*Lanius collurio*; Briskie et al. 1997) do 291 μm u strnada rákosního (*Emberiza schoeniclus*; Dixon & Birkhead 1997).

3.1.1 Kvalita spermií a jejich fenotyp

Kvalita spermií se určuje čtyřmi hlavními znaky. Těmito znaky se rozumí počet spermií v ejakulátu, schopnost spermií pohybovat se v ejakulátu, rychlost spermií a délka spermií (Mautz et al. 2013; Cramer et al. 2013). Těmito ukazateli kvality se budou zabývat podrobněji následující kapitoly a to za účelem zjištění souvislosti kvality spermie se sekundárními sexuálními ukazateli.

Fenotyp je vnějším vyjádřením genotypu. Jedná se o soubor všech znaků organismů, které lze jednoduše zjistit přímým pozorováním jedince. Fenotyp tvoří určité formy znaků, jako například barva a velikost (Kočárek 2004). V našem případě se jedná o délku spermie a délku jejích jednotlivých pozorovatelných částí.

Fenotyp spermie může souviset se vzhledem samce (Calhim et al. 2009). Experimentálně bylo zjištěno, že fenotyp spermií a ornamentace samců mohou být dávány do kontextu pro společnou reakci na oxidativní stres (Helfenstein et al. 2010a). K oxidativnímu stresu dochází při nedostatku kyslíku uvnitř buněk, čímž vznikají volné radikály, které zvyšují oxidativní charakter a zvyšují redoxní reakce uvnitř buněk (Mautz et al. 2013), tím dochází k poškození kvality ejakulátu.

Melaninové a karotenoidové pigmenty mohou mít funkci antioxidantů, pokud jsou využity na vychytávání volných radikálů, pak už nemohou být využity na stavbu ornamentu. Lze tedy předpokládat, že méně zbarvení samci mají méně kvalitní sperma, protože samci, kteří se dokáží lépe bránit volným radikálům, zároveň dokáží ochránit i své sperma před poničením z oxidačního stresu. Intenzita zbarvení ornamentu tedy souvisí s kvalitou ejakulátu, což bylo potvrzeno u lososa obecného (*Salmo salar*; Vladic & Jarvi 2001), pyskouna proměnlivého (*Symphodus melops*; Uglem et al. 2001), slunečnice velkoploutvé (*Lepomis macrochirus*; Burness et al. 2004) a u živorodky duhové (*Poecilia reticulata*; Malo et al. 2005b). Souvislost kvality spermií se vzhledem byla prokázána i u lidí. Muži s atraktivnějším obličejem disponovali lepším fenotypem spermie a celková kvalita ejakulátu těchto samců byla lepší (Pawlowski, Dumback, Lipowitcz 2000).

Nejen vzhled samce, ale i jeho velikost koreluje pozitivně s kvalitou spermatu. To znamená, že čím větší samci byli, tím kvalitnějším ejakulátem disponovali (Møller & Jennions 2001).

3.1.2 Množství spermií v ejakulátu

Kvantita spermií v ejakulátu samce je jeden z nejdůležitějších faktorů úspěchu při rozmnožování u většiny druhů. Například samci kura domácího (*Gallus gallus*) strategicky investují velké množství spermií do rozmnožování (Cramer et al. 2013). S vyšším počtem spermií v ejakulátu se zvětšuje úspěch v soutěži spermií. Tito samci jsou konkurenceschopnější. Zároveň se u těchto samců zvyšuje podíl otcovství (Parker & Pizzera 2010). U lidí a domestikovaných zvířat bylo prokázáno, že čím méně měl samec spermií, tím byla jeho šance na oplodnění samice menší (Hasson & Stone 2009). Objem ejakulátu může souviset s několika faktory, jako je dostupnost potravy, příbuzenská plemenitba, fenotypový vzhled samce a další (Mautz et al. 2013).

Jedním z těchto činitelů ovlivňujících množství spermií v ejakulátu, je vzhled samce a jeho fyzické vybavení. Vztah druhotných sexuálních znaků a rysů spermií předpovídají konkurenceschopnost ejakulátu na plodnost samice (Mautz et al. 2013). Například u hmyzu, samci vybavení delšími bílými chlupy na stehnech, které reprezentují druhotné sexuální znaky u pilatky osikové (*Caliroa varipes*), měli více spermií než samci, kteří měli chlupy kratší (Jones et al. 2014).

Dalším z vnějších vlivů na objem ejakulátu, na kterém byly provedeny výzkumy, je souvislost mezi sekundárními sexuálními znaky samce a množství spermatu. Některé aspekty ejakulátu jsou závislé na stavu samce, což znamená, že podle vzhledu sekundárních znaků se dá určit kvalita spermií samce. Samec, který se vyznačuje lepší kondicí, může investovat více do druhotných znaků a ejakulátu (Mautz et al. 2013). To potvrzuje i tvrzení Pilastro et al. (2004), že méně zdobení samci živorodky duhové (*Poecilia reticulata*), kteří disponují karotenoidními ornamenty, nejsou tak úspěšní při oplodňování samic a disponují menším počtem spermií v ejakulátu. Například u hořavky duhové (*Rhodeus amarus*) souvisel objem ejakulátu se zbarvením samce. Tito samci byli úspěšnější při oplodňování samic (Smith et al. 2014). Celkově se tedy dá říct, že jak zbarvení samce, tak i jeho velikost koreluje s počtem spermií v ejakulátu (Džbán & Evans 2001; Evans et al. 2002).

Déle pářící se samci mají větší šanci při kopulaci vypustit více spermií. Doba trvání kopulace tedy souvisí pozitivně s četností spermií. (Pilastro et al. 2004). Při postkopulačním výběru jsou spermie všech samců, se kterými se samice spářila,

vystaveny soutěži (Lüpold et al. 2009a). Avšak schopnost samic uskladňovat sperma je relativně krátká a to 7 – 9 dní. Sperma je skladováno v kloace ve skladovacích kanálcích (Calhim et al. 2009).

3.1.3 Hemživost spermií

Motilita neboli hemživost spermií (počet pohyblivých spermií v ejakulátu) spolu s rychlostí plavání spermií je hlavní složkou určující jejich konkurenceschopnost (Helfenstein et al. 2010a). Energetické zatížení ptáků způsobuje snížení motility a to především u samců s méně výrazným zbarvením. Například při uměle zvýšené energetické zátěži u sýkory koňadry došlo ke snížení pohyblivosti spermií a to hlavně u právě zmíněných méně ornamentovaných jedinců (Helfenstein et al. 2010a). Pozitivní vztah mezi pohyblivostí spermií a zbarvením opeření samce byl potvrzen u amadiny Gouldové (*Erythrura gouldiae*).

Pohyblivost spermií, je podle některých studií zároveň ovlivněna sociálním prostředím, ve kterém samec žije. Čím silnější je konkurence mezi samci v daném prostředí, tím pohyblivější spermie jsou samci nuceni produkovat (Immler et al. 2010; Cornwallis & O'Connor 2009).

3.1.4 Rychlost spermií

U promiskuitních živočichů dochází k mimopárové kopulaci, neboli EPC – extra pair copulation (dále jen EPC). Jedná se o rozšířenou reprodukční strategii mnohých sociálně polygamních, ale zároveň i monogamních druhů, kteří si tak zajišťují větší šanci předání své genetické informace. Kvůli promiskuitě dochází k soutěži spermií (Wolff & Macdonald 2004). Kompetice spermií spočívá v tom, že spermie daného samce dosáhne vajíčka dřív, než spermie ostatních samců (Mautz et al. 2013). Proto rychlost spermií je jeden z klíčových faktorů ovlivňujících soutěž spermií (Lüpold et al. 2009a). S oplodněním vajíčka koreluje pozitivně rychlost a životaschopnost spermie u savců (Malo et al. 2005a), ptáků (Cramer et al. 2013), mořského ježka (Levitan et al. 2000) a u ryb (Burness et al. 2004; Gage et al. 2004; Cramer et al. 2013). U ryb bylo zároveň zjištěno, že rychlost je větší u druhů s větší konkurencí spermií (Fitzpatrick et al. 2009). Rychlejší jsou zároveň spermie, které rychleji syntetizují ATP (jednotku energie, která jim dodává „palivo pro pohon“; Forman a Feltman et al. 1998). Zároveň je prokázáno, že samci, kteří disponují většími varlaty,

zároveň produkují více spermií, které jsou rychlejší (Lifjeld et al. 2010). Celkově je prokázáno, že čím je ejakulát rychlejší, tím je celkově kvalitnější (Gage et al. 2004, Smith et al. 2012).

Rychlost spermie může také souviset se zbarvením samce. Výrazněji zbarvení samci měli nejen rychlejší spermie, ale zároveň byly spermie i pohyblivější. Tato závislost byla potvrzena především u ryb (Pitcher et al. 2007; Locatello et al. 2006; Mehlis et al. 2013).

Rychlost spermií je důležitým ukazatelem u vnějšího oplození (Mehlis et al. 2013), samci s rychlejšími spermii mají relativně větší šanci na oplodnění vajíčka, protože spermie cestují na delší vzdálenost. V případě vnějšího oplození je rychlost ejakulátu kvůli konkurenceschopnosti důležitější, než jeho hustota, zatímco u vnitřního oplození je naopak důležitá právě hustota ejakulátu (Beausoleil et al. 2012).

