



**A KLÍMAVÁLTOZÁS LEHETSÉGES HATÁSAINAK
MODELLEZÉSE DUNAI FITOPLANKTON
ADATSOR ALAPJÁN**

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Sipkay Csaba

Budapest

2010

A doktori iskola

megnevezése: Budapesti Corvinus Egyetem
Tájépítészeti és Tájökológiai Doktori Iskola

tudományága: Agrárműszaki

Vezetője: **Csemez Attila, DSc**
Tanszékvezető egyetemi tanár
Budapesti Corvinus Egyetem
Tájtervezési és Területfejlesztési Tanszék

Témavezető: **Hufnagel Levente, PhD**
Tudományos főmunkatárs
MTA – BCE „Alkalmazkodás a klímaváltozáshoz”
Kutatócsoport

A jelölt a Budapesti Corvinus Egyetem Doktori Szabályzatában előírt valamennyi feltételnek eleget tett, az értekezés műhelyvitájában elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, ezért az értekezés védési eljárásra bocsátható.

..... ..
Az iskolavezető jóváhagyása

..... ..
A témavezető jóváhagyása

BEVEZETÉS

Magyarországon, Gödnél, hetes gyakorisággal gyűjtött, 24 év hosszúságú fitoplankton adatsor mintegy 528 taxont tartalmaz. Ezen adatsor alapján elemeztem a dunai fitoplankton mennyiségének, diverzitásának és szezonális dinamikájának hosszú-távú változásait. A hosszú-távú fitoplankton adatsor lehetőséget kínál a globális felmelegedés kérdésköre szempontjából széleskörűen hasznosítható modell fejlesztésére.

A jövőben várható globális változások hatásainak feltérképezéséhez kétségkívül az egyik legkézenfekvőbb megoldás a modellezés módszereinek felhasználása. Napjainkban a globális klímaváltozás problémájához kapcsolódó kérdések egyre szélesebb körű tudományos érdeklődés középpontjában állnak. Számos megközelítés lehetséges az édesvizek fizikai vagy kémiai jellemzőinek, alapvető populációinak vagy bizonyos közösségi komponenseinek klímaváltozás hatására várható megváltozásainak főbb irányait felvázolni modellek segítségével. Azonban a klímaváltozás vizsgálatának szempontjából is releváns eredményeket szolgáló, modellező kutatások módszertana mégsem tekinthető megoldottnak. A probléma forrása a szintetizáló modellek hiányában illetve körülményes megvalósíthatóságában keresendő. Ez utóbbiakhoz ugyanis rengeteg információ szükségeltetik, melyeknek még nem vagyunk feltétlenül a birtokában. Másrészt sokszor ugyan fel lehet állítani egy bonyolult modellt, de a paraméterekhez szükséges információt még nem tudjuk megmérni a terepen. Ezért az összetett ökoszisztéma modellek helyett sokszor taktikai modelleket készítenek, melyek a lényeg megragadására koncentrálnak és sok, esetleg fontos információt elvesztenek. Mégis eredményesek lehetnek, ha az egész rendszer általános működését akarjuk megérteni. Ez többnyire egy legfontosabbnak tartott befolyásoló tényező kiemelésével és a többi folyamat elhanyagolásával valósul meg.

Doktori dolgozatomban megkíséreltem a Duna gödi térségéből származó adatsorok alapján a fitoplankton szezonális alakulását diszkrét időszemléletű, determinisztikus modellel leírni. Ehhez kiindulásul egy tisztán elméleti ökoszisztéma stratégiai modelljét használtam fel. A taktikai modellezés során a modell prognosztikai használhatóságát tekintettem elsődlegesnek a leginkább lényegesnek tartott befolyásoló tényezők kiemelésével, ahelyett, hogy megpróbáltam volna a fitoplanktonra ható valamennyi környezeti és biotikus tényezőt egy bonyolult szintetizáló modellbe építeni. A szezonális dinamikai folyamatok modellezésében a hőmérséklet kiemelése kézenfekvő megoldásnak tűnik. Ebben az esetben a modell arra a hipotézisre épül, hogy a hőmérséklet az egyetlen befolyásoló tényező, így a mintázatot a napi hőmérséklet értékek határozzák meg, az összes többi hatás (mint a trofikus kapcsolatok és

más interpopulációs kölcsönhatások) ebbe ágyazottan, vagy rejtve jelennek meg. További feltételezésem szerint a hőmérséklettől függő reakciógörbének optimumgörbék összegeként kell előállnia, mert a fitoplanktont alkotó fajok vagy fajcsoportok hőmérsékleti optimumgörbéi együttesen összeadódnak. A dunai fitoplanktonnal kapcsolatos kutatási eredmények alapján nem hagyhatjuk figyelmen kívül a fény elérhetőségét sem, amely szintén fontos befolyásoló tényezőnek számít. Továbbá figyelembe vettem, hogy a csökkent beesési szög miatt télen a fitoplankton számára lényegesen kevesebb fény hasznosítható.

