

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Katedra ekologie

Tereza Kubíková

**PRODUKTIVITA PROSTŘEDÍ A BAREVNOST
JIHOAFRICKÝCH PTÁKŮ**

**PRODUCTIVITY OF ENVIRONMENT AND
COLOURATION OF SOUTH AFRICAN BIRDS**

Diplomová práce



Vedoucí práce: RNDr. David Hořák, PhD

Konzultant: Doc. RNDr. David Storch, Ph.D

Květen, 2012

ABSTRAKT

Pochopení vztahů mezi znaky druhů a prostředím je pro zhodnocení funkční diverzity zásadní. Variabilita ve zbarvení ptáků je pro biology již dlouhou dobu velmi atraktivní téma a předpokládá se, že je obecně výsledkem působení přírodního výběru a pohlavní selekce. S využitím dvou vzájemně doplňujících se statistických přístupů (fourth-corner a RLQ analýzy) zkoumám geografickou variabilitu ve zbarvení peří jihoafrických ptáků podél gradientu produktivity, který se na území JAR projevuje spíše v longitudinálním směru. Předpokládám, že produktivita prostředí je jedním z přírodních faktorů, který by mohl vysvětlit významnou část variability v barevnosti druhů na velké prostorové škále. V práci jsem shromáždila celkem 14 barevných charakteristik pro 649 druhů. Koinertní analýza odhalila, že celkově pestřejší druhy (se sytější a výraznější zbarvení peří), druhy s karotenoidními ornamenty, strukturálním zbarvením nebo převážně černě zbarvení jedinci se vyskytují především v produktivnějších habitatech, jako jsou vlhké savany a lesy na severovýchodě země. Naopak druhy s méně pestrými ornamenty (například šedohnědé), které jsou navíc ještě jasnější, obývají méně produktivní prostředí na západě, kde panuje aridní klima. Ukazuje se, že i další znaky jako je iridescence, pohlavní dimorfismus a jasnost jednotlivých částí těla vykazují určité trendy podél gradientu produktivity v JAR. Možné vysvětlení popsanych geografických trendů by se mohlo opírat o (i) variabilitu v dostupnosti a diverzitě zdrojů potřebných pro expresi kondičně závislých barevných struktur, (ii) působení pohlavního výběru a (iii) vliv predačního tlaku na dospělé jedince.

Klíčová slova: produktivita prostředí, zbarvení peří, ptáci, RLQ analýza, koinertní analýza, Jihoafrická republika

ABSTRACT

Understanding the relationships between species traits and the environment is essential for assessment of functional diversity. The variation in avian plumage colouration has attracted much scientific attention for a long time. It is thought that the colouration of birds is a product of interaction between environmental and sexual selection forces. Using two complementary three-matrix approaches (fourth-corner and RLQ analyses) I investigate geographical variation in plumage colouration of birds living along environmental gradient of productivity in South Africa. I suppose that productivity of environment could explain the part of variation in colouration of species at large geographical scales. I compiled information about 14 plumage traits for 649 species. Co-inertia analysis revealed that more vari-coloured species (e.g. with more saturated and vivid plumage), species with carotenoids in feather, blue-green or predominantly black species occur mainly in productive habitats such as moist savannas and woodlands in the north-east of the country. On the contrary pale species (e.g. greyishbrown), whose feathers are brighter (have higher values of brightness), occupy arid habitats in the west. It shows that another pattern such as iridescence, sexual dimorphism and brightness of particular body region exhibit trends along this strong gradient of productivity. I suggest that the possible explanation laying behind the described geographical patterns are (i) variation in availability and diversity of resources required for creation of some feather pigments, (ii) effect of sexual selection and (iii) predation pressure on adult birds.

Key words: *environment productivity, plumage colouration, birds, RLQ analysis, co-inertia analysis, South Africa*

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracovala samostatně pod vedením RNDr. Davida Hořáka, PhD., a že všechny použité informační zdroje jsou citovány v seznamu použité literatury.

Praha, květen 2012

.....

Kubíková Tereza

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala především svému školiteli RNDr. Davidovi Hořákovi, PhD. za cenné rady, připomínky a trpělivost v průběhu psaní mé práce. Za velkou ochotu a pomoc při zpracování statistických dat jsem nesmírně vděčná Mgr. Anně Tószögyové, která mi věnovala svůj drahocenný čas a dlouhodobě se podílela na konzultaci práce. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Pavlovi Najmanovi a Slávkovi Kopalovi za rady při zpracování programovací části a za spolupráci ve statistických programech. Celému „africkému“ týmu z katedry ekologie Přírodovědecké fakulty UK v Praze a Centra teoretických studií – konkrétně konzultantovi Doc. RNDr. Davidovi Storchovi, Ph.D a RNDr. Ondřeji Sedláčkovi, Ph.D. za pravidelné, často dlouhé konzultace, které mé práci udávaly správný směr.

Za pomoc při vyhodnocování pestrosti děkuji všem zúčastněným a nejmenovaným respondentům, kteří mi poskytli svůj čas.

Velice jsem vděčná svým rodičům, kteří mě po celou dobu mého studia psychicky podporovali. A v neposlední řadě všem přátelům, kterým jsem se byť jen jednou zmínila o své diplomové práci, za jejich zájem a naslouchání mých snů navštívit jednou „černý kontinent“ osobně.

OBSAH

1. Úvod	8
1.1 Mechanismy podílející se na vzniku barevného fenotypu	10
1.2 Význam barevných struktur podél gradientu prostředí.....	12
1.2.1 Neproduktivní oblasti.....	12
1.2.2 Produktivní prostředí.....	14
1.3 Způsoby měření barevnosti	16
1.4 Cíle práce.....	17
2. Metodika a materiál.....	18
2.1 Studovaná oblast.....	18
2.2 Environmentální proměnné.....	20
2.3 Proměnné definující barevnost.....	21
2.3.1 Kvalitativní proměnné.....	21
2.3.1.1 Pestrost definována respondenty	21
2.3.1.2 Pestrost definována počítačovým softwarem	22
2.3.2 Kategoriální proměnné.....	25
2.4 Statistická analýza	27
2.4.1 Co-inertní analýza dat	28
3. VÝSLEDKY	32
3.1 Vztah mezi druhovou skladbou a environmentálními proměnnými.....	32
3.2 Vztah mezi proměnnými prostředí a kvantitativními barevnými znaky	36
3.2.1 Separátní analýzy.....	36
3.2.2 RLQ analýza kvantitativních znaků.....	40
3.3 Vztah mezi proměnnými prostředí a kvalitativními barevnými znaky	48
3.3.1 Separátní analýzy.....	48

3.3.2 RLQ analýza kvalitativních znaků.....	50
3.4 Vztah mezi proměnnými prostředí a znaky regií na redukovaném setu druhů.	61
3.4.1 Separátní analýzy.....	61
3.4.2 RLQ analýza jednotlivých regií.....	63
4. Diskuze	70
4. 1 Souhrn	79
5. Použitá literatura.....	81
6. PŘÍLOHY	91
6.1 Seznam příloh	91

1. ÚVOD

„The color-relations of earth, sky, water, and vegetation are practically the same the world over, and one may read on an animal's coat the main facts of his habits and habitat, without ever seeing him in his home.“

Abbot H. Thayer, 1909

Jedno z ústředních témat funkční ekologie zkoumá vztah mezi prostředím, ve kterém se druhy nacházejí a life-histories jednotlivých druhů (Ribera, Doledec et al. 2001; Thuiller, Richardson et al. 2006; Cleary, Boyle et al. 2007; Lacourse 2009; Saatkamp, Romermann et al. 2010; Seymour and Dean 2010; Azeria, Ibarzabal et al. 2011). Otázkou je, zda podmínky prostředí nebo jejich změny mohou spolehlivě predikovat výskyt druhů s určitými funkčními a morfologickými znaky. Protože prostředí vývoj druhů vždy do jisté míry omezuje, měly by spolu životní strategie a vlastnosti habitatu částečně korelovat (Ricklefs 1991). Austen (Austen, Bayley et al. 1994) předkládá, že různé kombinace biologických znaků mohou vytvářet jakési nové samostatné funkční jednotky, které odpovídají na změny prostředí mnohem předvídatelněji než druhy samy o sobě. Seskupování druhů podle jejich vlastností by tedy mohl být vhodný nástroj pro zhodnocení hlavních úloh takových uskupení napříč ekosystémy (Mouillot, Spatharis et al. 2006; Brind'Amour, Boisclair et al. 2011). Southwood (Southwood 1977) předpokládá, že prostředí slouží jako „předloha“, podle které evoluce utváří znaky druhů. Vlastnosti habitatu jsou podle této teorie (*templat theory*) považovány za jakési filtry, které selektují nejvýhodnější znaky pro dané prostředí. Obdobné kombinace life-histories znaků by se pak podle této predikce měly vlivem působení lokálních podmínek prostředí a vzájemných mezidruhových interakcí vyskytovat v podobném habitatu (Southwood 1977).

Rozmanitost ve zbarvení ptáků imponuje biologům již několik století a jeho funkce a význam je silně diskutovaný již od dob Darwina. Ptáci jsou ta skupina organismů,

u kterých se zbarvení tělních struktur vyvinulo v extrémní míře. Evoluce zbarvení peří ptáků je spojována s působením dvou protichůdných selekčních tlaků: přírodního výběru a pohlavní selekce. Konkrétně pak s mezidruhovým rozpoznáváním (Baker and Parker 1979; Gotmark 1993), vnitrodruhovou komunikací (Hill 1990; Marchetti 1993; Hill 1994), kamufláží (Gotmark and Unger 1994; Marchetti and Price 1997), způsobem sháněním potravy (Jablonski 1996) nebo ochranou před fyzikálními vlivy prostředí (Burt 1981). Obecně lze zbarvení peří považovat za důležitý komunikační prvek se signalizační funkcí (Baker and Parker 1979; Endler 1990). Aby konkrétní zbarvení mohlo plnit tuto signalizační úlohu v daných přírodních podmínkách, musí účinně stimulovat zrakový aparát příjemce, kterému je signál určen (Fleishman and Persons 2001). Efektivita vysílaného signálu může být ovlivněna kromě zrakových schopností příjemce také nepřímo habitatovými podmínkami (Macarthur, Preer et al. 1962; Cody 1981; Endler 1993; Endler and Thery 1996). Nápadnost jedince se tak nepřímo mění například se změnou struktury nebo barvy pozadí, vůči kterému se jedinci pohybují. Ve společnosti například panuje obecná představa, že papoušci jsou pestří, ale pokud se pohybují ve svém přirozeném prostředí, kterým je převážně tropický les, stávají se pro pozorovatele téměř neviditelnými (Endler 1990).

V současnosti existuje mnoho monografií, které diskutují funkční význam zbarvení ptáků. Tyto práce se zabývají buď přímo podstatou a proximálními mechanismy vzniku jednotlivých typů zbarvení (Olson and Owens 1998; Stradi, Pini et al. 2001; McGraw and Nogare 2004), nebo se snaží o adaptivní vysvětlení barevných fenotypů v souvislosti zejména s pohlavní selekcí (Badyaev and Hill 2000; Hill 2000), antipredačními strategiemi (Baker and Parker 1979; Endler 1981; Gotmark 1993; Slagsvold, Dale et al. 1995) nebo fyzikálními vlastnostmi habitatu (Endler 1992; Endler and Thery 1996). Ačkoliv je zbarvení ptáků jeden z nejprozkoumanějších znaků mezi živočichy, prozatím jsem nenašla žádnou ekologickou studii, která by se komplexně zabývala geografickou variabilitou barevnosti opeření a vztahy mezi ornamentací a produktivitou prostředí ve velkém měřítku.

1.1 MECHANISMY PODÍLEJÍCÍ SE NA VZNIKU BAREVNÉHO FENOTYPU

Barevného fenotypu mohou ptáci dosáhnout v zásadě dvěma hlavními mechanismy: pigmenty a strukturními vlastnostmi pera, nebo dokonce kombinací obou. Zbarvení způsobené pigmenty závisí zejména na jejich koncentraci (Hill, Inouye et al. 2002) a chemické povaze v peří, kde každý pigment pohlcuje nebo odráží různé vlnové délky světla a způsobuje tak odlišné vybarvení pera (Maia, Caetano et al. 2009). U ptáků jsou nejvíce prozkoumány karotenoidy, které pohlcují krátké vlnové délky a zodpovídají především za červené, žluté nebo oranžové barvy. V menší míře se také mohou podílet na expresi zeleného zbarvení (např. zooprasiny). Protože ptáci neumí karotenoidy vyrábět *de novo*, musí je umět syntetizovat z potravy, roznášet krevním řečištěm až do folikulů pera a do nich pigmenty zabudovat již v době růstu tkáně (Badyaev and Hill 2000). Jejich funkce se dává do souvislosti především s pohlavním výběrem a kvalitou jedince (Olson and Owens 1998).

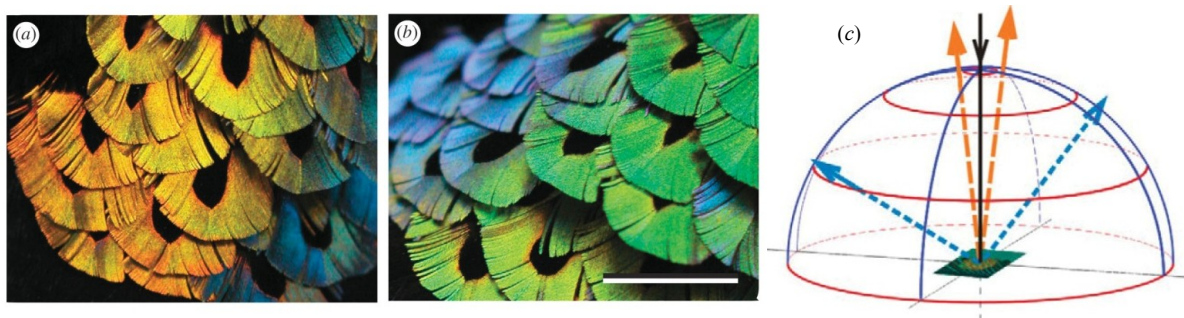
Druhou velkou skupinu pigmentů tvoří melaniny. Konkrétně ptáci produkují dva hlavní typy melaninů. Prvním z nich je eumelanin, zodpovědný za černé až šedé odstíny. Dalším typem je phaeomelanin, který zbarvuje peří červeno-hnědě až okrově. Tyto pigmenty vznikají přímo v melanoblastech¹ peřího folikulu (Slominski, Tobin et al. 2004). Dlouhou dobu se myslelo, že melaninové ornamenty oproti karotenoidním nejsou limitovány prostředím, protože jejich vývoj je určen především geneticky (McGraw, Mackillop et al. 2002) a neslouží tak jako opravdový signál kvality jedince (Hill and Brawner 1998; McGraw and Hill 2000). Recentní studie však odhalují, že i exprese melaninového ornamentu může být do jisté míry na prostředí závislá (Fitze and Richner 2002; West and Packer 2002; McGraw, Dale et al. 2003; Stoehr 2006) a signalizovat tak odlišnou kondici jedince (Roulin, Dijkstra et al. 2001; Roulin, Ducrest et al. 2003).

Zvláštní skupinu pigmentů pak tvoří psittacofulviny, které jsou přítomny pouze v červeno-žlutém peří papoušků (Stradi, Pini et al. 2001). Tyto pigmenty, generující podobné odstíny barev jako karotenoidy, jsou ale pravděpodobně syntetizovány přímo ve folikulovém váčku nově zakládajícího se pera a nejsou tak získávány z potravních zdrojů (McGraw and Nogare 2004).

¹ Buňky, které tvoří barvivo melanin, se nazývají melanoblasty.

Ačkoliv různé kombinace zmíněných pigmentů mohou vést ke vzniku dalších odstínů a barev, například modrá barva peří pouze díky pigmentům nevzniká. Mechanismus vzniku již zmíněného modrého a dále fialového, tyrkysového, bílého nebo UV zbarvení je založen na interferenci světla se zvláštní mikroskopickou strukturou pera houbovitého charakteru, která rozptyluje většinu dopadajících paprsků a odráží pouze určité vlnové délky (Prum, Torres et al. 1999). Toto tzv. strukturální zbarvení (Prum and Torres 2003) může být buď iridescentní (duhové), kdy se mění barva pera v závislosti na úhlu pozorování, nebo neiridescentní (prosté strukturální). Velmi lesklé a měnící se iridescentní zbarvení má na hrudi například tropická rajka (*Parotia lawesii*), kde hraje důležitou roli v pohlavní selekci (Stavenga, Leertouwer et al. 2011) nebo jakarini modročerný (*Volatinia jacarina*) (Doucet 2002; Maia, Caetano et al. 2009).

V závěru této kapitoly se stručně zmíním o zvláštním způsobu exprese barevného fenotypu, což je ukládání barevných pigmentů na povrch již zrohovatělého pera. Jedná se o tzv. porfyriny, které se pod UV zářením projevují jako hnědé až červené odstíny. Mezi nejznámější patří červený turacin nebo zelený turakoverdin, jež se vyskytuje například u afrických turaků (*Musophagidae*) (Dyck 1992) anebo u hrabavých (*Galliformes*). Porfyriny se vyskytují hojně také u sov (*Strigidae*) a dropů (*Otididae*) (Gray 1996). Tyto pigmenty jsou u ptáků omezeny především na ty tělní partie, které nejsou přímo vystaveny slunečnímu záření, protože na světle se stávají nestabilními a rychle vyblednou (Gray 1996).



Obr. 1.1. Ukázka iridescentního zbarvení náprsenky rajky papuánské (*Parotia lawesii*). (a) Z frontálního pohledu vznikají žluto-oranžové odlesky. (b) Při pohledu z boku modré a zelené odstíny. Schéma na obrázku (c) znázorňuje odraz světelného paprsku od pérové struktury. Žluto-oranžové světlo je odraženo téměř ve stejné trajektorii, jako je dráha dopadajícího paprsku. Modro-zelené vlnové délky jsou odraženy do dvou navzájem opačných směrů pod úhlem 60° . Ilustrace převzata ze (Stavenga, Leertouwer et al. 2011).

1.2 VÝZNAM BAREVNÝCH STRUKTUR PODÉL GRADIENTU PROSTŘEDÍ

V současné době mnoho ekologických prací dokládá, že rozmanité gradienty prostředí nebo jeho změny mohou do jisté míry ovlivňovat výsledné druhové složení (Seymour and Dean 2010). Jedním z nejvýraznějších gradientů, který můžeme pozorovat na území Jihoafrické republiky je gradient produktivity v longitudinálním směru (Bonn, Storch *et al.* 2004). Předpokládám, že právě podél takto znatelného gradientu by mohlo docházet ke vzniku jistých trendů týkajících se barevnosti a ornamentace ptáků. V této kapitole předkládám nejdiskutovanější hypotézy o zbarvení povrchových struktur avifauny, především v souvislosti s dostupností energie a strukturním uspořádáním jednotlivých biomů. Ačkoliv se tento gradient produktivity projevuje zejména plynulým přechodem od neproduktivních oblastí na západě až po vysoce energeticky bohaté oblasti na severovýchodě země, hypotézy o významu barevnosti opeření v prostředí s takto odlišnými energetickými bilancemi pro jednodušší uchopení tématu vydděluji do dvou samostatných částí.

1.2.1 NEPRODUKTIVNÍ OBLASTI

Již v roce 1923 Buxton (Ward, Blount *et al.* 2002) upozornil na to, že jednou z nejběžnějších výjimek ve zbarvení na poušti je, že mnoho nejen ptačích druhů je černě zbarvených. Na základě tohoto a spousta dalších pozorování vzniklo několik hypotéz, které se snaží vysvětlit adaptivní význam tohoto fenoménu (Cloudsley-Thompson 1999; Ward, Blount *et al.* 2002). Je známo, že černá barva pohlcuje mnohonásobně více tepla než ostatní barvy. Otázkou tedy je, proč by endotermní organismy, jako jsou právě ptáci, měly upřednostňovat toto zbarvení v aridních oblastech s intenzivním slunečním zářením, kde by mohlo dojít k snadnému přehřátí jedince nebo ke zvýšenému predačnímu tlaku.

Jedna z hypotéz předpokládá, že toto tmavé zbarvení pomáhá nočním ptákům k utajení před potenciálním predátorem a mohlo by se tedy jednat o typický *background matching*² (Endler 1987). Díky takovému opeření snižuje riziko predace

² Termínem *background matching* Endler (1978) označuje kryptické zbarvení jedince. Tato antipredační strategie spočívá v ochraně jedince před predátorem díky barvě těla, která odpovídá převažující barvě okolního substrátu a tím dochází k minimalizaci vzájemného kontrastu mezi barvou těla a okolím.

během noci například pouštní druh palmovník tmavý (*Phainopepla nitens*) (Walsberg 1982). Účinnost této strategie avšak může být všeobecně snižována aktivním pohybem jedince (Cloudsley-Thompson 1999).

Kromě tmavé pigmentace je ale mnoho pouštních a savanových ptáků nejčastěji zbarveno jako substrát pouště, tzn. šedě, okrově, béžově nebo cihlově (Cloudsley-Thompson 1999). Výhoda takového zbarvení by mohla opět spočívat v utajení jedince před predátory, tentokrát však za bílého dne (Endler 1978). Proto by se mohlo zdát, že pro denní ptáky bude černý fenotyp ve smyslu rizika predace generovat spíše nevýhody, protože dochází k maximalizaci kontrastu mezi tělem jedince a okolním světlým substrátem. Možné vysvětlení paradoxu, proč jsou černí jedinci aktivní na světlém podkladu i za denních podmínek, by mohlo spočívat ve strategii aposematického zbarvení³ (Gotmark and Unger 1994; Cloudsley-Thompson 1999) nebo dokonce signalizační úloze. Tento energeticky nenáročný způsob signalizace byl prokázán například u černě zbarvených samců zmíněného palmovníka tmavého (*Phainopepla nitens*), který je důležitý při námluvách nebo obraně teritoria druhu (Walsberg 1977 ex Walsberg 1982).

V aridním prostředí je také obecně velká koncentrace létajících písečných partikulí a hojně jsou zde suché keře a traviny, které způsobují snadné poničení pera. Je pravděpodobné, že melanin přítomný v peří ptáků slouží jako ochrana před abrazivními účinky těchto objektů (Burt 1981; Lee and Grant 1986; Bonser 1996). Peří s melaninem je totiž průkazně silnější než peří, které melanin neobsahuje, a je tak méně narušováno (Bonser 1995).

Další funkce tmavého zbarvení by mohla být protekce před destruktivními účinky UV záření (Hadley 1972; Burt 1981; Ward, Blount et al. 2002). Melaninové zbarvení by mohlo v tomto případě sloužit nejen jako mechanická ochrana povrchových struktur ale dokonce vnitřních orgánů (Ward, Blount et al. 2002). Dorzální opeření většiny pěnic (*Sylviidae*) je obecně zbarveno tmavěji než břicho (Price and Pavelka 1996), což by mohlo podporovat výše zmíněnou ochrannou funkci před zářením, ačkoliv se nabízí alternativní vysvětlení v podobě utajení pomocí

³ Aposematismus je jedna z možných anti-predačních strategií, která se u jedovatých nebo jinak nebezpečných živočichů vyvinula v průběhu evoluce za účelem vizuálně informovat predátora o své celkové nevýhodnosti skrze výstražné zbarvení (Cott 1940 ex Prudic, K. L., A. K. Skemp, et al. (2007). "Aposematic coloration, luminance contrast, and the benefits of conspicuousness." *Behavioral Ecology* **18**(1): 41-46..

countershading (Ruxton, Speed et al. 2004). Odborná literatura hodně diskutuje i otázku termoregulace. Obecně se však zdá, že role zbarvení u pouštních druhů v souvislosti s termoregulačními schopnostmi je minoritní.

V souvislosti s neproduktivními habitaty, kde se vegetační kryt vyskytuje pouze sporadicky, se diskutuje o významu bílých ornamentů (McNaught and Owens 2002; Galvan 2008; Schon 2009; Olea, Casas et al. 2010). Ačkoliv současné práce uvádějí, že bílé zbarvení opeření slouží především k signalizaci jedince, kde účinnost v přenosu signálu závisí na velikosti a intenzitě ornamentů, problematika týkající se funkce tohoto typu zbarvení je stále velmi kontroverzní (Tickell 2003; Bortolotti, Stoffel et al. 2011). Jednak se uvažuje o morfologických adaptivních hodnotách (Tickell 2003) jednak o schopnosti bílého ornamentu udržovat lépe tepelný gradient.

1.2.2 PRODUKTIVNÍ PROSTŘEDÍ

Hovoří-li se o produktivním prostředí, jedná se obecně o habitaty s dostatečným množstvím vláhy, která je jedním z hlavních limitujících faktorů pro růst vegetace. Vlhkost může částečně ovlivňovat tvorbu pigmentů melaninů, které významně přispívají ke vzniku sezónního dimorfismu druhů (Losos et al. 1984). Tmavé zbarvení některých homoiotermních obratlovců může v humidních oblastech do jisté míry vysvětlovat Glogerovo pravidlo⁴ (Losos et al. 1984). Toto pravidlo avšak nelze univerzálně aplikovat v celém taxonomickém měřítku. Jeho pravý mechanismus je prozatím neznámý a nedá se s určitostí říci, zda se týká přednostně kryptických strategií nebo souvisí spíše s termoregulačními nároky organismu (např. odparem vody z tělního povrchu). Burt and Ichida (Burt and Ichida 2004) ve své studii například navrhuje, že tmavě vybarvené ptačí druhy v teplých a humidních oblastech oproti světlým fenotypům lépe odolávají bakteriální degradaci.

V tropickém podnebí se dobře daří stálezeleným rostlinám. Právě rostliny jsou jedním z hlavních zdrojů karotenoidů (resp. zdrojem je herbivorní hmyz vázaný na tento zdroj potravy), které jsou potřeba mimo jiné k expresi nápadného šatu ptáků, mnohdy hrajících důležitou roli v pohlavním výběru (Hill and Montgomerie 1994; Heindl and Winkler 2003). Vliv nutričních zdrojů pro dobrý vývoj karotenoidního

⁴ Glogerovo pravidlo říká, že jedinci ve vlhčím a teplejším podnebí mají tendenci být tmavší než jejich příbuzní v podnebí chladnějším a sušším (Losos et al. 1984).

ornamentu dokládá práce na křepelce polní (*Coturnix coturnix*) (Thompson and Boag 1976) nebo na strnadu bělokorunkatém (*Zonotrichia leucophris*) (Murphy and King 1992). Dostupnost karotenoidů se dává do souvislosti s relativním množstvím vláhy zejména proto, že tento faktor může významně ovlivňovat biodiverzitu a celkovou biomasu přijímané potravy a následně množství karotenoidních látek potřebných k vývoji pestrého ornamentu (Olson and Owens 1998). Z toho v zásadě plyne, že příjem těchto esenciálních látek je pro volně žijící jedince hlavně v mírném pásu omezen na období, kdy dochází k olistění stromů (Isaksson, Von Post et al. 2007). Avšak za cenu kvality a atraktivity jedince pro opačné pohlaví je pestré opeření zároveň nápadné pro predátory. V tomto smyslu signál dobré kondice funguje spíše jako handicap (Zahavi 1975).

V produktivním lesním, na první pohled uniformním prostředí, může docházet ke vzniku mnoha dalších ekologických gradientů. Jedním z nich, který ovlivňuje výsledné zbarvení jedinců je gradient světla. Mozaiku světelných habitatů v lesním společenstvu Endler (Endler 1993) rozdělil na čtyři základní typy a definoval v nich hlavní vlnové délky světla, kdy (i) uzavřeným stanovištěm se souvislým korunovým patrem (*forest shade*) a (ii) habitaty s menšími světlinami v porostu (*small gaps*) prochází relativně málo přímého slunečního záření. Zatímco (iii) prostředí nesouvislého porostu (*woodland shade*) a (iv) otevřené lesní krajiny s malým zápojem vegetace (*large gaps*) jsou na takové záření bohaté. Vegetační kryt je tedy bohatý na žlutozelené, modré a UV vlnové délky. Naopak v přízemním patře převažují světlo tvořené žluto-oranžovými vlnovými délkami (Endler 1993). Organismy, které svým chováním využívají výhody konkrétních světelných podmínek, mohou tímto způsobem například minimalizovat náklady na signalizaci. Druhy by tak měly, chtějí-li vysílat barevné signály do svého okolí, a žijí zejména v hustě zapojeném lese, mít barvy tvořené převážně dlouhými vlnovými délkami (oranžová, červená), které vytváří kontrast s okolní vegetací (Endler 1993). Vztah byl potvrzen pro australské druhy ptáků (McNaught and Owens 2002). Dále oproti druhům žijícím v otevřených habitatech by měly být komunikační barevné prvky v husté vegetaci více reflexivní, čili prokazovat vyšší jas (Marchetti 1993). Studie prováděné McNaught a Owensem (McNaught and Owens 2002) se však s touto předpovědí rozcházejí. Ti totiž prokázali, že vyšší jasnost opeření měli ptáci obývající otevřené prostory.

1.3 ZPŮSOBY MĚŘENÍ BAREVNOSTI

Současné studie odhalují široké spektrum způsobů, jakými lze měřit barevnost peří. První skupinu tvoří práce, v nichž autoři využívají přístrojové měření spektrofotometrem (Gomez and Thery 2004; Armenta, Dunn et al. 2008) nebo spektroradiometrem (Marchetti 1993). Tímto způsobem lze získat kvantitativní parametry zbarvení jako je odstín, sytost a jasnost nebo dokonce UV složku (Endler 1990). Často jsou k těmto účelům využívány vzorky peří z musejních exemplářů (Armenta, Dunn et al. 2008; Doucet and Hill 2009; Osorio, Stavenga et al. 2011).

Druhá část prací vychází z jednoduchého, levnějšího avšak subjektivního způsobu hodnocení barev založeného na základě lidské klasifikace (Baker and Parker 1979; Hamilton and Zuk 1982; Badyaev and Ghalambor 1998). Problém této metody tkví nejen v subjektivitě vnímání barvy u každého pozorovatele, ale i v samotné anatomii zrakového aparátu napříč taxony. Rozlišování barev je proto v tomto směru komplikované a hodně závisí na konkrétním kontextu (Endler 1990). U metody hodnocení lidmi se často používají barevné předlohy z atlasových publikací nebo vlastní fotografický materiál, který mají respondenti za úkol utřídit dle předem stanoveného kritéria (Fitzpatrick 1998; Siebeck, Marshall *et al.* 2006; Frynta, Maresova *et al.* 2009).

Kvantifikaci barev v souvislosti s tradičními barevnými modely jako RGB nebo HSV prováděl Villafuerte (Villafuerte and Negro 1998). Ukázali, že pomocí digitálních kamer a speciálně upraveného softwaru lze zachytit barvy jedinců tak, že jsou odstraněny šumy způsobené světelnými změnami v okolním habitatu. Tato metoda poskytuje celkově jemnější rozlišení barev.

V této práci kombinuji dva přístupy. Jednak se snažím filtrovat chyby způsobené subjektivním lidským hodnocením tak, že klasifikuji barevnost všech jedinců sama (s jednou vlastní kontrolou) z jedné publikace, ve které ilustrace pocházejí od jednoho autora. Pro snadnější uchopení tématu a popis celkového barevného vzhledu ptáka tvořím jednoduché, snadno rozlišitelné barevné kategorie, které dostatečně popisují zbarvení všech druhů (viz příloha I; str. 92). Ostatní parametry barevnosti jako jsou jasnost nebo sytost analyzuji na základě teorie barevných modelů RGB a HSV pomocí počítačového programu.

1.4 CÍLE PRÁCE

Hlavním cílem této diplomové práce je popsat geografickou variabilitu v barevnosti jihoafrické avifauny, zejména na území Jihoafrické republiky a Království Lesotho. Ačkoliv Lesotho není v názvu mé práce přímo uvedeno, získaná data z této oblasti mohou přispět ke komplexnějším a přesnějším výsledkům. Základní otázkou je, zda existuje závislost mezi zbarvením opeření ptáků a podmínkami prostředí na velké prostorové škále. Konkrétně půjde o analýzu zásadních rysů barevnosti získaných z atlasového zdroje v souvislosti s gradientem produktivity, který se zde nápadně projevuje v západovýchodním směru. Za tímto účelem byly zvoleny tři různé metody sběru dat barevných charakteristik: (i) hodnocení pestrosti respondenty, (ii) počítačovým softwarem a (iii) metoda klasifikace barevných znaků do předem vytvořených kategorií. Součástí práce je také navržení možných hypotéz týkajících se geografické variability ve zbarvení peří druhů v intenzitě pohlavního výběru, kvalitě potravních zdrojů a evolucí antipredačních mechanismů.

2. METODIKA A MATERIÁL

2.1 STUDOVANÁ OBLAST

Republika Jižní Afrika (dále jen JAR) se rozkládá na jižním okraji Afrického kontinentu. Součástí studované oblasti je již zmíněné Království Lesotho, které se rozkládá při úpatí Dračích hor. Oba státy dohromady zaujímají přibližně 1 250 000 km². Na jihozápadě země převládá především podnebí se zimními dešti, které přechází v teplé, tropické klima s letními srážkami na severovýchodě. V centrální části země převažují oblasti s častým výskytem asezónních dešťů. Srážky tedy přibývají od západu na východ, ve vysokých nadmořských výškách přecházejí navíc ve srážky sněhové. V souvislosti s množstvím dostupné vody lze od západu na východ pozorovat již zmíněný výrazný gradient produktivity, který se mimo jiné podílí na vysoké diverzně jihoafrické avifauny (Sinclair, Hockey et al. 2002). Systém dle Howarda a Moore (<http://avibase.bsc-eoc.org/avibase.jsp?lang=CS&pg=home>) uvádí, že se na celém území jižní Afriky⁵ vyskytuje 972 druhů ptáků, z nichž 78 je endemických (<http://avibase.bsc-eoc.org/avibase.jsp?lang=CS&pg=home>). Centrem endemismu je zejména západní oblast Karoo a Namibská poušť, která zasahuje až k severozápadním hranicím JAR (Sinclair, Hockey et al. 2002). Přitom distribuce ptačích druhů, vázaných na terestrické prostředí v jižní Africe, se zdá být spjata s rozložením biomů a hlavními biologickými oblastmi. Na území JAR jsou tyto základní biomy (Sinclair, Hockey et al. 2002):

- Lesy a pralesy pokrývají minoritní část JAR. Limitujícím klimatickým faktorem tohoto biomu je především celková vlhkost. Podél východního pobřeží se táhne úzký pás **nížinného lesa**, který jako tzv. pobřežní les prostupuje na západ do savany, kde lemují břehy velkých řek. Ve vysokých nadmořských výškách s vysokou vlhkostí po celý rok přechází nížinný les v současnosti ve značně fragmentovaný **afromontánní les**. Tento typ pralesa je závislý zejména na

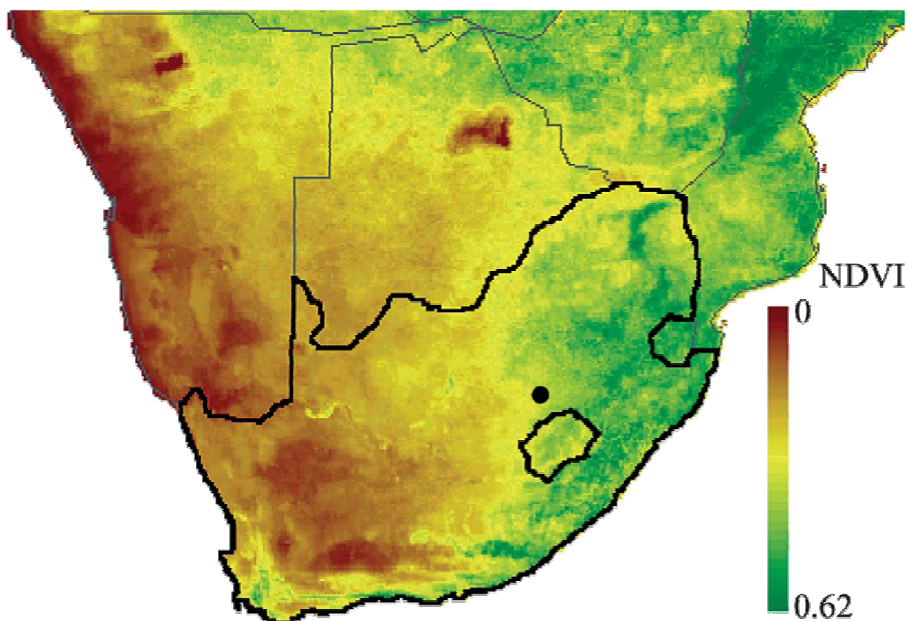
⁵ Jižní Afrikou je myšlen celý region v jižní části kontinentu.

lokalitě, aspektu⁶, geologii a typu půdy. Lesní ptáci jsou zpravidla vázáni pouze na jeden z těchto dvou typů lesa.

- Druhým biotem jsou **savany**, které naopak zaujímají většinu území. V Africe to jsou oblasti s nespojitým a řídkým stromovým porostem, který je prostoupen travinami a nízkými keři. Zatímco aridní savany dominují na severu země a jsou tvořeny převážně akáciemi, na severovýchodě se rozprostírají vlhké savany s širokolistými stromy, které vyžadují vlhčí klima.
- **Fynbos** je omezen na jižní výběžek JAR a je vázán na specifické typy půd. Ačkoliv se jedná o oblast s výraznou rostlinnou diverzitou, druhová bohatost ptáků i jejich celkové abundance jsou relativně nízké. Díky vysoké specifitě tohoto biotu se zde můžeme setkat zejména s poměrně velkým množstvím ptačích endemitů.
- Travniny nebo také „traviska“ se nacházejí v okolí centrální planiny Highveld ve vysokých nadmořských výškách, kde jsou jednak typické **krátkostébelné** porosty vázané na rašeliniště, jednak **vysokostébelné** grasslandy, které převažují v horských oblastech. Na tento biot je vázáno velké množství ptačích endemitů. Vlivem extensivního zemědělství dochází ke značnému přetváření původního prostředí, proto je zde vysoký výskyt ohrožených druhů.
- Na jihozápadě je oblast Karoo, která zabírá podstatnou část země. Vyskytuje se v aridních oblastech se srážkami pod 400 mm. Tento biot lze rozdělit na **sukulentní Karoo** v blízkosti západního pobřeží se zimními srážkami, a na **Nama-Karoo** v oblastech s letními dešti. Převažuje kamenitý terén s vyšším podílem keřovitého porostu a v půdě se stále drží malé množství povrchové vody. Vyskytují se zde hojně endemické druhy ptáků.

