

A tógazdasági haltermelés környezeti hatásainak felmérése

Gál Dénes – Kerepeczki Éva – Szabó Pál –
Pekár Ferenc

Halászati és Öntözési Kutatóintézet, Szarvas
gald@haki.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatási program célja a halastavak nitrogén, foszfor és szervesanyag terhelésének és kibocsátásának felmérése volt. Vizsgáltuk a halastavakba bejutó és onnan távozó nitrogén, foszfor és szervesanyag mennyiségeket, azok forrásait, valamint a halastavaknak a befogadó vizekre gyakorolt tápanyag terhelés mértékét. A dolgozatban meghatároztuk és értékeltük a modellként választott, különböző termelési technológiákat és haltermelő körzeteket képviselő halastavak nitrogén, foszfor és szervesanyag mérlegét.

Kulcsszavak: tápanyag-visszatartás, szervesanyag, nitrogén, foszfor, halastó

SUMMARY

The aim of this study was to survey the nitrogen, phosphorus and organic matter loads and the discharge of fishponds. The inputs and outputs of nutrient amounts of fishponds and their sources are described. The impact of a fishpond on the nutrient loads of receiver waters was determined. The investigations of this study were to determine and evaluate the nitrogen, phosphorus and organic matter budget of fishponds representing different technologies and areas.

Keywords: nutrient retention, organic carbon, nitrogen, phosphorus, fishpond

BEVEZETÉS

Az akvakultúra sajátosságánál fogva nagymértékben integrálódik az őt körülvevő környezetbe. A fenntartható fejlődés biztosításának egyik alapvető feltétele a természeti erőforrások kíméletes hasznosítása, a természeti környezet minőségének megőrzése és javítása. Mivel a halászat az egyik legfontosabb természeti erőforrásunknak, a víznek a közvetlen hasznosítója, a tógazdasági haltermelés fejlesztése során is kiemelten kell foglalkozni a vízi erőforrások kíméletes és takarékos felhasználásával, illetve a vízi környezet védelmével.

A halastavak és környezetük közötti tápanyagforgalmi viszonyok mind hazai, mind pedig nemzetközi viszonylatban kevésbé kutatott területnek számítanak, meglehetősen kevés információ áll rendelkezésünkre a termelő halastavak és a környezetük közötti tápanyagforgalmi kölcsönhatások irányáról és mértékéről. A tavi haltermelő rendszerek tápanyagforgalmának jobb megismerése lehetőséget nyújt a környezettel összhangban lévő olyan gazdálkodási módok kialakítására, amelyek a fenntartható fejlődést szolgálják. Ezzel párhuzamosan a tavi haltermelés

gazdaságosságának szempontjából is fontos kérdés a tavak tápanyag áramlásának és a tápanyag-hasznosulás mechanizmusának jobb megismerése. A tavak tápanyagforgalmának, valamint a befogadó, illetve a tápláló vizei közötti anyagforgalmi kölcsönhatások megismerése segít a víz- és tógazdálkodási technológiák fejlesztésében, illetve a szerves- és szervesetlen tápanyagokkal terhelt elfolyóvizek minőségének javításán keresztül kihatással vannak a természetes vizek környezeti állapotára.

Célunk a halastavakba bejuttatott tápanyagok hasznosulásának vizsgálata, a tavi haltermelő rendszerek és környezetük közötti tápanyagforgalmi kölcsönhatások feltárása volt. Ennek érdekében vizsgáltuk a termelő halastavak szervesanyag-, nitrogén- és foszforforgalmát, valamint értékeltük az üledék szerepét a halastavak tápanyag-visszatartásában.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A vizsgálatba 23 különböző, 1998-ban és 1999-ben üzemelt halastó került bevonásra. A vizsgált halastavak mérete 0,6-117 ha között változott. A halastavak a Magyarországon jellemző kiegészítő gabona takarmányozáson alapuló, ponty-domináns, fél-intenzív tógazdálkodási technológiával üzemeltetett tavak közé tartoztak. Törekedtünk arra, hogy a tógazdálkodást folytató körzeteket jellemző (Észak-Alföld, n=6; Közép-Alföld, n=4; Dél-Alföld, n=4; Dunántúl, n=9), különböző nagyságú és népesítési szerkezetű tavait egyaránt bevonjuk a vizsgálatba (*1. táblázat*).