Nejvýznamněji se na rychlosti spermii podílí její velikost, nebo velikosti jednotlivých částí spermie. Tyto, celkově delší spermie, vykazují větší hnací sílu (Jones et al. 2014) a to jak v širokém rozměru taxonů, tak i mezi samci téhož druhu. To bylo prokázáno u ptáků (Lüpold et al. 2009a; Hossman et al. 2008), savců (Malo et al. 2005a; Gomendio & Roldan 1991, 2008), nebo u ryb (Fitzpatrick et al. 2009). Zároveň byly publikovány studie, které ukazují, že rychlost neovlivňuje celková délka spermie, ale její jednotlivé části. Rychlost spermie se zvětšuje s délkou bičíku a krčku, to bylo prokázáno u vlhovcovitých (*Icteriidae*; Lüpold et al. 2009b) a to kvůli většímu zdroji energie nebo větší hnací síle. Naopak větší hlava spermii zpomaluje. Problém velké hlavy se vyskytuje v první řadě u vlhovcovitých (*Icteriidae*). Toto zjištění naznačuje, že i když samci vytváří spermie s delšími bičíky, není to výhodné, když tyto spermie disponují zároveň většími hlavičkami, protože spermie s většími hlavičkami vytváří větší odporové síly při pohybu spermie (Lüpold et al. 2009a).

Pochopitelně rychlost spermie nekoreluje u všech druhů pozitivně s délkou spermie. U emu hnědého (*Dromaius novaehollandiae*) bylo prokázáno, že rychlost spermií nesouvisí s délkou bičíku spermie (Jones et al. 2014). U břehule říční (*Riparia riparia*) bylo zjištěno, že kratší spermie jsou naopak rychlejší, protože tyto spermie

disponovaly pohyblivějšími bičíky a pomocí častějšího mrskání bičíkem se rychleji pohybovaly (Helfenstein et al. 2008). U živorodky duhové (*Poecilia reticulata*) rychlost spermie nekoreluje s celkovou velikostí spermií ani délkou spermie.

3.1.5 Délka spermií

Délka nejvíce souvisí s rychlostí spermií, jak bylo zmíněno o odstavce výš. Délka spermie však koreluje i s dalšími fenotypovými znaky samce a i samotných spermií. Těmto znakům se budu v rámci této kapitoly věnovat.

Celková délka spermií se zvětšuje u druhů s větší kompeticí (Lüpold et al. 2009a). Delší spermie zvyšují úspěch při oplodnění, jsou tedy konkurenceschopnější při soutěži spermií (Hunter & Birkhead 2002, Rowe & Pruett – Jones 2011). Je to zapříčiněno skutečností, že tyto spermie jsou životaschopnější (Fry & Wilkinson 2004, Smith et al. 2012). Tato skutečnost byla prokázána u mnoha taxonů – motýli, savci, obojživelníci, ryby, primáti, hadi (Mautz et al. 2013). Úspěch při oplodnění se zvětšuje s délkou spermií i u hmyzu (Cramer et al. 2013).

Jeden ze znaků, který může korelovat s délkou spermie, je zbarvení samce. Délka spermie pozitivně koreluje s melaninovým zbarvením náprsenky u zebřičky pestré (*Taeniopygia guttata*; Birkhead et al. 1995). Velikost spermie souvisí s melaninovým zbarvením i u lejska černohlavého (*Ficedula hypoleuca*). Tito samci zároveň hnízdili na lepších místech než samci, jejichž ejakulát obsahoval kratší spermie (Calhim et al. 2009). U hlaváče černého (*Gobius niger*) naopak byla vyvrácena souvislost mezi ornamentem a délkou spermií (Rassoto & Mazzoldi 2002).

3.1.6 Morfologie spermií a kompetice spermií

Mimopárové paternita (EPP – extra pair paternity) vzniká v okamžiku, kdy dva anebo i více samců musí soupeřit mezi sebou o možnost oplození vajíčka (Birkhead et al. 1998). Je to následkem promiskuity samců a samic. Soutěž spermií je důležitým hybatelem při vývoji designu spermií a jejich funkčnosti. Soutěž spermií dále udržuje silný výběrový tlak na kvalitu spermií (Immler et al. 2008). Úroveň kompetice spermií je pozitivně spjata s morfologií spermií, která ovlivňuje rychlost

spermií (Lüpold et al. 2009a). Morfologie spermie, tj. velikost, tvar a funkce jsou důležité faktory ovlivňující samčí reprodukční úspěšnost (Immler et al. 2010).

Při pokusech na amadině Gouldové (*Erythrura gouldiae*), kdy byli méně i více zbarvení samci umístěni do vysoce konkurenčního prostředí, vzrostla délka krčku jejich spermií. V případě, kdy lépe zbarvení samci byli umístěni do prostředí s menší konkurencí, vzrostla délka bičíku spermie (Immler et al. 2010).

3.2 Sekundární znaky

Tato část je věnována jen pro představu některým sexuálním znakům, které mohou vyjadřovat kvalitu spermií samce, a pro seznámení s ornamenty způsobujícími zbarvení, jako jsou například melaninové a nebo karotenoidní. Lépe ornamentovaní samci mají více spermií a zároveň spermie rychlejší. Dále se část této kapitoly věnuje druhotným ornamentům, jako jsou rohy, váha, velikost různých částí samčího těla. Role samčí výzdoby v sexuálním výběru byla široce studována. Samčí ozdoby působí jako poctivé ukazatele ziskovosti, protože pouze samci s vysokou genetickou kvalitou jsou schopni vyvíjet a udržovat komplikované rysy (Lai et al. 2013). Těmito znaky mohou být také zbarvení, ozdoby, pachy a různé předkopulační námluvy (Smith et al. 2014).

Především ptáci jsou skupinou, u níž se mimořádně rozvinulo využívání zbarvení povrchu těla (opeření) jako znamení, zejména vůči sexuálnímu partnerovi či konkurentovi. Je to podmíněno na základě jejich podstatně dokonalejšího vnímání barev. Ptáci vidí světlo v rozmezí 320 – 700 nm (Hart 2001). Rozlišují dvojnásobně víc barevných odstínů než člověk a čtyřnásobně víc než většina ostatních savců (Hastad 2003). Sexuální ornamenty mohou naznačovat způsobilost samce vzdorovat cizopasníkům, fitness, silnou imunitu, vysoký status dominance a u ryb pak schopnost vyhnout se predátorům (Lai et al. 2013).

Nejčastějšími pigmenty v opeření jsou melaniny, karotenoidy a porfyriny. Jakýkoli způsob produkce zbarvení ukazuje na jinou složku kvality jedince, protože každá složka je přijímána jiným způsobem. Dokonce i bílá barva, která je podle všeho nejméně náročná na vytvoření (neobsahuje žádný pigment), může být u některých druhů signálem kvality (Kose et al. 1999; Török et al. 2003). Ačkoli zde produkce

bílého ornamentu není nákladná, je náročné jeho udržování v hodnotném stavu (Bortolotti 2006).

V rámci této kapitoly se rozepisují o karotenoidních a melaninových ornamentech způsobujících zbarvení samců. Je to z důvodu, že tyto ornamenty jsou nejvýraznější a bylo na nich provedeno nejvíce výzkumů a často u nich byla prokázána souvislost s fenotypem spermií. Melaninový ornament je zde zároveň zmíněn z důvodu, že pruhem právě s melaninovým původem disponují sýkory koňadry (*Parus major*) na jejichž spermiích je prováděn výzkum.

3.2.1 Karotenoidní ornamenty

Červené, oranžové a žluté zbarvení u plazů a u ryb je většinou karotenoidního původu (Lai et al. 2013). Zvířata nedokáží karotenoidy syntetizovat de novo, a tak je přijímají v potravě (Peters et al. 2013). Karotenoidy jsou známy také pro své antioxidační vlastnosti (Mehlis et al. 2013) v důsledku jejich schopnosti zachycovat volné radikály a rozložit reaktivní kyslíkové metabolity (Peters et al. 2013), což samcům pomáhá zvládat oxidační stres (Beausoleil et al. 2012). V důsledku toho by mohlo karotenoidní zbarvení fungovat jako čestný signál nejen schopnosti jedince najít potravu (Hill & McGraw 2006), ale také jako ukazatel kondice a zdraví (viability indicator hypothesis). To je důležité, protože samci mají omezené množství antioxidantů v těle (Butler et al. 2013). Proto se předpokládá, že samci s větším množstvím karotenoidů dokážou lépe ochránit spermie a mít barevnější ornamenty, protože oba tyto znaky mohou podléhat oxidačnímu poškození nebo mutaci (Beausoleil et al. 2012). Při poškození spermií oxidačním stresem dochází k poškození lipidů, proteinů a i celkové DNA spermie (Helfenstein et al. 2010b).

Samci s menším zbarvením při oxidačním stresu trpí nejen zpomalením spermií, ale snižuje se i jejich schopnost plavání (Helfenstein et al. 2010b). Doba kopulace pozitivně souvisí se stupněm karotenoidů v plazmě, což znamená, že čím lepší karotenoidní zbarvení samce, tím déle kopulace probíhala (Pilastro et al. 2004).

Například u koljušky tříostné bylo zjištěno, že výrazně zbarvení samci mají rychlejší spermie (Mehlis et al. 2013). Je tomu tak i v případě samců plotice (*Clinostomus elongatus*). Samice živorodky duhové (*Poecilia reticulata*) preferovaly lépe zbarvené

samce (Amcoff et al. 2013). Tmavší zbarvení karotenoidových skvrn, které se vztahuje k rychlejšímu spermatu, bylo již dříve potvrzeno u kachen divokých (*Anas platyrhynchos*) a jelčika rudobokého (*Clinostomus elongatus*; Beausoleil et al. 2012).

