Univerzita Karlova v Praze
Katedra ekologie Přírodovědecké fakulty

Študijný program: Biologie
Študijný odbor: Ekologie

Bc. Roman Džamba

Vzťah funkčnej a druhovej diverzity vtákov južnej Afriky

Relationship between functional and species diversity of birds in South Africa

Diplomová práca

Vedúci diplomovej práce: RNDr. David Hořák, Ph.D.

Praha, 2013

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložená k zisku jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 31.7. 2013

.....

Roman Džamba

Poďakovanie:

Vrelá vďaka patrí vedúcemu mojej diplomovej práce, RNDr. Davidovi Hořákovi, Ph.D., za trpezlivosť, odborné rady, postrehy a pomoc pri získavaní literatúry, potrebnej k vypracovaniu tohto textu s prispením projektu GA ČR: P505/11/1617. Taktiež by som chcel poďakovať kolegyni Mgr. Anne Tószögyovej za cenné pripomienky, poskytnutie informácií o zdrojoch údajov a pomoc pri štatistickom spracovaní. Vďaka patrí tiež Vincentovi Devictorovi za podrobnejší náhľad do metodiky pri práci s funkčnou diverzitou a pomoc s funkčnými charakteristikami pri výpočtoch.

OBSAH

ABSTRAKT 5
ABSTRACT 6
ZOZNAM SKRATIEK 7
1. ÚVOD 8
2. METODIKA 6
2.1 CHARAKTERISTIKA OBLASTI JUŽNEJ AFRIKY 16
2.2 PREHĽAD ENVIRONMENTÁLNYCH PREMENNÝCH 19
2.3 CHARAKTERISTIKA VTÁČÍCH DRUHOV OBLASTI 26
2.3.1 Areály rozšírenia a biogeografia druhov 26
2.3.2 Funkčné charakteristiky a ekológia druhov 26
2.4 POUŽITÉ SPÔSOBY MERANIA FUNKČNEJ DIVERZITY 29
2.4.1 $FD_{petchey}$ – Functional dendrogram 30
2.4.2 FD_Q – Rao´s quadratic entropy 30
2.4.3 FRic – Functional richness 30
2.5 STANOVENIE PROSTREDIA, DRUHOVEJ A FUNKČNEJ DIVERZITY 31
2.6 ANALÝZA FUNKČNEJ DIVERZITY 32
2.6.1 Priestorová variabilita funkčnej diverzity 32
2.6.2 Vzťah medzi druhovou a funkčnou diverzitou 33
2.6.3 Relatívna funkčná diverzita 33
2.6.4 Vzťah medzi funkčným objemom a funkčnou hustotou 34
3. VÝSLEDKY 35
3.1 GRADIENTY FUNKČNEJ DIVERZITY 35
3.2 VZŤAH MEDZI DRUHOVOU A FUNKČNOU DIVERZITOU 40
3.2.1 $FD_{petchey}$ – Functional dendrogram 43
3.2.2 FD_Q – Rao´s quadratic entropy 50
3.2.3 FRic – Functional richness 57
3.3. RELATÍVNA FUNKČNÁ DIVERZITA 66
3.4. VZŤAH MEDZI FUNKČNOU HUSTOTOU A FUNKČNÝM OBJEMOM . 70
4. DISKUSIA 73
5. ZÁVER 85
POUŽITÁ LITERATÚRA 88

ABSTRAKT

Rozšírenie druhov a zloženie vtáčích spoločenstiev južnej Afriky nie je náhodné, ale podlieha environmentálnym podmienkam, štruktúre habitatu a historickému vývoju danej oblasti. Funkčné charakteristiky druhov (morfológia, typ potravnej stratégie alebo reprodukčné parametre) podávajú informáciu o spôsobe, akým na seba vzájomne pôsobí jedinec a prostredie, v ktorom žije. Ich popisom na druhovej úrovni odhaľujeme špecifické adaptácie a rolu druhu v študovanom ekosystéme. Na základe funkčných znakov možno odhadovať funkčnú diverzitu študovaného spoločenstva. Priestorová variabilita druhovej a funkčnej diverzity vykazuje longitudinálny gradient. U morfologických a reprodukčných parametrov, ktoré sú spojitej povahy a druhovo viac špecifické, pozorujeme rýchlejší nárast funkčnej diverzity. U potravných preferencií, ktoré sú kategorické a vykazujú obmedzený počet úrovní, je nárast funkčnej diverzity miernejší. Potravná funkčná diverzita má rovnomernejšie rozdelenie. Vzťah funkčnej diverzity k diverzite druhovej nám môže poskytnúť informácie o spôsobe, akým sú druhy pridávané do spoločenstva, resp. odpovedať na otázku, do akej miery vyžaduje vyšší počet druhov viac ekologického priestoru. Najvyššie hodnoty funkčnej diverzity sú typické pre produktívne, floristicky štrukturované a heterogénne oblasti lesov, saván a travín, čo platí už pri nízkych hodnotách diverzity druhovej. Naopak, s narastajúcim gradientom druhovej diverzity v týchto oblastiach stúpa funkčná diverzita mierne, pričom sú funkčne vyrovnanejšie. Pri nízkej druhovej bohatosti vykazujú najnižšiu úroveň funkčnej diverzity habitaty Nama Karoo a sukulentného Karoo, prostredia menej produktívne, s chudobnejším vegetačným pokryvom. S nárastom počtu druhov ale dochádza k výraznejšiemu nárastu funkčnej diverzity, čo je spôsobené prítomnosťou špecifických, hlavne vodných mikrohabitatov, ktoré poskytujú priestor pre ekologicky diverzifikovanejšie druhy. Relatívna funkčná diverzita poukazuje na rôznu úroveň funkčnej diverzity, vyššiu, resp. nižšiu než očakávanú, pri danej konkrétnej diverzite druhovej. Všeobecný trend poukazuje na vyššiu relatívnu funkčnú diverzitu v produktívnych, vegetačne heterogénnejších oblastiach saván, lesov, trávnatých prostredí a fynbose. Nižšia relatívna funkčná diverzita prevažuje v západnej časti južnej Afriky, v oblasti Nama Karoo a sukulentného Karoo, kde je nízka produktivita, chudý vegetačný pokryv a nižšia dostupnosť vody. Vzťah medzi funkčnou hustotou/riedkosťou a funkčným objemom vyjadruje relatívnu úroveň týchto dvoch aspektov. Na daný objem pozorujeme relatívne najvyššiu hustotu než by sme očakávali v oblastiach s vysokou druhovou bohatosťou, produktivitou (savana, lesy, kroviny) a heterogenitou a unikátnosťou vegetácie (vnútrozemský fynbos). Oblasti s najnižšou hustotou voči funkčnému objemu sú lokalizované v menej produktívnych oblastiach centrálnej časti regiónu (sukulentné Karoo, Nama Karoo, Lesotho) a v pobrežnej časti fynbosu (heterogénna, jemne štrukturovaná oblasť, poskytujúca priestor pre väčšie množstvo jemne ekologicky diverzifikovaných druhov).

Kľúčové slová: druhová diverzita, ekologická nika, funkčná bohatosť, funkčná diverzita, funkčné charakteristiky, funkčný priestor, Rao´s quadratic entropy, vtáčie spoločenstvá južnej Afriky

ABSTRACT

Species distribution and composition of bird communities of South Africa is not accidental, but is influenced by environmental conditions, habitat structure, and natural history of the area. Functional traits of the species (morphology, dietary strategies or reproductive parameters) give information on how the individuals interact with the environment they live in. The description of the functional characteristics, expose specific adaptations and the role of the species in the studied ecosystem. On the basis of functional characteristics we are able to estimate functional diversity of studied community. The spatial variability of species and functional diversity allocates longitudinal gradient. Regarding the morphological and reproductive parameters that are continuous in nature and more species-specific, we observe a faster increase in functional diversity. Considering the feeding preferences that are categorical and show a limited number of levels, a modest increase in functional diversity apparent is. Dietary functional diversity is more evenly distributed. Relationship between the functional and species diversity can provide us with information about how species are added to the community or answer the question to what extent the higher number of species requires more ecological space. The highest values of functional diversity are typical for productive, structured and heterogeneous floristic habitats of forests, savannahs and grasslands, which is valid to low levels of species diversity. Conversely, functional diversity increases slightly with increasing gradient of species diversity in these areas which are functionally more equal. Nama Karoo and succulent Karoo, the less productive environments with poorer vegetation cover, show the lowest level of functional diversity at low species richness values. But there is a more evident increase of functional diversity with the number of species increase. It´s caused by the presence of specific microhabitats, especially water areas that are suitable for ecologically more diversified species. Relative functional diversity refers to different levels of functional diversity, higher or lower than expected, at the particular value of species diversity. The general trend indicates a higher relative functional diversity in productive, heterogeneous vegetation environments of savannahs, forests, grasslands and fynbos. Lower relative functional diversity prevails in the western part of southern Africa, in the Nama Karoo and Succulent Karoo, which low productivity, poor vegetation cover and limited water availability is typical for. The relationship between the functional density and functional volume reflects the relative distinction between these two aspects. For a given volume level, we observe the highest overestimated density in areas of high species richness, productivity (savanna, forest, thickets) and heterogeneity and uniqueness of vegetation (inland fynbos). Areas with the lowest density relative to the volume are located in less productive areas in central part of the region (succulent Karoo, Nama Karoo, Lesotho) and coastal parts of fynbos (heterogeneous, finely structured area, providing space for more finely ecologically diversified species).

Keywords: bird communities in southern Africa, ecological niche, functional richness, functional diversity, functional traits, functional space, Rao´s quadratic entropy, species diversity

ZOZNAM SKRATIEK

SD – druhová diverzita

FD – funkčná diverzita

SD x FD – vzťah medzi druhovou a funkčnou diverzitou

$FD_{petchey}$ – Functional dendrogram; metrika funkčnej diverzity

FD_Q (Rao) – Rao´s quadratic entropy; metrika funkčnej diverzity

FRic – Functional richness; metrika funkčnej diverzity

Morfo – morfologický aspekt funkčnej diverzity

Diet – potravný aspekt funkčnej diverzity

Breed – sociálno-reprodukčný aspekt funkčnej diverzity

Complex – komplexná funkčná diverzita všetkých funkčných aspektov

1. ÚVOD

Biologická diverzita predstavuje biologickú rozmanitosť na rôznych úrovniach, od génov, cez populácie, druhy, až po zložité spoločenstvá a ekosystémy (Mouchet a kol. 2010). Za synonymum biodiverzity je často považovaná diverzita druhová a jej ostatné zložky bývajú často prehliadané a nedocenené. Klasické ekologické postupy pre kvantifikáciu biodiverzity (druhová bohatosť, Shannonov index a pod.) uvažujú relatívne početnosti druhov a uniformitu jedincov (Magurran 2005), ale neuvažujú rôznu mieru odlišností a identitu druhov (Botta-Dukát 2005). Spojenie medzi druhovou bohatosťou a fungovaním ekosystémov je posledných pár rokov predmetom neustálych otázok a debát (Díaz a Cabido 2001). Faktom je, že stránka biodiverzity týkajúca sa ekologických a funkčných rozdielností medzi druhmi a ich vplyvu na fungovanie ekosystému je veľmi dôležitá (Tilman 1996, Tilman 1997; Chapin a kol. 1997; Loreau a kol. 2001; Lepš a kol. 2001; Díaz a Cabido 2001). Tento aspekt biodiverzity označujeme ako funkčnú diverzitu (Tilman 2001). Používanie termínu „funkčná diverzita“ je čoraz častejšie a v ostatných dvoch dekádach narástlo výraznou mierou. V ekologických kruhoch sú v súčasnosti prístupy založené na štúdiu funkčných charakteristík a metód pre meranie funkčnej diverzity čoraz častejšie a množstvo prác o tejto problematike neustále stúpa (Petchey a Gaston 2006, Mouchet a kol. 2010).

Funkčná diverzita vyjadruje funkčnú rozmanitosť spoločenstva (Tesfaye a kol. 2003), počet funkčných skupín organizmov v spoločenstve (Chapin a kol. 1996; Díaz a Cabido 1997), prípadne hodnotu a rozsah funkčných charakteristík organizmov prítomných v určitom ekosystéme (Petchey a Gaston 2002a). Funkčná charakteristika je vlastnosť organizmu, ktorú považujeme za dôležitú vo vzťahu k odpovedi na životné prostredie (Naeem a Wright 2003) alebo vlastnosť významnú pre fungovanie ekosystému (Petchey a Gaston 2006). Je to súbor morfologických, potravných, reprodukčných, fyziologických alebo fenologických znakov organizmu ovplyvňujúcich jeho individuálne prevedenie v prostredí (Violle a kol. 2007).

Na poli modernej ekológie sa vynára významná zložka biodiverzitného výskumu, a tou je otázka vzťahu medzi druhovou a funkčnou diverzitou spoločenstiev. Spoločenstvá živých organizmov nie sú v priestore rozmiestnené náhodne, ale ich výskyt je podmienený komplexným súborom abiotických (klimatické, topografické) a biotických (vegetačné, organizmálne) podmienok. Významnú rolu hrajú taktiež historické udalosti a geografické vplyvy. S týmto konceptom súvisí princíp ekologickej

niky, ktorý poukazuje na rozšírenie a prítomnosť druhov v oblastiach, ktoré množinou environmentálnych a biotických podmienok spĺňajú ekologické nároky príslušných druhov (Legendre 1997).

Jedným z kľúčových mechanizmom je tzv. efekt komplementarity ekologických ník, ktorý poukazuje na priestorové a časové rozdeľovanie zdrojov (voda, živiny, potrava, úkryt, opeľovače a pod.) medzi organizmami, ktoré sa vyskytujú v danom ekosystéme. Organizmy sa dopĺňajú spôsobom akým využívajú prostredie. Príkladom sú organizmy, ktoré žijú na tom istom mieste, ale využívajú rôzne zdroje, resp. organizmy, ktoré využívajú na danej lokalite rovnaké zdroje, ale v rôznom čase (Díaz a Cabido 2001). Druhy svojimi ekologickými a behaviorálnymi vlastnosťami optimalizujú efektívnosť využívania zdrojov nachádzajúcich sa v ich ekologickej nike, čím sa zvyšuje šanca na prežitie a úspešné rozmnožovanie.

Teoretický výskum a experimenty poukazujú na to, že komplementarita využívania zdrojov je významným procesom spájajúcim biodiverzitu s fungovaním ekosystémov a má vplyv na úroveň funkčnej diverzity (Hooper 1998; Loreau 1999; Hector a kol. 1999; Norberg 2000). Vyššia funkčná diverzita je nositeľom väčšej komplementarity a rozsahu funkčných charakteristík, ktoré poskytujú možnosti pre vyššiu efektivitu využívania zdrojov prostredia v priestore a čase (Loreau 1998; Loreau 2000).

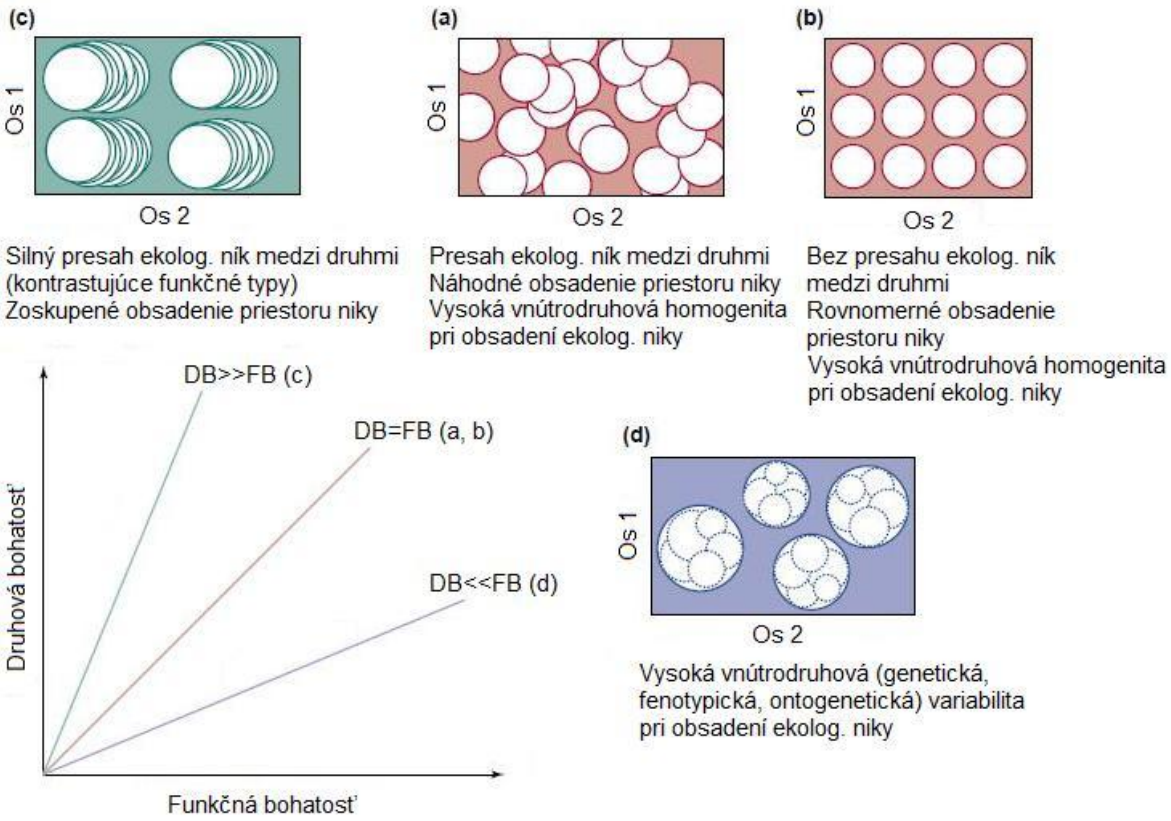
Výskumy ohľadom tejto problematiky pokryli široký okruh taxonomických skupín, od prokaryotických organizmov (Zak a kol. 1994), cez rastlinné spoločenstvá (Lavorel 1997; Hooper 1998) až po rôzne taxonomické skupiny stavovcov (Stevens a kol. 2003; Petchey a kol. 2007). V prácach zameraných na rastlinstvo je funkčná diverzita vyjadrená rozsahom komplementarity medzi druhmi najmä v morfologickom a ekofyziologickom funkčnom priestore. V prípade živočíchov, funkčná diverzita meria rozsah komplementarity hlavne v priestore využívania potravných zdrojov, morfologických a reprodukčných parametrov (Petchey a Gaston 2006). Spoločenstvá obsahujúce druhy s komplementárnejšími funkčnými charakteristikami vykazujú vyššiu funkčnú diverzitu, než spoločenstvá s druhmi podobnými vo funkčných charakteristikách, nezávisiac na počte druhov (Petchey a Gaston 2002b). V prípade rovnomerného obsadzovania komplementárnych ník druhmi spoločenstva, predpokladáme lineárny nárast intenzity a rozsahu ekosystémových procesov so zvyšujúcou sa druhovou bohatosťou (Díaz a Cabido 2001). Ak príspevky druhov do fungovania ekosystému nie sú rovnomerné, závislosť nie je lineárna, a tvar krivky

závislosti saturuje (je asymptotický) (Díaz a Cabido 2001). Proces obsadzovania ekologických ník možno prirovnať k obývaniu domu s určitým konečným počtom poschodí (Hořák in verb). Každé poschodie predstavuje priestor určitej ekologickej niky (funkčný priestor). Pri zvyšovaniu počtu druhov v spoločenstve dochádza k postupnému zapĺňaniu ekologických ník (funkčného priestoru) a pri vyčerpávaní kapacity druhy obsadzujú už stávajúce ekologické niky alebo dochádza k presahu v obsadení ekologických ník. Druhy môžu obsadzovať buď nové poschodia (ak sú k dispozícii) alebo sa snažia dostať do obsadených (len v prípade, že je tam dosť miesta). Prakticky v každom ekosystéme existuje skupina druhov, ktorá ovplyvňuje fungovanie kľúčovým spôsobom (Wilson a Agnew 1992; Grime 1998). Rozdiely vo funkčnej dôležitosti by mali viesť k nelineárnej odpovedi pri zvýšení, resp. znížení počtu druhov (Sala a kol. 1996). Strata alebo pridanie určitého funkčného typu organizmov (napr. dôsledok výraznej disturbancie) má na ekosystém zvyčajne väčší efekt, než strata, resp. pridanie rovnakého počtu druhov zo širokej škály funkčných typov (Díaz a Cabido 2001). Veľmi dobrým príkladom je prítomnosť inváznych druhov, ktoré môžu drastickým spôsobom narušiť trofické vzťahy, dynamiku toku živín a pod (Chapin a kol. 2000). Pre spoločenstvá v ekosystémoch nie je rozhodujúcim faktorom počet vymiznutých druhov, ale konkrétne zloženie druhov so svojimi funkčnými charakteristikami ovplyvňujúce fungovanie ekosystémov menšou alebo väčšou mierou. Napríklad pri vymiznutí rastlín produkujúcich dužinaté plody sa zníži počet frugivorných organizmov, a to v konečnom dôsledku pôsobí na disperziu semien v ekosystéme. Ďalším príkladom môže byť proces, pri ktorom vymizne určitá skupina rastlín, čo má vplyv na rozšírenie príslušných opeľovačov (hmyz) a následne to ovplyvní početnosť vtáctva, ktorého hlavným zdrojom potravy príslušné druhy hmyzu sú.

Teoretické a empirické štúdie predpokladajú, že široká škála odpovedí a vplyvu rôznych druhov na ekosystémové procesy prispieva k dlhodobej údržbe fungovania ekosystémov (Johnson a kol. 1996). Túto problematiky vysvetľujú koncepty funkčnej redundancie a funkčného poistenia (Díaz a Cabido 2001). Druhy sú funkčne redundantné, ak vymiznutie jedného alebo viacerých druhov neovplyvní fungovanie ekosystému významnou mierou, pretože zostávajúce organizmy sú schopné túto stratu kompenzovať (Walker 1995). Redundanciou teda rozumieme spôsob zvýšenia spoľahlivosti systému a prevencie pred stratou funkcie pri vymiznutí druhov (Naeem 1998). S koncepciou redundancie je úzko spätá hypotéza funkčného poistenia (Loreau 2000). Tá poukazuje na to, že čím je vyššia variabilita funkčných odpovedí na

podmienky medzi druhmi, tým je nižšia druhová bohatosť potrebná na reguláciu ekosystému. Vyššia diverzita funkčných odpoveďových typov zvyšuje efekt funkčného poistenia, pretože zvyšuje šancu, že aspoň zlomok druhov bude reagovať odlišne na rôzne podmienky prostredia (Díaz a Cabido 2001). Funkčná diverzita môže byť taktiež nástrojom predpovedajúcim funkčné dôsledky zmien v biosfére spôsobených ľudskou činnosťou (Chapin a kol. 2000; Loreau a kol. 2002).

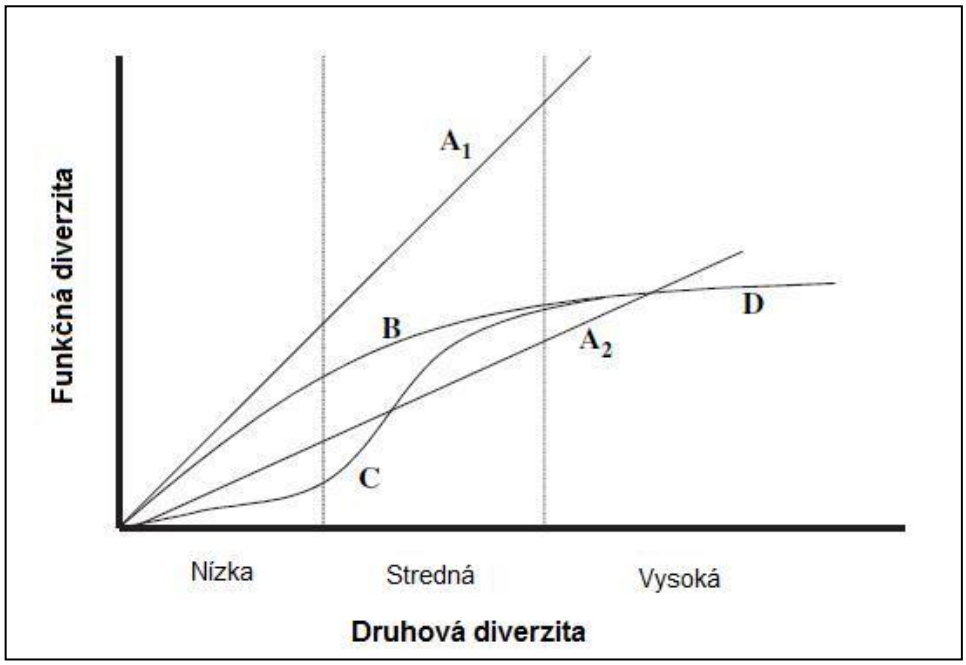
V prírode prakticky vždy pozorujeme pozitívnu závislosť medzi funkčnou a druhovou diverzitou, nemožno však vo všeobecnosti tvrdiť, že diverzita druhová je dostatočnou náhradou diverzity funkčnej (Díaz a Cabido 2001). Trend je podobný naprieč rôznymi štúdiami a taxonomickými skupinami organizmov, aj keď vždy pozorujeme určitý rozdiel v rozptyle, saturácii krivky a miere funkčnej podobnosti, resp. rozdielnosti medzi druhmi (Stevens a kol. 2003; Micheli a Halpern 2005; Petchey a kol. 2007; Li a kol. 2010; Bihn a kol. 2010). Faktom je, že druhová diverzita by zastupovala funkčnú vtedy, ak by došlo k lineárnemu zvýšeniu obsadenia priestoru ekologických ník pri zvýšení počtu druhov (Díaz a Cabido 2001). Tento scenár by teoreticky nastal v dvoch prípadoch. Pri náhodnom okupovaní ekologických ník spoločenstva v priestore funkčných charakteristík (tzv.“snowballs on the barn roof” effect) a pri rovnomernom rozložení obsadzovania ekologických ník (Tilman 1999) (obr. 1). Tieto javy v prirodzených spoločenstvách nie sú až tak časté, pretože vždy dochádza k určitému zoskupovaniu druhov (presah v rámci ekologickej niky), resp. k nenáhodnému rozloženiu pri obsadení ekologických ník (Zobel 1997). Dochádza teda k silnej konvergencii druhov medzi rozličnými funkčnými typmi a k diferenciácii genotypov, fenotypov, ontogenetických štádií v rámci jedného druhu (vysoká vnútrodruhová variabilita obsadeného priestoru niky) (Díaz a Cabido 2001) (obr. 1). Prehľad najbežnejších priebehov vzťahov medzi druhovou a funkčnou diverzitou pozorovaných v prírodných spoločenstvách ilustruje obrázok 2. Nedostatok prepojení v prácach študujúcich problematiku druhovej a funkčnej diverzity dáva do popredia otázku o dôležitosti funkčnej diverzity, a to z toho dôvodu, že v súčasnosti nepoznáme štandardizovaný spôsob na jej výpočet (Díaz a Cabido 2001; Mouchet a kol. 2010).



Obr. 1: Prípady spojenia medzi druhovou a funkčnou bohatosťou. Osi (1, 2) obdĺžnikov predstavujú osi rozdielnych zdrojov alebo disturbancií. Kruhy vyznačené plnou čiarou poukazujú na obsadenie ekologickej niky istým druhom; kruhy vyznačené prerušovanou čiarou určujú obsadenie niky rozličných štádií v rámci jedného druhu (d). Rovnomerné a náhodné obsadenie niky je najčastejšie typické pre teoretické a experimentálne štúdie (a, b), zoskupené obsadenie priestoru niky je bližšie situáciám prírodných spoločenstiev (c, d) (podľa Díaz a Cabido 2001).

Kritickými otázkami vo vývoji rôznych spôsobov merania funkčnej diverzity je výber funkčných charakteristík, na základe ktorých organizmy funkčne rozlišujeme, spôsob akým informáciu o funkčných vlastnostiach zosumarizovať do merania funkčnej diverzity a potvrdenie platnosti meraní funkčnej diverzity prostredníctvom kvantitatívnych analýz a experimentálnych testov (Petchey a Gaston 2006).

Pri funkčnej klasifikácii je dôležité obsiahnutie funkčných charakteristík dôležitých pre funkciu záujmu a eliminácia nevhodných charakteristík bez potrebnej informácie pre riešenie daného problému. Podklady pre výber charakteristík nám môžu poskytnúť výskumné štúdie o distribúcií funkčných charakteristík na základe premenlivosti prostredia a o vzťahoch medzi druhmi alebo teoretické modely o spoločenstvách a ekosystémoch (Petchey a Gaston 2006).



Obr. 2: Schéma možných vzťahov medzi druhovou a funkčnou diverzitou na 3 úrovniach diverzity (nízka, stredná, vysoká). A1 - druhy majú unikátnu funkčnú úlohu; A2 - druhy majú podobné funkčné vlastnosti; B - nárast funkčnej diverzity postupne klesá so zvyšujúcou sa druhovou diverzitou a asymptoticky sa zakrivuje (D); C – funkčná redundancia pri nízkej druhovej diverzite, rapídny nárast pri strednej druhovej diverzite, až asymptotické zakrivenie pri vysokej druhovej diverzite (D) (podľa Micheli a Halpern 2005).

Ďalším problémom vynárajúcim sa pri výbere funkčných charakteristík je otázka počtu. Počet funkčných charakteristík, tak ako aj korelácia medzi nimi a váženie hodnoty, môže zmeniť úroveň redundancie, ktorú spoločenstvo vykazuje (Petchey a Gaston 2002a; Rosenfeld 2002). Počet funkčných charakteristík teda rozmernosť funkčného priestoru určuje tvar krivky závislosti funkčnej a druhovej diverzity (Petchey a Gaston 2002b). Väčšie množstvo charakteristík má tendencie vytvárať menej redundantné spoločenstvo (funkčná diverzita je citlivá na zmenu druhovej bohatosti), menšie množstvo funkčných znakov zvykne vytvárať redundantnejšie spoločenstvá (zmeny v druhovej bohatosti majú menší efekt na funkčnú diverzitu) (Petchey a Gaston 2002b).

V tejto diplomovej práci sme upriamili pozornosť na ekológiu vtáčích spoločenstiev južnej Afriky. Tento región sa vyznačuje širokou škálou a gradientmi environmentálnych podmienok a pestrou mozaikou rôznych typov prostredí (O´Brien

1993; O´Brien 1998). Tieto aspekty sa odzrkadľujú v obrovskej druhovej rozmanitosti a zložení vtáčích spoločenstiev na danom území. Avifauna južnej Afriky je nepochybne vhodnou skupinou pre štúdium konceptu vzťahov medzi druhovou a funkčnou diverzitou. Jednotlivé oblasti regiónu sa vyznačujú rozličnou úrovňou druhovej bohatosti, ktorá kolísa naprieč rôznymi habitatmi. Vtáky pôsobia na mnohých úrovniach potravného reťazca, oplývajú širokou škálou sociálnych väzieb a rozmnožovacích parametrov, sú morfologicky diverzifikované, obývajú najrozmanitejšie prostredia a predovšetkým ich ekológia je relatívne dobre preskúmaná.

Geografické trendy v niektorých vlastnostiach vtákov už poznáme (Cardillo 2002b, Orme a kol. 2006, Greve a kol. 2008, Jetz a kol. 2008, Olson a kol. 2009), taktiež aj priestorové javy a environmentálne determinanty diverzity juhoafrických vtákov (Rensburg a kol. 2002). Pozorujeme ale nedostatok ornitologických štúdií o vzťahu medzi druhovou a funkčnou diverzitou. Jedna z najvýznamnejších prác úzko zameraných na túto problematiku pochádza od Petcheyho a kolektívu (2007). Hovorí o vzťahu medzi druhovou a funkčnou diverzitou a úrovni redundancie vtáčích spoločenstiev na britských ostrovoch. Domnievame sa, že aplikácia konceptu druhovej a funkčnej diverzity na vtáčie spoločenstvá juhoafrickej oblasti pomôže objasniť efekty rôznych metrík funkčnej diverzity, efekty pridávania/straty druhov v spoločenstve a spôsob akým využívajú ekologický (funkčný) priestor.

V diplomovej práci sme sa snažili zodpovedať nasledujúce otázky a ciele: **1)** Štúdium priestorovej variability funkčnej diverzity vtáčích spoločenstiev na území južnej Afriky s dôrazom na rôzne funkčné aspekty a spôsoby merania funkčnej diverzity. V tejto súvislosti nás zaujíma to, ako sa líšia patrnosti vo funkčnej diverzite na základe rôznych typov funkčných znakov. Môžeme sa dívať na gradient rôznych aspektov funkčnej diverzity (morfologický, potravný, resp. reprodukčný) a porovnať mieru rozdielností v rôznych oblastiach študovanej oblasti **2)** Vyjadrenie vzťahu medzi druhovou a funkčnou diverzitou pre rôzne funkčné aspekty a skupiny funkčných znakov s následným zhodnotením a porovnaním medzi rozličnými typmi prostredia. Zaujímavá je otázka toho, ako sa líši vzťah medzi druhovou a funkčnou diverzitou v rôznych typoch habitatov. Predpokladáme rozličný sklon a tvar závislostí, čo následne poukazuje na mieru funkčnej komplementarity, resp. redundancie a tiež na štruktúru a spôsob obsadzovania ekologického priestoru **3)** Priestorová variabilita relatívnej funkčnej diverzity na území južnej Afriky a korelácia s rôznymi typmi habitatov. Pri rôznych druhových bohatostiach pozorujeme rôznu úroveň funkčnej diverzity.

Predpokladáme ale taktiež rôzne hodnoty funkčnej diverzity (vyššiu, resp. nižšiu než očakávanú) pri istej konkrétnej druhovej diverzite. Otázkou teda zostáva, čo je príčinou týchto patrností. Typ habitatu? **4)** Vzťah medzi funkčným objemom a funkčnou hustotou a korelácia s environmentálnymi premennými a typmi habitatov. Zaujíma nás ako spolu tieto dva funkčné aspekty súvisia. Na daný funkčný objem môžeme pozorovať rôznu úroveň funkčnej hustoty, pričom sa znova vynára otázka, čím to môže byť spôsobené. Typom prostredia?

2. METODIKA

2.1 CHARAKTERISTIKA ŠTUDOVANEJ OBLASTI

Geografická oblasť, na ktorú sme upriamili pozornosť pri výskume, sa rozprestiera v najjužnejšej časti afrického kontinentu medzi 22. a 35. stupňom južnej zemepisnej šírky a 16. a 33. stupňom východnej zemepisnej dĺžky. Rozloha oblasti predstavuje 1 251 392 km^2 zemského povrchu a zaberá územie Juhoafrickej republiky a Lesotha. Na danom území pozorujeme pestrú mozaiku rozličných typov prostredí a širokú škálu klimatických podmienok. Tieto faktory predurčujú južnú Afriku k jedným z najdiverzifikovanejších oblastí sveta v zmysle floristickej a faunistickej bohatosti a zloženia.

Poloha oblasti v rámci svetadielu, historický vývoj územia, vplyv oceánickej cirkulácie a geomorfologický charakter krajiny prispievajú k longitudinálnemu gradientu v rozložení klimatických podmienok (O´Brien 1993). Najväčšia zmena klimatických podmienok nastáva v západo-východnom smere, zatiaľ čo latitudinálny gradient kolísania nie je až tak výrazný. Západné, suchšie oblasti plynule prechádzajú do vlhkejších a produktívnejších prostredí na východe kontinentu. Úhrn zrážok v jednotlivých oblastiach počas roka rôzne varíruje. V zimnom období (medzi júnom a augustom) je najintenzívnejšia precipitácia v západnej časti územia, až po oblasť trávnatej centrálnej náhornej plošiny. Vo východnej a severovýchodnej časti (savany, lesnatá krajina) v tej dobe vôbec neprší. Naopak, v letnom období sú výdatné zrážky (až 1000 mm za rok) typické pre východnú a severnú časť oblastí saván, lesov a trávnatých stepí, zatiaľ čo v Nama Karoo prší minimálne (okolo 100 mm ročne) a v sukulentnom Karoo prakticky vôbec (do 50 mm ročne). Kolísanie teplôt je výraznejšie vo vnútrozemí a vo vyšších nadmorských výškach. Na území Severného Kapska a Lesotha klesajú teploty až na mínus 15 °C (v najchladnejších mesiacoch priemerne k 0 °C) a naopak v najteplejších vnútrozemských oblastiach teploty môžu dosahovať až 45 °C (v najteplejších mesiacoch priemerne 28 °C). Teplotné výkyvy sú najväčšie v púštnych oblastiach a to hlavne v lete (O'Brien 1993).

Rozdielne klimatické zóny sú motorom pre vznik rozličných vegetačných typov, a teda vznik biómov. Územie južnej Afriky je rozčlenené na 9 základných typov biómov (Mucina a Rutherford 2006) (obr. 3).

Lesy. Prostredie lesov predstavuje rozlohou najmenší bióm južnej Afriky (asi 0,25 % celkovej plochy), pričom rozloženie plôch má fragmentovaný charakter.

Rozprestierajú sa od úrovne morskej hladiny až do nadmorskej výšky 2100 m. Typický je vysoký úhrn zrážok, vysoká produktivita a vlhkosť. Prítomnosť požiarov je zriedkavá. Vo vegetácii prevažuje kontinuálny zápoj korunového poschodia (*Ocotea* spp., *Podocarpus* spp.) spolu s mnohými vrstvami nižšie rastúcej vegetácie, paprade, liany a epifity.