A dunai fitoplankton hőmérséklettől függő taktikai modelljének felhasználásával a klímaváltozás lehetséges irányainak felvázolására tettem kísérletet.

CÉLKITŰZÉSEK

1. 24 év adatai alapján célul tűztem ki a dunai fitoplankton mennyiségének, diverzitásának és szezonális dinamikájának hosszú távú változásainak feltárását.
2. Céлом volt egy olyan taktikai modell készítése, amely a napi hőmérsékleti adatsorok, mint bemenő paraméterek alapján képes választ adni egy folyami fitoplankton közösség szezonális dinamikáját érintő kérdésekre.
3. A taktikai modell felhasználásával a felmelegedés legvalószínűbb lehetséges hatásait céloztam meg feltárni a vizsgált dunai fitoplankton közösségben.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Az MTA Magyar Dunakutató Állomás adatbázisából 1979-től 2002-ig állnak rendelkezésünkre részletes fitoplankton mennyiségi adatok a Duna gödi térségéből, az 1669-es fkm. szelvényben sodorvonalból, felszín közeléből merített, hetenként gyűjtött minták eredményei alapján. A fitoplankton mennyiségét biomasszában (mg/l) fejeztem ki. Az egyes fajok biomasszáját az egyedszámok és az egyedi testtérfogatuk ismeretében lett kiszámítva (becsülve). A számítások során helyzetspecifikus (szezontól és vízjárási állapottól függő) korrekciós faktorokat is alkalmaztam.

A diverzitást a leggyakrabban használatos diverzitási index, a Shannon index alapján számítottam. A fitoplankton denzitásának, a diverzitásának, valamint a legtömegesebb taxon denzitásának a vizsgált időszakban mutatott éves és szezonális változásait háromdimenziós ábrákban mutattam be. Az időbeli mintázatokat többváltozós statisztikai módszerek

felhasználásával vizsgáltam. Hierarchikus osztályozásokat (cluster analízis) és nem-metrikus több dimenziós skálázás (NMDS) módszerét alkalmaztam. A biomaszra értékeket tartalmazó adatmátrixon végzett elemzések mellett logaritmikusan transzformált adatok alapján is elvégeztem az elemzéseket, az egyes taxonok nagyságrendbeli különbségeinek eltüntetésére, a domináns fajok meghatározó erejének csökkentésére.

A gyakori mintavételezések alkalmassá teszik adataink időjárásfüggő szimulációs modellezésre való felhasználását. A dunai fitoplankton szezonális dinamikáját diszkrét időszemléletű, determinisztikus modellel kíséreltük meg leírni.

A kiindulásként felhasznált stratégiai modell, az ún. „TEGM” – Theoretical Ecosystem Growth Model egy elméleti algaközösség modellje, amely 33 elméleti faj hőmérsékleti optimumgörbéjével fedi le a lehetséges hőmérsékleti spektrumot. Az elméleti fajok a hőmérsékleti toleranciatartomány szélessége alapján a következőképpen osztályozhatók: 2 szupergeneralista, 5 generalista, 9 átmeneti és 17 specialista.

Az elméleti algaközösség stratégiai modelljét valós terepi (dunai) adatokra adaptáltam (taktikai modell). Az illesztéshez az MS Excel Solver optimalizációs segédprogramját használtam.

A modellezési eredmények statisztikai elemzéséhez a Past program 1.36-os verzióját használtam. Az illeszkedés mértékének elfogadhatóságát korrelációanalízisekkel végeztem, különféle mutatók és indikátorok esetén. Az egyes éveket, vagy az egyes évek időszakait évenként egy-egy számmal jellemző indikátorokat hoztam létre, amelyek alapján szintén megvizsgáltam a terepi és a modell által szimulált értékek lineáris korrelációját.