3.2.2 Melaninové ornamenty

Melaniny jsou pigmenty, které jsou nejpočetněji zastoupeny v těle ptáků, ale i jiných zvířat (McGraw et al. 2006b). Melaniny jsou produktem metabolismu některých aminokyselin (tyrosin a fenylalanin; Griffith et al. 2006). Způsobují tmavě hnědé, nebo černé zbarvení (King et al. 2006). Ornamentům melaninového původu není přisuzována při sexuálním výběru taková důležitost jako ornamentům karotenoidním. Důvodem může být skutečnost, že melaniny nezpůsobují pestré zbarvení, nebo také to, že jsou syntetizovány uvnitř těla ptáků a nejsou tedy potravně limitovány (Jawor & Breitwich 2003). U melaninových ornamentů byla nalezena souvislost s fenotypem spermií. Melaninové zbarvení signalizuje kvalitu nejen spermií, ale i celkově samců. Zároveň, u lejska černohlavého (*Ficedula hypoleuca*) je tmavší zbarvení dědičné, tedy geneticky přenosné (Slagsvold & Lefjeld 1992), což by bylo pro samici velice důležité při výběru samce pro zajištění kvalit potomků. Melaninový ornament je zároveň závislý na věku jedince. Signalizace kvality spermií v závislosti na melaninovém ornamentu bylo prokázáno i na vlaštovkách obecných (*Hirundo rustica*), kdy toto zbarvení odpovídalo reprodukčnímu úspěchu samců (Safran a McGraw 2004).

3.2.3 Další druhotné sexuální ukazatele

Dobře vyvinuté ornamenty podávají informaci o plodnosti samce (Jones et al. 2014). Příklady těchto znaků jsou rohy, velikost hřebene nebo námluvní písně v případě ptáků (Rahman et al. 2013). Samci mečovky se vyznačují přítomností mečovitého výrůstku na zadní ploutvi a dobře vyvinutým genopodiem (tj. řitní ploutev přizpůsobená k přenosu spermií). Tento znak byl pro samice velmi důležitý, protože samice upřednostňovaly samce s delším mečem, kteří měli lépe vyvinuté genopodium (Hernandez-Jimenez & Rios-Cardenas 2012). Tyto výsledky byly potvrzeny i u hmyzu, kdy samice pilatky osikové (*Caliroa varipes*) upřednostňovaly samce s rozsáhlejší výzdobou přední nohy (Jones et al. 2014). Samci pilatky osikové, kteří byli více zdobení, měli větší pohlavní orgány a to pozitivně souviselo s produkcí spermií s delšími ocásky, které měly větší hnací sílu (Jones et al. 2014). Tato zjištění podporují hypotézu závislosti plodnosti na fenotypu spermie. U samců s většími sekundárními pohlavními znaky byla výrazně vyšší životaschopnost spermií (Mautz et al. 2013).

Je mnoho dalších druhotných ukazatelů, které souvisí s kvalitou spermií. Zde jsou vytyčeny jen některé, nejvíce známé z nich.

3.3 Diskuze k literární rešerši a závěry z ní plynoucí

Práce pojednávající o fenotypu spermie a sekundárních sexuálních znacích jsem vyhledávala za použití databází odborných článků (web of science, web of knowledge). Tyto články jsou seřazeny v příloze v tabulce 4. Předešlé studie dochází ve svých závěrech k rozdílným výsledkům. Kvůli těmto rozdílům, ke kterým došlo při zkoumání vztahu mezi sekundárními znaky a fenotypu spermie, nelze jednoznačně tyto výsledky potvrdit.

Nejvíce nalezených výzkumů, kterých bylo 40 z celkového počtu 70 článků, se zabývaly množstvím spermií v ejakulátu a pohyblivostí spermií ve vztahu k sekundárním znakům samce. Tato souvislost byla prokázána u ryb (Evans & Magurran 2002; Pilastro et al. 2002; Smith et al. 2014), ptáků (Helfenstein et al. 2010a, Peters et al. 2004) a hmyzu (Jones et al. 2015). Všechny tyto práce tuto souvislost potvrzují. Žádné mnou vyhledané studie ve svých výsledcích netvrdí opak.

V tomto případě je teorie souvislosti druhotných znaků s množstvím spermií a s pohyblivostí těchto spermií prokázána i v rámci různých druhů živočichů.

Za nejdůležitějšího ukazatele vyjadřující kvalitu spermie je považována rychlost spermie, která často souvisí s její délkou. Souvislost mezi délkou a rychlostí spermie byla prokázána u ptáků (Lüpold et al. 2009; Mossman et al. 2009) a savců (Malo et al. 2006). Studie Helfenstein et al. (2008) měla však opačné výsledky, kdy naopak kratší spermie ptáků byly rychlejší. I kvůli této studii se nedá jednoznačně určit, zda spolu tyto dvě veličiny souvisí, a pro ověření této souvislosti by mělo proběhnout více studií na dalších živočišných druzích. Další studie byly zaměřeny na souvislost těchto veličin (délek spermie a rychlosti spermie) se sekundárními znaky samce. Souvislost mezi délkou spermie a ornamentací byla potvrzena u ptáků (Birkhead et al. 1995) a ryb (Mehlis et al. 2013; Pitcher et al. 2007).

Celkové shrnutí výsledků dosažených v jednotlivých studiích je poměrně komplikované, protože některé z těchto prací nepodávají celkové informace na související téma, ale pouze částečné závěry. Ze 70% byla nalezena souvislost zbarvení samce nebo jinými druhotnými sexuálními znaky s kvalitou ejakulátu. Kvalita spermie je vyjádřena délkou spermie, rychlostí spermie, množstvím spermií v ejakulátu a pohyblivostí spermií. Ve většině výzkumů se jednalo o vztah délky spermie s ornamentací samce u ptáků. Při tak vysokém procentu potvrzujícím tuto souvislost se dá hovořit o tom, že druhotné znaky samců jsou dostatečně kvalifikující k vyjádření kvality ejakulátu samce. Zbýlých 30% prací tuto souvislost vyvrací.

4 Vlastní práce

4.1 Modelový druh

Sýkora koňadra (*Parus major*), druh z čeledi sýkorovitých (*Paridae*), řádu pěvců (*Passeriformes*) je největší sýkora vyskytující se v České republice (Hanzák 1963; Šťastný & Hudec 2011). Na našem území je sýkora koňadra převážně stálým ptákem (Cepák 2008), vyskytuje se v lesích všech typů (do 1200 m n. m.), ale také ve městech a městských částech, jako jsou parky, sady, remízky atd. (Šťastný & Hudec 2011). Samec po rozpadnutí zimních hejn označuje hnízdní okrsek zpěvem. Hnízdo je umístěno v budkách, v dutinách stromů, případně v dutinách pařezů (Hudec, 1983). Sýkora koňadra hnízdí dvakrát do roka a o potomstvo se starají oba rodiče (Šťastný & Hudec, 2011).

Samice sýkory koňadry si partnery v maďarské populaci vybíraly podle středního melaninového pruhu a celkově lepšího zbarvení samce (Hegyi et al. 2007) v jiných populacích si samice mohou partnery vybírat i podle jiných indikátorů kvality (např.: zpěv, délka křídel). Samci s širším středním pruhem byli reprodukčně úspěšnější a párovali se se samicemi, které měli větší snůšky (Norris 1990a). Samice dále volí samce podle konzistentních rysů v chování (Kees van Oers et al. 2008). Dále u sýkor bylo potvrzeno, že samce volí i podle zpěvu (Hector et al. 2010).

4.2 Metodika

Data byla získána v Čimickém háji (50°13'05.575"N, 14°44'17.083"E) a Ďáblickém háji (50°13'51.928"N, 14°46'42.175"E) v Praze 8 – Kobylisích (mapa 1 a mapa 2 viz Přílohy). Výzkum probíhal v roce 2015 na přelomu dubna a května, kdy sýkory koňadry začínají hnízdit. Na obou lokalitách je nainstalováno celkem 267 budek s rozestupy 50 metrů ve výšce 3 m. Nejprve byla zjištěna obsazenost budek sýkorou koňadrou. Budky obsazené sýkorou koňadrou se chodily kontrolovat a počítala se vajíčka. Později, po vylíhnutí mláďat, která se zvažila a označila, byli odchyťováni samci, kteří se vraceli s potravou do hnízda. Samci byli odchyťováni do ornitologických sítí, neboli do nárazových sítí. Síť byla natažena ve výšce budek a její šířka byla 4-6 m. Těmto samcům byl odebrán vzorek ejakulátu. Tento vzorek byl vložen do 10% formalínu. Sperma se získává jemným masírováním kloakální protuberance (Wolfson, 1952). Vzorky spermatu byly opatřeny identifikačním číslem a datem s rokem sběru. Data o váze samců, délce tarzu a velikosti plochy melaninového pruhu mi byla poskytnuta z databáze.

4.2.1 Analýza spermií

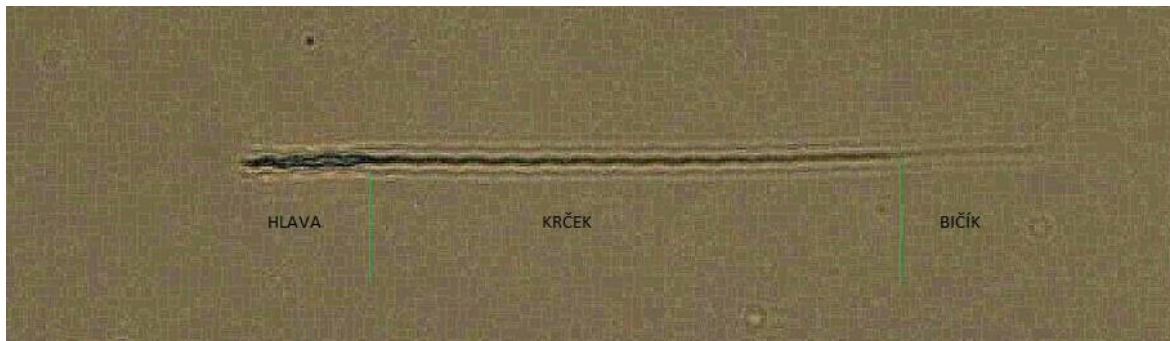
Nejprve byly zkumavky s roztokem 10% formalinu, ve kterém byly spermie, stočeny na centrifuze na 500 otáček za minutu. Ihned poté za pomoci 10 μ l pipety byl vzorek, který se nabíral od spodu pipety, nanesen ve smyčkách na podložní sklo. Daný vzorek se na podložní sklo nanášel 3 krát. Přes noc skla byla ponechána oschnout. Následující den byla skla omyta destilovanou vodou a opět se nechala oschnout, než mohla být mikroskopována.