Krovinatý húštinný bióm (Albany thicket) je lokalizovaný v južnej a juhovýchodnej časti územia (2,5 % plochy). Množstvo spadnutých zrážok je nižšie než v oblasti lesov. Vegetáciu tvorí gradient od krovinatých oblastí k nízkym redším lesom, s prítomnosťou vždyzelených a sukulentných rastlín.

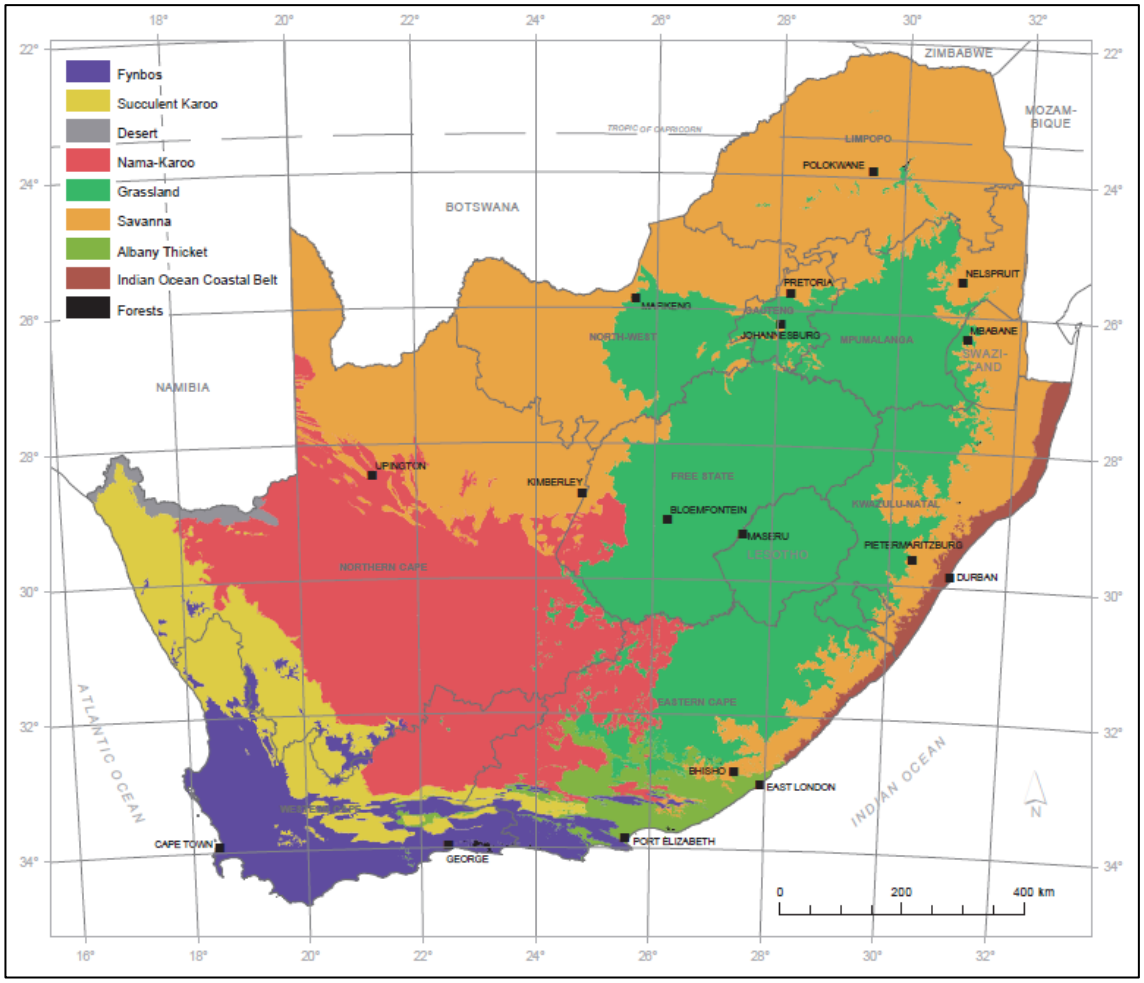
Savana je rozlohou najväčší bióm v južnej Afrike, pokrývajúci niečo cez 34 % rozlohy s prevýšením až do 2000 m. n. m. Na danom území pozorujeme viacero podtypov, ktoré sa do istej miery líšia klimatickými pomermi a štruktúrou vegetácie. V západnejšej časti oblasti nadväzuje na Kalahari suchšia savana s menším množstvom zrážok (235 mm ročne) a chudšou vegetáciou, ktorá postupne prechádza do vlhkejšej a produktívnejšej savany na severovýchode a východe. Z prevládajúceho rastlinstva je vhodné spomenúť množstvo druhov travín a stromovitých zástupcov rodu *Acacia*, *Adansonia*, resp. *Hyphaene*.

Trávnatý bióm. Oblasť trávnatých stepí, druhý najrozsiahlejší bióm, pokrýva 28,4 % územia. Väčšina trávnatých oblastí je lokalizovaná v centrálnej náhornej plošine vo vyššej nadmorskej výške (až 2850 m) s teplotami klesajúcimi pod bod mrazu v istých častiach roku. V rastlinnej skladbe dominuje množstvo druhov travín, geofytov a kvitnúcich bylín. Stromovitý porast prakticky úplne chýba.

Nama Karoo. Polopúštny habitat je reprezentovaný biómom Nama Karoo zaberajúcim približne 20,5 % rozlohy južnej Afriky. Rozprestiera sa v západnej časti v nadmorskej výške medzi 500 – 2000 m n. m. Je preň typický nízky úhrn zrážok (100 – 500 mm ročne) a vysoké kolísanie teplôt v priebehu roku. Nezriedka sa teplota pohybuje i v mínusových hodnotách. Väčšina územia je pokrytá travinami a prízemnými krovinami.

Sukulentné Karoo predstavuje špecifický typ habitatu s relatívne malou rozlohou (7,5 % celkovej plochy). Vyznačuje sa extrémne suchými podmienkami (cez 40 °C) a minimálnym množstvom zrážok (20 – 290 mm za rok), zvlášť v letnom období. Miestami sa objavujú vyššie položené skalnaté miesta (do 1500 m nadmorskej výšky). Sukulentné Karoo sa môže pýšiť relatívne najväčšou diverzitou sukulentných rastlín v pomere k veľkosti plochy daného typu.

Fynbos, rozlohou malý (6,7 % plochy), ale druhovo najbohatší región oblasti južnej Afriky (až 8700 druhov rastlín), tiež charakterizovaný vysokou mierou endemizmu. Prevládajú tú teplé suché letá a studené vlhké zimy. Pre zdarný vývoj a regeneráciu vegetácie sú potrebné občasné požiare. Taxony typické pre túto oblasť predstavujú čeľade Ericacae, Asteraceae, Bruniaceae, Fabacae, Rhamnacae a pod.



Obr. 3: Mapa územia južnej Afriky zobrazujúca rozloženie jednotlivých typov biómov, ktoré sú farebne odlíšené (viď legenda vľavo hore). Šedou farbou je vyznačená geografická sieť a súradnice. Čierne štvorce – najvýznamnejšie mestá (Mucina a Rutherford 2006).

2.2 PREHĽAD ENVIRONMENTÁLNYCH PREMENNÝCH

Región južnej Afriky sa vyznačuje výraznými gradientmi v environmentálnych podmienkach, preto sme pri analýze použili informácie o rozložení hodnôt jednotlivých podmienok prostredia v študovanej oblasti. Pre spracovanie sme sa rozhodli použiť environmentálne podmienky, ktoré priamo alebo nepriamo ovplyvňujú priestorovú variabilitu v druhovom zložení a mieru funkčnej diverzity vtáčích spoločenstiev. Pri výbere sme použili subjektívne rozhodnutie, pričom sme sa snažili zachovať čo najväčšiu vzájomnú nezávislosť premenných, ale tiež užitočnosť a osobný záujem. Finálny výber pozostával zo siedmich premenných rozličného typu: klimatické, vegetačné, topografické a habitatové (Tabuľka 1).

Zdroje údajov o environmentálnych premenných:

- HYDRO1k – geografická databáza vyvinutá U.S. Geological Survey's Earth Resources Observation and Science Data Center poskytuje komplexné údaje o globálnych topografických parametroch (voľne prístupná na: *http://eros.usgs.gov/#/Find_Data/Products_and_Data_Available/gtopo30/hydro/africa*)

- The South African Computing Center for Water Research poskytuje údaje o abiotických environmentálnych podmienkach zahrňujúci teplotné charakteristiky a vodný režim v atmosfére (Schulze, R.E. (1997b). South African atlas of agrohydrology and climatology. Report TT82/96. *Water Research Commission*, Pretoria).

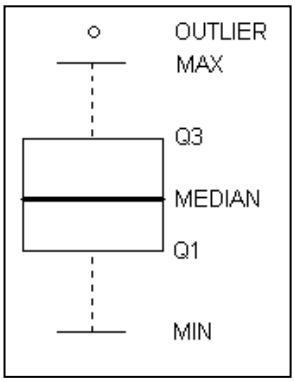
- ARTEMIS - Africa Real Time Environmental Monitoring Information System prostredníctvom Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) poskytuje údaje o zrážkach a stavu vegetácie.

Tabuľka 1: Zoznam environmentálnych premenných použitých v analýzach.

Označenie	Typ premennej	Popis premennej prostredia
TempMEAN	klimatická	Priemerná ročná teplota.
PPT	klimatická	Priemerná ročná primárna precipitácia.
PET	klimatická	Priemerná ročná potenciálna evapotranspirácia.
NPP	vegetačná	Čistá primárna produktivita.
NDVI1	vegetačná	Normalizovaný diferenčný vegetačný index v januári. Miera množstva vegetácie v priebehu jednej dekády zaznamenávaná v januári.

Elev_Range	topografická	Výškové prevýšenie, ukazovateľ sklonu terénu. Rozdiel medzi najvyššou a najnižšou hladinou nadmorskej výšky.
Typ biómu	habitatová	Kategoriálna premenná o šiestich hladinách. Ukazovateľ prevládajúceho typu bi v študovanej jednotke plochy.

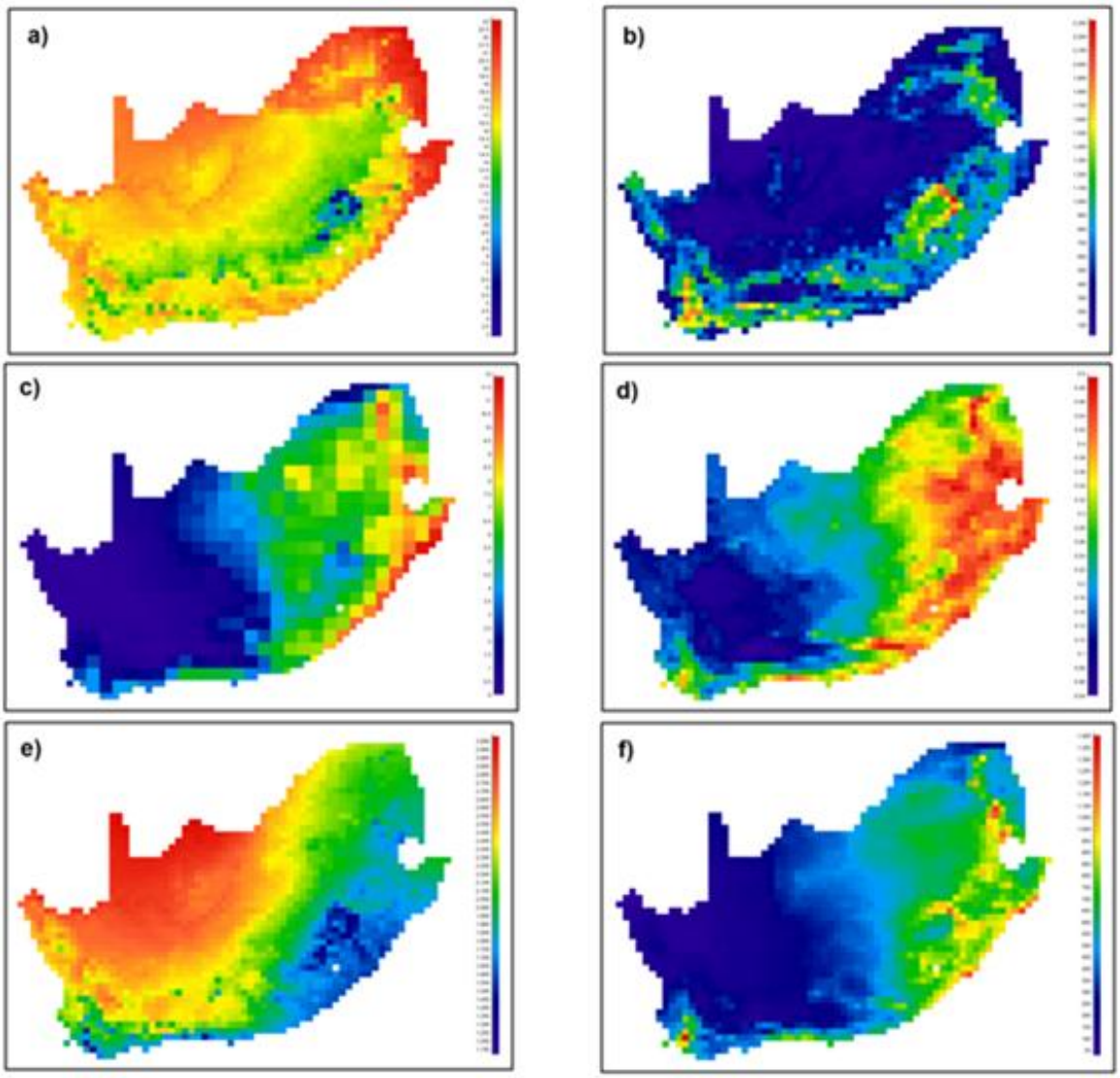
Niektoré premenné prostredia boli pred analýzami transformované zo škály absolútnych hodnôt do inej mierky. Dôvodom bola istá miera odklonu od normálneho rozloženia hodnôt. Logaritmicky $\log_{10}(x)$ bol transformovaný výškový rozsah (Elev_Range). Priemerná ročná primárna precipitácia (PPT) a čistá primárna produktivita (NPP) bola transformovaná použitím odmocninovej transformácie, pretože efekt logaritmickej transformácie bol už príliš veľký. Transformáciou sme pozmenili dôležitosť intervalu medzi dvoma kvantitatívnymi hodnotami podľa toho, v akej časti rozsahu hodnôt sa nachádzajú.



Obr. 4: Legenda ku krabicovým diagramom použitých pri výpočtoch zobrazujúca príslušné veličiny rozloženia hodnôt.

Pre grafické zobrazenie rozloženia environmentálnych podmienok v študovanej oblasti sme použili súbor údajov s informáciou o súradniciach študovaných jednotiek a priemerných hodnotách premenných prostredia pre dané jednotky (pozri prílohu na priloženom disku). Výsledkom sú gradientové mapy, pričom každá reprezentuje gradient jednej environmentálnej premennej (obr. 5).

U prevažnej väčšiny environmentálnych podmienok, ktoré sú predmetom nášho skúmania, pozorujeme typický longitudinálny gradient, prípadne okrajový efekt (výskyt najextrémnejších hodnôt na pobrežiach študovanej oblasti) (obr. 5).

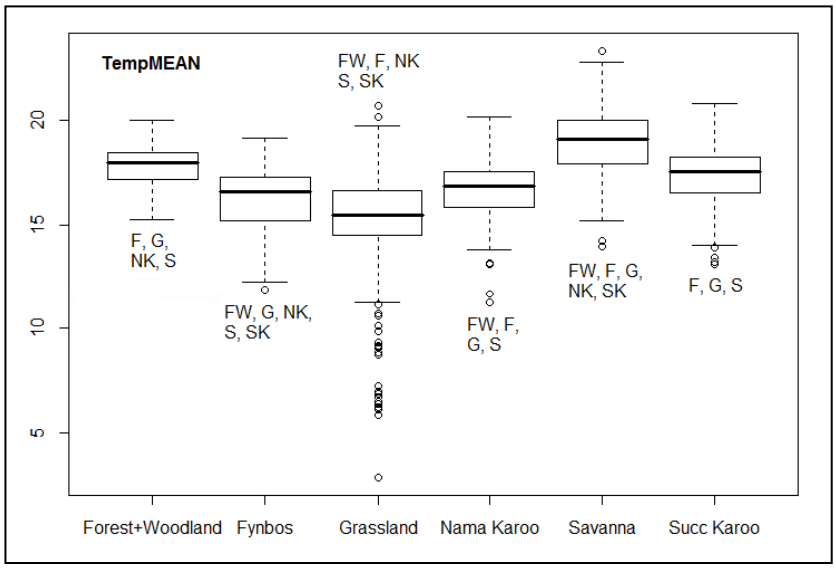


Obr. 5: Gradienty environmentálnych podmienok: a) priemerná ročná teplota, b) elevačný gradient, c) čistá primárna produktivita, d) normalizovaný diferenčný vegetačný index v januári, e) priemerná ročná potenciálna evapotranspirácia, f) priemerná ročná primárna precipitácia.

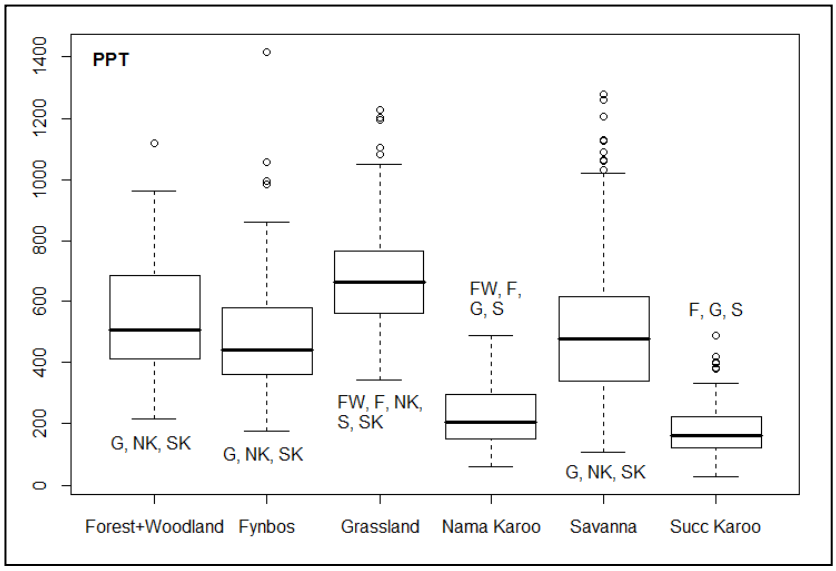
Súčasťou prehľadu environmentálnych podmienok je taktiež analýza rozdielov medzi rôznymi habitatmi na území južnej Afriky. Pre zistenie signifikantnosti rozdielov medzi habitatmi sme použili analýzu ANOVA s post-hoc testami (funkcia TukeyHSD). Prehľad štatistických parametrov ANOVA testov zobrazuje tabuľka 2. Pre vizualizáciu sme použili krabicové diagramy (obr. 6-11).

Tabuľka 2: Prehľad štatistických parametrov analýzy ANOVA pre rozdiely v hodnotách environmentálnych premenných (EnvVar) medzi rôznymi typmi habitatov.

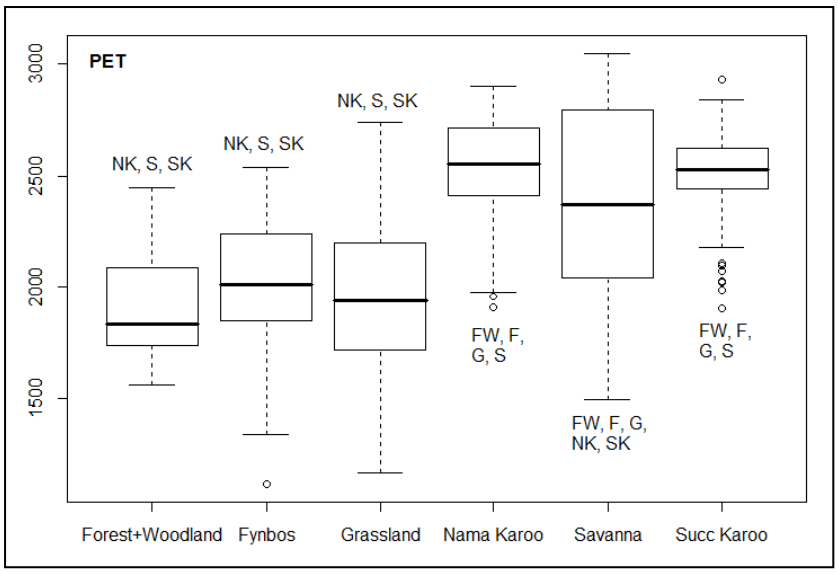
EnvVar	F-statistika	Df	p-value
TempANN_MEAN	313,1	5; 1852	<2,2e-16
PPT	413,9	5; 1852	<2,2e-16
PET	209,4	5; 1852	<2,2e-16
NPP	420,7	5; 1852	<2,2e-16
NDVI1	478,2	5; 1852	<2,2e-16
Elev_Range	116,8	5; 1852	<2,2e-16



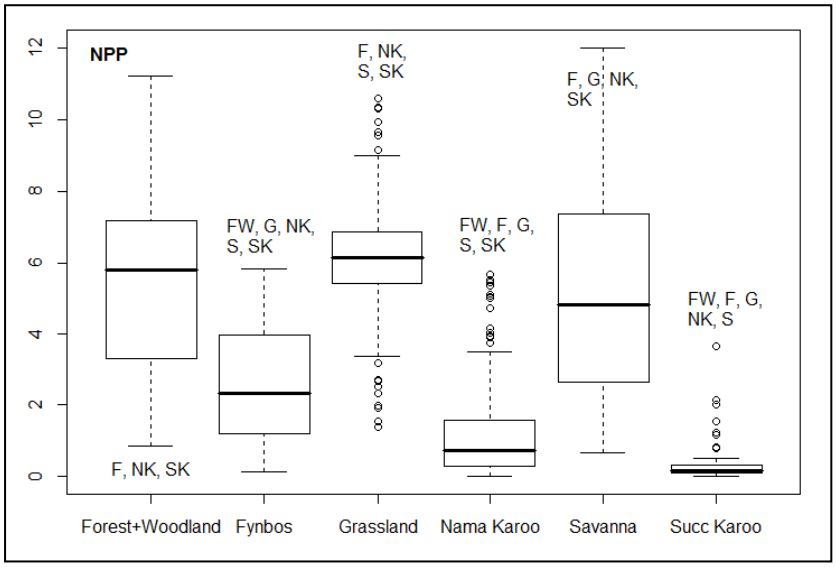
Obr. 6: Priemerná ročná teplota (TempMEAN) v rôznych typoch prostredí na území južnej Afriky. Začiatočné písmená habitatov pod príslušným diagramom poukazujú na habitaty, ktoré sú od neho v danej premennej signifikantne odlišné.



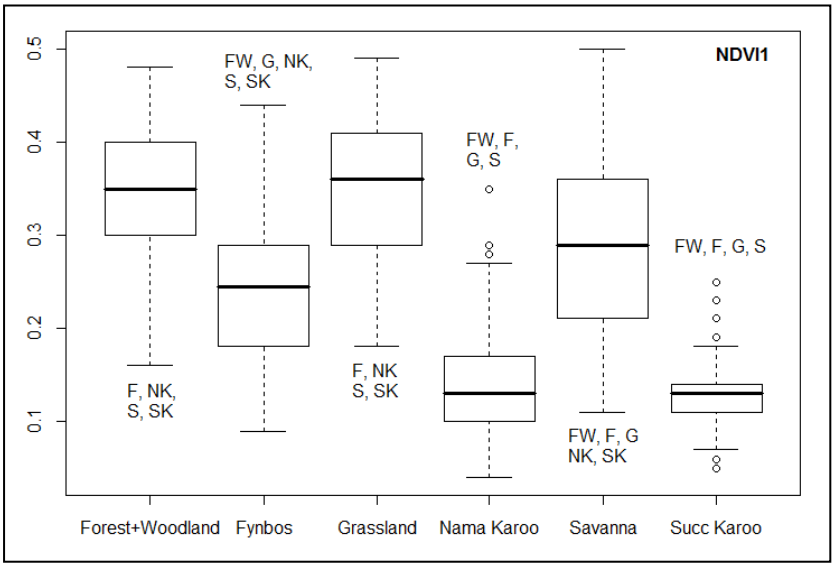
Obr. 7: Priemerná ročná primárna precipitácia (PPT) v rôznych typoch prostredí na území južnej Afriky. Začiatočné písmená habitatov pod príslušným diagramom poukazujú na habitaty, ktoré sú od neho v danej premennej signifikantne odlišné.



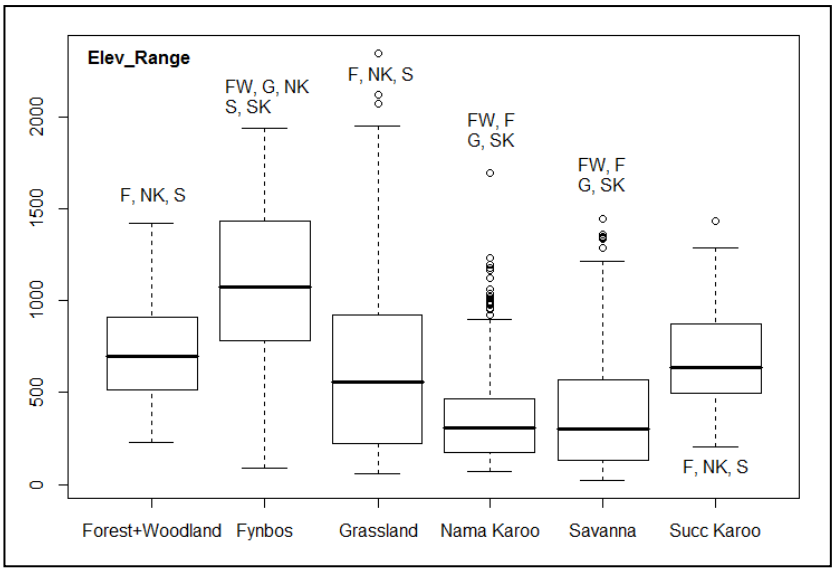
Obr. 8: Priemerná ročná potenciálna evapotranspirácia (PET) v rôznych typoch prostredí na území južnej Afriky. Začiatočné písmená habitatov pod príslušným diagramom poukazujú na habitaty, ktoré sú od neho v danej premennej signifikantne odlišné.



Obr. 9: Čistá primárna produktivita (NPP) v rôznych typoch prostredí na území južnej Afriky. Začiatočné písmená habitatov pod príslušným diagramom poukazujú na habitaty, ktoré sú od neho v danej premennej signifikantne odlišné.



Obr. 10: Normalizovaný diferenčný vegetačný index v januári (NDVI1) v rôznych typoch prostredí na území južnej Afriky. Začiatočné písmená habitatov pod príslušným diagramom poukazujú na habitaty, ktoré sú od neho v danej premennej signifikantne odlišné.



Obr. 11: Elevačný rozsah (Elev_Range) v rôznych typoch prostredí na území južnej Afriky. Začiatočné písmená habitatov pod príslušným diagramom poukazujú na habitaty, ktoré sú od neho v danej premennej signifikantne odlišné.

Prehľad signifikantnosti rozdielov medzi jednotlivými typmi habitatov pre príslušné environmentálne premenné zobrazujú tabuľky 3-8.

Tabuľka 3: Prehľad signifikancie rozdielov v priemernej ročnej teplote pre rozličné typy habitatov. V tabuľke sú uvedené p-value hodnoty post hoc testu (zelené – signifikantné, červené – nesignifikatné).

TempANN_MEAN	Forest + Woodland	Fynbos	Grassland	Nama Karoo	Savanna	Succulent Karoo
Forest + Woodland	X					
Fynbos	0.0000001	X				
Grassland	0	0.0000005	X			
Nama Karoo	0.0003898	0.0117658	0	X		
Savanna	0.0000004	0	0	0	X	
Succulent Karoo	0.3287111	0.0000139	0	0.0526874	0	X

Tabuľka 4: Prehľad signifikancie rozdielov v priemernej ročnej primárnej precipitácii pre rozličné typy habitatov. V tabuľke sú uvedené p-value hodnoty post hoc testu (zelené – signifikantné, červené – nesignifikatné).

PPT	Forest + Woodland	Fynbos	Grassland	Nama Karoo	Savanna	Succulent Karoo
Forest + Woodland	X					
Fynbos	0.1490042	X				
Grassland	0.000013	0	X			
Nama Karoo	0	0	0	X		
Savanna	0.1667745	0.990482	0	0	X	
Succulent Karoo	0	0	0	0.0646579	0	X

Tabuľka 5: Prehľad signifikancie rozdielov v priemernej ročnej potenciálnej evapotranspirácii pre rozličné typy habitatov. V tabuľke sú uvedené p-value hodnoty post hoc testu (zelené – signifikantné, červené – nesignifikatné).

PET	Forest + Woodland	Fynbos	Grassland	Nama Karoo	Savanna	Succulent Karoo
Forest + Woodland	X					
Fynbos	0.1882267	X				
Grassland	0.7556701	0.4497324	X			
Nama Karoo	0	0	0	X		
Savanna	0	0	0	0	X	
Succulent Karoo	0	0	0	0.8460436	0.00254	X

Tabuľka 6: Prehľad signifikancie rozdielov v čistej primárnej produktivite pre rozličné typy habitatov. V tabuľke sú uvedené p-value hodnoty post hoc testu (zelené – signifikantné, červené – nesignifikatné).

NPP	Forest + Woodland	Fynbos	Grassland	Nama Karoo	Savanna	Succulent Karoo
Forest + Woodland	X					
Fynbos	0	X				
Grassland	0.0867758	0	X			
Nama Karoo	0	0	0	X		
Savanna	0.9322737	0	0	0	X	
Succulent Karoo	0	0	0	0.0006266	0	X

Tabuľka 7: Prehľad signifikancie rozdielov v normalizovanom diferenčnom vegetačnom indexe v januári pre rozličné typy habitatov. V tabuľke sú uvedené p-value hodnoty post hoc testu (zelené – signifikantné, červené – nesignifikatné).

NDVI1	Forest + Woodland	Fynbos	Grassland	Nama Karoo	Savanna	Succulent Karoo
Forest + Woodland	X					
Fynbos	0	X				
Grassland	0.9290687	0	X			
Nama Karoo	0	0	0	X		
Savanna	0.0000601	0.0000003	0	0	X	
Succulent Karoo	0	0	0	0.5978168	0	X

Tabuľka 8: Prehľad signifikancie rozdielov v elevačnom rozsahu pre rozličné typy habitatov. V tabuľke sú uvedené p-value hodnoty post hoc testu (zelené – signifikantné, červené – nesignifikatné)

Elev_Range	Forest + Woodland	Fynbos	Grassland	Nama Karoo	Savanna	Succulent Karoo
Forest + Woodland	X					
Fynbos	0	X				
Grassland	0.2615237	0	X			
Nama Karoo	0	0	0	X		
Savanna	0	0	0	0.7709455	X	
Succulent Karoo	0.9827954	0	0.333638	0	0	X

2.3 CHARAKTERISTIKA VTÁČÍCH DRUHOV OBLASTI

2.3.1 Areály rozšírenia a biogeografia druhov

Vtáčie spoločenstvá juhoafrického regiónu sú reprezentované 928 druhmi (79 čeľadí v 21 radoch), čo predstavuje 10 % celkovej svetovej diverzity vtáctva. Z celkového počtu, 161 (17,3 %) druhov je endemických alebo blízko endemických (Harrison a kol. 1997). Endemické druhy sú svojím výskytom väčšinou viazané na jeden, resp. dva typy biómov. Niektoré areálom mierne zasahujú i severnejšie na územie Namíbie alebo Botswany (*Mirafra chuana*, *Eremoprerix australis*, a pod).

Údaje o geografickom rozšírení vtákov južnej Afriky sme získali z rozsiahlej databázy Southern African Birds Atlas Project SABAP1 (Harrison a kol. 1997). Informácie o výskyte boli zaznamenávaný v rozmedzí rokov 1980 - 1993 na území Juhoafrickej republiky, Lesotha, Svazijska, Namíbie, Zimbabwe a Botswany. Podkladom pre diplomovú prácu sú údaje z oblasti Juhoafrickej republiky a Lesotha, ktoré vykazujú vysokú úroveň kompletnosti a presnosti a ďalším dôvodom je dostupnosť vhodných environmentálnych dát pre túto oblasť. V spracovaní sme nepoužili druhy morské, viazané striktne na pobrežie a oceánické ostrovy (zástupcovia radov *Sphenisciformes* a *Procellariiformes*), zriedkavo sa vyskytujúce potulné druhy a druhy s náhodným, veľmi vzácnym výskytom. Finálna databáza o areálovom výskyte na území južnej Afriky pozostáva z 650 druhov vtákov, ktorých výskyt na študovanom území je vyjadrený binárne vo forme prítomnosti (1), resp. absencie (0) druhu na výskumnej jednotke plochy.

2.3.2 Funkčné charakteristiky a ekológia druhov

Informácie o funkčných vlastnostiach a životných stratégiách boli zozbierané z odbornej literatúry zameranej na avifaunu Afriky, resp. južnej Afriky (Fry, Keith a kol. 1982 – 2004; Hockey a kol. 2005, Tószögyová 2011) a následne zaznamenané vo forme databázových tabuliek obsahujúcich príslušné údaje. Cieľom bolo čo najkomplexnejšie pokryť informáciu o funkčných vlastnostiach a životných stratégiách druhov, a preto boli spracované údaje o troch aspektoch vtáčej ekológie: 1) *morfologickom* 2) *potravnom* a 3) *sociálno-reprodukčnom*.

Morfologický aspekt (Morfo) pozostával z údajov o veľkostiach rôznych častí vtáčieho tela (krídlo, zobák, tarsus a pod.) a z telesnej hmotnosti. Všetky parametre

spadajúce do tejto skupiny funkčných znakov sú vyjadrené kontinuálne (spojito). Zdroje dát zväčša poskytovali informáciu o rozmeroch pre adultné samčie a samičie pohlavie zvlášť, pri nedostatku informácie boli uvedené rozmery bez rozlíšenia pohlaví. V analýzach sme pre zjednodušenie použili spriemerované hodnoty jednotlivých pohlaví, prípadne priemerné hodnoty nerozlíšených pohlaví pre daný konkrétny znak.

Potravné stratégie (Diet) boli reprezentované preferenciami v zmysle typu prijímanej potravy, teda kategoriálnou premennou vyjadrenou desiatimi úrovňami, pre konkrétnu zložku potravy („dummy“ premenné). Každá úroveň je kódovaná binárnym spôsobom vo forme preferencie (1), resp. absencie (0) príslušnej zložky potravy pre daný druh. Za absenciu bol považovaný i zriedkavý prísun konkrétneho typu potravy pre daný druh.

Sociálno-reprodukčné parametre (Breed) pozostávali z množstva vlastností týkajúcich sa sociálneho správania sa, teritoriality, spôsobu hniezdenia, starostlivosti o mláďat a parametrov znášok vajec. Pre túto skupinu znakov je typická kombinácia spojitých a kategoriálnych premenných.

Zápis hodnôt funkčných znakov nebol úplný z dôvodu nedostupnosti a neúplnosti údajov o istých druhoch. V tomto prípade sme použili priemerné hodnoty funkčných charakteristík vyšších taxonomických jednotiek (rodov, prípadne čeľadí). Vo výpočtoch sme úplne eliminovali druhy, ktorých dátový zápis bol neúplný z viac než 50 %.

Kompletný prehľad a popis funkčných charakteristík použitých pri analýze zobrazuje tabuľka 9.

Tabuľka 9: Zoznam funkčných charakteristík použitých v analýzach.

Označenie	Popis funkčnej charakteristiky
Morfologické charakteristiky:	
WingU_MEAN	Dĺžka krídla (mm).
TailU_MEAN	Dĺžka chvosta (mm).
BillU_MEAN	Dĺžka zobáku (mm).
TarsusU_MEAN	Dĺžka tarzálnej časti nohy (mm).
WeightU_MEAN	Telesná hmotnosť (g).
Potravné charakteristiky:	
Typ potravy:	
Folivore	Folivor. Listy, mladé pupene, zelené výhonky.

Granivore	Granivor. Suché semená, zrná.
Frugivore	Frugivor. Čerstvé dužinaté plody.
Invertebrates	Bezstavovce; článkonožce, mäkkýše, obrúčkavce a pod.
Lower vertebrates	Nižšie stavovce; ryby, obojživelníky, plazy.
Higher vertebrates	Vyššie stavovce; vtáky, cicavce.
Carrion	Zdochlinožravec. Zložkou potravy sú mŕtve telá živočíchov.
Omnivore	Omnivor. Rastlinná aj živočíšna potrava.
Nectar	Nektarivor. Nektár kvetov.
Animals	Všetky tri typy živočíšnej potravy.

