

PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM

Biológiai és Sportbiológiai Doktori Iskola

A Földközi-tenger valódi csontoshalainak pikkelyanalízise

PhD értekezés tézisei

Bräger Zsuzsanna

Témavezető

Dr. Timo Moritz

tudományos tanszék vezetője DMM

Konzulens

Dr. Horváth Győző

egyetemi adjunktus PTE TTK

PÉCS, 2016

1. Tudományos előzmények

Az ichthyológia évek óta használja a pikkelyeket a halak rendszertani tanulmányozásában. A pikkelyeket a kopoltyúk és az úszósugarak mellett a valódi csontoshalak (Teleostei) fő jellemző bélyegeiként tartják számon. Rendkívüli alak- és formagazdagságuk mellett a különböző halfajok pikkelyei nagyfokú változatosságot mutatnak mind szövettanilag mind pedig egyedfejlődésükben (SIRE és mtsai., 2009). Az egyes taxonok között meglévő pikkely-morfológiai változatosság miatt a pikkelyanalízis jelentős szerepet tölt be számos ichthyológiai kérdés megválaszolásában. Elsőként LOUIS AGASSIZ (1833-1843) tett tanúbizonyságot a halpikkelyek rendszertani munkákban való felhasználhatóságáról. Bár az általa létrehozott besorolás mesterséges rendszernek számít, AGASSIZ által bevezetett nomenklatúra a squamatológiában (pikkelyekkel foglalkozó tudományág) máig megállja a helyét. A valódi csontoshalak rendszertanában a pikkelyek beazonosítása hosszú évekig csupán a “cikloid” és “ktenoid” pikkelytípusokra korlátozódott. ROBERTS munkája (1993) azonban bebizonyította, hogy ez a szemlélet a valóság túlegyszerűsítése, s kijelentette, hogy a teleost törzsfjlődési vonalon folytatott beható pikkely-vizsgálatok értékes információt hordoznak a valódi csontoshalak evolúciója szempontjából. COBURN & GAGLIONE (1992), valamint KHEMIRI és mtsai. (2001) bár megerősítették ROBERTS nézetét, egyben rávilágítottak arra, hogy a halpikkelyek morfológiája nagyfokú változatosságot mutat a halak testtájai között, s ez megnehezíti a pontos fajbeazonosítást. Jól kidolgozott pikkelykatalógusok, melyek tartalmazzák a pikkelyek különböző típusainak széles skáláját, valamint a fajspecifikus leírásokat még napjainkban is hiánycikknek számítanak. Nem csak az ichthyológusok, de ökológusok, paleontológusok és archeológusok munkájához is fontos referencia anyagot biztosítanak a pikkelyatlaszok. Édesvízi és tengeri üledékből végzett pikkelyanalízis jelentős ismereteket szolgáltatott ősi fajösszetétel meghatározásában, illetve környezeti változások nyomkövetésében. Mióta VAN OOSTEN (1957) kijelentette, hogy a halpikkelyeknek „limitált a felhasználhatóságuk a rendszertani munkákban”, számos kutatás bizonyította ennek ellentétét.

Ahhoz, hogy a pikkelyanalízisekből több tudományterület is profitálhasson elengedhetetlen olyan határozó atlaszok kidolgozása, melyek a halpikkelyek morfológiájának és variabilitásának megbízható referenciájaként szolgálnak. Továbbá szükséges módszertani útmutatók létrehozása, mely a pikkelyanalízis gyakorlati felhasználhatóságát előmozdítja az ökológiában és a halgazdálkodásban.

2. Célkitűzések

Kutatásom fő célja, hogy a valódi csontoshalak pikkelyanalízise során feltárjam azon morfológiai és morfometriai jellegzetességeket, melyek lehetővé teszik a megbízható beazonosítást különböző taxonómiai szinteken. Az elsődleges cél (1) egy olyan rendszer felállítása, amely segíti a pikkelyek beazonosítását a Földközi-tenger leggyakoribb teleost fajainak körében. Mivel a pikkelyek többsége magas fokú alaki variabilitást és a halak testtájai közötti képlékenységet mutat - különösen a heringfélék (*Clupeidae*) családjában - a másodlagos cél (2) egy olyan módszertani megközelítés kidolgozása, amely lehetővé teszi a morfológiailag hasonló pikkelyek megbízható megkülönböztetését a morfometria és geometriai morfometria eszköztárának felhasználásával. (3) A pikkelyanalízis gyakorlati alkalmazása céljából a pikkelyek morfometriai információjának felhasználhatóságát teszteltem szimpatikus fajok és azok populációinak elkülönítésére.