Ze vzorků ejakulátu na podložních sklech se fotily fotografie digitálním fotoaparátem (Olympus UI-1540-C) pod mikroskopem (Olympus CX41 s fázovým kontrastem) při zvětšení 400x. Pro každého samce bylo vytvořeno 20 fotografií jednotlivých spermií z jednoho nátěru ejakulátu. Focené spermie nesměly být nijak poškozené, tzn. ulámané ocásky, přerušeny krček nebo jiné viditelné vady. Tyto spermie musely mít zcela viditelný začátek hlavičky a konec bičíku.

Vyfotografované spermie byly nahrány do programu ImageJ ver. (REF), ve kterém byly měřeny. Celková délka byla změřena jako suma jednotlivých částí spermie (to je délka hlavičky, délka krčku a délka bičíku; Obrázek 1) v mikrometrech (μ m).

Pro ověření opakovatelnosti měření délky spermie, bylo deset náhodně vybraných samců opětovně přeměřeno.

Obrázek 1: Části spermie sýkory koňadry (zdroj vlastní data)



4.2.2 Statistická analýza dat

Ve stanoveném vzorku dat byla nejprve vypočítána opakovatelnost (repeatability). Opakovatelnost byla počítána podle metody Lessells & Boag (1987). V této studii se opakovatelnost počítala pro chybu měření při opakovaném měření, na rozdíl od jiných prací, ve kterých se zjišťovala opakovatelnost například v průběhu měsíců, sezón. Na základě statistické metody ANOVA (analýza variace) byla vypočítána opakovatelnost byla vypočítána pro všechny tři komponenty spermie a zároveň pro celkovou délku spermie.

Míra závislosti mezi proměnnými byla zkoumána za použití lineárních regresních modelů (Crawley 2002), kterých bylo pro účely této práce vytvořeno pět. Testován byl vztah mezi délkou všech pěti komponent spermie a sekundárními znaky. Vysvětlovanou proměnnou v této analýze byli hlavička, krček, bičík, celková délka spermie a korelační koeficient. Zatímco vysvětlujícími proměnnými byli délka tarsu samce, plocha melaninového ornamentu a standardizovaná hmotnost samce nebo znaky vyjadřující kondici samce (počet leukocytů v krvi samce).

Jednalo se o celkové modely, zkoumající vliv jednotlivých proměnných. Proměnné, vysvětlující nejmenší míru variability byly postupně z modelu odstraňovány až do fáze minimálního adekvátního modelu (MAM), což je model, který vede k minimální reziduální chybě modelu (nevysvětlitelné variability dat) za předpokladu, že všechny parametry modelu jsou statisticky průkazné. Metodou ANOVA přitom bylo pokaždé

ověřováno, zda se při jednotlivých krocích změnila variabilita vysvětlená modelem (porovnáván byl model s danou proměnnou a po odebrání dané proměnné z modelu). Aby hodnota byla považována za signifikantní, byla její hodnota p-value $<0,05$.

Míra závislosti mezi proměnnými byla zkoumána za použití lineárních regresních modelů (Crawley 2002). Jednalo se o celkové modely, zkoumající vliv jednotlivých proměnných a zároveň jejich interakcí. Proměnné, vysvětlující nejmenší míru variability byly postupně z modelu odstraňovány až o fáze minimálního adekvátního modelu (MAM). Metodou ANOVA přitom bylo pokaždé ověřováno, zda se při jednotlivých krocích změnila variabilita vysvětlená modelem (porovnáván byl model s danou proměnnou a po odebrání dané proměnné z modelu). Aby hodnota byla považována za signifikantní, byla její hodnota p-value $<0,05$.

Předem byla vytvořena korelační matice s použitím Spearmanova korelačního koeficientu, aby do lineárních modelů nebyly zahrnuty spolu korelující proměnné. Za signifikantní hodnotu byla určena hodnota Spearmanova korelačního koeficientu $r_s \geq 0,6$. Všechny analýzy byly počítány v softwaru R verzi 2.15.3 (R Development Core Team, 2008).

4.3 Výsledky

Veškerá data, která byla použita pro potřebu dané práce, byla získána odběrem spermií od 43 samců sýkory koňadry (*Parus major*).

V tabulce 1 jsou znázorněny veškeré vysvětlované proměnné. Nejvyšší variabilitu v měření měla délka bičíku.

Tabulka 1: Popisná statistika morfologie spermií sýkory koňadry.

N=43

proměnná	průměr ± SD	minimum	maximum
hlava (μm)	15,027 ± 0,736	13,642	16,281
krček (μm)	58,235 ± 2,332	54,177	61,790
bičík (μm)	25,550 ± 2,828	19,294	34,406
celková délka (μm)	98,813 ± 2,522	91,093	109,314
CV _{vs}	2,522 ± 1,930	4,797	1,512

Požadovaná dostačující opakovatelnost, která je znázorněna v tabulce 2, byla nalezena jen u délky bičíku. Ostatní parametry spermie požadované opakovatelnosti nedosáhly.

Tabulka 2: Opakovatelnost jednotlivých komponent spermie při opakovaném měření

proměnná	r	p
hlava	0,65	<0,001
krček	-0,94	0,000
bičík	0,84	0,000
celková délka	0,61	0,000

Pro ověření, že žádné z proměnných mezi sebou nekorelovaly, byly vytvořeny korelační matice. V tabulce 3 jsou hodnoty pro vysvětlované proměnné a v tabulce 4 jsou hodnoty pro proměnné vysvětlující.

Tabulka 3: Korelační matice – zkoumání závislosti mezi sledovanými vysvětlovanými proměnnými za použití Spearmanova korelačního koeficientu.

N = 43

X	hlava	krček	bičik	celá
hlava	1,00			
krček	-0,44	1,00		
bičik	0,11	-0,16	1,00	
celá	0,03	0,22	0,88	1,00

Tabulka 4: Korelační matice – zkoumání závislosti mezi sledovanými vysvětlujícími proměnnými za použití Spearmanova korelačního koeficientu.

N = 43

X	leukocyty	tars	plocha	ms
leukocyty	1,00			
tars	-0,20	1,00		
plocha	0,11	-0,12	1,00	
ms	0,24	0,03	-0,05	1,00

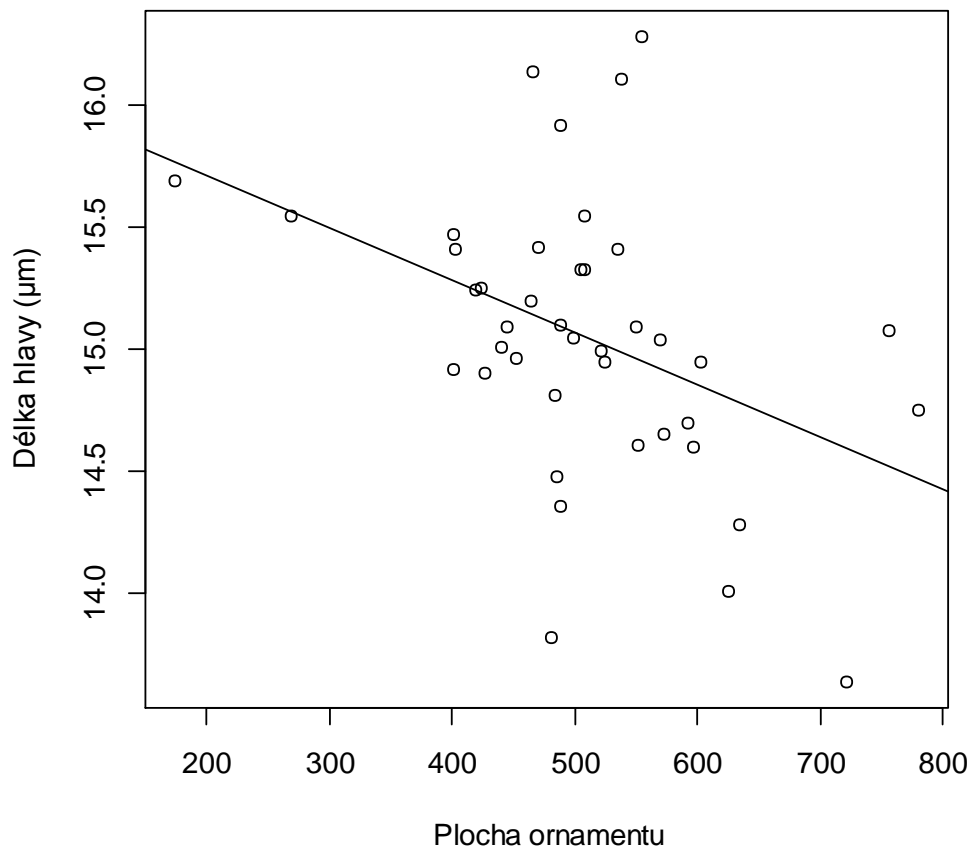
Délka krčku, délka bičíku ani celková délka spermie významně nesouvisely s danými vysvětlujícími. Jediný signifikantní vztah byl mezi délkou hlavičky a plochou melaninového pruhu samce. Tato souvislost je vyjádřena v tabulce 5 a graficky znázorněna na obrázku 2. Ostatní nekorelující proměnné a jejich hodnoty jsou vyobrazeny v tabulkách 5 až 9, viz Přílohy.

