

ELKH BALATONI LIMNOLÓGIAI KUTATÓINTÉZET

A Balatoni Limnológiai Kutatóintézetben folyó kutatómunka 2022-ben 6 stratégiai koncepció mentén, 18 kutatási téma köré csoportosult. A kutatási témák felölelik a tó fizikai és kémiai környezetének és főbb élőlénycsoportjainak rendszeres vizsgálata mellett a természetes és antropogén stresszorok hatásvizsgálatát, az algák és vízi makrofitonok klímaváltozásra adott válaszainak vizsgálatát, a biológiai inváziók vizsgálatát, az algák és vízi makrofitonok, valamint a hal és makroszkópikus vízi gerinctelen közösségek antropogén hatásokra adott válaszainak vizsgálatát és a halpusztulások hatásának vizsgálatát. A kutatások a Balaton és más tavak vizsgálata mellett folyam- ártér-rendszerek multidiszciplináris vizsgálatára is kiterjednek.

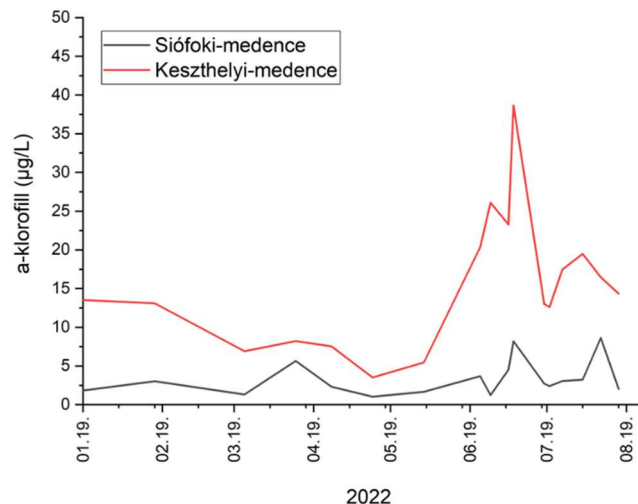
1. stratégiai koncepció: Monitorozó rendszer fenntartása és üzemeltetése a Balatonon

A Balatoni Limnológiai Kutatóintézet limnoökológiai monitorozó rendszere sok évtizedes precíz tudományos vizsgálatok öröksége és folytatása. A monitorozás elsősorban ökológiai vonatkozású, és a bővülő adatbázisok alapján lehetséges felmérni és megalapozni az eutrofizáció - oligotrofizáció, a vízszint ingadozás és klímaváltozás, valamint a humán eredetű növény védőszerek és szerves mikroszennyezők (gyógyszer- és hormonmaradványok, drogok) ökoszisztémára gyakorolt hatását és a tó ökológiai vízminőségét javító intézkedéseket.

2022-ben rendszeres (heti/kétheti gyakoriságú) mintavételt folytattunk a Balaton négy medencéjében tóközépen, mértük a releváns fizikai és kémiai paramétereket, kiemelt figyelmet fordítva a vízalatti fényviszonyokra. Vízmintákat gyűjtöttünk a vízkémiai analízisekhez (kiemelten a N és P formák koncentrációjának meghatározásához), a planktonikus algák és a zooplankton mennyiségének és összetételének, valamint a bakterioplankton biomasszájának meghatározásához. Heti gyakorisággal helyszíni méréseket folytattunk az algák és egyéb vízkémiai paraméterek (lebegőanyag, huminanyag) távérzékeléses vizsgálatához. A mérések egy része megtörtént, az időigényes vizsgálatok még folyamatban vannak.

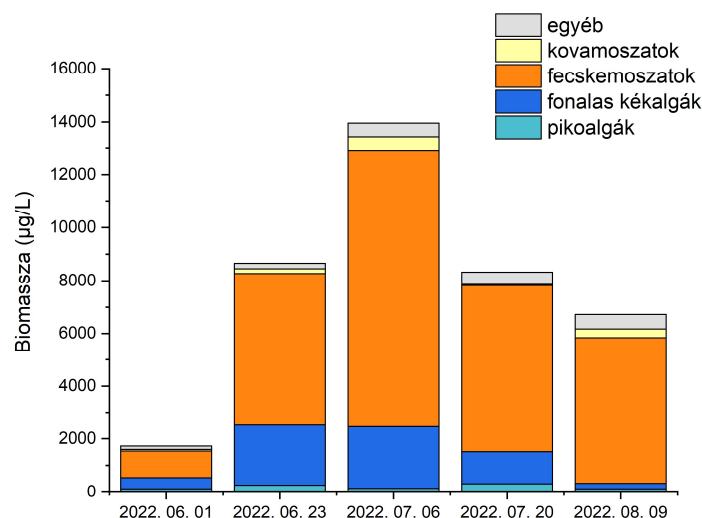
Műholdas felvételek (Sentinel 3 OLCI) elemzésével folyamatosan nyomon követtük a planktonikus algák mennyiségét és más vízkémiai paramétereket (vízhőmérséklet, lebegőanyag, huminanyag). Norvég együttműködés keretében (UiT The Arctic University of Norway) a Balatonra specifikus algoritmust fejlesztünk az algák mennyiségének pontos meghatározásához.

A kapott eredmények alapján az idei nyár nem kedvezett a Balatonban az algák szaporodásának. A kezdeti, július elejéig tartó intenzív növekedésnek egy hidegebb periódus vetett véget, amely július közepére nagymértékben visszavetette az algák biomasszáját (1. ábra). Ezt követően jelentős mértékű változást már nem figyeltünk meg: augusztusban a Keszthelyi-medencében az a-klorofill koncentráció 15-20 µg/L között, a Siófoki-medencében 2-8 µg/L között változott. A nyár folyamán az algák mennyisége meg sem közelítette a WHO ajánlása szerinti, fürdővízben még megengedhető algamennyiséget (75 µg/L). Ugyanakkor a korábbi évek tapasztalatai alapján fontos kiemelni, hogy alga tömegprodukció előfordulhat a tó nyugati területein, az algák és a mennyiségüket meghatározó szervesetlen növényi tápelemek (N és P formák) mennyiségének folyamatos nyomon követése elengedhetetlen.



1. ábra Az a-klorofill koncentráció változása a Keszthelyi- és Siófoki-medencében 2022-ben.

A tél során mindkét tóterületen a pikoeukarióta zöldalgák (2-3 µm) szaporodtak el, a fitoplankton teljes biomasszájának mintegy a felét képezve. A kora tavaszi időszakban mellettük megjelentek a kisméretű (< 10 µm), mikroszkóppal többnyire azonosíthatatlan zöldalgák és ostoros algák (barázdás moszatok). Késő tavasszal újra az algavilág legkisebb méretű tagjai, a pikoalgák képezték a biomassza 40-80%-át, azonban a melegedés hatására a pikoalga közösség összetétele is nagymértékben változott. Amíg a téli és kora tavaszi időszakban a pikoeukarióta zöldalgák uralkodtak, addig április elején biomasszájuk csökkent, helyüket pedig átvették a melegebb időszakra jellemző pikocianobaktériumok. Ez az algacsoport csak speciális, fluoreszcens mikroszkópi technika segítségével detektálható, rutinszerűen az algológiai laboratóriumok többségében nem vizsgálják őket. Nyár elején az algaösszetétel a korábbi években megszokott módon alakult: fecskemoszatok domináltak, mellettük pedig alacsonyabb biomassza értékekkel megjelentek a fonalas nitrogénkötő kékalgák (cianobaktériumok) is (2. ábra). A július elejei lehűlés mindkét csoportot visszavetette, azonban amíg a fecskemoszatok biomasszája csaknem a felére csökkent és a továbbiakban ezen a szinten maradt, addig a fonalas kékalgák augusztusra szinte teljesen eltűntek a vízből. Augusztus végén a kolóniás kékalgák ugyan látványos felszíni vízvirágzást okoztak a Siófoki-medencében (ld. később), de nyíltvízben biomasszájuk ebben az időszakban is alacsony volt. A fonalas nitrogénkötő kékalgák nyári hiánya szokatlan, oka feltételezhetően a gyakran szeles időjárás, amely kedvezőtlen számukra. Éppen ezért, bár az idei évben mennyiségük elhanyagolható volt, a fonalas kékalgák megjelenésére szélcsendesebb nyarakon a jövőben is számítanunk kell.