Vizsgálataim során a következő kérdéseket szándékoztam megválaszolni:

- K1: Mely morfológiai bélyegek teszik lehetővé a leggyakoribb mediterrán teleost fajok beazonosítását?
- K2: A halpikkelyek morfológiai vizsgálata elégséges-e a fajszerű beazonosításhoz?
- K3: Hogyan lehetséges a halpikkelyek morfológiai jellegzetességeinek átalakítása numerikus adatokká, s ez hogyan aplikálható az egyes pikkelyek közötti fenotípusos kapcsolatok vizsgálatára?
- K4: A morfológiailag hasonló clupeid pikkelyek elkülöníthetők-e megbízhatóan a tradicionális morfometria segítségével?
- K5: A mérőpont-alapú geometriai morfometriai alkalmas-e a szimpatikus clupeid fajok illetve azok helyi populációinak megkülönböztetésre?

Ezen öt kérdés megválaszolására a következő specifikus célkitűzéseket állítottam fel:

2.1. A mediterrán teleost halfajok pikkely-morfológiája

- Bevezetni és pontosan definiálni a pikkelytípusokat és alak-kategóriákat, mely segíti a pikkelyek objektív osztályozását;
- A pikkelyek morfológiai jellemzőinek meghatározása és definiálása, amely lehetővé teszi számos faj megkülönböztetését;
- 80 mediterrán teleost faj pikkely-morfológiájának leírása;

- A pikkelyek morfológiai jellegzetességeinek kódolása; a kapott adatmátrix felhasználása klaszteranalízis révén egy dendrogram felállítására, mely a különböző teleost pikkelyek fenotípusos hasonlóságát szemlélteti;
- A leírt 80 mediterrán teleost pikkelyének fajok közötti és egyeden belüli variabilitásának illusztrálása.

A heringalakúak (Clupeiformes) rendjéhez tartozó fajok, mint pl. a hering, alóza, szardínia és rokonaik cikloid pikkelyekkel rendelkeznek. Ezeket könnyű megkülönböztetni más taxonok pikkelyétől egyéni jellegzetességeik révén (crenate pikkelytípus); mint amilyen a tranzverzális barázda és a hártás fogazott poszteriális szegély megléte. A renden belül viszont az egyes fajok pikkely-morfológiája nagyfokú hasonlóságot mutat, ráadásul az egyeden belüli pikkelyalak képlékenység nagyban megnehezíti a megbízható fajazonosítást. Hogy bemutassam két szimpatikus heringfaj és azok testtájai közötti pikkelyalak variabilitást, és a megbízható elkülönítést lehetővé tegyem, a következő célokat tűztem ki:

2.2. Szimpatikus heringfélék pikkely-morfometriája

- Az európai szardínia (*Sardina pilchardus* Walbaum 1792) és a kerek szardinella (*Sardinella aurita* Valenciennes 1847) pikkelyalak változatosságának illusztrálása és mérése;
- A két heringfaj pikkelyein morfometriai paraméterek felvétele, és ezekből számolt relatív méret- és alakindexek megadása;
- Tradicionális morfometria alkalmazása többváltozós statisztikai analízis segítségével, hogy megvizsgáljam a pikkelyalak-indexek alkalmasságát a fajok közötti és az egyeden belüli pikkelyalakok elkülönítésére.