Tabulka 5: Vztah délky hlavičky spermie a melaninového pruhu

N= 43, Df = 1

HLAVA	Střední odhad	Chyba	t	p
intercept	16,141	0,391	41,21	< 0,001 ***
plocha	-0,002	0,001	-2,844	0,007 **

Obrázek 2: Graficky vyjádřená závislost mezi délkou hlavy spermie a plochou melaninového ornamentu u sýkory koňadry (*Parus major*).



4.4 Diskuze

V pracích (Pilastro et al. 2006; Peters et al. 2004) byly měřeny rozdíly opakovatelnosti délek spermií samců před kopulací a délek spermií po kopulaci během jedné sezóny, nebo v jiných pracích porovnávali délky spermií samců z jedné populace (Rowe et al. 2010). Na rozdíl od této práce, kde byla opakovatelnost měřena pro chybu v měření způsobenou člověkem. Při měření opakovatelnosti vycházelo nejpřesnější měření pro délku bičíku. Nejmenší přesnost v měření nastala naopak u prostřední části – krčku. Tato chyba může být zapříčiněna skutečností, že nebyl vždy přesně rozeznatelný přelom hlava/krček a nebo zlom krček/bičík. Tyto hranice mohly být při každém měření mírně posunuty. Předpokládáme, že pravděpodobně větší chyba nastávala u zlomu hlava/krček a to pro vysokou hodnotu regresního koeficientu u bičíku, který byl tedy ze všech komponent měřen s nejmenší chybou.

Celková délka spermie u samce nesouvisela v této práci s žádným ze zvolených ukazatelů (délka tarsu, aktuální hmotnost, počet leukocytů v krvi, délkou melaninového ornamentu). Naopak jsou práce, které souvislost celkové délky spermie s ornamentem potvrzují a to u pěvců a u ryb (Birkhead et al. 1995; Calhim et al. 2009; Immler et al. 2010; Malo et al. 2005b; Uglem et al. 2001; Vladic & Jarvi 2001). Výsledek našeho výzkumu se shoduje s výsledkem u hlaváče černého (*Gobius niger*), kde také nebyla nalezena souvislost délky spermie s délkou ornamentu (Rassoto & Mazzoldi 2002). Dále také v jiných pracích byla potvrzena souvislost délky spermie s váhou samce (Locatello et al. 2006; Møller & Jennions 2001). Ani to však práce nepotvrdila, nebyla nalezena žádná souvislost. Zároveň nebyla nalezena ani žádná souvislost délky spermie s absolutním počtem leukocytů v krvi, nebo s délkou tarsu. Absolutní počet leukocytů v krvi je poměr celkového počtu leukocytů v krvi ku relativnímu počtu leukocytů. U počtu leukocytů mohl být nesignifikantní vztah zapříčiněn skutečností, že zvýšený počet leukocytů v krvi vykazuje nezdravý stav samce (REF). Pro příští porovnávání by tedy mohl být zvolen například H/L (poměr heterofilů ku lymfocytům), který koreluje s aktuální kondicí samce či dlouhodobým stresem (REF). I přes použití osvědčené metodiky v měření, opakovatelnost byla velice nízká. I to mohlo zapříčinit rozdílná tvrzení. Důvodem,

proč nebyla nalezena žádná další souvislost s celkovou délkou spermie, může být zapříčiněno volbou vysvětlujících proměnných, které nemají na délku spermie vliv.

Jediný signifikantní vztah z porovnávaných komponent spermie byl nalezen u hlavičky. Byla objevena souvislost délky hlavičky a plochou melaninového ornamentu samce. Naše výsledky ukázaly, že čím větší byla plocha melaninového ornamentu samce, tím měly spermie daného samce kratší hlavu. To znamená, že ornamentovanější samci měli rychlejší spermie, protože jak ukázala práce Lüpold et al. (2009a) provedená u ptáků, samci disponující spermii s většími hlavičkami, měli spermie pomalejší kvůli odporovým silám. Naše výsledky se shodují se studiích provedených na zebřičce pestré (*Taeniopygia guttata*; Birkhead et al. 1995), amadině Gouldové (*Erythrura gouldiae*; Immler et al. 2010), živorodce duhové (*Poecilia reticulata*; Locatello et al. 2006), koljušce tříostné (*Gasterosteus aculeatus*; Mehlis et al. 2013) a na jelenu lesním (*Cervus elaphus*; Malo et al. 2006).

Jako další se porovnávala délka krčku s vybranými komponenty. Zde nebyla prokázána jediná souvislost. Oproti tomu některé práce potvrzují souvislost krčku s vybranými druhotnými ukazateli kvality (Lüpold et al. 2009a; Laskemoen et al. 2010). Zároveň nebyl nalezen žádný vliv délky bičíku na ukazatele, na které byly v této práci aplikovány. I tady existují práce, které ve svém závěru prokazují závislost délky bičíku k ornamentu (Fitzpatrick et al. 2009). V tomto případě mohlo jít opět o chybu v měření, nebo byl rozdílný výsledek způsoben nízkým vzorkem. Žádný signifikantní vztah nevykazoval ani variační koeficient. Příčinou nesignifikantních výsledků mohla být způsobena nízkou opakovatelností v měření. Zároveň s nesignifikantními výsledky může souviset výběr vysvětlujících proměnných, které nijak s fenotypem spermii nesouvisely.

4.5 Závěr

Tato práce byla věnována kvalitativním znakům spermie v souvislosti se sekundárními sexuálními ukazateli, to znamená, jestli samci disponující například lepším zbarvením nebo delšími ocasními pery vlastnili zároveň kvalitnější sperma. Těmito ukazateli kvality byly zvoleny rychlost spermie, množství spermie, její pohyblivost a také délka. Pomocné informace a data jsem hledala v článkách,

nalezených díky vyhledávačům odborných článků (web of knowledge, web of science) a to za užití jistých klíčových slov (fenotyp spermií, morfologie spermií, spermie, rychlost spermií, soutěž spermií, atd.). Každá z těchto kvalit spermie souvisí se sekundárními ukazateli kvality samce. Tyto fenotypové ukazatele si samci vytváří a zdokonalují, aby při předkopulačním sexuálním výběru měli u samic větší šanci na kopulaci před jinými samci. Poté ovšem nastává pokopulační sexuální výběr, zvláště u promiskuitních druhů, kdy závisí právě na zmíněných ukazatelích kvality spermií. Každá z těchto kvalit spermie má svá specifika, kterými přispívá k oplodnění vajíčka samice. Jako nejdůležitější ukazatel kvality je podle těchto publikací především rychlost spermie a množství spermatu v ejakulátu. Rychlost spermie výrazně souvisí s délkou spermie, která se stala hlavním předmětem výzkumu ve vlastní práci.

Ve vlastním výzkumu, který proběhl na sýkoře koňadře, byla zjištěna pouze souvislost délky hlavičky s plochou melaninového pruhu samce. Z tohoto vztahu vyplývá, že samci s větší plochou melaninového ornamentu měli větší šanci na oplodnění samice při kopulaci, protože jak ukázaly předešlé studie, spermie s menšími hlavičkami jsou rychlejší, protože naopak větší hlava spermii zpomaluje. Práce nepotvrdila žádný jiný vliv zvolených sekundárních sexuálních znaků na délku spermie a ani jejích částí. To by mohlo být zapříčiněno na základě zvolení několika konkrétních sekundárních ukazatelů, se kterými spermie sýkory koňadry nijak nekorelují. Pokud by v případném příštím výzkumu bylo zvoleno větší spektrum druhotných znaků, výsledkem by tentokrát mohla být dokázaná souvislost mezi spermií a jedním nebo více sekundárními ukazateli a nebo znaky vyjadřujícími kondici samce. Dále by výzkum měl být opakován víckrát do roka, pro porovnání změn kvality ejakulátu před a po kopulaci samce.

5 Zdroje literary

ANDERSSON M., 1994: *Sexual selection*. Princeton University Press, Princeton.

BEAUSOLEIL J.-M. J., DOUCET S. M., HEATH D. D. & PITCHER T. E., 2012: *Spawning coloration, female choice and sperm competition in the redbreasted dace. Clinostomus elongatus*. *Animal Behaviour* 83: 969–977.

BIRKHEAD T. R. & FLETCHER F., 1995: *Male phenotype and ejaculate quality in the zebra finch *Taeniopygia guttata**. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 262, (1365): 329-34.

BRISKIE J. V., MONTGOMERIE R., & BIRKHEAD T. R., 1997: *The evolution of sperm size in birds*. *Evolution*, 51, (3): 937-945.

BUTLER M. W., KARANFILIAN B., HOMSHER M. & MCGRAW K. J., 2013: *Carotenoid supplementation during adulthood, but not development, decreases testis size in mallards*. *Comparative biochemistry and physiology a-molecular & integrative physiology* 166, (3): 465-469.

BURNESS G., CASSELMAN S.J., SCHULTE-HOSTEDDE A.I., MOYES C.D. & MONTGOMERIE R., 2004: *Sperm swimming speed and energetics vary with sperm competition risk in bluegill (*Lepomis macrochirus*)*. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 56: 65–70.