Az elemzések elvégzése érdekében a tavak technológiai paraméterei (népesítés, lehalászat, takarmányozás, trágyázás) a halastavak termelési nyilvántartása alapján került összesítésre. A tavak elfolyóvizének mennyiségét a tavak térfogatából, ugyanakkor a tavakat feltöltő víz mennyiségét a tenyésztési időszak alatti veszteséggel ($k=1,6$) megnövelt térfogatokból becsültük. A tavak be- és elfolyóvizének, valamint az üledékének nitrogén-, foszfor- és szerves szén tartalma laboratóriumi analízissel került meghatározásra. A vízkémiai analízis kiterjedt ammónia-, nitrit- és nitrát-nitrogén, oldott és formált szerves nitrogén, oldott reaktív foszfát- és összes foszfor, kémiai oxigén igény (KOIp), összes és szerves lebegőanyag, valamint a-klorofill koncentrációk meghatározására. A vízkémiai paraméterek mérése az MSZ, MSZ ISO és APHA szabványok szerint történt. A fotoszintetikus pigmentek meghatározása Whatman GF/C szűrőpapíron átszűrt vízminta 90%-os acetonnal való

extrakcióját követően fotometriával történt (Felföldy, 1987; APHA, 1995; Németh, 1998).

1. táblázat

A vizsgált halastavak főbb jellemzői

| Tavak No(1) | Méret(2) (ha) | Bruttó hozam(3) (kg/ha) | Kihelyezés(4) (kg/ha) | Ponty arány(5) (%) |
|-------------|------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------|
| 1 | 3 | 2447 | ivadék | 41 |
| 2 | 15 | 1086 | 351 | 31 |
| 3 | 88 | 948 | 338 | 69 |
| 4 | 93 | 1190 | 506 | 76 |
| 5 | 58 | 898 | 417 | 79 |
| 6 | 100 | 1315 | 508 | 60 |
| 7 | 44 | 1244 | 273 | 82 |
| 8 | 7 | 2097 | ivadék | 83 |
| 9 | 40 | 824 | 467 | 98 |
| 10 | 40 | 848 | 196 | 97 |
| 11 | 46 | 1085 | 154 | 94 |
| 12 | 117 | 505 | 216 | 72 |
| 13 | 69 | 738 | 439 | 85 |
| 14 | 71 | 894 | 464 | 75 |
| 15 | 46 | 906 | 241 | 89 |
| 16 | 13 | 1204 | 354 | 93 |
| 17 | 13 | 2090 | 638 | 97 |
| 18 | 19 | 753 | ivadék | 70 |
| 19 | 40 | 1176 | 518 | 97 |
| 20 | 70 | 1235 | 494 | 96 |
| 21 | 70 | 2003 | 731 | 79 |
| 22 | 20 | 1900 | 190 | 95 |
| 23 | 0,6 | 2188 | 177 | 90 |

Table 1: The main parameters of the investigated fishponds
Pond No(1), Area(2), Gross fish yield(3), Stocking(4), Carp ratio(5)

A vizsgált halastavak jellemző vízkémiai paraméterei a 2. táblázatban láthatóak. A be- és elfolyóvíz vízkémiai paraméterei között szignifikáns

különbség ($P > 0,05$) nem volt.

Vizsgáltuk a halastavak felső 10 cm-es üledékének a tenyészidőszak azonos időszakában (augusztus utolsó hete-szeptember első hete) mért szerves szén, nitrogén és foszfor koncentrációit. A bolygatatlan üledékminták vétele módosított BLKI csőmintavevővel történt. Minden tóból három mintavételi ponton 3 kiszúrással, összesen 9 rész minta vétele történt, amiből tavanként képeztünk egy átlagmintát. Az üledékminta nedvesség-tartalmának meghatározása 105 °C-os hőmérsékleten tömegállandóságig való szárítással történt az MSZ 12379-2:1978 szabvány szerint. Az izzítási veszteség meghatározása a száraz minta 700 °C-os izzítását követő maradék tömeg mérésével történt az MSZ 318-3:1979 szabvány szerint. Az összes szervesszén tartalom meghatározása szárított üledékmintából a minta karbonát tartalmának savazással történő eltávolítása után szervesszén-analízátorral történt (Elementar highTOC). Az üledékminta nitrogén- és foszfor-tartalmának meghatározása kénsavas kálium-peroxidszulfátos extrakciós eljárással történt (Felföldy, 1987). Az üledékminták szervesanyag, nitrogén és foszfor értékei a 3. táblázatban találhatóak.