⁶ Aspekt popisuje směr největší změny ve výškovém převýšení. Ovlivňuje mikroklimatické podmínky a následkem toho vegetační kryt, druhovou distribuci a ekosystémové procesy prostředí. Vyjadřuje se ve stupních (0-360°).

- **Pouště** a polopouště zasahují do Jihoafrické republiky především ze severozápadu v podobě Namibské pouště a pouště Kalahari, která prostupuje až do aridní savany. Velmi drsné podnebí s malým úhrnem srážek, často méně než 50 mm za rok, je důvodem nízkého výskytu avifauny.



Obr. 2.1. Mapa produktivity jižní Afriky vyjádřená pomocí normalizovaného vegetačního indexu (NDVI). Studované oblasti (Jihoafrická republika a Království Lesotho) jsou vyznačeny silnou černou linií. Na mapě je viditelný kontinuální přechod NDVI hodnot od západu k východu, přičemž oblasti se střední mírou produktivity zaujímají podstatnou část území (Bonn, Storch et al. 2004).

2.2 ENVIRONMENTÁLNÍ PROMĚNNÉ

Environmentální proměnné byly získány z věrohodných internetových a atlasových databází (Hydro1K Africa⁷; FAO⁸). Všechny použité proměnné prostředí jsou dostupné pro 1858 mapových čtverců lokalit (každý čtverec o rozloze 25 x 25 km). Popisují především energetickou bilanci prostředí, a proto je v práci uvádím také jako

⁷ http://eros.usgs.gov/#/Find_Data/Products_and_Data_Available/gtopo30/hydro/africa

⁸ <http://www.fao.org/nr/geoinfo/geo-home/en/>

koreláty produktivity. Jedná se o proměnné limitující mimo jiné růst rostlin například skrze dostupnost vody nebo skrze ně můžeme popsat sezonalitu prostředí (Thuiller, Richardson et al. 2006).

2.3 PROMĚNNÉ DEFINUJÍCÍ BAREVNOST

Práce obsahuje celkem **4 kvantitativní** a **10 kvalitativních** barevných charakteristik pro 635 ptačích druhů (viz příloha VII; str. 105). Data o druhovém složení jihoafrických ptáků a jejich distribuci na 1858 mapových čtvercích byla získána z Hockey et al. (2005); Hockey PAR, Dean WRJ & Ryan PG (eds) 2006; Roberts (Birds of Southern Africa, VIIth ed. The Trustees of the John Voelcker Bird Book Fund, Cape Town).

2.3.1 KVALITATIVNÍ PROMĚNNÉ

2.3.1.1 Pestrost definována respondenty

K odhadu pestrosti pomocí respondentů bylo z atlasového zdroje Birds of Southern Africa (Sinclair, Hockey et al. 2002) vybráno 100 zástupců tzv. „barevných morfotypů“ z celkem 52 čeledí (viz příloha VI; str. 102). Tento počet byl zvolen tak, aby redukovaný set obsahoval hlavní barevné typy jihoafrických ptáků. K tomuto účelu byli vybráni pouze samci vyobrazení z boční pozice, ve svatebním šatu, a v jejich typické barevné morfě. Při výběru referenčních morfotypů byla uvažována pouze barevná složka jedince, bez ohledu na jeho další morfologické proporce (např. velikost, tvar) a taxonomickou příslušnost. Pro zachování stejné barevnosti byl každý jedinec vyříznut přímo z atlasu a umístěn na samostatnou papírovou kartu (10 x 10 cm) bílé barvy. Karty byly očíslovány a v náhodném pořadí předloženy celkem 37 respondentům (20 ženám, 17 mužům), kteří je měli za úkol seřadit dle pestrosti od nejméně po nejvíce pestrého. Respondenti nebyli v průběhu řazení omezeni časovým limitem a nebyla jim *a priori* vytvořena žádná představa o definici pestrosti. Ke každému morfotypu bylo tímto způsobem získáno jeho průměrné pořadí

pestrosti. Tato hodnota pestrosti byla následně přiřazena ke zbývajícím druhům s podobným barevným fenotypem.

2.3.1.2 Pestrost definována počítačovým softwarem

Z atlasového zdroje bylo nejprve oskenováno všech 649 jedinců na přístroji Xerox 4110 s rozlišením 600DPI, miliony barev. Aby byly eliminovány chybné pixely, způsobené kvalitou a rozlišením skenu, bylo na ilustrace aplikováno Gaussovo rozostření s poloměrem $r = 3$ v programu GIMP 2.6.11⁹. Každý jedinec byl rozdělen na tzv. **regia**, která byla očíslována a umístěna na zobák (1), čelo (2a), temeno (2b), tváře (3), náprsenku (4), břicho (5), záda (6), křídla (7), kostřec (8) a ocas (9). V každém regiu bylo po vhodném zvětšení ilustrace provedeno měření RGB¹⁰ hodnot v programu Adobe Photoshop CS3 a programu RGB. Různé přístupy v získávání RGB hodnot na odlišných druzích znázorňuje obrázek 2.3. Měřená plocha měla tvar čtverce s fixními rozměry 25 x 25 pixelů pro zachování měřítka v jednotlivých regiiích. Tato velikost byla předem zvolena tak, aby (i) byla zachycena dostatečná část barevné oblasti těla, (ii) aby co nejlépe reprezentovala lokální barevnost, (iii) aby se čtverec dobře umístil i do nejmenších regii (např. zobák). Pokud byla tělní oblast definována více než jednou barvou, čtverec byl umístěn na rozhraní těchto barev odhadem tak, aby každá z přítomných barev byla zastoupena v odpovídajícím poměru.

Pro získání pestrosti pomocí počítačového programu byly RGB hodnoty barev nejprve převedeny do HSV(B) modelu, který je nejbližší lidskému vnímání a umožňuje nám přesně definovat barvy v barevném prostoru (více viz příloha II; str. 94). Za tímto účelem bylo definováno 9 referenčních barev: červená, zelená, modrá, žlutá, hnědá, fialová, růžová, oranžová, šedá, bílá a černá. Pro každou barvu byla spočítána její průměrná hodnota, kolem které byly následně definovány hranice jejího celého intervalu. Tyto průměrné hodnoty byly získány z předchozího měření, kde každá barva byla rozdělena na tři další úrovně podle její sytosti (světlá, střední a tmavá) a pro

⁹ Toto rozostření nastaví hodnotu každého pixelu v aktivním výběru na průměrnou hodnotu pixelů v okolí o poloměru v nastaveném dialogu. Dále byla zvolena RLE („run-length encoding“) implementace (tzv. bezeztrátová komprese).

¹⁰ Získanými hodnotami byla trojice čísel charakterizující červenou (R), zelenou (G) a modrou (B) složku barvy. Získané hodnoty byly použity pro další statistické zpracování. Podrobnější popis viz příloha II; str.102.

každou byly získány hodnoty RGB z náhodně vybraných ilustrací. Měření se pro každou úroveň opakovalo třikrát.

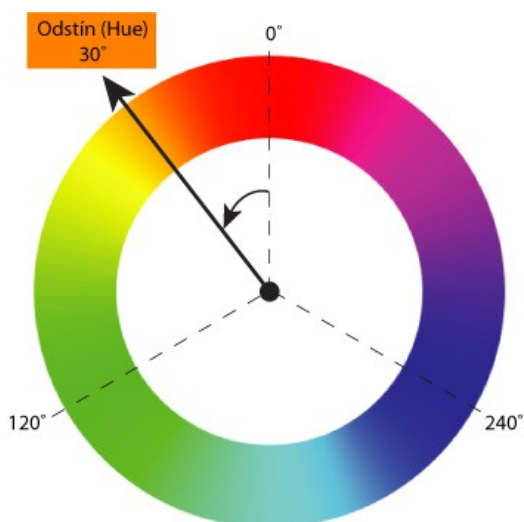
Pro definování nebarevných odstínů (černá, šedá, bílá) byla stanovena hodnota saturace $S < 0,2$. Odstíny tzv. šedé škály byly rozlišeny v rozměru B (jasnost) modelu HSV(B) a intervaly byly rozděleny symetricky na třetiny (tab. 2.2. Průměrné hodnoty ostatních barev se rozprostřely v rozměru H (*odstín*) modelu HSV(B) a to v zásadě bez hluchých hodnot (tab. 2.1; obr. 2.2). Hranice intervalů byly spočítány jako aritmetické průměry mezi sousedními průměrnými referenčními hodnotami H. Tyto hranice však nebyly kolem průměrných referenčních hodnot symetrické. Pokud se hodnoty v rozměru H málo lišily, bylo použito dodatečné rozlišovací kritérium v rozměru B, které od sebe lépe oddělilo průměrné referenční hodnoty. Tímto způsobem byla stanovena například poloha hnědého a oranžového odstínu, jak ukazuje tabulka 2.2. Jako hranice intervalu v rozměru B byla použita hodnota aritmetického průměru mezi sousedními průměrnými referenčními hodnotami B.

Tab. 2.1. Průměrné hodnoty barev a hranice jejich intervalů v HSV(B) modelu. Tabulka také popisuje průměrné hodnoty odstínu (H), sytosti (S) a jasnosti (B). Zkratky barev vycházejí z anglického názvosloví.

odstín	červená	hnědá		žlutá	zelená	modrá	fialová	růžová	červená	
		oranžová								
zkratka	R	N,A		Y	G	B	V	P	R	
prům. hodnota H	7	32		53	88	212	288	334	360	
hranice intervalů H	0	20		43	71	150	250	311	347	360
jasnost (B)	0,86	0,66	0,93	0,97	0,69	0,80	0,63	0,87	0,86	
sytost (S)	0,59	0,40	0,66	0,72	0,58	0,56	0,33	0,38	0,59	

Tab. 2.2. Specifikace polohy hnědé a oranžové barvy v HSV(B) modelu. Pokud se průměrné hodnoty v rovině H zásadně nelišily, byla poloha barvy stanovena podle jasnosti (B). Tabulka znázorňuje také hodnoty jasnosti (B) a sytosti (S) pro odstíny šedé škály. Tyto barvy jsou stanoveny dle kritéria $S > 0,2$.

odstín	brown	orange	black	grey	white
zkratka	N	A	K	E	W
jasnost (B)	0,66	0,93	0,31	0,53	0,97
hranice intervalů B	0	0,795	1		
sytost (S)	0,40	0,66	0,13	0,08	0,03



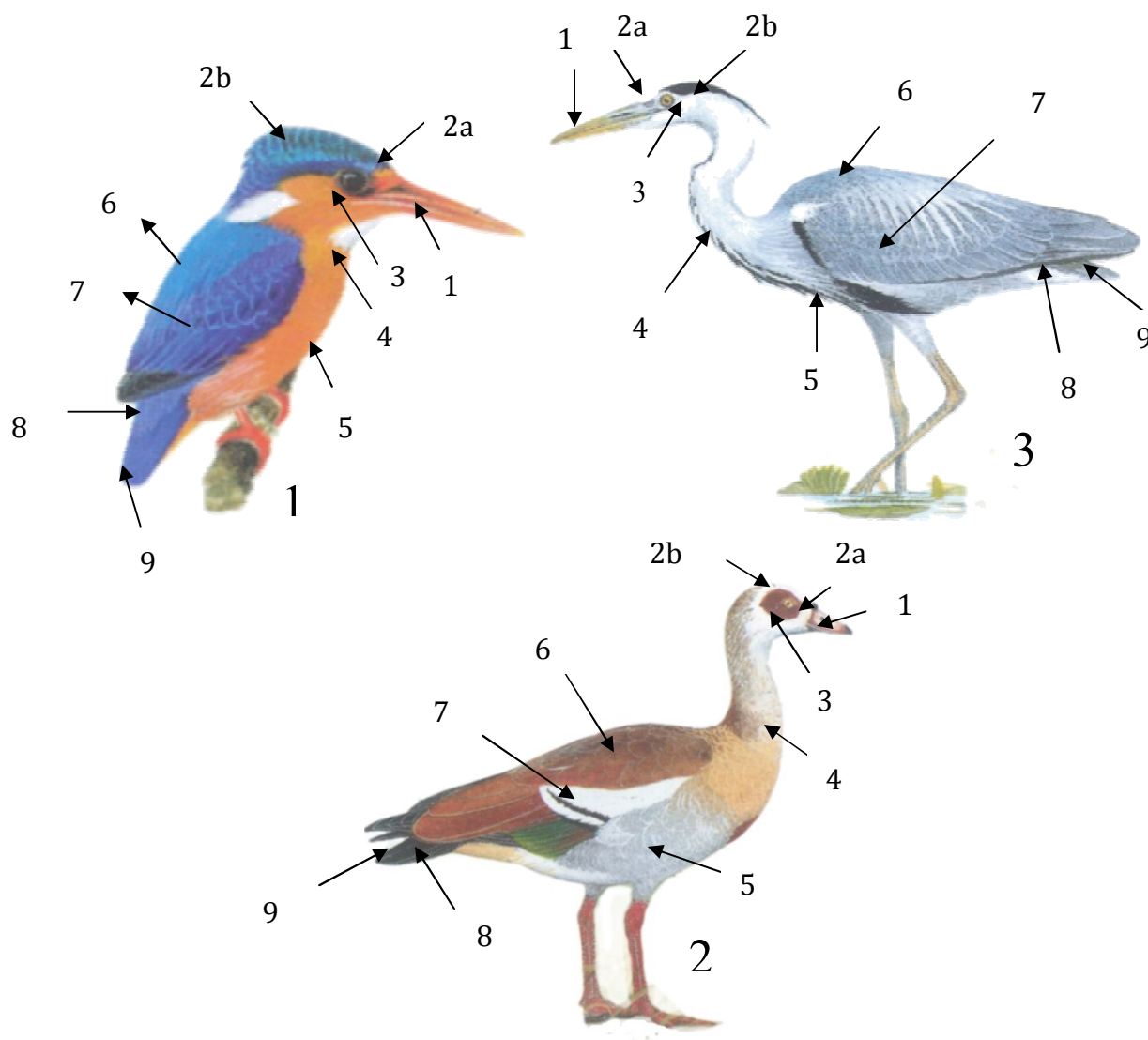
Obr. 2.2. Poloha barev v HSV(B) modelu. Umístění jednotlivých odstínů v kruhu je popsáno úhlovými stupni v rozsahu 0-360°. Dohodou se za úhel 0° považuje červená barva. Námi vypočítané hodnoty z barevných ilustrací se skutečně blížily poloze v kruhu podle teorie modelu.

Dále byl v aplikaci Excel na základě matematického algoritmu vypočítán počet barev v každém z deseti čtverců na jedinci a na jedinci celkově. Principem algoritmu byla registrace hodnot ke konkrétní barvě a postupné přibírání nových barev, které program rozpoznával na základě předem definovaných intervalů jednotlivých odstínů. Pokud se stejná barva vyskytovala ve více čtvercích, program ji v rámci jedince zaznamenal pouze jednou.

Pokud byl jedinec vyobrazen v příliš malé velikosti, docházelo někdy k chybnému zahrnutí pixelů na zobáku, které již měly náležet k bílému pozadí atlasu. Problém byl řešen následujícím způsobem: protože se v přírodě bílá barva zobáku vyskytuje pouze vzácně, mohla být bílá

barva z tohoto regia odfiltrována a ručně doplněna pouze u těch druhů, které takovou barvou zobáku disponují. Mezi tyto druhy patří Amadina páskovaná (*Amadina fasciata*), Amadina červenohlavá (*Amadina erythrocephala*), Stračka hnědohřbetá (*Lonchura nigriceps*), Atlásek tmavý (*Vidua purpurascens*), Špaček laločnatý (*Creatophora cinerea*), Agapornis růžohrdlý (*Agapornis roseicollis*), Holub africký (*Treron calvus*), Lyska hřebenatá (*Fulica cristata*).

Pestrost byla následně korelována s pestrostí získanou od respondentů. Dále byla kromě pestrosti pomocí počítače získána data pro sytost a jasnost, jednak v rámci celého ptáka (měřeno jako průměr přes deset čtverců), jednak zvláště pro každou tělní oblast, v práci definovanou jako regium.



Obr. 2.3. Zobrazení jednotlivých oblastí těla, kde byly získávány RGB hodnoty. (1) „krátkokrcí“ jedinci (např. Passeriformes, Coraciiformes), (2) jedinci se středně dlouhým krkem (např. Anseriformes, Galiiformes), (3) „dlouhokrcí“ jedinci (např. Ciconiiformes) (Baker and Parker 1979). Jednotlivá místa měření jsou označeny číslem: zobák (1), čelo (2a), temeno (2b), tváře (3), náprsenka (4), břicho (5), záda (6), křídla (7), kostřec (8), ocas (9). Ilustrace převzaty ze Sinclair, Hockey et al. (2002).

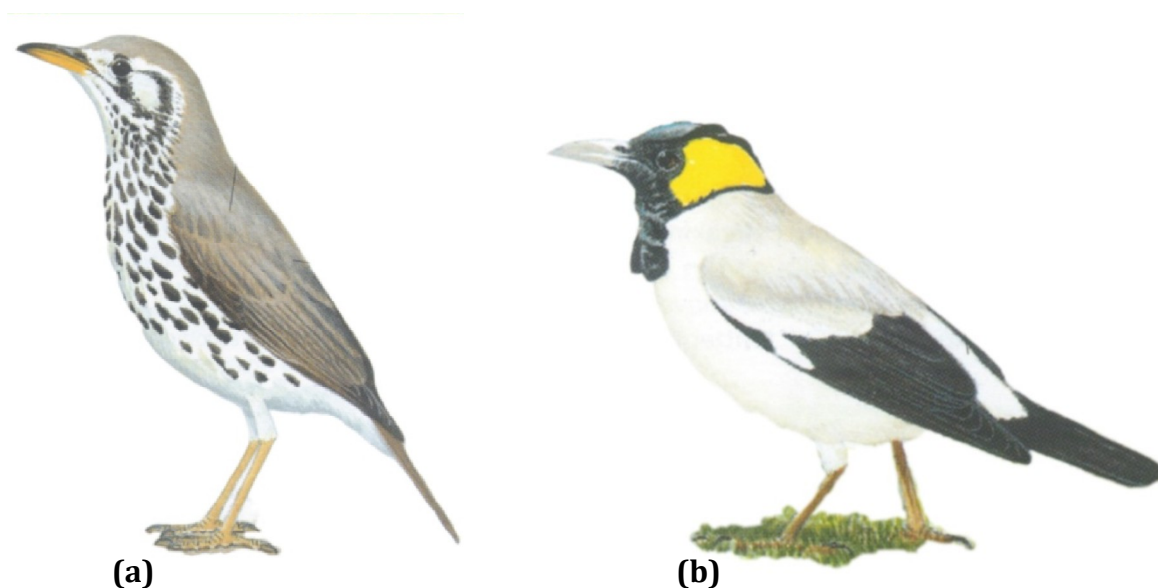
2.3.2 KATEGORIÁLNÍ PROMĚNNÉ

Při popisu zbarvení bylo binárně kódováno 10 kategoriálních znaků s několika úrovněmi (viz tab. I. 2 v příloze I). Z barevných ilustrací Sinclair *et al.* (2002) a práce

Seymoura (Seymour and Dean 2010) byly pro zjednodušení celkové barevnosti jedinců vytvořeny tři hlavní chromatické kategorie: (i) **hnědá/šedá**, (ii) **černá/bílá**, (iii) **žlutá/červená/oranžová**. Námi byly oproti zmíněné studii přidány ještě dvě další kategorie (i) **modro/zelená** a (ii) pouze **černá**. Z kategorie černá/bílá byla vydělena navíc pouze černá proto, že vzájemná kombinace černé a bílé barvy vytváří silný kontrast, a dá se předpokládat, že takto vybarvení jedinci se budou oproti uniformním černým fenotypům vyskytovat ve zcela odlišných prostředích. Černá byla vybrána z důvodu přítomnosti melaninu v peří, který je jeden z nejrozsáhlejších pigmentů mezi ptáky, a který by mohl plnit funkci krypte, ochrany před abrazí nebo termoregulace (Burt 1981; Ward, Blount et al. 2002). Kategorie černá/bílá byla ponechána z důvodů výskytu černo-bíle skvrnitých jedinců, kteří by se mohli nejčastěji vyskytovat v uzavřeném prostředí, kde by zbarvení pravděpodobně mohlo sloužit k utajení – tzv. disruptivní zbarvení (Merilaita 1998; Cuthill, Stevens et al. 2005; Merilaita and Lind 2005; Stevens, Cuthill et al. 2006). Nebo naopak v otevřeném prostředí, kde by taková barevná kombinace mohla odrazovat predátora (Gotmark 1993). Do kategorie oranžová/červená/žlutá byli oproti práci Seymoura (Seymour and Dean 2010) zařazeni pouze ti ptáci, u kterých tyto barvy zaujímaly viditelně velkou plochu těla.

Pro důslednější hodnocení barevného vzhledu jedince byly vytvořeny ještě následující kategorie: **iridescentní zbarvení** a **skvrnitost** jedinců. Skvrnitost byla definována vzájemnými přechody mezi několika málo nebo naopak mnoha barvami, které byly ve vzájemném kontrastu, a tato oblast byla na jedinci majoritním znakem (viz obrázek 2.4a). Ačkoli si jsem vědoma toho, že původ ať už karotenoidního, melaninového nebo iridescentního zbarvení nelze z ilustrací objektivně ohodnotit, v této práci jde zejména o generalizaci a hrubší popis barevných trendů v souvislosti s prostředím. Chyby v hodnocení barevnosti peří by mohl navíc minimalizovat dostatečně velký počet druhů. Dále byly hodnoceny **černé konce per u křídel a ocasů** jako doplňující informace v souvislosti s výskytem v abrazivním prostředí (Burt 1981). Příklad takového tzv. „černého konce“ znázorňuje obrázek 2.4b. Do této kategorie byli zařazeni pouze ti jedinci, u kterých černá barva peří skutečně lemovala úplné konce per a nebo byla křídla a ocasy černé zcela. Mezi samcem a samicí jsem navíc klasifikovala podle práce (Badyaev and Ghalambor 1998) **pohlavní**

dimorfismus ve třech následujících úrovních: (0) barevně totožní jedinci, kde samec a samice se vůbec nelišili ve zbarvení; (1) mírně lišící se jedinci ve zbarvení, kde samec se od samice odlišoval několika málo skvrnami; (2) zcela dimorfní jedinci. V této práci autoři provádějí komparaci výsledků z *Colortronu* a ukazují, že klasifikace pohlavní dvojtvárnosti ve zbarvení je lidským zrakem a spektrofotometrem srovnatelná. V práci bylo také záměrně vynecháno například hodnocení UV zbarvení, které pouze lidským zrakem nelze prokázat. Poslední kvalitativní proměnnou tvoří tzv. **ostatní barevnosti**, které nebylo možné zahrnout ani do jedné z výše zmíněných kategorií.



Obr. 2.4. Ukázka (a) skvrnitosti a (b) černých konců křídel a ocasu. Ilustrace převzaty ze Sinclair, Hockey et al. (2002).

2.4 STATISTICKÁ ANALÝZA

Pomocí makroekologického softwaru SAM (verze 4.0) byly získány mapy popisující gradienty jednotlivých znaků barevnosti napříč všemi lokalitami. Tyto tzv. **mapy geografické variability** vizualizují rozložení barevných znaků na velké prostorové škále. U kvalitativních proměnných se jedná o poměry znaků, naopak u kvantitativních proměnných o průměrné hodnoty na jednotlivých lokalitách.

Intenzita šedého odstínu každého čtverce tedy vyjadřuje poměrné resp. průměrné zastoupení vybraného znaku v dané oblasti. Prostorové rozložení jednotlivých znaků bylo navíc podpořeno statistickou analýzou.

Pro výběr environmentálních proměnných, které nejvíce přispěly k celkové variabilitě dat, byl použit proces postupné selekce (*forward selection*) v programovacím balíku CANOCO for Windows 4.5 (ter Braak and Šmilauer 1998; Lepš and Šmilauer, 2003). Pro zhodnocení každého z potenciálních prediktorů rozšiřujícího výběr vysvětlujících proměnných byl použit Monte Carlo permutační test (499 permutací). Podmíněný vliv environmentálních proměnných na druhová data je navíc uveden P hodnotou, kde pouze proměnné s $P < 0.1$ byly zahrnuty do konečného modelu. Tyto proměnné následně vstupovaly do redundanční analýzy (RDA), která je založena na předpokladu lineární odezvy druhů k testovaným proměnným prostředí. Pomocí ní byl zjišťován vliv proměnných prostředí na formování druhového společenstva, které bylo kódováno způsobem *presence-absence*.

2.4.1 CO-INERTNÍ ANALÝZA DAT

Vztah mezi environmentálními proměnnými a barevnými znaky druhů byl zkoumán dvěma, navzájem doplňujícími se metodami: *RLQ analýzou* (Doledec, Chessel *et al.* 1996) a *fourth-corner analýzou* (Legendre, Galzin *et al.* 1997; Dray and Legendre 2008). Obě analýzy pracují s daty uspořádanými do tří samostatných tabulek: (**R**) obsahující proměnné prostředí, (**L**) s údaji o distribuci druhů nebo jejich abundancemi a tabulka se znaky druhů (**Q**).

RLQ analýza je v podstatě rozšířením *co-inertní analýzy* (COIA) a hledá prostřednictvím separátních analýz tabulky R a tabulky Q největší variabilitu zachycenou hlavními osami a zároveň zachovává maximální kovarianci mezi těmito novými osami prostřednictvím spojovací tabulky L (Doledec and Chessel 1994; Dray, Chessel *et al.* 2003). Názorný a zjednodušený princip je ukázán na obrázku 2.5. Výhoda této metody spočívá v její symetrii, kdy je umožněno spojení tabulek se stejnými nebo zcela rozdílnými počty vysvětlujících proměnných, druhů anebo lokalit, a lze ji tak aplikovat na všechny druhy dat (Doledec and Chessel 1994). Nespornou výhodou metody je také to, že umožňuje spojení všech tří tabulek bez

ohledu na to, zda obsahují kvalitativní nebo kvantitativní proměnné (Thuiller, Richardson *et al.* 2006).

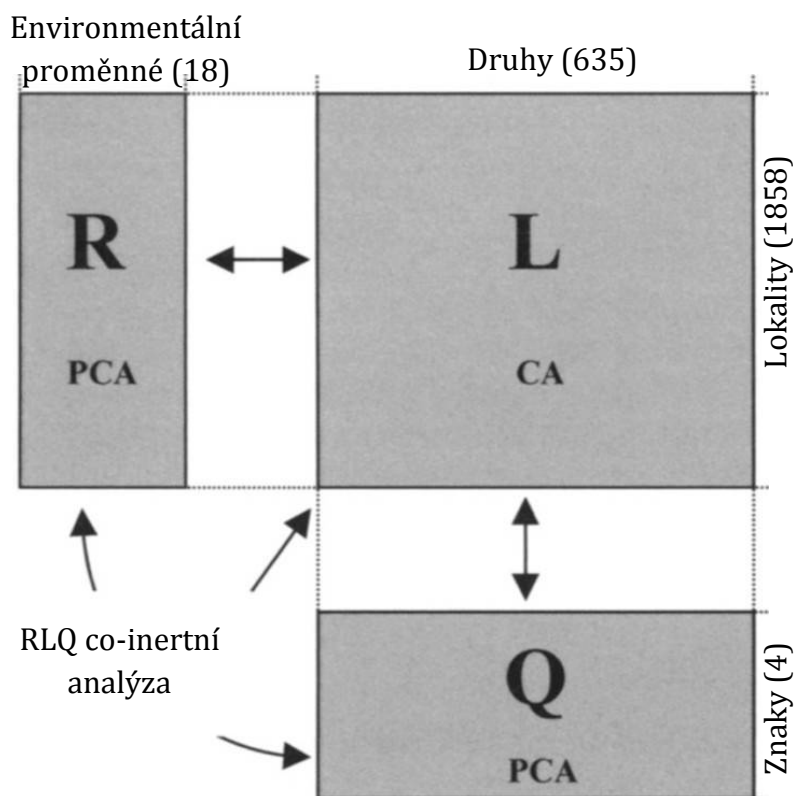
Konkrétně v této práci je tabulka R tvořena 1858 řádky (lokality) a 18 sloupci (environmentální proměnné). Dále z původního počtu 649 druhů, pro které byla dostupná environmentální data, byli odfiltrováni ti jedinci, kteří se vyskytovali na méně než pěti čtvercích mapy. Tabulka Q je tedy tvořena 635 řádky představující jednotlivé druhy a 37 sloupců se znaky popisující jejich barevnost. Centrální tabulka L je tvořena 1858 řádky (lokality) a 635 sloupci (druhy). Řádky z tabulky L tedy odpovídají řádkům tabulky R a sloupce tabulky L se shodují se sloupci tabulky Q. V práci jsem se nakonec omezila pouze na analýzu zbarvení samců, protože výsledky pro samice byly téměř totožné.

Pro každou tabulku (R, L, Q) bylo před vlastní RLQ analýzou nutné provést separátní mnohorozměrnou analýzu. Centrální tabulka L byla analyzována *korespondenční analýzou* (CA), která poskytuje nejvýhodnější současnou ordinaci řádků a sloupců (Thioulouse and Chessel 1992). Výsledkem je, že nové skóry druhů a lokalit mají maximální kovarianci. Proměnné prostředí (R) a kvantitativní znaky druhů (Q) byly zkoumány *analýzou hlavních komponent* (PCA) s použitím vah řádků z centrální tabulky L. Kvalitativní znaky druhů byly analyzovány *fuzzy korespondenční analýzou* (FCA) a taktéž zde byly použity váhy sloupců z tabulky L.

Pro zjištění síly vztahu mezi R a Q tabulkou (viz obrázek 2.5) bylo provedeno srovnání mezi variabilitou zachycenou prvními dvěma osami z RLQ analýzy a variabilitou ze separátních analýz všech tří původních tabulek. Protože RLQ analýza je tzv. omezenou ordinační metodou, výsledná první ordinační RLQ osa nemůže zachytit větší variabilitu, než podchycují hlavní komponenty ze separátních analýz (Doledec, Chessel *et al.* 1996). Respektive, maximální kovariance mezi novými skóry lokalit a druhů je výsledkem kombinace ordinace lokalit, které jsou omezeny environmentálními podmínkami (v rámci této ordinace dochází k optimalizaci variability mezi skóry míst), ordinace druhů omezenými znaky druhů (ordinace vede k optimalizaci variability mezi skóry druhů) a současné ordinace lokalit a druhů (optimalizují se korelace mezi místy a druhy) (Doledec, Chessel *et al.* 1996; Ribera, Doledec *et al.* 2001). V práci byly provedeny celkem tři RLQ analýzy: pro kvalitativní data, pro kvantitativní data a pro kvantitativní data na redukovaném počtu druhů.

Bylo-li třeba, byly proměnné prostředí i charakteristiky barevnosti před analýzou ošetřeny vhodnou transformací (např. $\sqrt{\cdot}$, $\log_{10}(x+1)$), aby bylo dosaženo co nejlepšího normálního rozložení hodnot.

Zatímco RLQ analýza slouží zejména ke grafickému znázornění struktury dat a k ulehčení výsledné interpretace vztahu mezi znaky a typem habitatu, statistická průkaznost mezi znaky druhů a environmentálními proměnnými se testuje *fourth-corner analýzou* (Legendre, Galzin et al. 1997; Dray and Legendre 2008). Způsobů permutování v této analýze může být několik v závislosti na tom, jaká ekologická hypotéza má být testována. Permutace probíhá v tabulce s druhovým složením. V této práci jsem použila tzv. „dvoustupňový přístup“, který kombinuje výsledky dvou permutačních modelů: *Model2* a *Model4* (Dray and Legendre 2008). *Model2* testuje nulovou hypotézu (H0), že druhové složení na všech lokalitách je stejné. Alternativní hypotéza (H1) tedy navrhuje, že druhová skladba je ovlivněna habitatovými podmínkami na konkrétní lokalitě a druhové složení není náhodné (permutují se lokality v tabulce R). *Model4* testuje nulovou hypotézu (H0), že druhy mají náhodné biologické a behaviorální vlastnosti. Permutují se tedy druhy, respektive řádky v tabulce Q (Dray and Legendre 2008). Testování průkaznosti bylo v práci provedeno permutačním testem na 5% hladině průkaznosti (Legendre, Galzin et al. 1997). Všechny výpočty a grafy byly získány v programu R (R Development Core Team 2009, verze 2.12.1sdi) pomocí statistického balíčku *ADE4* a *ade4TkGUI*; (Thioulouse, Chessel et al. 1997).



Obr. 2.5. Schématický popis RLQ analýzy na kvantitativních datech. RLQ analýza zjišťuje vzájemný vztah mezi dvěma hlavními tabulkami R (environmentální data) a Q (znaky druhů), za použití spojovací L tabulky (druhovú skladba). Pro tabulky R a Q byla použita analýza hlavních komponent (PCA), pro L tabulku korespondenční analýza (CA). V závorkách je uveden počet sloupců a řádků každé tabulky. Rozkladem variability všech tabulek jsou získány nové skóry druhů a lokalit (Ribera, Doledec et al. 2001). Tyto nové skóry druhů a lokalit si zároveň zachovávají maximální kovarianci (Doledec, Chessel et al. 1996). Obrázek převzat z (Choler 2005).

3. VÝSLEDKY

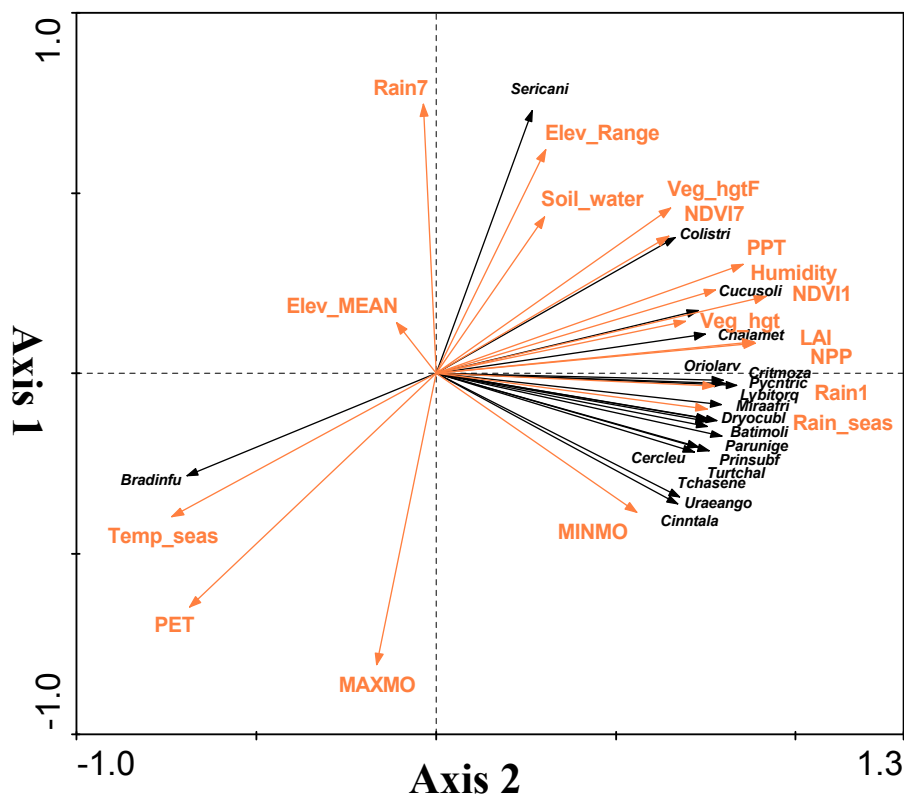
3.1 VZTAH MEZI DRUHOVOU SKLADBOU A ENVIRONMENTÁLNÍMI PROMĚNNÝMI

Na základě procesu postupné selekce je výsledná podmnožina vysvětlujících proměnných, která reprezentuje vztah mezi druhy a prostředím, tvořena z původních 31 proměnných těmito 18 proměnnými: průměrné teploty nejteplejšího a nejchladnějšího měsíce (MAXMO, MINMO), teplotní a srážková sezonalita (Temp_seas, Rain_seas), vzdušná vlhkost (Humidity) a průměrné lednové a červencové srážky (Rain1, Rain7), dále primární produktivita (NPP), index listové plochy (LAI), potenciální precipitace (PPT), výpar (PET), výška vegetace před a po požáru (Veg_hgt, Veg_hgtF), výškové převýšení (Elev_range), průměrná nadmořská výška (Elev_MEAN), vegetační indexy v lednu a červenci (NDVI1, NDVI7) a množství vody zachycené v půdě (Soil_water). Kromě těchto environmentálních proměnných, popisujících zejména produktivitu prostředí, byly zahrnuty také dva základní topografické parametry: latituda (x) a longituda (y).