1. ábra Az algaösszetétel változása a Keszthelyi-medencében 2022 nyarán

Az idei nyár második felére jellemző viharok szünetében több alkalommal is előfordult hosszabb, szélcsendes kánikula. Két alkalommal figyeltünk meg lokális és/vagy időszakos algavirágzást a nyár során: június végén a Szigligeti-medencében és augusztus közepén a Szemesi- és a Siófoki-medencében. Az első algavirágzást a kéalgák kora nyári képviselője, a *Dolichospermum flos-aquae*, míg a másodikat a *Microcystis flos-aque* kolóniás kékalga okozta. Mindkét jelenség független a tó trofitásától (tehát sem a növényi tápelemek mennyisége, sem az algák biomasszája nem növekedett meg a tó nyíltvizében) és oka az algasejtek vízfelszínre emelkedése. Szélcsendes idő esetén a vízfelszínen emiatt kékalga foltok alakulhatnak ki, védett öblökben az algák akár nagy tömegben fel is halmozódhatnak. Ez a jelenség azonban időszakos, a szél hatására az algák könnyen visszakeverednek a vízoszlopba. A korábbi években is időről-időre megfigyelhattunk hasonló jelenségeket, sőt, már az 1930-as években, a tó eutrofizálódása előtti időből is leírták a *Microcystis* fajok tömeges megjelenését a Siófoki-medencében. Hasonló jelenségekre meleg szélcsendes nyarakon a jövőben is számíthatunk.

Az algák mellett szezonálisan monitorozzuk az üledékben, a part menti kövezésen és a nádasban élő árvaszúnyog lárvák, kagyló- és rákfélék (tavi kagyló, vándorkagyló-félék, bolharák, cifrarák, kecskerák) mennyiségét. Ennek során különös figyelmet fordítunk a nagy tömegben élő vándorkagyló-félékre. Felmérésünk során két aspektusban összehasonlítottuk a makrozoobentosz diverzitását és összetételét a litorális régióban a természetes nádas és mesterséges parti kőszórásos élőhelyeken a Balaton körül 10-10 helyszínen. Megállapítottuk, hogy az idegenhonos fajok aránya magasabb volt a parti kőszóráson (87,9%), mint a természetes nádas élőhelyen (16,7%). Az éves szezonális mintavételeink eredményei szerint a két versengő *Dreissena* kagylófaj (vándor-, és kvagga kagyló) mennyiségi eloszlása, aránya konzerválódott a Balaton két szélsőséges trofitású medencéjében: a Siófoki-medencében a kvagga kagyló jelenléte kizárólagos, míg a Keszthelyi-medencében arányuk 1:1-hez.

A Balaton teljes halállományának vizsgálata jelenleg is folyamatban van, a felmérést 16 mintavételi területen az EU VKI standardnak megfelelő mintavételi eljárással, sokpaneles kopolyúhálókkal, a parti sávban elektromos halászgépes felméréssel kiegészítve végezzük el. A tófenék közeli életmódú halivadék-állományának – elsősorban fogassüllő, kőüllő, dévérkeszeg és vágódurbincs - a tó hossz tengelye mentén öt keresztelvényben három-három területen speciális vontatott hálósálal két alkalommal végezzük el. A befolyó vizek halállomány vizsgálatát évi egy alkalommal végezzük elektromos halászgéppel. Különös figyelmet fordítunk az idegenhonos inváziós halfajok jelenlétére, megjelenésére és nyomozzuk azok eredetét.

2. stratégiai koncepció: A Balatonban és vízgyűjtőjén kimutatható természetes valamint antropogén stresszorok és azok komplex

élettani és ökotoxikológiai hatásvizsgálata vízi gerinctelen és alacsonyabb rendű gerinces szervezeteken, "top-down" megközelítésben komplex multidiszciplináris módszerek alkalmazásával.

(1) A modern antropogén eredetű terhelés és a szélsőséges vízhőmérsékleti anomáliák komplex hatásainak vizsgálata élőlényközösségek reprezentatív szervezeteire

A Balaton és a vízgyűjtője antropogén eredetű veszélyes anyag terhelésének felmérésére irányuló kutatások az elmúlt három évtizedben azt mutatták, hogy a tó és a vízgyűjtője enyhén/mérsékelt szennyezett, és standard kockázatértékelési szabályok szerint nem képez jelentős életti veszélyt a víztesteket benépesítő élőlény együttesekre. E korábbi hatásvizsgálatok azonban döntően standard körülmények között és standard vízi modell szervezetekkel zajlottak, többek között olyan szervezetekkel, amelyek nem is élnek a Balatonban. Természetes környezetben azonban, az élőhelyet benépesítő szervezetek a komplex szennyezőanyag keverékek potenciális szinergens/antagonista kölcsönhatásainak vannak kitéve, melyet a klímaváltozást kísérő hőmérsékleti szélsőségek tovább fokozhatnak. Ezért ökológiailag az a releváns, hogy a napjainkra jellemző antropogén eredetű komplex terhelést és a tavat potenciálisan veszélyeztető hőmérsékleti anomáliák együttes hatását vizsgáljuk a tó parti övét benépesítő reprezentatív vízi szervezetekre.

2022-ben két átfogó felmérést (az idegenforgalmi időszak kezdetén (május) ill. a főszezon végén (augusztus)) végeztünk a Balaton 12, nagyobb forgalmat bonyolító vitorlás kikötőjében, valamint a kikötők forgalmától védett nádasok, mint referencia helyek területén. A vizsgálati területek *Dreissena spp.* kagyló kolóniáiból gyűjtött egyedeinek (összesen 288) vizsgálata során meghatároztuk a kagylók általános kondícióját, valamint a kémiai stressz jelzésére alkalmas biokémiai markerek – glutation-S transzferáz (GST), szuperoxid dizmutáz (SOD) és reaktív oxigén formák (ROS) – szintjének tér- és időbeli változását. A kagylók általános kondíciójában szignifikáns térbeli különbség nem volt jellemző egyik gyűjtés során sem. A kikötők területéről gyűjtött kagylókban szignifikánsan nagyobb volt a glutation-S transzferáz, valamint szuperoxid dizmutáz enzimek szintje (30 – 50%-al), ami kismértékű terheléskülönbséget jeleznek, ellenben egyes kikötői kagylóknál (Balatonalmádi, Badacsony, Ábrahámhegy, Siófok, Balatonaliga, Alsóörs) reaktív oxigén formák jelentős felhalmozódását mértük a kagylók szövetében, a referencia szintek akár kétszeresét is elérve. A biokémiai stressz markerek szintjének tér- és időbeli változásai kapcsolódnak a kikötők forgalmának intenzitásával, jól jelzik az antropogén zavarás mértékét, ellenben a kagyló kolóniák általános kondíciójának állandósága azt mutatja, hogy a kikötők területére jellemző antropogén zavarás mértéke még nem gyakorol számottevő hatást a kagyló populációk fennmaradására. A felméréseink tovább folytatódnak, a mért végpontokat génszinten is vizsgáljuk.

(2) Neurotoxikus hatású rovarölőszerek és metabolitjaik ökotoxikológiai jellemzése modell rendszereken

A modern rovarölő szerek (neonikotinoidok) számos kedvező tulajdonságuk miatt óriási mennyiségben kerülnek felhasználásra a mezőgazdaságban. Ugyanakkor a hatóanyagok önmagukban, lebomlási termékeikkel keveredve, illetve a lebomlási termékek formájában egyaránt jelentős környezeti kockázatot jelentenek. A növényvédő szerek közül külön csoportot képviselnek a rovarölő szerek, melyek támadáspontja az idegrendszer. Az említett rovarölő szerek kimutatásra kerültek a Balaton vízrendszerében is (Tóth et al. Environmental Sciences Europe (2022) 34:50), így vizsgálatuk a vízi ökoszisztéma tekintetében még indokoltabbá vált. A 2021-es és 2022-es évben összehasonlító vizsgálatokat végeztünk különböző rovarölőszerek és lebomlási termékeik keverékeivel, standard toxicitási tesztekben, valamint vízi szervezetek viselkedési tesztjeiben. Ökotoxikológiai kísérleteinkben két biomarker, a GST és az acetilkolin-észteráz (AChE) enzimek aktivitásának változását vizsgáljuk környezetben releváns hatóanyag koncentrációkkal történő kezelése után. Munkánk során az ízeltlábú *Dikerogammarus villosus* kifejlett példányain két, széles körben használt neonikotinoid, a klotianidin (CLO) és az imidakloprid (IMI) toxicitását tanulmányoztuk 24 és 48 órás tesztekben. Az akut hatásokat viselkedési (mozdulatlansági idő és úszási aktivitás) és biokémiai (GST -és AChE aktivitás) szinteken vizsgáltuk. Minden alkalmazott CLO-koncentráció szignifikánsan csökkentette a mozdulatlansági időt és

az úszási aktivitást. Az IMI esetében a mozdulatlansági idő csak a legmagasabb alkalmazott koncentrációnál csökkent szignifikánsan, de az állatok által megtett távolság már alacsonyabb koncentrációknál is jelentősen csökkent. A GST enzim aktivitása nem változott a CLO-val kezelt csoportokban, azonban az IMI koncentrációtól függően szignifikánsan megnövelte azt. A viselkedési szinthez hasonlóan minden CLO-koncentráció szignifikánsan csökkentette az AchE-aktivitást. Ezzel szemben az IMI szignifikánsan serkentő hatást fejtett ki az AchE aktivitásra.