Sociálne a reprodukčné charakteristiky:

Mating system:	
MO	Monogamia.
PG	Polygynia.
PA	Polyandria.
Nester type:	
SO	Solitéri. Hniezdia osamotene.
SC	Semikoloniálne. Hniezdia v menších skupinkách.
CO	Hniezdia koloniálne.
Nest type:	
GR	Hniezdo leží priamo na zemi.
NG	Hniezdo sa nachádza v blízkosti zeme, obyčajne do 30 – 40 cm.
OA	Hniezdo tvorí otvorená miska.
CA	Hniezdo je uzatvorené s otvorom.
HO	Hniezdo je postavané v dutine, nore, či štrbine.
Young:	
PR	Prekociálne mláďatá.
SP	Semiprekociálne mláďatá.
AL	Altriciálne mláďatá.
Sexual dimorphism	Sexuálny dimorfizmus.
Territoriality	Teritoriálne druhy.
Clutch_MEAN	Veľkosť znášky. Počet vajec.
EggL_MEAN	Dĺžka vajcia (mm).
EggW_MEAN	Šírka vajcia (mm).
Incubation period	Doba strávená inkubáciou vajec (dni).

2.4 POUŽITÉ SPÔSOBY MERANIA FUNKČNEJ DIVERZITY

Indexy kvantifikujúce funkčný aspekt diverzity sú dôležité pre pochopenie vzťahov medzi diverzitou, fungovaním ekosystémov a environmentálnymi obmedzeniami (Mouchet a kol. 2010). V priebehu posledných 20 rokov bolo publikovaných množstvo spôsobov pre odhad funkčnej diverzity, ale stále chýba všeobecný prehľad o tom, ktoré parametre funkčnej diverzity vyjadrujú, a ktoré predpoklady a kritéria zahŕňajú pri kalkulácii (Villéger a kol. 2008; Mouchet a kol. 2010). Mason a kol. (2005), uvažujú rozdelenie funkčnej diverzity na tri funkčné aspekty: 1) funkčnú bohatosť (*functional richness*), 2) funkčnú rozdielnosť (*functional divergence*), 3) funkčnú vyrovnanosť (*functional evenness*). V našich analýzach sme sa primárne zamerali na aspekt funkčnej bohatosti a funkčnej rozdielnosti. Funkčná bohatosť predstavuje množstvo objemu funkčného priestoru, ktoré je reprezentované druhmi v spoločenstve a poukazuje na rozsah hodnôt funkčných charakteristík, ktorých nositeľmi sú druhy prítomné v spoločenstve. Funkčná rozdielnosť predstavuje mieru vzdialenosti vysoko početných druhov od centra funkčného priestoru a poukazuje na mieru rozloženia početností druhov v danom funkčnom priestore (Villéger a kol. 2008; Mouchet a kol. 2010). Použité metriky funkčných dendrogramov (Petchey a Gaston 2002b, ďalej $FD_{petchey}$) a funkčnej bohatosti (Villéger a kol. 2008, ďalej FRic) reprezentujú výhradne funkčnú bohatosť, zatiaľ čo Rao-va kvadratická entropia (Rao 1982; Botta-Dukát 2005; Ricotta 2005, ďalej FD_Q) prispieva k vyjadreniu funkčnej bohatosti i funkčnej divergencie.

Pri výpočte FD_Q a FRic sme pre zjednodušenie a urýchlenie výpočtu upravili potravné a sociálno-reprodukčné funkčné charakteristiky pomocou package-u „dudi.hillsmith“ v programe R. Táto funkcia má implementovanú analýzu hlavných komponent PCA, pomocou ktorej sme vytvorením troch ordinačných os vypočítali regresné koeficienty jednotlivých druhov. Z-skóry jednotlivých druhov sme následne použili pri výpočte FD_Q a FRic.

Skripty programu R potrebné k výpočtu pomocou jednotlivých metrík sú k dispozícii na webových stránkach autorov, pričom sme ich v prípade potreby upravili podľa našich požiadaviek:

- *http://biome.group.shef.ac.uk/members/head-of-group-professor-kevin-gaston/*
- *http://owenpetchey.staff.shef.ac.uk/Research/Research/Functioning.html*

- *http://villeger.sebastien.free.fr/Publications*

2.4.1 $FD_{petchey}$ – Functional dendrogram

$FD_{petchey}$ je mnohorozmerným spojitým spôsobom merania funkčnej diverzity, ktorý je vyjadrený celkovou dĺžkou vetiev funkčného dendrogramu (klasifikácie) (Petchey a Gaston 2002b). Metrika vychádza z 1) matice funkčných znakov (druhy spoločenstva S x T funkčné charakteristiky), ktorá je konvertovaná na 2) maticu distančnú (párové vzdialenosti medzi druhmi v mnohorozmernom funkčnom priestore). Ďalším dôležitým krokom je prevod distančnej matice 3) zhlukovacou metódou (klastrovou analýzou) na 4) funkčnú klasifikáciu – dendrogram (Petchey a Gaston 2002b). $FD_{petchey}$ vyžaduje viacero predpokladov pri výpočte a neuvažuje početnosti druhov. Taktiež nie je nezávislána druhovej bohatosti (SD), kedy so zvýšením SD dochádza k postupnému nárastu $FD_{petchey}$ (Mouchet a kol. 2010).

2.4.2 FD_Q - Rao´s quadratic entropy

FD_Q je mnohorozmernou spojitou metrikou funkčnej diverzity, ktorá je vyjadrením priemernej vzdialenosti dvoch náhode vybratých jedincov/druhov spoločenstva (Rao 1982; Botta-Dukát 2005; Ricotta 2005). Pre určenie hodnoty funkčnej diverzity postačuje menší počet predpokladov než u FD: 1) matica funkčných znakov (druhy spoločenstva S x T funkčné charakteristiky), ktorá je transformovaná na 2) maticu distančnú (párové vzdialenosti medzi druhmi v mnohorozmernom funkčnom priestore). FD_Q uvažuje pri kvantifikácii početnosti druhov. Poukazuje na rozsah funkčných charakteristík a rozmiestnenie, resp. vzdialenosť jednotlivých druhov vo funkčnom priestore. Pri nižšej priemernej vzdialenosti medzi druhmi pozorujeme vyššiu hustotu obsadenia funkčného priestoru. FD_Q je nezávislá na druhovej bohatosti (SD), teda pri zvýšení SD môže dôjsť a k zníženiu FD_Q (Mouchet a kol. 2010).

2.4.3 FRic – Functional richness

FRic je mnohorozmerným spojitým spôsobom merania funkčnej diverzity, ktorý je určený veľkosťou objemu funkčného priestoru, ktorý je reprezentovaný druhmi spoločenstva ako nositeľmi hodnôt funkčných charakteristík (Villéger a kol. 2008). Táto metrika stanovuje úroveň funkčnej diverzity priamo z matice funkčných znakov a ich

hodnôt (nízky počet krokov výpočtu). Pozícia druhov vo funkčnom priestore vytvára mnohorozmerný útvar „convex hull“ (Cornwell a kol. 2006), ktorého objem je meradlom obsadenosti funkčného priestoru druhmi spoločenstva. FRic nepočíta s početnosťami druhov, ale len s prítomnosťou/absenciou v spoločenstve. FRic nie je úplne nezávislá na druhovej bohatosti (SD). So zvýšením SD dochádza k nárastu FRic, ale jej hodnota s pridaním druhov môže zostať aj nezmenená (Villéger a kol. 2008).

2.5 STANOVENIE PROSTREDIA, DRUHOVEJ A FUNKČNEJ DIVERZITY

Rozčlenenie oblasti južnej Afriky, ktoré je predmetom nášho štúdia sme prebrali z databázy o rozšírení druhov SABAP1 (Harrison a kol. 1997). Územie je rozdelené štvorcovou sieťou na 1858 plôch určených súradnicami. Každá plocha o tvare štvorca so stranou dĺžky ~ 25 km (štvrtina geografického stupňa) predstavuje základnú jednotku plochy určenej pre analýzu dát. Rozloha štvorca sa pohybuje medzi 635 – 712 km^2 (rozdiel je spôsobený rozdielnou geografickou polohou a odlišným zakrivením zemského povrchu).

Pri spracovaní sme pre každú jednotku plochy (štvorec) určovali štyri parametre:

- typ habitatu prevládajúci na danej ploche
- hodnoty environmentálnych premenných na danom území
- úroveň druhovej diverzity
- úroveň funkčnej diverzity pre rôzne funkčné aspekty (morfológia, potravné preferencie, sociálno-reprodukčné parametre) s použitím rôznych metrík

Typ prevládajúceho biómu sme určili na základe percentuálneho zastúpenia jednotlivých typov prostredia v príslušnom štvorci. Pri finálnom výbere sme uvažovali habitat s viac než 50% prevahou v rámci rozlohy plochy. Predpokladáme, že typ prevládajúceho biómu môže poukázať na rozdiely v závislostiach medzi druhovou a funkčnou diverzitou. V analýzach sme nepoužili minoritne zastúpené biómy púšte a juhovýchodného oceanického pobrežného lemu. Rozlohou nerozsiahly lesný a krovinový bióm sme zlúčili do jedného z dôvodu plynulej geografickej nadväznosti a podobného druhového zloženia.

Hodnoty environmentálnych premenných sme získali z dostupných zdrojov o klimatických, vegetačných a topografických charakteristikách. Pre každý štvorec sme mali k dispozícii priemerné hodnoty všetkých sledovaných veličín

Informácie o druhovej diverzite sme čerpali z databázy SABAP1 (Southern African Bird Atlas Project) (Harrison a kol. 1997) s uvedením druhového rozšírenia naprieč regiónom južnej Afriky. Presahom geografických areálov v príslušných štvorcoch sme dostali úroveň druhovej bohatosti (počet druhov) na jednotku študovanej plochy.

Úroveň funkčnej diverzity sme stanovili na základe rôznych spôsobov merania funkčnej diverzity (FD, FD_Q a FRic). Pre každý štvorec sme vypočítali 12 hodnôt funkčnej diverzity (tri spôsoby merania FD, FD_Q, FRic x tri funkčné aspekty Morfo, Diet, Breed + komplexná funkčná diverzita).Podrobnejší popis použitých spôsobov merania funkčnej diverzity predstavuje kapitola 2.4.

Pre celkové spracovanie dát v diplomovej práci boli použité tieto programové balíky: R 2.15.1 (http://www.r-project.org/; R Development Core Team 2012), SAMv4.0 Software (http://www.ecoevol.ufg.br/sam/; Rangel a kol. 2006, 2010). Canoco 5 (http://www.canoco5.com/).

2.6 ANALÝZA FUNKČNEJ DIVERZITY

2.6.1 Priestorová variabilita funkčnej diverzity

V analýze sme popisovali priestorovú variabilitu funkčnej diverzity, pričom sme predpokladali nerovnomerné rozloženie naprieč oblasťou južnej Afriky. Pre grafickú vizualizáciu gradientov funkčnej diverzity vtáčích spoločenstiev naprieč oblasťou južnej Afriky sme použili údaje obsahujúce informáciu o súradniciach študovaných plôch a vypočítaných hodnotách funkčnej diverzity pre jednotlivé plochy. Pri spracovaní sme zvolili klasifikáciu na základe spôsobu merania funkčnej diverzity ($FD_{petchey}$, FD_Q a FRic) a následne študovaný funkčný aspekt (morfológia, potravné stratégie,

reprodukčné parametre). Sledovali sme rozdiely v priestorovom rozložení funkčnej diverzity založenej na jednotlivých funkčných aspektoch.

Pre prehľadnosť sme spracovali aj priestorovú variabilitu druhovej diverzity, podobným spôsobom ako u diverzity funkčnej.

Krabicovými diagramami sme znázornili rozdiely v hodnotách komplexnej funkčnej diverzity medzi príslušnými typmi habitatov. Pre zistenie signifikantnosti rozdielov medzi habitatmi sme použili analýzu ANOVA s post-hoc testami (funkcia TukeyHSD).

2.6.2 Vzťah medzi druhovou a funkčnou diverzitou

V otázke vzťahu medzi druhovou a funkčnou diverzitou sme testovali linearitu/nelinearitu závislostí, pričom sme sledovali tvar a sklon korelačných závislostí v rôznych typoch prostredia. K analýzam boli použité dátové súbory s uvedením poznatkov o druhovej a funkčnej diverzite Koncepcia dát je vytvorená tým spôsobom, že obsahuje údaje pre jednotlivé biómy, ktoré sú ďalej rozčlenené na jednotlivé funkčné aspekty (Morfo x Diet x Breed).

Pri spracovaní dát sme vychádzali z jednorozmerných regresných analýz. Vytvorili sme lineárne, prípadne kvadratické regresné modely a testovali ich vhodnosť na základe predikčnej schopnosti, určenej percentom vysvetlenej variability a testom signifikancie sklonu kriviek. Finálny výber preferovanej predikčnej závislosti bol uskutočnený na základe veľkosti hodnôt popisných štatistických parametrov $Pr(>|t|)$ pre sklon krivky a R^2-*adjusted*. Uskutočnili sme test signifikancie sklonov kriviek pomocou analýzy ANCOVA, pričom sme sledovali štatistickú významnosť rozdielnosti sklonu. Finálnym krokom bolo porovnanie tvaru a sklonu kriviek medzi rôznymi typmi prostredia a ich grafické vyjadrenie.

2.6.3 Relatívna funkčná diverzita

Pri sledovaní závislosti medzi druhovou a funkčnou diverzitou možno uvažovať o relatívnej funkčnej diverzite. Funkčná diverzita je relatívna voči druhovej, kedy pri istej druhovej bohatosti môžeme pozorovať rôznu úroveň funkčnej diverzity. Očakávaná funkčná diverzita je vyjadrená hodnotami odpovedajúcimi predikčnej krivke vzťahu medzi druhovou a funkčnou diverzitou. Relatívna funkčná diverzita je určená

reziduálmi vypočítanej funkčnej diverzity k očakávanej funkčnej diverzite a nadobúda kladné, resp. záporné hodnoty. K výpočtu relatívnej funkčnej diverzity sme použili závislosti medzi druhovou a komplexnou funkčnou diverzitou pre všetky spôsoby merania funkčnej diverzity (FD, FD_Q a FRic). Testovali sme vzťah medzi relatívnou funkčnou diverzitou a typom habitatov. Pre zistenie signifikantnosti rozdielov medzi habitatmi sme použili analýzu ANOVA s post-hoc testami (funkcia TukeyHSD). Pre grafické vyjadrenie závislostí sme použili krabicové diagramy.

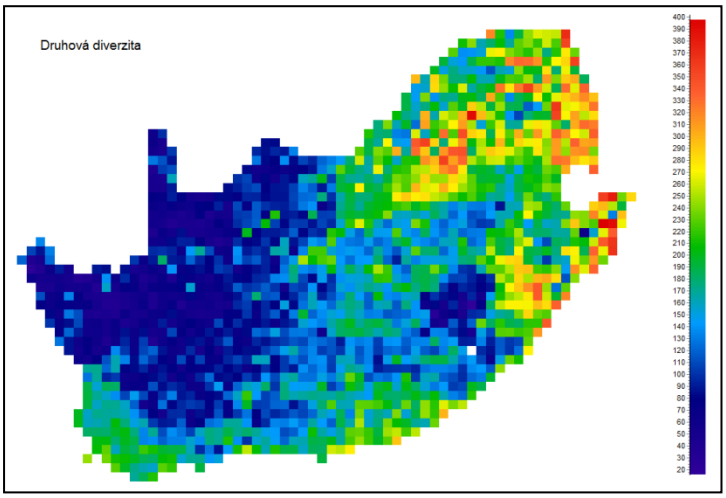
2.6.4 Vzťah medzi funkčným objemom a funkčnou hustotou

Rozličné spôsoby merania stanovujú rozličné aspekty funkčnej diverzity. FD_Q vyjadruje priemernú vzdialenosť medzi druhmi spoločenstva, čím poukazuje na funkčnú hustotu. FRic vyjadruje objemu mnohorozmerného útvaru, funkčného priestoru okupovaného druhmi spoločenstva. Súčasťou analýz bolo vyjadrenie vzťahu medzi FD_Q a FRic za účelom vizualizácie relatívneho nárastu jednotlivých funkčných aspektov (objem a hustota) a toho ako spolu súvisia. Pri spracovaní dát sme použili jednorozmerné regresné analýzy. Vytvorili sme lineárne, prípadne exponenciálne regresné modely a testovali ich vhodnosť na základe predikčnej schopnosti, určenej percentom vysvetlenej variability a testom signifikancie sklonu kriviek. Finálny výber preferovanej predikčnej závislosti bol uskutočnený na základe veľkosti hodnôt popisných štatistických parametrov $Pr(>|t|)$ pre sklon krivky a R^2-*adjusted*. Taktiež sme testovali relatívny nárast príslušných funkčných aspektov pre dané typy habitatu. Pre zistenie signifikantnosti rozdielov medzi jednotlivými habitatmi sme použili analýzu ANOVA s post-hoc testami (funkcia TukeyHSD). Pri vizualizácii sme použili krabicové diagramy.

3. VÝSLEDKY

3.1 GRADIENTY FUNKČNEJ DIVERZITY

Oblasť južnej Afriky sa vyznačuje priestorovou variabilitou v druhovej bohatosti a zložení. Pozorujeme longitudinálny gradient druhovej diverzity, pričom počet druhov so zemepisnou dĺžkou stúpa (obr. 12). Druhovo najchudobnejšie sú oblasti Nama Karoo, sukulentného Karoo a oblasť Lesotha, pre ktorú je typický vysoký elevačný gradient, a ktorá sa vyznačuje výraznejšie nižšou úrovňou diverzity než geograficky priľahlé oblasti. Druhovo najbohatšie sú prostredia fynbosu, lesov, krovín a savany.

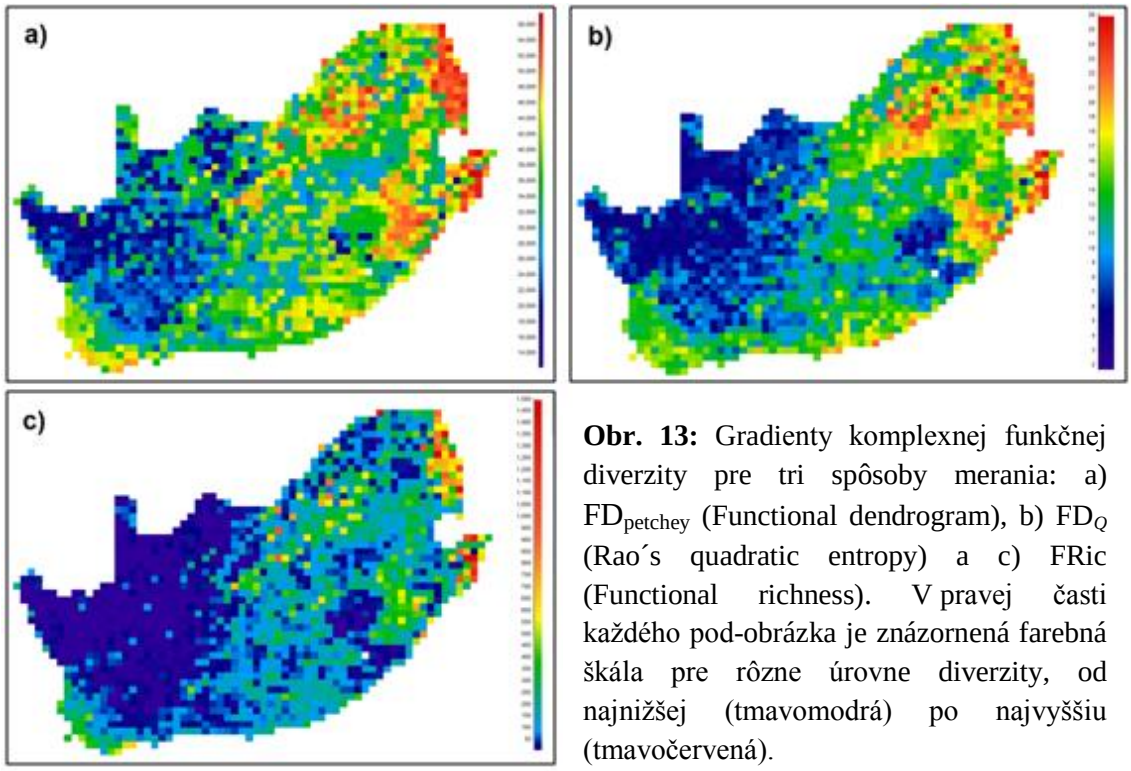


Obr. 12: Gradient druhovej diverzity (počet druhov) pre oblasť južnej Afriky. V pravej časti je znázornená farebná škála pre rôznu úroveň diverzity, od najnižšej (tmavomodrá) po najvyššiu (tmavočervená).

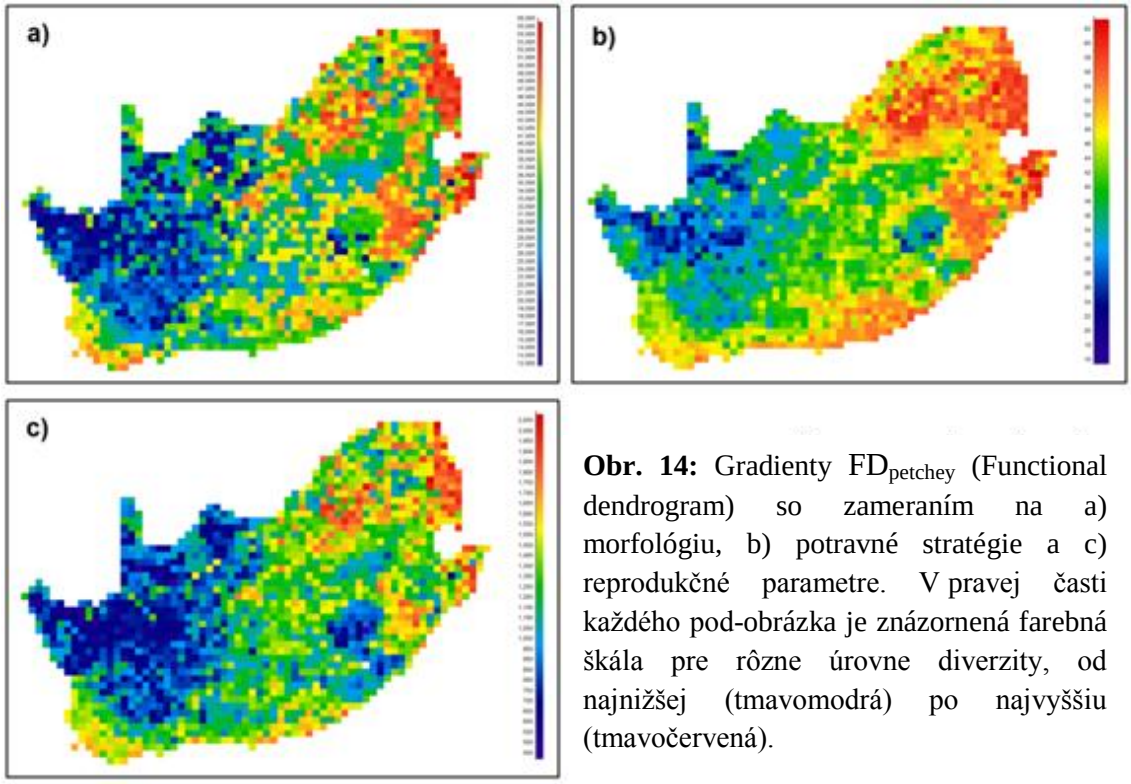
Priestorová variabilita vo funkčnej diverzite vykazuje na území juhoafrického regiónu podobný longitudinálny trend ako diverzita druhová. Funkčná diverzita so zemepisnou dĺžkou rastie. Funkčne najchudobnejšie habitaty predstavujú oblasti NamaKaroo, sukulentného Karoo a oblasť Lesotha. Najvyššia funkčná diverzita je typická pre oblasti fynbosu, lesných prostredí a pre savanový habitat.

Gradienty funkčnej diverzity sa do istej miery líšia, a to v zmysle študovaného funkčného aspektu (funkčný objem, hustota) alebo príslušnej skupiny funkčných znakov (morfológia, potravné preferencie, reprodukčné parametre).

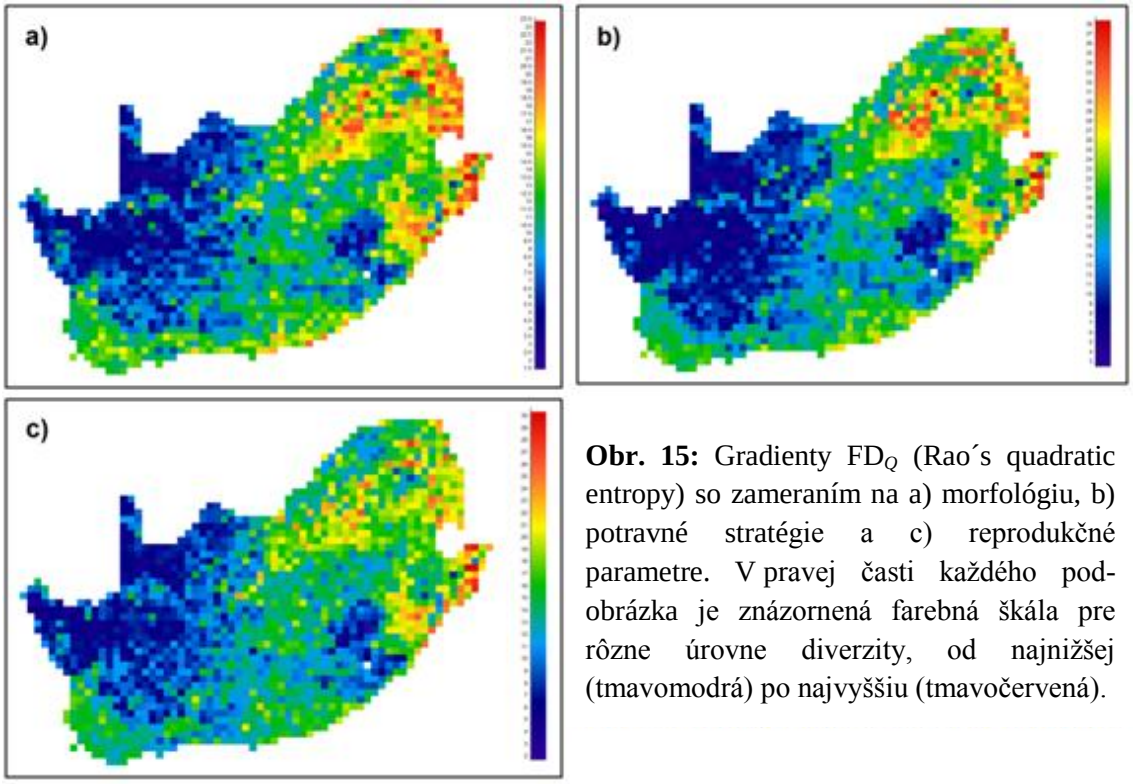
Gradienty komplexnej funkčnej diverzity založenej na všetkých funkčných charakteristikách sa odlišujú čo do funkčného objemu, resp. funkčnej hustoty/riedkosti. Funkčná hustota/riedkosť (FD_Q) rastie s druhovou diverzitou rovnomernejšie v porovnaní s funkčnou bohatosťou a objemom ($FD_{petchey}$, FRic), kde pozorujeme väčšie funkčné rozdiely vzhľadom na diverzitu druhovú (obr. 13).



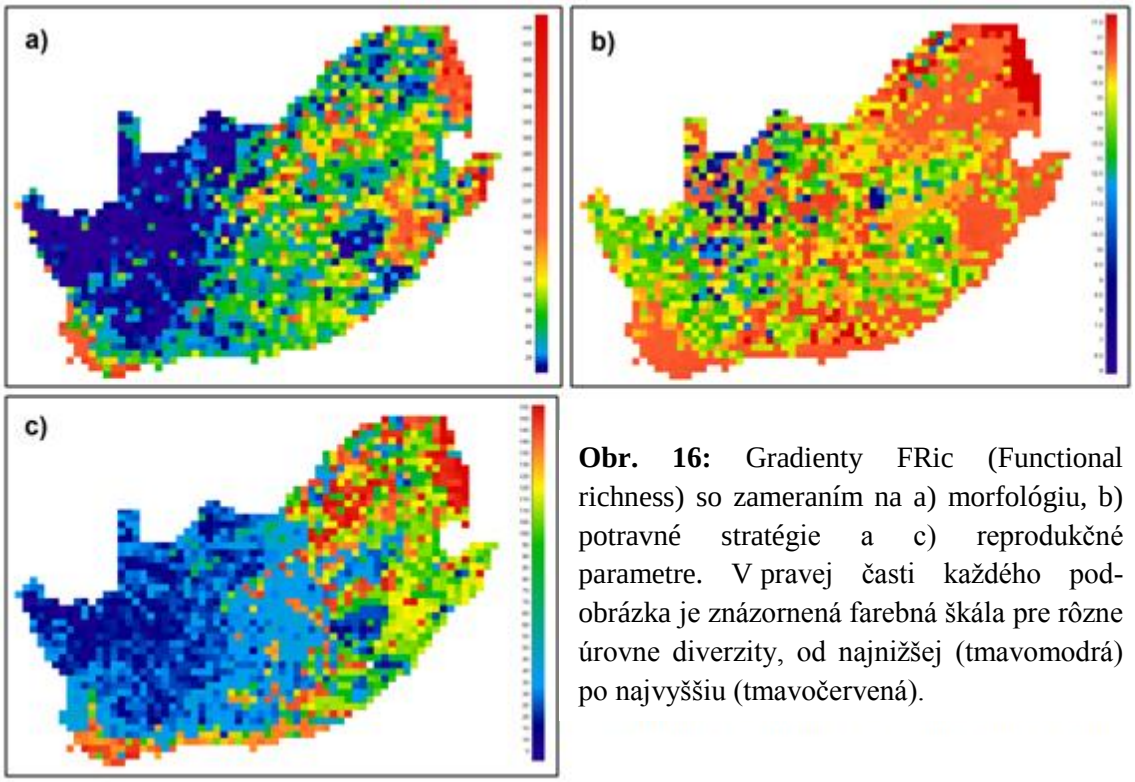
Obr. 13: Gradienty komplexnej funkčnej diverzity pre tri spôsoby merania: a) $FD_{petchey}$ (Functional dendrogram), b) FD_Q (Rao´s quadratic entropy) a c) FRic (Functional richness). V pravej časti každého pod-obrázka je znázornená farebná škála pre rôzne úrovne diverzity, od najnižšej (tmavomodrá) po najvyššiu (tmavočervená).



Obr. 14: Gradienty $FD_{petchey}$ (Functional dendrogram) so zameraním na a) morfológiu, b) potravné stratégie a c) reprodukčné parametre. V pravej časti každého pod-obrázka je znázornená farebná škála pre rôzne úrovne diverzity, od najnižšej (tmavomodrá) po najvyššiu (tmavočervená).



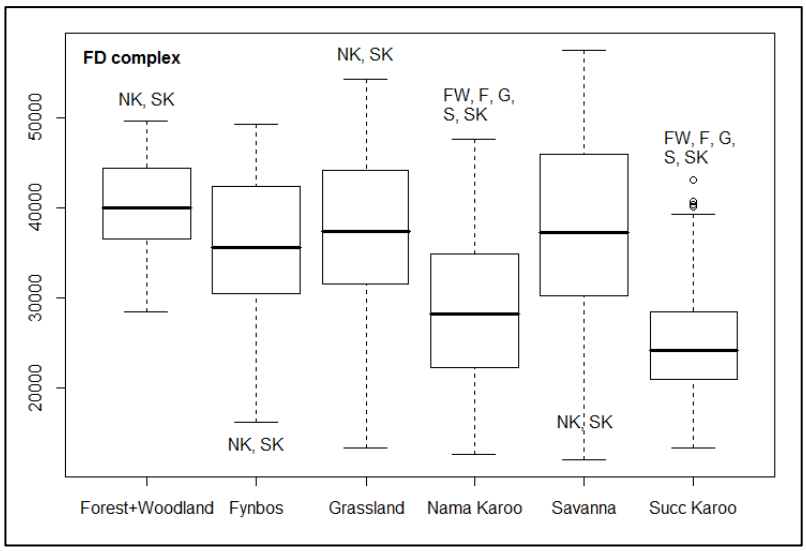
Obr. 15: Gradienty FD_Q (Rao´s quadratic entropy) so zameraním na a) morfológiu, b) potravné stratégie a c) reprodukčné parametre. V pravej časti každého pod-obrázka je znázornená farebná škála pre rôzne úrovne diverzity, od najnižšej (tmavomodrá) po najvyššiu (tmavočervená).



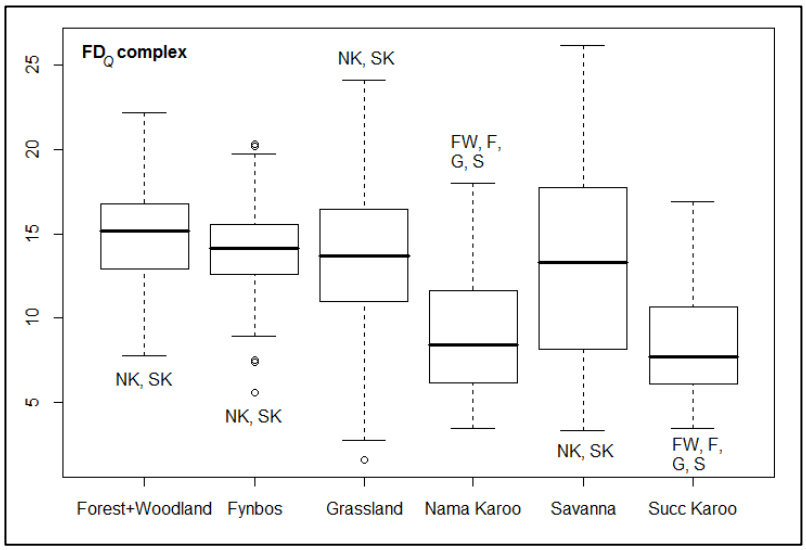
Obr. 16: Gradienty FRic (Functional richness) so zameraním na a) morfológiu, b) potravné stratégie a c) reprodukčné parametre. V pravej časti každého pod-obrázka je znázornená farebná škála pre rôzne úrovne diverzity, od najnižšej (tmavomodrá) po najvyššiu (tmavočervená).

Gradienty funkčnej diverzity založené na jednotlivých skupinách funkčných charakteristík tiež vykazujú isté odlišnosti (obr. 14-16). Funkčná diverzita založená na morfologických a sociálno-reprodukčných parametroch sa vyznačuje rovnomernejším nárastom a má podobné priestorové usporiadanie ako druhová diverzita (obr. 14a, 14c; obr. 15a, 15c; obr. 16a, 16c). U potravných preferencií pozorujeme na daný počet druhov relatívne vyššiu funkčnú diverzitu než u morfológie a reprodukčných parametrov. Úroveň potravnej funkčnej diverzity má vyrovnanejšie usporiadanie s menšími rozdielmi na území študovanej oblasti (obr. 14b; obr. 15b; obr. 16b).

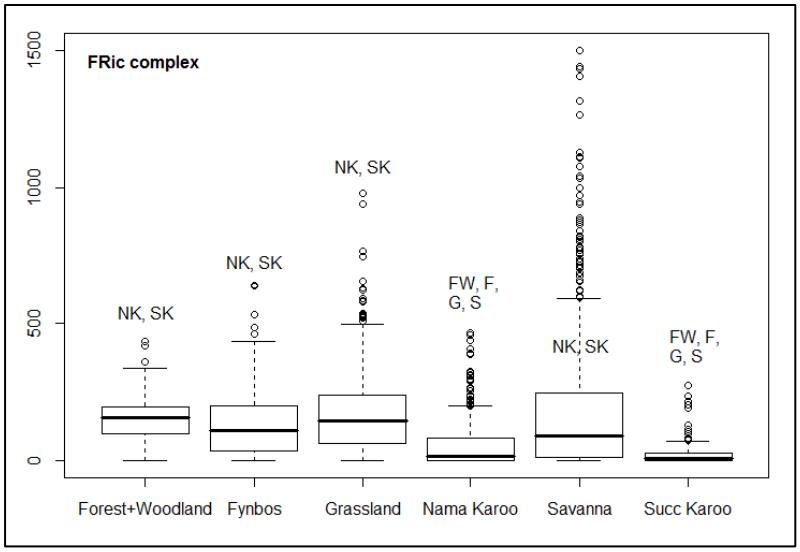
Súčasťou analýz je taktiež grafické vyjadrenie hodnôt funkčnej diverzity naprieč jednotlivými habitatmi krabicovými diagramami. Najvyššiu priemernú hladinu FD pozorujeme v lesoch, savane a trávnatých oblastiach, naopak najnižšiu v Nama Karoo a sukulentnom Karoo (obr. 17-19).



Obr. 17: Rozdiely komplexnej funkčnej diverzity (FD complex) pre jednotlivé habitaty. Použitý spôsob merania funkčnej diverzity - $FD_{petchey}$ (Functional dendrogram). Začiatočné písmená habitatov pod príslušným diagramom poukazujú na habitaty, ktoré sú od neho v danej premennej signifikantne odlišné.



Obr. 18: Rozdiely komplexnej funkčnej diverzity (FD_Q complex) pre jednotlivé habitaty. Použitý spôsob merania funkčnej diverzity – FD_Q (Rao´s quadratic entropy). Začiatočné písmená habitatov pod príslušným diagramom poukazujú na habitaty, ktoré sú od neho v danej premennej signifikantne odlišné.



Obr. 19: Rozdiely komplexnej funkčnej diverzity (FRic complex) pre jednotlivé habitatoy. Použitý spôsob merania funkčnej diverzity – FRic (Functional richness). Začiatočné písmená habitatov pod príslušným diagramom poukazujú na habitaty, ktoré sú od neho v danej premennej signifikantne odlišné.