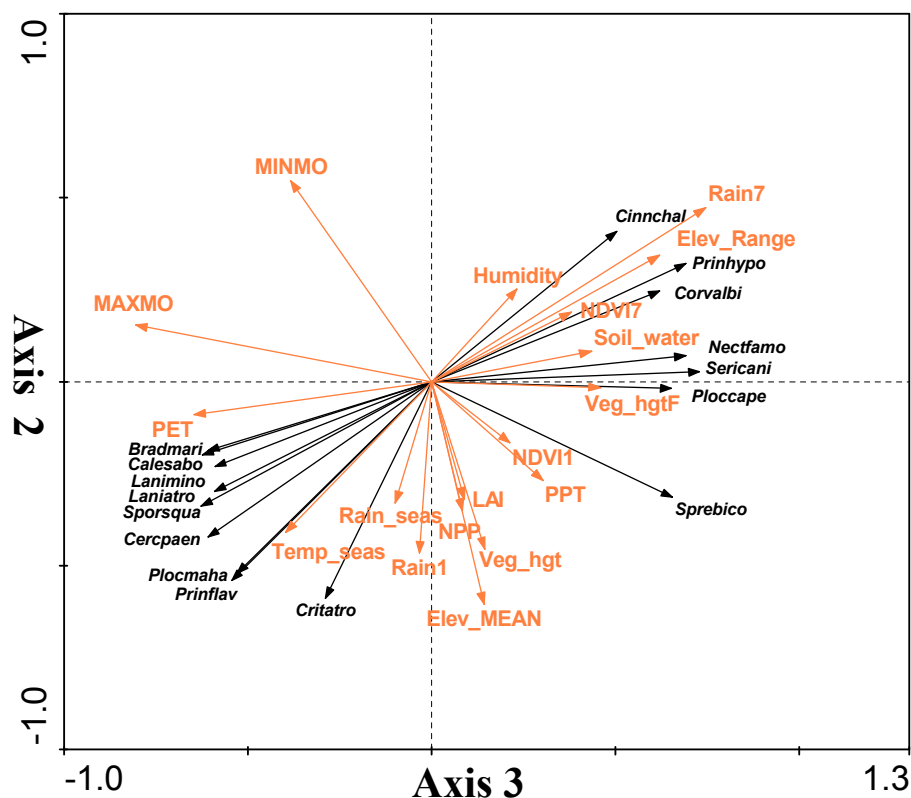
Hlavní směry variability v druhovém složení byly nejprve zkoumány nepřímou ordinační technikou DCA, která odhalila délku ekologického gradientu pro první osu 3.2. Proto pro celkové zhodnocení samotných druhových dat byla dále použita nepřímá ordinace PCA. První čtyři ordinační osy z této ordinace dohromady vysvětlily 45,4 % z celkové variability druhových dat. Přitom první hlavní komponenta zachytila 22,9 % variability, druhá pak téměř o polovinu méně, tedy 10,9 %. Data byla v tomto případě natolik homogenní, že pro popis variability v druhových datech, která se vztahuje k vybraným proměnným prostředí, byla zvolena redundanční analýza (RDA). Celková variabilita faunistických dat vysvětlená zároveň environmentálními i prostorovými proměnnými činila 43,4 % ($F = 64,08$; $P = 0,002$).

Ordinace ukazuje, že mezi prvními čtyřmi osami druhových dat a hlavními čtyřmi osami habitatových proměnných se objevil vysoký korelační vztah (*species-environment correlations* = 0,924; 0,909; 0,824; 0,756). Grafické znázornění z této nepřímé ordinace, do které byly zahrnuty pouze signifikantní environmentální proměnné, ukazuje obrázek 3.2. První ordinační osa vysvětluje 19,1 % variability, druhá osa pak 8,8 % variability (*eigenvalues* = 0,191; 0,088; $P = 0,002$). Přitom první a

druhá osa z RDA (obr. 3.2) se ukazují jako nejsilnější ukazatelé změn ve struktuře druhových dat. První ordinační osa naznačuje na **gradient produktivity**, který se projevuje na území JAR v západovýchodním směru. Výsledky poukazují na to, že druhová skladba je tedy podmíněna nejvíce tímto **západovýchodním trendem**. Proměnné charakterizující produktivitu prostředí podél této první osy jsou: sezonalita srážek (Rain_seas), srážky v lednu (Rain1), primární produktivita (NPP), index listové plochy (LAI), výška vegetace před požárem (Veg_hgt), vzdušná vlhkost (Humidity) a potenciální precipitace (PPT). Naopak hlavní proměnné popisující neproduktivní habitaty, které se rozložily v záporném směru této osy, jsou potenciální evapotranspirace (PET) a teplotní sezonalita (Temp_seas). Na druhé ose se projevil další důležitý gradient, tentokrát v **severo-j jižním směru**, který je vymezen srážkami v červenci (Rain7), výparem (PET) a průměrnými teplotami nejteplejšího měsíce (MAXMO). V grafu (obr. 3.3) se podél třetí záporné osy nejlépe rozložily lednové srážky (Rain1), nadmořská výška (Elev_MEAN), primární produktivita (NPP), index listové plochy (LAI), výška vegetace před požárem (Veg_hgt) a v opačném směru pak průměrné teploty nejchladnějšího měsíce (MINMO). Rozložení environmentálních proměnných podél této třetí ordinační osy naznačuje, že druhová skladba by mohla být navíc podmíněna **altitudinálním gradientem**, kdy s rostoucí nadmořskou výškou klesají průměrné teploty nejchladnějšího měsíce (MINMO).



Obr. 3.2. Biplot z RDA analýzy pro druhová data a environmentální proměnné bez vlivu prostorových kovariát pro první a druhou ordinační osu. Vybrané druhy jsou vyznačeny čtyřpísmennými zkratkami. Pro jednoduchost je v grafu vyobrazen pouze náhodný výběr devatenácti druhů. Délka a poloha jednotlivých šipek naznačuje korelaci mezi environmentálními proměnnými a hlavními komponentami. Na první kladné ose se rozložily tyto environmentální proměnné: průměrné teploty nejchladnějšího měsíce (MINMO), srážková sezonalita (Rain_seas), průměrné lednové srážky (Rain1) a vzdušná vlhkost (Humidity), dále primární produktivita (NPP), vegetační index v měsíci červnu a lednu (NDVI7, NDVI1), index listové plochy (LAI), potenciální precipitace (PPT), výška vegetace před a po požáru (Veg_hgt, Veg_hgtF), a množství vody zachycené v půdě (Soil_water). S těmito proměnnými se podél první osy v kladném směru náhodně rozložily druhy jako *Cinnyris talatala* (Cinntala), *Uraeginthus angolensis* (Uraeango), *Turtur chalcospilos* (Turtchal), *Tchagra senegalus* (Tchasene), *Prinia subflava* (Prinsubf), *Cercotrichas leucophrys* (Cercleuc), *Mirafr africana* (Miraafri), *Parus niger* (Parunige), *Dryoscopus cubla* (Dryocubl), *Batis molitor* (Batimoli), *Lybius torquatus* (Lybitorq), *Pycnonotus tricolor* (Pycntric), *Crithagra mozambica* (Critmoza), *Oriolus larvatus* (Oriolaro), *Chalcomitra amethystina* (Chalamet), *Cuculus solitarius* (Cucusoli) a *Colius striatus* (Colistri). V záporném směru první hlavní komponenty se ukázaly proměnné asociované s neproduktivními oblastmi: teplotní sezonalita (Temp_seas) a výpar (PET) a druh, který se s těmito proměnnými ukázal je pouze *Bradornis infuscatus* (Bradinfu). Na druhé kladné ose pak vydělily proměnné jako průměrná nadmořská výška (Elev_MEAN), červencové srážky (Rain7) a výškové převýšení (Elev_Range). V tomto směru se vydělil jeden druh z náhodného výběru a to konkrétně *Serinus canicollis* (Sericani).



Obr. 3.3. Biplot z RDA analýzy pro druhová data a environmentální proměnné bez vlivu prostorových kovariát pro druhou a třetí ordinační osu. Čtyřpísmenné zkratky označují jednotlivé druhy. Pro jednoduchost je v grafu vyobrazen pouze náhodný výběr šestnácti druhů. Délka a poloha jednotlivých šipek naznačuje korelaci mezi environmentálními proměnnými a hlavními osami. Environmentální proměnné jako potenciální evapotranspirace (PET), průměrná teplota nejteplejšího měsíce (MAXMO) a teplotní sezonalita se vydělily podél druhé ordinační osy v záporném směru a s těmito proměnnými popisující zejména aridní a neproduktivní oblasti korelovaly druhy *Bradornis mariquensis* (*Bradmari*), *Calendulauda sabota* (*Calesabo*), *Lanius minor* (*Lanimino*), *Laniarius atrococcineus* (*Laniatro*), *Sporopipes squamifrons* (*Sporsqua*), *Cercotrichas paena* (*Cercpaen*), *Plocepasser mahali* (*Plocmaha*) a *Prinia flavicans* (*Prinflav*). Naopak v kladném směru této osy se objevily proměnné jako vzdušná vlhkost (Humidity), červencový a lednový vegetační index (NDVI7, NDVI1), množství vláhy zachycené v půdě (Soil_water), červencové srážky (Rain7), výškové převýšení (Elev_Range) a výšla vegetace po požáru (Veg_hgtF), poukazující na výše zmíněný gradient produktivity, projevující se v západo-východním směru. S těmito proměnnými korelovaly druhy *Spermestes bicolor* (*Sperbico*), *Ploceus capensis* (*Ploccape*), *Serinus canicollis* (*Sericani*), *Nectarinia famosa* (*Nectfamo*), *Corvus albicollis* (*Corvalbi*), *Prinia hypoxantha* (*Prinhyppo*) a *Cinnyris chalybeus* (*Cinnchal*). Třetí osa pak poukazuje na altitudinální gradient, který je určen zejména průměrnou teplotou nejchladnějšího měsíce (MINMO) a lednovými srážkami (Rain1) s průměrnou nadmořskou výškou (Elev_MEAN). Dále se třetí zápornou osou se vydělily další environmentální proměnné: primární produktivita (NPP), index listové plochy (LAI), primární precipitace (PPT), teplotní a srážková sezonalita (Temp_seas, Rain_seas) a výška vegetace před požárem (Veg_hgt). Ve směru této třetí osy koreloval z náhodného výběru *Crithagra atrogularis* (*Critatro*).

3.2 VZTAH MEZI PROMĚNNÝMI PROSTŘEDÍ A KVANTITATIVNÍMI BAREVNÝMI ZNAKY

3.2.1 SEPARÁTNÍ ANALÝZY

První čtyři osy korespondenční analýzy (CA) dohromady vysvětlily 31,17 % z celkové variability **druhových dat** tabulky L (tab. 3.1). První vlastní hodnota (*eigenvalues*) z této ordinace odpovídá korelaci rovné 0,6 ($\sqrt{0,349}$). Přičemž toto číslo naznačuje nejlepší korelaci mezi skóry druhů a skóry lokalit v tabulce s druhovým složením, a nabývá tak největšího významu.

Podobně byla provedena separátní analýza **proměnných prostředí** (R tabulka). První dvě osy z PCA analýzy zachytily 48,85 % a 19,28 % (dohromady 68,13 %) z celkové variability (tab. 3.2). S první ordinační osou nejvíce kladně korelovala potenciální evapotranspirace (PET) a teplotní sezonalita (Temp_seas) (pro korelační koeficienty $r > 0,7$). Průměrná nadmořská výška (Elev_MEAN) nejvíce korelovala v pozitivním směru s první i druhou osou, ale v druhém případě s větší hodnotou korelačního koeficientu ($r > 0,8$). Negativní korelace s první komponentou byla prokázána pro potenciální precipitaci (PPT), vegetační lednový index (NDVI1), index listové plochy (LAI), primární produktivitu (NPP) ($r > -0,9$) a dále pro výšku vegetace po požáru (Veg_hgtF), vzdušnou vlhkost (Humidity), průměrné lednové srážky (Rain1), výšku vegetace před požárem (Veg_hgt) a vegetačním indexem v červenci (NDVI7) ($r > -0,7$) (tab. 3.2). S druhou ordinační osou separátní PCA analýzy negativně korelovaly průměrné červencové srážky (Rain7) a průměrné teploty nejchladnějšího měsíce (MINMO) ($r > -0,5$). Podél třetí osy se nejlépe rozložily průměrné teploty nejteplejšího a nejchladnějšího měsíce (MAXMO, MINMO) společně s průměrnou nadmořskou výškou (Elev_MEAN) a výškovým převýšením (Elev_Range). Se čtvrtou osou pak nejlépe koreluje v kladném směru červencový vegetační index (NDVI7) a v záporném směru půdní vlhkost (Soil_water). Grafické znázornění ze separátní analýzy této tabulky je ukázáno na obrázku 3.4.

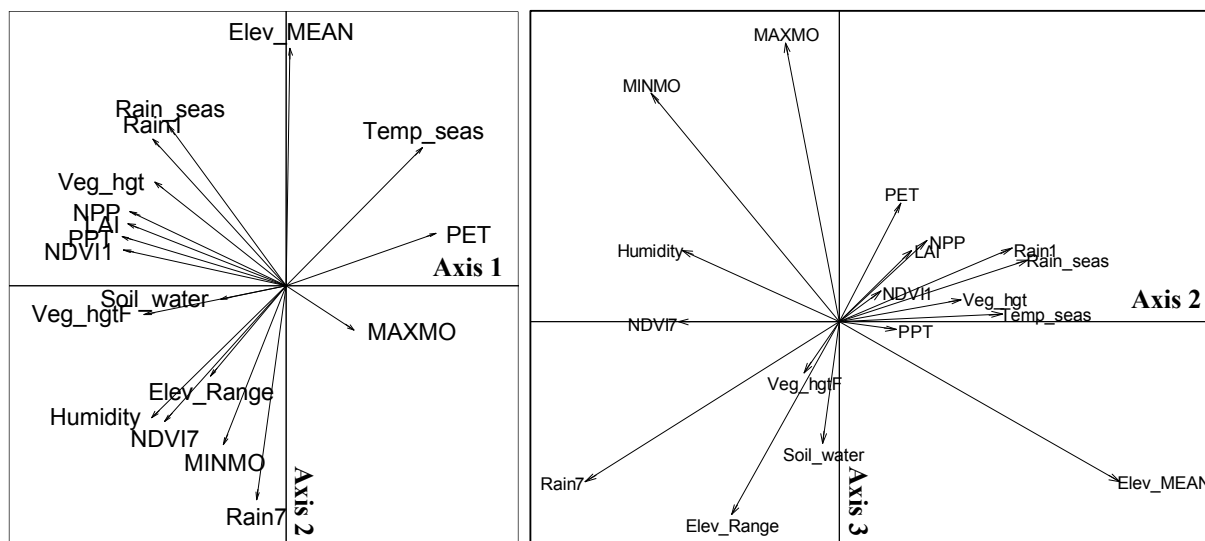
Tab. 3.1. Separátní CA analýza centrální L tabulky s druhovým složením. Vlastní hodnoty (*Eigenvalues*) a procenta zachycené variability (*Var*) jsou zaznamenány pro první čtyři ordinační osy.

	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4
Eigenvalues	0,349	0,218	0,131	0,087
Var	13,860	8,634	5,216	3,456

Tab. 3.2. Analýza hlavních komponent (PCA) environmentálních proměnných¹¹. Tabulka zachycuje vlastní hodnoty (*Eigenvalues*), procenta variability (*Var*) a korelační koeficienty proměnných prostředí s prvními čtyřmi ordinačními osami.

	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4
Eigenvalues	8,793	3,471	2,574	0,997
Var	48,852	19,281	14,301	5,540
MAXMO	0,390	-0,161	0,851	-0,044
MINMO	-0,360	-0,574	0,695	-0,172
Temp_seas	0,781	0,498	0,023	0,153
Rain1	-0,770	0,529	0,224	-0,041
Rain7	-0,174	-0,772	-0,485	0,219
Rain_seas	-0,677	0,575	0,189	-0,209
PPT	-0,946	0,175	-0,024	0,094
PET	0,859	0,189	0,361	0,123
Humidity	-0,776	-0,476	0,220	-0,066
Soil_water	-0,380	-0,050	-0,370	-0,739
Elev_MEAN	0,021	0,855	-0,486	0,025
Elev_Range	-0,439	-0,327	-0,588	-0,048
NPP	-0,901	0,267	0,248	0,064
NDVI1	-0,936	0,129	0,094	-0,042
NDVI7	-0,701	-0,490	0,000	0,264
LAI	-0,910	0,223	0,220	-0,019
Veg_hgt	-0,757	0,373	0,067	0,355
Veg_hgtF	-0,817	-0,105	-0,156	0,262

¹¹ Průměrná teplota nejteplejšího měsíce (MAXMO), průměrná teplota nejchladnějšího měsíce (MINMO), teplotní sezonalita (Temp_seas), lednové srážky (Rain1), červencové srážky (Rain7), srážková sezonalita (Rain_seas), primární precipitace (PPT), potenciální evapotranspirace (PET), vzdušná vlhkost (Humidity), půdní vlhkost (Soil_water), průměrná nadmořská výška (Elev_MEAN), výškové převýšení (Elev_Range), primární produktivita (NPP), lednový vegetační index (NDVI1), červencový vegetační index (NDVI7), index listové plochy (LAI), výška vegetace před požárem (Veg_hgt), výška vegetace po požáru (Veg_hgtF).



(a)

(b)

Obr. 3.4. Grafické znázornění environmentálních proměnných ze separátní analýzy hlavních komponent (PCA) pro (a) první a druhou ordinační osu, (b) druhou a třetí ordinační osu. Podél první ordinační osy v kladném směru se objevily proměnné prostředí jako průměrná teplota nejteplejšího měsíce (MAXMO), potenciální evapotranspirace (PET) a teplotní sezonalita (Temp_seas). Naopak v záporném směru vegetační indexy v lednu a červenci (NDVI1, NDVI7), průměrná roční precipitace (PPT), index listové plochy (LAI), primární produktivita (NPP), výška vegetace před a po požáru (Veg_hgt, Veg_hgtF), vzdušná vlhkost (Humidity), srážky v lednu a červenci (Rain1, Rain7), srážková sezonalita (Rain_seas), půdní vlhkost (Soil_water) a průměrná teplota nejchladnějšího měsíce (MINMO). Podél druhé osy se pak v kladném směru rozložila průměrná nadmořská výška (Elev_MEAN) a v záporném červencové srážky (Rain7) společně s průměrnými teplotami nechlazenějšího měsíce (MINMO). Třetí osa poukazuje na kladnou korelaci s průměrnými teplotami (MAXMO, MINMO) a v záporném směru s výškovým převýšením (Elev_Range) a půdní vlhkostí (Soil_water).

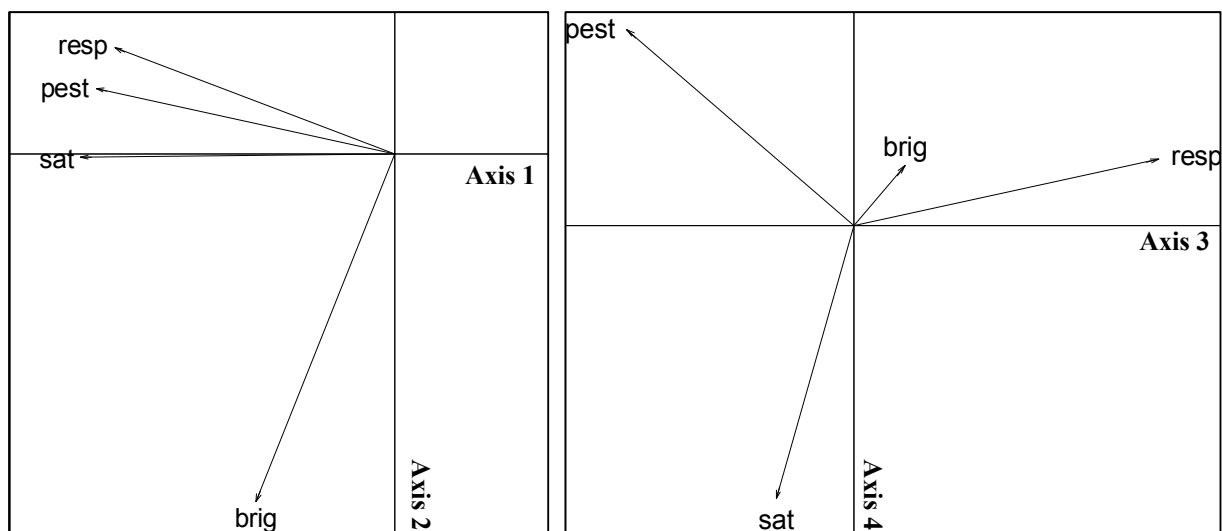
První dvě osy ze separátní PCA analýzy pro **kvantitativní barevné znaky** vysvětlily postupně 50 % a 23,75 %, dohromady 73,75 % z celkové variability (tab. 3.3). Největší variabilita spojitých znaků byla zachycena v záporném směru první osy, podél níž se rozmístila sytost barev (sat) a pestrost, která byla získána pomocí počítačového softwaru (pest) (pro korelační koeficienty $r > -0,7$). S druhou hlavní komponentou v záporném směru pak výrazně korelovala jasnost (brig) ($r > -0,9$).

Korelaci s třetí osou v kladném směru nejvíce vykazala pestrost definovaná respondenty (resp) ($r > 0,5$). Podél třetí osy v záporném směru se naopak nejlépe rozložila pestrost definovaná počítačem (pest). Tato třetí osa tedy jasně vydělila obě zmíněné pestrosti, které byly získány odlišnými technikami (obr. 3.5). Podél čtvrté ordinační osy v záporném směru se poté nejlépe rozložila sytost (sat) ($r > -0,5$).

Tab. 3.3. Separátní analýza hlavních komponent (PCA) pro kvantitativní znaky¹² tabulky Q. Tabulka ukazuje vzájemné korelace mezi čtyřmi hlavními osami analýzy a vybranými kvantitativními barevnými charakteristikami druhů. První dva řádky tabulky popisují vlastní hodnoty (*Eigenvalues*) a procenta zachycené (*Var*) variability znaků.

	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4
Eigenvalues	2,000	0,950	0,586	0,464
Var	50,003	23,745	14,647	11,605
resp	-0,741	0,280	0,595	0,130
sat	-0,831	-0,009	-0,153	-0,534
brig	-0,367	-0,917	0,100	0,118
pest	-0,790	0,173	-0,445	0,385

¹² (resp) pestrost respondentů, (sat) saturace, (brig) jasnost, (pest) pestrost počítačového softwaru



Obr. 3.5. Grafické znázornění kvantitativních znaků druhů ze separátní PCA analýzy pro (a) první a druhou ordinační osu, (b) třetí a čtvrtou osu. S první osou v záporném směru nejvíce koreluje sytost barev (sat), pestrost, která byla definována počítačem (pest) a pestrost získaná z preferencí respondentů (resp). Druhá osa pak vyděluje od této skupiny znaků v negativním směru jasnost (brig). Se třetí kladnou osou pak nejvíce koreluje pestrost respondentů (resp) a to v kladném směru. Čtvrtá osa vyděluje jasnost (brig) od sytosti (sat), která se rozložila podél čtvrté osy v záporném směru.

3.2.2 RLQ ANALÝZA KVANTITATIVNÍCH ZNAKŮ

RLQ analýza odhalila signifikantní vztah mezi environmentálními proměnnými a **kvantitativními znaky** druhů. První dvě osy RLQ analýzy, které spojují environmentální proměnné s kvantitativními barevnými znaky pomocí centrální L tabulky, zachytily postupně 84,46 % a 15,04 % (dohromady 99,5 %) z celkové možné variability dat (tab. 3.4), což naznačuje silnou rozdílnost ve výskytu barevných charakteristik druhů podél gradientu produktivity. Zbylé osy pak vysvětlují jen zanedbatelnou část variability, a proto nejsou v práci uváděny.

Proporce vysvětlené variability získaná z RLQ analýzy spojených znaků byla srovnána s proporcemi variabilit jednotlivých tabulek ze separátních analýz. První osa z RLQ analýzy zachytila pro environmentální proměnné 94,55 % z celkové variability, která byla vysvětlena první osou v separátní PCA analýze (tj. poměr mezi

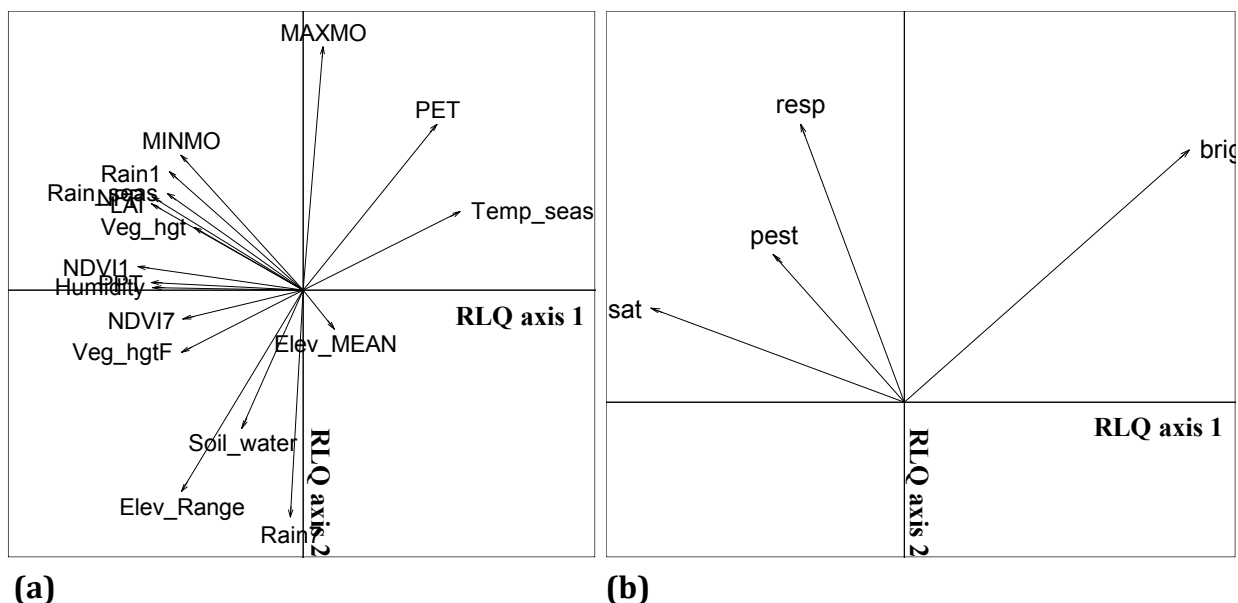
variabilitou environmentálních proměnných v RLQ analýze a variabilitou environmentálních proměnných ze separátní analýzy je 8,314/8,793) (tab. 3.2 a 3.4). Protože jednotlivé RLQ osy neukazují přímo informaci danou pouze prvními osami separátní analýzy kvantitativních znaků, ale jejich vzájemnou kombinaci, první a druhá RLQ osa dohromady zachytily 91,80 % z celkové variability environmentálních proměnných. Pro kvantitativní barevné znaky zachytila první RLQ osa 67,85 % z celkové variability, kterou vysvětlila první ordinační osa v separátní analýze (1,357/2,000) (tab. 3.3 a 3.4). První dvě osy pak dohromady zachytily 90,93 % z celkové variability. Korelace nových skóreů podél první RLQ osy je 0,078 (tab. 3.4), což představuje 13,1 % z nejvyšší možné korelace mezi lokalitami a druhy, která byla získána jako druhá odmocnina první vlastní hodnoty z korespondenční analýzy ($\sqrt{0,349} = \mathbf{0,591}$; tab. 3.1) (Doledec *et al.* 1996). Na druhé RLQ ose je korelace 0,057, což představuje 9,48 % z maximální možné korelace ($\sqrt{0,218} = \mathbf{0,466}$; tab. 3.1). Kovariance s první RLQ osou mezi novými skóry lokalit (počítané z jejich environmentálních charakteristik) a skóry druhů (počítané z jejich kvalitativních znaků) činí 0,262, což se rovná součinu druhé odmocniny z první vlastní hodnoty ze separátní analýzy R tabulky (8,314), druhé odmocniny první eigenvalue ze separátní analýzy Q tabulky (1,357) a hodnoty korelace (0,078). Souhrnný vzorec pro získání hodnoty kovariance tedy je $\sqrt{8,314} \times \sqrt{1,357} \times 0,262$. Oproti tomu hodnota kovariance pro druhou RLQ osu je téměř poloviční (0,110). RLQ analýza ve své podstatě optimalizuje kovarianci mezi novými skóry lokalit (omezené environmentálními proměnnými) a skóry druhů. První RLQ osa tedy sice zachytila nejvíce variability, nicméně vliv druhé osy není zcela zanedbatelný.

Náhodné permutace řádků R a Q tabulky v Mont Carlo permutačním testu (999 permutací) nenašel ani jednu hodnotu koinercie, která by byla stejná nebo vyšší než pozorovaná hodnota ($P < 0,001$). Celkově tedy RLQ analýza odhalila silný vztah mezi environmentálními proměnnými a spojitými barevnými charakteristikami.

Tab 3.4. Shrnutí výsledků z RLQ analýzy pro kvantitativní barevné znaky. Tabulka zachycuje vlastní hodnoty (*Eigenvalues*) a procenta variability (*Var*) pro první dvě RLQ osy, které zachytily nejvíce variability. Dále jsou uvedeny hodnoty „Kovariance“ a „Korelace“ mezi dvěma novými skóry R a Q tabulky, projektovaných na první dvě RLQ osy. Hodnoty „Variance“ představují variabilitu nových skóru environmentálních proměnných (Habitat) a barevných znaků (Znaky).

Statistika	RLQ axis 1	RLQ axis 2
Eigenvalues	0,068	0,012
Var	84,46 %	15,04 %
Kovariance	0,262	0,110
Korelace	0,078	0,056
Variance		
Habitat	8,314	2,944
Znaky	1,357	1,326

Vzájemný vztah mezi environmentálními proměnnými a kvantitativními barevnými znaky je také pro přehlednost graficky vyjádřen na obrázku 3.6. Zobrazeny jsou všechny proměnné podél prvních dvou RLQ os. Zjištěné gradienty znaků jsou popsány níže v doprovodu s výsledky z *fourth-corner* statistiky.

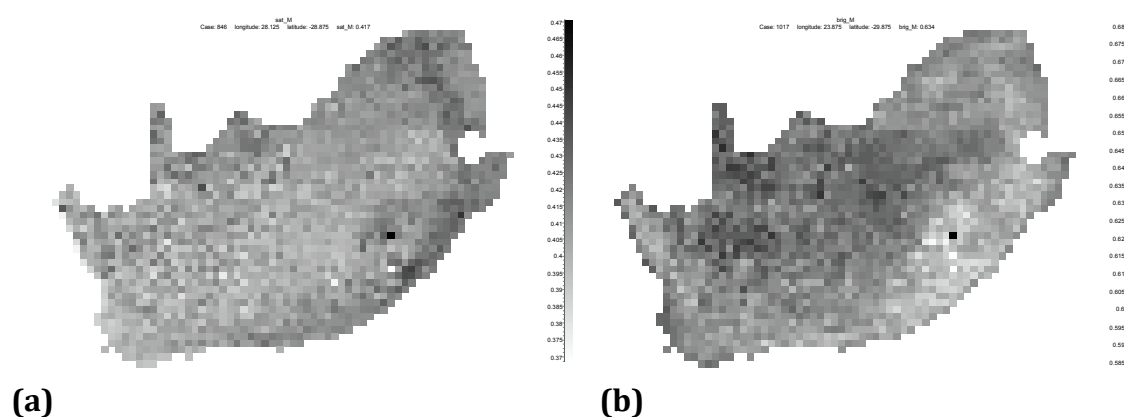


Obr. 3.6. Grafické zobrazení z RLQ analýza (a) environmentálních proměnných a (b) kvantitativních proměnných. Projekce skóru environmentálních proměnných a barevných znaků na první dvě RLQ osy. Směr a délka šipek naznačuje vzájemnou korelaci vybraných znaků a environmentálních proměnných s hlavními RLQ osami, které zachycují největší procento vysvětlené variability.

Jak již bylo zmíněno výše, na základě *fourth-corner* analýzy (999 permutací) byla získána kovarianční matice, která popisuje průkaznost jednotlivých proměnných se znaky. Tyto průkaznosti vztahů mezi vybranými **environmentálními proměnnými** a **barevnými znaky** jsou zaznamenány v tabulce 3.5. Jednotlivé hodnoty ukazují, že podél první RLQ osy environmentálních proměnných se nejlépe v záporném směru rozložila vlhkost (Humidity), primární precipitace (PPT), primární produktivita (NPP) a vegetační indexy v lednu a červenci (NDVI1, NDVI7), index listové plochy (LAI), výška vegetace před a po požáru (Veg_hgt, Veg_hgtF) a srážky (Rain1, Rain_seas). Z barevných znaků s první RLQ osou v tomto směru nejlépe korelovala **sytoť** (sat) opeření. Podobný trend naznačuje již mapa prostorové variability na obrázku 3.7a. Jak je vidět, výskyt tohoto znaku je asociován především s proměnnými popisující produktivní biomy. Jedná se o subtropické oblasti na východě země, kde dominují nížinné lesy s poměrně stálým klima a vlhké savany na

severu, prostupující mírně až do suchých savan na severu. Na základě projeveného gradientu se zcela očekávaně ukázala negativní závislost mezi sytostí opeření a teplotní sezonalitou (Temp_seas) (viz tab. 3.5).

Naopak s proměnnými popisující neproduktivní a aridní oblasti jako jsou výpar a teplotní sezonalita (PET, Temp_seas), jdoucí podél první RLQ osy v kladném směru, nejlépe průkazně koreluje **jasnost** (brig) (obr. 3.7b). Mapa naznačuje, že druhy s jasnějšími ornamenty obývají zejména otevřené oblasti. Jedná se o suché oblasti Karoo, pouště a suché savany na východě a severovýchodě.

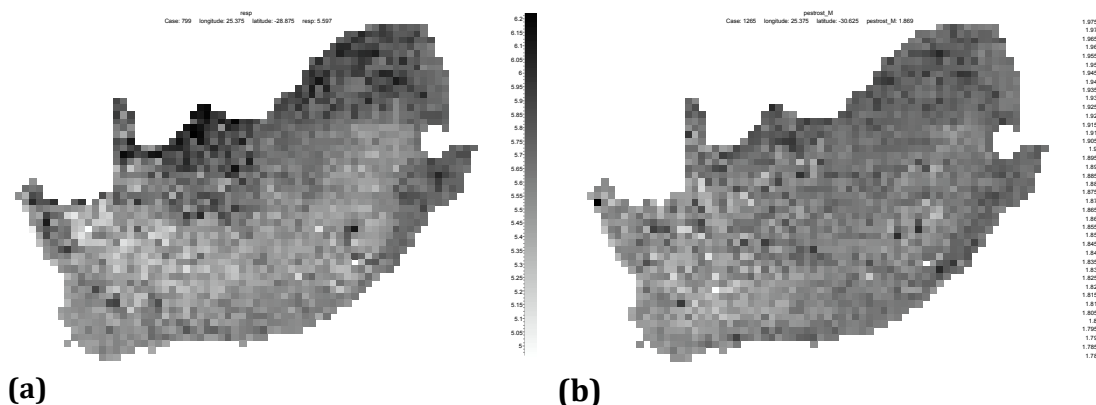


Obr. 3.7. Mapy gradientové variability pro (a) sytost (sat) a (b) jasnost (brig) opeření v rámci celého jedince. Odstín šedé barvy čtverců vyjadřuje průměrné hodnoty znaků na jednotlivých lokalitách. Zatímco sytější druhy se vyskytují v humidních biomech, druhy s jasnějším opeřením naopak obývají aridní habitaty na východě země.

Druhá RLQ osa environmentálních proměnných pak zřetelně vydělila průměrné teploty nejteplejšího měsíce (MAXMO) od srážek v červenci (Rain7) a průměrné nadmořské výšky (Elev_MEAN). Průkazný vztah s oblastmi, ve kterých je obecně vyšší vlhkost (Rain1, Rain_seas, PPT, Humidity) a vyšší produktivita (NPP, NDVI1, NDVI7, LAI) se ukázal pro **pestrost respondentů** (resp) (obr. 3.8a, tab. 3.5). Korelace s danými environmentálními podmínkami ukazují, že pestřejší druhy se průkazně více vyskytují na východě až severovýchodě. V takových klimatických podmínkách se vyskytují subtropické lesy, které zvolna přecházejí až do tropických pralesů. Výskyt pestrých druhů se také koncentruje severozápadně od náhorní

plošiny Highveld. Průměrně vyšší výskyt znaku se ukazuje s oblastmi západního výběžku JAR. Negativní průkaznost pestrosti vyšla pouze s červencovými srážkami (Rain7). Pro tento trend však podél gradientu produktivity vyšel viditelně výrazněji než-li v případě sytosti.

Ačkoliv mapa gradientové variability pro **pestrost**, která byla získaná **počítačovým softwarem** (obr. 3.8b) naznačuje jistou závislost s proměnnými popisující vlhké a produktivní oblasti s dostatkem vegetačního krytu, *fourth-corner* analýza dodatečně neodhalila s těmito charakteristikami žádné průkazné vztahy. Oblasti průměrně častějšího výskytu znaku tvoří úzký pás na severu v oblasti vlhkých savan, plynule přecházející do sušších biotů, jakými jsou například travnaté savany a skalnaté polopouště provincie Northwest.



Obr. 3.8. Mapy gradientové variability pro (a) pestrost definovanou respondenty a (b) pestrost získanou počítačových softwarem. Sytost šedé barvy vyjadřuje průměrné hodnoty znaku na jednotlivých lokalitách. Oba přítomné znaky kopírují západovýchodní gradient produktivity.

Tab. 3.5. Kovarianční matice z fourth-corner analýzy znázorňující průkaznost vztahu mezi environmentálními proměnnými¹³ a kvantitativními charakteristikami¹⁴. Výsledek je výstupem z kombinovaného modelu (Model2 a Model4 podrobněji viz kap. 2.4.2). Tučně jsou vyznačeny pozitivně korelované znaky s konkrétní environmentální proměnnou, normálním písmem negativní korelace a šedě neprůkazné vztahy znaků s proměnnými prostředí. Testováno na 5% hladině významnosti.