CALHIM S., IMMLER S. & BIRKHEAD T. R., 2007: *Postcopulatory Sexual Selection Is Associated with Reduced Variation in Sperm Morphology*. *PLoS ONE*. 2, (5): e413.

CALHIM S., LAMPE H. M., SLAGSVOLD T. & BIRKHEAD T. R., 2009: *Selection on sperm morphology under relaxed sperm competition in a wild passerine bird*. *Biology letters*, 5, (1): 58-61.

CEPÁK J., 2008: *Atlas migrace ptáků České a Slovenské republiky: Czech and Slovak bird migration atlas*. Vyd. 1. Praha: Aventinum, 607 s. ISBN 978-80-86858-87-6.

CORNWALLIS C. K. & O'CONNOR E. A., 2009: *Sperm: seminal fluid interactions and the adjustment of sperm quality in relation to female attractiveness*. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 276, (1672): 3467-75.

CRAMER ERA, 2001: *Physically challenging song traits, male quality, and reproductive success in house wrens*. PLoS One 8:e59208.

CRAWLEY M. J., 2002: *Statistical computing*. John Wiley & Sons, Chichester.

DIXON A. & BIRKHEAD T. R., 1997: *Reproductive anatomy of the reed bunting: a species which exhibits a high degree of sperm competition through extra pair copulations*. Condor, 99: 966-969.

EVANS J.P., PITCHER T.E. & MAGURRAN A.E., 2002: *The ontogeny of courtship, colour and sperm*

FITZPATRICK J. L., MONTGOMERIE R., DESJARDINS J. K., STIVER K. A., KOLM N. & BALSHINE S., 2009: *Female promiscuity promotes the evolution of faster sperm in cichlid fishes*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 106: 1128–1132.

FROMAN D.P., PIZZARI T., FELTMANN A.J., CASTILLO-JUAREZ H. & BIRKHEAD T.R., 2002: *Sperm mobility: mechanisms of fertilizing efficiency, genetic variation and phenotypic relationship with male status in the domestic fowl, Gallus gallus domesticus*. Proc. R. Soc. Lond. B 269: 607–612.

FRY C. & WILKINSON G., 2004: *Sperm survival in female stalk-eyed flies depends on seminal fluid and meiotic drive*. Evolution 58, 1622–1626.

GAGE M., MACFARLANE C., YEATES S., WARD R., SEARLE J. & PARKER G., 2004: *Spermatozoal traits and sperm competition in Atlantic salmon: relative*

sperm velocity is the primary determinant of fertilization success. Current Biology 14: 44–47.

GOMENDIO M. & ROLDAN E. R. S., 1991: *Sperm competition influences sperm size in mammals*. *Proceedings of the Royal Society B : Biological Sciences*, 243, (1308): 181-185.

GOMENDIO M. & ROLDAN E. R. S., 2008: *Implications of diversity in sperm size and function for sperm competition and fertility*. *The International Journal of Developmental Biology*, 52, (5-6): 439-447.

GRIFFITH S. C., PARKER T. H. ET OLSON V. A., 2006: *Melanin- versus carotenoid-based sexual signals: is the difference really so black and red?* *Elsevier* 71: 749-763.

HANZÁK J., BOUCHNER M., HUDEC K., 1963: *Světlem zvířat díl II. Ptáci 2*, Praha.

HART N. S., 2001: *The Visual Ecology of Avian Photoreceptors*. *Progress in Retinal and Eye Research*, 20, (5): 675-703.

HASSON O. & STONE L., 2009: *Male infertility, female fertility and extrapair copulations*. *Biological Reviews*, 84: 225–244.

HASTAD O., 2003: *Plumage Colours and the Eye of the Beholder: The Ecology of Colour and its Perception in Birds*. Uppsala Universitet, Acta Universitatis Upsaliensis.

HEGYI ET AL. J. SZIGETI B., TOROK J., EENS M., 2007: *Melanin, carotenoid and structural plumage ornaments: information content and role in great tits *Parus major**. *Journal of Avian Biology*, 38: 698-708

HELFENSTEIN F., SZÉP T., NAGY Z., KEMPENAERS B. & WAGNER R. H., 2008: *Between-male variation in sperm size, velocity and longevity in sand martins *Riparia riparia**. *Journal of avian biology*, 39: 647-652.

HELFENSTEIN F., LOSDAT S., MØLLER A. P., BLOUNT J. D. & RICHNER H., 2010a: *Sperm of colourful males are better protected against oxidative stress*. Ecology letters 13, (2): 213-222.

HELFENSTEIN F., PODEVIN M. & RICHNER H., 2010b: *Sperm morphology, swimming velocity, and longevity in the house sparrow *Passer domesticus**. Behavioral Ecology and Sociobiology 64, (4): 557-565.

HILL G. E. & MCGRAW K. J., 2006: *Bird coloration*. Harvard University Press, London.

HUDEK K. A SPOL, 1983: *FAUNA ČSSR/Ptáci, díl III/2*, Praha.

HUNTER F. & BIRKHEAD T., 2002: *Sperm viability and sperm competition in insects*. Current Biology 12: 121–123.

IMMLER S. & BIRKHEAD T. R., 2005: *A non-invasive method for obtaining spermatozoa from birds*. Ibis 147: 827-830, 10,1111.

IMMLER S., CALHIM S. & BIRKHEAD T. R., 2008: *Increased postcopulatory sexual selection reduces the intramale variation in sperm design*. Evolution 62: (6), 1538-43.

IMMLER S., PRYKE S. R., BIRKHEAD T. R. & GRIFFITH S. C., 2010: *Pronounced within-individual plasticity in sperm morphometry across social environments*. Evolution, 64, (6): 1634-43.

IMMLER S., PITNICK S., PARKER G. A., DURRANT K. L., LUPOLD S., CALHIM S. & BIRKHEAD T. R., 2011: *Resolving variation in the reproductive tradeoff between sperm size and number*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 108, (13): 5325-5330.

JONES S.D., BYRNE P.G., WALLMAN J.F., 2014: *Mating success is predicted by the inter-play between multiple male and female traits in the small hairy maggot blowfly*. Anim. Behav. 97: 193–200.

KING, ROBERT C, WILLIAM D STANSFIELD A PAMELA KHIPPLE MULLIGAN, 2006: *A dictionary of genetics*. 7th ed. New York: Oxford University Press, 596 s. ISBN 0195307615.

KELLY C. D. & JENNIONS M. D., 2011: *Sexual selection and sperm quantity: meta-analyses of strategic ejaculation*. *Biological Reviews*, 86: 863–884.

KOEHLER L. D., 1995: *Diversity of avian spermatozoa ultrastructure with emphasis on the members of the order Passeriformes*. *Mémoires du Muséum National d'Historie Naturelle*, 166: 437-444.

KOSE M., MÄND, R. & MØLLER A. P., 1999: *Sexual selection for white tail spots in the barn swallow in relation to habitat choice by feather lice*. *Animal behaviour*, 58, 1201–1205.

KLEVEN O., LASKEMOEN T., FOSSOY F., ROBERTSON R. J. & LIFJELD J. T., 2008: *Intraspecific variation in sperm length is negatively related to sperm competition in passerine birds*. *Evolution*, 62, (2): 494-9.

LAI Y., KEKALAINEN J. & KORTET R., 2013: *Male Ornamentation in the European Minnow (*Phoxinus phoxinus*) Signals Swimming Performance* *Ethology*, 119, (12): 1077-1085.

LEVITAN, D.R. 2000: *Sperm velocity and longevity trade off each other and influence fertilization in the sea urchin *Lytechinus variegatus**. *Proc. R. Soc. Lond. B – Biol. Sci.* 267: 531–534.

LOCATELLO L., RASOTTO M. B., EVANS J. P. & PILASTRO A., 2006: *Colourful male guppies produce faster and more viable sperm*. *Journal of evolutionary biology*, 19, (5): 1595-1602.

LIFJELD JT., LASKEMOEN T., KLEVEN O., ALBRECHT T., ROBERTSON R. J., 201: *Sperm length variation as a predictor of extrapair paternity in passerine birds*. *PLoS One* 5:e13456.

LÜPOLD S., CALHIM S., IMMLER S. & BIRKHEAD T. R., 2009a: *Sperm morphology and sperm velocity in passerine birds*. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 276, (1659): 1175-81.

LÜPOLD S., LINZ G. M. & BIRKHEAD T. R., 2009b: *Sperm design and variation in the New World blackbirds (Icteridae)*. Behavioral Ecology and Sociobiology, 63, (6): 899-909.

MALO A.F., GARDE J.J., SOLER A.J., GARCIA A.J., GOMENDIO M. & ROLDAN E.R.S. 2005a: *Male fertility in natural populations of red deer is determined by sperm velocity and the proportion of normal spermatozoa*. Biol. Repr. 72: 822–829.

MALO A.F., ROLDAN E.R.S., GARDE J., SOLER A.J. & GOMENDIO M. 2005b. *Antlers honestly advertise sperm production and quality*. Proc. R. Soc. Lond. B 272: 149–158.

MAUTZ B.S., MØLLER A.P., JENNIONS M.D., 2013: *Do male secondary sexual characters signal ejaculate quality? A meta-analysis*. Biol. Rev. 88: 669–682.

MCGRAW K. J., 2006b: *Mechanics of melanin-based coloration*. In: Hill G. E. et McGraw K. J. [eds]: Bird Coloration. Volume 1. Mechanisms and Measurements. Harvard University Press, Cambridge: 243-295.

MEHLIS M., HILKE L.K., BAKKER T.C., 201: *Attractive males have faster sperm in three-spined sticklebacks *Gasterosteus aculeatus**. Curr. Zool. 59: 761–768.