A begyűjtött és mért adatok alapján minden tónak kiszámítottuk az éves nitrogén, foszfor és szervesanyag mérlegét, amelyet a befolyóvízzel, a népesítéssel, a trágyával és a takarmánnyal bekerült összes tápanyagmennyiség, illetve a tavakból lehalászott halbiomasszával és az elfolyóvízzel kikerült összes tápanyagmennyiség közötti különbségként kaptuk meg. A tavak környezetükre gyakorolt hatásának elemzése érdekében elkészítettük a tápanyag-víz mérlegét, amelyet a befolyóvízzel érkező és az elfolyóvízzel távozó tápanyag mennyiségek különbségéből kalkuláltuk. Haltermelés transzformációs hatékonyságát a haltömeg gyarapodás formájában (nettó hozam) visszatartott tápanyagok arányában fejeztük ki az összes input százalékában.

2. táblázat

A vizsgált halastavak feltöltő- és elfolyóvizének főbb vízkémiai paraméterei

| | Feltöltővíz(1) | | | Elfolyóvíz(2) | | |
|---------------------------|----------------|-----------|-----------|---------------|-----------|-----------|
| | Átlag(3) | Szórás(4) | Medián(5) | Átlag(3) | Szórás(4) | Medián(5) |
| Vezetőkép.(ms/m)* | 63,4 | 23,5 | 58,7 | 63,1 | 23,5 | 57,0 |
| NH ₄ -N (mg/l) | 0,106 | 0,078 | 0,117 | 0,079 | 0,146 | 0,018 |
| NO ₂ -N (mg/l) | 0,059 | 0,051 | 0,032 | 0,033 | 0,022 | 0,033 |
| NO ₃ -N (mg/l) | 0,452 | 0,331 | 0,478 | 0,220 | 0,148 | 0,199 |
| Összes N (mg/l)(6) | 2,512 | 1,249 | 2,685 | 1,640 | 2,192 | 0,752 |
| PO ₄ -P (mg/l) | 0,222 | 0,139 | 0,161 | 0,199 | 0,267 | 0,112 |
| Összes P (mg/l)(7) | 0,573 | 0,572 | 0,310 | 0,366 | 0,509 | 0,198 |
| Sz leb.a. (mg/l)** | 23,83 | 13,35 | 19,62 | 30,19 | 20,47 | 27,90 |
| KIOp (mg/l)(8) | 10,84 | 3,46 | 9,20 | 9,31 | 2,53 | 8,90 |
| Klorofill-a (µg/l)*** | | | | 83,1 | 52,7 | 64,8 |

*Vezetőképesség(9); **Szerves lebegőanyag(10); ***A tenyészidőszak alatti átlag(11)

Table 2: The parameters of inflow and effluent water of the investigated fishponds
Inflow water(1), Effluent water(2), Average(3), Standard deviation(4), Median(5), Total N(6), Total P(7), CODp(8), Conductivity(9), Organic suspended solids(10), Chlorophyll-a growing season average(11)

3. táblázat
Nitrogén, foszfor és szerves szén (TOC) koncentrációk alakulása a halastavak üledékében (mg/g száraz üledék)