2.3. Szimpatikus heringfélék és azok populációinak pikkely-geometriai morfometriája

- A mérőpont-alapú geometriai morfometriai alkalmazása, annak tesztelésére, hogy a *S. pilchardus* és *S. aurita* általános pikkelyalakja elkülöníthető-e a két faj és azok helyi populációi között;
- A heringfélék állomány-felmérésének módszer javaslata a helyi populációk szegregációjának feltárása érdekében, mely nem csak értékes demográfiai adatokat szolgáltat, de gyakorlati felhasználást tesz lehetővé az ökológia és a halgazdálkodás számára.

3. Anyag és módszerek

3.1. Pikkely-morfológia

A morfológiai vizsgálatokat a Földközi-tengerben előforduló valódi csontoshalak 80 leggyakoribb faján végeztem el. A kiválasztott fajok 50 családot és 16 rendet reprezentálnak. A mintavételt a Német Oceanográfiai Múzeum (Deutsches Meeresmuseum) gyűjteményében található konzervált adult egyedeken végeztem Stralsundban. A pikkelyeket minden egyed bal oldaláról előre definiált 10 testtájon belül mintáztam. A pikkelymintákat 70%-os ethanolban tároltam. Alizarin vörösben (ROTH, Germany) való megfestét előtt finom kefével távolítottam el a felső hámréteget. A mikrofotók készítéséhez mind a 10 testtájról 5 pikkelyt választottam ki, melyeket előbb 100%-os ethanolba, majd acetonba helyeztem, s végül MOUNTEX-be (MEDITE, Germany) ágyaztam, és két tárgylemez közé ragasztottam. A pikkelyfotókat DFC-425 kamerával felszerelt LEICA MZ75 mikroszkóp és LAS szoftver segítségével rögzítettem. A fotók feldolgozása Photoshop CS6 (ADOBE, United States) programmal történt. A pikkelytípusok definiálását ROBERTS (1993) munkája alapján végeztem némi fejlesztéssel. Két fő pikkelytípust (cikloid és ktenoid) valamint hat altípust (valódi cikloid, crenate, spinoid; és perifériás ktenoid, transzformált ktenoid, teljes ktenoid) határozta meg. A pikkelyek beazonosítására összesen 56 morfológiai változót definiáltam diszkriminatív bélyegként. A meghatározó bélyegek definiálásához LAGLER (1947) munkáját követtem, hogy biztosítsam a pikkelyleírások kongruenciáját korábbi művekben alkalmazott kritériumok alapján. A megfigyelt pikkelyalakokat 5 fő- és 18 altípusba soroltam, és mindegyik típust pontos geometriai definícióval láttam el. A pikkelyek morfológiai jegyeit 0-5 közé eső számokkal kódoltam a fejlődési stádiumok ill. komplexitási rangsor figyelembe vételével. Az így kapott adatmátrix egy dendrogram felállítására szolgált, aholis a disszimilaritás mércéjeként Euklideszi-távolságot alkalmaztam. A pikkely-morfológiában megfigyelt fenotipikus hasonlóságok és különbségek vizsgálatára 37 fajt vizsgáltam, kizárólag azon rendek képviselőit, ahol a renden belül legalább 5 faj került megmintázásra. Hogy biztosítsam a morfológiai jegyek uniformitását csakis ugyanarról a bal oldali dorzális testtájról (horizontálisan a hátúszó első úszósugarának vonalából, vertikálisan pedig a hátvonal és oldalvonal közötti felező terület) származó pikkelyek kerültek összehasonlításra. Egyedenként 5 pikkely domináns morfológiai jegyei kerültek kódolásra. A kapott adatmátrixból klaszteranalízist végeztem. A klaszterek távolsága mint a klaszterelemek

távolságainak átlaga a „between-groups-linkage” módszer segítségével került megadásra. Az elemzéseket a PAST v3.01 szoftverrel végeztem.