Prehľad štatistických parametrov analýzy ANOVA zobrazuje tabuľka10. Prehľad signifikantnosti rozdielov medzi jednotlivými typmi habitatov pre príslušné metriky funkčnej diverzity zobrazujú tabuľky 11-13. Celkovo pozorujeme výraznejší rozdiel v úrovni funkčnej diverzity medzi dvoma skupinami habitatov: produktívnejšími (lesy, savany, trávnaté oblasti) a menej produktívnymi (Nama Karoo, sukulentné Karoo) oblasťami. V rámci týchto skupín ale vo väčšine prípadov nepozorujeme signifikantný rozdiel a odlišnosti vo funkčnej diverzite nie sú až tak výrazné.

Tabuľka 10: Prehľad štatistických parametrov analýzy ANOVA pre rozdiely vo funkčnej diverzite medzi rôznymi typmi habitatov.

Metrika funkčnej diverzity	F-statistika	Df	p-value
FD complex	103,1	5; 1852	<2,2e-16
Rao complex	97,26	5; 1852	<2,2e-16
FRic complex	44,06	5; 1852	<2,2e-16

Tabuľka 11: Prehľad signifikancie rozdielov vo funkčnej diverzite $FD_{petchey}$ pre rozličné typy habitatov. V tabuľke sú uvedené p-value hodnoty post hoc testu (zelené – signifikantné, červené – nesignifikatné).

FD	Forest + Woodland	Fynbos	Grassland	Nama Karoo	Savanna	Succulent Karoo
Forest + Woodland	X					
Fynbos	0.0839028	X				
Grassland	0.5796066	0.3479793	X			
Nama Karoo	0	0	0	X		
Savanna	0.3570097	0.6222075	0.9713609	0	X	
Succulent Karoo	0	0	0	0.0002676	0	X

Tabuľka 12: Prehľad signifikancie rozdielov vo funkčnej diverzite FD_Q pre rozličné typy habitatov. V tabuľke sú uvedené p-value hodnoty post hoc testu (zelené – signifikantné, červené – nesignifikatné).

Rao	Forest + Woodland	Fynbos	Grassland	Nama Karoo	Savanna	Succulent Karoo
Forest + Woodland	X					
Fynbos	0.6593813	X				
Grassland	0.1913855	0.9632714	X			
Nama Karoo	0	0	0	X		
Savanna	0.0632889	0.6893456	0.908988	0	X	
Succulent Karoo	0	0	0	0.8920314	0	X

Tabuľka 13: Prehľad signifikancie rozdielov vo funkčnej diverzite FRic pre rozličné typy habitatov. V tabuľke sú uvedené p-value hodnoty post hoc testu (zelené – signifikantné, červené – nesignifikatné).

Fric	Forest + Woodland	Fynbos	Grassland	Nama Karoo	Savanna	Succulent Karoo
Forest + Woodland	X					
Fynbos	0.9891195	X				
Grassland	0.9988104	0.6245081	X			
Nama Karoo	0.0006228	0.0000319	0	X		
Savanna	0.8577113	0.0803719	0.470261	0	X	
Succulent Karoo	0.0000585	0.0000051	0	0.6019978	0	X

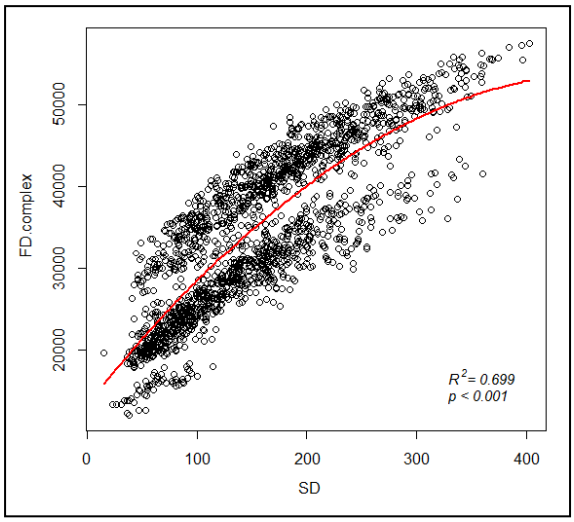
3.2 VZŤAH MEDZI DRUHOVOU A FUNKČNOU DIVERZITOU

Na území južnej Afriky pozorujeme pozitívnu závislosť medzi druhovou a funkčnou diverzitou. Priebeh nárastu funkčnej diverzity sa do istej miery odlišuje, v závislosti na type funkčného aspektu, resp. spôsobu merania funkčnej diverzity (obr. 20-22).

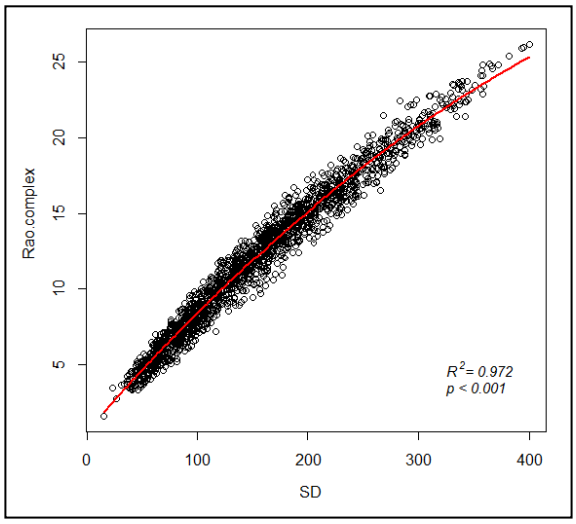
V prípade funkčnej bohatosti $FD_{petchey}$, pri nižšej druhovej diverzite rastie funkčná diverzita relatívne rýchlejšie. Pri vysokých hodnotách druhovej diverzity sa nárast funkčnej diverzity spomaľuje a krivka závislosti sa asymptoticky zakrivuje (obr. 20). Pre fitovanie modelu sme použili kvadratickú funkciu (F-statistic: 2162 on 2 and 1855 DF, p-value: < 2,2e-16).

V prípade funkčnej hustoty/riedkosti FD_Q pozorujeme rovnomernejší nárast funkčnej diverzity s diverzitou druhovou, pričom krivka závislosti sa zakrivuje len minimálne (obr. 21). Pre fitovanie modelu sme použili kvadratickú funkciu (F-statistic: 3.185e+04 on 2 and 1855 DF, p-value: < 2,2e-16).

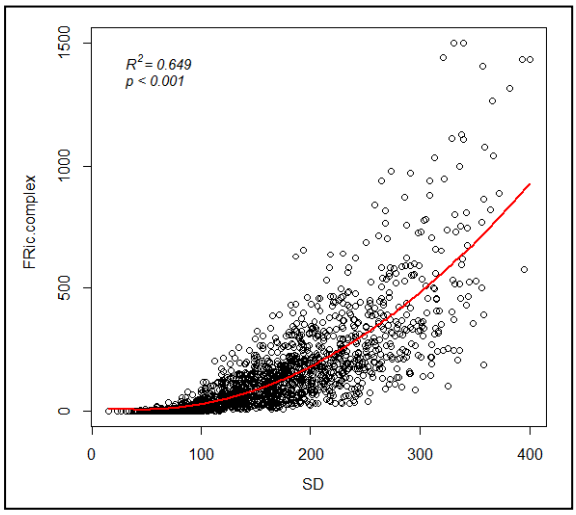
Funkčná bohatosť (objem) FRic stúpa pri nízkej úrovni druhovej diverzity s malým sklonom krivky. Až pri stredných hodnotách druhovej diverzity dochádza k relatívne vyššiemu nárastu funkčnej diverzity, pričom krivka sa zakrivuje nahor (obr. 22). Pre fitovanie modelu sme použili kvadratickú funkciu (F-statistic: 1721 on 2 and 1855 DF, p-value: < 2,2e-16).



Obr. 20: Vzťah medzi druhovou (SD) a komplexnou funkčnou diverzitou (FD.complex). Použitý spôsob merania funkčnej diverzity – $FD_{petchey}$ (Functional dendrogram).



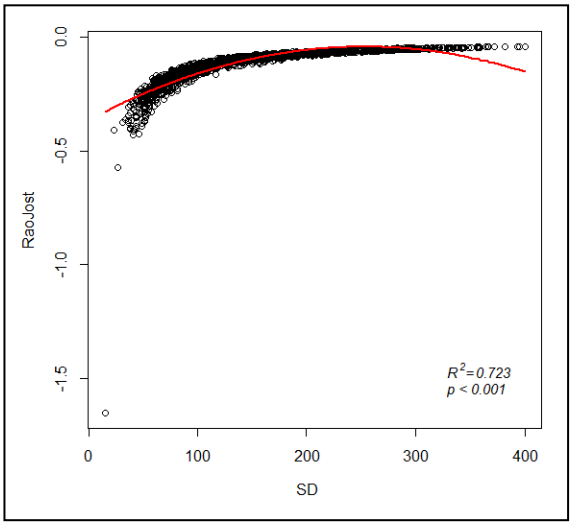
Obr. 21: Vzťah medzi druhovou (SD) a komplexnou funkčnou diverzitou (Rao.complex). Použitý spôsob merania funkčnej diverzity – FD_Q (Rao´s quadratic entropy).



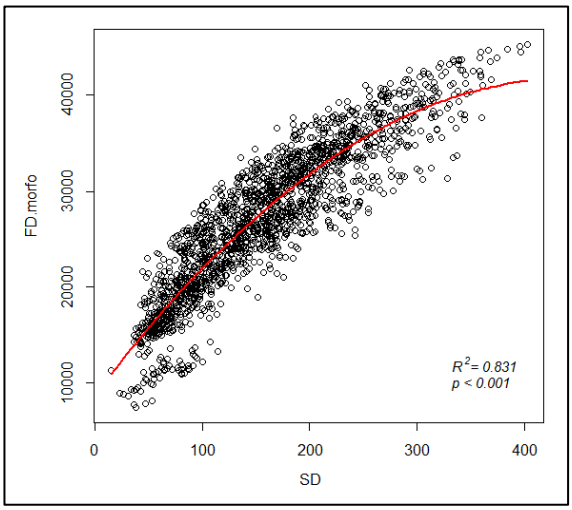
Obr. 22: Vzťah medzi druhovou (SD) a komplexnou funkčnou diverzitou (FRic.complex). Použitý spôsob merania funkčnej diverzity – FRic (Functional richness).

Pri výpočtoch funkčnej diverzity a následných koreláciách s diverzitou druhovou je možno uvažovať o rôznych modifikáciách a korekciách (obr. 23, obr. 24). Po použití Jostovej korekcie pre FD_Q (Jost 2006), ktorá zvyšuje úroveň funkčnej diverzity, tým že funkčnú rozdielnosť vo forme entropie prekonvertuje na efektívnu početnosť druhov v spoločenstve pri štatistickom spracovaní (Jost 2006). Po Jostovej korekcii krivka závislosti medzi druhovou a funkčnú hustotou/riedkosťou sleduje klasický pattern asymptotického zakrivenia pri vyššom počte druhov (F-statistic: 2422 on 2 and 1855 DF, p-value: < 2.2e-16) (obr. 23).

Druhy, ktoré sú nositeľmi extrémnych, prípadne unikátnych hodnôt funkčných znakov často ovplyvňujú úroveň funkčnej diverzity výraznou mierou. Po odstránení druhov s vysokými hodnotami funkčných charakteristík (odľahlými hodnotami) u morfologického funkčného rozsahu $FD_{petchey}$ pozorujeme vymiznutie rozdelenia bodov študovaných plôch na dve skupiny (F-statistic: 2478e+02 on 2 and 1853 DF, p-value: < 2,2e-16)(obr. 24). Zrejmé je taktiež zníženie hodnôt funkčnej diverzity. Pre porovnanie závislostí pozri obrázky 20 a 24.



Obr. 23: Vzťah medzi druhovou (SD) a komplexnou funkčnou diverzitou (RaoJost) s použitím Jostovej korekcie. Použitý spôsob merania funkčnej diverzity – FD_Q (Rao´s quadratic entropy).



Obr. 24: Vzťah medzi druhovou (SD) a morfologickou funkčnou diverzitou (FD.morfo). Použitý spôsob merania funkčnej diverzity – $FD_{petchey}$ (Functional dendrogram).

3.2.1 $FD_{petchey}$ – Functional dendrogram

Vzťah medzi funkčnou bohatosťou $FD_{petchey}$ a druhovou diverzitou má rôzny priebeh. Tvary korelačných kriviek a sklony priamok sa líšia v závislosti na type funkčných charakteristík a type prostredia (obr. 25-32).

Komplexná funkčná bohatosť ako celok sa vyznačuje relatívne lineárnym nárastom vzhľadom k diverzite druhovej. V oblasti Nama Karoo a v savane sa krivka závislosti mierne zakrivuje, v ostatných typoch prostredia vykazuje lineárny priebeh. Najväčšiu mieru zakrivenia vykazuje závislosť v oblasti saván (obr. 25). Najrýchlejší nárast funkčnej diverzity pozorujeme v oblasti fynbosu, kde je naopak relatívne najnižšia funkčná diverzita pri nízkej druhovej bohatosti, v porovnaní s ostatnými typmi prostredia. Relatívne najvyššiu funkčnú diverzitu pri nízkej druhovej bohatosti vykazuje lesný bióm a oblasť trávnatých stepí. Pri ďalšom zvyšovaní druhovej diverzity, ale funkčná diverzita rastie najpomalšie (obr. 26).

Morfologická funkčná bohatosť sa vyznačuje taktiež relatívne lineárnym nárastom vzhľadom k diverzite druhovej a celkový pattern je podobný ako u komplexnej funkčnej diverzity. V lesnom habitate a v sukuletnom Karoo má krivka závislosti lineárny priebeh, v ostatných typoch prostredia sa mierne zakrivuje. Najväčšiu mieru zakrivenia vykazuje závislosť v oblasti fynbosu (obr. 27). Najrýchlejší nárast funkčnej diverzity pozorujeme v oblasti fynbosu, kde je naopak relatívne najnižšia funkčná diverzita pri nízkej druhovej bohatosti, v porovnaní s ostatnými typmi prostredia. Relatívne najvyššiu funkčnú diverzitu pri nízkej druhovej bohatosti vykazuje lesný bióm a oblasť trávnatých stepí. Pri ďalšom zvyšovaní druhovej diverzity, ale funkčná diverzita rastie najpomalšie (obr. 28).

U potravnej funkčnej bohatosti pozorujeme nerovnomerný nárast vzhľadom na diverzitu druhovú. Pre všetky habitaty je typické asymptotické zakrivenie závislostí pri vyššej druhovej diverzite (obr. 29). Krivky vzťahu medzi druhovou a funkčnou diverzitou sa priebehom líšia, ale trend nie je až tak výrazný ako u bohatosti morfologickej (obr. 30). Najrýchlejší nárast funkčnej diverzity pozorujeme v oblasti Nama Karoo, kde je naopak relatívne najnižšia funkčná diverzita pri nízkej druhovej bohatosti, v porovnaní s ostatnými habitatmi. Relatívne najvyššiu funkčnú diverzitu pri nízkej druhovej bohatosti vykazuje lesný bióm. Pri ďalšom zvyšovaní druhovej diverzity, ale funkčná diverzita rastie najpomalšie (obr. 30).

Reprodukčná funkčná bohatosť sa vyznačuje nelineárnym nárastom s diverzitou druhovou, pre všetky habitaty s výnimkou sukulentného Karoo. Najvyššou úrovňou zakrivenia sa vyznačuje SD x $FD_{petchey}$ závislosť pre trávnatý bióm (obr. 31). Najrýchlejší nárast funkčnej diverzity pozorujeme v oblasti lesov a krovín, kde je naopak relatívne najnižšia funkčná diverzita pri nízkej druhovej bohatosti, v porovnaní s ostatnými habitatmi. Relatívne najvyššiu funkčnú diverzitu pri nízkej druhovej bohatosti vykazuje oblasť savany. Pri postupnom zvyšovaní druhovej diverzity, ale funkčná diverzita rastie najpomalšie (obr. 32).

Prehľad rovníc závislostí medzi druhovou a funkčnou diverzitou $FD_{petchey}$ v logaritmickej mierke pre rozličné funkčné aspekty a typy habitatov zobrazuje tabuľka 14. Prehľad signifikancie rozdielov sklonov (ANCOVA) závislosti medzi druhovou a funkčnou diverzitou $FD_{petchey}$ v logaritmickej mierke pre rozličné typy habitatov zobrazuje tabuľka 15.

Tabuľka 14: Prehľad rovníc závislostí medzi druhovou a funkčnou diverzitou $FD_{petchey}$ v logaritmickej mierke pre rozličné funkčné aspekty a typy habitatov.

Habitat	FD			
	Complex	Morfo	Diet	Breed
Forest + Woodland	y = 0,4033x + 3,6717	y = 0,3981x + 3,6732	y = 0,3173x + 0,9794	y = 0,6937x + 1,5661
Fynbos	y = 0,6202x + 3,1679	y = 0,6426x + 3,1089	y = 0,3585x + 0,8673	y = 0,6764x + 1,6404
Grassland	y = 0,3584x + 3,7739	y = 0,3559x + 3,7692	y = 0,3650x + 0,8476	y = 0,5468x + 1,9021
Nama Karoo	y = 0,5411x + 3,3667	y = 0,5434x + 3,3519	y = 0,4440x + 0,6725	y = 0,6428x + 1,7083
Savanna	y = 0,4565x + 3,5483	y = 0,4561x + 3,5387	y = 0,4014x + 0,7681	y = 0,5382x + 1,9164
Succulent Karoo	y = 0,4884x + 3,4429	y = 0,4828x + 3,4425	y = 0,3506x + 0,8714	y = 0,5754x + 1,8466

Tabuľka 15: Prehľad signifikancie rozdielov sklonov (ANCOVA) závislosti medzi druhovou a funkčnou diverzitou $FD_{petchey}$ v logaritmickej mierke pre rozličné typy habitatov.

FD	Forest + Woodland	Fynbos	Grassland	Nama Karoo	Savanna	Succulent Karoo
Forest + Woodland	X					
Fynbos	0.00452	X				
Grassland	0.685	0.000352	X			
Nama Karoo	6.53E-07	0.137	< 2e-16	X		
Savanna	0.197	0.0161	0.00119	2.25E-16	X	
Succulent Karoo	0.000552	0.843	0.00032	0.0587	0.02	X

Prehľad štatistických parametrov analýz ANCOVA pre rozdiely vo vzťahu medzi druhovou a funkčnou diverzitou $FD_{petchey}$ (rozličnými funkčnými aspektmi) medzi rôznymi typmi habitatov zobrazujú tabuľky 16 - 19.

Tabuľka 16: Prehľad štatistických parametrov analýzy ANCOVA pre rozdiely vo vzťahu medzi druhovou (logSD) a komplexnou funkčnou diverzitou (logFD.complex) medzi rôznymi typmi habitatov (PH).

	logFD.complex ~logSD * PH		
ANCOVA	DF	F value	p-value
logSD	1	4463.5	< 2e-16
PH	5	11.28	9,82e-11
logSD:PH	5	12.09	1,53e-11
Residuals	1846		

Tabuľka 17: Prehľad štatistických parametrov analýzy ANCOVA pre rozdiely vo vzťahu medzi druhovou (logSD) a morfologickou funkčnou diverzitou (logFD.morfo) medzi rôznymi typmi habitatov (PH).

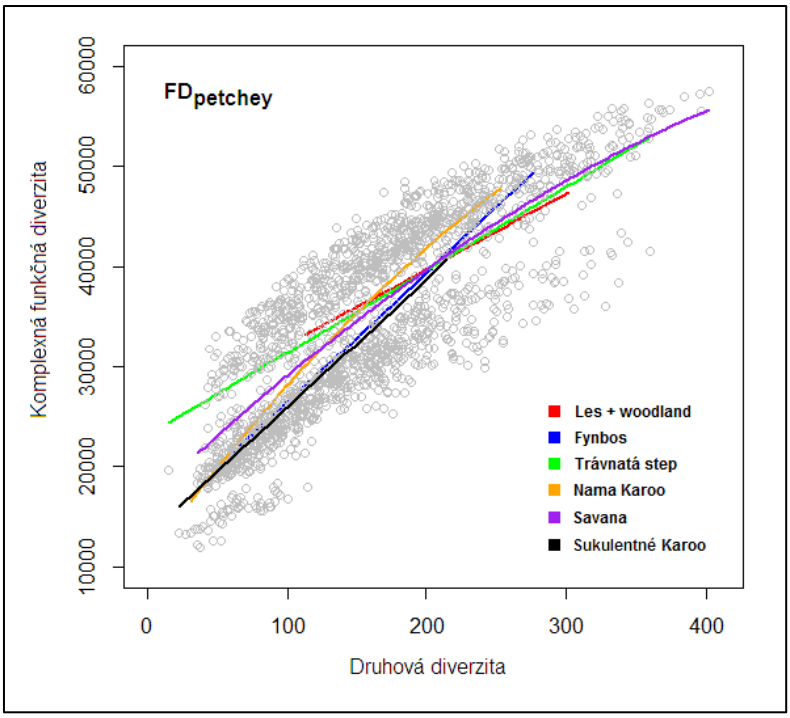
	logFD.morfo ~logSD * PH		
ANCOVA	DF	F value	p-value
logSD	1	4399.55	< 2e-16
PH	5	11.25	1,06e-10
logSD:PH	5	12.33	8,81e-12
Residuals	1846		

Tabuľka 18: Prehľad štatistických parametrov analýzy ANCOVA pre rozdiely vo vzťahu medzi druhovou (logSD) a potravnou funkčnou diverzitou (logFD.diet) medzi rôznymi typmi habitatov (PH).

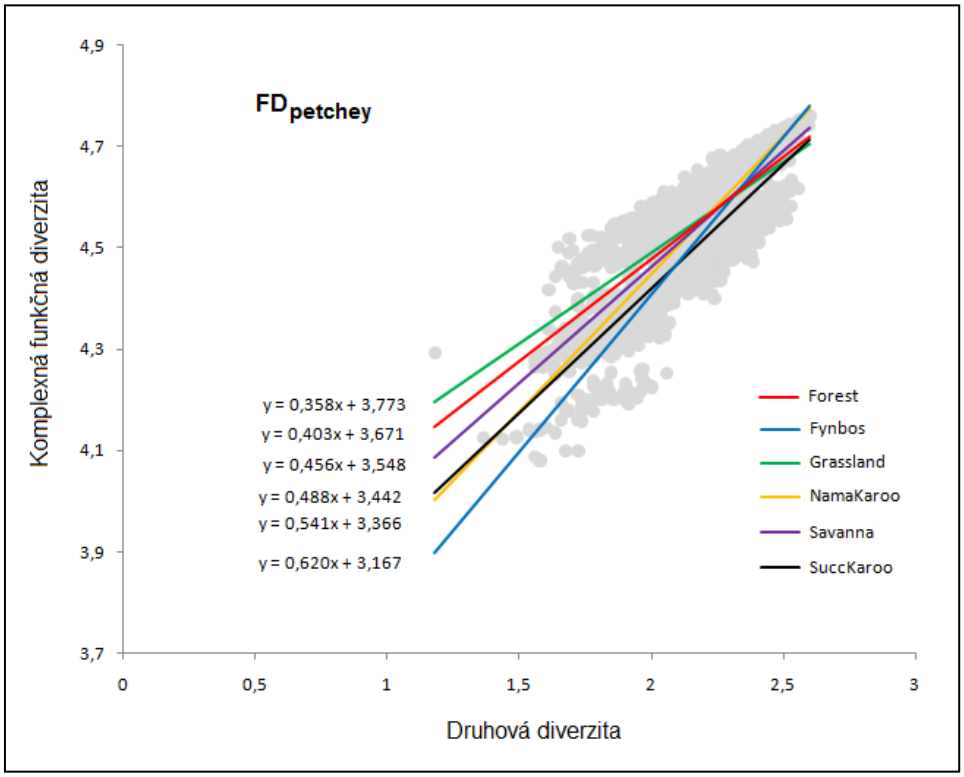
	logFD.diet ~logSD * PH		
ANCOVA	DF	F value	p-value
logSD	1	17810.45	< 2e-16
PH	5	14.58	4,86e-14
logSD:PH	5	14.36	8,18e-14
Residuals	1846		

Tabuľka 19: Prehľad štatistických parametrov analýzy ANCOVA pre rozdiely vo vzťahu medzi druhovou (logSD) a reprodukčnou funkčnou diverzitou (logFD.breed) medzi rôznymi typmi habitatov (PH).

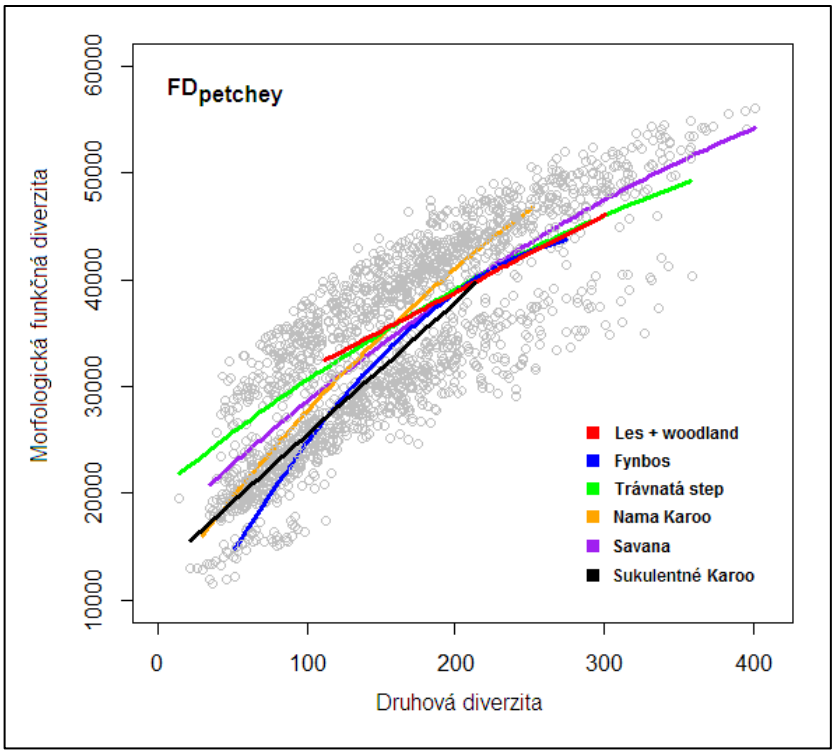
	logFD.breed ~logSD * PH		
ANCOVA	DF	F value	p-value
logSD	1	16531.61	< 2e-16
PH	5	10.63	4,37e-10
logSD:PH	5	14.88	2,43e-14
Residuals	1846		



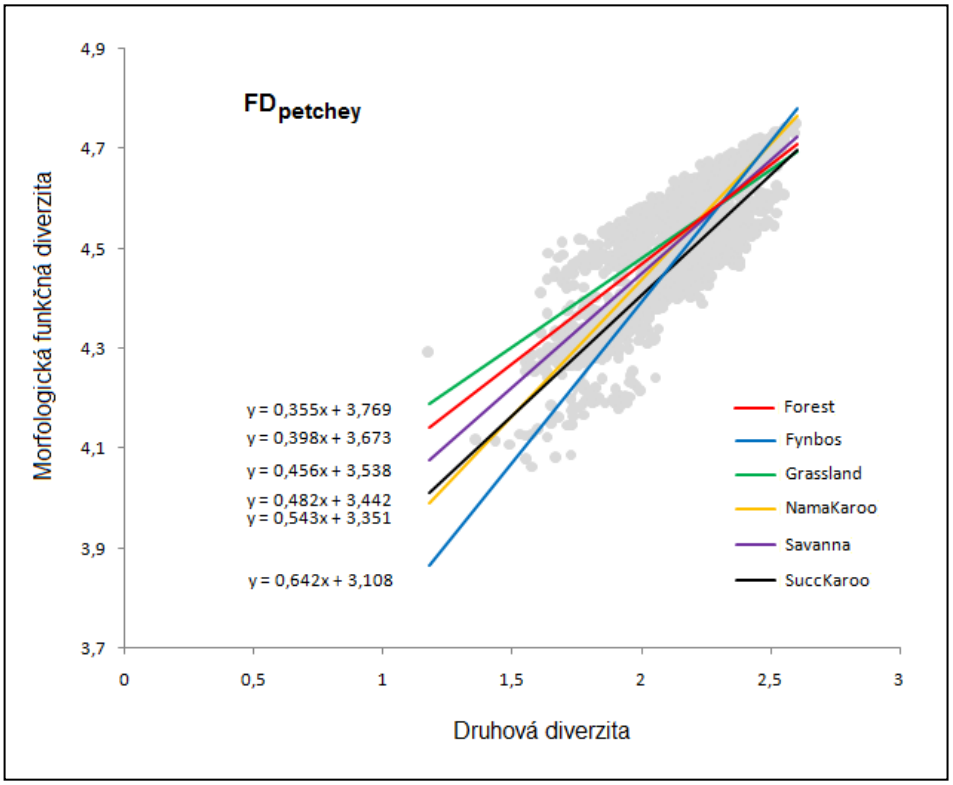
Obr. 25: Porovnanie závislostí (tvaru a sklonu kriviek) medzi komplexnou funkčnou a druhovou diverzitou pre rôzne typy prostredia. Legenda – farebne odlíšená príslušnosť kriviek k jednotlivým typom biómov.



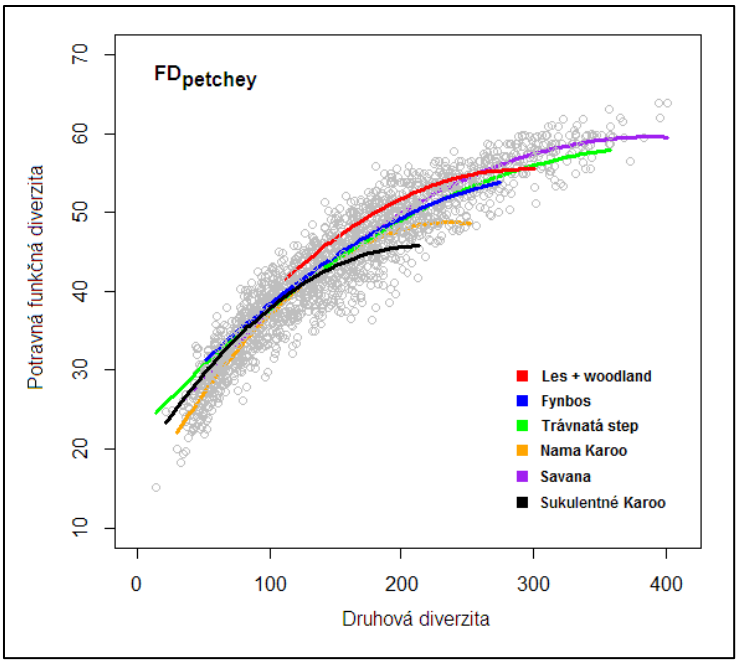
Obr. 26: Porovnanie závislostí (sklonu kriviek) medzi komplexnou funkčnou a druhovou diverzitou pre rôzne typy prostredia v logaritmickej mierke. Legenda – farebne odlíšená príslušnosť kriviek k jednotlivým typom biómov.



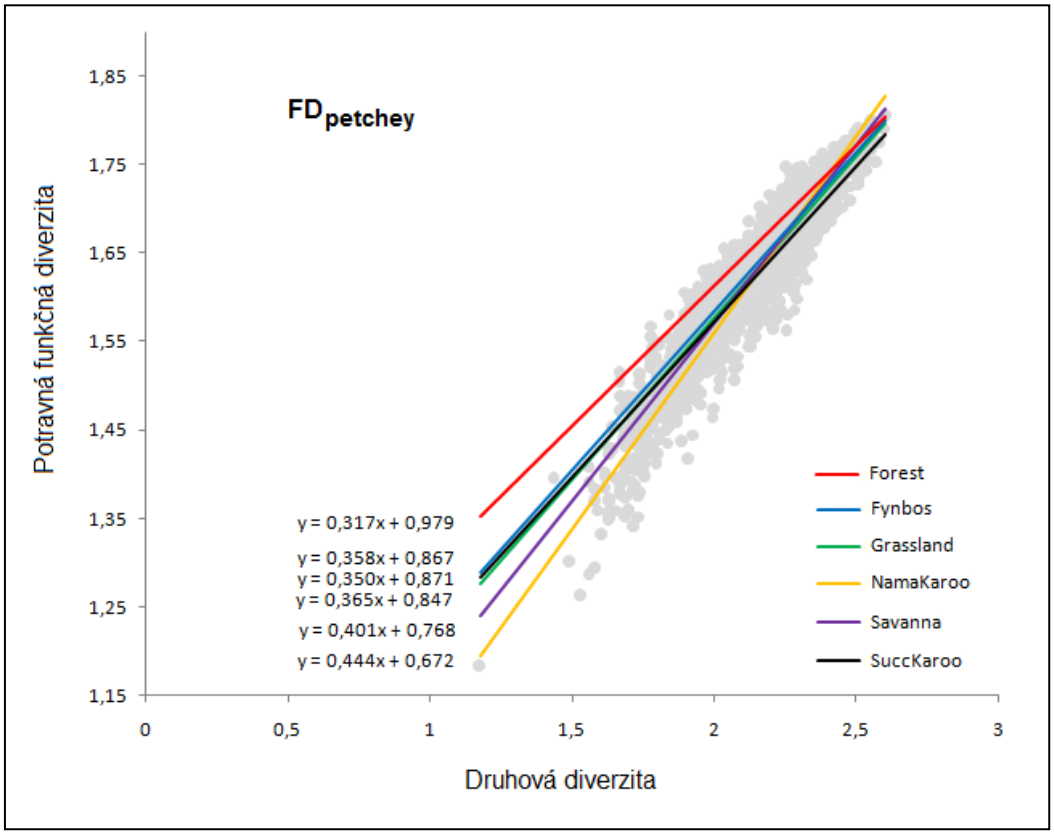
Obr. 27: Porovnanie závislostí (tvaru a sklonu kriviek) medzi morfologickou funkčnou a druhovou diverzitou pre rôzne typy prostredia. Legenda – farebne odlíšená príslušnosť kriviek k jednotlivým typom biómov.



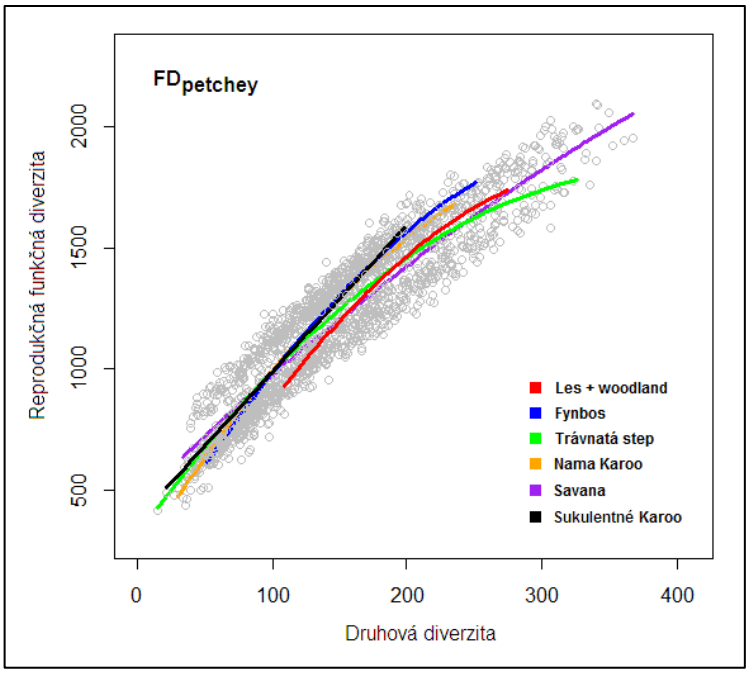
Obr. 28: Porovnanie závislostí (sklonu kriviek) medzi morfologickou funkčnou a druhovou diverzitou pre rôzne typy prostredia v logaritmickej mierke. Legenda – farebne odlíšená príslušnosť kriviek k jednotlivým typom biómov.