A gátolt AChE azt jelezte, hogy a neonikotinoidok neurotoxicitása a mozgási képességeket változtatja meg. Mivel nem találtunk változást a GST aktivitásban CLO kezeléseket követően, ezért feltételezzük, hogy a *D. villosus* nem képes a CLO-t a GST mechanizmussal eliminálni. A neonikotinoidok környezettoxikológiai vizsgálatai tovább folytatódnak. Eddigi eredményeinket már publikáltuk (Somogyvári D et al., Comp Biochem Physiol (2022) 261:109421).

(3) Antropogén stresszorok hatására változó sejtes és molekuláris mechanizmusok jellemzése gerinctelen vízi modellben.

A Balatonban legalább 71 különböző típusú humán eredetű gyógyszermaradványt detektáltunk az elmúlt években, amelyek 9 hatóanyag csoportba sorolhatók. A szennyezés döntő többsége a Balatonba bevezetett tisztított szennyvízből, illetve a turizmus terheléséből származik. A detektált hatóanyagok közül három több, mint 95%-ban van jelen a tó vizében, ezek közül kettő, a lamotrigine és a karbamazepin, antiepileptikum, s mint ilyen a központi idegrendszer idegsejtjein fejt ki gátló hatását, többségében a glutamát serkentő neurotranszmitteren keresztül. Ugyanakkor, a glutamát felszabadulás igen fontos a tanulási és memória folyamatokban, és ha ez blokkolt, akkor nem alakul ki a hosszú távú memória (LTM), amely akár a normál öregedés során lejátszódó biológiai folyamatokat is sejteti. A biológiai öregedés során kialakuló memóriavesztés hátterében álló molekuláris folyamatokat még nem ismerjük teljes alapossággal. A nagy mocsári csiga (*Lymnaea stagnalis*), az ökotoxikológiai és idegrendszeri kutatások bevált tesztszervezete, így rajta tervezzük a korfüggő és a környezeti hatások (gyógyszermaradványok) által indukált memóriavesztés evolúciósan konzervált mechanizmusait laboratóriumi körülmények között tanulmányozni. Az elmúlt években már azonosítottunk olyan evolúciósan konzervált kulcsgén szekvenciákat a *Lymnaea*-ban, amelyek a normál és patológiás öregedésben és az öregedéshez köthető memóriavesztésben játszanak szerepet a gerincekben. Azonban, hogy e fehérjék érintettek-e a humán eredetű antiepileptikum szennyezésnek kitett vízi szervezetek tanulási és memória-folyamataiban (amelyek a vízi ökoszisztémában való fennmaradásuk záloga is), ez idáig nem ismert. A tervezett vizsgálatok célja kimutatni, hogy: 1) milyen mértékben gátolják a tanulási és memória-folyamatokat a Balaton vízrendszerében kimutatott antiepileptikumok a fiatal *Lymnaea*-ban; 2) a memóriavesztésben érintett konzervált fehérjék expresszója változik-e a gyógyszerkezelések hatására a fiatal állatokban; 3) a zigótákban génszerkesztéssel manipulálhatók-e a későbbi kezelések gátló hatásai.

(4) Természetes eredetű kémiai faktorok a Balatonban - Komplex ökofiziológiai és környezettoxikológiai vizsgálatok gerinctelen vízi modellben.

Az antropogén eredetű aktív gyógyszermaradványok és peszticidek mellett potenciális terhelést és veszélyforrást jelenthetnek a természetes algatoxinok is több balatoni élőlénycsoportra és akár a tavat látogató turistákra egyaránt. A természetes eredetű szennyezők egyik speciális és aktuális példája az ártalmas, vagy mérgező algavirágzások jelensége, ahol a felszaporodó fotoszintetizáló sejtörmeg önmagában véve is komoly problémákat okozhat több vízi életközösség számára. Az egyik legkomolyabb kihívás a jelenséggel kapcsolatosan a különleges kémiai és biológiai aktivitású algatoxinok, amelyek számos élőlénycsoport pusztulását, élőhelyek leromlását, emberi halálozásokat és tömeges megbetegedéseket idézhetnek elő. Az édesvizekben a mérgező algavirágzásokat elsősorban a prokarióta kéalgák és az általuk termelt cianobakteriális toxinok (cianotoxinok) idézik elő. Az alkaloid- és peptid-típusú cianotoxinok változatos biológiai aktivitással, hatásmechanizmussal bírnak. A neurotoxikus szaxitoxinok, anatoxinok mellett a peptid-típusú (proteinfoszfatáz-gátló) mikrociszteinek és (proteázgátló) anabaenopeptinek, mikrogininek és cianopeptidek is ismertek már. Ez utóbbi, peptid-típusú cianotoxinok megjelenése volt jellemző az elmúlt évek (2014-2017; 2019; 2022) balatoni algavirágásaiban. A kialakuló balatoni algavirágzások valós veszélyességét, következményeit, élőlényekre és közösségeikre gyakorolt hatásait csak megfelelő nemzetközileg és tudományosan is elfogadott algatoxin, cianotoxin

specifikus megközelítésekkel lehet tisztázni. Ilyen rendszer ez idáig a Balatonra specifikusan nem került kiépítésre. A Balatonban ismét erősödő, jellemzően a nyári időszakban előforduló tömeges cianobakteriális biomassza számos szakmai kérdést felvet, amelynek válaszai, eredményei a nemzetközi tudományos közösséget, a hazai közvéleményt és erőteljes gazdasági megfontolásokból számos (turizmusból élő) szférát kiemelten érinthet. A tervezett vizsgálatok céljai: 1) A Balatonban megjelenő és algavirágzást előidéző jellemző kéalgák (*Aphanizomenon*, *Cylindrospermopsis*, *Dolichospermum*, *Microcystis*) toxintermelésének metabolomikai vizsgálata. Cianotoxinok kimutatása, beleértve a még nem ismert cianotoxinok azonosítását is. A kemotípusok definiálása az algavirágzásokban, természetes algaközösségekben. Toxintermelő cianobaktérium törzsek izolálása és fenntartása. 2) A Balatonban releváns, már izolált peptid-típusú cianotoxinok ökofiziológiai és környezettoxikológiai hatásvizsgálata (modellezve a vízi környezet adottságait) gerinctelen modellszervezet (nagy mocsári csiga) azonosított idegrendszeri folyamataiban.

(5) UV-szűrő vegyületek Balatonra gyakorolt potenciális környezeti kockázatának komplex vizsgálata

A fényvédő vegyületek (más néven UV-szűrők) olyan kémiai anyagok, melyekkel védekezhetünk a Napból származó káros ultraibolya sugárzás ellen. Napjainkban egyre gyakrabban használunk olyan vegyületeket, melyek elnyelik az UV sugárzást. A fényvédő szerek alkalmazása a kozmetikai ipar szerves része, felhasználásuk célja a bőr rák, a bőröregedés és a leégés elleni védelem. Jelenleg 32 UV-szűrő vegyület engedélyezett az Európai Unióban, így nálunk is. Hatásspektrum szerinti főbb csoportjaik lehetnek: UV-A szűrő vegyületek, melyek a bőröregedés, valamint a bőr rák kialakulása ellen védenek pl.: Avobenzon, Oxybenzon. Az UV-B szűrő vegyületek a bőr leégése ellen védenek pl.: Homosalát, Octocrylén, Octyl methoxycinnát, Octyl salicylát, Oxibenzon. Legújabb vizsgálatok azt támasztják alá, hogy ezek a szerves UV-szűrők bejutnak a vízi környezetbe, közvetlenül a vízi szabadidős tevékenységekkel, vagy közvetett módon például mosás vagy vízelőtűrés hatására a szennyvíztisztító telepeken jelennek meg, a nem megfelelő eltávolítási technológiák miatt pedig kimutatható a szennyvíziszapból is. Ugyanakkor, számos vizsgálat során egyértelmű összefüggést állapítottak meg a fényvédő szerek alkalmazása és különböző élettani változások között. Számos vegyület megzavarhatja a hormonrendszer működését, ösztrogényszerű hatásánál fogva. Az UV-szűrők hatásai a vízi ökoszisztémákra mérésekkel bizonyítható. A kutatási témában tervezett vizsgálatok célja: 1) az UV szűrő vegyületek minőségi és mennyiségi analízise. HPLC-MS mérések segítségével, emberi zavarásoknak kitett (strandok, kikötők) és emberi zavarásoktól mentes (nádasok) balatoni területeken meghatározzuk a gyakoribb UV-szűrő vegyületeket a vizsgált környezeti mintákban a főszezonban (július-augusztus). Így a Balatonból kimutatható szerves UV-szűrő vegyületek tér- és időbeli eloszlásáról kapunk hiánypótló adatokat. 2) A vízi környezet különböző mátrixaiban (pl. víz, biofilm) meghatározott minőségi és mennyiségi jellemzők ismeretében vizsgáljuk a szerves UV-szűrők jellemző élettani hatásait reprezentatív vízi gerinctelen modell szervezeteken. Ezek a vizsgálatok a nyár folyamán kezdődtek a BLKI-ban.