3.2. Pikkely-morfometria

Tradicionalis morfometria eszköztárát alkalmaztam annak tesztelésére, hogy két heringfaj morfológiailag hasonló és nehezen megkülönböztethető pikkelyei között kimutatható-e szignifikáns különbség a pikkelyek morfometriai jegyei alapján. Erre a célra Görögország északnyugati részén elterülő Ambrakiai-öbölből kifogott *Sardina pilchardus* és *Sardinella aurita* pikkelyeit tanulmányoztam. 2014 nyarán (júl-aug) összesen 487 adult egyed 10 testtájáról sikerült pikkelymintát gyűjteni (219 db *S. pilchardus*: SL \pm SD: 81.65 \pm 4.68 mm; és 268 db *S. aurita*: SL \pm SD: 155.35 \pm 8.51 mm). Minden pikkely a halegyed bal oldaláról került levételre (egy pikkely/ egyed/ testtáj), elkerülve ezzel az esetleges fluktuáló aszimmetria okozta eltéréseket, és az autokorreláció eshetőségét. A digitális pikkelyfotók készítése a fent említett módon történt. Az általam meghatározott morfometriai paraméterek (max. hossz, szélesség, átló, kerület és terület) 0,1 mm-es pontosságban való megadására Photoshop CS6-ot alkalmaztam. Relatív méretindexeket (J-indexek) és alak-indexeket számoltam ESMAELI (2001) és TUSSET és mtsai. (2003) munkája alapján. Hogy kiküszöböljem az egyedek különböző méretéből adódó eltéréseket, a lemért értékeket az átlagos standardtesthossz-értékekkel standardizáltam THORPE (1975), valamint LEONART és mtsai. (2000) munkája nyomán. A standardizálás hatásosságát a standardizált változók és a standard testhossz korrelációanalíziseivel teszteltem. Hogy megvizsgáljam a pikkelyalak alkalmazhatóságát a két heringfaj elkülönítésére, diszkriminanciaanalízist és normál kernel sűrűség becslését alkalmaztam. A klasszifikáció pontosságát kereszt-validációs elemzéssel ellenőriztem. A fajok és azok testtájai közötti pikkelyalak összehasonlítására Bray-Curtis disszimilaritás mérésén alapuló PERMANOVA-t használtam (4999 random permutációval). A pikkelyalak eltérések illusztrálására klaszteranalízist alkalmaztam Bray-Curtis hasonlóság alapján. Az analíziseket SPSS és PAST szoftverrel végeztem.

3.3. Pikkely-geometriai morfometria

A *S. pilchardus* és *S. aurita* fajok és azok populációinak elkülönítésére mérőpont-alapú geometriai morfometriai analízist alkalmaztam. Erre a célra a Közép- és Kelet-Mediterrán régió négy területéről (Adriai-tenger, Jón-tenger, Ambrakiai-öböl, Kavala-öböl) gyűjtöttem 50-50

egyedet. Minden egyed bal oldaláról egyetlen leválasztott pikkely került analízisre a már említett dorzális mintavételi területről. A pikkelyfotók elkészítése után (lásd fentebb) a fájlokat tpsDig2 v.2.17 programmal megnyitva vettem fel 7 jól meghatározható mérőpontot STASZNY és mtsai. (2013) nyomán. A további elemzéseket a MorphoJ programmal végeztem. Első lépésként teljes Prokrusztész-illesztést végeztem a mérőpont készleteken, ezáltal egymásra illesztve, méretezve és forgatva a mérőpontokat. Ezután az egyes egyedekhez hozzárendeltem a csoport azonosítóját, majd pedig egy többszörös lineáris regressziót végeztem (függő változók: Prokrusztész koordináták, független változó: a centroid méretek logaritmus). Minden regresszió eredményének megbízhatóságát permutációs teszttel (10 000 permutáció) vizsgáltam. A további elemzéseket a regresszió reziduálisával (a méret által nem magyarázott rész) folytattam. A csoportok elkülönülésének vizsgálatára kanonikus variancia analízist (CVA) és diszkriminancia függvény-elemzést (DFA) végeztem.