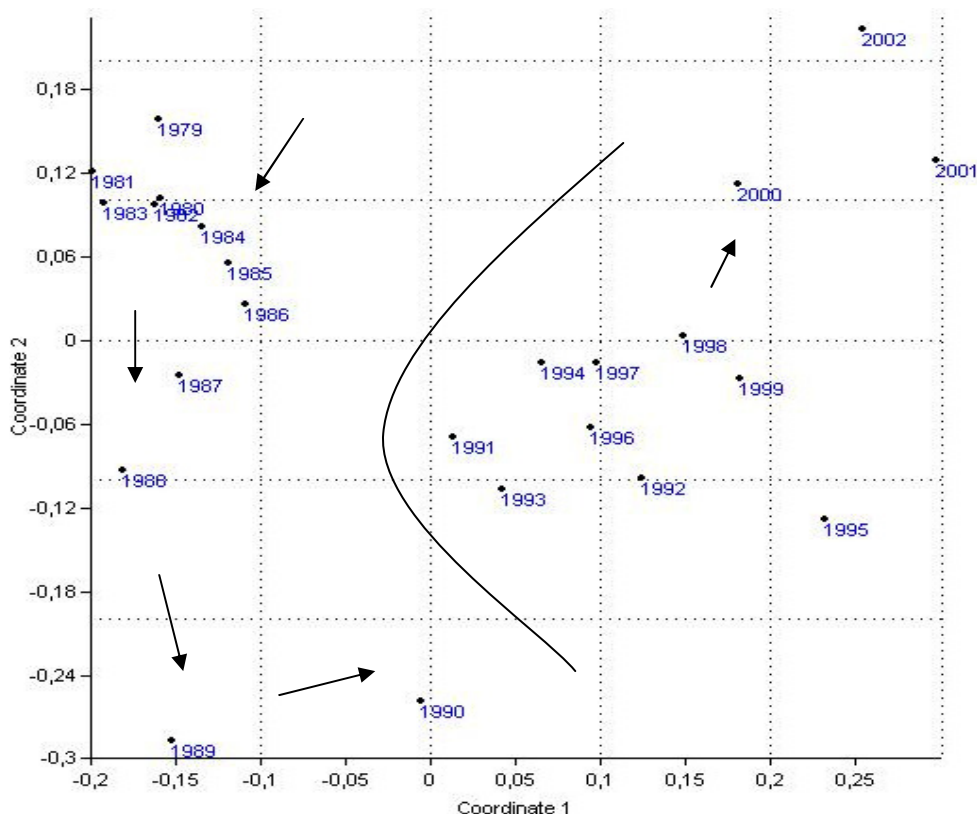
A modellt a 2070-2100 évek hőmérsékleti állapotát jellemző klímaváltozási scenáriók adatsoraira is lefuttattam, valamint Budapest földrajzi analóg területeinek hőmérsékleti adatsoraira is (ezen területek hőmérséklete hasonlít leginkább Budapestnek a jövőben várható hőmérsékleti állapotához, a klímaváltozási scenáriók alapján). A klímaváltozási scenáriók esetében a PRUDENCE EU projekt adatbázisából származó scenáriókat használtam. Ezeket egyrészt a Hadley Centre által futtatott HadCM3 klímaváltozási modell A2 és B2 scenáriói jelentik. Az A2 scenárióra a Max Planck Institute futtatási eredményei jelentik a harmadik adatsort. A fent ismertetett indikátorokat használtam az eltérő hőmérsékletű időszakokban a fitoplankton biomaszájában, fenológiájában mutatkozó eltérések összevetésére. Megvizsgáltam a modell predikcióit lineáris hőmérsékletemelés hatására is. Ehhez a 24 éves valós hőmérsékleti adatsor minden egyes értékét első esetben 0,5, majd 1, 1,5 és 2 fokkal megnöveltük, és az így előállt hőmérsékleti adatsorokra is lefuttattuk a modellt.

Egytényezős ANOVA-val ellenőriztem, hogy várható értékeiket tekintve az egyes

modellfuttatások között van-e különbség. Annak eldöntésére, hogy mely csoportok között lehet lényeges különbség, a post-hoc Tukey tesztet alkalmaztam, a homogenitást pedig Levene tesztel ellenőriztem. A szórások összehasonlítását Welch próbával végeztem.

EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA

A fitoplankton mennyisége a vizsgált időszak során csökkenő tendenciát mutat, és a nagyobb algamennyiségekkel jellemezhető időszakok amplitudója is egyre kisebb. Amellett a diverzitásban növekvő tendencia tapasztalható, amelyet leginkább a domináns csoportok egyedszámainak csökkenésével lehet magyarázni. Szintén a domináns taxonok alapján magyarázhatók az időbeli cönológiai mintázatban megfigyelhető trendek. A logaritmikusan transzformált adatok alapján végzett többváltozós elemzések eredményeiben a hosszútávú időbeli változások jól tetten érhetők, amelynek alapján a 24 éves időszak első- (1979-1990) és második fele (1991-2002) egyértelműen elkülöníthető (1. ábra).