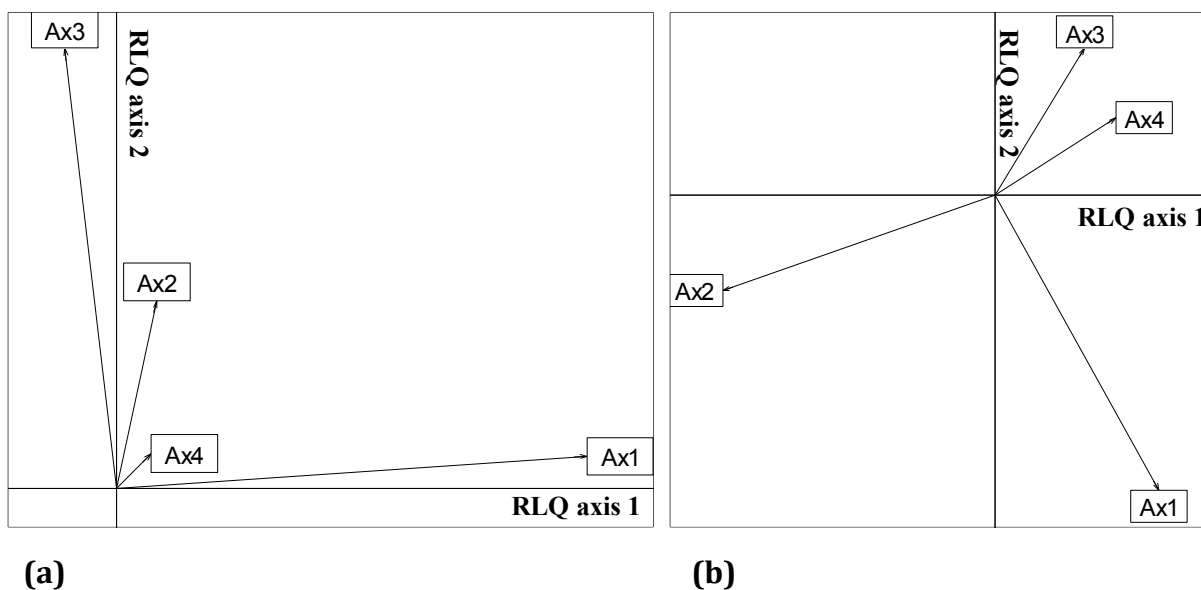
Env. proměnné	resp	sat	brig	pest
MAXMO	0,029	0,008	0,037	0,009
MINMO	0,053	0,040	-0,017	0,017
Temp_seas	-0,032	-0,038	0,055	-0,010
Rain1	0,059	0,038	-0,022	0,031
Rain7	-0,029	-0,008	-0,034	-0,019
Rain_seas	0,050	0,040	-0,025	0,028
PPT	0,046	0,038	-0,042	0,023
PET	-0,015	-0,027	0,059	-0,006
Humidity	0,045	0,039	-0,043	0,015
Soil_water	-0,004	0,011	-0,034	-0,002
Elev_MEAN	-0,016	-0,012	0,005	0,002
Elev_Range	0,002	0,017	-0,063	-0,003
NPP	0,058	0,042	-0,030	0,030
NDVI1	0,051	0,043	-0,044	0,025
NDVI7	0,031	0,029	-0,038	0,010
LAI	0,058	0,041	-0,032	0,029
Veg_hgt	0,044	0,026	-0,024	0,024
Veg_hgtF	0,024	0,029	-0,041	0,012

Následně byly první dvě RLQ osy a hlavní osy ze separátních analýz jednotlivých tabulek graficky srovnány na obrázcích 3.8a a 3.8b. Jak je z obrázků vidět, struktura environmentální matice popsaná RLQ osami je podle očekávání velmi blízká separátní analýze. Pro environmentální proměnné (obr. 3.8a) se ukázalo, že první osa ze separátní analýzy jde zároveň podél první RLQ osy. To naznačuje, že nové skóry environmentálních proměnných jsou blízké skórum ze separátní PCA

¹³ (MAXMO) průměrná teplota nejteplejšího měsíce, (MINMO) průměrná teplota nejchladnějšího měsíce, (Temp_seas) teplotní sezonalita, (Rain1) lednové srážky, (Rain7) červencové srážky, (Rain_seas) srážková sezonalita, (PPT) primární precipitace, (PET) potenciální evapotranspirace, (Humidity) vzdušná vlhkost, (Soil_water) půdní vlhkost, (Elev_MEAN) průměrná nadmořská výška, (Elev_Range) výškové převýšení, (NPP) primární produktivita, (NDVI1) lednový vegetační index, (NDVI7) červencový vegetační index, (LAI) index listové plochy, (Veg_hgt) výška vegetace před požárem, (Veg_hgtF) výška vegetace po požáru.

¹⁴ (resp) pestrost respondentů, (sat) saturace, (brig) jasnost, (pest) pestrost počítačového softwaru

analýzy. Tato první osa poukazuje na zmíněný gradient produktivity. Podobně je také druhá osa separátní analýzy blízka druhé RLQ ose. Tato druhá osa popisuje severo-j jižní gradient. Třetí osa, která popisuje altitudinální gradient, leží také v blízkosti druhé RLQ osy. Vzájemné korelace zobrazených os naznačují, že vliv druhé a třetí osy nelze zcela jasně oddělit. Jako nejdůležitější gradient ve spojitosti s kvantitativními barevnými znaky se ukazuje gradient produktivity popsany první RLQ osou a jako druhý nejdůležitější altitudinální gradient, ačkoliv separátní analýza naznačuje, že druhý nejdůležitější je severo-j jižní gradient. První osa ze separátní analýzy PCA pro kvantitativní znaky (obr. 3.8b) jde lépe podél druhé RLQ osy, druhá osa ze separátní analýzy naopak s první RLQ osou v záporném směru. Charakteristiky barevnosti, které se v separátní analýze rozložily podél první osy, se zdají být dohromady s proměnnými prostředí více ovlivněny druhou RLQ osou. Hlavní korelační koeficienty s prvními dvěma RLQ osami zobrazuje tabulka IV.1 (viz příloha IV; str. 98).



Obr. 3.8 Projekce hlavních os ze separátních analýz na první dvě RLQ osy pro (a) environmentální proměnné a (b) pro kvantitativní znaky druhů. Číslo os označují jednotlivé osy zachycené v separátních analýzách, které jsou projektovány na první dvě RLQ osy. Délka šipek a pozice koncových bodů naznačuje sílu korelace s RLQ osami.

3.3 VZTAH MEZI PROMĚNNÝMI PROSTŘEDÍ A KVALITATIVNÍMI BAREVNÝMI ZNAKY

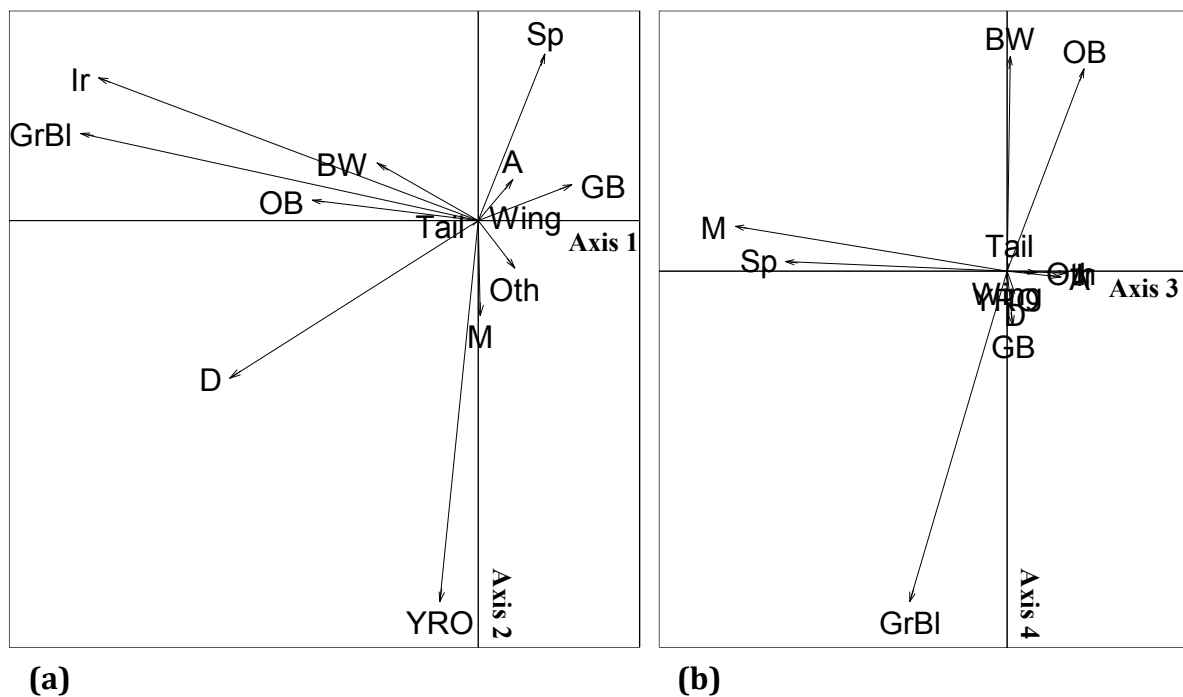
3.3.1 SEPARÁTNÍ ANALÝZY

RLQ analýza odhalila taktéž signifikantní vztah mezi **environmentálními proměnnými** a **kvalitativními znaky** druhů. Pro tyto znaky byla použita totožná L a R tabulka jako u kvantitativních proměnných a byly u nich provedeny stejné separátní analýzy (tab. 3.1, tab. 3.2). První čtyři osy separátní *fuzzy korespondenční analýzy* (FCA) pro kvalitativní barevné znaky zachytily dohromady 63,79 % z celkové variability dat. Korelační koeficienty zobrazené v tabulce 3.6 a obrázek 3.9 společně ukazují, že podél první kladné osy se nejlépe rozložily druhy převážně s hnědo/šedým zbarvením (GB) (s korelačním koeficientem $r > 0,5$). Naopak v záporném směru první osy se nejlépe rozložily znaky jako zeleno/modrá (GrBl), iridescence (Ir) a pohlavní dimorfismus (D) ($r > -1,5$). Podél druhé kladné osy se rozložil znak zeleno/modré zbarvení (GrBl) ($r > 0,5$), ačkoliv lepší (záporná) korelace tohoto znaku se prokázala s již zmíněnou první hlavní komponentou. S druhou osou nejlépe korelovala v kladném směru skvrnitost (Sp) ($r > 1$). Třetí osa vydělila nejlépe střední míru barevného dimorfismu (M) a skvrnitost (Sp) v jejím záporném směru ($r > -1,5$). Se čtvrtou osou výrazně korelovaly znaky černo/bílé (BW) zbarvení a pouze černé zbarvení (OB) ($r > 1,4$), v záporném směru pak zeleno/modré zbarvení (GrBl) ($r > -2,3$).

Tab. 3.6. Separátní FCA analýza kategoriálních znaků (Q tabulka). Zaznamenány jsou korelace jednotlivých proměnných s prvními čtyřmi ordinačními osami, vlastní hodnoty (*Eigenavlues*) a procenta zachycené variability (*Var*). Tučně jsou vyznačeny nejsilnější pozitivní vztahy, normálním písmem negativní vztahy a šedě málo korelované vztahy mezi osami a znaky¹⁵.

	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4
Eigenvalues	0,402	0,290	0,268	0,250
Var	21,189	15,281	14,122	13,193
GB	0,586	0,227	0,039	-0,379
BW	-0,628	0,363	0,018	1,516
YRO	-0,234	-2,372	-0,004	-0,057
GrBl	-2,478	0,551	-0,688	-2,336
OB	-1,034	0,129	0,548	1,429
Oth	0,230	-0,290	0,210	-0,009
Ir	-2,365	0,895	0,423	-0,013
Sp	0,422	1,043	-1,565	0,065
A	0,220	0,259	0,381	-0,041
M	0,017	-0,584	-1,922	0,317
D	-1,543	-0,974	0,054	-0,157
Wing	0,017	0,013	-0,008	-0,031
Tail	-0,029	-0,021	0,014	0,051

¹⁵ (GB) šedá/hnědá, (BW) černá/bílá, (YRO) žlutá/červená/oranžová, (GrBl) zelená/modrá, (OB) černá, (Oth) osatní barevné kombinace, (Ir) iridescence, (Sp) skvrnitost, (A) nedimorfní druhy, (M) střední dimorfismus, (D) dimorfní druhy, (Wing) černé typy na křídlech, (Tail) černé typy na ocase



Obr. 3.9 Grafy ze separátní fuzzy korespondenční analýzy (FCA) kvalitativních proměnných pro (a) první a druhou ordinační osu, (b) třetí a čtvrtou ordinační osu.

S první ordinační osou v kladném směru je nejvíce asociován šedo/hnědý znak (GB) a nedimorfními druhy (A). Na záporné první ose se rozložil znak zeleno/modrá (GrBl), iridescence (Ir) a barevný dimorfismus druhů (D). S kladnou druhou osou nejvíce koreluje skvrnitost (Sp). Druhá záporná osa vyděluje zejména druhy s žluto/červeno/oranžovým zbarvením (YRO) a se střední mírou barevného dimorfismu (M). Podél třetí osy v záporném směru se nejlépe rozložila skvrnitost (Sp) a střední míra barevného dimorfismu (M). Na čtvrté ose se objevila nejvýraznější korelace s modrozelenými jedinci (GrBl) v záporném směru, černobílými (BW) a převážně černými jedinci (OB) v pozitivním směru.

3.3.2 RLQ ANALÝZA KVALITATIVNÍCH ZNAKŮ

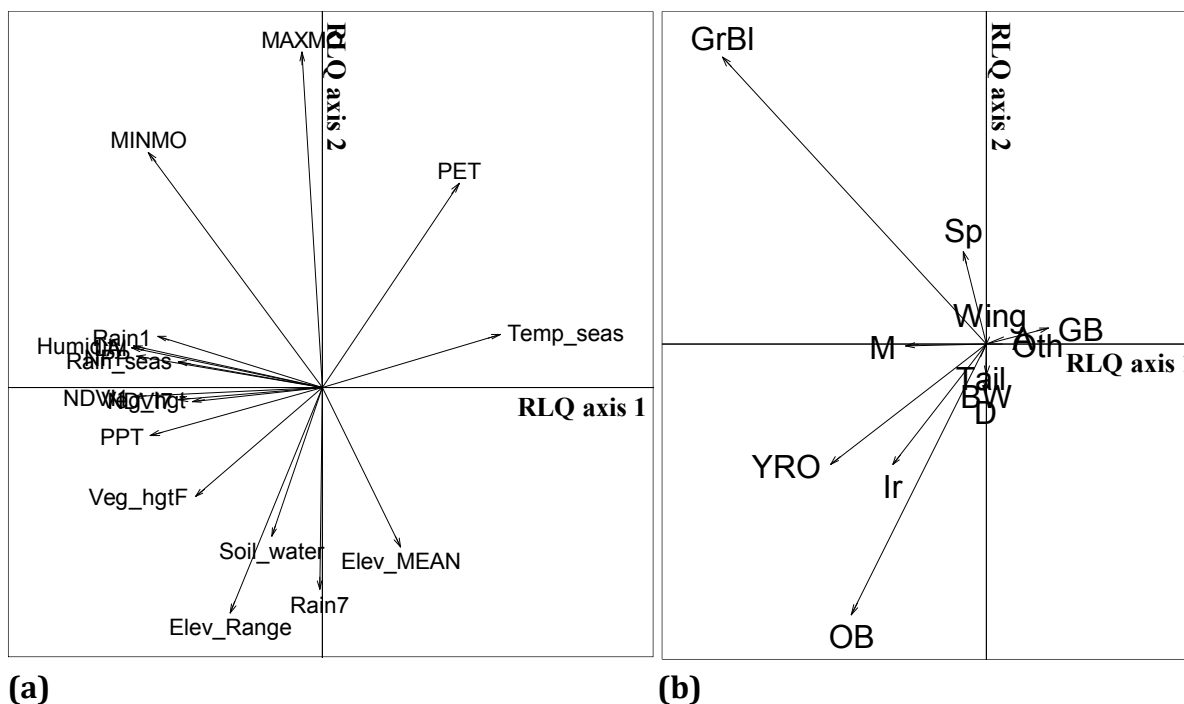
První dvě osy koinertní RLQ analýzy postupně vysvětlily 89,79 % a 8,77 % (dohromady 98,56 %) z celkové možné variability pro environmentální proměnné a kvalitativní chromatické znaky (tab. 3.7). Přitom první osa vysvětlila největší procento variability. Charakteristická čísla prvních dvou RLQ os (společně vysvětlující největší procento variability) reprezentují opět druhou odmocninu z kovariance namísto variability skóru jako v separátních analýzách. Podobně jako v předchozí

RLQ analýze pro spojité barevné znaky, proporce variability získané RLQ analýzou pro kvalitativní znaky byla porovnána s variabilitou ze separátní analýzy (tabulka 3.6). V této analýze první RLQ osa vysvětlila 93,68 % z celkové variability první osy pro environmentální charakteristiky (poměr mezi variabilitou environmentálních proměnných z RLQ analýzy a variabilitou environmentálních ze separátní analýzy je $8,237/8,793$). První a druhá osa pak dohromady vysvětlily 91,29 % z celkové variability těchto proměnných. Pro kvalitativní znaky první RLQ osa zachytila 74,88 % z celkové možné variability ($0,301/0,402$) a druhá osa vysvětlila podobně 74,96 % z celkové variability ($0,301/0,402$). Dva nové sety skóru (R a Q matice) měly korelaci podél první RLQ osy 0,118, což je vyšší než v případě kvantitativních znaků (viz tab. 3.4). Tato hodnota korelace může být srovnávána s nejvyšší možnou korelací, což je korelace mezi lokalitami a druhy, která se získá odmocninou první vlastní hodnoty ze separátní CA analýzy s druhovým složením (tab. 3.1) (maximální korelace první osy korespondenční analýzy je $\sqrt{0,349} = \mathbf{0,591}$). Korelace na druhé RLQ ose byla oproti první ose poměrně nízká (0,073), což představuje 12,36 % z maximální korelace (tab. 3.8). Kovariance s první RLQ osou mezi novými skóry lokalit (počítáno z environmentálních parametrů) a skóry druhů (počítané z kvalitativních znaků) byla 0,187 a pro druhou RLQ osu měla tato kovariance hodnotu 0,058.

Tab. 3.7. Souhrnná tabulka koinertní analýzy pro kvalitativní barevné znaky. Znázorněny jsou první dvě RLQ osy, které zachytily nejvíce variability. Vlastní hodnoty (*Eigenvalues*) byly získány rozkladem matice RLQ a představují odmocninu z kovariance. Variabilita (*Var*) představuje procentuální vyjádření celkové variability pro první dvě osy. Uvedeny jsou i hodnoty kovariance mezi dvěma novými skóry R a Q tabulky, projektovaných na první dvě RLQ osy. „*Korelace*“ představuje korelaci mezi dvěma novými sety skóru, projektovaných na první dvě RLQ osy. Hodnoty „*Variance*“ představuje variabilitu nových skóru environmentálních proměnných a barevných znaků.

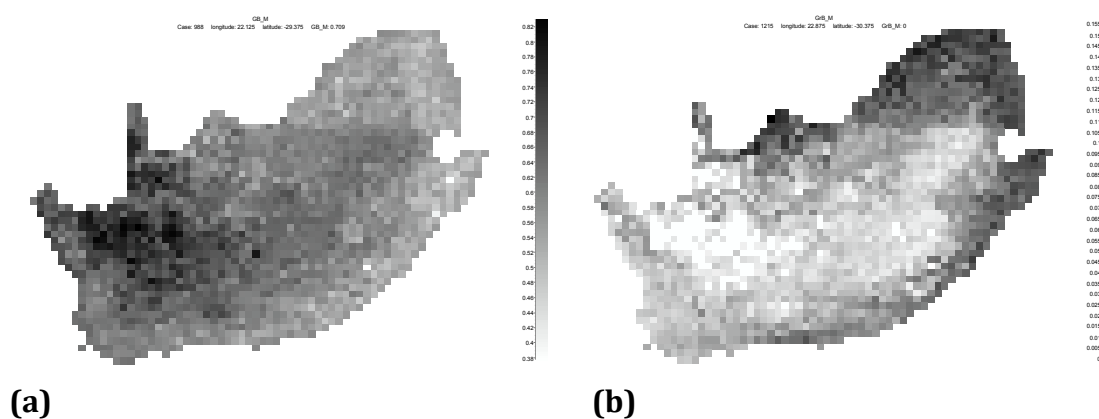
Statistika	RLQ osa 1	RLQ osa 2
Eigenvalues	0,035	0,003
Var	89,79 %	8,77 %
Kovariance	0,187	0,058
Korelace	0,118	0,073
Variance		
Habitat	8,237	2,959
Znaky	0,301	0,217

Analýza byla doplněna o grafickou podobu jednotlivých vztahů na obrázku 3.10. Pro zjištění průkaznosti vztahů jednotlivých znaků s vysvětlujícími proměnnými prostředí byla opět použita *fourth-corner* analýza (999 permutací), která poskytuje kovarianční matici zkoumaných znaků (tab. 3.8).



Obr. 3.10. Grafické znázornění RLQ analýzy pro (a) environmentální proměnné, (b) kategoriální znaky. Na základě grafů a výsledků fourth-corner analýzy je pozitivní průkaznost pro šedohnědé ptáky (GB) s teplotní sezonalitou (Temp_seas), potenciální evapotranspirací (PET) a průměrnou nadmořskou výškou (Elev_MEAN). Naopak v záporném vztahu je hnědo/šedé zbarvení s potenciální precipitací (PPT), vzdušnou vlhkostí (Humidity), primární produktivitou (NPP), vegetačním indexem v lednu a červenci (NDVI1, NDVI7), indexem listové plochy (LAI), dále také s průměrnou teplotou nejchladnějšího měsíce (MINMO), srážkami (Rain1, Rain_seas, Soil_water), výškovým převýšením (Elev_Range) a výškou vegetací před a po požáru (Veg_hgt, Veg_hgtF). Zcela opačně vyšel průkazný vztah mezi druhy s karotenoidními skvrnami (YRO) a zeleno/modrým zbarvením (GrBl), kde karotenoidní zbarvení nejvíce koreluje se srážkami (Rain1, Rain_seas, PPT, Humidity, Soil_water), průměrnými minimálními teplotami (MINMO), vegetačními indexy (NDVI1, NDVI7), primární produktivitou (NPP), indexem listové plochy (LAI), výškovým převýšením (Elev_range) a výškou vegetace před a po požáru (Veg_hgt, Veg_hgtF). Modro/zelené zbarvení koreluje s těmito proměnnými velice podobně, pouze navíc kladně s průměrnými teplotami nejteplejšího měsíce (MAXMO). Iridescence (Ir) jde nejlépe společně se vzdušnou vlhkostí (Humidity), výškou vegetací po požáru (Veg_hgtF), výškovým převýšením (Elev_range) a množstvím vody v půdě (Soil_water).

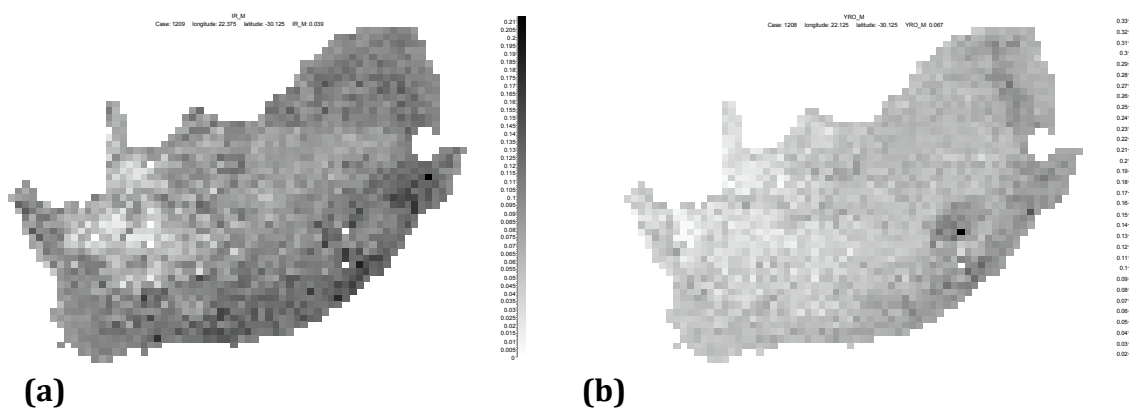
Podél první RLQ osy v kladném směru se vydělili především **šedo/hnědí** jedinci (GB). Tento barevný znak se rozložil ve stejném směru podél první osy jako environmentální parametry popisující aridní a málo produktivní habitaty. Jedná se o teplotní sezonalitu (Temp_seas), potenciální evapotranspiraci (PET) a průměrnou nadmořskou výšku (Elev_MEAN). A naopak negativně průkazný vztah se objevil pro proměnné, které je vymezují produktivní oblasti jako je vlhkost (Rain1, Rain_seas, PPT, Humidity, Soil_water), proměnné popisující dostupnost energie (NPP, NDVI1, NDVI7, LAI) a dalšími parametry jako je výška vegetace před a po požáru (Veg_hgt, Veg_hgtF), výškové převýšení (Elev_Range) a průměrné teploty nejchladnějšího měsíce (MINMO). Podobný trend již naznačila mapa gradientové variability na obr. 3.11a. V případě tohoto znaku se jedná o jeden z nejnápadnějších trendů podél gradientu produktivity na území JAR. Obdobný trend se objevil také u **zeleno/modrého** zbarvení, které nejvíce korelovalo společně s průměrnými teplotami (MAXMO, MINMO) podél druhé osy v kladném směru. Negativní vztah tohoto znaku se ukázal pro nadmořskou výšku (Elev_MEAN) a teplotní sezonalitu (Temp_seas). Jak naznačuje mapa na obrázku 3.11b, zeleno/modře zbarvení jedinci také kopírují západovýchodní gradient produktivity. Druhy s tímto zbarvením se tedy průkazně častěji vyskytují v nížinných lesích podél pobřeží a ve vlhkých savanách.



Obr. 3.11. Mapy prostorové variability pro (a) hnědo/šedé a (b) zeleno/modré znaky. Stupeň šedé barvy jednotlivých čtverců odpovídá poměrnému zastoupení daného znaku na lokalitě. Oba přítomné znaky výrazně kopírují západovýchodní gradient produktivity.

V záporném směru druhé RLQ osy korelovala **iridescence** (Ir) společně s výškovým převýšením (Elev_Range), vzdušnou vlhkostí (Humidity) a výškou vegetace po požáru (Veg_hgtF). Na mapě 3.12a je vidět, že tyto proměnné vymezují především oblasti pobřežních lesů, kde panuje vysoká vzdušná vlhkost. Oblast výskytu znaku se kopíruje oblasti fynbosu na jihu JAR a vlhké savany severovýchodního výběžku JAR.

Žluto/červeno/oranžová ornamentace (YRO) se rozložily ve stejném směru jako environmentální proměnné popisující produktivní oblasti s dostatkem energie (NDVI7, PPT, NPP, LAI a Humidity). Dle odstínů šedé barvy na mapě gradientové variability tohoto znaku (3.12b) lze pozorovat, že se tento znak nejvíce vyskytuje u druhů žijících v okolí Lesotha a v pobřežních lesích. Ačkoliv mapa vykazuje pouze slabý trend podél gradientu produktivity, nepatrný náznak této tendence lze přesto pozorovat. Zcela očekávaně tento znak negativně koreloval s výparem (PET) a teplotní sezonalitou (Temp_seas).

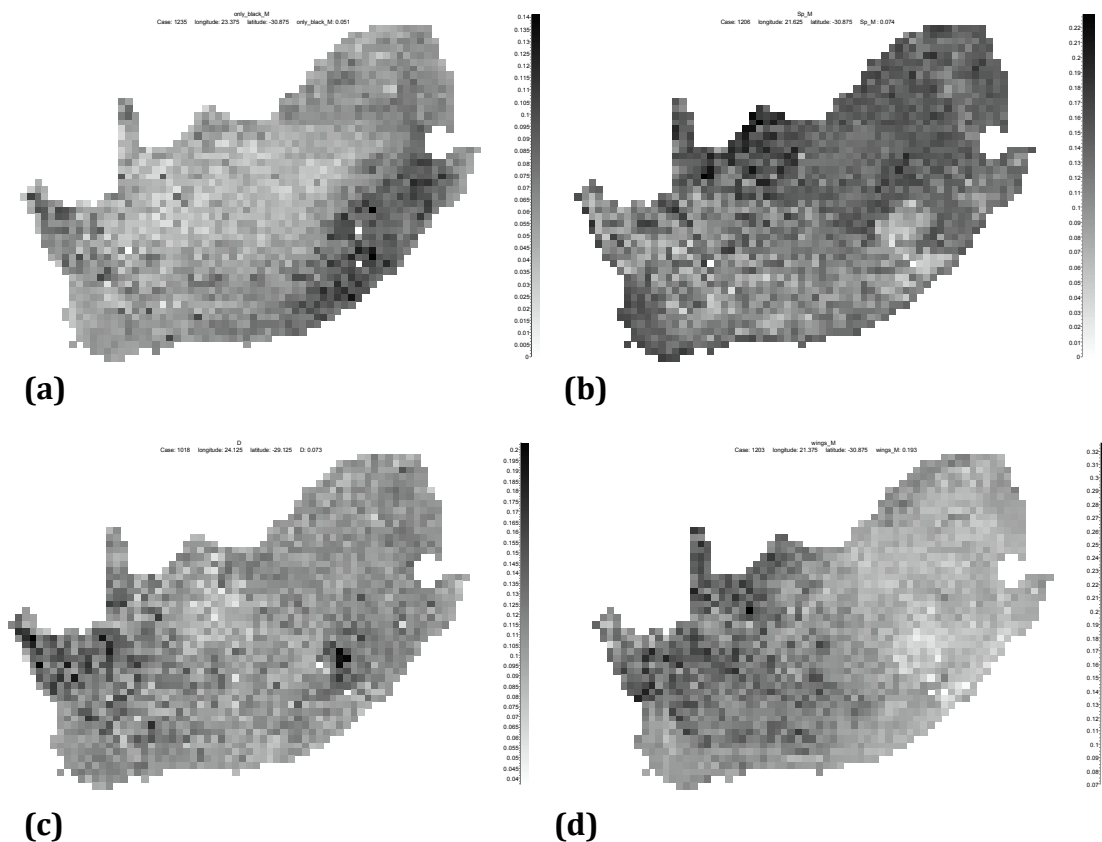


Obr. 3.12. Mapy geografické variability pro (a) iridescenci a (b) žluto/červeno/oranžové zbarvení. Stupeň šedé barvy jednotlivých čtverců odpovídá poměrnému zastoupení daného znaku na lokalitě. Oba znaky se tedy průměrně častěji vyskytují v produktivnějších oblastech na jihovýchodě země.

Podél druhé hlavní RLQ osy (záporný směr) se objevil vztah mezi **černými jedinci** (OB) a výškovým převýšením (Elev_Range) společně s výškou vegetace po požáru (Veg_hgtF) a půdní vlhkostí (Soil_water). Naopak negativně průkazný vztah

byl objeven pro průměrné teploty nejteplejšího měsíce (MAXMO), teplotní sezonalitu (Temp_seas) a výpar (PET), což jsou proměnné popisující suché a teplé oblasti. Jedinci převážně s tmavým opeřením se tedy častěji vyskytují v oblastech pobřežních lesů a odtud pozvolna prostupují do vyšších nadmořských výšek. Celkově se tmavé zbarvení vyskytuje v subtropických a humidních oblastech. Tento trend popisuje mapa na obrázku 3.13a. Menší, avšak pozorovatelný výskyt tohoto znaku, se ukazuje v západním výběžku.

Velmi slabé vztahy s environmentálními proměnnými se objevily pro **černé konce křídel a ocasů**. Černé tipy křídel (Wing) průkazně negativně korelovaly pouze s nadmořskou výškou (Elev_MEAN) a naopak černé konce ocasů (Tail) byly s touto proměnnou korelované pozitivně. Ačkoliv mapy gradientové variability (obr. 3.13b, 3.13c, 3.13d) naznačují, že by znaky jako **černo/bílá** (BW), **skvrnitost** (Sp) nebo **barevný dimorfismus** (D) mohly vykazovat určité trendy podél gradientu produktivity, žádná pozitivní ani negativní závislost nebyla pomocí *fourth-corner* analýzy objevena (tab. 3.8). Mapy gradientové variability pro zbylé znaky se slabě nebo žádnými projevujícími se trendy podél gradientu produktivity jsou umístěny do přílohy III.



Obr. 3. 13. Mapy gradientové variability pro (a) černé jedince, (b) skvrnitost, (c) pohlavní dichromatismus a (d) černé tipy na křídlech. Stupeň šedé barvy jednotlivých čtverců odpovídá poměrnému zastoupení daného znaku na lokalitě. Převážně tmavé zbarvení se nejvíce objevilo v humidních oblastech pobřežních lesů, (a). Naopak černě zbarvené konce na křídlech se nejlépe rozložily v pouštích a polopouštích na západě JAR (d). Skvrnitost se nejvíce objevila v savanách na severu země (b). Barevně dichromatické druhy se naopak rozložily ve výběžku na západě země v oblasti řeky Orange a na východě v okolí Lesotha (c).

Tab. 3.8. Kovarianční matice z fourth-corner analýzy znázorňující průkaznost vztahů mezi environmentálními proměnnými¹⁶ a kvalitativními charakteristikami¹⁷. Tučně jsou vyznačeny pozitivně korelované znaky s environmentální proměnnou, normálním písmem negativní vztahy a šedě neprůkazné vztahy. Testováno na 5% hladině významnosti (999 permutací).

	GB	BW	YRO	GrBl	OB	Oth	Ir
MAXMO	0,003	-0,019	-0,058	0,207	-0,145	-0,001	-0,048
MINMO	-0,051	-0,023	0,091	0,395	0,036	-0,013	0,059
Temp_seas	0,060	0,008	-0,158	-0,250	-0,179	0,014	-0,112
Rain1	-0,058	0,007	0,140	0,253	0,082	-0,016	0,065
Rain7	-0,007	0,011	0,035	-0,081	0,096	0,000	0,070
Rain_seas	-0,049	-0,008	0,130	0,220	0,102	-0,011	0,048
PPT	-0,063	0,006	0,168	0,221	0,147	-0,016	0,093
PET	0,053	-0,008	-0,161	-0,104	-0,204	0,011	-0,116
Humidity	-0,064	-0,006	0,151	0,312	0,137	-0,017	0,104
Soil_water	-0,022	0,006	0,071	0,009	0,116	-0,003	0,061
Elev_MEAN	0,021	0,012	-0,018	-0,214	0,007	0,006	-0,036
Elev_Range	-0,036	0,007	0,109	0,044	0,178	-0,006	0,121
NPP	-0,066	0,005	0,164	0,279	0,109	-0,017	0,084
NDVI1	-0,066	0,000	0,170	0,267	0,154	-0,017	0,090
NDVI7	-0,050	0,001	0,127	0,205	0,112	-0,014	0,085
LAI	-0,067	0,005	0,161	0,288	0,110	-0,018	0,085
Veg_hgt	-0,050	0,014	0,126	0,167	0,087	-0,015	0,061
Veg_hgtF	-0,046	0,002	0,139	0,131	0,145	-0,011	0,087

¹⁶ (MAXMO) průměrná teplota nejteplejšího měsíce, (MINMO) průměrná teplota nejchladnějšího měsíce, (Temp_seas) teplotní sezonalita, (Rain1) lednové srážky, (Rain7) červencové srážky, (Rain_seas) srážková sezonalita, (PPT) primární precipitace, (PET) potenciální evapotranspirace, (Humidity) vzdušná vlhkost, (Soil_water) půdní vlhkost, (Elev_MEAN) průměrná nadmořská výška, (Elev_Range) výškové převýšení, (NPP) primární produktivita, (NDVI1) lednový vegetační index, (NDVI7) červencový vegetační index, (LAI) index listové plochy, (Veg_hgt) výška vegetace před požárem, (Veg_hgtF) výška vegetace po požáru

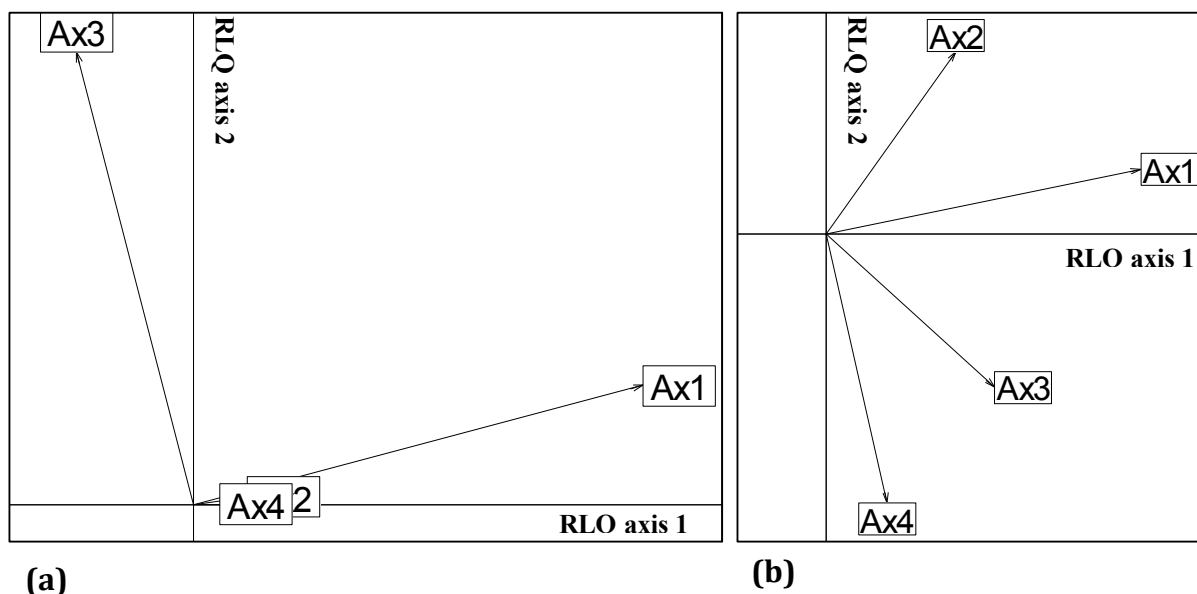
¹⁷ GB) šedá/hnědá, (BW) černá/bílá, (YRO) žlutá/červená/oranžová, (GrBl) zelená/modrá, (OB) černá, (Oth) osatní barevné kombinace, (Ir) iridescence, (Sp) skvrnitost, (A) nedimorfní druhy, (M) střední dimorfismus, (D) dimorfní druhy, (Wing) černé typy na křídlech, (Tail) černé typy na ocase.