4. Eredmények

4.1. Pikkely-morfológia

A felállított klasszifikációs rendszer alapján történő pikkelyleírás lehetővé tette 80 teleost faj pontos beazonosítását. Az identifikáció nem csak család ill. nemzetség szintjén bizonyult megbízhatónak, de fajszintű meghatározás is lehetőség nyílt. A pikkelyek identifikációját ill. diszkriminációját nagyban elősegítette a 10 testtáj szerinti illusztráció. A pikkelyek fenotípusos hasonlóságának vizsgálata során a 37 teleost faj két nagyobb klaszterbe rendeződött pikkely-morfológiájuk alapján. Az első klaszterbe (ktenoid pikkelyek) rendeződtek a Percomorpha főrendbe tartozó fajok, pontosabban két rend - a Perciformes és Pleurinctiformes - képviselői. A másik klaszter (cikloid, crenate, spinoid pikkelyek) pedig a valódi csontoshalak alapibb képviselőit foglalta magába, mint amilyenek a Clupeiformes és a Gadiformes fajok. Érdemes megemlíteni, hogy a Macrouridae család reprezentatív fajainak pikkely-morfológiája (spinoid típus) közelebb áll a Clupeidae család fajainak pikkelyeihez (crenate típus) fenotípusos megjelenésükben, mint a többi Gadiformes család pikkely-morfológiájához. Ez utóbbi két pikkelytípus fenotípusos hasonlóságát és a cikloid pikkelyekkel való egyazon klaszterbe rendeződését azért is fontos kiemelni, mivel a ktenoid pikkelyek egyedfejlődési stádiumának kezdeti fejlődési sorozatát is tükrözik, de elmaradnak a valódi ktenoid pikkelyek morfológiájától, mely főként a levezetett valódi csontoshalak jellemző pikkelytípusai.

4.2. Pikkely-morfometria

A hagyományos morfometria módszere és a pikkelyeken eddig még nem alkalmazott alak-indexek többváltozós statisztikai analízise alkalmasnak találtatott a *S. pilchardus* és *S. aurita* heringfaj pikkelyeinek elkülönítésére. Az adatstandardizálás hatékonyságának ellenőrzésére korrelációanalízissel vettem össze az egyedek standard testhosszait, illetve a standardizált változókat. Az adatok összevetése egyik változó esetében sem adott szignifikáns korrelációt ($P > 0,05$), így elmondható, hogy a módszerrel kiküszöböltük az egyedi testméretek különbözőségéből adódó eltéréseket. A standardizált adatokon elvégzett diszkriminancia-analízis eredményei rámutattak arra, hogy a felhasznált pikkelyalak-indexekkel az Ambrakiai-öbölben előforduló két heringfaj megkülönböztethető (76%-os korrekt klasszifikáció). Az eredmények további alátámasztására szolgál az alak-indexek fajok és testtájak közötti összehasonlítása. A PERMANOVA teszt szignifikáns különbségeket eredményezett a két faj testtájai között külön-külön; $F = 15.84$, $P = 0.0002$ a *S. pilchardus*, és $F = 26.55$, $P = 0.0002$ a *S. aurita* esetében. A kétutas PERMANOVA teszt pedig szignifikáns különbséget eredményezett a testtájak ($F = 35.16$, $P = 0.0002$) és a két faj ($F = 17.70$, $P = 0.0002$) kombinált alak-indexei között egyaránt. A Bray-Curtis hasonlóságon alapuló klaszteranalízis dendrogramja jól szemlélteti a két faj testtájak szerinti pikkelyalak szegregációját. A *S. pilchardus* esetében a pikkelyalak mintázat az antero-dorzális síkban, míg a *S. aurita* átlagos pikkelyalak mintázata a dorso-ventrális síkban szegregál.

4.3. Pikkely-geometriai morfometria

Ebben a vizsgálatban a *S. pilchardus* és *S. aurita* négy populációjának elkülöníthetőségét teszteltem átlagos pikkelyalakjuk alapján. A mérőpont-alapú geometriai morfometriai segítségével sikeresen elkülönítettem a két fajt, s azok populációit a Közép- és Kelet-Mediterrán régióból származó minták között. A CVA 4 mintavételi területről (Adriai-, Jón-tenger és Ambrakiai-, Kavala-öböl) származó *S. pilchardus* pikkelyalak alapján jól elkülöníthető 4 csoportot alkot ($P < 0,001$), bár az adriai- és jón-tengeri populációk pikkelyalakja némi átfedést mutat. A *S. aurita* esetén a mintavételi területek (Ambrakiai- és a Kavala-öböl) szignifikánsan elkülönültek egymástól ($P < 0,0001$). A pikkelyalak átlagos diszkriminancia értéke (korrekt klasszifikáció) 98,6%-os megbízhatóságot mutatott. Mindkét faj esetében a Kavala-öbölből (Kelet-Mediterrán régió) származó minták különültek el leginkább az átlagos pikkelyalaktól, mely földrajzilag is a legtávolabb fekszik a többi három mintavételi területtől (Közép-Mediterrán régió).