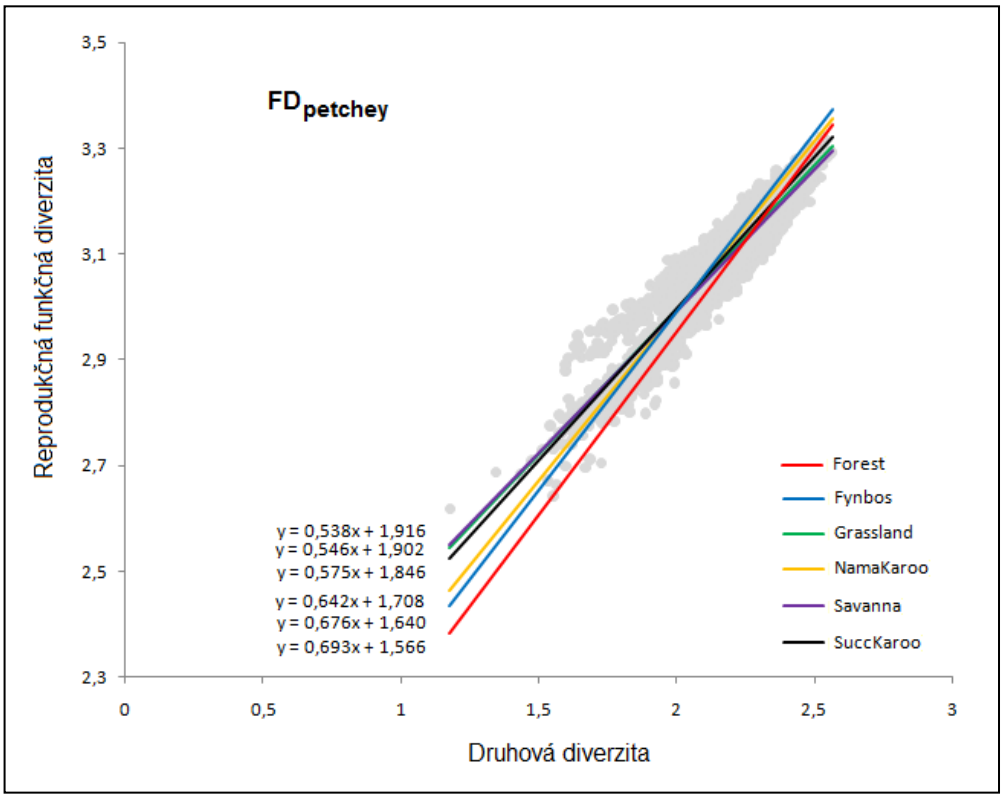
Obr. 29: Porovnanie závislostí (tvaru a sklonu kriviek) medzi potravnou funkčnou a druhovou diverzitou pre rôzne typy prostredia. Legenda – farebne odlíšená príslušnosť kriviek k jednotlivým typom biómov.



Obr. 30: Porovnanie závislostí (sklonu kriviek) medzi potravnou funkčnou a druhovou diverzitou pre rôzne typy prostredia v logaritmickej mierke. Legenda – farebne odlíšená príslušnosť kriviek k jednotlivým typom biómov.



Obr. 31: Porovnanie závislostí (tvaru a sklonu kriviek) medzi reprodukčnou funkčnou a druhovou diverzitou pre rôzne typy prostredia. Legenda – farebne odlíšená príslušnosť kriviek k jednotlivým typom biómov.



Obr. 32: Porovnanie závislostí (sklonu kriviek) medzi reprodukčnou funkčnou a druhovou diverzitou pre rôzne typy prostredia v logaritmickej mierke. Legenda – farebne odlíšená príslušnosť kriviek k jednotlivým typom biómov.

3.2.2 FD_Q – Rao´s quadratic entropy

Vo vzťahu medzi funkčnou hustotou/riedkosťou FD_Q a druhovou diverzitou pozorujeme rozličný priebeh závislostí. Tvary a sklony korelačných kriviek sa líšia v závislosti na type funkčných charakteristík a type prostredia (obr. 33-40).

Komplexná FD_Q sa vyznačuje lineárnym rovnomerným nárastom vzhľadom k diverzite druhovej. Vo všetkých habitatoch má krivka závislosti lineárny priebeh, s výnimkou savany a trávnatých oblastí, kde sa nepatrne zakrivuje smerom nadol. Najväčšiu mieru zakrivenia vykazuje závislosť v oblasti trávnatých plôch (obr. 33). Najrýchlejší nárast funkčnej diverzity pozorujeme v prostredí savany, kde je naopak relatívne najnižšia funkčná diverzita pri nízkej druhovej bohatosti, v porovnaní s ostatnými typmi habitatov. Relatívne najvyššiu funkčnú diverzitu pri nízkej druhovej bohatosti vykazuje bióm fynbos a oblasť sukulentného Karoo. Pri ďalšom zvyšovaní druhovej diverzity, ale funkčná diverzita fynbosu rastie najpomalšie (obr. 34).

U morfologickej FD_Q môžeme pozorovať lineárny rovnomerný nárast vzhľadom k diverzite druhovej. Vo všetkých typoch prostredia má krivka závislosti lineárny priebeh, s výnimkou Nama Karoo a trávnatých oblastí, kde sa minimálne zakrivuje smerom nadol. Najväčšiu mieru zakrivenia vykazuje závislosť v oblasti trávnatých plôch (obr. 35). Najrýchlejší nárast funkčnej diverzity pozorujeme v prostredí savany, kde je naopak relatívne najnižšia funkčná diverzita pri nízkej druhovej bohatosti, v porovnaní s ostatnými typmi habitatov. Relatívne najvyššiu funkčnú diverzitu pri nízkej druhovej bohatosti vykazuje bióm fynbos a oblasť sukulentného Karoo. Pri ďalšom zvyšovaní druhovej diverzity, ale funkčná diverzita týchto prostredí rastie najpomalšie (obr. 36).

U potravnej FD_Q pozorujeme výrazne rovnomerný nárast vzhľadom k diverzite druhovej. Pre všetky habitaty je typický lineárny trend závislostí naprieč celým gradientom druhovej diverzity (obr. 37). Krivky vzťahu medzi druhovou a funkčnou diverzitou sa priebehom takmer nelíšia a trend je zo všetkých funkčných aspektov najmenej výrazný (obr. 37). Najrýchlejší nárast funkčnej diverzity pozorujeme v oblasti Nama Karoo, kde je naopak relatívne najnižšia funkčná diverzita pri nízkej druhovej bohatosti, v porovnaní s ostatnými habitatmi. Relatívne najvyššiu funkčnú diverzitu pri nízkej druhovej bohatosti vykazuje lesný bióm. Pri ďalšom zvyšovaní druhovej diverzity, ale funkčná diverzita rastie najpomalšie (obr. 38).

Reprodukčná FD_Q sa vyznačuje lineárnym nárastom s diverzitou druhovou, pre všetky habitaty okrem sukulentného Karoo a Nama Karoo. Najväčším zakrivením sa vyznačuje SD x FD závislosť pre sukulentné Karoo (obr. 39). Najrýchlejší nárast funkčnej diverzity pozorujeme v oblasti sukulentného Karoo, kde je naopak relatívne najnižšia funkčná diverzita pri nízkej druhovej bohatosti, v porovnaní s ostatnými habitatmi. Relatívne najvyššiu funkčnú diverzitu pri nízkej druhovej bohatosti vykazuje oblasť fynbosu a lesov. Pri zvyšovaní druhovej diverzity, ale funkčná diverzita rastie najpomalšie (obr. 40).

Prehľad sklonov kriviek závislosti medzi druhovou a funkčnou diverzitou $FD_{petchey}$ pre rozličné funkčné aspekty a typy habitatov zobrazuje tabuľka 19.Prehľad signifikancie rozdielov sklonov (ANCOVA) závislosti medzi druhovou a funkčnou diverzitou FD_Q v logaritmickej mierke pre rozličné typy habitatov zobrazuje tabuľka 20.

Tabuľka 19: Prehľad rovníc závislostí medzi druhovou a funkčnou diverzitou FD_Q (Rao) v logaritmickej mierke pre rozličné funkčné aspekty a typy habitatov.

Habitat	Rao			
	Complex	Morfo	Diet	Breed
Forest + Woodland	y = 0,8555x - 0,7908	y = 0,8014x - 0,7207	y = 0,8025x - 0,5296	y = 0,5156x + 0,0132
Fynbos	y = 0,7751x - 0,5892	y = 0,6591x - 0,3822	y = 0,8362x - 0,6148	y = 0,5613x - 0,1028
Grassland	y = 0,8416x - 0,7556	y = 0,8042x - 0,7230	y = 0,8343x - 0,6047	y = 0,7873x - 0,5743
Nama Karoo	y = 0,8551x - 0,7828	y = 0,8077x - 0,7266	y = 0,9146x - 0,7775	y = 0,8343x - 0,6521
Savanna	y = 0,8707x - 0,8401	y = 0,8657x - 0,8780	y = 0,8531x - 0,6477	y = 0,7601x - 0,5313
Succulent Karoo	y = 0,8523x - 0,7528	y = 0,7629x - 0,6032	y = 0,8473x - 0,6391	y = 0,9169x - 0,8105

Tabuľka 20: Prehľad signifikancie rozdielov sklonov (ANCOVA) závislosti medzi druhovou a funkčnou diverzitou FD_Q (Rao) v logaritmickej mierke pre rozličné typy habitatov.

Rao	Forest + Woodland	Fynbos	Grassland	Nama Karoo	Savanna	Succulent Karoo
Forest + Woodland	X					
Fynbos	0.844	X				
Grassland	0.976	0.753	X			
Nama Karoo	5.75E-05	2.35E-06	<2e-16	X		
Savanna	0.727	0.86	0.175	<2e-16	X	
Succulent Karoo	1.99E-08	7.92E-10	1.18E-12	0.000138	3.82E-12	X

Prehľad štatistických parametrov analýz ANCOVA pre rozdiely vo vzťahu medzi druhovou a funkčnou diverzitou FD_Q (rozličnými funkčnými aspektami) medzi rôznymi typmi habitatov zobrazujú tabuľky 21 - 24.

Tabuľka 21: Prehľad štatistických parametrov analýzy ANCOVA pre rozdiely vo vzťahu medzi druhovou (logSD) a komplexnou funkčnou diverzitou (logRao.complex) medzi rôznymi typmi habitatov (PH).

	logRao.complex ~logSD * PH		
ANCOVA	DF	F value	p-value
logSD	1	65352.99	< 2e-16
PH	5	70.101	< 2e-16
logSD:PH	5	3.985	0,00134
Residuals	1846		

Tabuľka 22: Prehľad štatistických parametrov analýzy ANCOVA pre rozdiely vo vzťahu medzi druhovou (logSD) a morfologickou funkčnou diverzitou (logRao.morfo) medzi rôznymi typmi habitatov (PH).

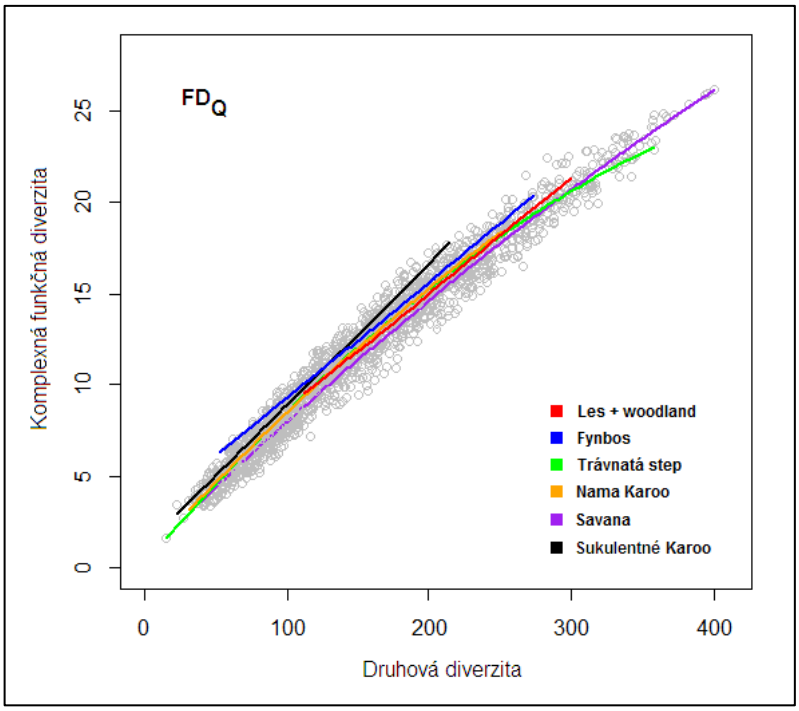
	logRao.morfo ~logSD * PH		
ANCOVA	DF	F value	p-value
logSD	1	26335.61	< 2e-16
PH	5	45.51	< 2e-16
logSD:PH	5	10.77	3,21e-10
Residuals	1846		

Tabuľka 23: Prehľad štatistických parametrov analýzy ANCOVA pre rozdiely vo vzťahu medzi druhovou (logSD) a potravnou funkčnou diverzitou (logRao.diet) medzi rôznymi typmi habitatov (PH).

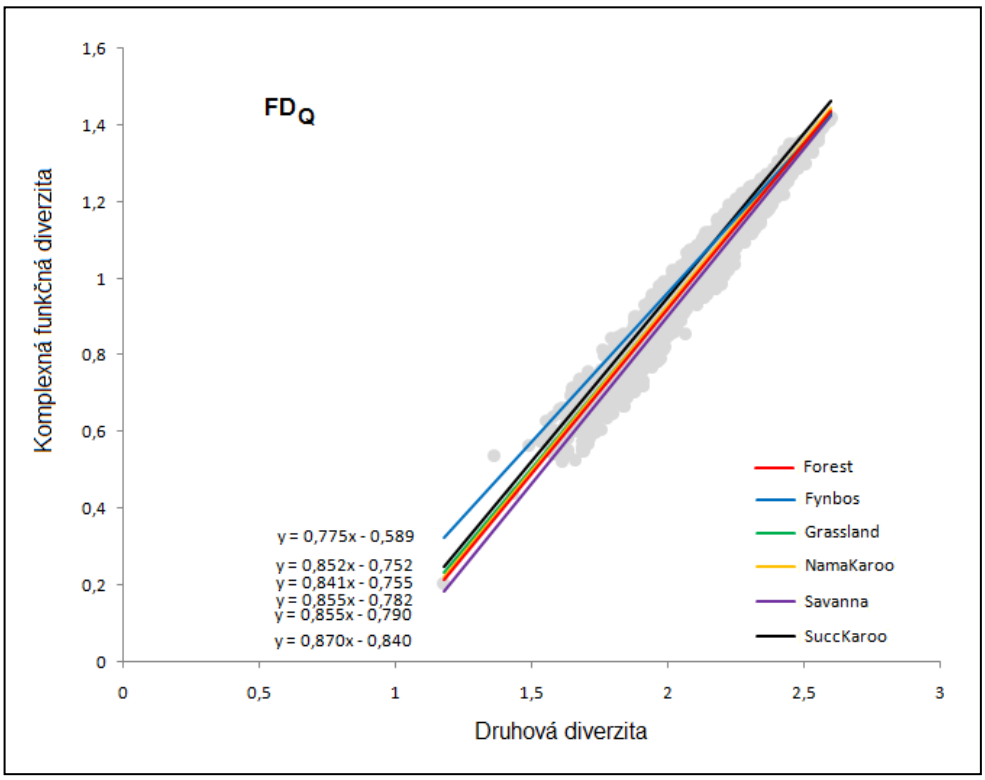
	logRao.diet ~logSD * PH		
ANCOVA	DF	F value	p-value
logSD	1	99083.24	<2e-16
PH	5	3.267	0,0061
logSD:PH	5	17.219	<2e-16
Residuals	1846		

Tabuľka 24: Prehľad štatistických parametrov analýzy ANCOVA pre rozdiely vo vzťahu medzi druhovou (logSD) a reprodukčnou funkčnou diverzitou (logRao.breed) medzi rôznymi typmi habitatov (PH).

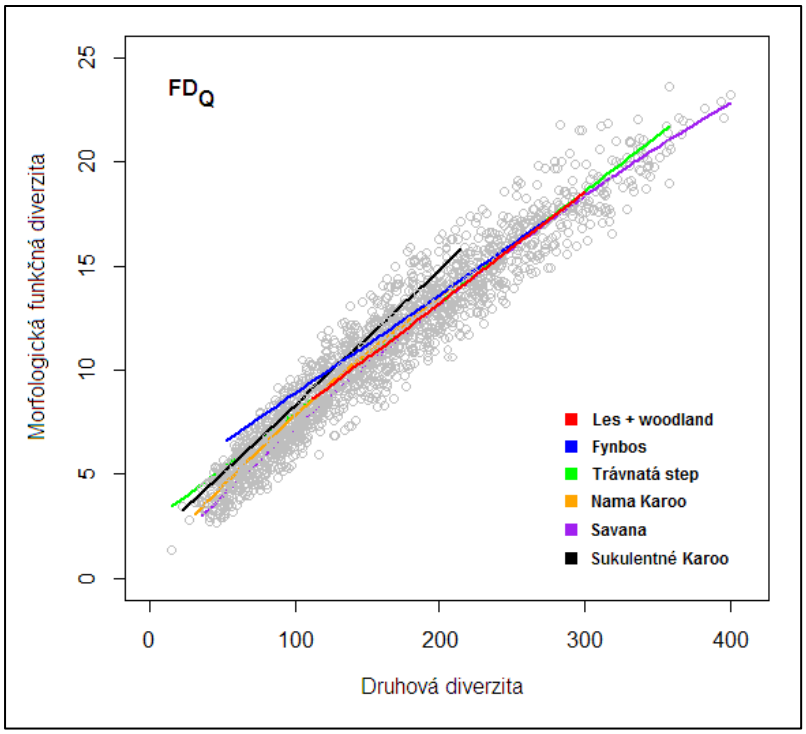
	logRao.breed ~logSD * PH		
ANCOVA	DF	F value	p-value
logSD	1	21117.76	<2e-16
PH	5	27.43	<2e-16
logSD:PH	5	17.56	<2e-16
Residuals	1846		



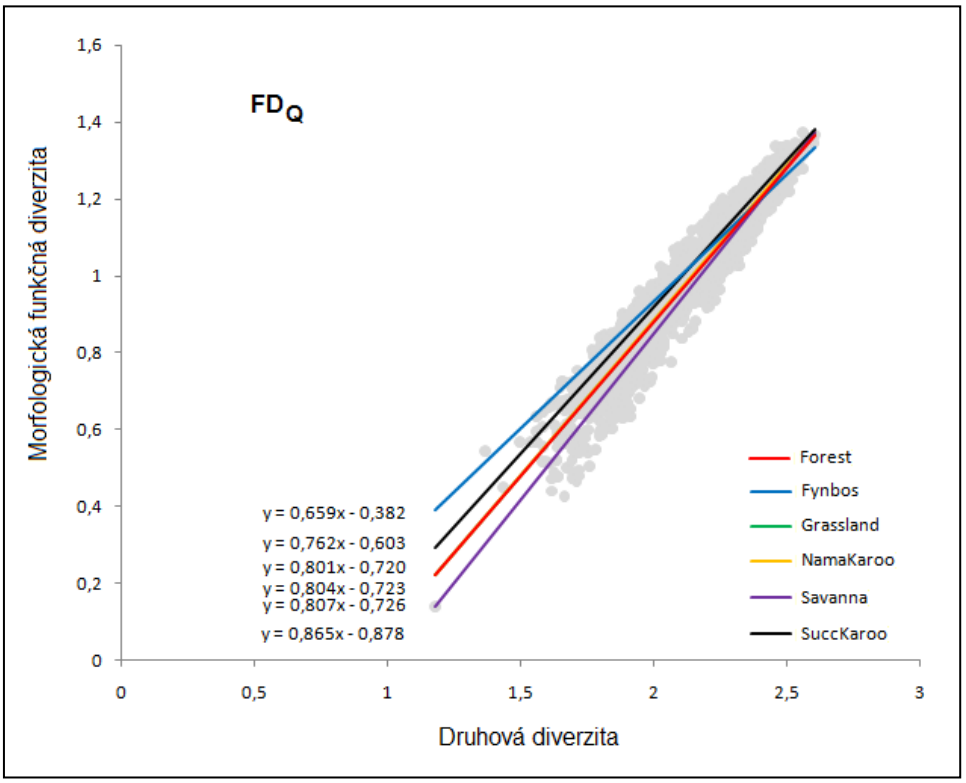
Obr. 33: Porovnanie závislostí (tvaru a sklonu kriviek) medzi komplexnou funkčnou a druhovou diverzitou pre rôzne typy prostredia. Legenda – farebne odlíšená príslušnosť kriviek k jednotlivým typom biómov



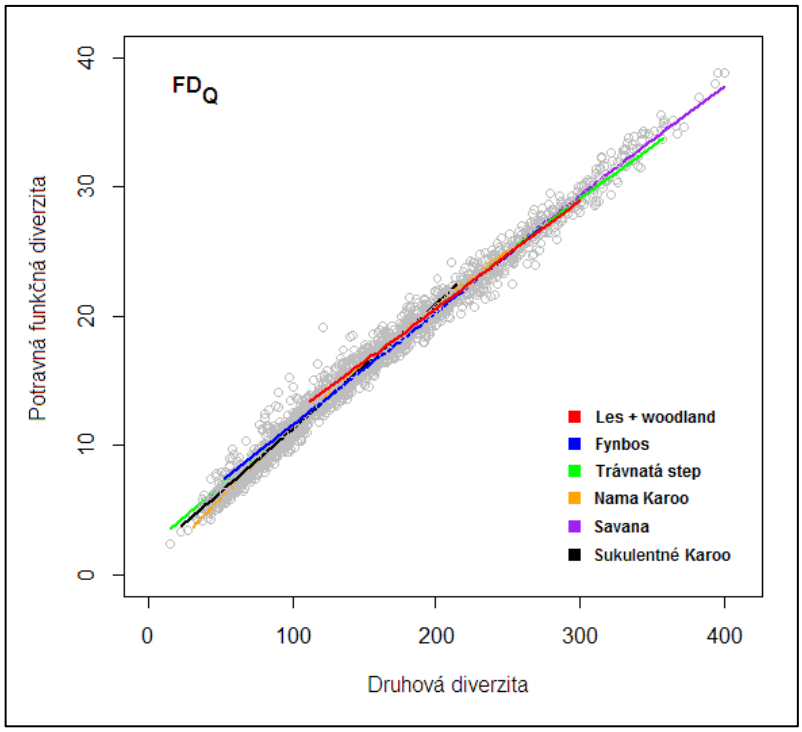
Obr. 34: Porovnanie závislostí (sklonu kriviek) medzi komplexnou funkčnou a druhovou diverzitou pre rôzne typy prostredia v logaritmickej mierke. Legenda – farebne odlíšená príslušnosť kriviek k jednotlivým typom biómov.



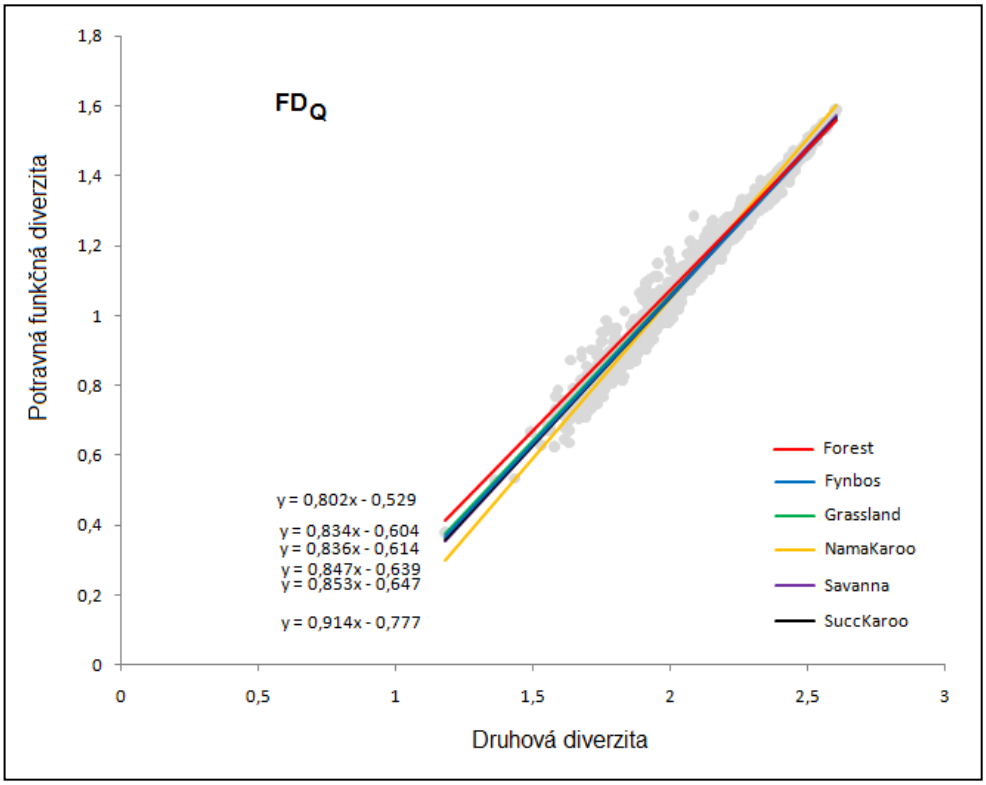
Obr. 35: Porovnanie závislostí (tvaru a sklonu kriviek) medzi morfologickou funkčnou a druhovou diverzitou pre rôzne typy prostredia. Legenda – farebne odlíšená príslušnosť kriviek k jednotlivým typom biómov.



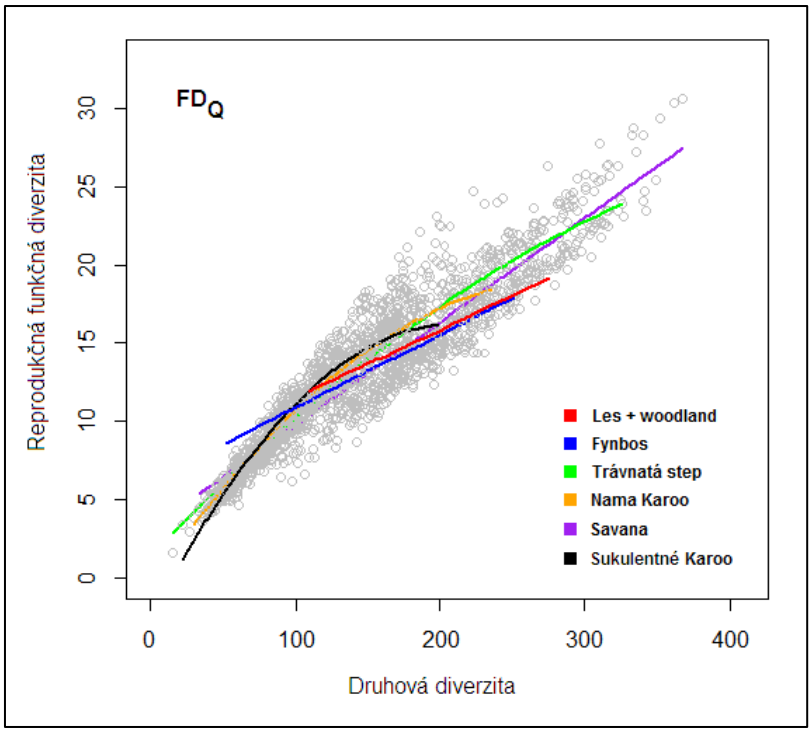
Obr. 36: Porovnanie závislostí (sklonu kriviek) medzi morfologickou funkčnou a druhovou diverzitou pre rôzne typy prostredia v logaritmickej mierke. Legenda – farebne odlíšená príslušnosť kriviek k jednotlivým typom biómov.



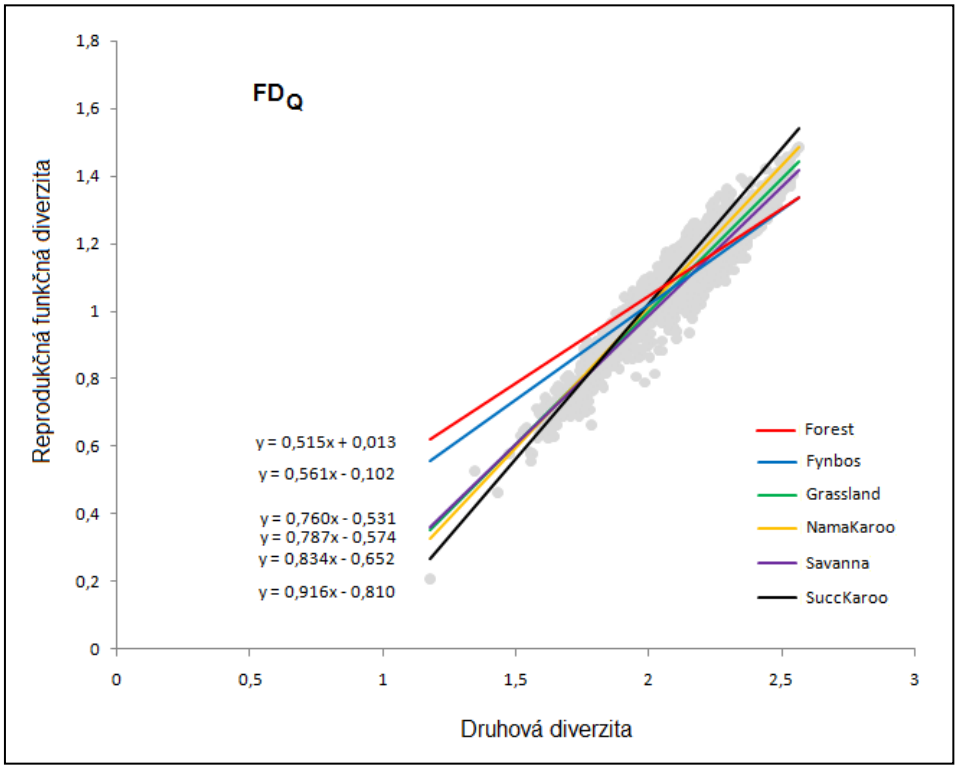
Obr. 37: Porovnanie závislostí (tvaru a sklonu kriviek) medzi potravnou funkčnou a druhovou diverzitou pre rôzne typy prostredia. Legenda – farebne odlíšená príslušnosť kriviek k jednotlivým typom biómov.



Obr. 38: Porovnanie závislostí (sklonu kriviek) medzi potravnou funkčnou a druhovou diverzitou pre rôzne typy prostredia v logaritmickej mierke. Legenda – farebne odlíšená príslušnosť kriviek k jednotlivým typom biómov.



Obr. 39: Porovnanie závislostí (tvaru a sklonu kriviek) medzi reprodukčnou funkčnou a druhovou diverzitou pre rôzne typy prostredia. Legenda – farebne odlíšená príslušnosť kriviek k jednotlivým typom biómov.



Obr. 40: Porovnanie závislostí (sklonu kriviek) medzi reprodukčnou funkčnou a druhovou diverzitou pre rôzne typy prostredia v logaritmickej mierke. Legenda – farebne odlíšená príslušnosť kriviek k jednotlivým typom biómov.

3.2.3 FRic – Functional richness

Vo vzťahu medzi funkčnou bohatosťou (objemom) FRic a druhovou diverzitou pozorujeme rozličný priebeh závislostí. Tvary a sklony korelačných kriviek sa líšia v závislosti na type funkčných charakteristík a type prostredia (obr. 41-48).

Komplexná bohatosť FRic sa vyznačuje lineárnym, resp. exponenciálnym nárastom vzhľadom k diverzite druhovej. Vo všetkých typoch prostredia má krivka závislosti lineárny priebeh, s výnimkou Nama Karoo a sukulentného karoo, kde sa zakrivuje smerom nahor. Najväčšiu mieru zakrivenia vykazuje závislosť v bióme Nama Karoo (obr. 41). Najrýchlejší nárast funkčnej diverzity pozorujeme v prostredí sukulentného Karoo. Vo fynbose je relatívne najnižšia funkčná diverzita pri nízkej druhovej bohatosti, v porovnaní s ostatnými typmi habitatov. Relatívne najvyššiu funkčnú diverzitu pri nízkej druhovej bohatosti vykazujú trávnaté a savanové habitaty. Pri zvyšovaní druhovej diverzity, rastie funkčná diverzita najpomalšie v oblastiach travín a v lesnom prostredí (obr. 42).

Morfologická bohatosť FRic sa vyznačuje lineárnym nárastom vzhľadom k diverzite druhovej. Vo všetkých typoch prostredia má krivka závislosti lineárny priebeh, s výnimkou Nama Karoo a savanových oblastí, kde sa zakrivuje smerom nahor. Najväčšiu mieru zakrivenia vykazuje závislosť v bióme saván (obr. 43). Najrýchlejší nárast funkčnej diverzity pozorujeme v prostredí sukulentného Karoo. Vo fynbose je relatívne najnižšia funkčná diverzita pri nízkej druhovej bohatosti, v porovnaní s ostatnými typmi habitatov. Relatívne najvyššiu funkčnú diverzitu pri nízkej druhovej bohatosti vykazujú lesnaté a trávnatéoblasti. Pri ďalšom zvyšovaní druhovej diverzity, ale funkčná diverzita týchto prostredí rastie najpomalšie (obr. 44).

U potravnej bohatosti FRic pozorujeme väčšinou nerovnomerný nárast vzhľadom k diverzite druhovej. Pre všetky habitaty je typické asymptotické zakrivenie korelačnej krivky, okrem habitatu Nama Karoo a sukulentného Karoo (obr. 45). Najrýchlejší nárast funkčnej diverzity pozorujeme v oblasti Nama Karoo. Relatívne najnižšia funkčná diverzita pri nízkej druhovej bohatosti, v porovnaní s ostatnými typmi prostredia, je v trávnatých oblastiach. Relatívne najvyššiu funkčnú diverzitu pri nízkej druhovej bohatosti vykazuje oblasť sukulentného Karoo. Pri ďalšom zvyšovaní druhovej diverzity, ale funkčná diverzita rastie najpomalšie (obr. 46).

Reprodukčná bohatosť FRic sa vyznačuje širokou škálou tvarov SD x FD závislostí (lineárne - les a fynbos; asymptoticky zakrivené – trávnaté oblasti a savana;

exponenciálne zakrivené – Nama Karoo a sukulentné Karoo) (obr. 47). Najintenzívnejší nárast funkčnej diverzity pozorujeme v oblasti lesov a krovín a fynbosu. V bióme fynbos pozorujeme relatívne najnižšiu funkčnú diverzitu pri nízkej druhovej bohatosti, v porovnaní s ostatnými habitatmi. Relatívne najvyššiu funkčnú diverzitu pri nízkej druhovej bohatosti vykazuje oblasť tráv a saván. Pri zvyšovaní druhovej diverzity rastie v Nama Karoo a sukulentnom Karoo funkčná diverzita najpomalšie (obr. 48).

Prehľad sklonov kriviek závislosti medzi druhovou a funkčnou diverzitou $FD_{petchey}$ pre rozličné funkčné aspekty a typy habitatov zobrazuje tabuľka 25. Prehľad signifikancie rozdielov sklonov (ANCOVA) závislosti medzi druhovou a funkčnou diverzitou FRic v logaritmickej mierke pre rozličné typy habitatov zobrazuje tabuľka 26.

Tabuľka 25: Prehľad rovníc závislostí medzi druhovou a funkčnou diverzitou FRic v logaritmickej mierke pre rozličné funkčné aspekty a typy habitatov.

Habitat	FRic			
	Complex	Morfo	Diet	Breed
Forest + Woodland	y = 2,9321x - 4,6140	y = 2,2312x - 3,2574	y = 0,1288x + 0,9145	y = 2,0682x - 2,8347
Fynbos	y = 3,4900x - 5,8298	y = 2,9593x - 4,8414	y = 0,1535x + 0,8650	y = 1,7460x - 2,0138
Grassland	y = 3,1439x - 4,9678	y = 2,1607x - 2,9887	y = 0,1719x + 0,8011	y = 1,2811x - 0,9976
Nama Karoo	y = 5,3783x - 9,7201	y = 3,7344x - 6,3957	y = 0,2069x + 0,7438	y = 1,0892x - 0,7427
Savanna	y = 3,7419x - 6,5638	y = 2,5956x - 4,2155	y = 0,1834x + 0,7793	y = 1,2485x - 0,9622
Succulent Karoo	y = 5,3319x - 9,6455	y = 3,7838x - 6,5843	y = 0,1068x + 0,9619	y = 1,1447x - 0,8425

Tabuľka 26: Prehľad signifikancie rozdielov sklonov (ANCOVA) závislosti medzi druhovou a funkčnou diverzitou FRic v logaritmickej mierke pre rozličné typy habitatov.

Fric	Forest + Woodland	Fynbos	Grassland	Nama Karoo	Savanna	Succulent Karoo
Forest + Woodland	X					
Fynbos	0.191	X				
Grassland	0.665694	0.1413	X			
Nama Karoo	0.642202	0.000507	0.0374	X		
Savanna	0.18153	0.611	6.62E-06	4.78E-07	X	
Succulent Karoo	0.00013	4.32E-06	0.000104	1.86E-08	0.000127	X

Prehľad štatistických parametrov analýz ANCOVA pre rozdiely vo vzťahu medzi druhovou a funkčnou diverzitou FRic (rozličnými funkčnými aspektmi) medzi rôznymi typmi habitatov zobrazujú tabuľky 27-30.

Tabuľka 27: Prehľad štatistických parametrov analýzy ANCOVA pre rozdiely vo vzťahu medzi druhovou (logSD) a komplexnou funkčnou diverzitou (logFRic.complex) medzi rôznymi typmi habitatov (PH).

	logFRic.complex ~logSD * PH		
ANCOVA	DF	F value	p-value
logSD	1	9498.09	<2e-16
PH	5	25.27	<2e-16
logSD:PH	5	62.24	<2e-16
Residuals	1846		

Tabuľka 28: Prehľad štatistických parametrov analýzy ANCOVA pre rozdiely vo vzťahu medzi druhovou (logSD) a morfologickou funkčnou diverzitou (logFRic.morfo) medzi rôznymi typmi habitatov (PH).