Pokračování tabulky 3.8 ze str. 58.

	Sp	A	M	D	Wing	Tail
MAXMO	0,043	0,003	0,006	-0,028	0,006	-0,010
MINMO	0,033	-0,013	0,070	-0,012	0,004	-0,007
Temp_seas	0,004	0,017	-0,074	-0,014	0,001	-0,002
Rain1	0,043	-0,016	0,088	-0,014	-0,006	0,010
Rain7	-0,052	0,001	-0,011	0,008	0,004	-0,006
Rain_seas	0,029	-0,016	0,072	0,011	-0,008	0,013
PPT	0,027	-0,016	0,079	0,003	-0,006	0,010
PET	0,023	0,014	-0,058	-0,015	0,004	-0,007
Humidity	0,024	-0,016	0,076	0,002	-0,001	0,001
Soil_water	-0,027	-0,007	0,020	0,018	-0,002	0,004
Elev_MEAN	-0,010	0,002	-0,024	0,016	-0,007	0,012
Elev_Range	-0,054	-0,012	0,041	0,025	-0,002	0,003
NPP	0,039	-0,016	0,088	-0,010	-0,006	0,010
NDVI1	0,033	-0,019	0,090	0,005	-0,005	0,009
NDVI7	0,018	-0,013	0,065	0,002	0,000	0,000
LAI	0,044	-0,017	0,091	-0,009	-0,005	0,008
Veg_hgt	0,040	-0,012	0,063	-0,006	-0,006	0,010
Veg_hgtF	-0,002	-0,013	0,061	0,007	-0,004	0,006

Následně byly první čtyři osy ze separátní PCA a FCA analýzy projektovány podél dvou RLQ os, které vysvětlily nejvíce variability (obr. 3.14). Z grafů je vidět, že opět struktura environmentální matice popsaná RLQ osami je podle očekávání velmi blízká separátní analýze hlavních komponent (tab. 3.14). Druhá osa environmentálních proměnných ze separátní analýzy se ale oproti analýze spojitých znaků nerozložila blízko druhé RLQ osy (obr. 3.14). Podél této osy se nejlépe rozložila až třetí hlavní komponenta ze separátní PCA. Tato třetí osa, jak je uvedeno výše, naznačuje altitudinální gradient prostředí. Pro kategoriální znaky se první osa ze separátní FCA analýzy projektovala podél první RLQ osy a druhá ordinační osa podél druhé RLQ osy, což naznačuje, že nové skóry znaků jsou blízké skórum ze separátní analýzy (viz tabulka IV.2 v příloze IV).

Koinertní analýza tedy i v tomto případě odhalila vzájemný signifikantní vztah mezi proměnnými prostředí a kategoriálními barevnými znaky (Monte Carlo test; 999 permutací).



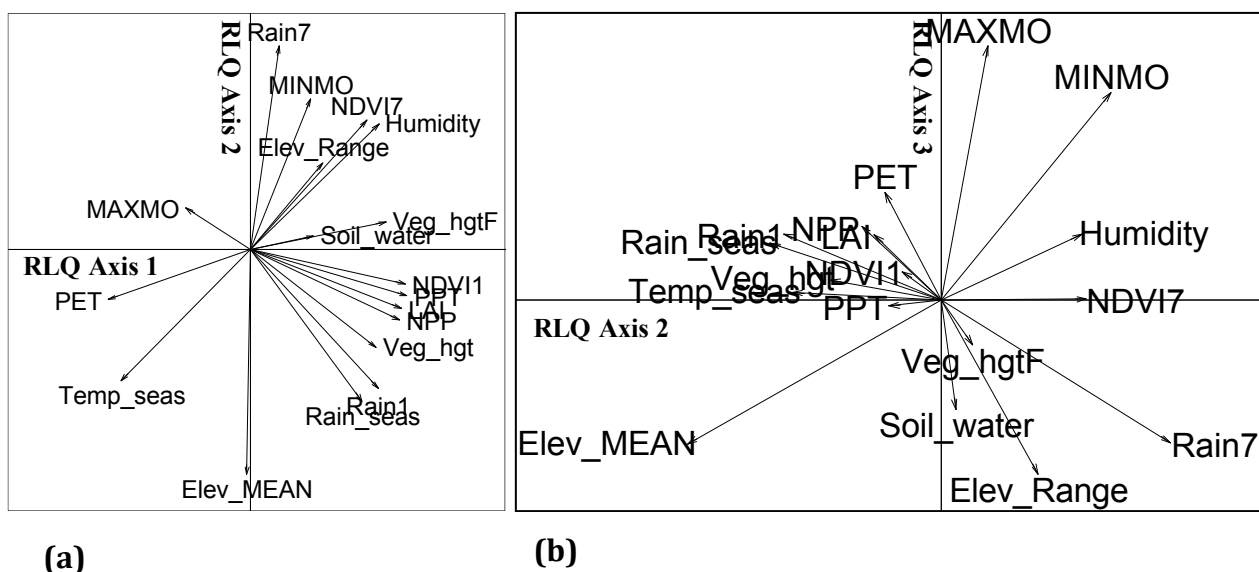
Obr. 3.14. Projekce hlavních os ze separátní (a) PCA analýzy environmentálních proměnných a (b) FCA analýzy kvalitativních znaků na první dvě RLQ osy. Čísla označují jednotlivé osy zachycené v separátních analýzách, které jsou projektovány na první dvě RLQ osy. Délka šipek a pozice koncových bodů naznačuje sílu korelace s RLQ osami.

3.4 VZTAH MEZI PROMĚNNÝMI PROSTŘEDÍ A ZNAKY REGIÍ NA REDUKOVANÉM SETU DRUHŮ

3.4.1 SEPARÁTNÍ ANALÝZY

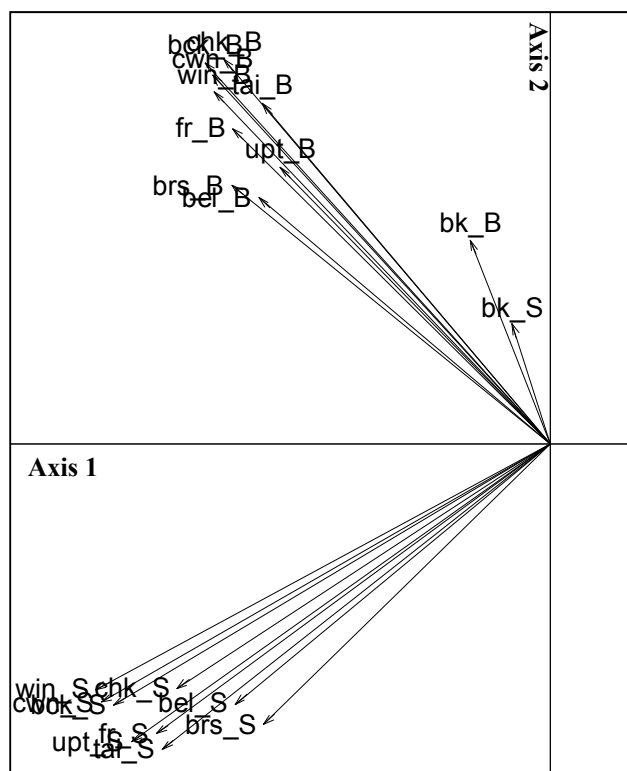
Pro tuto skupinu znaků byl použit redukovaný set druhů z důvodů chybějících údajů o barevných charakteristikách. Celkový počet druhů vstupujících do analýzy je 592. Pro tento počet jsou známy hodnoty sytosti, jasnosti a počtu barev samců na vybraných deseti částech těla (tzv. **regia**) a v rámci celého jedince. Z důvodu jiného počtu jedinců, než který byl použit v předchozích analýzách, byly nutné nejprve znovu provést separátní analýzy tabulky L a tabulky R. Váhy řádků a sloupců z tabulky s druhovou skladbou (L tabulka) byly použity do následných ordinací environmentálních proměnných a barevných znaků. Protože se výsledky těchto separátních analýz lišily zcela zanedbatelně, tabulky jsou pro přehlednost uvedeny v příloze IV.

První čtyři osy korespondenční analýzy (CA) L tabulky zachytily postupně 13,84 %; 8,50 %; 5,15 % a 3,44 % (dohromady 30,93 %) z celkové variability (tab. IV. 3; příloha IV; str. 98). První vlastní hodnota (*eigenvalues*) z této ordinace odpovídá kanonické korelaci rovné 0,6 ($\sqrt{0,350}$). První dvě osy z PCA analýzy R tabulky zachytily 48,88 % a 19,30 % (dohromady 68,18 %) z celkové variability (tab. IV. 4; příloha IV; str. 98). Korelační koeficienty z této analýzy opět poukazují na gradient produktivity, který je vymezen první hlavní komponentou, kde v kladném směru se promítly proměnné jako primární precipitace (PPT), lednový vegetační index (NDVI1) a index listové plochy (LAI) (pro korelační koeficienty $r > 0,9$). Naopak v záporném směru se vydělila potenciální evapotranspirace (PET) a teplotní sezonalita (Temp_seas) ($r > 0,7$). Druhá osa pak stejně jako v předešlých analýzách odhalila severo-jížní trend prostředí, kde v kladném směru se promítly průměrné teploty nejchladnějšího měsíce (MINMO), červencové srážky (Rain7) a červencový vegetační index (NDVI7) ($r > 0,4$) a v záporném směru průměrná nadmořská výška (Elev_MEAN), srážková sezonalita (Rain_seas) a lednové srážky (Rain1) ($r > 0,5$). S třetí osou v kladném směru nejlépe korelovaly průměrné teploty (MAXMO, MINMO) ($r > 0,6$) a v záporném směru nadmořská výška (Elev_MEAN) a převýšení (Elev_Range) ($r > 0,4$). Grafické znázornění ukazuje obrázku 3.15.



Obr. 3.15. Separátní analýza tabulky R redukovaného setu druhů pro (a) první a druhou ordinační osu, (b) druhou a třetí osu. S první kladnou osou nejlépe korelují proměnné charakterizující produktivní prostředí jako je potenciální precipitace (PPT) a vegetační lednový index (NDVI1). Dále listový index (LAI) a primární produktivita (NPP). V záporném směru se nejlépe promítá výpar (PET) a teplotní sezonalita (Temp_seas). S druhou osou v kladném směru nejlépe korelují srážky v červenci (Rain7) a minimální teploty nejchladnějšího měsíce (MINMO). Silná korelace na druhé záporné ose se projevila u nadmořské výšky (Elev_MEAN) a srážkové sezonality (Rain_seas). Třetí osa vyděluje průměrné teploty nejteplejšího měsíce (MAXMO) od výškového převýšení (Elev_Range), průměrné nadmořské výšky (Elev_MEAN) a červencových srážek (Rain7).

Po zhodnocení rozložení vlastních hodnot ze separátní analýzy spojitých barevných znaků na redukovaném setu, byly vybrány do koinertní analýzy pouze dvě osy, které vysvětlují největší procento variability. Tabulka IV.5 (viz příloha IV; str. 99) ukazuje, že s první ordinační osou negativně koreluje zejména sytost větších a dobře viditelných oblastí těla, jako je korunka (cwn_S), záda (bck_S), křídla (win_S) nebo kostřec (upt_S) (pro korelační koeficienty $r > 0.6$). Naopak s druhou hlavní komponentou nejlépe kladně koreluje jasnost korunky (cwn_B), lící (chk_B), zad (bck_B), křídel (win_B) nebo ocasu (tai_B) ($r > 0.5$). Graficky to zachycuje obrázek 3.16.



Obr. 3.16. Separátní analýza spojitých proměnných na redukovaném setu jedinců. Směr a délka šipek naznačují korelaci s hlavními osami. Na první záporné ose se rozložily znaky jako saturace křídel (win_S), korunky (cwn_S) a kostřce (upt_S) a zad (bck_S). S druhou kladnou ordinační osou pak nejlépe korelovala jasnost zad (bck_B), tváří (chk_B), křídel (win_B), ocasu (tai_B) a korunky (cwn_B).

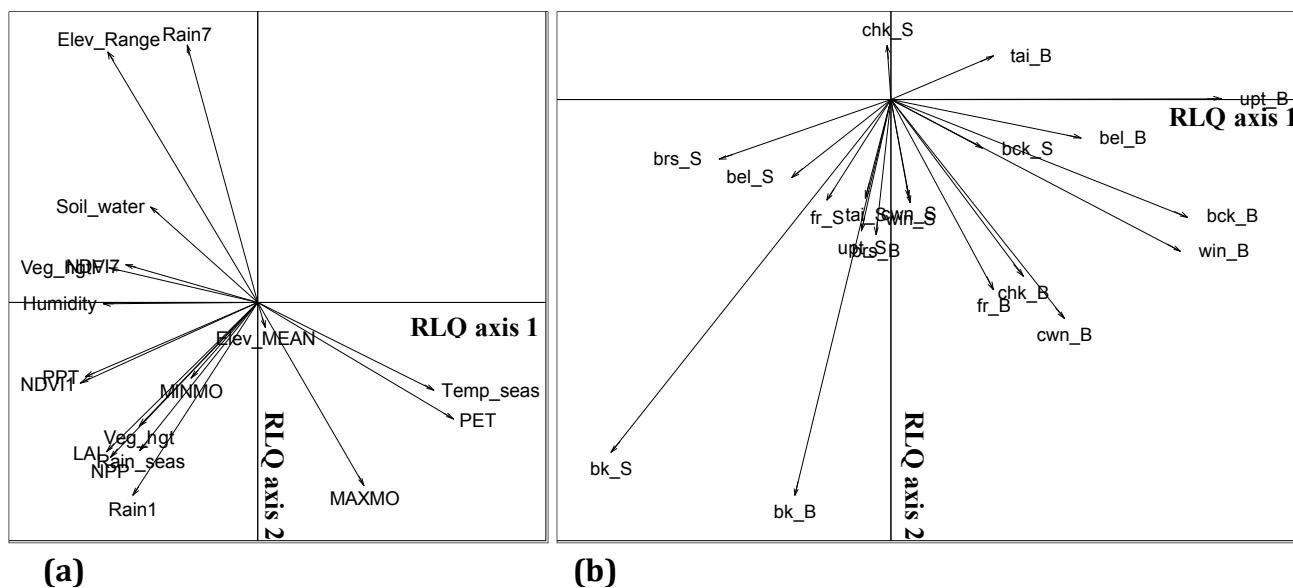
3.4.2 RLQ ANALÝZA JEDNOTLIVÝCH REGIÍ

První dvě osy RLQ analýzy vysvětlily postupně 86,7 % a 8,67 % (dohromady 95,44 %) z celkové variability dat (tab. 3.9). Druhá RLQ osa tedy oproti první zachytila velmi málo variability. Proporce variability získaná z RLQ analýzy byla dále srovnána s variabilitou ze separátních analýz jednotlivých tabulek. První osa pro environmentální proměnné zachytila 97,3 % variability (8,564/8,799). První a druhá osa dohromady zachytily 94,78 %. Pro kvantitativní charakteristiky jednotlivých regií vysvětlila první osa 51,5 % variability (2,729/5,297) a první dvě osy společně vysvětlily 60,38 %. Kovariance první RLQ osy mezi dvěma novými sety skóřů lokalit (počítané z jejich environmentálních charakteristik) a druhů (počítané z jejich

kvantitativních znaků) měla hodnotu 0,542 a tato hodnota se rovná součinu druhé odmocniny první eigenvalue R tabulky (8,564), druhé odmocniny první eigenvalue Q tabulky (2,729) a korelace (0,112). Hodnota kovariance pro druhou RLQ osu byla už pouze 0,171. Korelace mezi novými skóry druhů a skóry lokalit byla podél první RLQ osy 0,112, což představuje 18,9 % z nejvyšší možné korelace mezi místy a druhy, která je získána jako druhá odmocnina první vlastní hodnoty z korespondenční analýzy ($\sqrt{0,350} = \mathbf{0,592}$; tab. IV. 3). Pro druhou RLQ osu byla maximální korelace ($\sqrt{0,215} = \mathbf{0,464}$). Korelace podél druhé RLQ osy byla 0,058 (tabulka 3.9), což představuje 12,5 % z výše uvedené hodnoty maximální korelace. Grafické vyobrazení ukazuje obrázek 3.17.

Tab. 3.9. Souhrnná tabulka z RLQ analýzy pro kvalitativní barevné znaky regií. Znázorněny jsou první dvě RLQ osy, které zachytily nejvíce variability, vlastní hodnoty (*Eigenvalues*) jsou získány rozkladem matice RLQ a představují odmocninu z kovariance. Celková variabilita (*Var*) představuje procentuální vyjádření celkové variability pro první dvě osy. Uvedeny jsou i hodnoty kovariance mezi dvěma novými skóry R a Q tabulky, projektovaných na první dvě RLQ osy (odmocnina vlastních hodnot). „*Korelace*“ představuje korelaci mezi dvěma novými sety skóru, projektovaných na první dvě RLQ osy. „*Variance*“ představuje variabilitu každého setu skóru, tedy pro environmentální i barevné proměnné.

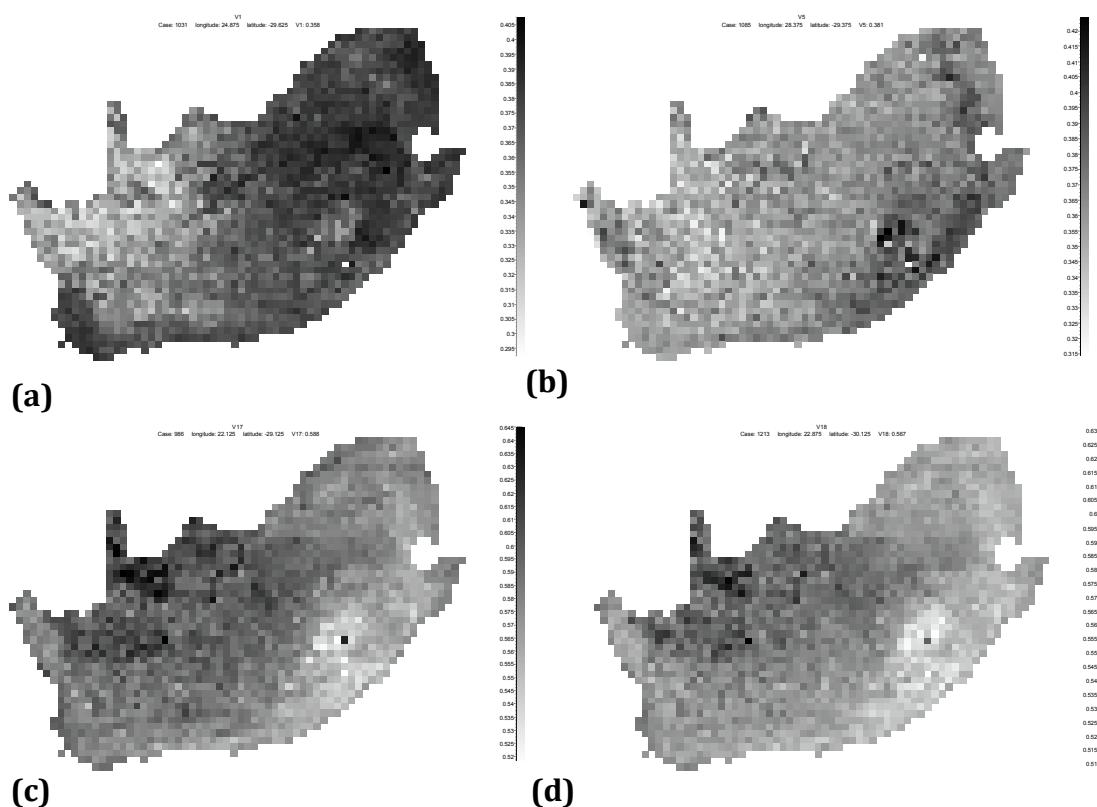
Statistika	RLQ axis 1	RLQ axis 2
Eigenvalues	0,293	0,029
Var	86,77 %	8,67 %
Kovariance	0,542	0,171
Korelace	0,112	0,058
Variance		
Habitat	8,564	3,068
Znaky	2,729	2,828



Obr. 3.17. Grafický výstup z RLQ analýzy pro environmentální proměnné (a) a pro kvantitativní znaky jednotlivých regíí (b). Největší korelaci naznačuje jasnost zobáku (bk_B) a srážky v lednu (Rain1), primární produktivita (NPP) společně se srážkovou sezonalitou (Rain_seas) a listovým indexem (LAI). Negativní vztah jasnosti zobáku se nejlépe ukazuje s nadmořskou výškou (Elev_MEAN). Podobné, avšak silnější korelační vztahy s uvedenými environmentálními proměnnými, se ukazují se sytostí zobáků (bk_S). Dosti silná kladná korelace se objevila mezi jasností zadních regíí (bříško, záda, kostřec a křídla) a potenciální evapotranspirací (PET) a teplotní sezonalitou (Temp_seas). Naopak sytost náprsenky (brs_S) korelovala s výparem negativně. Celkově se u jasnosti regíí objevilo více průkazných vztahů s environmentálními proměnnými než se sytostí.

Kovarianční matice (tab. 3.10) získaná z *fourth-corner* analýzy (999 permutací) zobrazuje průkaznost vztahů mezi environmentálními proměnnými a barevnými znaky jednotlivých regíí. Pro **saturnaci** zobáků (bk_S) se prokázala kladná korelace zejména s proměnnými prostředí, které popisují jeho produktivitu (obr. 3.17, 3.18a). Jedná se především o index listové plochy (LAI), primární produktivitu (NPP), lednový vegetační index (NDVI1) a vlhkost (PPT, Rain1). Znak tedy poměrně dobře sleduje gradient produktivity a jeho výskyt je soustředěn především na východní oblasti JAR a posléze i na oblast jižního pobřeží, kde se vyskytuje fynbos. Naopak negativní korelace se ukázala podle očekávání pro aridní prostředí s vyšším výparem

(PET) a teplotní sezonalitou (Temp_seas). Podobný trend vykázala však i **jasnost** zobáků (bk_B). Pro tuto charakteristiku se však prokázala negativní korelace se srážkami v červenci (Rain7) a výškovým převýšením (Elev_Range). Také sytost náprsenky se rozložila podél gradientu produktivity (obr. 3.17, 3.18b). S environmentálními charakteristikami, které popisují semiaridní až aridní oblasti (tzn. PET, MAXMO a Temp_seas) vykázala kladnou korelaci jasnost pro následující části těla: korunka (cwn_B), líce (chk_B), břicho (bel_B), záda (bck_B), křídla (win_B) a kostřec (upt_B). Jedná se zejména o tělní oblasti, které jsou nápadné a to i na větší vzdálenosti (obr. 3.18c, 3.18d).



Obr. 3.18. Mapy gradientové variability pro vybrané znaky jednotlivých regií podél gradientu prostředí. Stupeň šedé barvy jednotlivých čtverců odpovídá poměrnému zastoupení daného znaku na lokalitě. Sytost zobáků (a) a sytost náprsenky (b) se objevila v produktivních oblastech podobně jako celková sytost opeření. Naopak jasnost zad (c) a jasnost křídel (d) se rozložily zejména v aridních a semiaridních biomech.

Tab. 3.14 Kovarianční matice z fourth-corner analýzy znázorňující průkaznost vztahů mezi environmentálními proměnnými¹⁸ a barevnými znaky jednotlivých regií. Tučně jsou vyznačeny pozitivně korelované znaky s environmentální proměnnou, normálním písmem negativní vztahy a šedě neprůkazné vztahy. Testováno na 5% hladině významnosti (999 permutací).

	bk_S	fr_S	cwn_S	chk_S	brs_S	bel_S	bck_S	win_S	upt_S	tai_S¹⁹
MAXMO	-0,023	0,012	0,025	0,010	-0,021	0,005	0,033	0,026	0,023	0,028
MINMO	0,020	0,024	0,021	0,017	0,012	0,026	0,016	0,024	0,030	0,036
Temp_seas	-0,045	-0,016	0,000	-0,010	-0,034	-0,025	0,013	-0,002	-0,012	-0,014
Rain1	0,076	0,015	0,002	-0,010	0,032	0,017	-0,015	-0,001	0,013	0,009
Rain7	-0,009	-0,006	-0,014	0,006	0,010	0,003	-0,018	-0,016	-0,017	-0,009
Rain_seas	0,059	0,020	0,007	0,000	0,032	0,019	-0,006	0,009	0,020	0,012
PPT	0,076	0,015	-0,005	-0,004	0,041	0,022	-0,024	-0,006	0,005	0,003
PET	-0,057	-0,008	0,014	0,000	-0,040	-0,016	0,03	0,014	0,004	0,004
Humidity	0,053	0,016	0,002	0,009	0,032	0,026	-0,013	0,003	0,012	0,014
Soil_water	0,027	0,002	-0,009	0,001	0,022	0,002	-0,016	-0,011	-0,003	-0,004
Elev_MEAN	0,009	-0,008	-0,011	-0,014	0,004	-0,011	-0,011	-0,012	-0,010	-0,020
Elev_Range	0,011	0,011	-0,004	0,008	0,026	0,016	-0,011	-0,004	0,008	0,007
NPP	0,078	0,018	0,000	-0,005	0,036	0,023	-0,017	0,001	0,011	0,008
NDVI1	0,076	0,018	-0,002	0,000	0,041	0,025	-0,020	-0,001	0,009	0,008
NDVI7	0,039	0,012	0,001	0,008	0,031	0,024	-0,014	-0,003	0,002	0,009
LAI	0,079	0,016	0,000	-0,005	0,036	0,023	-0,018	-0,001	0,010	0,008
Veg_hgt	0,067	0,007	-0,007	-0,013	0,030	0,015	-0,021	-0,008	0,000	-0,004
Veg_hgtF	0,047	0,012	-0,005	0,003	0,036	0,021	-0,019	-0,006	0,001	0,002

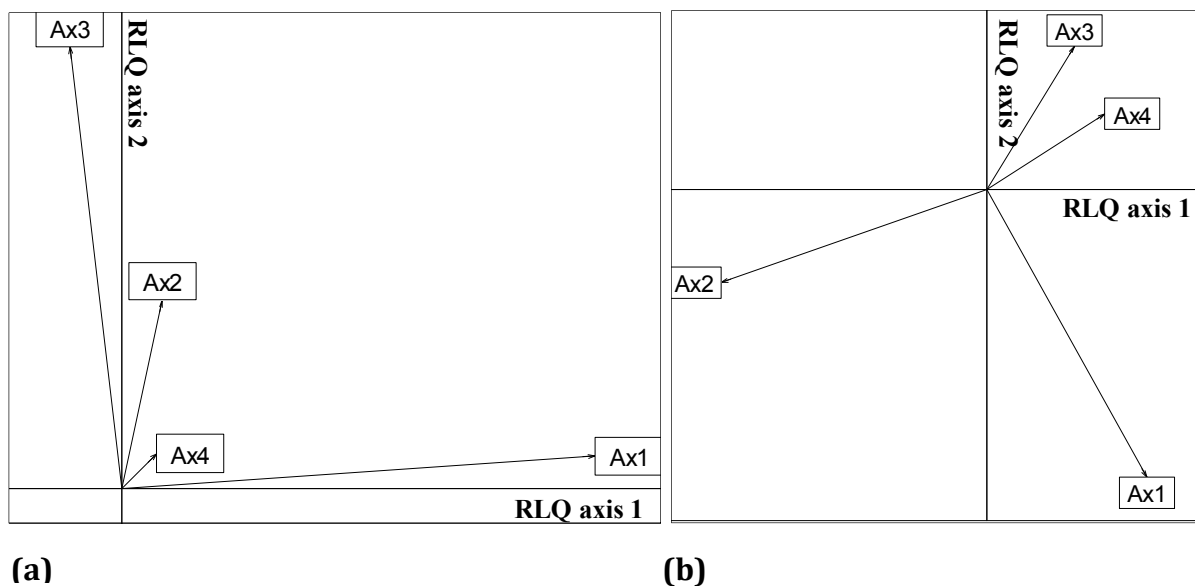
¹⁸ (MAXMO) průměrná teplota nejteplejšího měsíce, (MINMO) průměrná teplota nejchladnějšího měsíce, (Temp_seas) teplotní sezonalita, (Rain1) lednové srážky, (Rain7) červencové srážky, (Rain_seas) srážková sezonalita, (PPT) primární precipitace, (PET) potenciální evapotranspirace, (Humidity) vzdušná vlhkost, (Soil_water) půdní vlhkost, (Elev_MEAN) průměrná nadmořská výška, (Elev_Range) výškové převýšení, (NPP) primární produktivita, (NDVI1) lednový vegetační index, (NDVI7) červencový vegetační index, (LAI) index listové plochy, (Veg_hgt) výška vegetace před požárem, (Veg_hgtF) výška vegetace po požáru

¹⁹ (bk_S) sytost zobáku, (fr_S) sytost čela, (cwn_S) sytost korunky, (chk_S) sytost tváří, (brs_S) sytost náprsenky, (bel_S) sytost břicha, (bck_S) sytost zad, (win_S) sytost křídel, (upt_S) sytost kostičky, (tai_S) sytost ocasu

Pokračování tabulky 3.14 ze str. 67.

proměnná	bk_B	fr_B	cwn_B	chk_B	brs_B	bel_B	bck_B	win_B	upt_B	tai_B
MAXMO	-0,001	0,036	0,049	0,023	0,004	0,032	0,050	0,043	0,035	0,003
MINMO	-0,001	0,007	0,003	-0,017	0,001	-0,012	-0,021	-0,032	-0,039	-0,018
Temp_seas	0,000	0,026	0,044	0,041	0,002	0,044	0,072	0,077	0,078	0,024
Rain1	0,048	-0,004	-0,010	-0,006	0,015	-0,027	-0,039	-0,035	-0,052	-0,022
Rain7	-0,032	-0,027	-0,039	-0,031	-0,012	-0,021	-0,037	-0,042	-0,031	0,000
Rain_seas	0,039	-0,007	-0,016	-0,008	0,008	-0,026	-0,040	-0,034	-0,049	-0,021
PPT	0,038	-0,019	-0,035	-0,022	0,008	-0,042	-0,062	-0,057	-0,071	-0,021
PET	-0,010	0,036	0,055	0,039	0,001	0,050	0,081	0,080	0,082	0,021
Humidity	0,013	-0,014	-0,031	-0,030	0,001	-0,038	-0,058	-0,062	-0,070	-0,020
Soil_water	0,001	-0,022	-0,031	-0,020	-0,004	-0,028	-0,046	-0,049	-0,043	-0,012
Elev_MEAN	0,018	-0,007	-0,005	0,012	0,002	0,000	0,003	0,013	0,013	0,003
Elev_Range	-0,033	-0,040	-0,052	-0,049	-0,013	-0,038	-0,071	-0,073	-0,067	-0,029
NPP	0,045	-0,008	-0,021	-0,014	0,013	-0,032	-0,049	-0,044	-0,063	-0,020
NDVI1	0,037	-0,018	-0,033	-0,024	0,007	-0,044	-0,063	-0,06	-0,074	-0,024
NDVI7	0,007	-0,017	-0,030	-0,028	-0,001	-0,034	-0,051	-0,051	-0,059	-0,015
LAI	0,044	-0,008	-0,020	-0,014	0,013	-0,035	-0,051	-0,047	-0,065	-0,022
Veg_hgt	0,042	-0,008	-0,019	-0,009	0,010	-0,028	-0,038	-0,031	-0,048	-0,015
Veg_hgtF	0,015	-0,025	-0,039	-0,025	0,001	-0,037	-0,058	-0,053	-0,063	-0,017

Hlavní ordinační osy ze separátních analýz byly dále projektovány podél prvních dvou RLQ os. Tato projekce je demonstrována grafem na obrázku 3.19. Jako v předchozích analýzách, první osa separátní analýzy environmentálních proměnných jde podél první RLQ osy a tato osa popisuje opět hlavní gradient produktivity prostředí. Druhá a třetí osa separátní analýzy jde podél druhé RLQ osy, což naznačuje, že severo-jihní trend a latitudinální gradient spolu velice úzce souvisí a ovlivňují tak distribuci jednotlivých druhů společně.



Obr. 19. Projekce hlavních os ze separátních analýz na první dvě RLQ osy. Délka a pozice koncových bodů naznačuje korelační vztah mezi těmito osami. Pro environmentální proměnné se ukázalo, že první osa ze separátní analýzy koreluje s první RLQ osou a podobně druhá osa jde podél druhé RLQ osy. Pro regia byly zachyceny první čtyři osy ze separátní analýzy a projektovány podél první RLQ osy, kde první osa separátní analýzy spíše inklinuje k druhé RLQ ose a druhá osa k první RLQ ose v záporném směru. Třetí a čtvrtá osa zachytily již zanedbatelné množství variability, a proto v práci nejsou blíže popisovány.

Korelace mezi pestrostmi, které byly získány různými způsoby

Korelace mezi pestrostí respondentů a pestrostí získanou pomocí počítače byla spočítána pomocí Pearsonova korelačního koeficientu v programu R (R Development Core Team 2009). Korelační hodnota t byla 9,532 ($P < 0,001$) a korelační koeficient 0,354. To naznačuje na jistou, avšak celkově slabší podobnost výsledků z těchto dvou metod. Variabilita obou pestrostí podél gradientu produktivity projevila podobný trend, v případě pestrosti respondentů byl však tento trend statisticky průkazný.

4. DISKUZE

Cílem této diplomové práce bylo popsat geografickou variabilitu ve zbarvení druhů a zhodnotit, zda existuje vzájemná souvislost mezi produktivitou prostředí a zbarvením jihoafrických ptáků na velké prostorové škále. Ukazuje se, že mezi námi vybranými barevnými znaky a hlavními koreláty produktivity skutečně existují signifikantní korelační vztahy a výskyt různých barevných fenotypů by tak mohl být vysvětlen hlavně rozdíly v environmentálních podmínkách. V této práci vycházím z teorie, která navrhuje, že podobné kombinace znaků se vlivem působení lokálních podmínek prostředí a vzájemných mezidruhových interakcí vyskytují v podobném habitatu (Southwood 1977). V následujících řádcích diskutuji vlastní výstupy a porovnávám je s dosavadními, relevantními vědeckými poznatky.

Ordinace proměnných prostředí poukázala na výrazný **gradient produktivity**, který se na území JAR projevuje v západovýchodním směru, a který se podílí na formování druhového společenstva. Tento gradient je tvořen postupným přechodem z aridních a teplých biomů na západě po relativně klimaticky stabilní, srážkově a energeticky bohaté biomy východního až severovýchodního pobřeží. Kromě tohoto nejnápadnějšího gradientu se na distribuci druhů mohou podílet i další dva gradienty: severojižní a výškový, které spolu velice úzce souvisí. Přestože jsou proměnné prostředí silně autokorelované a tvoří v JAR kontinuální gradient, způsob jejich rozložení dotváří samotný charakter proměnných a po odfiltrování prostorové složky by zbylé environmentální proměnné nevysvětlily dostatek variability druhových dat.

Výsledky mé práce ukazují, že s produktivními habitaty korelovalo **žluto-červeno-oranžové** zbarvení druhů. Mapa popisující prostorovou variabilitu ve zbarvení odhalila průměrně vyšší výskyt tohoto znaku v okolí Lesotha, v pobřežních oblastech s nížinnými lesy a ve vlhkých savanách rozkládajícími se převážně na severovýchodě země. Protože ornamenty těchto barev vznikají u ptáků nejčastěji díky pigmentům karotenoidům, diskutuji vybraný znak stejným způsobem. Na základě dosavadních a značně podrobných znalostí o expresi ornamentů karotenoidní povahy, by mohlo vysvětlení výskytu žluto-červeno-oranžových struktur v úživném prostředí spočívat v množství dostupné energie (resp. kvalitě a využití nutričních zdrojů), která je v takových oblastech pro jedince přístupná. Do dnešní doby na to

poukázalo velké množství studií (Endler 1983; Hill and Montgomerie 1994; Olson and Owens 1998; Horak, Vellau et al. 2000; Senar, Figuerola et al. 2002; McGraw, Dale et al. 2003; Ferns and Hinsley 2008). Ptákům totiž chybí enzymy k výrobě karotenoidů a musí je tak doplňovat společně s potravou (Brush and Power 1976; Hill, Inouye et al. 2002). Navíc před samotným použitím k tvorbě pestrobarevných ornamentů, je musí druhy nejprve metabolizovat (McGraw, Hill et al. 2003). To se však děje za cenu energetických ztrát (Hill 2000). Hlavním zdrojem těchto esenciálních látek jsou převážně zelené řasy, rostliny a některé houby (Blount, Houston et al. 2000), obsaženy jsou pak hlavně v jejich konzumentech – zejména ve fytofágním hmyzu (Partali, Liaaenjensen et al. 1987). Příjem karotenoidů je tak podle očekávání limitován zejména vlhkostí, která následně ovlivňuje růst vegetace (Olson and Owens 1998). Lesní prostředí a vlhké savany se mohou řadit mezi hlavní kandidáty pro výskyt tohoto znaku. Podobně výsledky Seymoura & Deana (2010) naznačují, že druhy s červeno-oranžovo-žlutými strukturami zvyšují své abundance s vegetačním pokryvem, respektive hustotou vegetace.

Z trendů viditelných na mapách prostorové variability ve zbarvení je patrné, že se karotenoidní ornamenty objevují v podobných habitatech jako strukturální nebo černé melaninové zbarvení. Podobně Fitzpatrick (Fitzpatrick 1998) ve své studii ukazuje, že tyto typy zbarvení se u ptáků s karotenoidy kombinují nejčastěji. Tato kombinace však nemusí být překvapivá, pokud uvážíme, že lesní biomy poskytují dostatek potravních zdrojů pro vývoj karotenoidních ornamentů a zároveň melaninové zbarvení v hustém porostu zvyšuje odolnost opeření před jeho poničením, anebo dokonce zpomaluje degradaci per exoparazity (Burtt and Ichida 2004; Goldstein, Flory et al. 2004).