3. stratégiai koncepció: A Balaton algáinak és makrofitonjainak produkciója és kölcsönhatásai összefüggésben a klímaváltozással és a humán hatásokkal

(1) A Balaton újelemtű eutrofizációjának hatása a tó planktonikus és bentikus algaközösségeinek működésére

Megkezdjük a planktonikus/bentikus életforma előtérbe kerülésének vagy háttérbe szorulásának megismerése céljából indított, átfogó felmérést a Balatonon. Mértük a víz és az üledék releváns fizikai és kémiai paramétereit, kiemelt figyelmet fordítva a víz alatti fényviszonyokra és az üledék, valamint a pórúsvíz szerves növényi tápanyag tartalmára. Víz- és üledékmintákat gyűjtöttünk a további analízisekhez (üledék szemcseméret, szerves anyag és tápanyag tartalom, genetikai analízis). A kapott eredmények alapján az üledéklakó algák biomasszája a két méternél sekélyebb vízben jelentősen

meghaladja a felette lévő vízoszlop algáinak mennyiségét. Biomasszájuk a vízalatti fényviszonyokkal áll szoros összefüggésben, emellett megállapítást nyert, hogy az üledék minősége hatással van a bentikus algaközösség összetételére. Epifluoreszcens mikroszkópi vizsgálataink alapján a déli parti sekély homokos területeken a jellegzetes kovamoszat fajok mellett fikoeritrinben gazdag fonalas kéalgák is gyakoriak. Utóbbiak faji szintű azonosításához molekuláris genetikai módszerek szükségesek.

(2) Mesterséges élőhelyek hatásának vizsgálata bevonatlakó algaközösségeken

Az urbanizáció, illetve az épített környezet bizonyítottan befolyásolja az élőlényközösségek szerkezetét és működését. A Balaton különösen érintett ebből a szempontból, hiszen rekreációs célú felhasználása erős. A tó körül számos kikötő épült, ráadásul a vitorlás- és egyéb hajók megnövekedett száma miatt továbbiak építésére is folyamatos az igény. A természetes, nádassal borított parti övvel szemben e helyek megváltozott mederviszonyokkal, vizük eltérő fizikai, kémiai paraméterekkel jellemezhetőek. Annak ellenére, hogy sekély tavak esetében a parti régió minősége különös jelentőséggel bír, a kikötők hatásának vizsgálata a Balaton esetében hiányos. Egy, a témában indított átfogó kutatás részeként e mesterséges habitatok hatását vizsgáltuk bevonatlakó algaközösségeken. 12 település kikötőiben és nádasiban helyeztünk ki összesen 48 mintavételi helyen bójákkal megjelölt fa szubsztrátumokat 2022. május-július között 6 hetes időtartamra, a felszíntől mért 20 cm-es mélységben. A kialakult algabevonatot laboratóriumi körülmények között eltávolítottuk, valamint elvégeztük annak mennyiségi és minőségi elemzését. A bevonatok vizsgálata mellett a víz fizikai és kémiai paramétereit is meghatároztuk. Előzetes eredményeink alapján elmondható, hogy a bevonatlakó algák mennyiségének és összetételének változásaiban jelentős szerepet játszanak a mért környezeti változók és fontos különbségek adódtak a természetes és mesterséges élőhelyek között, megerősítve feltételezésünket, hogy az épített környezet a Balaton parti régiójában jelentős hatással bír a parti ökoszisztémára.

(3) A vízi növényeket érő antropogén hatások megismerése

Az antropogén hatás vizsgálata céljából a Balaton környékének fényszennyezettségét mértük fel, amihez a Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) és a Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) Day-Night Band (DNB) 1997 óta rendelkezésre álló műholdas felvételeit vettük alapul. Ezeket az adatokat használtuk fel hemeróbiai (természetességi) mérőszámként. Az összehasonlításunk jelentős területi és időbeli eltéréseket regisztráltak, amelyeknek a lényege, hogy a Balaton keleti részének part menti területén az antropogén kitétség közel egy nagyságrenddel nagyobb a Keszthelyi-medence urbanizációs hatásánál. A felmérés adatsora révén kiválaszthatunk potenciálisan eltérő fényszennyezettségű területeket, ahol a továbbiakban a vizsgálatokat lebonyolíthatjuk.

(4) Cianobaktériumok és eukarióta algák változó környezeti viszonyokhoz való alkalmazkodásának megismerése

Eukarióta algák és cianobaktériumok fényakklimációját vizsgáltuk, különös tekintettel a rövid- és hosszú távú fényakklimáció kapcsolatára a különféle cianobaktériumok kromatikus akklimációja során. Értékes adatokat nyertünk arra vonatkozóan, hogy (1) rövid- és hosszú távú fényakklimációs folyamatok miként hatnak egymásra, működnek együtt és milyen dinamikát követnek és (2) hogyan járulnak hozzá a fotoszintézishez ill. ezáltal a fotoszintetizáló organizmusok túléléséhez elengedhetetlenül szükséges redox egyensúly fenntartásához változó fényviszonyok mellett. A *Cyanobium gracile* és *Synechocystis* sp. PCC 6803 Fertőből izolált ill. modell cianobaktérium mélyreható foto-biofizikai vizsgálata nagyfokú plaszticitást tárt fel a pigmenttartalom és sejtösszetétel, valamint elektrontranszport aktivitás tekintetében a nevelő fény hullámhosszának függvényében. A legnagyobb fotoszintetikus aktivitást narancsszínű (590 nm) nevelőfénynél értük el, aminek következtében ezek a sejtek voltak képesek a legnagyobb növekedési sebességre, illetve szénhidrát- és lipid felhalmozásra. Ezzel ellentétben a kék nevelőfény az elektrontranszport-lánc redukáltságát és reaktív oxigénformák keletkezését, ezáltal a sejtek nagyfokú sérülékenységet eredményezte. A kutatási téma kiemelkedő jelentőséggel bír a sekély, könnyen felkavarodó, térben és időben változó fényviszonyokkal jellemezhető tavakban (pl. Balatonban) élő elsődleges termelők szempontjából, és szorosan kapcsolódik a globális

klímaváltozáshoz, hiszen a változó időjárás (pl. gyakoribb üledék-felkeveredés, jégtakaró hiánya miatt) változó tavi fényviszonyokat eredményez.

4. stratégiai koncepció: Biológiai inváziók és emberi zavarások hatása a hal és makroszkópikus gerinctelen közösségekre

(1) Inváziós halfajok dinamikája és szerepe a halközösségek szerveződésében

Magyarország jelenlegi halfaunájának közel negyedét képezik az idegen-honos halfajok. Hiányos ismeretekkel rendelkezünk azonban arról, hogy mely környezeti tényezőkhöz, milyen mértékben köthető az egyes fajok elterjedése, térbeli eloszlási és mennyiségi viszonyai. A sikeres invázióért felelős tényezők feltárása fontos lépés abban, hogy megőrizzük az őshonos fajok és közösségek sokféleségét, kezelési terveket dolgozzunk ki, és régiókra, vízgyűjtőkre vagy vízfolyásokra vonatkozó kockázat elemzést készíthessünk. Munkánk célja, hogy feltárjuk az idegenhonos halfajok térbeli eloszlási mintázatát, illetve jelentőségüket a halegyüttesek térbeli és időbeli dinamikájában elsősorban a Balaton vízgyűjtőjén. Kutatási eredményeink alapján javaslatokat tehetünk a Balaton vízfolyásait érintő kezelési tervek elkészítéséhez, melyekben kellő hangsúllyal szerepelnek a jövővény halfajok nem kívánt hatásainak mérséklését célzó tevékenységek. Különösen indokolt ez a védett, illetve veszélyeztetett halfajok állományainak fennmaradása szempontjából, ugyanis számos ilyen halfaj számára szolgálnak a balatoni befolyók refúgium, illetve szaporodási helyként.