| Tó No(1) | Nitrogén(2) | Foszfor(3) | TOC |
|------------------|-------------|-------------|--------------|
| 1 | 5,91 | 3,829 | 8,48 |
| 2 | 7,30 | 3,131 | 14,70 |
| 3 | 2,88 | 0,897 | 9,34 |
| 4 | 3,47 | 1,159 | 6,52 |
| 5 | 3,65 | 0,827 | 12,10 |
| 6 | 3,47 | 0,974 | 7,55 |
| 7 | 5,74 | 1,139 | 8,63 |
| 8 | 4,00 | 1,027 | 12,20 |
| 9 | 2,60 | 0,784 | 5,83 |
| 10 | 2,87 | 0,522 | 2,13 |
| 11 | 2,88 | 0,899 | 2,08 |
| 12 | 2,66 | 0,883 | 3,50 |
| 13 | 15,12 | 1,125 | 136,5 |
| 14 | 19,36 | 1,538 | 162,4 |
| 15 | 13,20 | 1,434 | 115,6 |
| 16 | 5,83 | 1,163 | 27,70 |
| 17 | 5,92 | 1,069 | 26,00 |
| 18 | 5,39 | 1,095 | 26,00 |
| 19 | 6,18 | 1,051 | 23,00 |
| 20 | 4,60 | 1,101 | 22,70 |
| 21 | 6,46 | 1,518 | 41,70 |
| 22 | 1,35 | 0,795 | 11,90 |
| 23 | 1,97 | 0,775 | 14,20 |
| Átlag(4) | 5,77 | 1,25 | 30,5 |
| Szórás(5) | 4,42 | 0,75 | 43,3 |
| Medián(6) | 4,60 | 1,07 | 13,20 |

Table 3: Nitrogen, phosphorus and total organic carbon (TOC) concentrations in the sediment of fishponds (mg/g dry sediment)

Pond No(1), Nitrogen(2), Phosphorus(3), Average(4), Standard deviation(5), Median(6)

EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

Az összesített adatok alapján a vizsgált 23 halastóba a befolyóvízzel, a halmépesítéssel, a trágyázással és a takarmányozással átlagosan évente 144±53 kg N/ha (85-266 kg N/ha) nitrogén került be. A halastavak legjelentősebb nitrogénforrása a takarmány és a feltöltővíz volt. Az összes, a tavakba bekerült nitrogénnek átlagosan a 44±13%-a takarmánnyal, 36±12%-a feltöltővízzel, 8±5%-a kihelyezett hallal jutott a tavakba. Trágyázás 17 esetben történt a vizsgált tavak közül, ahol a trágyával bejuttatott nitrogén átlagosan 29±22 kg N/ha (18±11%) volt, ugyanakkor az összes vizsgált halastóra vetítve a trágyázással a nitrogén 13±12%-a került a tavakba.

A halastavakról csak a lehalászásakor a lecsapolt vízzel és a lehalászott halmennyiséggel távozott értékelhető tápanyagmennyiség. A vizsgált tavak esetében összesen 63±22 kg N/ha (39-114 kg N/ha) nitrogén távozott. Az összes távozott nitrogén outputnak a 61±19%-a halbiomasszával, valamint 39±19%-a elfolyóvízzel távozott. A halbiomassza-

gyarapodás (nettó hozam) formájában 28 kg N/ha akkumulálódott, ami a halastavakba bekerült nitrogén mennyiségének 18±7%-a (4. táblázat).

A halastavak nitrogénmérlege, mely az összes bekerült és a lehalászott hallal és az elfolyóvízzel távozott nitrogén mennyiségek különbsége, átlagosan 84±52 kg N/ha (-33 – +77 kg/ha) volt, amely évi 53±25%-os nitrogén retenciónak felelt meg. A nitrogénmérlegek átlagát összehasonlítva más szerzők által publikált eredményekkel, megállapítható, hogy a 84 kg N/ha évi átlagos visszatartás hasonló Oláh et al. (1994) által közölt 93 kg N/ha-hoz, illetve Knösche et al. (2000) által leírt 78,5 kg N/ha eredménnyel, ellenben lényegesen meghaladja a Schreckenbach et al. (1999) által közölt németországi halastavak 43 kg N/ha retencióját.

Negatív nitrogénmérleg – amikor több nitrogén távozott a halastóból, mint amennyi bekerült – csak egy tó esetében (No 13) fordult elő. A halastavakba bekerült összes nitrogén mennyisége és a nitrogén-visszatartás között pozitív ($r=0,83$; $P<0,001$) összefüggést találtunk. A halastavak termelési intenzitása – amelyet a bruttó halhozammal jellemeztünk – és az elfolyóvíz nitrogéntartalma között nem találtunk összefüggést ($r=0,36$; $P>0,10$), amely arra enged következtetni, hogy az alkalmazott termelési intenzitás a hagyományos tógazdasági gyakorlat esetében nem befolyásolja az elfolyóvíz nitrogéntartalmát.