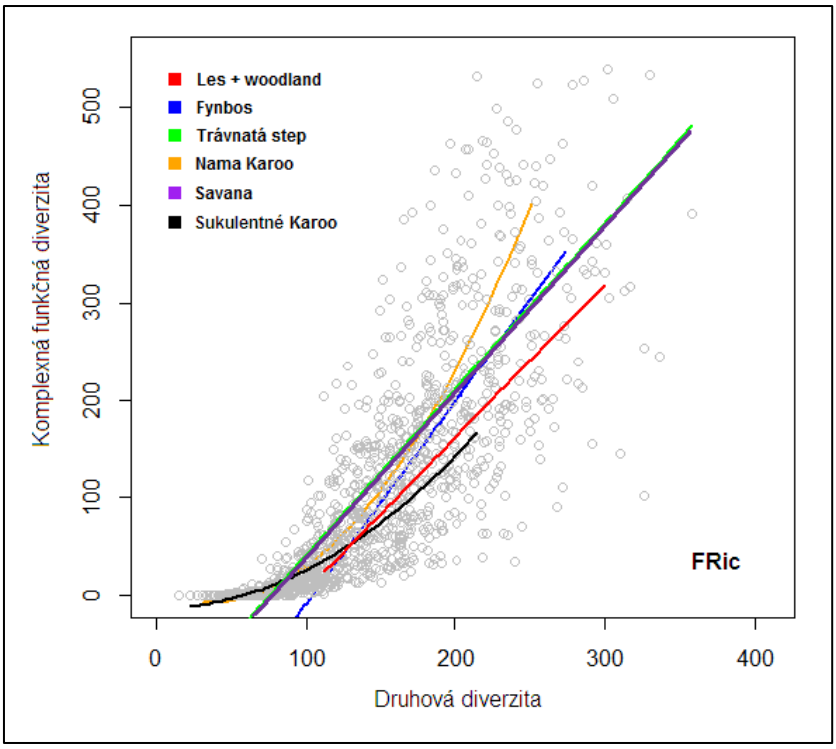
	logFRic.morfo ~logSD * PH		
ANCOVA	DF	F value	p-value
logSD	1	6504.02	<2e-16
PH	5	34.7	<2e-16
logSD:PH	5	44.81	<2e-16
Residuals	1846		

Tabuľka 29: Prehľad štatistických parametrov analýzy ANCOVA pre rozdiely vo vzťahu medzi druhovou (logSD) a potravnou funkčnou diverzitou (logFRic.diet) medzi rôznymi typmi habitatov (PH).

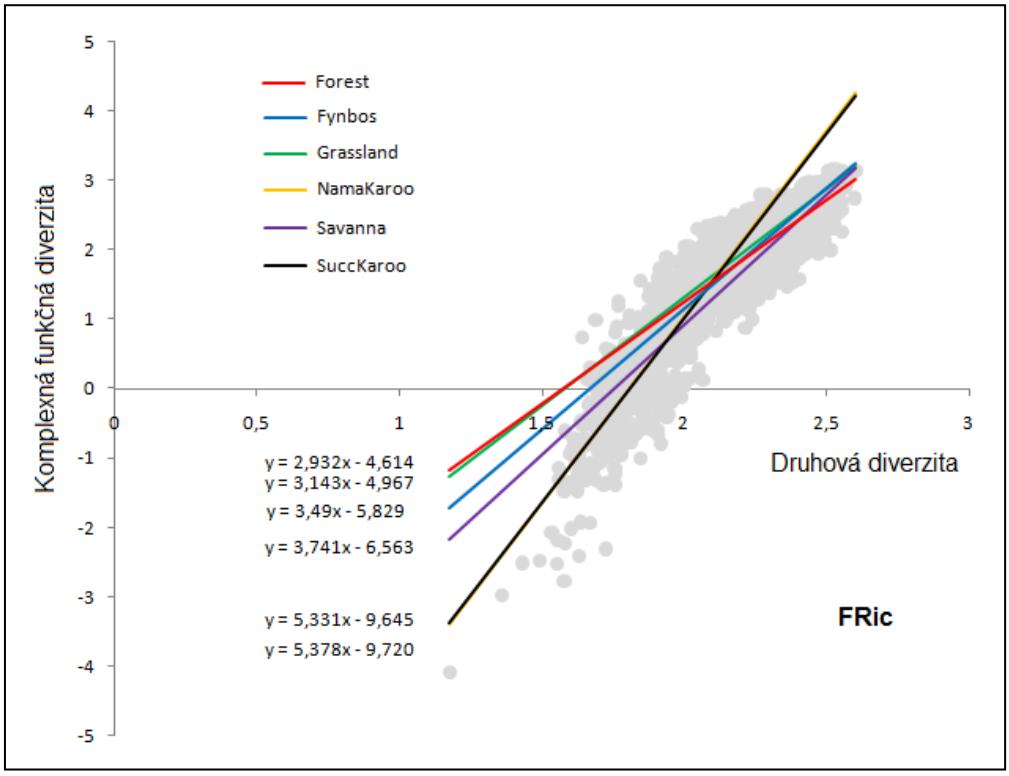
	logFRic.diet ~logSD * PH		
ANCOVA	DF	F value	p-value
logSD	1	885.033	< 2e-16
PH	5	11.743	3,38e-11
logSD:PH	5	2.474	0,0304
Residuals	1846		

Tabuľka 30: Prehľad štatistických parametrov analýzy ANCOVA pre rozdiely vo vzťahu medzi druhovou (logSD) a reprodukčnou funkčnou diverzitou (logFRic.breed) medzi rôznymi typmi habitatov (PH).

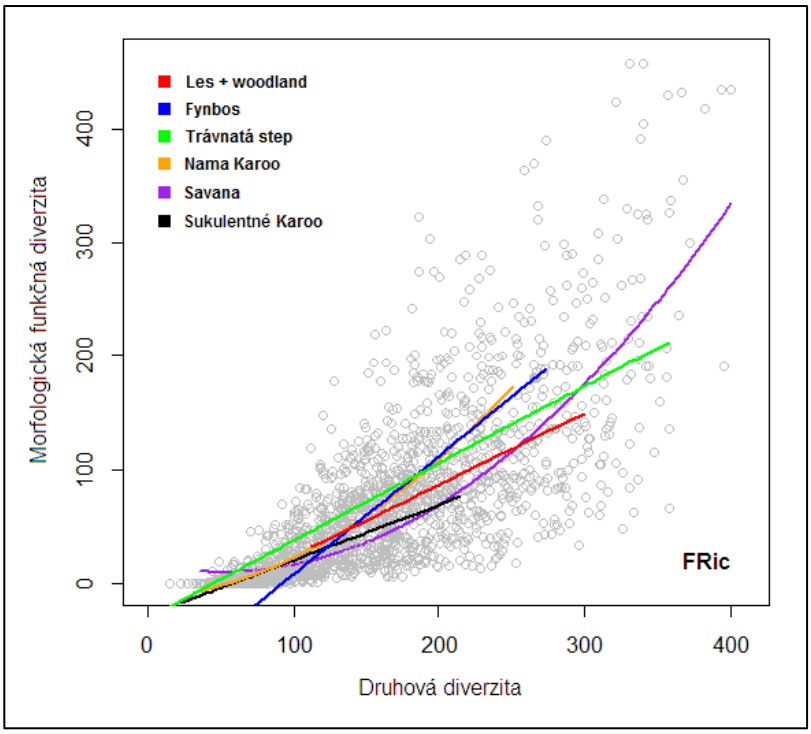
	logFRic.breed ~logSD * PH		
ANCOVA	DF	F value	p-value
logSD	1	5705.458	< 2e-16
PH	5	30.964	< 2e-16
logSD:PH	5	7.581	4,65e-07
Residuals	1846		



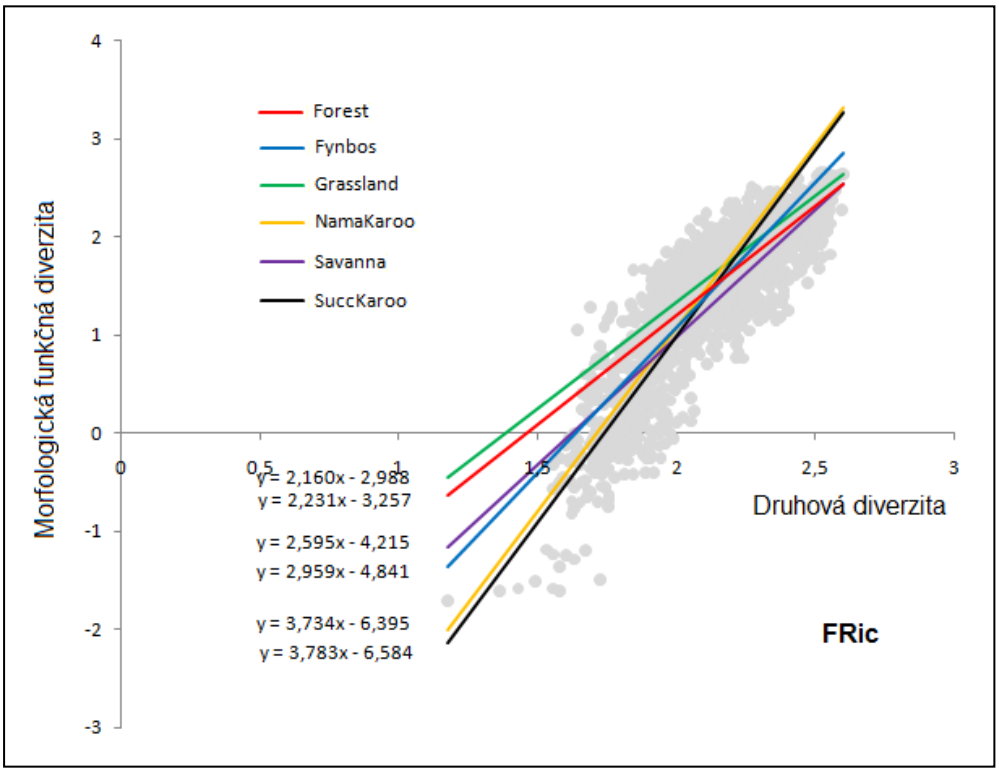
Obr. 41: Porovnanie závislostí (tvaru a sklonu kriviek) medzi komplexnou funkčnou a druhovou diverzitou pre rôzne typy prostredia. Legenda – farebne odlíšená príslušnosť kriviek k jednotlivým typom biómov.



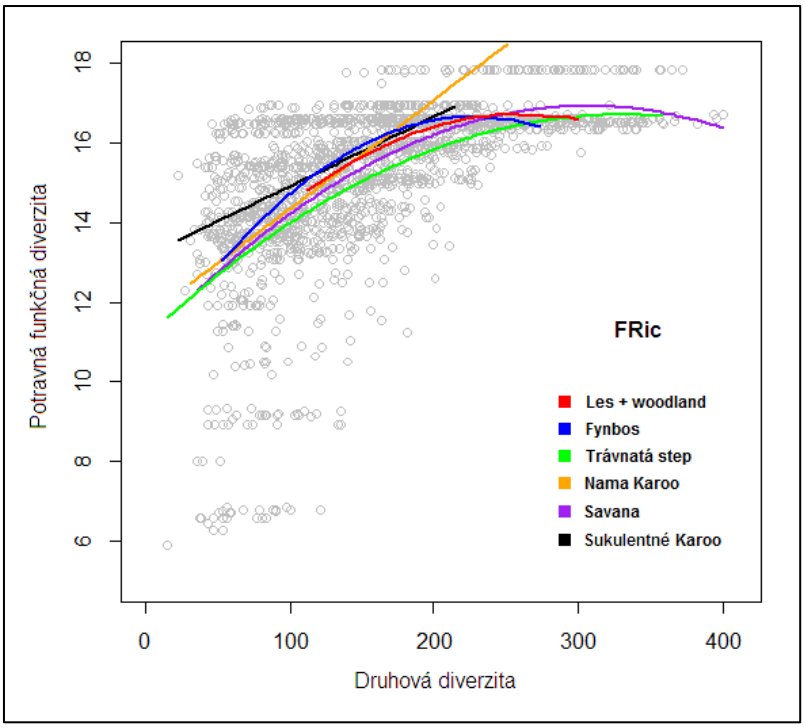
Obr. 42: Porovnanie závislostí (sklonu kriviek) medzi komplexnou funkčnou a druhovou diverzitou pre rôzne typy prostredia v logaritmickej mierke. Legenda – farebne odlíšená príslušnosť kriviek k jednotlivým typom biómov.



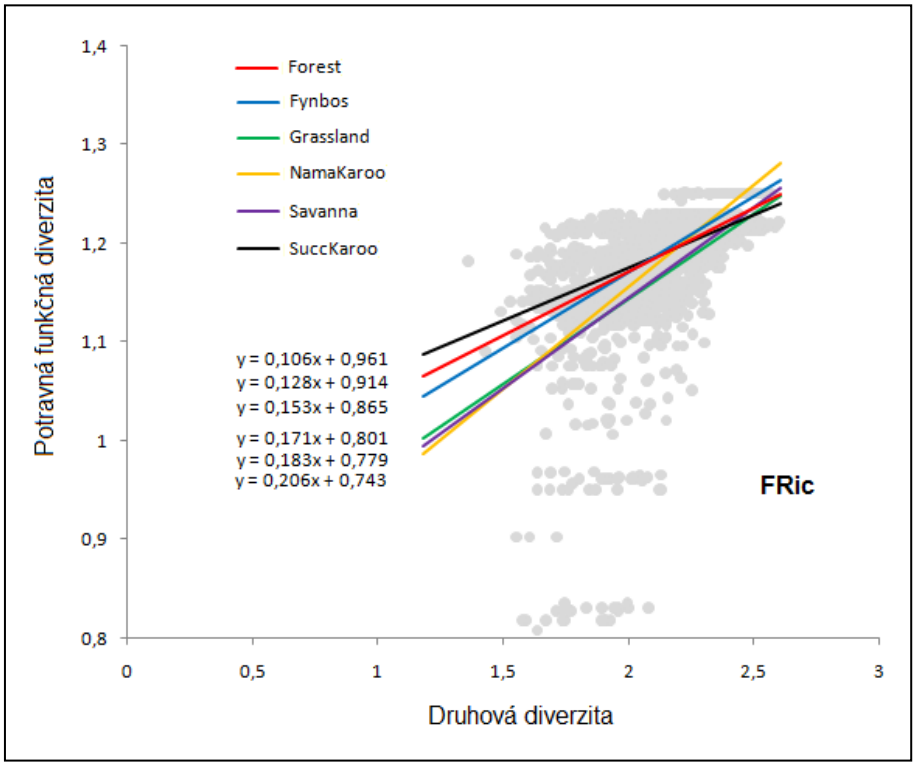
Obr. 43: Porovnanie závislostí (tvaru a sklonu kriviek) medzi morfologickou funkčnou a druhovou diverzitou pre rôzne typy prostredia. Legenda – farebne odlíšená príslušnosť kriviek k jednotlivým typom biómov.



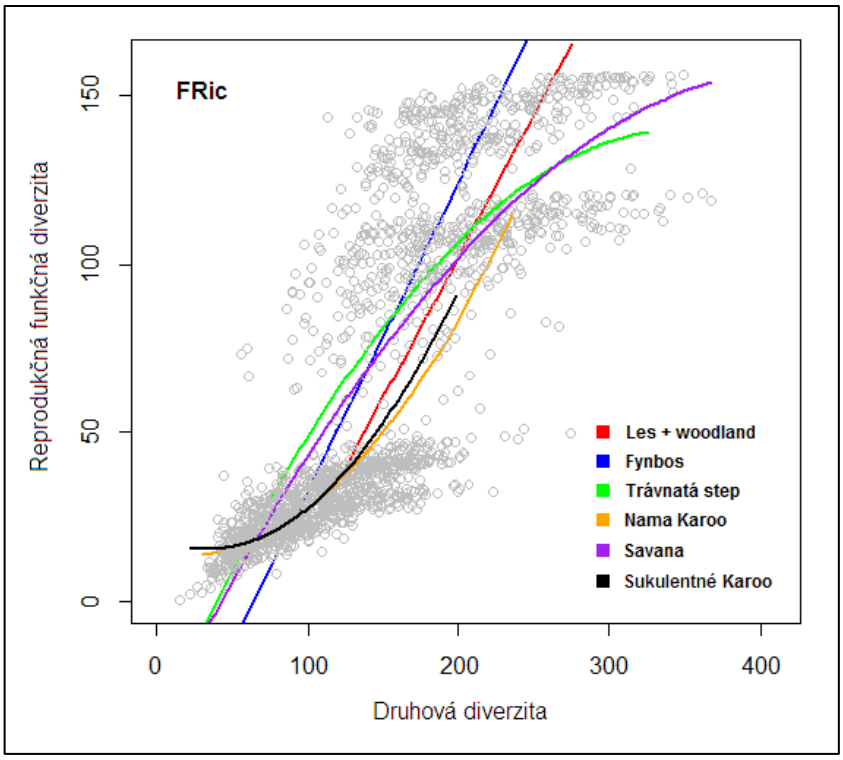
Obr. 44: Porovnanie závislostí (sklonu kriviek) medzi morfologickou funkčnou a druhovou diverzitou pre rôzne typy prostredia v logaritmickej mierke. Legenda – farebne odlíšená príslušnosť kriviek k jednotlivým typom biómov.



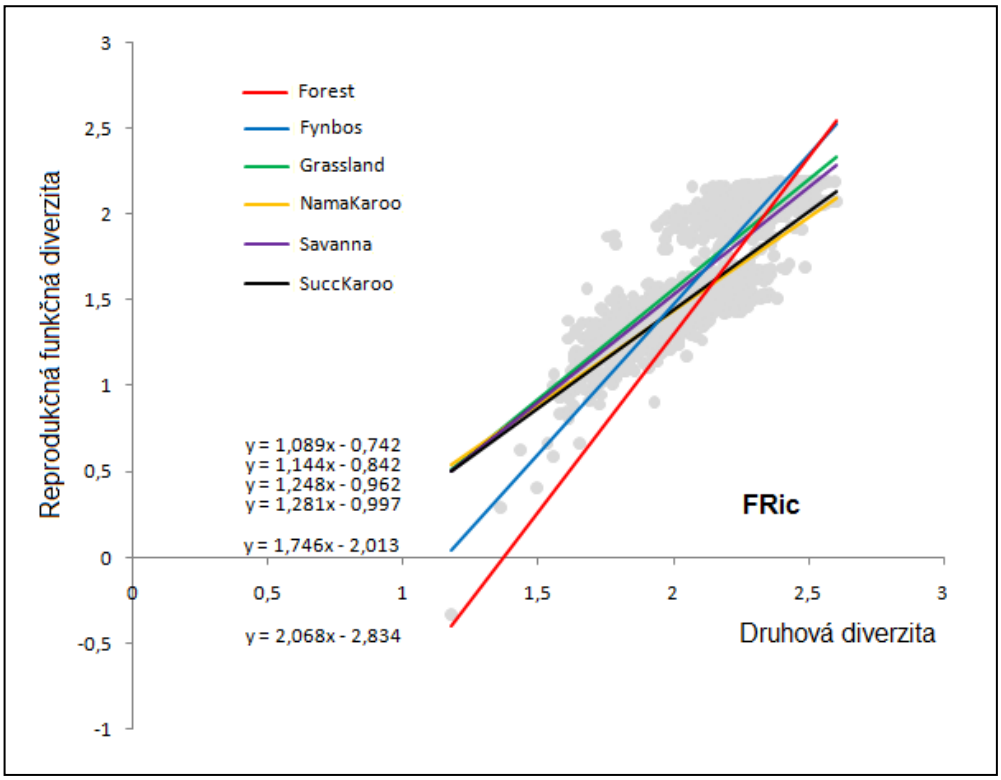
Obr. 45: Porovnanie závislostí (tvaru a sklonu kriviek) medzi potravnou funkčnou a druhovou diverzitou pre rôzne typy prostredia. Legenda – farebne odlíšená príslušnosť kriviek k jednotlivým typom biómov.



Obr. 46: Porovnanie závislostí (sklonu kriviek) medzi potravnou funkčnou a druhovou diverzitou pre rôzne typy prostredia v logaritmickej mierke. Legenda – farebne odlíšená príslušnosť kriviek k jednotlivým typom biómov.



Obr. 47: Porovnanie závislostí (tvaru a sklonu kriviek) medzi reprodukčnou funkčnou a druhovou diverzitou pre rôzne typy prostredia. Legenda – farebne odlíšená príslušnosť kriviek k jednotlivým typom biómov.



Obr. 48: Porovnanie závislostí (sklonu kriviek) medzi reprodukčnou funkčnou a druhovou diverzitou pre rôzne typy prostredia v logaritmickej mierke. Legenda – farebne odlíšená príslušnosť kriviek k jednotlivým typom biómov.

Prehľad hodnôt R^2-*adjusted* (percentá vysvetlenej variability) závislostí medzi druhovou a funkčnou diverzitou pre rozličné typy habitatov a funkčných aspektov (Complex, Morfo, Diet, Breed) zobrazujú tabuľky 31-33. Najvyššie percento vysvetlenej variability závislostí medzi druhovou a funkčnou diverzitou pozorujeme najčastejšie u potravného a reprodukčného funkčného aspektu. Prehľad štatistických parametrov (*F-statistic*; *DF*; *p-value*) závislostí medzi druhovou a funkčnou diverzitou (rôzne metriky) pre rozličné typy habitatov a funkčných aspektov zobrazujú tabuľky 34-36.

Tab. 31: Prehľad hodnôt R^2-*adjusted* (percentá vysvetlenej variability) závislostí medzi druhovou a funkčnou diverzitou $FD_{petchey}$ pre rozličné typy habitatov a funkčných aspektov.

	FD			
Habitat	Complex	Morfo	Diet	Breed
Forest + Woodland	0,316	0,306	0,762	0,767
Fynbos	0,530	0,526	0,726	0,815
Grassland	0,454	0,449	0,790	0,838
Nama Karoo	0,702	0,700	0,874	0,889
Savanna	0,698	0,694	0,920	0,893
Succulent Karoo	0,689	0,663	0,852	0,824

Tab. 32: Prehľad hodnôt R^2-*adjusted* (percentá vysvetlenej variability) závislostí medzi druhovou a funkčnou diverzitou FD_Q (Rao) pre rozličné typy habitatov a funkčných aspektov.

	Rao			
Habitat	Complex	Morfo	Diet	Breed
Forest + Woodland	0,928	0,843	0,968	0,560
Fynbos	0,917	0,674	0,973	0,428
Grassland	0,958	0,913	0,978	0,810
Nama Karoo	0,965	0,909	0,971	0,909
Savanna	0,979	0,943	0,987	0,904
Succulent Karoo	0,964	0,880	0,982	0,924

Tab. 33: Prehľad hodnôt R^2-*adjusted* (percentá vysvetlenej variability) závislostí medzi druhovou a funkčnou diverzitou FRic pre rozličné typy habitatov a funkčných aspektov.

	FRic			
Habitat	Complex	Morfo	Diet	Breed
Forest + Woodland	0,497	0,292	0,310	0,594
Fynbos	0,354	0,278	0,596	0,428
Grassland	0,520	0,435	0,453	0,463
Nama Karoo	0,725	0,697	0,293	0,494
Savanna	0,670	0,637	0,376	0,738
Succulent Karoo	0,455	0,366	0,386	0,641

Tabuľka 34: Prehľad štatistických parametrov (*F-statistic*; *DF*; *p-value*) závislostí medzi druhovou a funkčnou diverzitou $FD_{petchey}$ pre rozličné typy habitatov a funkčných aspektov.

Habitat	FD Complex	Morfo
Forest + Woodland	F: 24.97 on 1 and 51 DF, p-value: 7.216e-06	F: 23.95 on 1 and 51 DF, p-value: 1.033e-05
Fynbos	F: 124 on 1 and 116 DF, p-value: < 2.2e-16	F: 65.81 on 2 and 115 DF, p-value: < 2.2e-16
Grassland	F: 404.6 on 1 and 484 DF, p-value: < 2.2e-16	F: 198.5 on 2 and 483 DF, p-value: < 2.2e-16
Nama Karoo	F: 1054 on 1 and 450 DF, p-value: < 2.2e-16	F: 527.9 on 2 and 449 DF, p-value: < 2.2e-16
Savanna	F: 714 on 2 and 615 DF, p-value: < 2.2e-16	F: 698.9 on 2 and 615 DF, p-value: < 2.2e-16
Succulent Karoo	F: 258.7 on 1 and 129 DF, p-value: < 2.2e-16	F: 257 on 1 and 129 DF, p-value: < 2.2e-16
Habitat	FD Diet	Breed
Forest + Woodland	F: 84.35 on 2 and 50 DF, p-value: < 2.2e-16	F: 86.57 on 2 and 50 DF, p-value: < 2.2e-16
Fynbos	F: 155.9 on 2 and 115 DF, p-value: < 2.2e-16	F: 259.3 on 2 and 115 DF, p-value: < 2.2e-16
Grassland	F: 909 on 2 and 483 DF, p-value: < 2.2e-16	F: 1252 on 2 and 483 DF, p-value: < 2.2e-16
Nama Karoo	F: 1564 on 2 and 449 DF, p-value: < 2.2e-16	F: 1813 on 2 and 449 DF, p-value: < 2.2e-16
Savanna	F: 3537 on 2 and 615 DF, p-value: < 2.2e-16	F: 2569 on 2 and 615 DF, p-value: < 2.2e-16
Succulent Karoo	F: 375.5 on 2 and 128 DF, p-value: < 2.2e-16	F: 611.3 on 1 and 129 DF, p-value: < 2.2e-16

Tabuľka 35: Prehľad štatistických parametrov (*F-statistic*; *DF*; *p-value*) závislostí medzi druhovou a funkčnou diverzitou FD_Q (Rao) pre rozličné typy habitatov a funkčných aspektov.

Habitat	Rao Complex	Morfo
Forest + Woodland	F: 669.9 on 1 and 51 DF, p-value: < 2.2e-16	F: 279.9 on 1 and 51 DF, p-value: < 2.2e-16
Fynbos	F: 1296 on 1 and 116 DF, p-value: < 2.2e-16	F: 242.4 on 1 and 116 DF, p-value: < 2.2e-16
Grassland	F: 5513 on 2 and 483 DF, p-value: < 2.2e-16	F: 2545 on 2 and 483 DF, p-value: < 2.2e-16
Nama Karoo	F: 1.187e+04 on 1 and 450 DF, p-value: < 2.2e-16	F: 2265 on 2 and 449 DF, p-value: < 2.2e-16
Savanna	F: 1.424e+04 on 2 and 615 DF, p-value: < 2.2e-16	F: 9727 on 1 and 616 DF, p-value: < 2.2e-16
Succulent Karoo	F: 3434 on 1 and 129 DF, p-value: < 2.2e-16	F: 960.7 on 1 and 129 DF, p-value: < 2.2e-16
Habitat	Rao Diet	Breed
Forest + Woodland	F: 1595 on 1 and 51 DF, p-value: < 2.2e-16	F: 67.27 on 1 and 51 DF, p-value: 7.037e-11
Fynbos	F: 4146 on 1 and 116 DF, p-value: < 2.2e-16	F: 88.64 on 1 and 116 DF, p-value: 5.586e-16
Grassland	F: 2.099e+04 on 1 and 484 DF, p-value: < 2.2e-16	F: 1985 on 1 and 484 DF, p-value: < 2.2e-16
Nama Karoo	F: 1.434e+04 on 1 and 450 DF, p-value: < 2.2e-16	F: 2251 on 2 and 449 DF, p-value: < 2.2e-16
Savanna	F: 4.402e+04 on 1 and 616 DF, p-value: < 2.2e-16	F: 5803 on 1 and 616 DF, p-value: < 2.2e-16
Succulent Karoo	F: 7128 on 1 and 129 DF, p-value: < 2.2e-16	F: 789.6 on 2 and 128 DF, p-value: < 2.2e-16

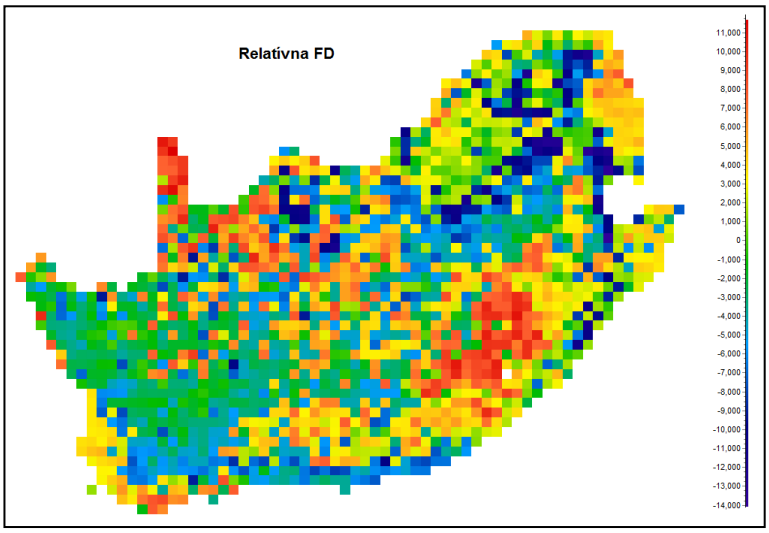
Tabuľka 36: Prehľad štatistických parametrov (*F-statistic*; *DF*; *p-value*) závislostí medzi druhovou a funkčnou diverzitou FRic pre rozličné typy habitatov a funkčných aspektov.

Habitat	FRic Complex	Morfo
Forest + Woodland	F: 52.35 on 1 and 51 DF, p-value: 2.311e-09	F: 22.46 on 1 and 51 DF, p-value: 1.76e-05
Fynbos	F: 65.11 on 1 and 116 DF, p-value: 7.277e-13	F: 45.97 on 1 and 116 DF, p-value: 5.311e-10
Grassland	F: 526.7 on 1 and 484 DF, p-value: < 2.2e-16	F: 374.7 on 1 and 484 DF, p-value: < 2.2e-16
Nama Karoo	F: 596.4 on 2 and 449 DF, p-value: < 2.2e-16	F: 519.1 on 2 and 449 DF, p-value: < 2.2e-16
Savanna	F: 825.4 on 1 and 616 DF, p-value: < 2.2e-16	F: 542.5 on 2 and 615 DF, p-value: < 2.2e-16
Succulent Karoo	F: 55.28 on 2 and 128 DF, p-value: < 2.2e-16	F: 76.07 on 1 and 129 DF, p-value: 1.179e-14
Habitat	FRic Diet	Breed
Forest + Woodland	F: 19.43 on 2 and 50 DF, p-value: 5.379e-05	F: 74.83 on 1 and 51 DF, p-value: 1.419e-11
Fynbos	F: 87.32 on 2 and 115 DF, p-value: < 2.2e-16	F: 88.57 on 1 and 116 DF, p-value: 5.699e-16
Grassland	F: 201.7 on 2 and 483 DF, p-value: < 2.2e-16	F: 209.9 on 2 and 483 DF, p-value: < 2.2e-16
Nama Karoo	F: 187.6 on 1 and 450 DF, p-value: < 2.2e-16	F: 221.3 on 2 and 449 DF, p-value: < 2.2e-16
Savanna	F: 187.2 on 2 and 615 DF, p-value: < 2.2e-16	F: 867.8 on 2 and 615 DF, p-value: < 2.2e-16
Succulent Karoo	F: 82.58 on 1 and 129 DF, p-value: 1.531e-15	F: 89.69 on 2 and 128 DF, p-value: < 2.2e-16

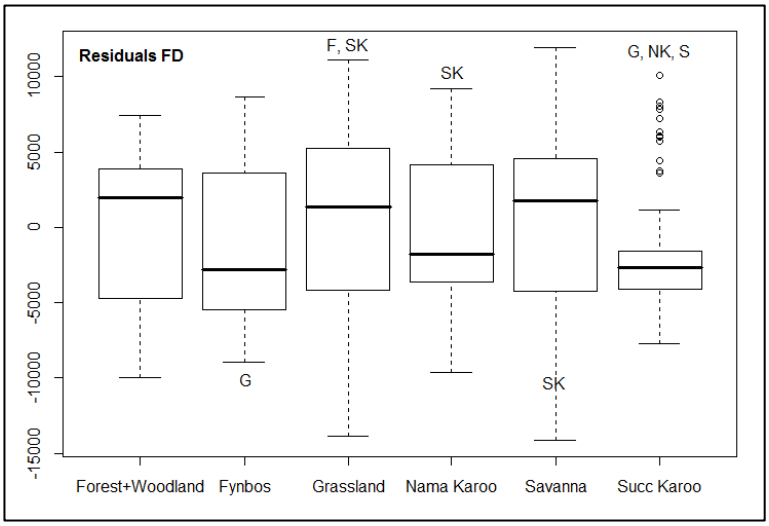
3.3 RELATÍVNA FUNKČNÁ DIVERZITA

Relatívna funkčná diverzita poukazuje na to, či je na danom území vyššia, resp. nižšia funkčná diverzita než by sme očakávali pri istej diverzite druhovej. Geografické trendy relatívnej funkčnej diverzity nie sú až tak jednoznačné ako u celkovej úrovne funkčnej diverzity na danom území.

Relatívna funkčná bohatosť $FD_{petchey}$ vykazuje najvyššie hodnoty v oblasti severného Nama Karoo, v časti trávnatých oblastí a saván, na území Lesotha s vysokým elevačným gradientom a v oblasti fynbosu. Najnižšiu úroveň pozorujeme v oblasti sukulentného Karoo a v istej časti saván (obr. 49). Najvyšší rozsah úrovne relatívnej $FD_{petchey}$ je typický pre savanu, naopak najnižší pre sukulentné Karoo. Vyššia relatívna $FD_{petchey}$ prevažuje v oblastiach saván, lesov a trávnatých prostredí. Nižšia relatívna $FD_{petchey}$ prevažuje v západnej časti južnej Afriky, v oblasti fynbosu, Nama Karoo a sukulentného Karoo (obr. 50).

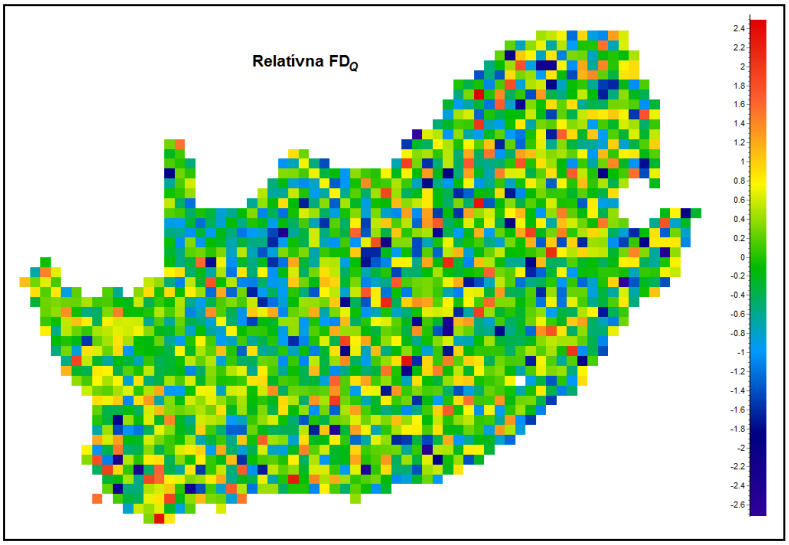


Obr. 49: Gradient relatívnej $FD_{petchey}$ pre oblasť južnej Afriky. V pravej časti je znázornená farebná škála pre rôznu úroveň diverzity, nižšia než očakávaná (záporné hodnoty), vyššia než očakávaná (kladné hodnoty).

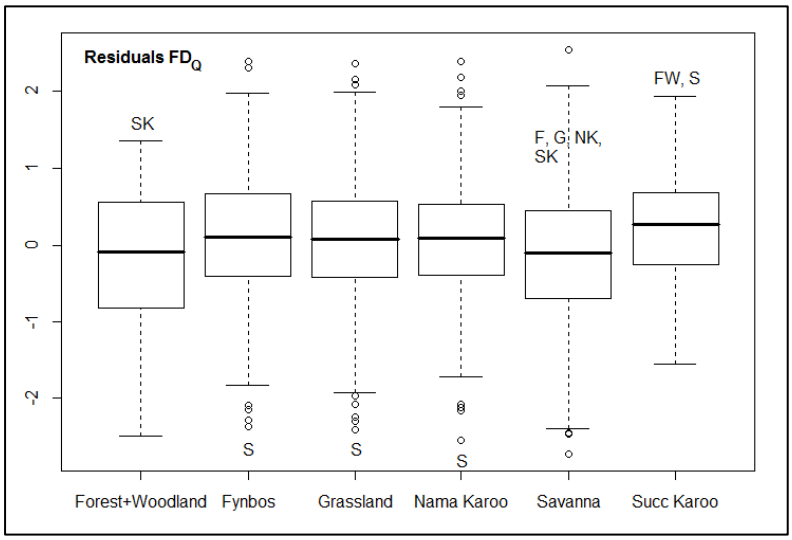


Obr. 50: Rozdiely v relatívnej $FD_{petchey}$ pre habitaty južnej Afriky, vypočítanej vo forme reziduálov k predikovanej očakávanej $FD_{petchey}$. Nižšia než očakávaná FD (záporné hodnoty), vyššia než očakávaná FD (kladné hodnoty). Začiatočné písmená habitatov určujú signifikantnosť rozdielu daného habitatu k ostatným

Relatívna funkčná hustota/riedkosť FD_Q vykazuje rovnomernú distribúciu naprieč celým územím južnej Afriky, bez výraznejšieho geografického trendu (obr. 51). Najvyšší rozsah úrovne relatívnej FD_Q je typický pre savanu, naopak najnižší pre sukulentné Karoo, podobne ako u relatívnej FD_Q. Mierne vyššia relatívna FD_Q prevažuje v oblasti sukulentného Karoo. Naopak, najnižšia relatívna FD_Q prevažuje v oblasti lesov, krovín a saván (obr. 52). Celkový trend je opačný než u relatívnej FD_Q, ale rozdiely medzi jednotlivými typmi prostredia nie sú až tak veľké.