Megkezdjük az inváziós fekete törpeharcsa táplálkozásökológiájának vizsgálatát szén és nitrogén stabil izotóp vizsgálatok segítségével. Emellett viselkedésökológiai kísérleteket végzünk akváriumokban. Jelenleg az adatok feldolgozása történik, illetve megkezdjük az eredményeket ismertető kézirat elkészítését. Akváriumi kísérletek keretében jelenleg az adatok feldolgozása történik, illetve megkezdjük az akváriumi kísérletek eredményeiről szóló kézirat elkészítését (adatok feldolgozása). Felmértük a fekete törpeharcsa életmenet tulajdonságait (kondíció, termékenység, növekedés) magyarországi állományok alapján (kézirat készítése). A mintafeldolgozás, adatértékelés megtörtént; a kézirat elkészült. A vizsgált populációk növekedése - más inváziós populációkhoz hasonlóan - elmarad az eredeti elterjedési területen élőkétől, míg a relatív termékenységük magasabb. Az idegen-honos busa fajok előfordulását feltérképeztük a szociális média (Facebook) segítségével (adatfeldolgozás, kézirat készítése folyamatban). A beérkezett válaszokat feldolgoztuk, a kézirat készítése folyamatban. Az eredményekből világosan látszik, hogy az egy téma köré csoportosuló tematikus szociális média csoportok (jelen esetben horgászcsoporthoz) hatékonyan használhatók a „citizen science” felmérések során. Az észlelési adatok térbeli eloszlása nem egyenletes; a népszerű horgászhelyek (állóvizek, öblök, vízfolyásszakaszok) felülreprezentáltak. Az elért emberek száma nem mutat egyértelmű összefüggést a csoportok teljes létszámával, így az ehhez hasonló felméréseknél az elért csoportok számának maximalizálása lehet célravezető.

Megkezdjük a Balaton és vízgyűjtőjének halállomány-felmérését a tradicionális halászeszközökkel (elektromos halászgép, kopoltyúháló). Emellett környezeti DNS mintát gyűjtünk a halállomány összetétel meghatározására, amit majd a hagyományos mintavételi módszerekkel lehet egybevetni. Megtörténtek a specifikus halivadék felmérések a Balatonban, az adatok feldolgozása folyamatban van.

Megkezdjük a Balatoni süllő állomány genetikai vizsgálatát. A vizsgálat során 97 egyedről gyűjtöttünk DNS szövetmintát a tó egész területéről. A genetikai diverzitáson túl vizsgáljuk az egyes mintavételi helyek közti migráció, valamint az esetleges elszigetelődés mértékét is. A vizsgálat gyakorlati támpontot ad a faj állománypótló telepítéséhez, valamint pontos képet ad az állomány ökológiai helyzetéről (adatfeldolgozás és kézirat elkészítése folyamatban).

(2) A kárókatona (*Phalacrocorax carbo*) élőhely használatának ökológiai és halgazdálkodási vonatkozásai

A kárókatona az utóbbi évtizedben sokezeres egyedszámban tartózkodik a Balatonon és a halastavakban késő ősztől koratavasig, és falánk halragadozóként a horgászat és halgazdálkodás szempontjából

reálisan felmerülő gazdasági kárt okoz. Feltárjuk a kárókatónak élőhelyhasználati szokásait, minél jobban megismerjük a fészkelő- és telelőállomány mozgásának mintázatát annak érdekében, hogy a legmegfelelőbb stratégiát alkalmazzuk a madárfaj védelme érdekében, ugyanakkor tömeges fellépése ellen. A tervezett munkát a Balaton-felvidéki Nemzeti Park Igazgatóság, és a Magyar Madártani Egyesület munkatársaival együttműködésben végezzük. 2021-ben a Kis-Balatonon és a Nagy-Bereken fészkelő kárókatónak közül 10 egyedet jelöltünk meg GPS nyomkövetővel. 2022-ben további 16 egyedet jelöltünk. A jelölésekből származó adatok elemzésével próbálunk fényt deríteni rá, hogy a madarak milyen mértékben használják az egyes eltérő élőhelyeket. Eddig közel 250.000 GPS pozíció adatot rögzítettünk az egyedekről.

(3) A halgazdálkodás és a horgászat környezeti hatásainak és környezeti feltétel rendszerének vizsgálata a Balatonban

A Balaton halállománya mind ökológiai mind gyakorlati szempontból lényeges szereppel bír. A tó ökoszisztémáján belül a halak az anyagforgalom és a táplálékhálózat meghatározó elemei; elsődleges fogyasztótól a csúcsragadozó szintjéig képviseltetik magukat, de egyes fajok részt vesznek a lebontási folyamatokban is (pl. dögevés), illetve a halak maguk is táplálékul szolgálnak más szervezetek számára. A halállomány ugyanakkor közvetlen módon is fontos a társadalom számára, napjainkban évente sok tízezer horgász lel kikapcsolódásra a Balaton partján, évente mintegy 1,3 millió horgásznapot eltöltve sok esetben családtagokkal együtt. Napjaink halgazdálkodásának egyik legfőbb feladata tehát a horgászat feltételeinek megteremtése, fenntartása, amelyet elsősorban haltelepítések és szabályozások útján lát el. Munkánk fő célja, hogy kutatásainkkal segítsük a tó halállományának fokozatosan visszaalakítását egy „természeteshez közeli” összetételre, és tudományosan segítsük a horgászati célú halgazdálkodást.

A halfogás önmagában tápanyagot von ki a vízi rendszerekből, így csökkenti a termelőképeséget, javítja a vízminőséget. Viszont a horgászat előtérbe törésével, főként a horgászati szokásokat jellemző jelenlegi trendeket (növekvő horgász létszám, fokozódó etetőanyag használat, „ereszd vissza”) is tekintetbe véve, a halfogás tápanyagmérlege és így a vízi ökoszisztémákra gyakorolt hatása megváltozott, több tényezőssé vált. Napjaink egyik gyakran felmerülő kérdése, hogy vajon milyen hatással vannak környezetünkre a horgászat során vízbe jutatott etetőanyagok? E kérdés a 2019. évi, nem várt balatoni algavirágzás kapcsán kapott még kiemeltebb hangsúlyt. Ezért a Balatoni Halgazdálkodási Nonprofit Zrt. és a MATE AKI munkatársaival közösen Elemeztük a horgászok etetőanyag használati szokásait és az ebből eredő anyagforgalmi hatásokat a Balatonban, Intézkedési tervet dolgoztunk ki a nullszaldós horgászati tápanyagmérleg elérésére.

Széleskörű internetes és helyszíni kérdőíves felmérésre alapozva megállapítottuk, hogy a horgászok évente több mint 2000 tonna etetőanyagot juttatnak a Balatonba. A horgászversenyek során bejuttatott etetőanyag a teljes mennyiségnek mindössze 2%-a. A különböző gabonák (elsősorban kukorica) és kenyér hasonlóan népszerű etetőanyag, mint a gabona alapú őrlmények. A bojlis és pelletes a teljes mennyiség 15%-át teszik ki. Becsüljük a szabadidős és a verseny horgászok által évente a Balatonba jutatott etetőanyag mennyiségét és annak típusonként megoszlását;

Az etetőanyaggal bejuttatott tápanyag (nitrogén és foszfor) csak részben kerül visszavételre a kifogott halak révén és így a horgászati célú halgazdálkodás összegzett tápanyag mérlege pozitív, évente mintegy nettó 19.3 tonna nitrogén és 5.2 tonna foszfor bejuttatását eredményezi a tóba. Mindez a tavat érő teljes külső tápanyagterheléshez mérten jelenleg még kicsi, 1-3% körüli, és így a tó tápanyagforgalmát és algásodását is feltehetően kevésbé befolyásolja. Modell-számításokra alapozva javaslatokat tettünk a fenntarthatóan tekinthető horgászati tápanyagmérleg eléréséhez szükséges, az etetőanyagok tápanyagtartalmát és napi felhasználható mennyiségét illető korlát értékekre.

Eredményeink nemzetközi publikáció formájában is megjelent, ami már online is elérhető (Boros et al. 2022, DOI: 10.1080/20964129.2022.2095928).

(4) Inváziós kagylófajok ökológiai szerepének vizsgálata a Balatonban

Az inváziós *Dreissena* fajok (vándor- és kvagga kagyló) közötti kölcsönhatások feltárása magyarázatot adhat a fajok kicserélődési folyamatának eddig ismeretlen okaira. Célunk annak megismerése, hogy mi az oka a két inváziós faj eltérő arányú előfordulásának a Balaton különböző területein, melyek azok a környezeti tényezők és behatások, amelyek sikerességüket, elterjedésüket befolyásolják. Akváriumi kísérletekben megállapítottuk, hogy a vándorkagyló általános visszaszorulásának az oka nem a kagylókat fogyasztó ponty okozta ún. predációs nyomás, mert a ponty mind a héjtól különválasztott kagylószövet, mind az élő kagylók esetében inkább a kvagga kagylót választotta. A vándorkagylót a kvagga kagylóval szemben erősebb héj és aljzathoz való tapadás jellemzi, mely előnyt jelenthet a ponty támadásával szemben, ugyanakkor energiát von el a tartaléktápanyag felhalmozástól, mely a növekedés és szaporodás energetikai hátterét, valamint a téli inaktív időszakban a túlélést biztosítja. A Siófoki- és Keszthelyi-medencében eltérő tápanyag ellátottság mellett a tartaléktápanyag felhalmozási képesség jelentősen különbözik a két kagylófajban, mely magyarázhatja az eltérő megjelenési mintázatukat a két medencében. Továbbiakban vizsgáljuk a lényegesebb balatoni befolyók (10 mintavételi hely) hatását a *Dreissena* fajok kondíciójára.