5. Összefoglalás

A pikkelyek sok szempontból értékes információt hordoznak viselőjük biológiájáról, mely egyaránt hasznos a rendszertan és az ökológia számára. Azonban ezen információk hozzáféréséhez a megfelelő módszertani megközelítés elengedhetetlen. Kutatásom elsődleges célja az volt, hogy lehetővé tegyem a Földközi-tenger leggyakoribb valódi csontoshalainak pikkely-beazonosítását. Ezt a célt sikerült teljesíteni egy objektív alapokra helyezett pikkely-klasszifikációs rendszer és határozó atlasz létrehozatalával. A morfológiai tulajdonságok látszólag végtelen változatosságát bemutató és rendszerező pikkelyatlasz a fajmeghatározáshoz megfelelő referencia katalógusként szolgál.

Ez a tanulmány bemutatja a halpikkelyek morfológiájának új osztályozási rendszerét, amely nem csak jobb eligazodást tesz lehetővé a pikkelyek sokféleségében, de segíti a fajszerű beazonosítást is. A pontosan definiált kategóriák lehetőséget nyújtanak a pikkelyek leírásának integrációjára, valamint a morfológiai bélyegek numerikus adatokká való transzformálására. A morfológiai jegyek közül elsősorban a pikkely típusa és alakja, valamint a rádiuszok eloszlása és lefutása, továbbá egyedi felületi struktúrák bizonyultak a leghasznosabbnak a taxonok meghatározásánál. A pikkelyek típusa, formája és felületi ornamentációja lehetővé teszi a taxonok megkülönböztetését; a legtöbb esetben fajszerű beazonosítást biztosítva. Bizonyos halcsoportoknál viszont a pikkelyek morfológiája magas szintű képlékenységet mutat, miközben jelentős egyeden belüli pikkelyalak variabilitás lép fel. Ezért fontos, hogy egy pikkelykatalógus az egyes fajok azonosításához a lehetséges pikkelyalakok széles skáláját mutassa be a hal testének különböző részeiről. Az itt bemutatott pikkelytípusok besorolása eltér a hagyományos nézetektől; éspedig a „crenate” és „spinoid” pikkelyeket mint cikloid altípust tartom számon, ahelyett, hogy a ktenoid típusba sorolnám. Szövetteni és egyedfejlődési tanulmányokban ezen pikkelytípusok fokozatos egymásba alakulása nyomon követhető egy általános cikloid állapotból kiindulva. A teleost halak valódi fogazott pikkely típusai (ktenoid pikkely) levezetett (apomorf) struktúráknak számítanak mintsem ősi (pleziomorf) bélyegeknek, ami tovább támogatja elkülönítésüket más tüskés képleteket viselő kezdetleges pikkelytípusoktól (mint amilyen a crenate és spinoid típus).

A 80 mediterrán valódi csontoshal pikkelyének besorolása az általam bevezetett klasszifikációs rendszer szerint rámutatott néhány filogenetikai kapcsolatra a fő teleost csoportok között. A törzsfjlődés során később megjelenő halrendek képviselőinek (mint amilyen a

Perciformes és Pleuronectiformes rendbe tartozó fajok) pikkelytípusai fenotípusos hasonlóságot mutatnak, és külön klaszterbe szegregálódnak a bazális taxonok pikkelytípusaitól. A cikloid, crenate és spinoid pikkelyek külön klaszterbe rendeződtek morfológiai bélyegeik alapján. Ezen eredmények megerősítették az itt bevezetett pikkely-tipizálás helyénvalóságát.