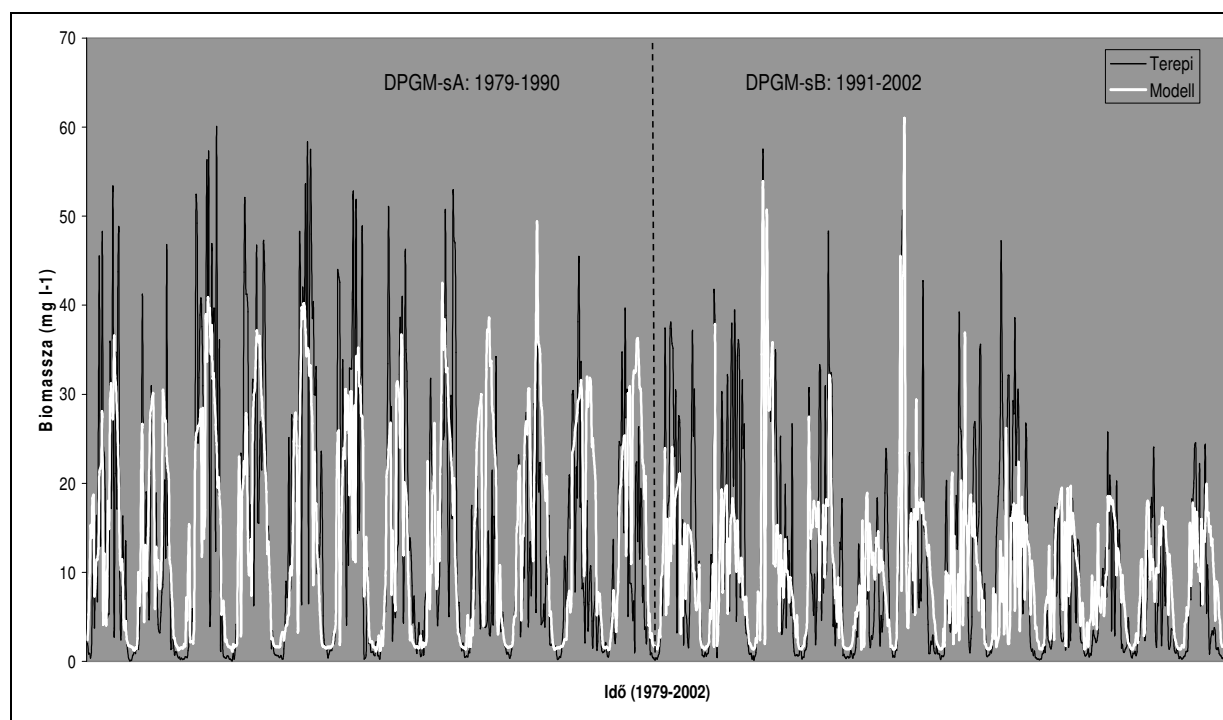


1. ábra. A vizsgált évek NMDS ordinációja az összes faj log transzformált adatai alapján. Az ordinációs síkon feltüntetett nyilak az időbeliség megjelenését demonstrálják, továbbá vonallal hangsúlyoztam a két fő időszak elkülönülését

A kilencvenes évek fordulóján tapasztalható változás leginkább a tápanyagterhelés

(foszforterhelés) csökkenésével hozható összefüggésbe.

A dunai fitoplankton monitoring adatbázisát felhasználtam egy tisztán elméleti alapokra építő stratégiai modell, az ún. TEGM terepi adatokra adaptálására. Az így létrejött Danubian Phytoplankton Growth Model (DPGM) a hőmérséklet napi alakulása alapján képes a fitoplankton biomassza (mg/l) szezonális dinamikáját leírni. A diszkrét időszemléletű, determinisztikus modell a hőmérséklet mellett figyelembe veszi az éven belül változó fényellátottság mértékét is. Az illeszkedés további javításához a 24 éves adatsor két szakaszra bontottam a környezeti háttér adatok alapján. Az 1979-1990. időszakban jelentősebb a tápanyag-túlkínálat mértéke, mint az 1991-2002. időszakban. Feltételezésem szerint a fitoplankton a két időszakban eltérő módon reagál a hőmérsékletre, így azokra két szubmodellt fejlesztettem: DPGM-sA és DPGM-sB. A szubmodellek egyesítésével a 24 év terepi adataira lényegesen jobban illeszkedő modellt kaptam: DPGM-sAB (2. ábra). A modell jól korrelál a terepi adatokkal az éves összbiomassza, bizonyos fenológiai jelenségek, valamint az év egyes szakaszai jellemzésére kifejlesztett indikátorok esetén.



2. ábra: A DPGM-sA és DPGM-sB egyesítésével létrejött DPGM-sAB illesztése

A felmelegedés hatásainak vizsgálatára három esettanulmányt dolgoztam ki. Az első esetben klímaváltozási scenáriók adataira futtattam a modellt. A lineáris hőmérsékletemelés hatását is megvizsgáltam, továbbá a földrajzi analógiák alapján Budapesttel analógnak tekinthető városok (amelyek klímája jelenleg hasonlít Budapest XXI.

szd. végén várható klímájához) hőmérsékleti adatsoraira is lefuttattam a modellt. A három esettanulmány alapján megállapítottam, hogy a felmelegedés csak erősebb tápanyagterhelés esetén produkál drasztikus változásokat, ami leginkább a biomassza növekedésében nyilvánul meg. Magas foszforterhelést feltételezve drasztikus fitoplankton növekedés várható, amely legerősebben a nyári időszakban nyilvánulhat meg.

ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

A dunai fitoplankton közösség hosszú-távú változásai

- A fitoplankton mennyisége a vizsgált 24 év során csökkenő tendenciát mutat, és a nagyobb algamennyiségekkel jellemezhető időszakok maximumai is egyre alacsonyabbak.
- Ugyanakkor a taxonszám változása növekvő trendet mutat a 24 év során. A Shannon diverzitás alapján megállapítottam, hogy a biológiai sokféleség nőtt a Duna fitoplankton közösségében Gödnél 1979 és 2002 között.
- A vizsgált időszakban a fitoplankton mennyiségében éven belül is változások figyelhetők meg. A kezdeti időszakban nagyon magas fitoplankton abundancia tapasztalható nyáron és ősz elején, és kisebb tartományban kora tavasszal is. A későbbiek során már csak a kora tavaszi tömegtermelés érhető tetten. Az ismert trend a legdominánsabb csoport (*Stephanodiscus spp*) mennyiségét tekintve egyértelműbben kibontakozik.
- A 24 éves időszak időbeli mintázatainak többváltozós elemzése során nem tapasztalunk élesen elkülöníthető csoportokat. A kapott mintázat a legtömegesebb taxonok rangsora alapján értelmezhető.
- A logaritmikusan transzformált adatok alapján végzett többváltozós elemzések eredményeiben a hosszútávú időbeli változások jól tetten érhetők, továbbá a 24 éves időszak első- (1979-1990) és második fele (1991-2002) egyértelműen elkülöníthető. A megfigyelt trendszerű változás és az időszak 1990-es évek környékén való kettéválása mögött valamilyen környezeti háttérváltozó hatása sejthető. A rendelkezésünkre álló adatok alapján a PO₄-P mennyiséggel kifejezett tápanyagterhelés mértékében történt hasonló változás, amely a fitoplankton összmennyiségének alakításában feltételezhetően szerepet játszhat.

A DPGM és szubmodelljeinek megállapításai

- A TEGM adaptálásával létrejött DPGM modell segítségével, a napi hőmérsékleti értékek alapján, a megvilágítottság figyelembe vételével, összesen 21 eltérő hőmérsékleti toleranciával jellemezhető elméleti populáció lineáris kombinációjával a dunai fitoplankton szezonális dinamikája nagy vonalakban leírható.
- A hőmérséklet azonban – mint a modell bemenő paramétere – önmagában nem elegendő a dunai fitoplankton mennyiségében évek során megfigyelhető, trendszerű változásainak követéséhez. Ahhoz valamilyen más környezeti háttérváltozó ismerete szükséges.
- Az időbeli cönológiai mintázatok eredményeit is figyelembe véve feltételezhető, hogy a vizsgált időszak első (1979-1990) és második (1991-2002) fele két eltérő környezeti állapotnak tekinthető. Mindezt a $\text{PO}_4\text{-P}$ mennyiséggel jellemzett tápanyagterhelés változásaival lehetett összefüggésbe hozni. A két időszakra külön szubmodellt fejlesztve a fitoplankton szezonális dinamikája pontosabban leírható, összesen 20-20 elméleti populáció lineáris kombinációjával.
- Az eltérő környezeti körülmények között érvényes két szubmodell – DPGM-sA és DPGM-sB – az éves biomassza mennyiségére, fenológiai eseményekre (amelyek azt mutatják meg, az éven belül mikor ér el a fitoplankton egy meghatározott mennyiséget), valamint az év egyes szakaszainak jellemzésére (hónapok, évszakok) kifejlesztett indikátorok esetén a modell jól közelíti a megfigyelt terepi adatokat.

Esettanulmányok a felmelegedés hatásainak vizsgálatára a DPGM felhasználásával

- A felhasznált klímaváltozási scenáriók csak korlátozott mértékben alkalmasak a felmelegedés hatásainak vizsgálatára, mert az egyes intézetek bázisidőszakra (kontroll) és jövőre (scenárió) vonatkozó hőmérsékleti adatsoraira futtatott modell eredményei a kiugróan magas szórások miatt nehezen értelmezhetők.
- Az esetek döntő többségében jelentősebb eltérések tapasztalhatók a két szubmodell között, mint ugyanazon szubmodellnek a jelen (vagy bázisidőszak) és a scenáriók hőmérsékleti adatsoraira futtatott eredményei között.
- A magasabb tápanyagterhelést feltételező DPGM-sA nagyobb biomasszát ér el, de később indul fejlődésnek és később éri el a maximumát. Ez a szubmodell reagál erősebben a felmelegedésre, amelynek hatására ezek a tendenciák válnak kifejezettebbé.