(5) Emberi zavarások hatása az édesvízi biodiversitásra

A Balaton parti zónája helyenként jelentős átalakuláson ment keresztül. Ilyen átalakulást jelent a betonból készült partvédművek megjelenése, melyeket gyakran kőszórással stabilizálnak. A vízi makrogerinctelenek faji és mennyiségi összetétele között jelentős különbséget tapasztaltunk a két élőhelyen. Eredményeink szerint a mesterséges parti kőszórás hét indikátorfajának mindegyike idegen honos (invazív is egyben), míg az őshonos nádas élőhelyen mind a 26 indikátorfaj őshonos. Az eredmények arra utalnak, hogy a mesterséges kőszórásos partszakaszok csökkentik az őshonos édesvízi biodiversitást és támogatják az idegen fajokat.

A kutatások során öt Balaton-felvidéki kisvízfolyás természetes és urbán szakaszait hasonlítjuk össze az urbanizáció hatásának felmérése céljából. Megvizsgáljuk, hogy az urbanizáció hogyan befolyásolja az abiotikus környezeti paramétereket, illetve milyen hatással van a makroszkopikus gerinctelen közösségek összetételére és diverzitására.

5. stratégiai koncepció: Trofikus és egyéb interakciós kapcsolatok édesvízi ökoszisztémákban: kísérletes vizsgálatok

(1) A globális klímaváltozás hatása sekély állóvizek planktonikus és bentikus közösségeire

A BLKI mezokozmosz rendszerében a 2021-es és 2022-es évek folyamán az Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium program keretébe tartozó kísérletek zajlottak. Bár a vizsgálatok különböző részben eltérő élőlénycsoportokra irányultak és koncepciók mentén zajlottak, közös pontjuk volt annak a vizsgálata, hogy a globális klímaváltozási forgatókönyvek alapján előre jelzett vízhőmérséklet-emelkedés miként alakíthatja át az édesvízi ökoszisztémák szerveződését.

A 2021. július-szeptember között lefolytatott kísérletsorozatunkban az emelkedő vízhőmérsékletek fitobentosz közösségekre gyakorolt hatásait vizsgáltuk, a minták feldolgozása és kiértékelése az idei évben történt meg. A kísérletben felhasznált vizet közvetlenül a Balatonból szivattyúztuk be a tartályokba, majd a Balatonból gyűjtött élőbevonattal oltottuk be a kísérlet elején. Megállapítottuk, hogy a köfelületeken fokozatosan kialakuló alga élőbevonat biomasszája a kísérlet első heteiben nem különbözött számottevően az eltérő hőmérsékleti kezelések hatására (kontroll/fűtetlen; kontroll +3°C; kontroll +5°C), ugyanakkor a kísérlet végére a kontrollhoz képest 5°C-al megemelt hőmérsékleten szignifikánsan magasabb bentikus alga-biomassza alakult ki (klorofill tartalom alapján becsülve). A képződött bevonatok konfokális mikroszkóppal történő elemzése szintén azt erősítette meg, hogy a kísérlet végére az +5°C-os hőmérséklet emelkedés hatására jelentősen vastagabb élőbevonat alakult ki, mint a fűtetlen/kontroll tartályokban, illetve a +3°C-os hőmérsékletemelkedés hatására. Ezzel a módszerrel már a kísérlet legelején is számottevő különbséget tudtunk kimutatni a kezelések között rétegvastagság tekintetében, melyet szintén a megemelt vízhőmérsékletnek tulajdonítunk. A fitobentosz közösség taxonómiai összetételében főként a kísérlet első pár hetében

tapasztaltunk jelentős különbséget; a +5°C-os hőmérséklet emelkedés hatására csökkent a taxonómiai diverzitás, csökkent a kovaalgák részaránya, emiatt pedig a zöldalgák és a cianobaktériumok váltak dominánssá.

2022. május-június között két kísérletet folytattunk le a mezokozmosz rendszerben, a University of Rhode Island és a Cseh Tudományos Akadémia munkatársainak közreműködésével. A kísérletek alapvető célja annak vizsgálata volt, hogy hogyan változik a fitoplankton szervezetek tápanyagforgalma a klímaváltozás hatására. A képződött minták és adatok elemzése jelenleg zajlik, publikálható eredményekre 2023. első félévében számítunk.

(2) Halpusztulások hatása a felszíni állóvizek trofikus állapotára és a tetem-eredetű belső tápanyagterhelést meghatározó abiotikus és biotikus tényezők

A 2021. szeptember-október közötti időszakban a halpusztulások nyomán kialakuló, tetem-eredetű belső tápanyagterhelés hatásait modelleztük a hőmérséklet emelkedés függvényében, a mintaelemzés az idei évben történt. A kísérlethez itt is a Balatonból közvetlenül beszivattyúzott vizet használtuk, illetve olyan halfaj tetemeit, amely a Balatonban őshonos és nagy számban fordul elő (szélhajtó kűsz, *Alburnus alburnus*). Megállapítottuk, hogy a legmagasabb alga-biomassza abban az esetben alakult ki, amikor a haltetemek behelyezését +3°C-os hőmérsékletemeléssel kombináltuk. A különbség főleg a kísérlet első heteiben volt jelentős. A tetemek behelyezése a fűtetlen tartályokban is számottevően magasabb algabiomasszát eredményezett a kontroll (tetem nélküli) kezeléshez képest, ugyanakkor itt az alga-csúcs nem érte el azt a szintet, mint az emelkedett hőmérsékletű kezelésben. A felületeken képződő algabevonat biomasszája hasonló módon különbözött a kezelések között, tehát a kontroll tartályokban volt a legalacsonyabb, közepesen magas a csak tetemeket tartalmazó kezelésben, és a legmagasabb ahol a haltetemeket behelyezését +3°C-os hőmérsékletemeléssel kombináltuk. A tetemek lebomlásának általános hatásaként jelentkezett, hogy a kovaalgák visszaszorultak a bevonatban, és a zöldalgák, valamint a cianobaktériumok váltak dominánssá. A vízben mérhető különböző nitrogén- és foszforformák koncentrációja szignifikánsan magasabb volt a tetemeket tartalmazó mezokozmosz tartályokban, mint a kontroll kezelés tartályaiban, ugyanakkor a vízhőmérséklet emelkedése itt is érzékelhető hatást gyakorolt, mivel +3°C alkalmazása mellett jóval nagyobb arányban mobilizálódtak a tápanyagok a tetemekből. A vizsgálat során képződött minták egy részének elemzése még folyamatban van.

(3) Inváziós jelleget támogató klimatikus tényezők vizsgálata

A Balaton területén és vízgyűjtőjén található idegenhonos makrofita fajoknál vizsgáltunk a vízhőmérséklet emelkedés hatását a növények produkciobiológiájára. A vizsgálatok során összehasonlítottuk egy a Balatonban letelepedett (*Vallisneria spiralis*) és egy letelepedni képtelen faj (*Vallisneria gigantea*) ökofiziológiai és morfológiai válaszát 3°C hőmérséklet emelkedésre. A vizsgálataink alátámasztották a terepi megfigyeléseket, hogy a Balaton átlagos vízhőmérsékletének körülményei (22°C) között a *V. spiralis* produkciobiológiai gyarapodást mutatott, míg a *V. gigantea* nem tudott növekedni. Az utóbbi jelenség elsősorban az intenzív nemfotokémiai fénykioltással volt összekapcsolható. A megemelt hőmérséklet drasztikusan megfordította a helyzetet: míg a balatoni *V. spiralis* biomasszája havi 60%-al, addig a *V. gigantea* biomasszája közel 200%-al gyarapodott, előrevetítve a víz melegedésével a faj lehetséges elterjedését a Keszthely-medencében.

6. stratégiai koncepció: Folyam-ártér rendszerek multidiszciplináris vizsgálata

A nagy folyamok és árterek a leginkább fenyegetett ökoszisztémák a Földön. Európában pl. az árterek 90%-a veszítette el eredeti funkcióját a XIX. században bekövetkező nagyléptékű folyamszabályozások és az ezzel járó növekvő mértékű mezőgazdasági tájhasználat eredményeként. A meglevő árterek funkciójának, természeti értékeinek megőrzése, az egyensúly megteremtése a növekvő mértékű emberi

igények és az árterek természetes állapotának megőrzése között, azaz az árterek bölcs hasznosításának megtervezése ezért a vízgazdálkodás és a természetvédelmi ökológia egyik különösen nagy kihívása

Kutatásaink célja ezért a Magyarországon, de európai viszonylatban is kiemelten értékes gemenci és béda-karapancsai Duna-szakasz és árterének fenti szempontok szerint multidiszciplináris kutatása. E két szakasz kiváló modell területnek tekinthető az európai folyamatok ökológiai állapotértékelési módszertanának kialakításához, a fenntartható ártérgazdálkodási módok meghatározásához.