A halastavak és környezetük kölcsönhatásának vizsgálatához összehasonlítottunk a befolyóvízzel érkező és az elfolyóvízzel távozó nitrogén mennyiségét (4. táblázat). Arra a kérdésre, hogy a vizsgált halastavak a befogadó természetes vizeket terhelték-e nitrogén kibocsátásukkal, a víz-nitrogén mérleg ad választ, amelyből kitűnik, hogy a halastavakból elfolyó vízzel átlagosan távozó nitrogén mennyisége a befolyóvízzel bekerült nitrogén mennyiségének mindössze 43±46%-a volt. A tavak be- és elfolyóvizének nitrogén mérlegeinek átlaga 22±23 kg/ha (-49 – +68 kg/ha) volt, azonban a kapott eredmények nagy szórást mutatnak. A tavakat feltöltő vizek átlagos összes nitrogéntartalma 2,51±1,25 mg N/l volt, 2,03 és 3,95 mgN/l közötti intervallumban, míg az elfolyóvíz nitrogéntartalma átlagosan 1,64±2,19 mg N/l volt, ami 1,51 és 9,23 mg N/l között változott. Negatív be- és elfolyóvíz nitrogén mérleg, amikor több nitrogén távozott az elfolyóvízzel, mint amennyi bejutott a tavakba, csak három tó esetében fordult elő. Ezeket a kiugróan magas (5,01-9,23 mg N/l) nitrogén-koncentrációjú elfolyóvizeket magas oldott szerves nitrogén (3,07-4,49 mg N/l) és ammónium-nitrogén (1,04-2,33 mg N/l) tartalom jellemezte.

A halastavak üledékének átlagos nitrogéntartalma 5,8±4,4 g/kg száraz üledék (1,06-20,57 g/kg) volt. Az üledék és az elfolyóvíz nitrogén tartalma között pozitív kapcsolatot találtunk ($r=0,77$; $P<0,001$), vagyis az elfolyóvízzel távozó nitrogénmennyiség nagymértékben függött az üledék nitrogén tartalmától. Negatív be- és elfolyóvíz nitrogén mérleg azokban a tavakban fordult elő, ahol kiugróan magas nitrogén koncentráció volt mérhető az üledékben

(13,7-20,6 g/kg száraz üledék). Ugyancsak szoros összefüggés van az üledék nitrogén koncentrációja és a relatív nitrogén visszatartás ($r=-0,78$; $P<0,001$), valamint a relatív nitrogén vízmérleg ($r=-0,73$; $P<0,001$) között. A halastavak üledékének nitrogén tartalma és az elfolyóvíz nitrogéntartalma közötti összefüggésből arra lehet következtetni, hogy a halastavakról távozó víz nitrogén tartalmát elsősorban az üledék nitrogén tartalma határozza meg. Ugyanakkor nem találtunk összefüggést az elfolyóvíz minősége és a termelési paraméterek között. Szintén nincs összefüggés a ponty arányával jellemzett népesítési szerkezet és a haltermelés

transzformációs hatékonysága, a nitrogén- és nitrogén víz mérleg, valamint a konstruktivitás között. A halastavak konstruktivitását a klorofill-a tartalommal jellemeztük, koncentrációja a halastavak között jelentős változékonyságot mutatott. A tavak klorofill-a koncentrációinak az átlaga $83\pm 53 \mu\text{g/l}$ volt, ami 20 és 216 $\mu\text{g/l}$ között változott. Azonban semmilyen összefüggést nem találtunk a klorofill-a koncentrációk és a haltermelési mutatók között ($r=0,01$; $P>0,01$).

A halastavak foszforforgalmát az előzőekhez hasonlóan értékeltük (4. táblázat).