Karotenoidní zbarvení, tvořené převážně dlouhými vlnovými délkami, se z velké části podílí na celkové pestrosti jedinců. A právě pro **pestrost** byla taktéž objevena pozitivní průkazná korelace s produktivnějšími biomy. Vývoj pestrobarevného šatu se nejčastěji dává do souvislosti s pohlavní selekcí (Anderson 1994). Čím vybarvenějším opeřením jedinec disponuje, tím se stává pro opačné pohlaví atraktivnější a zvyšuje svůj úspěch při reprodukci (Heindl and Winkler 2003). Vysvětlení by mohlo opět plynout z dostupnosti a využití energetických zdrojů prostředí.

Pestrost byla v této práci získána dvěma odlišnými způsoby a obě metody poukázaly na obdobný trend podél gradientu produktivity. Pestrost získaná řazením barevných předloh respondenty prokázala pozitivní korelaci s hlavními korelátů produktivity. Na prvních místech škály pestrosti se podle lidského faktoru objevila například vlha pestrá (*Merops apiaster*), vousák Levillantův (*Trachyphonus vaillantii*), nebo mandelík fialovoprstý (*Coracias caudatus*) (viz příloha V; str. 101). Jedná se o druhy, jejichž opeření je tvořeno buď velkým množstvím převážně jásových barev, nebo naopak pouze několika málo barvami, které mezi sebou vytvářejí silný optický kontrast (např. černá a žlutá, černá a červená). Mezi nejpestřejšími druhy se prosadily také jedinci s neobvyklými barevnými kombinacemi, které jsou v některých případech obohaceny o kovové efekty. Pestré tóny jsou podle všeobecné fyzikální definice tvořeny spektrálními barvami a jejich aditivními směsmi, za nepestré barvy se naopak považují například bílá, šedá, černá (tzv. achromatické barvy) (<http://fyzika.jreichl.com/>). Ačkoliv respondentům nebyl pojem pestrosti předem vysvětlován, na opačném konci žebříčku hodnocení se skutečně objevili převážně jedinci s bílým, černým nebo šedohnědým vybarvením opeření. Názorným příkladem z použitých druhů je nejméně pestrá volavka bílá (*Egretta alba*), lejsk černolesklý (*Melaenornis pammelaina*), pelikán bílý (*Pelecanus onocrotalus*), a lejsk šedý (*Muscicapa striata*) (viz příloha V; str. 100).

Naopak pro druhý typ **pestrosti**, který byl zkoumán na základě vlastností barevných modelů RGB a HSV(B) **počítačovým softwarem** vyšly korelační vztahy statisticky neprůkazně. Tato metoda se opírala o matematický algoritmus, který měl aditivním způsobem objektivně stanovit počet jednotlivých barev na jedinci. Pestrost byla tedy v tomto případě předem definována jako celkový počet barev bez ohledu na to, o jaké barvy se skutečně jednalo. Mezi nejpestřejší druhy se tak zařadila například vlha běločelá (*Merops bullockoides*), vousák Levillantův (*Trachyphonus vaillantii*), vlha zelená (*Merops superciliosus*) nebo turako purpurový (*Gallirex porphyreolophus*). Nejmenší počet barev byl odhalen v náhodném výběru u lejska černošedého (*Melaenornis pammelaina*), dronga lesného (*Dicrurus ludwigii*) a kukačky křiklavé (*Cuculus clamosus*). Ačkoliv byly pestré druhy u obou metod podobné, metoda počítače označila za nepestré výhradně tmavé jedince, zatímco v případě lidského faktoru se zde objevily i jiné barevé fenotypy. Protože jsem prozatím nenašla žádnou

studii, která by použila podobný způsob měření, považuji tuto metodiku za novou a prozatím ji nelze spolehlivě porovnat s ostatními používanými technikami.

Další znak, který však vyšel s produktivními oblastmi statisticky průkazně, bylo **modro-zelené zbarvení**. Zelené pigmenty se podílejí na vybarvení peří velmi zřídka (Prum and Torres 2003) a modré vůbec. Tyto tzv. strukturální barvy vznikají na základě biologických a fyzikálních principů, respektive interakcí okolního světla s pérovními strukturami. Jedinci se strukturálním opeřením nebo navíc v kombinaci s jinými typy ornamentace, kopírují v JAR podle mých výsledků výskyt nížinných lesů a vlhkých savan s dostatečnými dešťovými srážkami. Totéž pozorovali (Prum and Torres 2003), kteří uvádějí, že i přes značnou diverzifikaci druhů obývají ptáci s tímto znakem především woodlandy²⁰ a tropické nížinné lesy. Zmiňují se, že z afrických řádů se v takových biomech vyskytují například hrabaví (*Galliformes*), trogoni (*Trogoniformes*), šplhavci (*Piciformes*) nebo pěvci (*Passeriformes*). Z výsledků pro modro-zelené zbarvení usuzuji, že by výskyt v prostředí mohl souviset opět s jeho energetickou bilancí. Domněnku, že variabilita ve strukturálních barvách souvisí s potravními zdroji, ukazuje například práce na papežíkovi modrém (*Guiraca caeruleus*), prokazující pozitivní korelaci mezi intenzitou samčího strukturálního zbarvení a množstvím nutričních zdrojů v době pelichání (Keyser and Hill 1999; Keyser and Hill 2000). Autoři navrhují, že strukturální zbarvení tohoto druhu může sloužit jako signál dobré kondice. Podobně samci salašníka modrého (*Sialis sialis*), vyvíjející se v uměle redukovaných snuškách, byli krmeni rodiči častěji a měli jasnější barvu peří oproti mládřatům z velkých snušek. U samic však tento trend nebyl tak výrazně pozorován (Siefferman and Hill 2007).

Zelené zbarvení se může v produktivních oblastech vyskytovat z důvodu kryptise. Tropické lesy ve své podstatě nabízejí dva základní typy světelných habitatů. Světelné prostředí korunového patra je tvořeno hlavně zeleným pozadím chudým na UV záření a světlem bohatým na modré a UV vlnové délky (Endler 1993). Tmavé přízemní patro je tvořeno převážně hnědým pozadím chudým na UV záření a světlem bohatým na oranžové a zeleno-žluté vlnové délky (Endler 1993). Proto se druhy se zeleným fenotypem, chtějí-li být nenápadní, vyskytují spíše ve vyšších

²⁰ Jako woodlandy se označují lesní oblasti s řídkým zápojem stromů a dostatkem světla, které prostupuje až k dolnímu patru, které je tvořeno nízkými keři a bylinami. V práci si dovoluji tento termín nepřekládat.

etážích lesa, kde dosáhnou nejlepšího efektu utajení (Endler 1993; Gomez and Thery 2004). Naopak výskyt tmavě modrého zbarvení (nejasného) v korunovém patře minimalizuje náklady na signalizaci (Endler 1993; Gomez and Thery 2004). Ačkoliv z výsledků nemohu přesně určit, zda se druhy opravdu vyskytují přímo v korunách stromů (do vysvětlujících proměnných nebyla zahrnuta informace o výšce vegetace), gradientová mapa poukazuje na výskyt tohoto znaku především v zalesněných a humidních oblastech. V současnosti je přesto stále málo poznatků o přesné funkci strukturálního zbarvení ptáků. Ukazuje se však, že největší význam má v období námluv, například při svatebních tancích některých polygynních druhů ptáků (Prum & Torres 2003).

Také **iridescentní zbarvení** pozitivně korelovalo s environmentálními proměnnými, které popisují produktivní oblasti. Lesklé peří se třpytivými efekty se nejvíce objevilo v humidních oblastech, konkrétně v habitatech s vyšší půdní vlhkostí a ve vyšších nadmořských výškách. Mým předpokladem bylo, že se druhy s tímto znakem budou nejvíce vyskytovat v polouzavřených habitatech, kde budou moci na vyvýšených místech (např. vzrostlé stromy) signalizovat svému vlastnímu druhu na větší vzdálenosti. Myšlenku například podporují práce Endlera (Endler 1980; Endler and Thery 1996). Protože iridescentní peří je převážně jasné a saturované, stává se samo o sobě velmi nápadným signálem, který generuje vysoký chromatický a achromatický kontrast s přirozeným pozadím, které je obvykle tmavší a méně saturované (například kůra stromů, zelená vegetace, šterk), přičemž záleží na světelných podmínkách prostředí. U páva korunkatého (*Pavo cristatus*) bylo zaznamenáno, že efekty iridescentního zbarvení v signalizační úloze skutečně závisí na okolním světle (Dakin and Montgomerie 2009). Navíc studie Seymoura (Seymour and Dean 2010) ukazuje, že druhy s iridescentními ornamenty jsou v Africe negativně ovlivněny ztrátou velkých stromů. Avšak ne již její hustotou, čili jsou vázány spíše na vzrostlou vegetaci s mírným zápojem. Díky nápadnosti a efektivitě přenosu je tento znak pravděpodobně užíván zejména v procesech vnitrodruhové komunikace, varujícího chování nebo k okamžitému signalizování. Komparativní analýzy také podporují predikci, že tento typ strukturálního zbarvení je dobrý signál kvality jedince (Fitzpatrick 1998). V experimentální studii autoři (McGraw, Mackillop et al. 2002) poukazují, že kvalita nutričních zdrojů ovlivňuje vývoj iridescentního

ornamentu u vlhovce hnědohlavého (*Molothrus ater*). Podobně Hill *et al.* (2005) předkládá, že uměle provedená infekce iridescentního peří exogenními parazity ovlivnila zbarvení u divokého krocana (*Meleagris gallopavo*). Z těchto informací lze vyvodit, že iridescentní zbarvení souvisí s variabilitou přírodních podmínek.

Znak, který se s iridescencí velmi úzce pojí je podle studie (Owens and Hartley 1998) **pohlavní dichromatismus**. Také tato charakteristika v mé práci naznačila jistý trend podél gradientu produktivity. Výskyt znaku se omezil především na oblast Lesotha a zajímavě také podél řeky Orange v západním výběžku JAR. Celkově se jedná o poměrně vlhké habitaty se zimními dešti a v případě Lesotha o průměrně vyšší nadmořské výšky. Vztah mezi barevným dimorfismem a korelátu produktivity ale nevyšel statisticky signifikantně. Průkazná pozitivní korelace se nicméně ukázala mezi průměrnými teplotami nejchladnějšího měsíce, vegetačním indexem a **střední** mírou barevného **dichromatismu**. Touto mírou se rozumí, že samci a samice se liší v několika barevných znacích, ale nejsou zcela rozdílní. Literatura uvádí, že za evoluci pohlavního dichromatismu je zodpovědné hlavně karotenoidní zbarvení, jež podléhá působení pohlavního výběru (Gray 1996; Badyaev and Ghalambor 1998; Olson and Owens 1998; Badyaev and Hill 2002) a to zejména u lekových druhů ptáků. Z výše uvedeného se tak potvrzuje vzájemný soulad výskytu barevného dichromatismu, karotenoidních struktur a iridescence.

Dalo by se namítat, že klasifikace barevného dimorfismu je z hlediska lidského pozorování neobjektivní a složitá. Měření u pěnkavovitých ptáků (Fringillidae spp.) z atlasových ilustrací prováděl například (Badyaev and Ghalambor 1998). Pomocí předem stanovené tříúrovňové stupnice hodnotili dva nezávislí pozorovatelé barevný dimorfismus na třech oblastech těla (ocas, trup, hlava). Výsledky lidského pozorování byly navíc srovnány s měřením na přístroji Colortron (digitální barevný snímač) na muzejních vzorcích. Bylo zjištěno, že oba výstupy jsou srovnatelné a klasifikace lidským faktorem je relevantní. Také v komparativní studii Armenta (Armenta, Dunn *et al.* 2008) bylo zjištěno, že lidské odhady barevného dichromatismu jsou podobné se spektrofotometrickými výstupy, ačkoliv bez přístrojového měření není možné *a priori* odhalit, zda se druhy liší v UV složce.

Další trend, který se podél gradientu produktivity prokázal podobně jako v případě pestrosti a úzce se pojil s karotenoidním zbarvením, byla **syto**

(*saturation*). Sytost v zásadě odpovídá čistotě barvy (sytá neobsahuje žádnou příměs bílé) a opět lze hovořit o parametru, který se podílí na vzniku pestrosti. Sytost opeření průkazně kladně korelovala se srážkami a celkovou vlhkostí prostředí. Tento znak by mohl opět vykazovat danou geografickou variabilitu v souvislosti s dostupnou energií v prostředí. Tyto výsledky tak podporují dřívější predikci, kterou ve své studii navrhuje Endler (Endler 1993). Podle jeho pozorování a měření měly druhy v uzavřeném habitatu větší hodnoty sytosti (Endler 1993). To, že environmentální podmínky mohou ovlivnit vývoj barevného ornamentu, ukázaly například pokusy na sýkoře modřince (*Cyanistes caeruleus*), kde jedinci žijící v potravně chudém prostředí měli méně sytou (karotenoidní) žlutou barvu náprsenky, než jedinci obývající potravně kvalitnější prostředí (Ferns and Hinsley 2008).

Zcela opačné výsledky však vyšly pro **jasnost** (*brightness*). V mé práci představuje jasnost tu vlastnost barev, která udává relativní světlost nebo tmavost, tedy množství černé barvy obsažené v barvě základní, ale Endler (Endler 1990) upozorňuje, že jasnost je často chápána jako „nápadnost“ jedinců. Tato charakteristika barevnosti byla výrazně kladně korelována s **pouštními biomy** a oblastmi sukulentního Karoo a Nama Karoo. Typickou vlastností těchto biomů je vysoká aridita a sporadický výskyt vegetačního krytu. Kromě celkové jasnosti, uvažované přes celého jedince, vyšel průkazný vztah s těmito oblastmi také pro jasnost v rámci jednotlivých partií, jako jsou například líce, temeno a dále záda, křídla a kostřec. Souvislost výskytu tohoto znaku v otevřených biomech s vysokou intenzitou slunečního záření by mohlo souviset se signalizační hypotézou v rámci druhu. Předpokládám, že tyto tělní partie jsou pravděpodobně lépe detekovatelné i na velké vzdálenosti, protože zaujímají podstatnou část jedince, anebo se nacházejí na dobře viditelných místech těla. Podobné zjištění ukazuje i práce (McNaught and Owens 2002), ve které autoři ukazují, že vyšší hodnoty jasnosti peří jsou právě v otevřených habitatech (ale viz Endler 1993). Oblasti těla jako jsou obličej, krk a horní část náprsenky u bíle zbarvené sovice sněžné (*Bubo scandiacus*) jsou také průkazně jasnější a méně skvrnité, což potvrzuje úlohu opeření v signalizaci (Bortolotti, Stoffel et al. 2011).

Analýza poukázala na korelaci otevřených pouštních oblastí a krátkostébelných savan, kde je výpar větší než množství srážek a výraznější sezónní teplotní výkyvy s **šedohnědě zbarvenými** druhy. Průkazná korelace se prokázala navíc i s průměrnou nadmořskou výškou. Trend tohoto znaku odhaluje gradientová mapa III.1 (viz příloha III; str. 97), která zobrazuje všechny zkoumané mapové čtverce a na nich poměry daného znaku. Jedno z možných vysvětlení by mohlo souviset s přírodním výběrem a antipredačními mechanismy druhů. Konkrétně by mohlo jít opět o background-matching (Endler 1978). Převážně hnědý, šedý nebo dokonce kombinovaný (hnědo/šedý) fenotyp by mohl pomoci svým nositelům lépe napodobit prostředí pouští, polopouští a suchých savan s řídkým vegetačním krytem. Literární prameny ukazují, že toto zdánlivě nehostinné prostředí obývá velké množství druhů, které jsou schopné přežít v extrémních teplotách, vysoké intenzitě slunečního záření a nedostatku vody a velká většina z nich skutečně disponuje stejným zbarvením jako má okolní substrát (Cloudsley-Thompson 1999). Bez odfiltrování fylogenetické příslušnosti však nelze s určitostí říci, zda jde jednoznačně o adaptivní znak v tomto prostředí nebo pouze o znak zděděný od dávného předka.

Výskyt bíle zbarvených druhů v neproduktivních a otevřených oblastech poukazuje na signalizační funkci. Podobné výsledky naznačila terénní práce Olea (Olea, Casas et al. 2010) na dropu velkém (*Otis tarda*), který obývá otevřené palearktické pláně. Samci tohoto lekového druhu v ranních hodinách průkazně více orientovali svá bílá podocasní pera ke slunci. Zdá se, že interakce světla, které je jednou z nejdůležitějších složek pro přenos barevného signálu, a bílého zbarvení, které se při osvětlení jeví navíc proti tmavému pozadí vysoce nápadně, zvyšuje dropu pravděpodobnost páření (Olea, Casas et al. 2010).

Předpokládala jsem, že **skvrnitost** by také mohla být jendou z charakteristik podporující kryptickou funkci zbarvení. Tento znak by tak mohl být doplňující charakteristikou (ve smyslu textury zbarvení), který by umocňoval efekt utajení, protože substrát a pozadí prostředí také není vždy zcela uniformně vybarvený. Statisticky významnou závislost mezi prostředím a výskytem skvrnitého zbarvení jsem však v práci nezjistila. Fakt, že korelace vyšly neprůkazně, může souviset se způsobem hodnocením skvrnitosti. Výslednou distribuci podél gradientu produktivity mohlo pravděpodobně ovlivnit hodnocení znaku, ačkoliv byla klasifikace

skvrnitosti prováděna pouze jedním pozorovatelem. Nebylo totiž rozlišováno, kde se skvrnitost v rámci jedince nachází: zda na ventrální straně, dorzální anebo na celém opeření. Další měření a větší datový vzorek by mohl být nápomocný k přesnějším výsledkům.

Znak, u kterého jsem taktéž očekávala pozitivní korelaci s energeticky chudšími biomy, byly **černé konce křídel a ocasů**. Vycházela jsem z předpokladu, že by to mohlo souviset se zvýšenou odolností melaninových struktur vůči aridním podmínkám. (Burt 1981; Bonser and Witter 1993). Ačkoliv rozložení černých konců na ocasech a křídlech na gradientové mapě opravdu poukázalo na viditelný trend podél neproduktivních, aridních a teplých oblastí, dodatečná fourth-corner analýza neodhalila žádnou průkaznou spojitost. Jistým vysvětlením by mohl být malý počet druhů v datovém souboru s tímto znakem. Hypotézu resistance proti abrazi tedy ze statistických výsledků nelze jednoznačně potvrdit ani zpochybnit. Důvodem může být opět způsob klasifikace tohoto znaku, kdy za černé konce per byly považovány i celá černá křídla. Navíc jak poukazuje (McGraw, Wakamatsu et al. 2004) bez spektrofotometrického měření nelze jednoznačně určit, zda je barva melaninového původu či nikoliv.

Dále jsem předpokládala, že s neproduktivními pouštními oblastmi bude korelovat **černá barva** opeření. Vycházela jsem z navržených hypotéz o adaptivním významu tohoto typu zbarvení v pouštních oblastech, které shrnuje práce (Ward, Blount et al. 2002). Moje výsledky ale ukázaly, že větší poměrné zastoupení tohoto znaku bylo spíše mimo poušť, a jak již bylo zmíněno výše, s aridními biomy korelovalo nejlépe hnědé zbarvení. Výskyt tmavě a hlavně černě zbarvených druhů byl v rámci JAR asociován s výskytem afromontánního lesa a zbylými horskými biomy, táhnoucími se od jižního pobřeží až po bývalé území Transvaalu na severovýchodě země a travnatými savanami. Proměny, které vymezily rozložení tohoto znaku, byly tedy výškové převýšení, vzdušná vlhkost a výška vegetace po požáru. Jedno z možných vysvětlení pro výskyt v takových habitatech by mohlo plynout z vlastností melaninu, který zvyšuje tvrdost a resistenci per před degradačními účinky bakterií (Burt and Ichida 2004). Protože je růst a množení bakterií v humidním podnebí podporován, jejich působení se tak prokazatelně zvyšuje. Uvědomuji si, že pro relevantnější výsledky by však bylo třeba ofiltrvat fylogenetickou příslušnost.

Zvláštní kategorii pak tvořili **černobílí** jedinci. Trend na mapě prostorové variability poukázal na souvislost mezi produktivními biomy a touto kombinací zbarvení. Opět by se mohlo jednat o antipredační strategii. Jistou souvislost jsem hledala v disruptivní povaze tohoto zbarvení a v tzv. pattern blending²¹ (Merilaita 1998; Cuthill, Stevens et al. 2005; Merilaita and Lind 2005; Stevens, Cuthill et al. 2006). Očekávala jsem, že jednotlivé přechody mezi těmito navzájem kontrastními barvami opticky naruší celistvost obrysu těla vůči pozadí (to je tvořeno v lesním porostu při slunečném počasí častými přechody světla a stínů (Endler 1993)) a jedinec by ta byl potenciálním predátorem hůře zpozorovatelný. Předpokládá se, že tato barevná kombinace může být v uzavřeném lesním prostředí zvýhodněna proto, že zrak predátora není schopen rychlé akomodace na rozdíly v jasnosti mezi světlými a stinnými mikrohabitaty (Papageorgis 1975). Ve studii (Gotmark and Hohlfalt 1995) bylo na základě lidského pozorování provedeno hodnocení nápadnosti dvou druhů s obdobným vybarvením opeření: pěnkavy obecné (*Fringilla coelebs*) a lejska černohlavého (*Ficedula hipoleuca*). U samců lejska, žijících v lesním porostu, byla skutečně potvrzena funkce disruptivního zbarvení. V mé práci však statisticky průkazný vztah mezi černobílým zbarvením a proměnnými popisující produktivní prostředí nebyl objeven.

4. 1 SOUHRN

Variabilita ve zbarvení ptáků je často diskutovaným tématem. Při popisu rozmanitosti a vysvětlení adaptivního významu barevných struktur se mnohé studie opírají zejména o teorii přírodní selekce a pohlavního výběru. V této práci byl kladen důraz především na popis prostorové variability ve zbarvení a to ve vztahu s environmentálními podmínkami. Ukazuje se, že mezi vybranými barevnými znaky jihoafrických ptáků a podmínkami prostředí, tvořící tamní gradient produktivity, existují vzájemné souvislosti. Ačkoliv jsem se ve své práci nezabývala odfiltrováním fylogenetické příslušnosti, dospěla jsem k následujícím výrazným závěrům:

²¹ Jako pattern blending se označuje strategie živočichů, kdy jedinec snadno dosáhne svého utajení imitací vzoru světla a stínu nejčastěji v lesním prostředí.

- Celkově pestřejší druhy (dle klasifikace respondenty) se vyskytují v produktivnějším prostředí, jako jsou vlhké savany se sezónními dešti, pobřežní lesy a oblast fynbosu.
- Obecně uniformě a nevýrazně zbarvení jedinci, v jejichž opeření převažují hnědé, šedé, bílé nebo černé struktury bez iridescence, se častěji vyskytují v aridních a neproduktivních habitatech.
- Strukturální (převážně modro-zelené), karotenoidní a černé fenotypy se nejlépe rozložily v humidních biomech v nižších nadmořských výškách, kde je dostatek potravních zdrojů k expresi těchto ornamentů.
- Peří obohacené o kovově-lesklé ornamenty korelovalo zejména s lesními biomy a s vlhkými savanami na severo-východě s občasným výskytem vzrostlých stromů.
- Také druhy se sytějšími barvami opeření se vyskytují častěji v energeticky bohatých habitatech.
- Jasnost peří nejlépe korelovala s aridními oblastmi se sporadickým výskytem vegetace.
- Geografické rozdíly v ostatních znacích jako je skvrnitost, pestrost definována počítačovým softwarem, černé konce per a ocasů nebo pohlavní dichromatismus vykazaly také jisté trendy podél gradientu produktivity, jednalo se však pouze o slabě průkazné korelační vztahy s vybranými environmentálními podmínkami.

5. POUŽITÁ LITERATURA

- Andersson M. (1994). "Sexual Selection." Princeton University Press.
- Armenta, J. K., P. O. Dunn, et al. (2008). "Quantifying avian sexual dichromatism: a comparison of methods." Journal of Experimental Biology **211**(15): 2423-2430.
- Austen, D. J., P. B. Bayley, et al. (1994). "IMPORTANCE OF THE GUILD CONCEPT TO FISHERIES RESEARCH AND MANAGEMENT." Fisheries **19**(6): 12-20.
- Azeria, E. T., J. Ibarzabal, et al. (2011). "Differential response of bird functional traits to post-fire salvage logging in a boreal forest ecosystem." Acta Oecologica-International Journal of Ecology **37**(3): 220-229.
- Badyaev, A. V. and C. K. Ghalambor (1998). "Does a trade-off exist between sexual ornamentation and ecological plasticity? Sexual dichromatism and occupied elevational range in finches." Oikos **82**(2): 319-324.
- Badyaev, A. V. and G. E. Hill (2000). "Evolution of sexual dichromatism: contribution of carotenoid- versus melanin-based coloration." Biological Journal of the Linnean Society **69**(2): 153-172.
- Badyaev, A. V. and G. E. Hill (2002). "Paternal care as a conditional strategy: distinct reproductive tactics associated with elaboration of plumage ornamentation in the house finch." Behavioral Ecology **13**(5): 591-597.
- Baker, R. R. and G. A. Parker (1979). "Evolution of Bird Coloration." Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences **287**(1018): 63-130.
- Blount, J. D., D. C. Houston, et al. (2000). "Why egg yolk is yellow." Trends in Ecology & Evolution **15**(2): 47-49.
- Bonn, A., D. Storch, et al. (2004). "Structure of the species-energy relationship." Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences **271**(1549): 1685-1691.
- Bonser, R. H. C. (1995). "MELANIN AND THE ABRASION RESISTANCE OF FEATHERS." Condor **97**(2): 590-591.
- Bonser, R. H. C. (1996). "The mechanical properties of feather keratin." Journal of Zoology **239**: 477-484.
- Bonser, R. H. C. and M. S. Witter (1993). "INDENTATION HARDNESS OF THE BILL KERATIN OF THE EUROPEAN STARLING." Condor **95**(3): 736-738.
- Borcard, D., P. Legendre, et al. (1992). "Partialling out the Spatial Component of Ecological Variation." Ecology **73**(3): 1045-1055.

- Bortolotti, G. R., M. J. Stoffel, et al. (2011). "Wintering Snowy Owls *Bubo scandiacus* integrate plumage colour, behaviour and their environment to maximize efficacy of visual displays." *Ibis* **153**(1): 134-142.
- Brind'Amour, A., D. Boisclair, et al. (2011). "Relationships between species feeding traits and environmental conditions in fish communities: a three-matrix approach." *Ecological Applications* **21**(2): 363-377.
- Brush, A. H. and D. M. Power (1976). "HOUSE FINCH PIGMENTATION - CAROTENOID METABOLISM AND EFFECT OF DIET." *Auk* **93**(4): 725-739.
- Burt, E. H. (1981). "THE ADAPTIVENESS OF ANIMAL COLORS." *Bioscience* **31**(10): 723-729.
- Burt, E. H. and J. M. Ichida (2004). "Gloger's rule, feather-degrading bacteria, and color variation among song sparrows." *Condor* **106**(3): 681-686.
- Buxton P. A. 1923. "Animal life in deserts." Edward Arnold and Co., London.
- Chaves-Gonzalez, J. M., M. A. Vega-Rodriguez, et al. (2010). "Detecting skin in face recognition systems: A colour spaces study." *Digital Signal Processing* **20**(3): 806-823.
- Choler, P. (2005). "Consistent shifts in Alpine plant traits along a mesotopographical gradient." *Arctic Antarctic and Alpine Research* **37**(4): 444-453.
- Cleary, D. F. R., T. J. B. Boyle, et al. (2007). "Bird species and traits associated with logged and unlogged forest in Borneo." *Ecological Applications* **17**(4): 1184-1197.
- Cloudsley-Thompson, J. L. (1999). "Multiple factors in the evolution of animal coloration." *Naturwissenschaften* **86**(3): 123-132.
- Cody, M. L. (1981). "HABITAT SELECTION IN BIRDS - THE ROLES OF VEGETATION STRUCTURE, COMPETITORS, AND PRODUCTIVITY." *Bioscience* **31**(2): 107-113.
- Cott H.B. (1940). "Adaptive coloration in animals." London, Methuen.
- Cuthill, I. C., M. Stevens, et al. (2005). "Disruptive coloration and background pattern matching." *Nature* **434**(7029): 72-74.
- Dakin, R. and R. Montgomerie (2009). "Peacocks orient their courtship displays towards the sun." *Behavioral Ecology and Sociobiology* **63**(6): 825-834.
- de Witte, V., S. Schulte, et al. (2008). "New Vector Ordering in the RedGreenBlue Colour Model with Application to Morphological Image Magnification." *International Journal of Computational Intelligence Systems* **1**(2): 103-115.
- Doledec, S. and D. Chessel (1994). "Co-Inertia Analysis - an Alternative Method for Studying Species Environment Relationships." *Freshwater Biology* **31**(3): 277-294.

- Doledec, S., D. Chessel, et al. (1996). "Matching species traits to environmental variables: A new three-table ordination method." *Environmental and Ecological Statistics* **3**(2): 143-166.
- Doucet, S. M. (2002). "Structural plumage coloration, male body size, and condition in the Blue-Black Grassquit." *Condor* **104**(1): 30-38.
- Doucet, S. M. and G. E. Hill (2009). "Do museum specimens accurately represent wild birds? A case study of carotenoid, melanin, and structural colours in long-tailed manakins *Chiroxiphia linearis*." *Journal of Avian Biology* **40**(2): 146-156.
- Dray, S., D. Chessel, et al. (2003). "Co-inertia analysis and the linking of ecological data tables." *Ecology* **84**(11): 3078-3089.
- Dray, S. and P. Legendre (2008). "Testing the Species Traits-Environment Relationships: The Fourth-Corner Problem Revisited." *Ecology* **89**(12): 3400-3412.
- Dyck, J. (1992). "REFLECTANCE SPECTRA OF PLUMAGE AREAS COLORED BY GREEN FEATHER PIGMENTS." *Auk* **109**(2): 293-301.
- Endler, J. A. (1980). "NATURAL-SELECTION ON COLOR PATTERNS IN POECILIA-RETICULATA." *Evolution* **34**(1): 76-91.
- Endler, J. A. (1981). "AN OVERVIEW OF THE RELATIONSHIPS BETWEEN MIMICRY AND CRYPISIS." *Biological Journal of the Linnean Society* **16**(1): 25-31.
- Endler, J. A. (1983). "NATURAL AND SEXUAL SELECTION ON COLOR PATTERNS IN POECILIID FISHES." *Environmental Biology of Fishes* **9**(2): 173-190.
- Endler, J. A. (1987). "PREDATION, LIGHT-INTENSITY AND COURTSHIP BEHAVIOR IN POECILIA-RETICULATA (PISCES, POECILIIDAE)." *Animal Behaviour* **35**: 1376-1385.
- Endler, J. A. (1990). "On the Measurement and Classification of Color in Studies of Animal Color Patterns." *Biological Journal of the Linnean Society* **41**(4): 315-352.
- Endler, J. A. (1992). "SIGNALS, SIGNAL CONDITIONS, AND THE DIRECTION OF EVOLUTION." *American Naturalist* **139**: S125-S153.
- Endler, J. A. (1993). "THE COLOR OF LIGHT IN FORESTS AND ITS IMPLICATIONS." *Ecological Monographs* **63**(1): 1-27.
- Endler, J. A. and M. Thery (1996). "Interacting effects of lek placement, display behavior, ambient light, and color patterns in three neotropical forest-dwelling birds." *American Naturalist* **148**(3): 421-452.
- Ferns, P. N. and S. A. Hinsley (2008). "Carotenoid plumage hue and chroma signal different aspects of individual and habitat quality in tits." *Ibis* **150**(1): 152-159.

- Fitze, P. S. and H. Richner (2002). "Differential effects of a parasite on ornamental structures based on melanins and carotenoids." *Behavioral Ecology* **13**(3): 401-407.
- Fitzpatrick, S. (1998). "Colour schemes for birds: structural coloration and signals of quality in feathers." *Annales Zoologici Fennici* **35**(2): 67-77.
- Fleishman, L. K. and M. Persons (2001). "The influence of stimulus and background colour on signal visibility in the lizard *Anolis cristatellus*." *Journal of Experimental Biology* **204**(9): 1559-1575.
- Fox, D. L. 1976. "Animal Biochromes and Structural Colours." University of California Press, Berkeley, CA
- Frynta, D., J. Maresova, et al. (2009). "We all Appreciate the Same Animals: Cross-Cultural Comparison of Human Aesthetic Preferences for Snake Species in Papua New Guinea and Europe." *Ethology* **115**(4): 297-300.
- Galvan, I. (2008). "The importance of white on black: unmelanized plumage proportion predicts display complexity in birds." *Behavioral Ecology and Sociobiology* **63**(2): 303-311.
- Goldstein, G., K. R. Flory, et al. (2004). "Bacterial degradation of black and white feathers." *Auk* **121**(3): 656-659.
- Gomez, D. and M. Thery (2004). "Influence of ambient light on the evolution of colour signals: comparative analysis of a Neotropical rainforest bird community." *Ecology Letters* **7**(4): 279-284.
- Gotmark, F. (1993). "Conspicuous Coloration in Male Birds Is Favored by Predation in Some Species and Disfavoured in Others." *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences* **253**(1337): 143-146.
- Gotmark, F. and A. Hohlfalt (1995). "Bright male plumage and predation risk in passerine birds: Are males easier to detect than females?" *Oikos* **74**(3): 475-484.
- Gotmark, F. and U. Unger (1994). "Are Conspicuous Birds Unprofitable Prey - Field Experiments with Hawks and Stuffed Prey Species." *Auk* **111**(2): 251-262.
- Gray, D. A. (1996). "Carotenoids and sexual dichromatism in North American passerine birds." *American Naturalist* **148**(3): 453-480.
- Hadley, M. E. (1972). "FUNCTIONAL SIGNIFICANCE OF VERTEBRATE INTEGUMENTAL PIGMENTATION." *American Zoologist* **12**(1): 63-&.
- Hamilton, W. D. and M. Zuk (1982). "Heritable True Fitness and Bright Birds - a Role for Parasites." *Science* **218**(4570): 384-387.

- Heindl, M. and H. Winkler (2003). "Female canaries (*Serinus canaria*) associate more with males that contrast strongly against the background." *Ethology* **109**(3): 259-271.
- Heindl, M. and H. Winkler (2003). "Vertical lek placement of forest-dwelling manakin species (Aves, Pipridae) is associated with vertical gradients of ambient light." *Biological Journal of the Linnean Society* **80**(4): 647-658.
- Hill, G. E. (1990). "FEMALE HOUSE FINCHES PREFER COLORFUL MALES - SEXUAL SELECTION FOR A CONDITION-DEPENDENT TRAIT." *Animal Behaviour* **40**: 563-572.
- Hill, G. E. (1994). "GEOGRAPHIC-VARIATION IN MALE ORNAMENTATION AND FEMALE MATE PREFERENCE IN THE HOUSE FINCH - A COMPARATIVE TEST OF MODELS OF SEXUAL SELECTION." *Behavioral Ecology* **5**(1): 64-73.
- Hill, G. E. (2000). "Energetic constraints on expression of carotenoid-based plumage coloration." *Journal of Avian Biology* **31**(4): 559-566.
- Hill, G. E. and W. R. Brawnner (1998). "Melanin-based plumage coloration in the house finch is unaffected by coccidial infection." *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences* **265**(1401): 1105-1109.
- Hill, G. E., C. Y. Inouye, et al. (2002). "Dietary carotenoids predict plumage coloration in wild house finches." *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences* **269**(1496): 1119-1124.
- Hill, G. E. and R. Montgomerie (1994). "PLUMAGE COLOR SIGNALS NUTRITIONAL CONDITION IN THE HOUSE FINCH." *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences* **258**(1351): 47-52.
- Horak, P., H. Vellau, et al. (2000). "Growth conditions affect carotenoid-based plumage coloration of great tit nestlings." *Naturwissenschaften* **87**(10): 460-464.
- Isaksson, C., M. Von Post, et al. (2007). "Sexual, seasonal, and environmental variation in plasma carotenoids in great tits, *Parus major*." *Biological Journal of the Linnean Society* **92**(3): 521-527.
- Jablonski, P. (1996). "Dark habitats and bright birds: Warblers may use wing patches to flush prey." *Oikos* **75**(2): 350-352.
- Keyser, A. J. and G. E. Hill (1999). "Condition-dependent variation in the blue-ultraviolet coloration of a structurally based plumage ornament." *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences* **266**(1421): 771-777.
- Keyser, A. J. and G. E. Hill (2000). "Structurally based plumage coloration is an honest signal of quality in male blue grosbeaks." *Behavioral Ecology* **11**(2): 202-209.

- Lacourse, T. (2009). "Environmental change controls postglacial forest dynamics through interspecific differences in life-history traits." *Ecology* **90**(8): 2149-2160.
- Lee, D. S. and G. S. Grant (1986). "AN ALBINO GREATER SHEARWATER - FEATHER ABRASION AND FLIGHT ENERGETICS." *Wilson Bulletin* **98**(3): 488-490.
- Legendre, P., R. Galzin, et al. (1997). "Relating behavior to habitat: Solutions to the fourth-corner problem." *Ecology* **78**(2): 547-562.
- Lepš J. and Šmilauer P. (2003). "Multivariate analysis of ecological data using Canoco". Cambridge University Press. 269 str.
- Losos B., Gulicka J., Lellák J. & Pelikán J. (1984) "Ekologie živočichů." Státní pedagogické nakladatelství Praha, Praha, 316 s.
- Macarthur, R., J. Preer, et al. (1962). "BIRD SPECIES DIVERSITY .2. PREDICTION OF BIRD CENSUS FROM HABITAT MEASUREMENTS." *American Naturalist* **96**(888): 167-&.
- Maia, R., J. V. O. Caetano, et al. (2009). "Iridescent structural colour production in male blue-black grassquit feather barbules: the role of keratin and melanin." *Journal of the Royal Society Interface* **6**: S203-S211.
- Marchetti, K. (1993). "DARK HABITATS AND BRIGHT BIRDS ILLUSTRATE THE ROLE OF THE ENVIRONMENT IN SPECIES DIVERGENCE." *Nature* **362**(6416): 149-152.
- Marchetti, K. and T. Price (1997). "The adaptive significance of colour patterns in the Old World leaf warblers, genus *Phylloscopus*." *Oikos* **79**(2): 410-412.
- McGraw, K. J., J. Dale, et al. (2003). "Social environment during molt and the expression of melanin-based plumage pigmentation in male house sparrows (*Passer domesticus*)." *Behavioral Ecology and Sociobiology* **53**(2): 116-122.
- McGraw, K. J. and G. E. Hill (2000). "Differential effects of endoparasitism on the expression of carotenoid- and melanin-based ornamental coloration." *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences* **267**(1452): 1525-1531.
- McGraw, K. J., G. E. Hill, et al. (2003). "Carotenoid pigments in a mutant cardinal: Implications for the genetic and enzymatic control mechanisms of carotenoid metabolism in birds." *Condor* **105**(3): 587-592.
- McGraw, K. J., E. A. Mackillop, et al. (2002). "Different colors reveal different information: how nutritional stress affects the expression of melanin- and structurally based ornamental plumage." *Journal of Experimental Biology* **205**(23): 3747-3755.