MØLLER A. P. & JENNIONS M. D., 2001: *How important are direct fitness benefits of sexual selection?* Naturwissenschaften 88, 401–415.

NORRIS K. J., 1990a: *Female choice and the evolution of the conspicuous plumage coloration of monogamous male great tits*. Behavioral Ecology and Sociobiology 26, No. 2: 129-138.

PAWLOWSKI B., DUNBAR R. I. M., & LIPOWICZ A., 2000: *Evolutionary fitness: tall men have more reproductive success*. *Nature*, 403: 156.

PARKER G. A. & PIZZARI T., 2010: *Sperm competition and ejaculate economics*. *Biological Reviews* 85: 897–934.

PETERS A., DENK A. G., DELHEY K. & KEMPENAERS B., 2004: *Carotenoid-based bill colour as an indicator of immunocompetence and sperm performance in male mallards*. *Journal of evolutionary biology*, 17, (5): 1111-1120.

PILASTRO A., SIMONATO M., BISAZZA A. & EVANS J. P., 2004: *Cryptic female preference for colorful males in guppies*. *Evolution* 58: 665–669.

PITCHER T. E., RODD F. H. & ROWE L., 2007: *Sexual colouration and sperm traits in guppies*. *Journal of Fish Biology*, 70, (1): 165-177.

PITNICK S., HOSKEN D. J. & BIRKHEAD T. R., 2009: *Sperm morphological diversity*. *Sperm Biology: An Evolutionary Perspective*, Academic, Burlington, MA, 69–149.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. 2008. STATISTICS SOFTWARE. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. ISBN: 3-900051-07-0. URL: <http://www.R-project.org>.

RAHMAN M. M., KELLEY J. L. & EVANS J. P., 2013: *Condition-dependent expression of pre- and postcopulatory sexual traits in guppies*. *Ecology and evolution*, 3, (7): 2197-2213.

RASOTTO M.B. & MAZZOLDI C., 2002: *Male traits associated with alternative reproductive tactics in *Gobius niger**. *J. Fish Biol.* 61: 173–184.

ROWE M. & PRUETT-JONES S., 2011: *Sperm competition selects for sperm quantity and quality in the Australian Maluridae*. *PLoS ONE* 6(1): e15720.

SAFRAN R. J. & MCGRAW K. J., 2004: *Plumage coloration, not length or symmetry of tail-streamers, is a sexually selected trait in North American barn swallows*. Behavioral Ecology, 15, (3): 455-461.

SLAGSVOLD T. & LIFJELD J. T., 1992: *Plumage colour is a condition dependent sexual trait in male pied flycatchers*. Evolution, 46, (3): 825-828.

SMITH C. C., 2012: *Opposing effects of sperm viability and velocity on the outcome of sperm competition*. Behavioral Ecology 23: 820–826.

SMITH C., PHILLIPS A., POLÁČIK M. & REICHARD M., 2014: *Male coloration signals direct benefits in the European bitterling (Rhodeus amarus)* Environ Biol Fish, 97, (4): 335-341.

TAZZYMAN S. J., PIZZARI T., SEYMOUR R. M. & POMIANKOWSKI A., 2009: *The evolution of continuous variation in ejaculate expenditure strategy*. The American Naturalist 174: E71–E82.

TÖRÖK J., HEGYI, G. & GARAMSZEGI L. Z., 2003: *Depigmented wing patch size is a condition-dependent indicator of viability in male collared flycatchers*. Behavioral Ecology, 14, (3): 382-388.

UGLEM I., GALLOWAY T.F., ROSENQVIST G. & FOLSTAD I., 2001: *Male dimorphism, sperm traits and immunology in the corkwing wrasse (Symphodus melops L.)*. Behav. Ecol. Sociobiol. 50: 511–518.

VERNON G. G. & WOOLEY D. M., 1999: *Three-Dimensional Motion of Avian Spermatozoa*. Cell Motility and the Cytoskeleton, 42: 149-161.

VLADIC T.V. & JARVI T., 2001: *Sperm quality in the alternative reproductive tactics of Atlantic salmon: the importance of the loaded raffle mechanism*. Proc. R. Soc. Lond. B 268: 2375–2381.

WOLFF J. O. & MACDONALD D. W., 2004: *Promiscuous females protect their offspring*. Trends in ecology & evolution, 19, (3): 127-34.

WOLFSON A., 1952: *The Cloacal Protuberance: A Means for Determining Breeding Condition in Live Male Passerines*. Bird-Banding, 23, (4): 159-165.

6 Přílohy

Mapa 1: Rozmístění zkoumaných budek v Čimickém háji



Mapa 2: Rozmístění zkoumaných budek v Ďáblickém háji



Tabulka 4: Abecedně seřazený seznam článků, které se týkají fenotypu spermie. Součástí seznamu jsou důležité informace o obsahu článku. Tyto články byly vyhledávány za použití vyhledávačů odborných článků. Klíčová slova pro články byla: sperm, sperm phenotype, Parus major, sperm motility, sperm velocity, sperm competition.

Autor	Rok	Zkoumaný druh	Zařazení do řádu	Souvislost s fenotypem	Výsledek
Birkhead et al.	1995	zebrička pestrá (<i>Taeniopygia guttata</i>)	pěvci	Zbarvení náprsenky a délka spermie	Souvislost prokázána
Burness et al.	2004	slunečnice velkoploutvá (<i>Lepomis macrochirus</i>)	ostnoploutví	Ornament a kvalita spermie	Rychlost a životaschopnost spermie koreluje s oplodněním
Calhim et al.	2007	Více druhů	pěvci	Morfologie spermií	Souvislost s celkovou délkou, délkou hlavičky, krčku a bičíku
Calhim et al.	2009	lejsek černohlavý (<i>Ficedula hypoleuca</i>)	pěvci	Zbarvení a morfologie spermií	Ornamentovanější samci disponovali většími spermii
Cramer et al.	2013	kur domácí (<i>Gallus domesticus</i>)	hrabaví	Hustota ejakulátu s oplodněním samce	Souvislost prokázána
Evans, J.P. & Magurran	2002	živorodka duhová (<i>Poecilia reticulata</i>)	halančíkovci	Zbarvení a velikost samce, množství spermií	Souvislost prokázána
Fitzpatrick et al.	2009		vrubozobcovití	Větší kompetice spermií, větší rychlost spermií	Souvislost prokázána
Forman & Feltman	1998	kur domácí (<i>Gallus domesticus</i>)	hrabaví	Syntéza ATP, rychlost spermie	Souvislost prokázána
Forman et al.	2002	kur bankivský (<i>Gallus gallus</i>)	hrabaví	Sociálně podřízení samci, kvalitnější sperma	Prokázáno, pro menší šanci oplodnit samici
Fry & Wilkinson	2004	octomilka obecná (<i>Drosophila melanogaster</i>)	dvoukřídlí	Velikost spermie, životaschopnost	Větší spermie jsou životaschopnější, v ejakulátu menší podíl mrtvých a nepohyblivých spermií
Gage et al.	2004	pstruh duhový (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	lososotvární	Rychlost spermie s kvalitou ejakulátu	Souvislost prokázána
Hasson & Stone	2009	lidé, domestikovaná zvířata		míň spermií, menší šance oplodnit samici	Souvislost prokázána

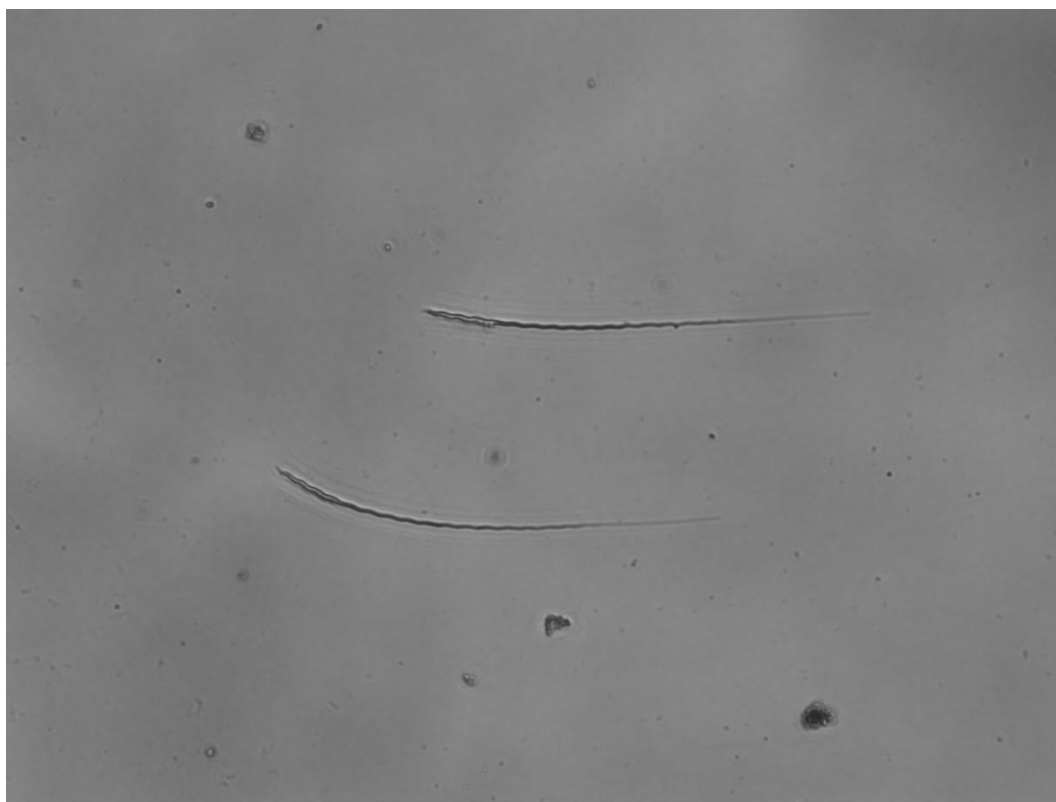
Autor	Rok	Zkoumaný druh	Zařazení do řádu	Souvislost s fenotypem	Výsledek
Helfenstein et al.	2008	břehule říční (<i>Riparia riparia</i>)	pěvci	Kratší spermie rychlejší	Souvislost prokázána
Helfenstein et al.	2010 a	sýkora koňadra (<i>Parus major</i>)	pěvci	Sexuální výzdoba, pohyblivost a schopnost plavání	Samci s nižším karotenoidovým zbarvením utrpěli větší poškození oxidačním stresem
Helfenstein et al.	2010 b	vrabec domácí (<i>Passer domesticus</i>)	pěvci	Motilita, poměr délky hlavy k flagelu	Nekoreluje s rychlostí Koreluje s životaschopností spermií
Hunter & Birkhead	2002	kur domácí (<i>Gallus domesticus</i>)	hrabaví	Větší spermie, větší konkurenceschopnost	Souvislost prokázána
Immler et al.	2005	zebříčka pestrá (<i>Taeniopygia guttata</i>)	pěvci	zisk spermatu z trusu	
Immler et al.	2008	lejsek černohlavý (<i>Ficedula hypoleuca</i>) strnadec zpěvný (<i>Melospiza melodia</i>)	pěvci	Před a pokopulační výběr, morfologie spermií	Negativní souvislost soutěže spermií a jejich morfologií
Immler et al.	2010	amadina Gouldové (<i>Erythrura gouldiae</i>)	pěvci	zbarvení, morfologie a pohyblivost spermií	Sociální prostředí ovlivňuje délku bičíku
Jones et al.	2015	Pilatka osiková (<i>Caliroa varipes</i>)	blanokřídlí	Délka bílých chlupů na nohou s kvalitou spermatu	Souvislost prokázána