- A lineáris hőmérsékletemelés hatása leginkább a DPGM-sA szubmodell esetén érhető tetten, akkor is magas hőmérsékletkülönbség esetén: akkor az éves összbiomassza növekedése valószínűsíthető. A legnagyobb növekedés nyáron valószínű. A fenológiai indikátorok esetén a két szubmodell különbözik jobban egymástól.
- A Budapesthez közeli analóg területek (Bukarest és Calarasi) adatsoraira futtatva a modellt, nem tapasztalunk eltéréseket. A távolabbi – jelentősebben eltérő klímájú – analóg területek esetén (kiváltképp Tunisz, Algír, Kairó) viszont az eltérések drasztikusak is lehetnek: határozott biomassa növekedés, különösen nyáron, valamint a fitoplankton később éri el az éven belül az éves össz mennyiség 10 %-át. Mindez csak a magas tápanyag túlkínálatot feltételező szubmodell esetén állítható egyértelműen.
- Az esettanulmányok alapján általánosságban elmondható, hogy az alacsonyabb tápanyag-túlkínálatot feltételező DPGM-sB szubmodell a hőmérséklet változásaira, így a felmelegedésre nagyon csekély mértékben érzékeny. Viszont a magasabb tápanyag-túlkínálatot feltételező DPGM-sA rendkívül érzékenynek tekinthető a felmelegedésre.
- A felmelegedés hatásainak vizsgálatát célzó esettanulmányok alapján állítható, hogy a klíma várható melegedése az eutrofizáció hatását jelentősen felerősítheti: magas tápanyag-túlkínálatot feltételezve drasztikus fitoplankton növekedés várható, amely legerősebben a nyári időszakban nyilvánulhat meg. Ezen folyamatok anélkül játszódhatnak le, hogy az amúgy magas foszforterhelés szintjében bármilyen változás lenne.

KÖVETKEZTETÉSEK

Májustól szeptemberig jelennek meg a Dunán a fajokban leggazdagabb és legnagyobb népségű fitoplankton együttesek. A legnagyobb egyedszámbeli maximumokat a vizsgált 24 év hosszúságú időszak első felében találjuk, amelyet néhány faj (*Stephanodiscus spp.*) túlzott elszaporodása, gradációja okoz.

A diverzitás indexek maximumai a vizsgálat utolsó éveiben jellemzők. Ez a jelenség az utolsó évek csökkenő össz-biomassa értékeivel magyarázható, amely a domináns fajok jelentősebb visszaszorulása következtében történt. Az első években (1979-1984) február végén – márciusban kezdődő diverzitás változások 1985-től korábbra tevődnek át.

Az adattranszformáció nélküli mennyiségi adatokkal végzett ordináció és hierarchikus osztályozás eredményeit a domináns fajok mennyiségi viszonyai alapján értelmezni lehet. Az osztályozás során éppen a domináns fajok mennyiségi túlreprezentáltsága lehet az oka annak,

hogyan nem sikerült egyértelmű időbeli mintázatokat elkülöníteni.

A logaritmikusan transzformált adatok többváltozós elemzése során az időbeli mintázatok egyértelműbben felismerhetővé váltak. A vizsgált időszakban megmutatkozó időbeliség (egy más után sorban következő évek az ordinációs síkon, kivéve az egy csoportba tömörülő '90-es éveket) egy fokozatosan változó környezeti háttérváltozó létét valószínűsíti. Ez a jelenség, de főleg az 1979-1980 időszak elkülönülése az 1991-2002 időszaktól leginkább a tápanyagterhelés mértékében megfigyelhető változásokkal értelmezhető. A rendszerváltás környékén tapasztalható tápanyagterhelés csökkenéséről számos publikációban találunk utalásokat. Ebben az időszakban általánosságban a szennyezőanyag terhelés mintegy 1/3 részére csökkent, amely a gazdasági recesszióknak és az ipari és kommunális szennyvíztisztító kapacitások belépésének ill. intenzifikálásának tulajdonítható.

A DPGM megmutatta, hogy pusztán a hőmérséklet napi alakulása alapján – de figyelembe véve a megvilágítást is korlátozó tényezőként – a fitoplankton biomaszában megfigyelhető éven belüli és évek közötti változások nagy vonalakban leírhatók. A 24 éves időszak első felének rendszeres alulbecslései és az utolsó négy év – előzőnél kisebb mértékű – felülbecslései egy vagy több, hőmérséklettől eltérő környezeti háttérváltozóban bekövetkező drasztikus változásra utalnak. A rendelkezésre álló 24 év során a tápanyagterhelés mértéke trendszerűen változott. A tápanyagok szintjében bekövetkezett változások mellett a folyó fényklímájában nem történt drasztikus változás, amely a csökkenő fitoplankton biomaszára magyarázatot adna. Így feltételezhető az is, hogy a Dunában megfigyelhető tápanyagterhelés hosszú idejű változása – annak ellenére, hogy többnyire tápanyag-túlkínálatról beszélhetünk – mégis befolyással lehet a fitoplankton biomaszára.