- Historikus tájökológiai elemző módszerekkel feltérképezzük miként alakultak át a folyam-ártér rendszerek hidrológiai kapcsolatai és tájhasználati módjai a folyamszabályozások és egyéb antropogén hatások eredményeként;

- feltárjuk, hogy miként határozza meg az ártéri víztestek átjárhatósági kapcsolat-rendszere és hidrológiai változatossága az élőlényközösségek sokféleségét, stabilitását és dinamikáját,

- meghatározzuk, hogy melyek a biológiai sokféleség megőrzése szempontjából még fennmaradó legértékesebb területek,

- hidrológiai modellek segítségével restaurációs tervek készítését az árterek ökológiai funkciójának és a változatos ökoszisztéma szolgáltatások fenntarthatóságának biztosítása érdekében.

Szakkikket készítettünk a paksi melegvizes kifolyó hatásáról a Duna áramlási és hőmérsékleti viszonyaira, a halak élőhely használatára és közösség szerkezetére. Kutatásaink igazolták, hogy a melegvizes kifolyónak nincs szignifikáns hatása a halközösségek szerkezetére. A kifolyó hatása csupán nagyon kis léptékben (pár 100 m) érvényesül, a halállomány variabilitását a terület természetes és emberi hatású hidromorfológiai változásai határozzák meg. Az elért eredményeket bemutattuk a Nemzetközi Hidraulikai Kutatási Szövetség (IAHR) 2022. évi kongresszusán.

Elkészítettük a számítógépes szimulációs hidrodinamikai modell első verzióját a Duna Gemenci-erdő környéki szakaszára, amely magában foglalja a Duna főmedrét, a mellékágakat és a teljes hullámteret. A modellépítéshez összegyűjtöttük a területre rendelkezésre álló geodéziai adatokat, múltbeli áramlás- és hordalékmérési adatokkal együtt. A modellt felparamétereztük a jelenlegi állapotot reprezentáló domborzati és fedettségi viszonyok alapján. A modellbe beépítettük dunai hordalékmérések alapján a jellemző lebegtetett hordalék adatokat is. Jelenleg a modelligazolás feladatrészen dolgozunk.

Kéziratot készítettünk és nyújtottunk be közlésre (Freshwater Biology) a folyami konnektivitás, a tájhasználat és az élőhelyszerkezet hatásáról kételtű közösségek szerveződésére a folyam-hullámtér rendszerben. Kimutattuk, hogy a kételtű közösségek szerkezetét, az egyes fajok élőhelyhasználatát alapvetően meghatározza a vízfolyásrendszer konnektivitása, a folyami élőhelyek szerkezete. A kételtűek a kisebb, elsősorban időszakos vízterekben fordultak elő nagyobb mennyiségben. Hangsúlyoztuk ezen élőhelyek megőrzésének fontosságát a kételtűközösségek sokféleségének fenntartása és a kételtű populációk hosszú távú megőrzése érdekében.

Felmértük a madárközösségek összetételét és mintát vettünk a makroszkópikus gerinctelen közösségek meghatározásához a gemenci modell területen.

Elkészítettük az ártéri terület változásait összegző tájtörténeti térképeket, jelenleg a kézirat készítése zajlik. Kutatásaink igazolják a folyam-ártér rendszer tájhasználatának jelentős mértékű változását, ami elsősorban a Duna XIX. században történő szabályozásának tudható be. Számszerűsítettük az egyes tájhasználati kategóriák négy évszázadon át történő változásait, a mellékágrendszerek átrendeződését, ami jelentős mértékben kihatott a terület ökoszisztéma szolgáltatásainak megváltozására.

Helyszíni terepbejáráson kijelöltük a mikrobiológiai, zooplankton és makrofiton közösségek szerveződéséhez tanulmányozni kívánt víztesteket a gemenci ártéren, és megkezdjük a terepi mintavételeket.

A BLKI közcélú, társadalmi aktivitása 2021 szeptember 1 és 2022 augusztus 31 közötti időszakban

Önmagában is fontos, hogy létezik egy széles körben elfogadott „tudásbázis”, „Balaton Orákulum”. A Balaton nemzetgazdasági, társadalmi, kulturális-történeti szerepe megköveteli azt, hogy a közvélemény és a döntéshozók tájékoztatására megbízható tudományos háttér álljon rendelkezésre. Ezt a szerepet is törekszik ellátni a BLKI. A Balaton monitoring esetében közel egy évszázada gyűjtött hidrobiológiai adatok, sok évtizedes koherens adatsorok fenntartása, gyarapítása, ezeknek adatbázisban elérhetővé tétele elengedhetetlen a tó kezeléséhez. Pl. az eutrofizáció kutatása, az algaflóra, a tápanyagterhelés folyamatos tudományos elemzése, a tó és vízgyűjtője élővilágának monitorozása, elemzése teszi lehetővé, hogy a tó тұrőképeségének, fenntartható használatának megfelelő döntések szülessenek.

A Balatonról Őszintén – felszínre a problémákkal!

A közvélemény gyakran érdekkonfliktusokat hordozó kérdésekben is várja a BLKI objektívként elfogadott tájékoztatását, sokszor az állásfoglalását. Erre az igényre hagyományteremtő céllal kezdtük szervezni „A Balatonról Őszintén” tudományos előadásülések és szakértői tanácskozások eseményeit.

Először 2021 őszén a Balaton tápanyag-terheléséről tartottunk ilyen eseményt. Kutatók, vízügyi, halgazdálkodási, természetvédelmi és más szakértők között kezdeményezésünkre Tihanyban létrejött egy közös gondolkodás a korábban kompartmentalizált szakértői csoportok között, sőt közös egyetértő álláspontot és intézkedési javaslatot alakítottak ki olyan lényeges pontokban, hogy

- a friss tudományos értékelések szerint a klímaváltozás és az egyre intenzívebb emberi használat az utóbbi időben jelentősen átalakította a tó vízminőségét és élővilágát, a tó új anyagforgalmi sajátosságokat mutat;
- a Balaton legfőbb értékét a környezeti ártalmaktól óvott, természetes állapotát tartó tó üdülési célú használata jelenti, és ha szeretnénk megőrizni a Balaton jó ökológiai állapotát, akkor a jövőben még nagyobb szerepe lesz a víz jó minőségének.

Egyetértés volt abban, hogy a jövőben is számítani lehet a 2019 év augusztusában váratlanul kialakult algavirágzás megismétlődésére, és azt nem külső tápanyagterhelés, pl. a horgászok által a tóba juttatott etetőanyag okozta, hanem a tápanyag döntően az üledékből érkezett. A kiváló vízminőséghez kevés tápanyag, és alacsony tömegű alga biomassza szükséges. Minden olyan intézkedés fontos, amely csökkenti a tóba bejutó újabb tápanyag mennyiségeket, és különösen fontos, hogy a kívülről évente érkező 100-150 tonna foszfor mennyisége csökkenjen, mert ez folyamatosan tovább növeli a belső tápanyagterhelést és a havária helyzetek kockázatát.

A szakemberek számos intézkedést javasoltak a Balaton jó vízminőségének biztosítása érdekében, pl.:

- Szükséges a tóba jutó tápanyagok mennyiségének további csökkentése, mert hosszú távon ettől függ az algák mennyisége, és a tó általános ökológiai állapota. Az éghajlatváltozás miatt a vízmennyiségi problémák kezelésére is fel kell készülni.
- Kiterjedtebb és folyamatosabb monitoringra és több kutatásra van szükség a Balatonban zajló folyamatok megbízható értékeléséhez és a megfelelő döntésekhez.
- A Kisbalatoni Vízvédelmi Rendszer rekonstrukciójára szükség van (pl. kotrás, zagyterek kialakítása, dinamikus használata).
- A halgazdálkodás jelenleg évi közel 5 tonna többlettel bíró foszformérlegét javító intézkedések szükségesek.
- Erősíteni kell a környezettudatosságot, a tápanyagterhelést bemutató ismeretterjesztést, a helyi és üdülő lakosság körében. Népszerűsíteni szükséges a foszformentes, vagy alacsony foszfortartalmú

mosó- és oldószerek használatát, a felhasznált horgász etetőanyagok mennyiségének önkéntes csökkentését, és beltartalmának szabályozását.