Autor	Rok	Zkoumaný druh	Zařazení do řádu	Souvislost s fenotypem	Výsledek
Kelly & Jennions	2011	Zavíječ paprikový (<i>Plodia interpunctella</i>)	motýli	fenotyp větší vliv na kvalitnější ejakulát	Souvislost prokázána
Kortet et al.	2004	plotice obecná (<i>Rutilus rutilus</i>)	maloostní	lépe zbarvení samci, dlouhověkost spermie	Souvislost prokázána
Larsen et al.	1999	člověk		Atraktivita koreluje s kvalitou spermií	Souvislost prokázána
Laskemoen et al.	2007	slavík modráček (<i>Luscinia svecica</i>) budníček větší (<i>Phylloscopus trochilus</i>)	pěvci	Velikost samců se liší více v druhů, než jednoho samce	ANO
Laskemoen et al.	2010	vlaštovka stromová (<i>Tachycineta bicolor</i>)	pěvci	Velikost kloaky koreluje s motilitou spermií	ANO
Levitan et al.	2000	mořský ježek (<i>Echinopsis</i>)		Rychlost spermií a životaschopnost, oplodnění	Souvislost prokázána
Lifjeld et al.	2010	vrabec domácí (<i>Passer domesticus</i>)	pěvci	Větší varlata, větší produkce spermií	Souvislost prokázána Spermie byly i rychlejší
Locatello et al.	2006	živorodka duhová (<i>Poecilia reticulata</i>)	halančíkovci	Sekundární znaky, rychlost spermií	Rychlost nekoreluje s velikostí samce, ale rychlost koreluje se zbarvením
Lüpold et al.	2009	vlhovcovití	pěvci	Rychlost spermie, morfologie spermie	Souvislost prokázána, větší hlavička negativní vliv na rychlost spermie
Malo et al.	2005 a	savci		Rychlost, životaschopnost spermie, vliv na oplodnění	Souvislost prokázána

Autor	Rok	Zkoumaný druh	Zařazení do řádu	Souvislost s fenotypem	Výsledek
Malo et al.	2005 b	živorodka duhová (<i>Poecilia reticulata</i>)	halančíkovci	Ornamenty korelují s kvalitou ejakulátu	Souvislost prokázána
Malo et al.	2006	jelen lesní (<i>Cervus elaphus</i>)	sudokopytnici	Delší spermie, rychlejší spermie	ANO
Mehlis et al.	2013	koljuška tříostná (<i>Gasterosteus aculeatus</i>)	vlnoostní	Sexuální výzdoba, rychlost a morfologie	Souvislost prokázána
Møller & Jennions	2001			velikost těla koreluje s kvalitou ejakulátu	Souvislost prokázána
Møller et al.	2009	vlaštovka obecná (<i>Hirundo rustica</i>)	pěvci	Starší samci, úspěšnější při plavání	Lepší schopnost plavání v samičí tekutině, než spermie mladších samců
Mossman et al.	2009	zebrička pestrá (<i>Taeniopygia guttata</i>)	pěvci	Délka spermie, rychlost spermie	Souvislost prokázána
Parker & Pizzeria	2010			S větším počtem spermií, větší podíl otcovství	Souvislost prokázána
Pawłowski Dunbar & Lipowicz,	2000	člověk		Atraktivita koreluje s fenotypem a kvalitou spermatu	Souvislost prokázána
Peters et al.	2004	Kachna divoká (<i>Anas platyrhynchos</i>)		zbarvení s motilitou	Souvislost prokázána, nevykazoval vztah s kompeticí spermií
Pilastro & Bisazza	1999			Atraktivní samec, fenotyp spermie	Souvislost prokázána, tyto samci disponovali větším počtem spermií
Pilastro et al.	2004	živorodka duhová (<i>Poecilia reticulata</i>)	halančíkovci	Ornamentace, počet spermií a úspěch při oplodnění	Méně ornamentovaní samci měli méně spermií a nebyli tak úspěšní při oplodňování

Autor	Rok	Zkoumaný druh	Zařazení do řádu	Souvislost s fenotypem	Výsledek
Pitcher et al.	2007		ryby	Ornamentace, rychlost a životaschopnost spermií	Souvislost prokázána
Shackelfors & Larsen	1997	člověk		Atraktivita samce, koreluje s kvalitou spermií	Souvislost prokázána
Shackelford & Larsen	1999	člověk		Atraktivita samce, koreluje s kvalitou spermií	Souvislost opětovně potvrzena
Slagsvold & Lifjeld	1992	lejsek černohlavý (<i>Ficedula hypoleuca</i>)	pěvci	Melaninový ornament, dědičnost kvality	Souvislost prokázána
Smith et al.	2012	hořavka duhová (<i>Rhodeus sericeus</i>)	máloostní	Rychlost spermie, kvalita spermie	Souvislost prokázána V rámci jednoho druhu i jednoho samce
Smith et al.	2014	hořavka duhová (<i>Rhodeus sericeus</i>)	máloostní	Ornamentace koreluje s počtem spermií a s velikostí varlat	Spermie ANO Varlata NE
Tazzyman et al.	2009			Dostupnost potravinových zdrojů souvisí s investicemi do ejakulátu (počtu spermií)	Souvislost prokázána Zároveň častěji se páříci samci vydávají méně spermií v ejakulátu
Uglem et al.	2001	pyskoun proměnlivý (<i>Symphodus melops</i>)	pyskounovití	Ornament, kvalita spermií	Souvislost prokázána
Vladica & Jarvi	2001	losos obecný (<i>Salmo salar</i>)	lososotvární	Ornament, kvalita spermií	Souvislost prokázána
Vladic	2002	losos obecný (<i>Salmo salar</i>)	lososotvární	Energie, délka midpiece	Souvislost prokázána
Rassoto & Mazzoldi	2002	hlaváč černý (<i>Gobius niger</i>)	ostnoploutví	Ornamentace a velikost spermie	Souvislost neprokázána

Obrázek 3: 400x zvětšená fotografie spermie sýkory koňadry



Tabulka 5: Výsledky lineárního modelu pro hlavičku při porovnávání s reprezentativními ukazateli. Delta $df=1$.

HLAVA	F	p
plocha	8.0884	0.007058
tars	1.4164	0.2416
aktuální hmotnost	0.3018	0.5862
leukocyty	0.1254	0.7252

Tabulka 6: Výsledky lineárního modelu pro krček při porovnávání s reprezentativními ukazateli. Delta $df=1$.

KRČEK	F	p
plocha	0.6946	0.4101
tars	1.4029	0.2438
aktuální hmotnost	0.2461	1.3877
leukocyty	0.1997	0.6755

Tabulka 7: Výsledky lineárního modelu pro bičík při porovnávání s reprezentativními ukazateli. Delta $df=1$.

BIČÍK	F	p
plocha	0.958	0.3342
tars	0.0968	0.7574
aktuální hmotnost	0.0678	0.796
leukocyty	0.0516	0.8216

Tabulka 8: Výsledky lineárního modelu pro celkovou délku spermie při porovnávání s reprezentativními ukazateli. Delta $df=1$.

CELÁ	F	p
plocha	0.7672	0.3869
tars	0.0693	0.7938
aktuální hmotnost	0.0058	0.9395
leukocyty	0.0215	0.8843

Tabulka 9: Výsledky lineárního modelu pro korelační koeficient při porovnávání s reprezentativními ukazateli. Delta $df=1$.

CV	F	p
plocha	1.1612	0.2884
tars	0.1193	0.7318
aktuální hmotnost	0.4579	0.5029
leukocyty	0.6618	0.4213