A sikeres beazonosítás első lépése a morfológiai elemzés, de néhány esetben ez nem elégséges a megbízható fajmeghatározáshoz. Ezért a tanulmány második célja további módszertani megközelítés kidolgozása volt, ami lehetővé tette két szimpatrikus heringfaj morfológiailag hasonló pikkelyeinek megkülönböztetését. A tradicionális morfometriai alkalmazása révén többváltozós statisztikai módszerekkel sikerült elkülöníteni az európai szardínia (*Sardina pilchardus*) és kerek szardinella (*Szardinella auritát*) pikkelyeit standardizált pikkelyalak indexek alapján. Ezzel túlléptük a morfológiai elemzés korlátait, megbízhatóbb fajbeazonosítást biztosítva. Továbbá a morfometriai analízis a hal testének különböző részein kimutatta az általános pikkelyalak eltérést, mind a méret, mind pedig az alak szempontjából. A haltest anatómiai síkjai mentén fellépő pikkelyalak változás látszólag kapcsolatban áll a test görbületével és a különböző taxonok eltérő úszásmódjával. Következésképpen, a teleost fajok pikkelyalak mintázatában jelenlévő hasonlóságok (és különbségek) további elemzések tárgyává válhatnak, melyek célja a morfológiai és filogenetikai kapcsolatok feltárása.

A vizsgált két heringfaj beazonosításán túl megkíséreltem a pikkelyalak alapján történő populációk elkülönítését. Az mérőpont-alapú geometriai morfometria alkalmasnak bizonyult erre a célra. Az eredmények azt mutatták, hogy a Földközi-tenger keleti és középső medencéjében élő *S. pilchardus* és *S. aurita* populációk pikkelyeinek alakja külön morfometriai csoportba tartoznak, ezzel támogatva a korábbi genetikai vizsgálatok eredményeit, miszerint a genetikai eltérés a távolság okozta izolációval áll kapcsolatban. A geometriai morfometria lehetővé teszi a két heringfaj gyors megkülönböztetését bepillantást nyújtva azok populációinak elkülönülésére.

Összefoglalva: a halpikkely analízis bizonyítottan bevált eszköze a fajsintű azonosításnak, és számos más kutatási területen szolgáltat hasznos információt. A pikkely-morfológia jelen klasszifikációs rendszere potenciálisan integrálhatja a pikkely leírásokat különböző tanulmányok között, ami nem csak egységesítheti a pikkelyek azonosítását, hanem a pikkelyek morfológiai jegyeiben tárolt filogenetikai információk hozzáférhetőségét is elősegíti. Továbbá a pikkelyalak morfometriai analízise gyakorlati alkalmazást tesz lehetővé az ökológia és a halgazdálkodás területén.