- McGraw, K. J. and M. C. Nogare (2004). "Carotenoid pigments and the selectivity of psittacofulvin-based coloration systems in parrots." Comparative Biochemistry and Physiology B-Biochemistry & Molecular Biology **138**(3): 229-233.
- McGraw, K. J., K. Wakamatsu, et al. (2004). "You can't judge a pigment by its color: Carotenoid and melanin content of yellow and brown feathers in swallows, bluebirds, penguins, and domestic chickens." Condor **106**(2): 390-395.
- McNaught, M. K. and I. P. F. Owens (2002). "Interspecific variation in plumage colour among birds: species recognition or light environment?" Journal of Evolutionary Biology **15**(4): 505-514.
- Meot, A., P. Legendre, et al. (1998). "Partialling out the spatial component of ecological variation: questions and propositions in the linear modelling framework." Environmental and Ecological Statistics **5**(1): 1-27.
- Merilaita, S. (1998). "Crypsis through disruptive coloration in an isopod." Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences **265**(1401): 1059-1064.
- Merilaita, S. and J. Lind (2005). "Background-matching and disruptive coloration, and the evolution of cryptic coloration." Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences **272**(1563): 665-670.
- Mouillot, D., S. Spatharis, et al. (2006). "Alternatives to taxonomic-based approaches to assess changes in transitional water communities." Aquatic Conservation-Marine and Freshwater Ecosystems **16**(5): 469-482.
- Murphy, M. E. and J. R. King (1992). "ENERGY AND NUTRIENT USE DURING MOLT BY WHITE-CROWNED SPARROWS ZONOTRICHIA-LEUCOPHRYS-GAMBELII." Ornis Scandinavica **23**(3): 304-313.
- Olea, P. P., F. Casas, et al. (2010). "Bottoms up: great bustards use the sun to maximise signal efficacy." Behavioral Ecology and Sociobiology **64**(6): 927-937.
- Olson, V. A. and I. P. F. Owens (1998). "Costly sexual signals: are carotenoids rare, risky or required?" Trends in Ecology & Evolution **13**(12): 510-514.
- Osorio, D., D. G. Stavenga, et al. (2011). "Dramatic colour changes in a bird of paradise caused by uniquely structured breast feather barbules." Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences **278**(1715): 2098-2104.
- Owens, I. P. F. and I. R. Hartley (1998). "Sexual dimorphism in birds: why are there so many different forms of dimorphism?" Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences **265**(1394): 397-407.
- Papageorgis, C. (1975). "MIMICRY IN NEOTROPICAL BUTTERFLIES." American Scientist **63**(5): 522-532.

- Partali, V., S. Liaaenjensen, et al. (1987). "CAROTENOIDS IN FOOD-CHAIN STUDIES .2. THE FOOD-CHAIN OF PARUS SPP MONITORED BY CAROTENOID ANALYSIS." Comparative Biochemistry and Physiology B-Biochemistry & Molecular Biology **87**(4): 885-888.
- Price, T. and M. Pavelka (1996). "Evolution of a colour pattern: History, development, and selection." Journal of Evolutionary Biology **9**(4): 451-470.
- Prudic, K. L., A. K. Skemp, et al. (2007). "Aposematic coloration, luminance contrast, and the benefits of conspicuousness." Behavioral Ecology **18**(1): 41-46.
- Prum, R. O. and R. Torres (2003). "Structural colouration of avian skin: convergent evolution of coherently scattering dermal collagen arrays." Journal of Experimental Biology **206**(14): 2409-2429.
- Prum, R. O., R. Torres, et al. (1999). "Two-dimensional Fourier analysis of the spongy medullary keratin of structurally coloured feather barbs." Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences **266**(1414): 13-22.
- Ribera, I., S. Doledec, et al. (2001). "Effect of land disturbance and stress on species traits of ground beetle assemblages." Ecology **82**(4): 1112-1129.
- Ricklefs, R. E. (1991). "STRUCTURES AND TRANSFORMATIONS OF LIFE HISTORIES." Functional Ecology **5**(2): 174-183.
- Roberts "Birds of Southern Africa, VIIth ed.". The Trustees of the John Voelcker Bird Bokk Fund, Cape Town.
- Roulin, A., C. Dijkstra, et al. (2001). "Female- and male-specific signals of quality in the barn owl." Journal of Evolutionary Biology **14**(2): 255-266.
- Roulin, A., A. L. Ducrest, et al. (2003). "A female melanin ornament signals offspring fluctuating asymmetry in the barn owl." Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences **270**(1511): 167-171.
- Ruxton, G. D., M. P. Speed, et al. (2004). "What, if anything, is the adaptive function of countershading?" Animal Behaviour **68**: 445-451.
- Saatkamp, A., C. Romermann, et al. (2010). "Plant Functional Traits Show Non-Linear Response to Grazing." Folia Geobotanica **45**(3): 239-252.
- Schon, M. (2009). "Why birds should communicate by dynamic optical signal patterns and not by the static signals perceived by man." Ethology Ecology & Evolution **21**(2): 161-172.
- Senar, J. C., J. Figuerola, et al. (2002). "Brighter yellow blue tits make better parents." Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences **269**(1488): 257-261.

- Seymour, C. L. and W. R. J. Dean (2010). "The influence of changes in habitat structure on the species composition of bird assemblages in the southern Kalahari." *Austral Ecology* **35**(5): 581-592.
- Siebeck, U. E., N. J. Marshall, et al. (2006). "Monitoring coral bleaching using a colour reference card." *Coral Reefs* **25**(3): 453-460.
- Siefferman, L. and G. E. Hill (2007). "The effect of rearing environment on blue structural coloration of eastern bluebirds (*Sialia sialis*)." *Behavioral Ecology and Sociobiology* **61**(12): 1839-1846.
- Sinclair I., Hockey P., et al. (2002). "Birds of Southern Africa." Struik Publishers, Cape Town.: 445
- Slagsvold, T., S. Dale, et al. (1995). "PREDATION FAVORS CRYPTIC COLORATION IN BREEDING MALE PIED FLYCATCHERS." *Animal Behaviour* **50**: 1109-1121.
- Slominski, A., D. J. Tobin, et al. (2004). "Melanin pigmentation in mammalian skin and its hormonal regulation." *Physiological Reviews* **84**(4): 1155-1228.
- Southwood, T. R. E. (1977). "HABITAT, TEMPLET FOR ECOLOGICAL STRATEGIES - PRESIDENTIAL-ADDRESS TO BRITISH-ECOLOGICAL-SOCIETY, 5 JANUARY 1977." *Journal of Animal Ecology* **46**(2): 337-365.
- Stavenga, D. G., H. L. Leertouwer, et al. (2011). "Dramatic colour changes in a bird of paradise caused by uniquely structured breast feather barbules." *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* **278**(1715): 2098-2104.
- Stevens, M., I. C. Cuthill, et al. (2006). "Disruptive contrast in animal camouflage." *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* **273**(1600): 2433-2438.
- Stoehr, A. M. (2006). "Costly melanin ornaments: the importance of taxon?" *Functional Ecology* **20**(2): 276-281.
- Stradi, R., E. Pini, et al. (2001). "Carotenoids in bird plumage: the complement of red pigments in the plumage of wild and captive bullfinch (*Pyrrhula pyrrhula*)." *Comparative Biochemistry and Physiology B-Biochemistry & Molecular Biology* **128**(3): 529-535.
- ter Braak, C. J. F. and Šmilauer, P. (1998). "CANOCO Reference Manual and User's Guide to Canoco for Windows: Software for Canonical Community Ordination (version 4)." Ithaca, NY: Microcomputer Power, 352.
- Thioulouse, J. and D. Chessel (1992). "A Method for Reciprocal Scaling of Species Tolerance and Sample Diversity." *Ecology* **73**(2): 670-680.
- Thioulouse, J., D. Chessel, et al. (1997). "ADE-4: A multivariate analysis and graphical display software." *Statistics and Computing* **7**(1): 75-83.
- Thompson, D. C. and D. A. Boag (1976). "EFFECT OF MOLTING ON ENERGY-REQUIREMENTS OF JAPANESE QUAIL." *Condor* **78**(2): 249-252.

- Thuiller, W., D. M. Richardson, et al. (2006). "Interactions between environment, species traits, and human uses describe patterns of plant invasions." *Ecology* **87**(7): 1755-1769.
- Tickell, W. L. N. (2003). "White plumage." *Waterbirds* **26**(1): 1-12.
- Veselovský Z. (2001) *Obecná ornitologie*. Academia, Praha, 357 s.
- Villafuerte, R. and J. J. Negro (1998). "Digital imaging for colour measurement in ecological research." *Ecology Letters* **1**(3): 151-154.
- Walsberg, G. E. (1977). "Ecology and energetics of contrasting social systems in *Phainopepla nitens* (Aves: Ptilonotidae)." *Univ. Calif. Publ. Zool.* **108**: 1-63.
- Walsberg, G. E. (1982). "COAT COLOR, SOLAR HEAT GAIN, AND CONSPICUOUSNESS IN THE PHAINOPEPLA." *Auk* **99**(3): 495-502.
- Ward, J. M., J. D. Blount, et al. (2002). "The adaptive significance of dark plumage for birds in desert environments." *Ardea* **90**(2): 311-323.
- West, P. M. and C. Packer (2002). "Sexual selection, temperature, and the lion's mane." *Science* **297**(5585): 1339-1343.
- Zahavi A. (1975) Mate selection – a selection for a handicap. *Journal of Theoretical Biology*, **53**, 205-214.

Internetové zdroje

<http://www.fao.org/nr/geoinfo/geo-home/en/>

<http://avibase.bsc-eoc.org/avibase.jsp?lang=CS&pg=home>

http://eros.usgs.gov/#/Find_Data/Products_and_Data_Available/gtopo30/hydro/africa

http://webgis.wr.usgs.gov/globalgis/metadata_qr/metadata/hydro1k.htm

<http://www.fao.org/nr/geoinfo/geo-home/en/>

6. PŘÍLOHY

6.1 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha I: Seznam zkratk použitých v textu

Příloha II: Barva a barevné modely, (RGB, HSV)

Příloha III: Doplnující mapy gradientové variability

Příloha IV: Doplnující statistické tabulky

Příloha V: Vybrané druhy řazené dle pestrosti, (nejméně pestré a nejvíce pestré druhy; zdroj ilustrací: Sinclair, Hockey et al. (2002), *Birds of Southern Africa*, illustrated by Peter Hayman & Norman Arlott, Sasol

Příloha VI: Seznam referenčních druhů

Příloha VII: Seznam všech druhů použitých v práci

Seznam použité literatury:

Chaves-Gonzalez, J. M., M. A. Vega-Rodriguez, et al. (2010). "Detecting skin in face recognition systems: A colour spaces study." *Digital Signal Processing* **20**(3): 806-823.

(<http://fyzika.jreichl.com/index.php?sekce=browse&page=548>)

(http://geo.fsv.cvut.cz/gwiki/Soubor:ZOD-cv3-rgb_his.png)

(http://geo.fsv.cvut.cz/gwiki/Soubor:ZOD-cv3-rgb_his.png)

Tab. I. 1. Seznam použitých zkratk **environmentálních proměnných** použitých v textu a jejich popis.

Zkratka	Vysvětlivka
MAXMO	průměrná teplota nejteplejšího měsíce
MINMO	průměrná teplota nejchladnějšího měsíce
Temp_seas	sezónní teplotní změny
Rain1	průměrné srážky v lednu
Rain7	průměrné srážky v červenci
Rain_seas	sezónní změny srážek
PPT	průměrná roční potenciální precipitace
PET	průměrná roční potenciální evapotranspirace
Humidity	relativní vzdušná vlhkost
Soil_water	množství vody zadržené v půdních kapilárách
Elev_MEAN	průměrná nadmořská výška
Elev_Range	rozsah nadmořské výšky, převýšení
NPP	primární produktivita
NDVI1	normalizovaný vegetační index v lednu
NDVI7	normalizovaný vegetační index v červenci
LAI	index listové plochy
Veg_hgt	výška vegetace před požárem
Veg_hgtF	výška vegetace po požáru
LONGITUDE	zeměpisná šířka [1/4 stupně]
LATITUDE	zeměpisná délka [1/4 stupně]

Tab. I. 2. Seznam zkratk pro **kvalitativní proměnné** použitých v textu a jejich popis.

Zkratka	Popis
BW	černá/bílá
GB	šedá/hnědá
GrB	zelená/modrá
OB	černá
YRO	červená/žlutá/oranžová
A	žádný dimorfismus
M	střední dimorfismus
D	dimorfismus
IR	iridescentní zbarvení
Oth	ostatní typy zbarvení
Sp	skvrnitost
T	černé konce ocasu
W	černé konce křídel

Tab. I. 3. Seznam zkratk pro **kvantitativní proměnné** použitých v textu a jejich popis.

Zkratka	Popis
brig	jasnost
pest	pestrnost dle počítačového softwaru
resp	pestrnost dle respondentů
sat	sytost

Tab. I. 4. Seznam zkratk s **kvantitativními proměnnými** (redukovaný set) pro jednotlivá **regia** a jejich popis.

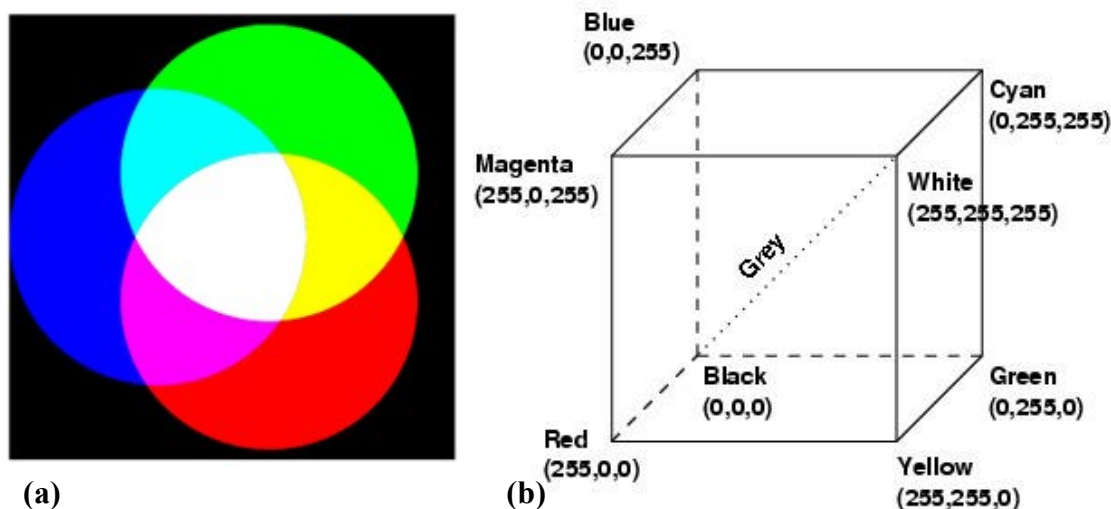
Zkratka	Popis
bk_S	sytost zobáku
fr_S	sytost čela
cwn_S	sytost temena
chk_S	sytost tváře
brs_S	sytost náprsenky
bel_S	sytost břicha
bck_S	sytost zad
win_S	sytost křídla
upt_S	sytost kostřce
tai_S	sytost ocasu
bk_B	jasnost zobáku
fr_B	jasnost čela
cwn_B	jasnost temena
chk_B	jasnost tváře
brs_B	jasnost náprsenky
bel_B	jasnost břicha
bck_B	jasnost zad
win_B	jasnost křídla
upt_B	jasnost kostřce
tai_B	jasnost ocasu

Přesná definice barvy v zásadě neexistuje. Komplikace vyvstává jednak z morfologické podstaty zrakových orgánů mezi taxony, jednak ze subjektivního vnímání barvy každého jedince v rámci jedné taxonomické jednotky. Pro zjednodušení a vizualizaci barevné informace se využívají tzv. **barevné modely**. Ty jsou vytvořeny na základě lidského vnímání barev a často se využívají v technických oborech. Jejich podstata a teoretický základ byl v této práci použit pro vyhodnocení pestrosti, jasů (brightness) a sytosti (saturation) ptáků. Níže jsou stručně popsány ty modely, z kterých práce vychází.

II.I RGB model

RGB je aditivní barevný model, který je založen na míchání tří základních barev: červené základní barvy (R), zelené základní barvy (G) a modré základní barvy (B). Tyto barvy v oblasti lidského vidění odpovídají barevným citlivostem čípků sítnice lidského oka při trichromatickém vidění.²² Jejich vzájemnými kombinacemi lze získat v podstatě jakoukoliv další barvu. Z obrázku II.Ia plyne, že smícháním například barvy červené (255, 0, 0) a zelené (0, 255, 0) v odpovídajícím množství, vznikne tzv. barva doplňková - žlutá (255, 255, 0). Kombinace všech základních barev s nejvyšší intenzitou dává vzniknout bílé barvě. Každou barvu v RGB modelu lze také definovat jako vektor v trojrozměrném prostoru, který je vyjádřen jednotkovou krychlí v Kartézské soustavě souřadnic (de Witte, Schulte *et al.* 2008). Jak je vidět na obrázku II.Ib, jednotlivé vrcholy krychle představují kromě tří výše zmíněných základních barev ještě barvy doplňkové: žlutou, azurovou a purpurovou. V tzv. počátku krychle leží barva černá (0,0,0) a v protějším rohu barva bílá (255, 255, 255). Mezi těmito dvěma body leží škála šedých odstínů (de Witte, Schulte *et al.* 2008).

²² (<http://fyzika.jreichl.com/index.php?sekce=browse&page=548>)



Obr. II.1. RGB model. (a) Míchání základních barev v RGB modelu; zdroj obrázku (Chaves-Gonzalez, Vega-Rodriguez et al. 2010), (b) RGB model znázorněn jednotkovou krychlí v Kartézské soustavě souřadnic. Zdroj obrázku (http://geo.fsv.cvut.cz/gwiki/Soubor:ZOD-cv3-rgb_his.png).

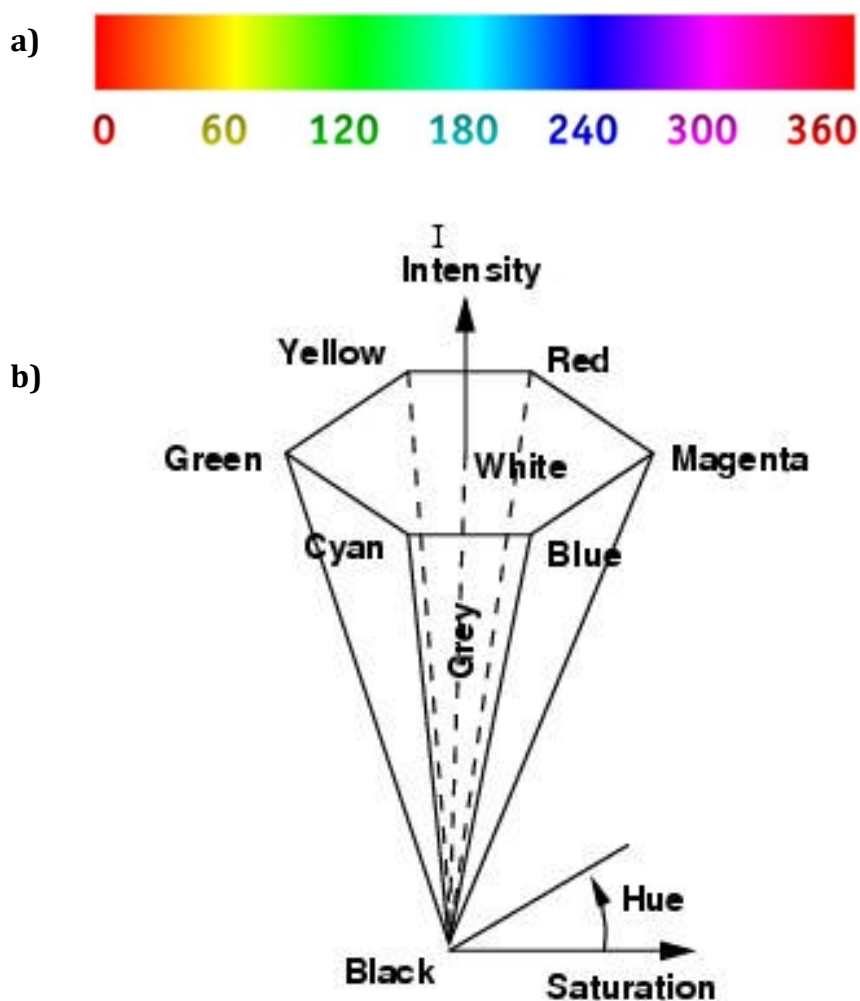
I.II HSV(B) model

Model HSV představuje geometrii bodů RGB modelu do nové soustavy souřadnic. Ve své podstatě je HSV(B) model mnohem intuitivnější a lidskému vnímání barev bližší. Pro zobrazení barev pomocí HSV(B) modelu se používá šestiboký jehlan umístěný do souřadnicového systému tak, že vrchol jehlanu je v počátku a osa jehlanu je shodná se svislou osou tělesa. Tato osa znázorňuje změny úrovně jasu. Kolem hlavní osy můžeme definovat základní charakteristiky barvy (Chaves-Gonzalez, Vega-Rodriguez et al. 2010), podle kterých je model pojmenován:

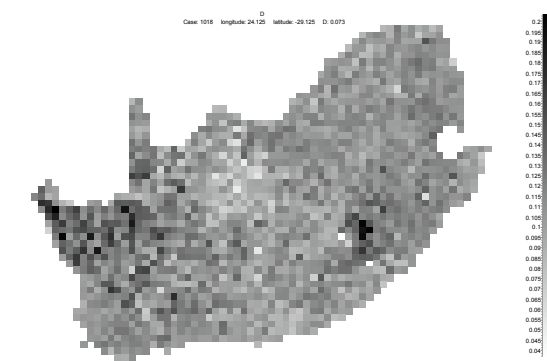
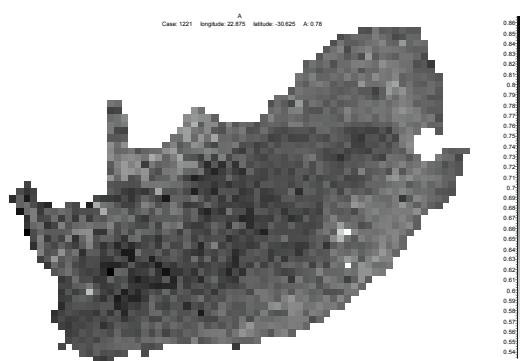
- Barva nebo odstín (*hue*) je umístěn na podstavě jehlanu a vyjadřuje se v úhlových stupních ($0-360^\circ$) proti směru hodinových ručiček, jak je znázorněno na obrázku I.IIa.
- Sytost (*saturation*) popisuje čistotu barvy a je definována vzdáleností od středu příčného řezu jehlanu. Čím více je přítomno bílé nebo černé v čisté

barvě, čím klesá její sytost. Vyjadřuje se pomocí intervalu (0-1) nebo v procentech (0-100).

- Jasová složka (*brightness*), někdy označována také jako hodnota (*value*) je definovaná podélnou osu jehlanu. Čím více barva obsahuje černou, tím je méně jasná a může být vyjádřena podobně jako sytost intervalem (0-1) nebo procentuálně.



Obr. II.II. HSV (B) model. (a) rozsah barev v úhlových stupních; zdroj obrázku (Chaves-Gonzalez, Vega-Rodriguez et al. 2010); (b) HSV(B) model znázorněn pomocí šestibokého jehlanu. Zdroj obrázku (http://geo.fsv.cvut.cz/gwiki/Soubor:ZOD-cv3-rgb_his.png).



Mapa III. 1. Variabilita černobílých jedinců podél gradientu produktivity v JAR.

Mapa III. 2. Variabilita střední míry dimorfismu podél gradientu produktivity v JAR.

Mapa III. 3. Variabilita nedimorních druhů podél gradientu produktivity v JAR.

Mapa III. 4. Variabilita černých konců ocasů podél gradientu produktivity v JAR.

Tab. IV. 1. Korelační koeficienty pro první čtyři osy ze separátní analýzy s hlavními RLQ osami pro environmentální proměnné (R tabulka) a pro kvantitativné znaky (Q tabulka).

R	RLQ axis 1	RLQ axis 2	Q	RLQ axis 1	RLQ axis 2
Axis 1	0,979	0,066	Axis 1	0,468	-0,839
Axis 2	0,084	0,389	Axis 2	-0,772	-0,272
Axis 3	-0,108	0,913	Axis 3	0,256	0,417
Axis 4	0,072	0,071	Axis 4	0,346	0,219

Tab. IV. 2. Korelační koeficienty pro první čtyři osy ze separátní analýzy s hlavními RLQ osami pro environmentální proměnné (R tabulka) a kvalitativní barevné znaky (Q tabulka).

R	RLQ axis 1	RLQ axis 2	Q	RLQ axis 1	RLQ axis 2
Axis 1	0,955	0,254	Axis 1	0,688	0,142
Axis 2	0,113	0,017	Axis 2	0,285	0,399
Axis 3	-0,251	0,964	Axis 3	0,369	-0,335
Axis 4	0,055	0,001	Axis 4	0,135	-0,588

Tab. IV. 3. Separátní analýza L tabulky pro redukovaný set druhů. Zachyceny jsou vlastní hodnoty (*Eigenvalues*) a procenta zachycené variability (*Var*) pro první čtyři ordinační osy z RDA.

	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4
Eigenvalues	0,350	0,215	0,130	0,087
Var	13,841	8,503	5,156	3,441

Tab. IV. 4. Separátní analýza R tabulky pro redukovaný set druhů. Zachyceny jsou opět vlastní hodnoty (*Eigenvalues*) a procenta zachycené variability (*Var*) pro první čtyři ordinační osy z PCA.

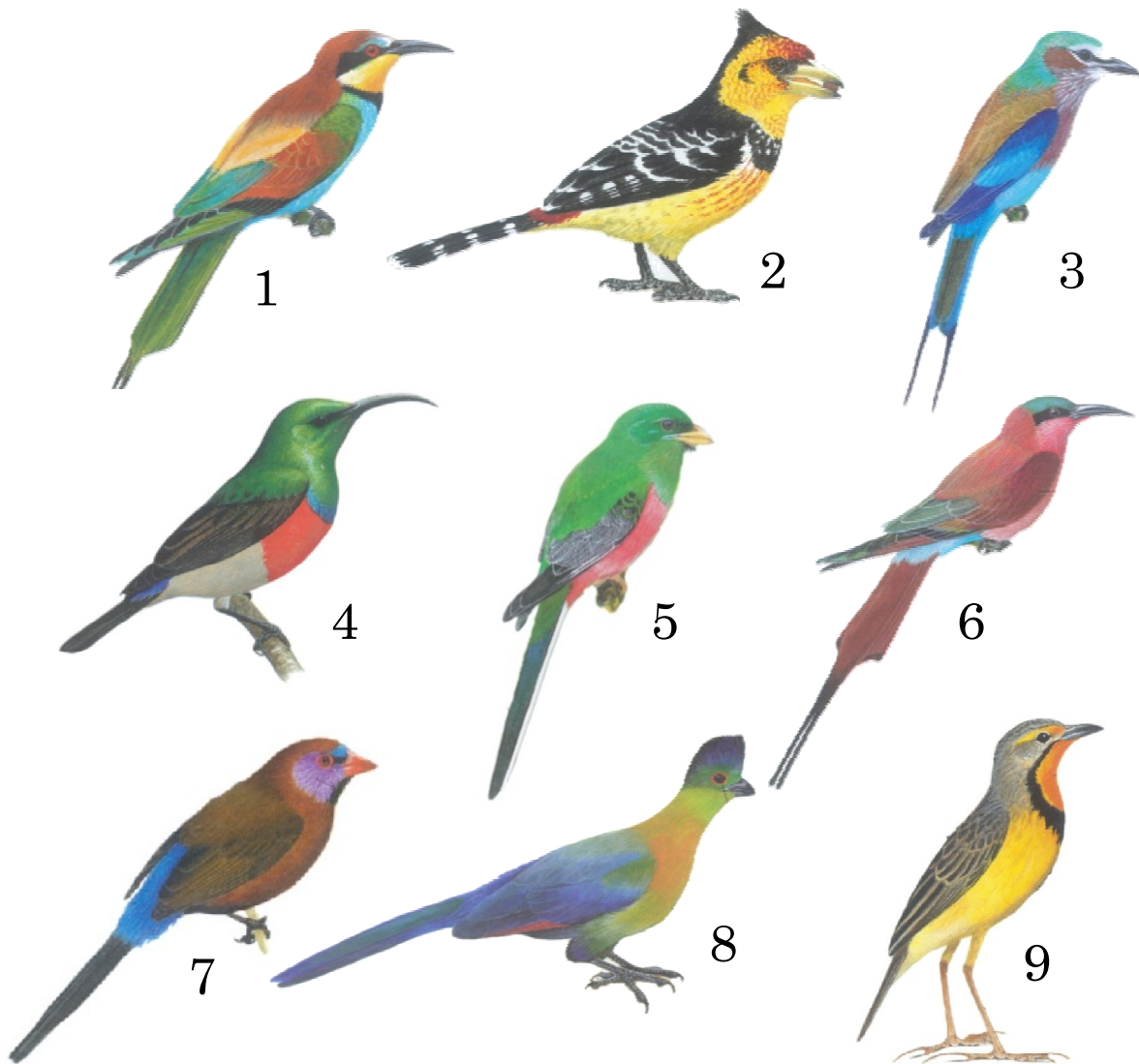
	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4
Eigenvalues	8,799	3,474	2,569	0,997
Var	48,882	19,300	14,271	5,541

Tab. IV. 5. Separátní analýza hlavních komponent (PCA) spojitých proměnných jednotlivých tělních oblastí (regií). Zobrazeny jsou vlastní hodnoty (*Eigenvalues*) pro první dvě hlavní komponenty a procenta zachycené variability (*Var*). Silně jsou zvýrazněny pozitivní vztahy, normálním písmem negativní korelace a šedě málo významné korelace.

	Axis 1	Axis 2
Eigenvalues	5,297	3,905
Var	26,487	19,527
bk_S	-0,057	0,183
fr_S	-0,597	-0,439
cwn_S	-0,681	-0,391
chk_S	-0,566	-0,369
brs_S	-0,434	-0,425
bel_S	-0,478	-0,393
bck_S	-0,663	-0,395
win_S	-0,689	-0,371
upt_S	-0,634	-0,451
tai_S	-0,589	-0,462
bk_B	-0,121	0,310
fr_B	-0,481	0,479
cwn_B	-0,512	0,560
chk_B	-0,495	0,585
brs_B	-0,483	0,393
bel_B	-0,442	0,374
bck_B	-0,523	0,580
win_B	-0,510	0,536
upt_B	-0,409	0,421
tai_B	-0,436	0,518



Obr. V. 1. Devět nejméně pestrých ptáků dle respondentů v pořadí: 100. volavka bílá (*Egretta alba*), 99. lejsek černolesklý (*Melaenornis pammelaina*), 98. pelikán bílý (*Pelecanus onocrotalus*), 97. lejsek šedý (*Muscicapa striata*), 96. cistovník rezavolící (*Cisticola erythrops*), 95. břehouš rudý (*Limosa lapponica*), 94. linduška žlutohnědá (*Anthus vaalensis*), 93. rákosník jižní (*Acrocephalus gracilirostris*), 92. orel stepní (okrový) (*Aquila rapax*).



Obr. V. 2. Devět nejpestřejších ptáků dle respondentů. Z vybraných 100 jedinců byla na prvním místě: 1. vlha pestrá (*Merops apiaster*), 2. vousák Levillantův (*Trachyphonus vaillantii*), 3. mandelík fialovoprstý (*Coracias caudatus*), 4. strdimil západokapský (*Cinnyris afer*), 5. trogon uzdičkový (*Apaloderma narina*), 6. vlha núbijská (*Merops nubicoides*), 7. astrild granátový (*Granatina granatina*), 8. turako lesklohlavý (purpurový) (*Musophaga porphyreolopha*), 9. linduškovec kapský (*Macronyx capensis*).