A vizsgált időszakban a Duna állapotban zajló változást jelzi a PO₄-P adatsorban is megmutatkozó trend. A korábbi (1979-1990) évek állapota magasabb tápanyagterheléssel, a későbbi (1991-2002) évek pedig alacsonyabb tápanyagterheléssel jellemezhető. Ezen két állapothoz a DPGM két verziója („szubmodellje”) párosítható. A két szubmodell tehát két eltérő környezeti állapotra vonatkozik, amely állapotok leginkább a tápanyagterheléssel hozhatók összefüggésbe.

A felhasznált klímaváltozási scenáriók azonban csak korlátozott mértékben alkalmasak a felmelegedés hatásainak vizsgálatára, mert a modell – az esetek döntő többségében – az egyes intézetek adatsorai között nagyobb eltéréseket produkál, mint ugyanazon intézet jövőre vonatkozó scenáriója és a jelen hőmérsékleti állapotokat reprezentáló kontroll adatsora között. A felmelegedés hatásait vizsgáló három esettanulmány alapján a leghatározottabban a környezeti háttérváltozó meghatározó szerepét emelhetjük ki, amelyet a tápanyag-túlkínálat

alapján magyaráztunk. Magas tápanyagterhelést feltételezve a DPGM alapján is olyan válaszokat produkál a fitoplankton, amely az eutrofizációhoz hasonlítható, lényegesen magasabb nyári biomasszát eredményezve. Eredményeim tehát megerősítik azon nemzetközi megfigyeléseket és elképzeléseket, miszerint a felmelegedés az édesvízi ökoszisztémák eutrofizációját fokozza. Az eutrofizáció hatásaihoz hasonló válaszreakciók kiváltásához az is elegendő, hogy a tápanyag-túlkínálat viszonylag magas értékekkel legyen jellemezhető, de onnantól kezdve a tápanyagterhelés növekedése nélkül, a klímaváltozás hatására fokozódhat a fitoplankton biomassza növekedése. Ezek alapján arra következtethetünk, hogy ha a felmelegedés mellett a tápanyagterhelés is növekszik, akkor egészen drámai változások várhatók a Duna fitoplanktonjában és azon keresztül a dunai élővilágban.

PUBLIKÁCIÓK

Idegennyelvű, IF-os tudományos folyóiratcikkek

1. **Sipkay, Cs.**, Kiss, K. T., Vadadi-Fülöp, Cs., Hufnagel, L. (2009): Trends in research on the possible effects of climate change concerning aquatic ecosystems with special emphasis on the modelling approach. *Applied Ecology and Environmental Research* 7(2): 171-198.
2. **Sikay, Cs.**, Horváth, L., Nosek, J., Oertel, N., Vadadi-Fülöp, Cs., Farkas, E., Drégely-Kiss, Á., Hufnagel, L. (2008): Analysis of climate change scenarios based on modelling of the seasonal dynamics of a danubian copepod species. *Applied Ecology and Environmental Research* 6(4): 101-108.
3. **Sipkay, Cs.**, Hufnagel, L., Révész, A., Petrányi, G. (2008): Seasonal dynamics of an aquatic macroinvertebrate assembly (Hydrobiological case study of Lake Balaton, №. 2) – *Applied Ecology and Environmental Research* 5(2): 63-78.
4. **Sipkay, Cs.**, Hufnagel, L., Gaál, M. (2005): Zoocoenological state of microhabitats and its seasonal dynamics in an aquatic macroinvertebrate assembly. *Applied Ecology and Environmental Research* 3(2): 107-137.
5. Vadadi-Fülöp, Cs., Hufnagel, L., **Sipkay, Cs.**, Verasztó, Cs. (2008): Evaluation of climate change scenarios based on aquatic food web modelling – *Applied Ecology and Environmental Research* 6(1): 1-28.