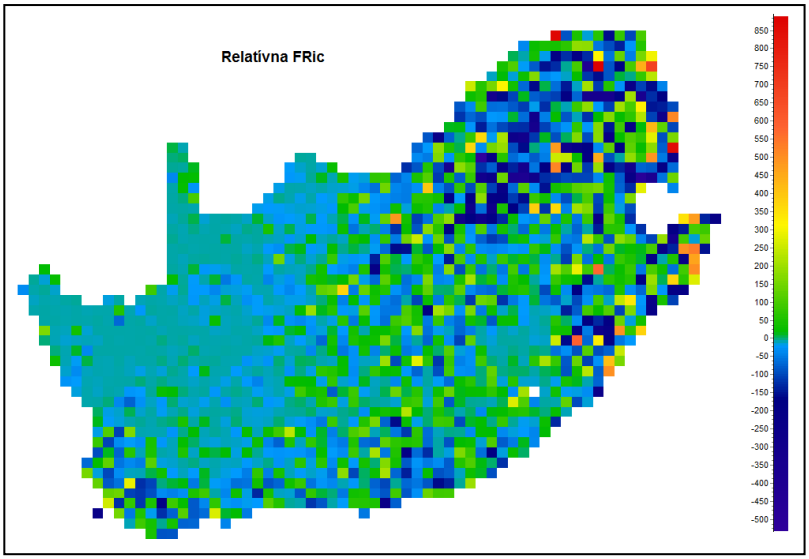
Obr. 51: Gradient relatívnej FD_Q pre oblasť južnej Afriky. V pravej časti je znázornená farebná škála pre rôznu úroveň diverzity, nižšia než očakávaná (záporné hodnoty), vyššia než očakávaná (kladné hodnoty).



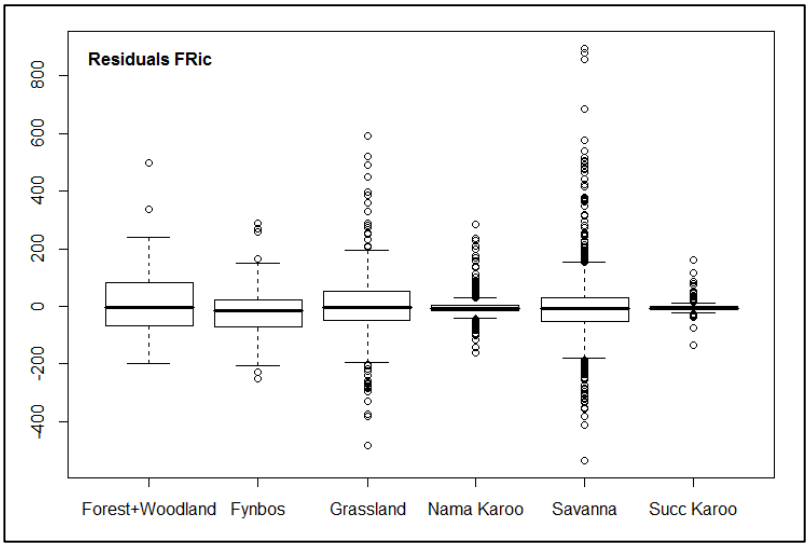
Obr. 52: Rozdiely v relatívnej FD_Q pre habitaty južnej Afriky, vypočítanej vo forme reziduálov k predikovanej očakávanej FD_Q. Nižšia než očakávaná FD (záporné hodnoty), vyššia než očakávaná FD (kladné hodnoty). Začiatočné písmená habitatov určujú signifikantnosť rozdielu daného habitatu k ostatným.

Relatívna funkčná bohatosť (objem) FRic vykazuje najvyššie hodnoty v časti trávnatých oblastí, lesov a saván. Najnižšiu úroveň pozorujeme taktiež v trávnatých oblastiach a v savane (obr. 53).Tieto habitaty sa vyznačujú veľkým rozsahom hodnôt relatívnej FRic (obr. 54). Naopak, najnižší rozsah hodnôt relatívnej FRic je typický pre Nama Karoo a sukulentné Karoo, kde je relatívna FRic veľmi podobná očakávanej.

Oblasti s proporcionálne vyššou, resp. nižšou úrovňou relatívnej funkčnej bohatosti FRic sú rovnomerne rozložené naprieč všetkými typmi prostredia (obr. 54).



Obr. 53: Gradient relatívnej FRic pre oblasť južnej Afriky. V pravej časti je znázornená farebná škála pre rôznu úroveň diverzity, nižšia než očakávaná (záporné hodnoty), vyššia než očakávaná (kladné hodnoty).



Obr. 54: Rozdiely v relatívnej FRic pre habitaty južnej Afriky, vypočítanej vo forme reziduálov k predikovanej očakávanej FRic. Nižšia než očakávaná FD (záporné hodnoty), vyššia než očakávaná FD (kladné hodnoty).

Prehľad štatistických parametrov analýzy ANOVA pre rozdiely v relatívnej funkčnej diverzite medzi rôznymi typmi habitatov zobrazuje tabuľka 37. Prehľad signifikantnosti rozdielov v relatívnej funkčnej diverzite medzi jednotlivými typmi habitatov pre príslušné spôsoby merania zobrazujú tabuľky 38-40.

Najväčšie rozdiely pozorujeme v prípade funkčnej bohatosti $FD_{petchey}$, kedy je zjavný klasický jav rozrôznenia medzi produktívnejšími (les, trávnaté stepi, savana) a menej produktívnymi (Nama Karoo, sukulentné Karoo) typmi habitatov. V prípade funkčnej hustotoy FD_Q a funkčného objemu FRic sú rozdiely menšie. V prípade FRic dokonca nepozorujeme ani jednu signifikantnú dvojicu habitatov s rozdielnou úrovňou relatívnej funkčnej diverzity.

Tabuľka 37: Prehľad štatistických parametrov analýzy ANOVA pre rozdiely v relatívnej funkčnej diverzite medzi rôznymi typmi habitatov.

Metrika funkčnej diverzity	F-statistika	Df	p-value
FD complex	7,973	5; 1852	1,91e-07
Rao complex	6,92	5; 1852	2,07e-06
FRic complex	0,611	5; 1852	0,691

Tabuľka 38: Prehľad signifikancie rozdielov v relatívnej funkčnej diverzite $FD_{petchey}$ pre rozličné typy habitatov. V tabuľke sú uvedené p-value hodnoty post hoc testu (zelené – signifikantné, červené – nesignifikatné).

FD	Forest + Woodland	Fynbos	Grassland	Nama Karoo	Savanna	Succulent Karoo
Forest + Woodland	X					
Fynbos	0.8311683	X				
Grassland	0.9345875	0.0132545	X			
Nama Karoo	0.9999438	0.5697493	0.1078477	X		
Savanna	0.9960244	0.0730817	0.8951385	0.5590444	X	
Succulent Karoo	0.1101845	0.5364522	0.0000004	0.0015231	0.0000066	X

Tabuľka 39: Prehľad signifikancie rozdielov v relatívnej funkčnej diverzite $FD_{petchey}$ pre rozličné typy habitatov. V tabuľke sú uvedené p-value hodnoty post hoc testu (zelené – signifikantné, červené – nesignifikatné).

Rao	Forest + Woodland	Fynbos	Grassland	Nama Karoo	Savanna	Succulent Karoo
Forest + Woodland	X					
Fynbos	0.1692795	X				
Grassland	0.3669973	0.9008	X			
Nama Karoo	0.3209946	0.9415	0.999963	X		
Savanna	0.9962174	0.0186	0.006454	0.0039823	X	
Succulent Karoo	0.0242419	0.9485	0.217915	0.2879018	0.00011	X

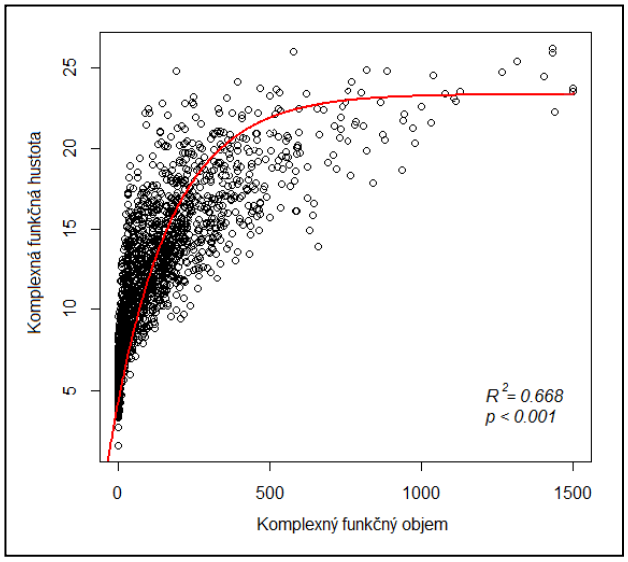
Tabuľka 40: Prehľad signifikancie rozdielov v relatívnej funkčnej diverzite $FD_{petchey}$ pre rozličné typy habitatov. V tabuľke sú uvedené p-value hodnoty post hoc testu (zelené – signifikantné, červené – nesignifikatné).

Fric	Forest + Woodland	Fynbos	Grassland	Nama Karoo	Savanna	Succulent Karoo
Forest + Woodland	X					
Fynbos	0.5877061	X				
Grassland	0.9403796	0.7841781	X			
Nama Karoo	0.8849333	0.8998274	0.998983	X		
Savanna	0.9070108	0.8420913	0.999907	0.9999789	X	
Succulent Karoo	0.8906691	0.9789532	0.998283	0.9999806	0.99974	X

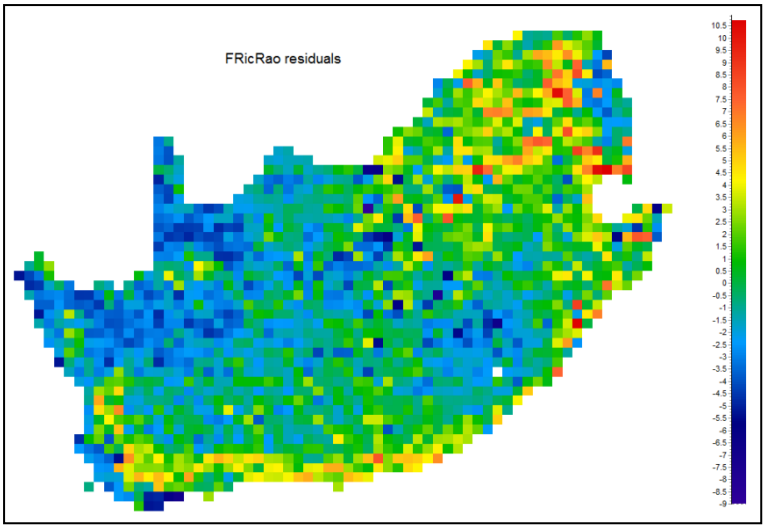
3.4 VZŤAH MEDZI FUNKČNOU HUSTOTOU A FUNKČNÝM OBJEMOM

Vzťahom medzi funkčnou hustotou a funkčným objemom sme schopní poukázať na relatívny nárast jednotlivých funkčných aspektov (objem a hustota) pri rôznych úrovniach komplexnej funkčnej diverzity. Funkčná hustota reprezentovaná metrikou FD_Q nám určuje mieru funkčného rozrôznenia spoločenstva v zmysle medzidruhových funkčných vzdialeností. Funkčný objem reprezentovaný metrikou FRic nám určuje akú časť potenciálneho funkčného priestoru spoločenstvo zaberá. Pri danej konkrétnej úrovni funkčného objemu pritom môžeme pozorovať rôznu úroveň funkčnej hustoty.

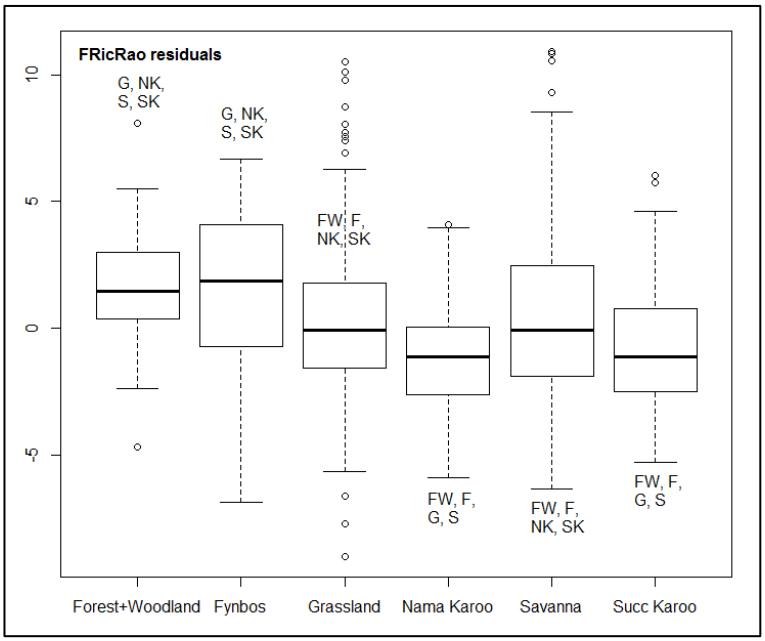
Medzi funkčným objemom FRic a funkčnou hustotou/riedkosťou FD_Q pozorujeme pozitívnu závislosť s negatívne exponenciálnym priebehom krivky. Pri nízkej úrovni FRic pozorujeme rýchly nárast FD_Q. Pri stredných hodnotách FRic dochádza k spomaleniu nárastu FD_Q, proporcionálne menšiemu než u FRic a krivka sa asymptoticky zakrivuje, F-statistic: 1868 on 2 and 1855 DF, p-value: < 2,2e-16 (obr. 55). Priestorová variabilita vzťahu FRic x FD_Q vykazuje gradient s okrajovým efektom. Relatívne najvyšší nárast FD_Q oproti FRic pozorujeme na väčšine územia savany, v trávnatých oblastiach, lesoch a krovinách na južnom a juhovýchodnom pobreží a vo vnútrozemí fynbosu. Relatívne najnižší nárast FD_Q oproti FRic pozorujeme v oblasti Nama Karoo, sukulentného Karoo a Lesotha (obr. 56). Trávnaté oblasti a savana sa vyznačujú najväčším rozptylom hodnôt závislosti. Oblasti s proporcionálne najvyššou úrovňou relatívnej FD_Q nachádzame vo fynbose a lesnatých oblastiach. Oblasti s proporcionálne najnižšou úrovňou relatívnej FD_Q nachádzame v oblasti Nama Karoo a sukulentného Karoo (obr. 57).



Obr. 55: Vzťah medzi komplexnou funkčnou bohatosťou - objemom (FRic) a komplexnou funkčnou hustotou (FD_Q) a na území južnej Afriky.



Obr. 56: Gradient relatívnej FD_Q k FRic pre oblasť južnej Afriky. V pravej časti je znázornená farebná škála pre rôznu úroveň relatívnej FD_Q diverzity. Relatívne nižšia než predikovaná FRic (záporné hodnoty), relatívne vyššia než predikovaná FRic (kladné hodnoty).



Obr. 57: Rozdiely v rozložení hodnôt relatívnej FD_Q k FRic pre rôzne habitaty južnej Afriky. Nižšia než očakávaná FD_Q (záporné hodnoty), vyššia než očakávaná FD_Q (kladné hodnoty).Začiatočné písmená habitatov pod príslušným diagramom poukazujú na habitaty, ktoré sú od neho v danej premennej signifikantne odlišné.

Prehľad signifikantnosti rozdielov v relatívnej FD_Q k FRic medzi jednotlivými typmi habitatov na území južnej Afriky zobrazuje tabuľka 41. Prehľad štatistických parametrov ANOVA pre rozdiely v rozložení hodnôt relatívnej FD_Q k FRic pre rôzne habitaty: F-statistic: 31,12 on 5 and 1852 DF, p-value: <2,2e-16.

Tabuľka 41: Prehľad signifikancie rozdielov v relatívnej funkčnej FD_Q k FRic pre rozličné typy habitatov. V tabuľke sú uvedené p-value hodnoty post hoc testu (zelené – signifikantné, červené – nesignifikatné).

FricRao residuals	Forest + Woodland	Fynbos	Grassland	Nama Karoo	Savanna	Succulent Karoo
Forest + Woodland	X					
Fynbos	0.9674331	X				
Grassland	0.0016414	0.0004986	X			
Nama Karoo	0	0	0	X		
Savanna	0.006242	0.0033465	0.937357	0	X	
Succulent Karoo	0.0000004	0	0.005468	0.647044	0.00038	X

4. DISKUSIA

- *Gradienty druhovej a funkčnej diverzity*

Priestorová variablita druhovej a funkčnej diverzity na území južnej Afriky vykazuje podobné usporiadanie. Pozorujeme longitudinálny gradient, kedy s narastajúcou zemepisnou dĺžkou stúpa úroveň druhovej (Jetz a Rahbek 2001) a funkčnej diverzity v západo-východnom smere. Gradient druhovej diverzity od západného pobrežia k východu a severovýchodu je relatívne rovnomerný (Jetz a Rahbek 2001). Gradienty funkčnej diverzity sa do istej miery líšia, či už sledujeme konkrétny funkčný aspekt (funkčný objem, hustota) alebo istú skupinu funkčných charakteristík (morfológia, potravné preferencie, sociálno-reprodukčné parametre).

Dôležitými faktormi ovplyvňujúcimi druhovú a funkčnú diverzitu sú environmentálne podmienky, štruktúra vegetácie a heterogenita prostredia prevládajúceho v danej oblasti (Cueto a de Casenave 1999). Zloženie a štruktúra rastlinných spoločenstiev sú kľúčové pri formovaní ekologického priestoru využívaného vtáčími druhmi (Cueto a de Casenave 1999, Rahbek a Graves 2000, Jetz a Rahbek 2002).

Najnižšia druhová a funkčná diverzita je typická pre oblasti Nama Karoo a sukulentného Karoo v západnej časti regiónu. Tieto prostredia sa vyznačujú extrémnejšími podmienkami, vysokou teplotou, vysokou evapotranspiráciou, nižším úhrnom zrážok a nízkou produktivitou. Klimatické pomery, špeciálne sucho a nižšia dostupnosť vody priamo ovplyvňujú rastlinstvo, ktoré sa vyznačuje redším výskytom, nízkou pokryvnosťou a relatívnou homogenitou (Mucina a Rutherford 2006). Tieto aspekty určujú nízku heterogenitu ekologického priestoru, čo sa pravdepodobne prejavuje na zložení a počte vtáčích druhov. Nízku druhovú a funkčnú diverzitu vykazuje taktiež oblasť Lesotha. Táto oblasť je charakterizovaná vysokou nadmorskou výškou, nízkou teplotou a nízkou produktivitou. Štruktúra vegetácie je jednoduchšia s výskytom horských trávnatých porastov. Naopak, oblasti s najvyššou úrovňou druhovej a funkčnej diverzity vtáčích spoločenstiev nachádzame vo východnej a severovýchodnej časti regiónu, pre ktorý sú typické prostredia saván, lesov a krovín a taktiež v unikátnom habitate fynbosu. Tieto oblasti sú typické vyššou heterogenitou a komplementaritou ekologického priestoru. Prostredie je produktívnejšie, štruktúra rastlinných spoločenstiev je komplexnejšia, čo je výrazne ovplyvnené vysokým úhrnom zrážok a vysokou teplotou (O´Brien 1993, Mucina a Rutherford 2006).

Gradienty komplexnej funkčnej diverzity založenej na všetkých funkčných charakteristikách sa odlišujú čo do funkčného objemu, resp. funkčnej hustoty/riedkosti. Funkčná hustota/riedkosť (FD_Q) rastie s druhovou diverzitou rovnomernejšie v porovnaní s funkčným objemom ($FD_{petchey}$, FRic), kde pozorujeme väčšie funkčné rozdiely vzhľadom k diverzite druhovej. Hustota ekologického priestoru sa teda naprieč gradientom druhovej diverzity výrazne nemení a pozorujeme skôr komplementaritu vo využívaní ekologického priestoru. V prípade funkčnej bohatosti a objemu pozorujeme naopak, spomalenie nárastu pri vysokej druhovej diverzite, a teda presah (redundanciou) vo využívaní objemu ekologického priestoru (Diáz a Cabido 2001).

Na úroveň celkovej komplexnej funkčnej diverzity vplývajú rozličnou mierou jednotlivé skupiny funkčných znakov (Morfo x Diet x Breed), poukazujúce na konkrétny aspekt ekológie vtáčích spoločenstiev.

Z vizualizácií priestorovej variability a analýz vzťahu medzi druhovou a funkčnou diverzitou plynie, že morfologická a sociálno-reprodukčná funkčná diverzita rastie s druhovou diverzitou rovnomernejšie než potravná funkčná diverzita (výnimka u funkčnej hustoty FD_Q). V potravnej zložke ekológie potravných druhov pozorujeme vyššiu mieru redundancie, zatiaľ čo u morfológie a sociálno-reprodukčných stratégiách sú druhy komplementárnejšie vo využívaní ekologického priestoru. Tento fakt je spôsobený tým, že morfologické a reprodukčné vlastnosti sú druhovo viac špecifické a v ekosystémoch pozorujeme väčší rozsah a rozloženie ich hodnôt. Dôležitú rolu pri tom zohráva aj fakt, že morfológia a reprodukcia sú charakterizované primárne spojitými premennými, na rozdiel od potravných preferencií, ktoré sú vo väčšine prípadov reprezentované kategoriálnymi premennými s určením konkrétnych oddelených zložiek potravy (Petchey a Gaston 2006). Pri spojitých premenných je každý jeden druh istým spôsobom unikátny a šanca že v jednom spoločenstve budú dva rovnaké druhy čo do morfológie a reprodukčných parametrov je minimálna. Potravné stratégie spracované formou konkrétneho konečného počtu kategoriálnych úrovní neposkytujú až tak unikátne rozloženie preferencií v potrave, čo sa obzvlášť pri vyššej druhovej diverzite môže prejaviť prekryvom v obsadzovaní potravnej ekologickej niky (Petchey a Gaston 2006, Petchey a Gaston 2002b). Pre náš výskum sme pre morfológiu použili čisto spojité premenné, pre potravné stratégie čisto kategoriálne premenné a pre reprodukciu ich kombináciu s prevahou tých spojitých. Kritickou otázkou pri skúmaní vzťahu medzi druhovou a funkčnou diverzitou a skúmaní obsadzovania ekologického

priestoru druhmi v spoločenstve je výber a forma spracovania konkrétnych funkčných znakov a taktiež ich počet (Petchey a Gaston 2006).

- *Vzťah medzi druhovou a funkčnou diverzitou*

Vo väčšine štúdií medzi druhovou a funkčnou diverzitou pozorujeme pozitívnu závislosť (Petchey a Gaston 2002b). Do dnešnej doby bolo publikovaných množstvo prác aplikovaných na rôzne taxonomické skupiny rastlín (Chapin a kol. 1996, Grime 1998, Lavorel a kol. 1997) alebo živočíchov (Mouillot a kol. 2007, Petchey a kol. 2007, Li a kol. 2010, Villéger a kol. 2010) potvrdzujúcich tento trend.

Dôležitou súčasťou výskumu vzťahu medzi druhovou a funkčnou diverzitou vtáčích spoločenstiev je porovnanie závislostí medzi rôznymi typmi prostredia. Tento prístup nám poskytuje informáciu o tom, akým spôsobom dochádza k obsadzovaniu funkčného priestoru (priestoru ekologických ník) a taktiež poukazuje na javy odohrávajúce sa v spoločenstvách pri odstraňovaní, prípadne pridávaní nových druhov. Testovali sme vplyv prevládajúceho typu biómu na sklon a tvar závislosti medzi druhovou a funkčnou diverzitou s tým, že sme funkčnú diverzitu všetkých metrík $FD_{petchey}$, FD_Q a FRic rozdelili na tri funkčné zložky (Morfo x Diet x Breed) pre podrobnejší náhľad do problematiky.

- *Funkčná bohatosť - $FD_{petchey}$, FRic*

Funkčný objem FRic a funkčný rozsah $FD_{petchey}$ poukazujú na funkčnú bohatosť spoločenstva. Analýza vzťahu medzi druhovou a funkčnou diverzitou odhaľuje až na malé odlišnosti veľmi podobné trendy u oboch metrík. V prípade funkčného rozsahu $FD_{petchey}$, pri nižšej druhovej diverzite rastie funkčná diverzita relatívne rýchlejšie. Pri vysokých hodnotách druhovej diverzity sa nárast funkčnej diverzity spomaľuje a krivka závislosti sa mierne zakrivuje. To je dané tým, že pri vysokej druhovej diverzite sa druhy v ekologickom priestore funkčne zoskupujú pričom dochádza k presahu v obsadzovaní ekologického priestoru (Díaz a Cabido 2001). Najvýznamnejšou mierou k tomuto trendu prispieva potravná zložka, kde sa najvýraznejšie prejavuje princíp redundancie (Díaz a Cabido 1997).

Komplexný funkčný objem FRic pri nízkej druhovej bohatosti narastá relatívne pomalšie, pričom pri strednej druhovej bohatosti začína stúpať rapídnejšie a zmena FRic je proporcionálna k diverzite druhovej. Krivka závislosti v celom rozsahu sa zakrivuje jemne nahor. Z pohľadu ekológie sú spoločenstvá s nižšími druhovými bohatosťami funkčne podobnejšie, pričom nárast je skoro lineárny. Tieto spoločenstvá sú svojim výskytom viazané na menej diverzifikované habitaty akými sú napríklad Nama Karoo alebo sukulentné Karoo, prípadne trávnaté oblasti. Pri vyššej úrovni druhovej diverzity, ktorá ke typická pre lesné alebo savanové habitaty dochádza k výraznemu zvýšeniu funkčnej diverzity z dôvodu heterogenity ekologického priestoru a zvýšenia komplementarity pri obsadzovaní ekologických ník.

Pri podrobnejšom skúmaní morfologickej zložky funkčného rozsahu a objemu môžeme sledovať zjavné rozdiely v závislostiach medzi jednotlivými biómami. Morfologicky najpodobnejšie sú druhy trávnatých oblastí, lesov a krovín, kde pozorujeme najnižší sklon kriviek SD x FD závislostí. Trávnaté plochy sú vegetačne značne homogénne, ale produktívne. To isté platí aj pre lesné habitaty. Homogenita (ale naopak štrukturovanosť) vegetácie a hlavne nepriechodnosť a uzavretosť ekologického priestoru plodí nižšie hodnoty a rozsah u dĺžky krídla, prípadne chvostu. Tento konštrukčný plán umožňuje flexibilnejšie manévrovanie a pohyb v hustejšej vegetácii. V prípade trávnatých plôch je výhodnejší kratší zobák vzhľadom na prevažujúce granivorné a insektivorné potravné stratégie. Morfologicky rozdielnejšie sú druhy saván kde sledujeme zvýšenie heterogenity výskytom jak trávnatých, tak stromových spoločenstiev. Morfologicky najrozdielnejšie sú druhy menej produktívnych oblastí Nama Karoo, sukulentného Karoo a fynbosu. Oblasti Karoo sú málo produktívne, relatívne homogénne, ale prítomnosť habitatov nie úplne typických (oázy, väčšie vodné plochy, rieky) pre tieto oblasti zvyšuje výraznou mierou morfologickú funkčnú diverzitu a ich vplyv pre komplementaritu vo funkčných znakoch je výraznejší než v lesných spoločenstvách, pretože lesné druhy sú na vodné plochy viazané len okrajovejšie. Tieto mikrohabitaty viažu na seba ekologicky (morfologicky) špecifické druhy, hlavne vodné vtáctvo (plameniaky, pelikány, volavky, labute a pod.). Neproduktívnosť prostredia ovplyvňuje intenzívnejšiu migráciu druhov, čo spôsobuje vznik vyššieho rozsahu hodnôt morfologických štruktúr (dlhšie krídla). Morfologicky najdiverzifikovanejšia je avifauna oblasti fynbosu. Prostredie sa vyznačuje obrovskou špecificitou rastlinných spoločenstiev a je to samostatná fytogeografická oblasť. Poskytuje priestor pre množstvo unikátnych morfologických štruktúr a stavebných

plánov, čo je do veľkej miery spojené aj s množstvom dostupných potravných stratégií (špecifické tvary a veľkosti zobákov a krídel u frugivorných a nektarivorných druhov – cukornatky, nektarínie a pod.).Zaujímavým sa zdá byť tvar závislosti SD x FRic v oblasti Nama Karoo a saván. Exponenciálny priebeh s nízkym nárastom funkčného objemu pri nízkej funkčnej bohatosti a rapídnejší nárast pri vyšších hodnotách druhovej bohatosti je spôsobený výraznou zmenou v charaktere vegetácie a klimatických podmienkach naprieč územiami týchto habitatov.

Potravná a morfologická zložka funkčného rozsahu a objemu sú navzájom do istej miery prepojené a vykazujú podobný priebeh v súvislosti s druhovou diverzitou v niektorých prípadoch. V potravnom aspekte sa ale biómy medzi sebou neodlišujú až tak ako u morfológie a trend je podobnejší. Pre potravné stratégie je typické asymptotické zakrivenie krivky závislosti prakticky pre všetky typy prostredí. Tento jav poukazuje na funkčnú redundanciu v priestore využívania potravných zdrojov a nasycovanie potravných ekologických ník pri vyššej druhovej diverzite (Díaz a Cabido 1997, Petchey a Gaston 2006). Potravne najpodobnejšie sú druhy v lesoch. Výsledok sa zdá byť prekvapivým. Už pri nižšej druhovej diverzite v lesných spoločenstvách pozorujeme vysokú potravnú diverzitu, čo je dané širokou ponukou potravy. S vzrastajúcim gradientom druhovej bohatosti sa už ale druhy potravne veľmi nerozrôzňujú. Potravná komplementarita postupne vzrastá v prostredí sukulentného Karoo, fynbosu a trávnatých oblastí. Potravne najdiverzifikovanejšie sú oblasti savany a Nama Karoo. Savana sa vyznačuje obrovským ekologickým objemom a prítomnosť vysokej diverzity cicavcov a bezstavovcov je motorom pre potravných špecialistov akými sú člnozobce, veľké zdochlinožravce (orly, supy), takatry, marabu a pod. Nama Karoo sa výskytom špecifických, hlavne sladkovodných habitatov potravne diverzifikuje (druhy živiace sa vodnými stavovcami a bezstavovcami, druhy špecializované na lov plazov – strakoše, hadiar) podobne ako v prípade saván.

V súvislosti s reprodukčným funkčným rozsahom a objemom sa vynára odlišnejší priebeh závislostí s druhovou bohatosťou pričom v mnohých habitatoch pozorujeme opačný „pattern“ než u morfologických a potravných znakov. Rozdiely v závislostiach medzi jednotlivými typmi prostredia sú väčšie než u potravných zvyklostí. Najnižší sklon SD x FD závislosti pozorujeme v prostredí sukulentného Karoo, Nama Karoo a trávnatých plôch. Je to spôsobené faktom, že v habitatoch s absenciou štrukturovanej vegetácie a minimálnym stromovitým porastom, prípadne jeho absenciou, dochádza k redukcii rozmnožovacích stratégií. Prostredie sa vyznačuje

homogénnejším charakterom a otvorenosťou, a preto u druhov týchto spoločenstiev pozorujeme menší počet typov hniezd (hlavne na zemi, prípadne tesne nad zemou), sociálnych systémov, taktiež nižšiu frekvenciu výskytu pohlavne dimorfných foriem (dravci a pod.). V savane dochádza k vyššej komplementarite obsadzovania reprodukčných ník. Je to spôsobené zvýšením heterogenity prostredia a štruktúry vegetácie (kerové a stromové poschodie). Pri nižšej diverzite majú dokonca najvyššiu úroveň reprodukčnej diverzity, postupne sa ale krivka vzťahu asymptoticky zakrivuje, pretože objem heterogenita je obmedzenejšie než v prípade fynbosu alebo lesných spoločenstiev. Najvýraznejšou reprodukčnou funkčnou diverzitou sa vyznačujú prostredia fynbosu lesov a krovín. Tieto habitaty sa vyznačujú vysokou heterogenitou, štrukturovanosťou vegetácie a taktiež vysoko diverzitou rastlinných spoločenstiev, čo je motorom pre širokú škálu reprodukčných stratégií, typov hniezdenia, sekundárnych pohlavných znakov a podobne. Fynbos je typický najvyššou absolútnou reprodukčnou diverzitou zo všetkých biómov vôbec na danú konkrétnu úroveň druhovej bohatosti.

- *Funkčná hustota/riedkosť - FD_Q*

Zaujímavým spôsobom je vyjadrená funkčná hustota/riedkosť FD_Q a jej vzťah k druhovej diverzite. V tomto vzťahu pozorujeme rovnomerný, takmer lineárny trend, pričom krivka sa zakrivuje len minimálne. Rozloženie bodov študovaných plôch taktiež nevykazuje veľký rozptyl a pozorujeme najpriamočiarejší priebeh závislostí zo všetkých skúmaných spôsobov merania funkčnej diverzity. Všetky skupiny funkčných znakov sa vyznačujú lineárnym, prípadne skoro lineárnym priebehom krivky SD x FD_Q závislosti, čo sa prejavuje aj v celkovej komplexnej FD_Q. Tento trend môže byť spôsobený do istej miery i metódou štatistického spracovania, kedy sme nepracovali so skutočnými početnosťami druhovou v spoločenstve, ale len s prítomnosťou/absenciou (0/1 kódovanie).

Funkčná hustota/riedkosť FD_Q vykazuje isté odlišnosti vo vzťahu k diverzite druhovej v porovnaní s funkčným rozsahom FD a funkčným objemom FRic. Morfologický aspekt FD_Q vykazuje najväčšiu funkčnú redundanciu (presah ekologických ník) v prostredí fynbosu a sukulentného Karoo. Trend je teda opačný v porovnaní s rozsahom a funkčným objemom, ktorý narastá najrýchlejšie zo všetkých typov habitatov. Funkčná vzdialenosť medzi druhmi sa teda v týchto typoch prostredia s pribúdajúcimi druhmi nemení až tak výrazne čo je dané rovnomerným mozaikovitým

rozložením vegetácie (ekologického priestoru) rôznych typov v obasti fynbosu a homogénnosťou a podobným zložením chudšej vegetácie v sukulentnom Karoo. Vyšším nárastom FD s druhovou bohatosťou sa prezentujú trávnaté a lesnaté oblasti, pre ktoré je typická vyššia nerovnomernosť v zložení a fyziognómii rastlinných spoločenstiev. Najdiverzifikovanejšie z hľadiska morfológie sú habitaty Nama Karoo a saván. Tieto prostredia sú charakteristické najväčšou zmenou v zmysle štruktúry vegetácie, prípadne jemnejšej štruktúry prostredí. V savane pozorujeme výrazný gradient klimatických podmienok aj typov vegetácie, od suchej málo produktívnej savany v severnej časti regiónu až po lesnatú, štrukturovanú produktívnu savanu na juhovýchode a východe. Oblasť Nama Karoo je v svojej podstate homogénnym prostredím s chudobnejšou rastlinnou skladbou. Výskytom produktívnejších oblastí saván, trávnatých a vodných plôch sa výrazne mení charakter krajiny a štruktúra flóry, čo ma za následok zvýšenie divergencie medzi druhmi v obsadení funkčného priestoru.

Potravná funkčná hustota sa vyznačuje najrovnomernejším priebehom v porovnaní s druhovou diverzitou. Rozptyl študovaných jednotiek SD x FD_Q závislosti je minimálny a rozdiely medzi jednotlivými prostrediami sú taktiež nepatrné. Pri podrobnejšom skúmaní ale vidíme podobný trend ako u funkčného rozsahu FD a objemu FRic. Najväčšou úrovňou funkčnej redundancie sa vyznačuje prostredie lesov, kde už tradične pozorujeme vysokú potravnú diverzitu (špecialisti na plody a hmyz – zoborožci, hrdličky, holuby, turaka, ďatle a pod.) pri nižšej druhovej bohatosti v porovnaní s ostatnými habitatmi. Pri ďalšom zvyšovaní druhovej diverzity už ale nepozorujeme vysoký nárast vo funkčnej hustote a zloženie potravných gíld ma naďalej podobný charakter. Komplementarita v potravnej hustote postupne narastá naprieč prostredím sukulentného Karoo, trávnatých území a fynbosu, medzi sebou sa ale v nasycovaní krivky líšia minimálne. Potravne najdiverzifikovanejšie sú prostredia saván a Nama Karoo. Ako už bolo spomenuté, savana sa vyznačuje širokou škálou potravných ník a výskyt vysokej diverzity cicavcov a bezstavovcov plodí množstvo potravných gíld a špecialistov akými sú člnozobce, veľké zdochlinožravce (orly, supy), takatry, marabu a pod. Nama Karoo sa výskytom špecifických, hlavne sladkovodných habitatov potravne diverzifikuje (druhy živiace sa vodnými stavovcami a bezstavovcami, druhy špecializované na lov plazov – strakoše, hadiar) podobne ako v oblasti saván.