Latinský název	Čeleď	Číslo karty	Průměrné pořadí
<i>Merops apiaster</i>	Meropidae	16	97.81
<i>Trachyphonus vaillantii</i>	Capitonidae	12	95.38
<i>Coracias caudatus</i>	Coraciidae	15	93.65
<i>Cinnyris afer</i>	Nectariniidae	30	90.08
<i>Apaloderma narina</i>	Trogonidae	71	88.97
<i>Merops nubicoides</i>	Meropidae	42	87.95
<i>Granatina granatina</i>	Estrildidae	1	87.38
<i>Gallirex porphyreolophus</i>	Musophagidae	3	87.14
<i>Macronyx capensis</i>	Meropidae	25	85.59
<i>Lybius torquatus</i>	Capitonidae	97	85.49
<i>Alcedo cristata</i>	Alcedinidae	98	83.46
<i>Hypargos margaritatus</i>	Estrildidae	2	81.27
<i>Halcyon senegalensis</i>	Alcedinidae	33	80.81
<i>Poicephalus robustus</i>	Psittacidae	48	80.46
<i>Monticola rupestris</i>	Muscicapidae	96	80.05
<i>Eurystomus glaucurus</i>	Coraciidae	78	79.51
<i>Porphyrio madagascariensis</i>	Raliidae	52	78.38
<i>Tricholaema leucomelas</i>	Capitonidae	11	77.68
<i>Vidua paradisaea</i>	Viduidae	6	75.76
<i>Chrysococcyx cupreus</i>	Cuculidae	81	75.35
<i>Laniarius atrococcineus</i>	Laniidae	26	73.97
<i>Phoeniculus purpureus</i>	Phoeniculidae	44	73.51
<i>Euplectes orix</i>	Ploceidae	46	73.35
<i>Cinnyris talatala</i>	Nectariniidae	61	72.32
<i>Sporaeginthus subflavus</i>	Estrildidae	69	71.41
<i>Coccygia melanotis</i>	Estrildidae	7	70.46
<i>Upupa africana</i>	Upupidae	14	69.38
<i>Ploceus velatus</i>	Ploceidae	9	69.19
<i>Dendropicos namaquus</i>	Picidae	10	68.32
<i>Treron calvus</i>	Columbidae	82	67.54
<i>Telophorus nigrifrons</i>	Malaconotidae	76	65.59
<i>Lamprotornis nitens</i>	Sturnidae	27	65.35
<i>Zoothera gurneyi</i>	Turdidae	20	65.22
<i>Nectarinia famosa</i>	Nectariniidae	29	65.16
<i>Uraeginthus angolensis</i>	Estrildidae	31	64.43
<i>Alopochen aegyptiaca</i>	Anatidae	19	64.22
<i>Balearica regulorum</i>	Gruidae	39	64.22
<i>Tockus leucomelas</i>	Bucerotidae	43	62.51
<i>Chrysococcyx caprius</i>	Cuculidae	80	60.49
<i>Batis capensis</i>	Platysteiridae	22	59.54
<i>Terpsiphone viridis</i>	Monarchidae	59	59.54
<i>Pterocles burchelli</i>	Pteroclididae	37	59.22
<i>Arenaria interpres</i>	Scolopacidae	75	56.19

Latinský název	Čeleď	Číslo karty	Průměrné pořadí
<i>Euplectes capensis</i>	Ploceidae	100	55.59
<i>Promerops gurneyi</i>	Promeropidae	68	55.46
<i>Lagonistica senegala</i>	Estrildidae	8	55.30
<i>Ploceus xanthops</i>	Ploceidae	62	54.86
<i>Nettapus auritus</i>	Anatidae	90	53.73
<i>Hirundo semirufa</i>	Hirundinidae	56	52.51
<i>Afrotis afra</i>	Otididae	51	51.62
<i>Ephippiorhynchus senegalensis</i>	Ciconidae	91	50.97
<i>Passer melanurus</i>	Passerida	32	50.46
<i>Geocolaptes olivaceus</i>	Picidae	45	49.49
<i>Megaceryle maxima</i>	Alcedinidae	34	48.32
<i>Aplopelia larvata</i>	Columbidae	72	47.51
<i>Actophilornis africanus</i>	Rallidae	65	45.22
<i>Estrilda perreini</i>	Estrildidae	63	44.32
<i>Charadrius hiaticula</i>	Charadriidae	50	43.62
<i>Vanellus albiceps</i>	Charadriidae	83	43.00
<i>Centropus burchelli</i>	Cuculidae	17	40.92
<i>Cinnyricinclus leucogaster</i>	Sturnidae	28	40.59
<i>Sarothrura affinis</i>	Raliidae	64	40.49
<i>Columba arquatrix</i>	Columbidae	36	36.46
<i>Ardeotis kori</i>	Otididae	84	36.19
<i>Psophocichla litsitsirupa</i>	Turdidae	47	35.62
<i>Buphagus erythrorhynchus</i>	Sturnidae	67	35.11
<i>Lamprotornis mevesii</i>	Sturnidae	93	35.11
<i>Vanellus armatus</i>	Charadriidae	38	34.92
<i>Cuculus solitarius</i>	Cuculidae	41	34.22
<i>Anas smithii</i>	Anatidae	89	34.14
<i>Chlorocichla flaviventris</i>	Pycnonotidae	58	33.57
<i>Phoenicopterus minor</i>	Phoenicopteridae	73	33.19
<i>Vanellus coronatus</i>	Charadriidae	99	33.11
<i>Onychognathus nabouroup</i>	Sturnidae	60	32.59
<i>Scleroptila levaillantoides</i>	Phasianidae	86	32.41
<i>Buteo rufofuscus</i>	Accipitridae	87	30.95
<i>Accipiter tachiro</i>	Accipitridae	54	28.95
<i>Bucorvus leadbeateri</i>	Bucerotidae	55	27.65
<i>Crithagra leucoptera</i>	Fringillidae	70	26.81
<i>Indicator indicator</i>	Indicatoridae	13	25.46
<i>Numida meleagris</i>	Numididae	18	24.65
<i>Strix woodfordii</i>	Strigidae	79	23.92
<i>Cisticola juncidis</i>	Cisticolidae	5	23.43
<i>Sterna caspia</i>	Laridae	74	23.38
<i>Neophron percnopterus</i>	Accipitridae	88	23.32
<i>Rallus caerulescens</i>	Raliidae	85	22.08

Latinský název	Čeleď	Číslo karty	Průměrné pořadí
<i>Turdoides jardineii</i>	Timaliidae	57	22.08
<i>Turdoides bicolor</i>	Timaliidae	24	20.16
<i>Caprimulgus rufigena</i>	Caprimulgidae	35	18.65
<i>Pternistis swainsonii</i>	Phasianidae	53	18.54
<i>Phylloscopus trochilus</i>	Sylviidae	21	16.24
<i>Aquila rapax</i>	Accipitridae	66	14.22
<i>Acrocephalus gracilirostris</i>	Sylviidae	4	14.16
<i>Anthus vaalensis</i>	Motacillidae	23	12.97
<i>Limosa lapponica</i>	Scolopacidae	49	11.86
<i>Cisticola erythrops</i>	Cisticolidae	95	10.32
<i>Muscicapa striata</i>	Muscicapidae	77	10.24
<i>Pelecanus onocrotalus</i>	Pelecanidae	92	8.73
<i>Melaenornis pammelaina</i>	Muscicapidae	94	3.73
<i>Egretta alba</i>	Ardeidae	40	3.57

Latinský název	Zkratka	Latinský název	Zkratka
<i>Accipiter badius</i>	Accibadi	<i>Anthus brachyurus</i>	Anthbrac
<i>Accipiter melanoleucus</i>	Accimela	<i>Anthus caffer</i>	Anthcaff
<i>Accipiter minullus</i>	Acciminu	<i>Anthus cinnamomeus</i>	Anthcinn
<i>Accipiter ovampensis</i>	Acciovam	<i>Anthus crenatus</i>	Anthcren
<i>Accipiter rufiventris</i>	Accirufi	<i>Anthus hoeschi</i>	Anthhoes
<i>Accipiter tachiro</i>	Accitach	<i>Anthus chloris</i>	Anthchlo
<i>Acridotheres tristis</i>	Acritris	<i>Anthus leucophrys</i>	Anthleuc
<i>Acrocephalus arundinaceus</i>	Acroarun	<i>Anthus lineiventris</i>	Anthline
<i>Acrocephalus baeticatus</i>	Acrobaet	<i>Anthus similis</i>	Anthsimi
<i>Acrocephalus gracilirostris</i>	Acrograc	<i>Anthus trivialis</i>	Anthtriv
<i>Acrocephalus palustris</i>	Acropalu	<i>Anthus vaalensis</i>	Anthvaal
<i>Acrocephalus schoenobaenus</i>	Acroscho	<i>Apalis flavida</i>	Apalflav
<i>Actitis hypoleucos</i>	Actihypo	<i>Apalis ruddi</i>	Apalrudd
<i>Actophilornis africanus</i>	Actoafri	<i>Apalis thoracica</i>	Apalthor
<i>Aegyptius occipitalis</i>	Aegyocci	<i>Apaloderma narina</i>	Apalnari
<i>Aegyptius tracheliotus</i>	Aegytrac	<i>Aplopelia larvata</i>	Aplolarv
<i>Aenigmatolimnas marginalis</i>	Aenimarg	<i>Apus affinis</i>	Apusaffi
<i>Afrotis afra</i>	Afroafra	<i>Apus apus</i>	Apusapus
<i>Agapornis roseicollis</i>	Agaprose	<i>Apus barbatus</i>	Apusbarb
<i>Alcedo cristata</i>	Alcecris	<i>Apus bradfieldi</i>	Apusbrad
<i>Alcedo semitorquata</i>	Alcesemi	<i>Apus caffer</i>	Apuscaff
<i>Alopochen aegyptiaca</i>	Alopaegy	<i>Apus horus</i>	Apushoru
<i>Amadina erythrocephala</i>	Amaderyt	<i>Aquila ayresii</i>	Aquiayre
<i>Amadina fasciata</i>	Amadfasc	<i>Aquila nipalensis</i>	Aquinipa
<i>Amaurornis flavirostris</i>	Amauflav	<i>Aquila pennatus</i>	Aquipenn
<i>Amblyospiza albifrons</i>	Amblalbi	<i>Aquila pomarina</i>	Aquipoma
<i>Anaplectes melanotis</i>	Anapmela	<i>Aquila rapax</i>	Aquirapa
<i>Anas capensis</i>	Anascape	<i>Aquila spilogaster</i>	Aquispil
<i>Anas erythrorhyncha</i>	Anaseryt	<i>Aquila verreauxii</i>	Aquiverr
<i>Anas hottentota</i>	Anashott	<i>Aquila wahlbergi</i>	Aquiwahl
<i>Anas smithii</i>	Anassmit	<i>Ardea cinerea</i>	Ardecine
<i>Anas sparsa</i>	Anasspar	<i>Ardea goliath</i>	Ardegoli
<i>Anas undulata</i>	Anasundu	<i>Ardea melanocephala</i>	Ardemela
<i>Anastomus lamelligerus</i>	Anaslame	<i>Ardea purpurea</i>	Ardepurp
<i>Andropadus importunus</i>	Andrimpo	<i>Ardeola ralloides</i>	Arderall
<i>Anhinga rufa</i>	Anhirufa	<i>Ardeola rufiventris</i>	Arderufi
<i>Anomalospiza imberbis</i>	Anomimbe	<i>Ardeotis kori</i>	Ardekori
<i>Anthobaphes violacea</i>	Anthviol	<i>Arenaria interpres</i>	Areninte
<i>Anthoscopus caroli</i>	Anthcaro	<i>Asio capensis</i>	Asiocape
<i>Anthoscopus minutus</i>	Anthminu	<i>Aviceda cuculoides</i>	Aviccucu
<i>Anthreptes longuemarei</i>	Anthlong	<i>Balearica regulorum</i>	Baleregu
<i>Anthropoides paradiseus</i>	Anthpara	<i>Batis capensis</i>	Baticape

Latinský název	Zkratka
<i>Batis fratrum</i>	Batifrat
<i>Batis molitor</i>	Batimoli
<i>Batis pririt</i>	Batiprir
<i>Bostrychia hagedash</i>	Bosthage
<i>Botaurus stellaris</i>	Botastel
<i>Bradornis infuscatus</i>	Bradinfu
<i>Bradornis mariquensis</i>	Bradmari
<i>Bradornis pallidus</i>	Bradpall
<i>Bradypterus baboecala</i>	Bradbabo
<i>Bradypterus barratti</i>	Bradbarr
<i>Bradypterus sylvaticus</i>	Bradsylv
<i>Bubalornis niger</i>	Bubanige
<i>Bubo africanus</i>	Buboafri
<i>Bubo capensis</i>	Bubocape
<i>Bubo lacteus</i>	Bubolact
<i>Bubulcus ibis</i>	Bubuibus
<i>Bucorvus leadbeateri</i>	Bucolead
<i>Bugeranus carunculatus</i>	Bugecaru
<i>Buphagus africanus</i>	Buphafri
<i>Buphagus erythrorhynchus</i>	Bupheryt
<i>Burhinus capensis</i>	Burhcape
<i>Burhinus vermiculatus</i>	Burhverm
<i>Buteo rufofuscus</i>	Buterufo
<i>Buteo trizonatus</i>	Butetriz
<i>Buteo vulpinus</i>	Butevulp
<i>Butorides striata</i>	Butostri
<i>Bycanistes bucinator</i>	Bycabuci
<i>Calamonastes fasciolatus</i>	Calafasc
<i>Calamonastes stierlingi</i>	Calastie
<i>Calendrella cinerea</i>	Calecine
<i>Calendulauda africanoides</i>	Caleafri
<i>Calendulauda albescens</i>	Calealbe
<i>Calendulauda burra</i>	Caleburr
<i>Calendulauda sabota</i>	Calesabo
<i>Calidris alba</i>	Calialba
<i>Calidris ferruginea</i>	Califerr
<i>Calidris fuscicollis</i>	Califusc
<i>Calidris minuta</i>	Caliminu
<i>Camaptera brachyura</i>	Camabrac
<i>Campephaga flava</i>	Campflav
<i>Campethera abingoni</i>	Campabin
<i>Campethera bennettii</i>	Campbenn
<i>Campethera notata</i>	Campnota

Latinský název	Zkratka
<i>Caprimulgus europaeus</i>	Capreuro
<i>Caprimulgus fossii</i>	Caprfoss
<i>Caprimulgus natalensis</i>	Caprnata
<i>Caprimulgus pectoralis</i>	Caprpect
<i>Caprimulgus rufigena</i>	Caprrufi
<i>Caprimulgus tristigma</i>	Caprtris
<i>Centropus burchellii</i>	Centburc
<i>Centropus grillii</i>	Centgril
<i>Cercomela familiaris</i>	Cercfami
<i>Cercomela schlegelii</i>	Cercschl
<i>Cercomela sinuata</i>	Cercsinu
<i>Cercomela traetrac</i>	Cerctrac
<i>Cercotrichas coryphoeus</i>	Cercocory
<i>Cercotrichas leucophrys</i>	Cercleuc
<i>Cercotrichas paena</i>	Cercpaen
<i>Cercotrichas quadrivirgata</i>	Cercquad
<i>Cercotrichas signata</i>	Cercsign
<i>Certhilauda curvirostris</i>	Certcurv
<i>Certhilauda chuana</i>	Certchua
<i>Ceryle rudis</i>	Ceryrudi
<i>Ceuthmochares aereus</i>	Ceutaere
<i>Ciconia abdimii</i>	Cicoabdi
<i>Ciconia ciconia</i>	Cicocico
<i>Ciconia episcopus</i>	Cicoepis
<i>Ciconia nigra</i>	Ciconigr
<i>Cinnyricinclus leucogaster</i>	Cinnleuc
<i>Cinnyris afer</i>	Cinnafer
<i>Cinnyris bifasciatus</i>	Cinnbifa
<i>Cinnyris fuscus</i>	Cinnfusc
<i>Cinnyris chalybeus</i>	Cinnchal
<i>Cinnyris mariquensis</i>	Cinnmari
<i>Cinnyris neergaardi</i>	Cinnneer
<i>Cinnyris talatala</i>	Cinntala
<i>Circaetus cinereus</i>	Circcline
<i>Circaetus fasciolatus</i>	Circfasc
<i>Circaetus pectoralis</i>	Circpect
<i>Circus aeruginosus</i>	Circaeru
<i>Circus macrourus</i>	Circmacr
<i>Circus maurus</i>	Circmaur
<i>Circus pygargus</i>	Circpyga
<i>Circus ranivorus</i>	Circrani
<i>Cisticola aberrans</i>	Cistaber
<i>Cisticola aridulus</i>	Cistarid

Latinský název	Zkratka
<i>Cisticola ayresii</i>	Cistayre
<i>Cisticola cinnamomeus</i>	Cistcinn
<i>Cisticola erythrops</i>	Cisteryt
<i>Cisticola fluvicapilla</i>	Cistfluv
<i>Cisticola galactotes</i>	Cistgala
<i>Cisticola chiniana</i>	Cistchin
<i>Cisticola juncidis</i>	Cistjunc
<i>Cisticola lais</i>	Cistlais
<i>Cisticola natalensis</i>	Cistnata
<i>Cisticola rufilatus</i>	Cistrufi
<i>Cisticola subruficapilla</i>	Cistsubr
<i>Cisticola textrix</i>	Cisttext
<i>Cisticola tinniens</i>	Cisttinn
<i>Clamator glandarius</i>	Clamglan
<i>Clamator jacobinus</i>	Clamjaco
<i>Clamator levaillantii</i>	Clamleva
<i>Coccygia melanotis</i>	Coccmela
<i>Colius colius</i>	Colicoli
<i>Colius striatus</i>	Colistri
<i>Columba arquatrix</i>	Coluarqu
<i>Columba delegorguei</i>	Coludele
<i>Columba guinea</i>	Coluguin
<i>Columba livia</i>	Colulivi
<i>Coracias caudatus</i>	Coracaud
<i>Coracias garrulus</i>	Coragarr
<i>Coracias naevius</i>	Coranaev
<i>Coracias spatulatus</i>	Coraspat
<i>Coracina caesia</i>	Coracaes
<i>Coracina pectoralis</i>	Coraspect
<i>Corvinella melanoleuca</i>	Corvmela
<i>Corvus albicollis</i>	Corvalbi
<i>Corvus albus</i>	Corvalbu
<i>Corvus capensis</i>	Corvcape
<i>Corythaixoides concolor</i>	Coryconc
<i>Cossypha caffra</i>	Cosscaff
<i>Cossypha dichroa</i>	Cossdich
<i>Cossypha heuglini</i>	Cossheug
<i>Cossypha humeralis</i>	Cosshume
<i>Cossypha natalensis</i>	Cossnata
<i>Coturnix coturnix</i>	Cotucotu
<i>Coturnix delegorguei</i>	Cotudele
<i>Creatophora cinerea</i>	Creacine
<i>Crecopsis egregia</i>	Crecegre

Latinský název	Zkratka
<i>Crex crex</i>	Crexcrex
<i>Crithagra albogularis</i>	Criticalbo
<i>Crithagra atrogularis</i>	Critatro
<i>Crithagra citrinipecta</i>	Critcitr
<i>Crithagra flaviventris</i>	Critflav
<i>Crithagra gularis</i>	Critgula
<i>Crithagra leucoptera</i>	Critleuc
<i>Crithagra mozambica</i>	Critmoza
<i>Crithagra scotops</i>	Critscot
<i>Crithagra sulphurata</i>	Critsulp
<i>Crithagra symonsi</i>	Critsymo
<i>Crithagra totta</i>	Crittott
<i>Cryptillas victorini</i>	Cryp vict
<i>Cuculus canorus</i>	Cucucano
<i>Cuculus clamosus</i>	Cucucclam
<i>Cuculus gularis</i>	Cucugula
<i>Cuculus solitarius</i>	Cucusoli
<i>Cursorius rufus</i>	Cursrufu
<i>Cursorius temminckii</i>	Curstemm
<i>Cyanomitra veroxii</i>	Cyanvero
<i>Cypsiurus parvus</i>	Cypsparv
<i>Delichon urbicum</i>	Deliurbi
<i>Dendrocygna bicolor</i>	Dendbico
<i>Dendrocygna viduata</i>	Dendvidu
<i>Dendroperdix sephaena</i>	Dendseph
<i>Dendropicos fuscescens</i>	Dendfusc
<i>Dendropicos griseocephalus</i>	Dendgris
<i>Dendropicos namaquus</i>	Dendnama
<i>Dicrurus adsimilis</i>	Dicradsi
<i>Dicrurus ludwigii</i>	Dicrludw
<i>Dryoscopus cubla</i>	Dryocubl
<i>Egretta alba</i>	Egrealba
<i>Egretta ardesiaca</i>	Egrearde
<i>Egretta garzetta</i>	Egregarz
<i>Egretta intermedia</i>	Egreinte
<i>Elanus caeruleus</i>	Elancaer
<i>Emberiza capensis</i>	Embecape
<i>Emberiza flaviventris</i>	Embeflav
<i>Emberiza impetuani</i>	Embeimpe
<i>Emberiza tahapsi</i>	Embetaha
<i>Ephippiorhynchus senegalensis</i>	Ephisene
<i>Eremomela gregalis</i>	Eremgreg
<i>Eremomela icteropygialis</i>	Eremicte

Latinský název	Zkratka	Latinský název	Zkratka
<i>Eremomela scotops</i>	Eremscot	<i>Glaucidium perlatum</i>	Glauperl
<i>Eremomela usticollis</i>	Eremusti	<i>Gorsachius leuconotus</i>	Gorsleuc
<i>Eremopterix australis</i>	Eremaust	<i>Granatina granatina</i>	Grangran
<i>Eremopterix leucotis</i>	Eremleuc	<i>Guttera edouardi</i>	Guttedou
<i>Eremopterix verticalis</i>	Eremvert	<i>Gypaetus barbatus</i>	Gypabarb
<i>Estrilda astrild</i>	Estrastr	<i>Gypohierax angolensis</i>	Gypoango
<i>Estrilda erythronotos</i>	Estreryt	<i>Gyps africanus</i>	Gypsafri
<i>Estrilda perreini</i>	Estrperr	<i>Gyps coprotheres</i>	Gypscopr
<i>Euplectes afer</i>	Euplafer	<i>Halcyon albiventris</i>	Halcalbi
<i>Euplectes albonotatus</i>	Euplalbo	<i>Halcyon chelicuti</i>	Halcchel
<i>Euplectes ardens</i>	Euplarde	<i>Halcyon leucocephala</i>	Halcleuc
<i>Euplectes axillaris</i>	Euplaxil	<i>Halcyon senegalensis</i>	Halcsene
<i>Euplectes capensis</i>	Euplcape	<i>Halcyon senegaloides</i>	Halcsene
<i>Euplectes orix</i>	Euplorix	<i>Haliaeetus vocifer</i>	Halivoci
<i>Euplectes progne</i>	Euplprog	<i>Hedydipna collaris</i>	Hedycoll
<i>Eupodotis caerulescens</i>	Eupocaer	<i>Heteromirafra ruddi</i>	Heterudd
<i>Eupodotis vigorsii</i>	Eupovigo	<i>Himantopus himantopus</i>	Himahima
<i>Eurocephalus anguitemens</i>	Euroangu	<i>Hippolais icterina</i>	Hippicte
<i>Euryptila subcinnamea</i>	Eurysubc	<i>Hippolais olivetorum</i>	Hippoliv
<i>Eurystomus glaucurus</i>	Euryglau	<i>Hirundo abyssinica</i>	Hiruabys
<i>Falco amurensis</i>	Falcamur	<i>Hirundo albigularis</i>	Hirualbi
<i>Falco biarmicus</i>	Falcbiar	<i>Hirundo atrocaerulea</i>	Hiruatro
<i>Falco concolor</i>	Falconc	<i>Hirundo cucullata</i>	Hirucucu
<i>Falco dickinsoni</i>	Falcdick	<i>Hirundo dimidiata</i>	Hirudimi
<i>Falco fasciinucha</i>	Falcfasc	<i>Hirundo fuligula</i>	Hirufuli
<i>Falco chicquera</i>	Falcchic	<i>Hirundo rustica</i>	Hirurust
<i>Falco naumanni</i>	Falcnaum	<i>Hirundo semirufa</i>	Hirusemi
<i>Falco peregrinus</i>	Falcpere	<i>Hirundo senegalensis</i>	Hirusene
<i>Falco rupicoloides</i>	Falcrupi	<i>Hirundo smithii</i>	Hirusmit
<i>Falco rupicolus</i>	Falcrupi	<i>Hirundo spilodera</i>	Hiruspil
<i>Falco subbuteo</i>	Falcsubb	<i>Hyliota australis</i>	Hyli aust
<i>Falco vespertinus</i>	Falcvesp	<i>Hypargos margaritatus</i>	Hypamarg
<i>Fulica cristata</i>	Fulicris	<i>Chaetops aurantius</i>	Chaeaura
<i>Galerida magnirostris</i>	Galemagn	<i>Chaetops frenatus</i>	Chaefren
<i>Gallinago nigripennis</i>	Gallnigr	<i>Chalcomitra amethystina</i>	Chalamet
<i>Gallinula angulata</i>	Gallangu	<i>Chalcomitra senegalensis</i>	Chalsene
<i>Gallinula chloropus</i>	Gallchlo	<i>Charadrius asiaticus</i>	Charasia
<i>Gallirex porphyreolophus</i>	Gallporp	<i>Charadrius hiaticula</i>	Charhiat
<i>Geocolaptes olivaceus</i>	Geocoliv	<i>Charadrius marginatus</i>	Charmarg
<i>Geronticus calvus</i>	Gerocalv	<i>Charadrius pallidus</i>	Charpall
<i>Glareola nordmanni</i>	Glarnord	<i>Charadrius pecuarius</i>	Charpecu
<i>Glareola pratincola</i>	Glarprat	<i>Charadrius tricollaris</i>	Chartric
<i>Glaucidium capense</i>	Glaucape	<i>Chersomanes albofasciata</i>	Cheralbo

Latinský název	Zkratka
<i>Chlidonias hybrida</i>	Chlihybr
<i>Chlidonias leucopterus</i>	Chlileuc
<i>Chlorocichla flaviventris</i>	Chloflav
<i>Chloropeta natalensis</i>	Chlonata
<i>Chrysococcyx caprius</i>	Chrycapr
<i>Chrysococcyx cupreus</i>	Chrycupr
<i>Chrysococcyx klaas</i>	Chryklaa
<i>Indicator indicator</i>	Indiindi
<i>Indicator minor</i>	Indimino
<i>Indicator variegatus</i>	Indivari
<i>Ispidina picta</i>	Ispipict
<i>Ixobrychus minutus</i>	Ixobminu
<i>Ixobrychus sturmii</i>	Ixobstur
<i>Jynx ruficollis</i>	Jynxrufi
<i>Kaupifalco monogrammicus</i>	Kaupmono
<i>Lagonistica rhodopareia</i>	Lagorhod
<i>Lagonistica rubricata</i>	Lagorubr
<i>Lagonistica senegala</i>	Lagosene
<i>Lamprotornis australis</i>	Lampaust
<i>Lamprotornis corruscus</i>	Lampcorr
<i>Lamprotornis chalybaeus</i>	Lampchal
<i>Lamprotornis mevesii</i>	Lampmeve
<i>Lamprotornis nitens</i>	Lampnite
<i>Laniarius aethiopicus</i>	Laniaeth
<i>Laniarius atrococcineus</i>	Laniatro
<i>Laniarius ferrugineus</i>	Laniferr
<i>Lanius collaris</i>	Lanicoll
<i>Lanius collurio</i>	Lanicoll
<i>Lanius minor</i>	Lanimino
<i>Larus cirrocephalus</i>	Larucirr
<i>Leptoptilos crumeniferus</i>	Leptcrum
<i>Limosa lapponica</i>	Limolapp
<i>Limosa limosa</i>	Limolimo
<i>Lioptilus nigricapillus</i>	Liopnigr
<i>Lissotis melanogaster</i>	Lissmela
<i>Lophaetus occipitalis</i>	Lophocci
<i>Lophotis ruficrista</i>	Lophrufi
<i>Luscinia luscinia</i>	Lusclusc
<i>Lybius torquatus</i>	Lybitorq
<i>Macrodipteryx vexillarius</i>	Macrvexi
<i>Macronyx ameliae</i>	Macramel
<i>Macronyx capensis</i>	Macrcape
<i>Macronyx croceus</i>	Macrcroc

Latinský název	Zkratka
<i>Macheiramphus alcinus</i>	Machalci
<i>Malaconotus blanchoti</i>	Malablan
<i>Malcorus pectoralis</i>	Malcpect
<i>Mandingoa nitidula</i>	Mandniti
<i>Megaceryle maxima</i>	Megamaxi
<i>Melaenornis pammelaina</i>	Melapamm
<i>Melierax canorus</i>	Melicano
<i>Melierax gabar</i>	Meligaba
<i>Melierax metabates</i>	Melimeta
<i>Merops apiaster</i>	Meroapia
<i>Merops bullockoides</i>	Merobull
<i>Merops hirundineus</i>	Merohiru
<i>Merops nubicoides</i>	Meronubi
<i>Merops pusillus</i>	Meropusi
<i>Merops superciliosus</i>	Merosupe
<i>Microparra capensis</i>	Micrcape
<i>Milvus migrans</i>	Milvmigr
<i>Mirafra africana</i>	Miraafri
<i>Mirafra apiata</i>	Miraapia
<i>Mirafra cheniana</i>	Mirachen
<i>Mirafra passerina</i>	Mirapass
<i>Mirafra rufocinnamomea</i>	Mirarufo
<i>Monticola brevipes</i>	Montbrev
<i>Monticola explorator</i>	Montexpl
<i>Monticola rupestris</i>	Montrupe
<i>Motacilla aguimp</i>	Motaagui
<i>Motacilla capensis</i>	Motacape
<i>Motacilla clara</i>	Motaclar
<i>Motacilla flava</i>	Motaflav
<i>Muscicapa adusta</i>	Muscadus
<i>Muscicapa caerulescens</i>	Musccaer
<i>Muscicapa striata</i>	Muscstri
<i>Mycteria ibis</i>	Myctibis
<i>Myioparus plumbeus</i>	Myioplum
<i>Myrmecocichla arnoti</i>	Myrmarno
<i>Myrmecocichla formicovora</i>	Myrmform
<i>Neafrapus boeohmi</i>	Neafbooe
<i>Necrosyrtes monachus</i>	Necrmona
<i>Nectarinia famosa</i>	Nectfamo
<i>Neophron percnopterus</i>	Neoppere
<i>Neotis denhami</i>	Neotdenh
<i>Neotis ludwigii</i>	Neotludw
<i>Netta erythrophthalma</i>	Netteryt

Latinský název	Zkratka
<i>Nettapus auritus</i>	Nettauri
<i>Nicator gularis</i>	Nicagula
<i>Nilus afer</i>	Niluafer
<i>Numenius arquata</i>	Numearqu
<i>Numenius phaeopus</i>	Numephae
<i>Numida meleagris</i>	Numimele
<i>Nycticorax nycticorax</i>	Nyctnyct
<i>Oena capensis</i>	Oenacape
<i>Oenanthe bifasciata</i>	Oenabifa
<i>Oenanthe monticola</i>	Oenamont
<i>Oenanthe pileata</i>	Oenapile
<i>Onychognathus morio</i>	Onycmori
<i>Onychognathus naboroupp</i>	Onyxnabo
<i>Oriolus auratus</i>	Orioaura
<i>Oriolus larvatus</i>	Oriolarv
<i>Oriolus oriolus</i>	Orioorio
<i>Ortygospiza atricollis</i>	Ortyatri
<i>Otus senegalensis</i>	Otussene
<i>Oxyura maccoa</i>	Oxyumacc
<i>Pachycoccyx audeberti</i>	Pachaude
<i>Pandion haliaetus</i>	Pandhali
<i>Parisoma layardi</i>	Parilaya
<i>Parisoma subcaeruleum</i>	Parisubc
<i>Parus afer</i>	Paruafer
<i>Parus cinerascens</i>	Parucine
<i>Parus niger</i>	Parunige
<i>Passer diffusus</i>	Passdiff
<i>Passer melanurus</i>	Passmela
<i>Passer motitensis</i>	Passmoti
<i>Pelecanus onocrotalus</i>	Peleonoc
<i>Pelecanus rufescens</i>	Pelerufe
<i>Peliperdix coqui</i>	Pelicoqu
<i>Pernis apivorus</i>	Pernapiv
<i>Petronia superciljaris</i>	Petrsupe
<i>Phalacrocorax africanus</i>	Phalafri
<i>Phalacrocorax lucidus</i>	Phalluci
<i>Philetairus socius</i>	Philsoci
<i>Phoenicopterus minor</i>	Phoemino
<i>Phoenicopterus ruber</i>	Phoerube
<i>Phoeniculus purpureus</i>	Phoepurp
<i>Phragmacia substriata</i>	Phrasubs
<i>Phyllastrephus flavostriatus</i>	Phylflav
<i>Phyllastrephus terrestris</i>	Phylterr

Latinský název	Zkratka
<i>Phylloscopus ruficapilla</i>	Phylrufi
<i>Phylloscopus trochilus</i>	Phyltroc
<i>Pinarocorys nigricans</i>	Pinanigr
<i>Platela alba</i>	Platalba
<i>Platysteira peltata</i>	Platpelt
<i>Plectropterus gambensis</i>	Plecgamb
<i>Plegadis falcinellus</i>	Plegfalc
<i>Plocepasser mahali</i>	Plocmaha
<i>Ploceus bicolor</i>	Plocbico
<i>Ploceus capensis</i>	Ploccape
<i>Ploceus cucullatus</i>	Ploc Cucu
<i>Ploceus intermedius</i>	Plocinte
<i>Ploceus ocularis</i>	Plococul
<i>Ploceus subaureus</i>	Plocsuba
<i>Ploceus velatus</i>	Plocvela
<i>Ploceus xanthops</i>	Plocxant
<i>Ploceus xanthopterus</i>	Plocxant
<i>Pluvialis squatarola</i>	Pluvsqua
<i>Podica senegalensis</i>	Podisene
<i>Podiceps cristatus</i>	Podicris
<i>Podiceps nigricollis</i>	Podinigr
<i>Pogoniulus bilineatus</i>	Pogobili
<i>Pogoniulus chrysoconus</i>	Pogochry
<i>Pogoniulus pusillus</i>	Pogopusi
<i>Pogonocichla stellata</i>	Pogostel
<i>Poicephalus cryptoxanthus</i>	Poiccryp
<i>Poicephalus meyeri</i>	Poicmeyer
<i>Poicephalus robustus</i>	Poicrobu
<i>Polemateus belliosus</i>	Polebell
<i>Polihierax semitorquatus</i>	Polisemi
<i>Polyboroides typus</i>	Polytypu
<i>Porphyrio alleni</i>	Porpalle
<i>Porphyrio madagascariensis</i>	Porpmada
<i>Porzana porzana</i>	Porzporz
<i>Porzana pusilla</i>	Porzpusi
<i>Prinia flavicans</i>	Prinflav
<i>Prinia hypoxantha</i>	Prinhypo
<i>Prinia subflava</i>	Prinsubf
<i>Prionops plumatus</i>	Prioplum
<i>Prionops retzii</i>	Prioretz
<i>Prodotiscus regulus</i>	Prodregu
<i>Promerops cafer</i>	Promcafe
<i>Promerops gurneyi</i>	Promgurn

Latinský název	Zkratka
<i>Psalidoprocne holomelaena</i>	Psalholo
<i>Pseudhirundo griseopyga</i>	Pseugris
<i>Psophocichla litsitsirupa</i>	Psoplits
<i>Pternistis adspersus</i>	Pteradsp
<i>Pternistis afer</i>	Pterafer
<i>Pternistis capensis</i>	Ptercape
<i>Pternistis natalensis</i>	Pternata
<i>Pternistis swainsonii</i>	Pterswai
<i>Pterocles bibinctus</i>	Pterbibi
<i>Pterocles burchelli</i>	Pterburc
<i>Pterocles gutturalis</i>	Ptergutt
<i>Pterocles namaqua</i>	Pternama
<i>Ptilopsis granti</i>	Ptilgran
<i>Pycnonotus capensis</i>	Pycncape
<i>Pycnonotus nigricans</i>	Pycnnigr
<i>Pycnonotus tricolor</i>	Pycntric
<i>Pytilia afra</i>	Pytiafra
<i>Pytilia melba</i>	Pytimelb
<i>Quela erythrops</i>	Queleryt
<i>Quelea quelea</i>	Quelquel
<i>Rallus caerulescens</i>	Rallcaer
<i>Recurvirostra avosetta</i>	Recuavos
<i>Rhinopomastus cyanomelas</i>	Rhincyan
<i>Rhinoptilus africanus</i>	Rhinafri
<i>Rhinoptilus chalcopterus</i>	Rhinchal
<i>Riparia cincta</i>	Ripacinc
<i>Riparia paludicola</i>	Ripapalu
<i>Riparia riparia</i>	Riparipa
<i>Rostratula benghalensis</i>	Rostbeng
<i>Sagittarius serpentarius</i>	Sagiserp
<i>Sarkidiornis melanotos</i>	Sarkmela
<i>Sarothrura affinis</i>	Saroaffi
<i>Sarothrura ayeresi</i>	Saroayer
<i>Sarothrura boehmi</i>	Saroboeh
<i>Sarothrura elegans</i>	Saroeleg
<i>Sarothrura rufa</i>	Sarorufa
<i>Saxicola torquatus</i>	Saxitorq
<i>Scleroptila africanus</i>	Scleafri
<i>Scleroptila levaillantii</i>	Scleleva
<i>Scleroptila levaillantoides</i>	Scleleva
<i>Scleroptila shelleyi</i>	Scleshel
<i>Scopus umbretta</i>	Scopumbr
<i>Scotopelia peli</i>	Scotpeli

Latinský název	Zkratka
<i>Serinus alario</i>	Serialar
<i>Serinus canicollis</i>	Sericani
<i>Schoenicola brevirostris</i>	Schobrev
<i>Sigelus silens</i>	Sigesile
<i>Smithornis capensis</i>	Smitcape
<i>Spermestes bicolor</i>	Sperbico
<i>Spermestes cucullata</i>	Spercucu
<i>Spermestes fringilloides</i>	Sperfrin
<i>Sphenoecus afer</i>	Spheaffer
<i>Spizocorys conirostris</i>	Spizconi
<i>Spizocorys fringillaris</i>	Spizfrin
<i>Spizocorys sclateri</i>	Spizscla
<i>Spizocorys starki</i>	Spizstar
<i>Sporaeginthus subflavus</i>	Sporsubf
<i>Sporopipes squamifrons</i>	Sporsqua
<i>Spreo bicolor</i>	Sprebico
<i>Stactolaema leucotis</i>	Stacleuc
<i>Stactolaema olivacea</i>	Stacoliv
<i>Stenostira scita</i>	Stenscit
<i>Stephanoaetus coronatus</i>	Stepcoro
<i>Sterna caspia</i>	Stercasp
<i>Streptopelia capicola</i>	Strecapi
<i>Streptopelia decipiens</i>	Stredec
<i>Streptopelia semitorquata</i>	Stresemi
<i>Streptopelia senegalensis</i>	Stresene
<i>Strix woodfordii</i>	Striwood
<i>Struthio camelus</i>	Strucame
<i>Sylvia borin</i>	Sylvbori
<i>Sylvia communis</i>	Sylvcomm
<i>Sylvietta rufescens</i>	Sylvrufe
<i>Tadorna cana</i>	Tadocana
<i>Tachybaptus ruficollis</i>	Tachrufi
<i>Tachymarptis melba</i>	Tachmelb
<i>Tauraco corythaix</i>	Taurcory
<i>Telacanthura ussheri</i>	Telaush
<i>Telophorus nigrifrons</i>	Telonigr
<i>Telophorus olivaceus</i>	Telooliv
<i>Telophorus sulfureopectus</i>	Telosulf
<i>Telophorus viridis</i>	Teloviri
<i>Telophorus zeylonus</i>	Telozeyl
<i>Terathopius ecaudatus</i>	Teraecau
<i>Terpsiphone viridis</i>	Terpviri
<i>Thalassornis leuconotus</i>	Thalleuc

Latinský název	Zkratka
<i>Thamnolaea cinnamomeiventris</i>	Thamcinn
<i>Threskiornis aethiopicus</i>	Threaeth
<i>Tchagra aistralis</i>	Tchaaist
<i>Tchagra senegalus</i>	Tchasene
<i>Tchagra tchagra</i>	Tchatcha
<i>Tockus alboterminatus</i>	Tockalbo
<i>Tockus erythrorhynchus</i>	Tockeryt
<i>Tockus leucomelas</i>	Tockleuc
<i>Tockus nasutus</i>	Tocknasu
<i>Trachyphonus vaillantii</i>	Tracvail
<i>Treron calvus</i>	Trercalv
<i>Tricholaema leucomelas</i>	Tricleuc
<i>Tringa glareola</i>	Tringlar
<i>Tringa nebularia</i>	Trinnebu
<i>Tringa ochropus</i>	Trinochr
<i>Tringa stagnatilis</i>	Trinstag
<i>Trochocercus cyanomelas</i>	Troccyan
<i>Turdoides bicolor</i>	Turdbico
<i>Turdoides jardineii</i>	Turdjard
<i>Turdus libonyanus</i>	Turdlibo
<i>Turdus olivaceus</i>	Turdoliv
<i>Turnix hottentottus</i>	Turnhott
<i>Turnix sylvaticus</i>	Turnsylv
<i>Turtur afer</i>	Turtafer
<i>Turtur chalcospilos</i>	Turtchal

Latinský název	Zkratka
<i>Turtur tympanistria</i>	Turttymp
<i>Tyto alba</i>	Tytoalba
<i>Tyto capensis</i>	Tytocape
<i>Upupa africana</i>	Upupafri
<i>Uraeginthus angolensis</i>	Uraeango
<i>Urocolius indicus</i>	Urocindi
<i>Vanellus albiceps</i>	Vanealbi
<i>Vanellus armatus</i>	Vanearma
<i>Vanellus coronatus</i>	Vanecoro
<i>Vanellus crassirostris</i>	Vanecras
<i>Vanellus lugubris</i>	Vanelugu
<i>Vanellus melanopterus</i>	Vanemela
<i>Vanellus senegallus</i>	Vanesene
<i>Vidua funerea</i>	Vidufune
<i>Vidua chalybeata</i>	Viduchal
<i>Vidua macroura</i>	Vidumacr
<i>Vidua paradisaea</i>	Vidupara
<i>Vidua purpurascens</i>	Vidupurp
<i>Vidua regia</i>	Viduregi
<i>Xenus cinereus</i>	Xenucine
<i>Zoothera gurneyi</i>	Zootgurn
<i>Zoothera guttata</i>	Zootgutt
<i>Zosterops pallidus</i>	Zostpall
<i>Zosterops senegalensis</i>	Zostsene