6. Vadadi-Fülöp, Cs., Türei D., **Sipkay Cs.**, Verasztó, Cs., Drégelyi-Kiss, Á., Hufnagel, L. (2009): Comparative assessment of climate change scenarios based on aquatic food web modelling - Environmental Modeling and Assessment, 14, 563-576.
7. Verasztó, Cs., Kiss, K. T., **Sipkay, Cs.**, Gimesi, L., Vadadi-Fulop, Cs., Turei, D., & Hufnagel, L. (2010): Long-term dynamic patterns and diversity of phytoplankton communities in a large eutrophic river (the case of River Danube, Hungary). Applied Ecology and Environmental Research (*in press*)

Magyar nyelvű, nem IF-os tudományos folyóiratcikkek

1. **Sipkay Cs.**, Nosek J., Oertel N., Vadadi-Fülöp Cs., Hufnagel L. (2007): Klímaváltozási scenáriók elemzése egy dunai copepoda faj szezonális dinamikájának modellezése alapján. – “KLIMA-21” Füzetek 49: 80-90.
2. **Sipkay Cs.**, Hufnagel L. (2006): Szezonális dinamikai folyamatok egy balatoni makrogerinctelen együttesben – Acta Biologica Debrecina, Oecol. Hung. 14: 211-222.
3. Vadadi-Fülöp Cs., **Sipkay Cs.**, Hufnagel L. (2007): Klímaváltozási scenáriók értékelése egy szitakötőfaj (*Ischnura pumilio*, Charpentier, 1825) szezonális dinamikája alapján – Acta Biologica Debrecina, Oecol. Hung. 16: 211-219.

Konferencia kiadvány (full paper)

1. **Sipkay Cs.**, Kiss K. T., Drégelyi-Kiss Á., Farkas E., Hufnagel L. (2009): Klímaváltozási scenáriók elemzése a dunai fitoplankton szezonális dinamikájának modellezése alapján. Hidrológiai Közlöny 89: 56-59.
2. **Sipkay Cs.**, Hufnagel L. (2007): Klímaváltozási scenáriók összehasonlító elemzése balatoni makrogerinctelen együttes alapján – Hidrológiai Közlöny 87: 117-119.
3. **Sipkay Cs.**, Hufnagel L. (2006): Makrogerinctelen együttesek vizsgálata három jellegzetes balatoni mikrohabitatban – Hidrológiai Közlöny 86(6): 106-109.

Konferencia kiadványban megjelent összefoglaló (abstract)

1. **Sipkay Cs.**, Kiss K. T., Hufnagel L., Oertel N., Nosek J. (2010): Klímaváltozási scenáriók elemzése dunai plankton adatsorok felhasználásával. Magyar Tudomány Ünnepe, „Ökológia a biodiverzitás megőrzés szolgálatában” előadóiülés. MTA ÖBKI 2163. Vácrátót

2. **Sipkay Cs.**, Hufnagel L. (2008): Klímaváltozási scenáriók elemzése dunai plankton monitoring adatsorainak felhasználásával. VIII. Magyar Biometriai és Biomatematikai Konferencia, Összefoglalók
3. **Sipkay Cs.** (2005): Módszertani esettanulmány mikrohabitatok zoocönológiai mintázatteltárásához egy vízi makrogerinctelen közösségben. VII. Magyar Biometriai és Biomatematikai Konferencia, Összefoglalók (ISBN 963 218 733 4): 23.
4. Hufnagel L., Gaál M., Ladányi M, **Sipkay Cs.**, Petrányi G., Aczél D., Türei D., Zimmerman D. (2005): Klímaváltozás potenciális hatásai Magyarország rovarfaunájára – VII. Magyar Biometriai és Biomatematikai Konferencia: Összefoglalók (ISBN 963 218 733 4): 21.
5. **Sipkay, Cs.**, Kiss, K. T., Vadadi-Fülöp, Cs., Hufnagel, L. (2010): The effects of climate change on Danubian phytoplankton communities in Hungary. 38th IAD (International Association for Danube Research) International Conference. Large River Basins: Danube meets Elbe. Challenges - Strategies - Solutions. Dresden, Germany. Book of Abstracts, pp 69.

Könyvfejezet, könyvrészlet

1. Hufnagel L. (szerk), **Sipkay Cs.**, Drégely-Kis Á., Farkas E., Türei D. , Gergócs V., Petrányi G., Baksa A., Gimesi L., Eppich B., Dede L., Horváth L. (2008): Klímaváltozás, biodiverzitás és közösségökológiai folyamatok kölcsönhatásai. In: Harnos Zs., Csete L. (szerk) (2008): Klímaváltozás: Környezet – Kockázat – Társadalom (Kutatási eredmények). Szaktudás Kiadó Ház, Budapest. p. 227-264.
2. Harnos Zs., Gaál M., Hufnagel L. (szerk) (2008): Klímaváltozásról mindenkinek, BCE KeTK MIT, Budapest, ISBN 978-963-503-384-3.
3. **Sipkay, Cs.**, Drégelyi-Kiss, Á., Horváth, L., Kiss, K. T., Garamvölgyi, Á., Hufnagel, L. (2010): Community ecological effects of climate change. In: Climate Change, In: Suzanne W. Simard and Mary E. Austin (Ed.) Climate Change and Variability. Sciyo. p. 139-162. ISBN: 978-953-307-144-2