Sociálno-reprodukčná funkčná hustota v závislosti na druhovej diverzite vykazuje najväčšiu variabilitu v rámci jednotlivých typov prostredí v porovnaní

s morfologickým a potravným aspektom. Najvyššiu funkčnú redundanciu v reprodukčných znakoch vykazujú lesné habitaty a fynbos. Je nutné podotknúť, že v týchto prostrediach nachádzame relatívne najvyššiu absolútnu funkčnú diverzitu pri nižšej až strednej druhovej bohatosti v porovnaní s ostatnými biómami, z dôvodu veľkej štruktúrnej bohatosti a heterogenity vegetácie). Pri ďalšom zvyšovaní druhovej bohatosti však rastie najpomalšie, pretože ekologický priestor už neposkytuje toľko voľných ník. K zvýšeniu komplementarity pri obsadzovaní reprodukčného funkčného priestoru dochádza v trávnatých oblastiach a savane, kde pozorujeme vyššiu heterogenitu a rozdiely v klimatických podmienkach a zložení vegetácie, čím dochádza k zväčšovaniu divergencie v obsadzovaní funkčného priestoru. Najdiverzifikovanejšie s ohľadom na SD x FD_Q závislosť sú suché oblasti Nama karoo a sukulentného Karoo, ktoré pri nízkej druhovej bohatosti vykazujú najnižšiu absolútnu reprodukčnú diverzitu v porovnaní s ostatnými typmi prostredia, čo spôsobuje homogénnosť prodtredia a riedka vegetácia. Pri zvýšení druhovej diverzity dochádza k vysokej koplementarite obsadzovania ekolgických ník, pretože nové druhy pri sú nútené využiť inú časť ekologického priestoru, ktorú poskytujú produktívnejšie časti habitatu vo vorme limnických prostredí a oáz. Krivka závislostí ale pri najvyššej druhovej diverzite saturuje z dôvodu nasýtenia ekologického priestoru.

- *Relatívna funkčná diverzita*

Mnohé štúdie týkajúce sa závislostí medzi druhovou a funkčnou diverzitou poukazujú na rozptyl študovaných jednotiek vo vzťahu medzi SD x FD (Petchey a Gaston 2002b). V takomto prípade pozorujeme rôzne úrovne funkčnej diverzity pri istej hladine diverzity druhovej. Predikčná krivka závislosti medzi druhovou a funkčnou diverzitou nám funkčnú diverzitu rozdeľuje na dve podmnožiny – vyššiu, resp. nižšiu než očakávanú (Petchey a kol. 2007).

Relatívna funkčná bohatosť a objem ($FD_{petchey}$, FRic) vykazujú podobný trend v priestorovej variabilite, aj keď oblasti s proporcionálne vyššou, resp. nižšou úrovňou relatívnej FRic sú rovnomernejšie rozložené naprieč všetkými typmi prostredia než u $FD_{petchey}$. Najvyššie hodnoty pozorujeme v oblasti severného Nama Karoo, v časti trávnatých oblastí a saván (východ a severovýchod), lesov, na území Lesotha s vysokým elevačným gradientom a v oblasti fynbosu. Severná časť Nama Karoo je typická zvýšeným výskytom vodných plôch a vodných tokov (rieka Oranje). Tieto

vlhkejšie a produktívnejšie habitaty poskytujú vhodné prostredie pre špecifické druhy, hlavne vodného vtáctva, ktoré pre oblasť Nama Karoo nie sú úplne typické a svojou prítomnosťou výrazne zvyšujú úroveň funkčného rozsahu. Oblasť saván vo východnej a severovýchodnej časti regiónu (NP Serengetti a pod.) sa vyznačuje vysokou produktivitou, dostatočným úhrnom zrážok a heterogenitou vegetácie. Druhovo sú to najbohatšie oblasti južnej Afriky čo sa prejavuje aj na absolútnych hodnotách diverzity funkčnej. Lesnaté a húštinné habitaty sa vyznačujú vysokou druhovou bohatosťou, produktivitou, úhrnom zrážok a taktiež vysokou heterogenitou a štrukturovanosťou rastlinných spoločenstiev, čo sa prejavuje vo forme vyššej než očakávanej FRic v týchto oblastiach. Oblasť s vysokým elevačným gradientom na území Lesotha sa druhovou bohatosťou podobá na menej produktívne oblasti Nama Karoo, vykazuje však vyššiu funkčnú diverzitu než by sme očakávali náhodou. Dôvodom môže byť vysoká precipitácia, vyššia produktivita trávnatých oblastí a prítomnosť limnických systémov (rieka Oranje) s unikátnym zložením avifauny. Oblasť fynbosu je svojou fytocenologickou unikátnosťou a štruktúrou vegetácie domovom množstva endemických druhov so svojimi špecifickými morfologickými a potravnými adaptáciami. Najnižšiu úroveň pozorujeme v oblasti sukulentného Karoo a v istej časti saván a trávnatých habitatov. Sukulentné Karoo je typické nízkou produktivitou prostredia a nízkym úhrnom zrážok. Vykazuje taktiež nízku úroveň druhovej bohatosti. Dôvodom môže byť tiež homogenita prostredia, obmedzený ekologický priestor a chudý vegetačný pokryv. Trávnaté náhorné plošiny a suché savany plynule nadväzujúce na oblasť Nama Karoo sú menej produktívne a štrukturované než ich bohatšie oblasti, čo sa prejavuje aj na úrovni funkčnej diverzity. Najvyšší rozsah relatívnej $FD_{petchey}$ je typický pre savanu, v ktorej pozorujeme najrozsiahlejší gradient klimatických podmienok a typov vegetácie, od suchej málo produktívnej savany, až po vlhkú produktívnu stromovitú savanu, čo sa prejavuje na diverzite vtáčích spoločenstiev. Naopak najnižší pre sukulentné Karoo, ktoré ja najhomogénnejšie z hľadiska klimatických podmienok a štruktúry habitatu.

Relatívna funkčná hustota/riedkosť FD_Q má omnoho rovnomernejšie rozloženie naprieč biómami južnej Afriky v porovnaní s funkčným rozsahom $FD_{petchey}$. Príčinou je priamočiarosť a linearita závislosti medzi druhovou a funkčnou diverzitou a tiež nízky rozptyl študovaných plôch (obr. 21). Dôvodom môže byť tiež výpočet založený na všetkých funkčných znakoch (aspektoch) dohromady, čím sa rozdiely medzi jednotlivými oblasťami minimalizujú. Najvyšší rozsah úrovne relatívnej FD_Q je typický

pre savanu, naopak najnižší pre sukulentné Karoo, podobne ako u relatívnej $FD_{petchey}$. Motorom pre veľký rozsah funkčnej diverzity je ako už bolo spomínané klimaticky, vegetačne bohaté a štrukturované prostredie ale taktiež rozsah druhovej diverzity. U savany sú tieto gradienty najvýraznejšie, u sukulentného Karoo pozorujeme pravý opak, vysokú homogenitu a nízku druhovú bohatosť. Naopak, priemerná relatívna FD_Q je najvyššia v oblasti sukulentného Karoo. V sukulentnom Karoo je síce nízka druhová bohatosť, pri náraste sa však funkčná diverzita zvyšuje relatívne rýchlejšie, so strmším sklonom, čo posúva priemernú vzdialenosť medzi druhmi vo funkčnom priestore do vyšších hodnôt. Naopak, najnižšia relatívna FD_Q prevažuje v oblasti lesov. Lesy sa vyznačujú vysokou heterogenitou a vysokou funkčnou diverzitou už pri nižšej druhovej bohatosti. Pozorujeme tu ale najpomalší nárast SD x FD_Q zo všetkých biómov a charakteristická je nižšia FD_Q než by sme očakávali. Celkový trend je opačný než u relatívnej $FD_{petchey}$, ale rozdiely medzi jednotlivými typmi prostredia nie sú až tak výrazné.

Vo všeobecnosti, vyššia relatívna funkčná diverzita prevažuje v produktívnych heterogénnejších oblastiach saván, lesov, trávnatých prostredí a fynbose. Nižšia relatívna funkčná diverzita prevažuje v západnej časti južnej Afriky, v oblasti Nama Karoo, sukulentného Karoo a suchých savanách, kde je nízka produktivita, chudý vegetačný pokryv a nižšia dostupnosť vody na väčšine územia.

- *Vzťah medzi funkčnou hustotou a funkčným objemom*

Sledovaním vzťahu medzi funkčnou hustotou/riedkosťou FD_Q a funkčným objemom FRic môžeme zisťovať relatívnu úroveň týchto dvoch aspektov voči sebe navzájom. Pri istom funkčnom objeme FRic pozorujeme rôznu úroveň funkčnej hustoty/riedkosti FD_Q v rôznych typoch prostredia.

Medzi funkčným objemom FRic a funkčnou hustotou/riedkosťou FD_Q pozorujeme pozitívnu závislosť s nerovnomerným priebehom krivky. Pri nízkej úrovni FRic pozorujeme rýchly nárast FD_Q. Pri stredných hodnotách Fric dochádza k spomaleniu nárastu FD_Q, proporcionálne menšiemu než u FRic a krivka postupne saturuje. Takéto usporiadanie vyplýva z toho, že pri nízkych funkčných objemoch, nízkej druhovej bohatosti a ich postupnom náraste pri obsadzovaní ekologického priestoru sú druhy funkčne viac rozdielnejšie, pretože je k dispozícii väčšie množstvo ekologických ník (Diáz a Cabido 2001). Pri najvyšších hodnotách funkčného objemu za

znižuje objem voľného ekologického priestoru, dochádza k presahu v obsadzovaní ník a funkčný priestor sa „zahusťuje“, čo sa prejaví spomaleným nárastom, resp. zníženým hodnôt FD_Q (Diáz a Cabido 2001). Vo vzťahu FRic x FD_Q pozorujeme na daný funkčný objem relatívne najnižšiu funkčnú hustotu (najvyššiu FD_Q) než by sme očakávali v centrálnejšej časti saván, na juhovýchodnom a južnom pobreží a vo vnútrozemskej časti fynbosu. Oblasti s relatívne najvyššou funkčnou hustotou (najnižšou FD_Q) voči FRicsú tie, kde pozorujeme relatívne najvyššiu FRic voči FD_Q (severovýchod a východ saván, pobrežná časť fynbosu alebo oblasť rieky Oranje na severe Nama Karoo). Práve vyššia hustota obsadenosti funkčného priestoru môže poukázať na jemnejšiu diferenciáciu pri obsadzovaní ekologických ník, čím daný funkčný objem poskytne priestor pre väčší počet podobnejších druhov v spoločenstve (Cornvell a kol. 2006). Naopak, nižšia hustota (vyššia riedkosť) v obsadení funkčného priestoru môže indikovať „hrubšie zrno“ v prerozdeľovaní ekologických ník, čo vedie k nižšej a diverzifikovanejšej druhovej bohatosti pri uplatnení princípu limitujúcej podobnosti (Devictor a kol. 2010, Mouillot a kol. 2007).

- *Štruktúra dát a štatistické spracovanie pri výpočte funkčnej diverzity*

V súčasnosti poznáme množstvo spôsobov pre výpočet funkčnej diverzity (Petchey a Gaston 2006). Odlišujú sa na základe rôznych kritérií a vlastností: aspekty funkčnej diverzity, ktoré vyjadrujú, typ funkčných vlastností, ktoré zahŕňajú pri výpočte, nezávislosť na druhovej diverzite, prítomnosť/absencia abundancií druhov pri kalkulácii a pod. Štandardizovaný spôsob výpočtu, ktorý by spĺňal všetky kritéria potrebné pre komplexné pokrytie všetkých aspektov funkčnej diverzity a všetkých typov funkčných premenných nepoznáme (Petchey a Gaston 2002b).

Metriky $FD_{petchey}$ a FRic stanovujú funkčnú bohatosť, teda celkový funkčný rozsah a objem spoločenstiev (Mouchet a kol. 2010). Výhodou $FD_{petchey}$ je schopnosť pracovať s kombináciou kategoriálnych a spojitých premenných a taktiež rýchlosť výpočtu, napríklad v porovnaní s FRic. Nevýhodou je nemožnosť zahrnúť početnosti druhov do výpočtu (Petchey a Gaston 2002b). Devízou FRic je možnosť implementácie početností druhov pri kalkulácii. Nevýhodou je nemožnosť práce s kategoriálnymi premennými, ktoré vyžadujú číselnú transformáciu (Villéger a Mouillot 2008). Za najväčšiu nevýhodu metrík $FD_{petchey}$ a FRic považujem vysokú citlivosť na odľahlé hodnoty v rámci funkčných charakteristík. Z analýzy vyplýva, že pri istej hodnote

druhovej diverzity nachádzame spoločenstvá s rozdielnou úrovňou diverzity funkčnej. Ešte zjavnejšie je rozdelenie oblaku bodov predikčnou krivkou na oblasti s vyššou a nižšou funkčnou diverzitou než by sme očakávali. V dielčich analýzach je tento trend najvýraznejší u morfológie a u reprodukcie. Za ostrejším rozdelením funkčnej diverzity stojí rozsah hodnôt funkčných znakov druhov vyskytujúcich sa v spoločenstve. Druhy spoločenstiev, ktoré sa vymykajú štandardnému rámcu v oblasti morfológie, potravných preferencií alebo reprodukčných parametrov, často výraznou mierou posúvajú hodnoty funkčnej diverzity svojou prítomnosťou/absenciou pri výpočte. Intuitívny postoj nabáda k odstráneniu príslušných odľahlých hodnôt teda druhov, ktorých nositeľmi sú. Skutočnosťou ale je, že vo väčšine prípadov sú to druhy špecifické, ktoré výraznou mierou ovplyvňujú fungovanie spoločenstiev a ekosystémov (dravci, vodné vtáctvo, sovy, potravní špecialisti a pod.). Spôsob merania FD_Q vyjadruje funkčnú hustotu/riedkosť, a teda funkčnú vzdialenosť medzi druhmi v spoločenstve (Rao 1982). Výhodou sú početnosti druhov vo výpočte a taktiež možnosť mixu kategoriálnych a spojitých funkčných premenných. Ďalšími výhodami je nezávislosť na diverzite druhovej (s nárastom druhovej diverzity môže dôjsť k zníženiu FD_Q) a nižšia citlivosť na odľahlé hodnoty funkčných charakteristík (Botta-Dukát 2005, Ricotta 2005).

Výskum funkčnej diverzity vyžaduje do budúcna množstvo štúdií, ktoré by mali byť aplikované na rozličné taxonomické skupiny organizmov, aby mohlo dôjsť k porovnaniu a zisteniu rozdielov medzi nimi. Kritickými je výber konkrétnych funkčných charakteristík a taktiež ich počet (Petchey a Gaston 2006). Manipulácia s týmito faktormi zvykne byť zdrojom istých odlišností vo výsledkoch a aplikácia na závislosti medzi druhovou a funkčnou diverzitou pomôže docieliť podrobnejší náhľad na danú problematiku. Užitočná je taktiež aplikácia rôznych spôsobov merania na danú konkrétnu taxonomickú skupinu, pretože takto môžeme pokryť viacero aspektov funkčnej diverzity. Pri štúdiu vzťahu medzi druhovou a funkčnou diverzitou je taktiež vhodným riešením pokus o podrobnejšie rozčlenenie („jemnejšie zrno“) študovaného územia na špecifickejšie typy habitatov, ktorý môže priniesť podrobnejšiu predstavu o danej problematike. Súhrnom mnohostránkového konceptu funkčnej diverzity získame presnejšie prediktívne modely a nástroje k porozumeniu toho, ako je štruktúra spoločenstiev previazaná s fungovaním ekosystémov (Mouchet a kol. 2010).

5. ZÁVER

Použitím rôznych spôsobov merania funkčnej diverzity, vizualizáciou a regresnými analýzami sme sa snažili objasniť a vysvetliť rozličné trendy a javy týkajúce sa druhovej a funkčnej diverzity vtáčích spoločenstiev južnej Afriky.

Druhová diverzita nie je na území južnej Afriky rozmiestnená rovnomerne, ale pozorujeme longitudinálny gradient, kedy s narastajúcou zemepisnou dĺžkou v západo-východnom smere počet druhov narastá. Úroveň funkčnej diverzity sa zvyšuje podobným longitudinálnym trendom, ale pozorujeme isté rozdiely v závislosti na funkčnom aspekte, resp. skupine funkčných znakov. V súvislosti s funkčným rozsahom a objemom ($FD_{petchey}$, FRic) je priestorová variabilita morfologickej a sociálno-reprodukčnej funkčnej diverzity diverzifikovanejšia s rýchlejším longitudinálym nárastom, čo je spôsobené vyššou druhovou špecifickosťou a unikátnosťou hodnôt daných znakov. Potravná funkčná diverzita narastá relatívne rýchlejšie a už pri nižších hodnotách druhovej bohatosti vykazuje vyššie hodnoty. Postupne sa so zemepisnou dĺžkou nárast funkčnej spomaľuje a priestorová variabilita potravnej funkčnej diverzity má rovnomernejšiu distribúciu, čo je spôsobené obmedzeným počtom potravných kategórií. Funkčná hustota/riedkosť (FD_Q) vykazuje podobné rozloženie v rámci všetkých skupín funkčných znakov a s druhovou diverzitou rastie najlineárnejšie. Vykazuje najpodobnejšiu priestorovú variabilitu v porovnaní s diverzitou druhovou, teda funkčná hustota sa naprieč longitudinálnym gradientom veľmi nemení.

Vzťah medzi druhovou a funkčnou diverzitou poukazuje na spôsob akým druhy využívajú ekologický (funkčný) priestor, pričom pozorujeme isté rozdiely v rámci rôznych funkčných vlastností a medzi rôznymi typmi prostredí.

V súvislosti s funkčným rozsahom a objemom ($FD_{petchey}$, FRic) pozorujeme najvyššie absolútne hodnoty morfologickej a potravnej funkčnej diverzity (už pri nízkej druhovej diverzite) v produktívnych a vegetačne štrukturovaných oblastiach lesov, saván a v trávnatých biómoch. Najnižšia úroveň funkčnej diverzity je typická pre oblasť menej produktívnych a vegetačne chudobnejších oblastí, sukulentného Karoo a Nama Karoo. K najvýraznejšej zmene funkčnej diverzity s diverzitou druhovou dochádza v oblasti Nama Karoo, sukulentného Karoo a fynbosu, kde prítomnosť špecifických habitatov (hlavne vodných) v jemnejšej mierke poskytuje vhodný ekologický priestor pre funkčne diverzifikovanejšie druhy. Lesné a savanové habitaty sú naopak vyrovnanejšie v hodnotách funkčnej diverzity a nedochádza k výraznému nárastu

s diverzitou druhovou. V súvislosti s funkčným rozsahom a objemom ($FD_{petchey}$, FRic) pozorujeme u absolútnych hodnôt socialno-reprodukčnej FD a sklonov závislostí rozdielnejší, resp. opačný trend než u morfológie a potravných preferencií. Najvyššie absolútne hodnoty sociálno-reprodukčnej funkčnej diverzity (už pri nízkej druhovej diverzite) v menej produktívnych a vegetačne menej štrukturovaných oblastiach sukulentného Karoo a Nama Karoo, ale tiež v produktívnej savane a v trávnatých biómoch. Najnižšie absolútne hodnoty funkčnej diverzity (pri nižšej SD) pozorujeme v štrukturovaných a floristicky diverzifikovaných lesov a fynbose, ktoré sú ale naopak motorom pre najvyšší nárast a zmenu funkčnej diverzity pri zvýšení diverzity druhovej. V savane a trávnatých oblastiach je zmena funkčnej diverzity s diverzitou druhovou menej výrazná, čo je spôsobené hlavne absenciou rozsiahlejších vyšších krovinatých a stromovitých porastov.

V prípade funkčnej hustoty/riedkosti (FD_Q) pozorujeme podobný pattern u všetkých typov funkčných znakov (morfológia, potrava, reprodukcia). Najvyššie absolútne hodnoty funkčnej diverzity (už pri nízkej druhovej diverzite) v produktívnych a vegetačne štrukturovaných oblastiach lesov a vo floristicky diverzifikovanej a unikátnej oblasti fynbosu. Najnižšia úroveň funkčnej diverzity (pri nízkej SD) je typická pre oblasť menej produktívnych a vegetačne chudobnejších oblastí Nama Karoo, ale taktiež oblasti saván. Oblasti sukulentného Karoo a travín sú charakteristické strednými hodnotami FD. Čo sa týka nárastu FD_Q s diverzitou druhovou, najvýraznejší trend pozorujeme práve u Nama Karoo a savany. Je to spôsobené najvyšším gradientom a postupnou zmenou environmentálnych a vegetačných podmienok v rámci týchto biómov, od najsuchších, málo produktívnych regiónov až po limnické, vlhké a štrukturované oblasti (priemerná funkčná vzdialenosť medzi druhmi sa postupne zvyšuje). V oblasti lesov a fynbosu je funkčný priestor najrovnomernejšie heterogénny s prítomnosťou pravidelne lokalizovaných mikrohabitatov, ktoré umožňujú bohatú ale rovnomernejšiu distribúciu druhov do jednotlivých ekologických ník.

Relatívna funkčná diverzita poukazuje na varianciu v hodnotách funkčnej diverzity pri istej konkrétnej úrovni diverzity druhovej. Relatívna funkčný rozsah $FD_{petchey}$ a funkčný objem FRic vykazuje najvyššie hodnoty v oblasti severného Nama Karoo, trávnatých oblastiach a savane na východe a severovýchode regiónu, na území Lesotha s vysokým elevačným gradientom a v oblasti fynbosu. Tieto oblasti vykazujú vysokú heterogenitu a štruktúru rastlinných spoločenstiev, vyššiu úroveň precipitácie a dostupnosť vody. Najnižšiu úroveň pozorujeme v oblasti sukulentného Karoo a v istej

časti saván a trávnatých habitatov, pre ktoré je typická homogenita prostredia, obmedzený ekologický priestor a chudý vegetačný pokryv. Relatívna funkčná hustota/riedkosť FD_Q má omnoho rovnomernejšie rozloženie naprieč biómami južnej Afriky v porovnaní s $FD_{petchey}$ a FRic. Príčinou je priamočiarosť a linearita závislosti medzi druhovou a funkčnou diverzitou a tiež nízky rozptyl študovaných plôch. Najvyšší rozsah úrovne relatívnej FD_Q je typický pre savanu, naopak najnižší pre sukulentné Karoo, podobne ako u relatívnej $FD_{petchey}$ a FRic. Príčinou veľkého rozsahu funkčnej diverzity je klimaticky, vegetačne bohaté a štrukturované prostredie a vysoký rozsah druhovej diverzity. U sukulentného Karoo pozorujeme naopak, nižší rozsah gradientov, vysokú homogenitu a nízku druhovú bohatosť.

Sledovaním vzťahu medzi funkčnou hustotou/riedkosťou FD_Q a funkčným objemom FRic môžeme zisťovať relatívnu úroveň a súvis týchto dvoch aspektov. Pri závislosti FRic x FD_Q pozorujeme na daný objem relatívne najvyššiu FD_Q než by sme očakávali na väčšine územia savany, v trávnatých oblastiach, lesoch a krovinách na južnom a juhovýchodnom pobrežia vo vnútrozemí fynbosu. Tieto regióny sú charakterizované vysokou druhovou bohatosťou, produktivitou (savany) a heterogenitou a unikátnosťou vegetácie (fynbos), čo sa prejaví vysokou úrovňou FD_Q vtáčích spoločenstiev. Oblasti s najnižšou relatívnou FD_Q voči FRic sú NamaKaroo, sukulentné Karoo, oblasť Lesotha (homogénne, málo štrukturované oblasti) a pobrežná časť fynbosu (heterogénna, jemne štrukturovaná oblasť, poskytujúca priestor pre väčšie množstvo jemne ekologicky diverzifikovaných druhov).

Táto diplomová práca by mala slúžiť ako podkladový materiál pre vypracovanie dizertačnej práce v doktorskom štúdiu. Hlavné otázky a ciele dizertačnej práce: 1) popis zmien v úrovni rôznych aspektov funkčnej diverzity pozdĺž environmentálnych gradientov 2) štúdium vzťahov medzi druhovou a funkčnou diverzitou v rozličných mierkach a typoch prostredia 3) vplyv prostredím determinovanej vnútro-traitovej variability na variabilitu diverzity funkčnej. Danú problematiku by sme chceli aplikovať na vtáčie spoločenstvá afrického kontinentu (JAR, Mt.Cameroon a pod.).

POUŽITÁ LITERATÚRA

Bihn, J.H., Gebauer, G. & Brandl, R. (2010). Loss of functional diversity of ant assemblages in secondary tropical forests. *Ecology*, 91: 782–792.

Botta-Dukát, Z. (2005). Rao's quadratic entropy as a measure of functional diversity based on multiple traits. *J. Vegetation Sci*., 16: 533–540.

Cardillo, M. (2002). The life-history basis of latitudinal diversity gradients: how do species traits vary from the poles to the equator? *Journal of Animal Ecology* 71: 79-87.

Chapin, F.S.I., Bret-Harte, M.S., Hobbie, S.E. & Hailan, Z. (1996). Plant functional types as predictors of transient responses of arctic vegetation to global change. *J. Vegetation Sci*., 7: 347–358.

Chapin, F.S., Zavelata, E.S., Eviner, V.T., Naylor, R.L., Vitousek, P.M., Reynolds, H.L., Hooper, D.U., Lavorel, S., Sala, O.E., Hobbie, S.E., Mack, M.C. & Diaz, S. (2000). Consequences of changing biodiversity. *Nature*, 405: 234–242.

Cornwell, W.K., Schwilk, D.W. & Ackerly,D.D.(2006). A trait-based test for habitat filtering: convex hull volume. *Ecology*, 87:1465–1471.

Cueto, V.R. & de Casenave, J.L. (1999). Determinants of bird species richness: role of climate and vegetation structure at a regional scale. *Journal of Biogeography*, 26: 487–492.

Devictor, V., Clavel, J., Julliard, R., Lavergne, S., Mouillot, D., Thuiller, W., Venail, P., Villéger, S. & Mouquet, N. (2010). Defining and measuring ecological specialization. *J.Appl. Ecol.*, 47: 15–25.

Díaz, S. & Cabido, M. (1997). Plant functional types and ecosystem function in relation to global change. *J. Vegetation Sci*., 8: 463–474.

Díaz, S. & Cabido, M. (2001). Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends Ecol. Evol*., 16: 646–655.

Fry, CH., Keith, S., a kol. (eds.) (1982-2004). The Birds of Africa. Vol. 1. - 7. London, UK: *Christopher Helm*.

Greve, M., Gaston, K.J., van Rensburg, B.J., & Chown, S.L. (2008). Environmental factors, regional body size distributions and spatial variation in body size of local avian assemblages. *Global Ecology and Biogeography* 17: 514-523.

Grime, J.P. (1998). Benefits of plant diversity to ecosystems: immediate, filter and founder effects.*J. Ecol.*,86: 901–910

Harrison, J.A., Allan, D.G., Underhill, L.G., Herremans, M., Tree, A.J., Parker & V. Brown, C.J. (1997). The atlas of southern African birds. Birdlife South Africa, Johannesburg.

Hector, A., Schmid, B., Beierkuhnlein, C., Caldeira, M.C., Diemer, M., Dimitrakopoulos, P.G., Finn, J.A., Freitas, H., Giller, P.S., Good, J., Harris, R., Högberg, P., Huss-Danell, K., Joshi, J., Jumpponen, A., Körner, C., Leadley, P.W., Loreau, M., Minns, A., Mulder, C.P.H.,O'Donovan,G., Otway, S.J., Pereira, J.S., Prinz, A., Read, D.J., Scherer-Lorenzen, M., Schulze, E.-D., Siamantziouras, A.-S.D., Spehn, E.M., Terry, A.C., Troumbis, A.Y., Woodward, F.I., Yachi, S. & Lawton, J.H. (1999). Plant diversity and productivity experiments in European grassland. *Science*, 286: 1123–1127.

Hockey, P.A.R., Dean, W.R.J. & Ryan, P.G. (eds.) (2005). Roberts Birds of Southern Africa (7th ed.). Cape Town*: Trustees of the John Voelcker Bird Book Fund*.

Hooper, D.U. (1998). The role of complementarity and competition in ecosystem responses to variation in plant diversity. *Ecology*, 79: 704–719.

Jetz, W. & Rahbek, C. (2001). Geometric constraints explain much of the species richness pattern in African birds. *Proc. of the Nat. Academy of Sciences*., 98: 5661-5666.

Jetz, W. & Rahbek, C. (2002). Geographic Range Size and Determinants of Avian Species Richness. *Science*, 297: 1548-1551.

Jetz, W., Sekercioglu, C.H. & Böhning-Gaese, K. (2008). The worldwide variation in avian clutch size across species and space. *PLoS Biology* 6: 2650-2657.

Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*, 113: 363–374.

Johnson, K.H. a kol. (1996). Biodiversity and the productivity and stability of ecosystems. *Trends Ecol. Evol.*,11: 372–377

Lavorel, S., McIntyre, S., Landsberg, J. & Forbes, T.D.A. (1997). Plant functional classifications: from general groups to specific groups based on response to disturbance. *Trends Ecol. Evol*., 12: 474–478.

Legendre, P., Galzin, R., &Harmelin-Vivien, M.L. (1997).Relating behaviour to habitat: Solutions to the fourth-corner problem. *Ecology*, 78: 547-562.

Lepš, J., Brown, V.K., Len, T.A.D., Gormsen, D., Hedlund,K., Kailová, J., Korthals, G.W., Mortimer, S.R., Rodriguez-Barrueco, C., Roy, J., Regina, I.S., van Dijk, C. & van der Putten, W.H. (2001). Separating the chance effect from other diversity effects in the functioning of plant communities. Oikos, 92: 123-134.

Li, P., Ding, P., Feeley, K.J., Zhang, J. & Jiang, P. (2010). Patterns of species diversity and functional diversity of breeding birds in Hangzhou across an urbanization gradient. *Chinese Birds*.: 1, 1–8.

Loreau, M. (1998). Biodiversity and ecosystem functioning: a mechanistic model. *Proc. Natl Acad. Sci*. USA, 95: 5632–5636.

Loreau, M. (2000). Biodiversity and ecosystem functioning: recent theoretical advances. *Oikos*, 91: 3–17.

Loreau, M., Naeem, S., Inchausti, P., Bengtsson, J., Grime, J.P., Hector, A., Hooper, D.U., Huston, M.A., Raffaelli, D., Schmid, B., Tilman, D. & Wardle, D.A. (2001). Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges. *Science*, 294:804–808.

Magurran, A. (2005). Measuring Biological Diversity. *Blackwell Science*, Oxford.

Mason, N.W.H., Mouillot, D., Lee, W.G. & Wilson, J.B. (2005). Functional richness, functional evenness and functional divergence: the primary components of functional diversity. *Oikos*, 111: 112–118.

Micheli, F. & Halpern, B.S. (2005).Low functional redundancy in coastal marine assemblages. *Ecol. Lett*., 8: 391–400.

Mouchet, M.A., Villéger, S., Mason N.W.H. & Mouillot, D. (2010). Functional diversity measures: an overview of their redundancy and their ability to discriminate community assembly rules. *Functional Ecology*, 24: 867-876.

Mouillot, D., Dumay, O. & Tomasini, J.A. (2007). Limiting similarity, niche filtering and functional diversity in brackish lagoon fish communities. *Estuarine, Coastal And Shelf Science*. 71: 443-456.

Mucina, L. & Rutherford, M.C. (eds) (2006). The Vegetation of South Africa, Lesotho and Swaziland. *Strelitzia19*. South African National Biodiversity Institute, Pretoria.

Naeem, S. & Wright, J.P. (2003). Disentangling biodiversity effects on ecosystem functioning: deriving solutions to a seemingly insurmountable problem. *Ecol. Lett*., 6: 567–579.

Naeem, S. (1998). Species redundancy and ecosystem reliability. *Conserv. Biol.*,12: 39–45.

Norberg, J. (2000). Resource-niche complementarity and autotrophic compensation determines ecosystem-level responses to Cladoceran species richness. *Oecologia*, 122: 264–272.

O'Brien, E.M. (1993). Clima gradients in woody plant species richness: towards an explanation based on an analysis of southern Africa's woody flora. *Journal of Biogeography* 20: 181-198.

O'Brien, E.M, Whittaker R.J. & Field, R. (1998). Climate and woody plant diversity in southern Africa: relationship at species, genus, and family levels. *Ecography* 21: 495-509.

Olson, V.A., Davies, R.G., Orme, C.D.L., Thomas, G.H., Meiri, S., Blackburn, T.M., Gaston, K.J., Owens, I.P.F. & Bennett, P.M. (2009). Global biogeography and ecology of body size in birds. *Ecology Letters* 12: 249-259.

Orme, C.D.L., Davies, R.G., Olson, V.A., Thomas, G.H., Ding, T.S., Rasmussen, P.C., Ridgely, R.S., Stattersfield, A.J., Bennett, P.M., Owens, I.P.F., Blackburn, T.M. & Gaston, K.J. (2006). Global patterns of geographic range size in birds. *PLoS Biology* 4: 1276-1283.

Petchey, O.L. & Gaston, K.J. (2002a). Extinction and the loss of functional diversity. *Proc. R. Soc. Lond. Ser. B, Biol. Sci*., 269: 1721–1727.

Petchey, O.L. & Gaston, K.J. (2002b). Functional diversity (FD), species richness, and community composition. *Ecol. Lett*., 5: 402–411.

Petchey, O.L. & Gaston, K.J. (2006). Functional diversity: back to basics and looking forward. *Ecol. Lett.*, 9: 741–758.

Petchey, O.L., Evans, K.L., Fishburn, I.S. & Gaston, K.J. (2007). Low functional diversity and no redundancy in British avian assemblages. *J. Anim. Ecol*., 76: 977-985

Rahbek, C. & Graves, G.R. (2000). Detection of macro-ecological patterns in South American hummingbirds is affected by spatial scale. *Proc. R. Soc. Lond.*,267: 2259-2265

R Core Team (2012). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL http://www.R-project.org/.

Rao, C.R. (1982). Diversity and dissimilarity coefficients: a unified approach. *Theor. Popul. Biol*., 21: 24–43.

Rangel, T.F.L.V.B., Diniz-Filho, J.A.F. & Bini, L.M. (2006).Towards an integrated computational tool for spatial analysis in macroecology and biogeography. *Global Ecology and Biogeography* 15: 321-327.

Rangel, T.F.L.V.B, Diniz-Filho, J.A.F & Bini, L.M. (2010). SAM: a comprehensive application for Spatial Analysis in Macroecology**.** *Ecography*, 33:46-50.

Ricotta, C. (2005). A note on functional diversity measures. *Basic Appl. Ecol*., 6: 479–486.

Rosenfeld, J.S. (2002). Functional redundancy in ecology and conservation. *Oikos*, 98: 156–162.

Sala, O.E. a kol. (1996). Biodiversity and ecosystem functioning in grasslands. In *Functional Roles of Biodiversity* (Mooney, H.A. a kol.,eds), 129–150, John Wiley & Sons.

Stevens, R.D., Cox, S.B., Strauss, R.E. & Willig, M.R. (2003). Patterns of functional diversity across an extensive environmental gradient: vertebrate consumers, hidden treatments and latitudinal trends. *Ecol. Lett*., 6: 1099–1108.

Tesfaye, M., Dufault, N.S., Dornbusch, M.R., Allan, D.L., Vance, C.P. & Samac, D.A. (2003). Influence of enhanced malate dehydrogenase expression by alfa on diversity of rhizobacteria and soil nutrient availability. *Soil Biol. Biochem*., 35: 1103–1113.

Tilman, D. (1996). Biodiversity: Population versus ecosystem stability. *Ecology*, 77: 350-363.

Tilman, D., Knops, J., Wedin, D., Reich, P., Ritchie, M. & Siemann, E. (1997). The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. *Science*, 277: 1300–1302.

Tilman, D. (1999). The ecological consequences of changes in biodiversity: a search for general principles. *Ecology*, 80: 1455–1474.

Tilman, D. (2001). Functional diversity. In: *Encyclopedia of Biodiversity* (ed. Levin, S.A.). Academic Press, San Diego, CA, 109–120.

Tószögyová, A. (2011). Vzťah medzi gradientmi diverzity, geografickým rozšírením a životnými stratégiami juhoafrických vtákov. Univerzita Karlova v Praze. Přírodovědecká fakulta. Katedra ekologie. Praha.

Van Rensburg, B.J., Chown, S.L. & Gaston, K.J. (2002). Species richness, environmental correlates, and spatial scales: a test using South African birds. *American Naturalist* 159: 566-577.

Villéger, S., Mason, N.W.H. & Mouillot, D. (2008). New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology. *Ecology*, 89: 2290–2301.

Villéger, S., Ramos Miranda, J., Flores Hernandez, D. & Mouillot, D. (2010). Contrasted changes in taxonomic and functional diversity of tropical fish communities after habitat degradation. *Ecological Applications*, 20(6): 1512-1522.

Violle, C., Navas, M.L., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I. a kol. (2007). Let the concept of trait be functional! *Oikos*, 116: 882–892.

Walker, B.H. (1995). Conserving biological diversity through ecosystem resilience. *Conserv. Biol*, 9: 747–752.

Wilson, J.B., & Agnew, A.D.Q. (1992). Positive-Feedback Switches in Plant-Communities. *Advances in Ecological Research*, 23: 263-336.

Zak, J.C., Willig, M.R., Moorhead, D.L. & Wildman, H.G. (1994). Functional diversity of microbial communities. *Soil Biol. Biochem*., 26: 1101–1108.

Zobel, M. (1997). The relative role of species pools in determining plant species richness: an alternative explanation of species coexistence? *Trends Ecol. Evol.*,12: 266–269.