2022 júniusában a Balaton nádasainak szerepe, jelene és jövője került „A Balatonról Őszintén” sorozat napirendjére. Kell-e az összefüggő nádas? Milyen hatással van rá az állandó vízszint? Milyen szerepe van a balatoni ökoszisztémában? Mi lesz a Balatonnal ha pusztul a nádas? Ezekre, és sok más kérdésre kereste a választ a tudományos előadóülés. Az eseményen megszólaló kutatók, vízügyi, természetvédelmi és más szakértők olyan lényeges pontokban egyetértettek, hogy a friss tudományos értékelések szerint a klímaváltozás és az egyre intenzívebb emberi használat az utóbbi időben jelentősen átalakította a tó vízminőségét és élővilágát, és ez a biológiai sokféleség balatoni raktárainak, a nádasoknak a sorsát is befolyásolja; a Balaton legfőbb értékét a környezeti ártalmaktól óvott, természetes állapotát tartó tó üdülési célú használata jelenti, és ha szeretnénk megőrizni a Balaton jó ökológiai állapotát, akkor a jövőben annak, hogy a tó élővilágának gazdagsága ne csökkenjen, éppolyan nagy szerepe lesz, mint a víz jó minőségének. A balatoni ökoszisztéma gazdagsága, a tó hosszú távú ökológiai szolgáltatásainak, köztük az üdülési és turisztikai lehetőségeknek a fenntartása érdekében a szakemberek által javasolt intézkedések közül a tudományos előadóülés végén a következőre irányítottuk a figyelmet:

- A szakemberek egyöntetűen kifejezték aggodalmukat a tóparti nádasok területét és a nádasok minőségét komolyan veszélyeztető emberi beavatkozások miatt.
- A Balaton sérülékenységet tovább fokozza a parti zónának az utóbbi évtizedben felgyorsult beépítése és a parti növényzet átalakítása.
- Az egyik legfőbb veszély a nádasok felszabdálódása, amit illegális bevágások, tiztől kétszáz méter hosszúságú bejárók és vízbe állított, beépített alkotmányok idéztek elő. Az összesen 80 kilométer hosszúságú parti nádban átlagosan minden 45 méterre jut egy-egy ilyen természetkárosító, az ott lévő élővilágot zavaró és átalakító önkényes, és legtöbbször csak egy néhány embert kiszolgáló változtatás.
- A Balaton érdekében, és a balatoni nád védelmére határozott kormányzati intézkedést javasolnak a nád illegális pusztításának sürgős megállítására, illetve a jogszabályok megszegésével több év alatt létrejött helyzet felszámolására. Utóbbinak forrását is biztosítani kell, lehetőleg úgy, hogy a károkat okozók fizessenek. Szükséges, hogy az állami tulajdonban lévő tómederbe illegálisan beépített bevágásokat, betöltéseket, vízi állásokat megszüntessék, és a nádasokon ejtett súlyos sérüléseket begyógyítsák.
- Evvel párhuzamosan a szakemberek elfogadják azt, hogy ökológiai szempontból nem érzékeny helyeken jogszerű feltételek között alakítsanak ki közösségi használatú víziállásokat és más létesítményeket.

Szakmai és társadalmi együttműködések

A BLKI 2021-ben a BM Vízügyi Főigazgatósággal folytatott tárgyalásokat és együttműködési megállapodást kötött a tó vízgyűjtőjén működő három regionális vízügyi igazgatósággal. Adatok, vizsgálati eredmények kölcsönös átadása, kutatásokban való együttműködés. kölcsönös tanácsadás alkotja az együttműködések lényegét.

Az Állatorvostudományi Egyetem Biológiai Intézete és a BLKI közötti együttműködésről megállapodást írtunk alá, mely szerint a két intézmény kölcsönösen segíti egymás munkáját a tudományos kutatók kinevelésében, szakmai utánpótlásában, az egyetemi képzésben. Idén nyáron már az Intézethez kötődő biológus hallgatók látogatták meg intézetünket terepgyakorlat keretében. Megismerkedtek a kutatói élettel, a hal és makroszkopikus gerinctelen szervezetek gyűjtési módszereivel és határozásukkal.

A BLKI részt vesz a Lóczy Lajos fejlesztési program előkészítésében is, amely Balatonfüred térségének sokcélú kulturális, turisztikai, tudományos és oktatási fejlesztéseit készíti elő.

A Balatonnal kapcsolatos jelentős tanácskozásokon szerepeltek kutatóink előadásokkal, és helyet is adtunk ilyeneknek. Pl. nálunk rendezték meg Magyarország limnológusainak és hidrobiológusainak legnagyobb seregszemléjét, a Hidrobiológus Napokat, a hetedik Balatoni Horgász Konferenciát. Online házigazdái voltunk a XI. Ökotoxikológiai Konferenciának és az azt követő közgyűlésnek.

Kiemelésre érdemes az a nemzetközi nyári egyetem, amely régi hagyományokat elevenített fel. Júniusban egy hétig Kutatóintézetünk adott otthont a 2018-ban megalakult, visegrádi négyek alapvetően fejlődésbiológiával foglalkozó csoportja (V4SDB) által szervezett nemzetközi Hallgatói Nyári Iskolának. A fejlődésbiológiával foglalkozó előadásokon és gyakorlatokon 35 többségével genetikával foglalkozó MSc és PhD végzős hallgató vehetett részt, akik a visegrádi országokból érkeztek. A hallgatók több modellorganizmussal ismerkedhettek meg, és gyakorlati tapasztalatot szerezhettek a velük kapcsolatos alapvető kísérleti eljárásokban.

Nyitott tudomány

Több száz cikkben, rádió és tévériportban jelentek meg kutatóink, vagy egy aktuális kérdésre reflektálva, vagy egy kutatásuk kapcsán ismeretterjesztő cikkek szereplőiként. A vízminőséggel kapcsolatos információkat és a folyamatos monitoring eredményeket internetes felületeken tesszük közzé.

Megkeresésre bekapcsolódtunk az Európa Kulturális Fővárosa (Veszprém) eseménysorozat keretében szervezett „Balatórium” elnevezésű rendezvényekbe már 2022-ben.

2022. augusztus 26-án ezekkel egyidőben rendezte meg a kutatóintézet az idei Nyílt Napját, amelyen összesen 354 látogatónk volt, akik nagyon érdeklődve ismerkedhettek az intézet munkájával. Reggel 9 órától délutánig voltak bemutatók az intézet parkjában a következőkről: a Balaton parti övében előforduló halak- őshonos és invazív fajok akváriumokban, vízi makrogerinctelenek és a Balatonban élő idegenhonos makrogerinctelen fajok, illetve a mezokozmosz kísérletes rendszer a különböző éghajlatváltozási forgatókönyvekre. A látogatók laboratóriumokban a ismerkedhettek a fitoplankton és algatenyészetekkel mikroszkóp alatt, a műszerbemutató során az üledék- és vízmintavétel gyakorlatába, a minta helyszíni átvizsgálásába kapcsolódhattak be. Volt kvíz felnőtteknek, rajzverseny gyerekeknek. Tudományos túra során tájékozódhattak a mikroszennyezőkkel és azok hatásaival a vízi élőlényekre, illetve a fizikai limnológiába pillanthatnak be műholdképeken és kísérletekben

Sokakat érdeklő témákról szóltak az előadások: a naptejek hatásairól, a Balaton hlevő madarairól, az aktuális algahelyzetről és a Balaton körül élő siklókról.

Mind ezekkel egy időben a BLKI területén egyéb BALATORIUM programok is voltak e napon, így C:N:P minibár, érzékszervi séták víz-perspektívából, de még egy kórusművet is előadtak a Varsányi Szirének: Missa Echologica címmel.

Tihany mellett más helyszínekre is járunk a Balaton ügyeit képviselni. Néhány példa:

A konkrét ismeretterjesztő akciók, projektek közül kiemeljük, hogy az „Egy A Természettel Vadászati és Természeti Világkiállításon” a BLKI élt avval a lehetőséggel, hogy önálló standdal jelenhetett meg, és a Hungexpo területén, 614 ezer látogató által felkeresett rendezett eseményen egy frekvenciált helyen, nagyméretű posztereken és archív filmen mutattuk be az Intézet múltját és jelenét.

Emellett komoly volt a BLKI hozzájárulása a közoktatáshoz: pl. diákcsoportoknak bemutatók, roadshow, nyári gyakorlatok formájában. Például július elején munkatársaink a Ciszterci Rekreációs Központban jártunk Balatonalmádiban, ahol 110 felsős gyerekek meséltek idegenhonos és invazív élőlényekről, balatoni madarokról, és vízi gerinctelenekről. Ez utóbbiak közül sokat élőben is lehetett látni. tálcákon volt óriáscsibor lárvák, mindenféle vízi poloskák, nadályok, szitakötő lárvák, de mutattak kvaggakagylót, bolharákat és cifrarákat is a gyerekeknek.

A BLKI "halas kutatócsoportja" 3 napig a Művészetek Völgyében is megtalálható volt a "Zöld udvarban". Itt az érdeklődőkkel beszélgettek a Balatonról, válaszoltak a felmerülő kérdésekre, előadásokat tartottak. Még az Eger-víz halfauna monitorozásának terepi munkáját is megmutatták.

Tihany, 2022. augusztus 31.