Felhasznált irodalom/ References

- AGASSIZ, L. (1833-1843): *Recherches sur les poissons fossiles*. Vol. 1.-5. Imprimerie de Petitpierre, Neuchâtel.
- COBURN, M.M. & GAGLIONE, J.I. (1992): A comparative study of percid scales (Teleostei: Perciformes). *Copeia*, 4: 986-1001.
- ESMAEILI, H.R. (2001): *Biology of an exotic fish, silver carp, Hypophthalmichthys molitrix, from Gobindsagar reservoir, India*. PhD thesis. Punjab University, India.
- KHEMIRI, S., MEUNIER, F.J., LAURIN, M. & ZYLBERBERG, L. (2001): Morphology and structure of the scales in the Gadiformes (Actinopterygii: Teleostei: Paracanthopterygii) and a comparison to the elasmoid scales of other Teleostei. *Cahiers de Biologie Marine*, 42: 345-362.
- LAGLER, K.F. (1947): Lepidological studies 1. Scale characters of the families of Great Lake fishes. *Transactions of the American Microscopical Society*, 66: 149-171.
- LLEONART, J., SALAT, J. & TORRES, G.J. (2000): Removing allometric effects of body size in morphological analysis. *Journal of Theoretical Biology*, 205: 85-93.
- ROBERTS, C.D. (1993): Comparative morphology of spined scales and their phylogenetic significance in the Teleostei. *Bulletin of Marine Science*, 52: 60-113.
- SIRE, J.-Y., DONOGHUE, P.C.J. & VICKARYOUS, M.K. (2009): Origin and evolution of the integumentary skeleton in non-tetrapod vertebrates. *Journal of Anatomy*, 214: 409-440.
- STASZNY, Á., HAVAS, E., KOVÁCS, R., URBÁNYI, B., PAULOVITS, G., BENCSIK, D., FERINCZ, Á., MÜLLER, T., SPECZIÁR, A., BAKOS, K. & CSENKI, Z. (2013): Impact of environmental and genetic factors on the scale shape of zebrafish, *Danio rerio* (Hamilton 1822): a geometric morphometric study. *Acta Biologica Hungarica*, 64: 462-475.
- THORPE, R.S. (1975): Quantitative handling of characters useful in snake systematics with particular reference to intraspecific variation in the Ringed Snake *Natrix natrix* (L.). *Biological Journal of the Linnean Society*, 7: 27-43.
- TUSET, V.M., LOZANO, I.J., GONZALEZ, J.A., PERTUSA, J.F. & GARCIA-DIAZ, M.M. (2003): Shape indices to identify regional differences in otolith morphology of comber *Serranus cabrilla* (L. 1758). *Journal of Applied Ichthyology*, 19: 88-93.
- VAN OOSTEN, J. (1957): The skin and scales. In: BROWN, M.E. (ed.) *The physiology of fishes*. Academic Press Publishers, New York.

Publikációs lista/ List of publications

➤ **Az értekezés témakörében készült lektorált folyóiratban megjelent közlemények/ Peer-reviewed publications based on the topic of the dissertation**

BRÄGER, ZS., GONZALVO, J., AGAZZI, S. & BEARZI, G. (2016): Identification of bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) prey using fish scale analysis. *Aquatic Mammals*, 42: 63-73. Doi: 10.1578/AM.42.1.2016.63. IF: 1,015.

BRÄGER, ZS., MORITZ, T., TSIKLIRAS, A.C., GONZALVO, J., RADULOVIĆ, M. & STASZNY, Á. (2016): Scale morphometry allows discrimination of European sardine *Sardina pilchardus* and round sardinella *Sardinella aurita* and among their local populations. *Journal of Fish Biology*, 88: 1273-1281. Doi:10.1111/jfb.12907 . IF: 1,658.

BRÄGER, ZS. & MORITZ, T. (in press): A scale atlas for common Mediterranean teleost fishes. *Vertebrate Zoology*. IF: 0,593.

➤ **Konferenciaelőadások/ Conference presentations**

BRÄGER, S. & PERESZLÉNYI, ZS. (2013): Marine Mammal Research in a nutshell. *2nd Interdisciplinary Doctoral Conference*, Pécs, Hungary, 15-17 May 2013.

BRÄGER, ZS. (2014): Feeding ecology and dietary studies of Cetaceans. *Annual Meeting of the Natural History Society of Jamaica*, Kingston, Jamaica, 5 June 2014.

BRÄGER, ZS. & MORITZ, T. (2014): Fish Scale Atlas of the Mediterranean Sea. *11.Tagung der Gesellschaft für Ichthyologie*, Stralsund, Germany, 25-28 September 2014.

MERTZEN, M., MORITZ, T. & BRÄGER, ZS. (2015): Morphologie und evolutionäre Geschichte der Heringsschuppen. *12. Tagung der Gesellschaft für Ichthyologie*, Berlin, Germany, 05-11 November 2015.

➤ **Egyéb közlemények/ Other publications**

BRÄGER, ZS., NÉMETH, SZ. & REGÖS, J. (2014): *Bevezetés a tengerek ökológiájába/ Introduction to marine biology*. E-book. ISBN: 978-963-642-639-2. University of Pécs, Pécs.

BRÄGER, S., KOPCSÁNYI, T. & BRÄGER, ZS. (2014): First sightings of living Cuvier's beaked whales (*Ziphius cavirostris*) in Albanian waters. *Marine Biodiversity*, 44: 553-557. Doi: 10.1007/s12526-014-0232-5.