4. táblázat

A vizsgált halastavak nitrogén (N), foszfor (P) és szervesanyag (C) mérlegei

| Tó(1) No | Összes tápanyag input(2) | | | Összes tápanyag output(3) | | | Tápanyagmérleg(4) | | | | | | Be- és elfolyóvíz mérleg(5) | | | | | | Nettó hozam formájában akkumulálódott tápanyag(6) | | | | | |
|-----------------|--------------------------|-------------|-------------|---------------------------|------------|------------|-------------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-----------------------------|-----------|------------|-----------|-------------|------------|---|-------------|------------|-------------|------------|------------|
| | N | P | C | N | P | C | N | | P | | C | | N | | P | | C | | N | | P | | C | |
| | kg/ha | | | | | | kg/ha | % | kg/ha | % | kg/ha | % | kg/ha | % | kg/ha | % | kg/ha | % | kg/ha | % | kg/ha | % | kg/ha | % |
| 1 | 266 | 73,7 | 6219 | 94,4 | 8,3 | 686 | 171,2 | 64 | 65,5 | 89 | 5533 | 89 | 9,1 | 28 | 2,1 | 48 | 34 | 27 | 71,0 | 26,7 | 6,0 | 8,2 | 592 | 9,5 |
| 2 | 210 | 19,1 | 3104 | 61,5 | 5,8 | 575 | 148,6 | 71 | 13,3 | 70 | 2529 | 81 | 2,5 | 7,7 | 1,5 | 32 | -184 | -144 | 21,3 | 10,8 | 1,8 | 9,5 | 178 | 5,7 |
| 3 | 108 | 14,5 | 2225 | 43,3 | 4,2 | 369 | 64,7 | 60 | 10,3 | 71 | 1856 | 83 | 30 | 65 | 1,7 | 48 | 12 | 8 | 17,7 | 16,4 | 1,5 | 10,3 | 148 | 6,7 |
| 4 | 101 | 11,7 | 2146 | 51,6 | 5,1 | 478 | 49,7 | 49 | 6,6 | 56 | 1668 | 78 | 28 | 62 | 1,8 | 45 | 44 | 19 | 19,8 | 19,5 | 1,7 | 14,5 | 165 | 7,7 |
| 5 | 120 | 16,5 | 2995 | 42,3 | 4,1 | 362 | 77,4 | 65 | 12,4 | 75 | 2633 | 88 | 29 | 64 | 3,9 | 67 | 48 | 25 | 14,0 | 11,7 | 1,2 | 7,2 | 116 | 3,9 |
| 6 | 108 | 13,9 | 2414 | 61,4 | 5,4 | 514 | 46,7 | 43 | 8,5 | 61 | 1900 | 79 | 22 | 49 | 3,0 | 58 | 12 | 6 | 23,4 | 21,6 | 2,0 | 14,3 | 195 | 8,1 |
| 7 | 161 | 24,6 | 3805 | 63,4 | 5,9 | 553 | 97,4 | 61 | 18,6 | 76 | 3252 | 85 | 25 | 48 | 0,8 | 22 | -10 | -4 | 28,2 | 17,5 | 2,4 | 9,8 | 235 | 6,2 |
| 8 | 265 | 32,2 | 5012 | 87,8 | 9,4 | 716 | 176,8 | 67 | 22,7 | 71 | 4296 | 86 | 25 | 48 | -0,6 | -16 | 33 | 14 | 60,8 | 23,0 | 5,2 | 16,1 | 507 | 10,1 |
| 9 | 161 | 51,0 | 3438 | 37,5 | 4,7 | 960 | 123,0 | 77 | 46,3 | 91 | 2478 | 72 | 33 | 71 | 18,0 | 87 | -429 | -129 | 10,4 | 6,5 | 0,9 | 1,7 | 86 | 2,5 |
| 10 | 150 | 57,9 | 3382 | 55,1 | 6,2 | 1107 | 95,0 | 63 | 51,7 | 89 | 2275 | 67 | 17 | 35 | 24,4 | 86 | -455 | -102 | 18,9 | 12,6 | 1,6 | 2,8 | 158 | 4,7 |
| 11 | 112 | 41,2 | 2701 | 48,9 | 4,3 | 1072 | 62,6 | 56 | 37,0 | 90 | 1629 | 60 | 30 | 63 | 27,0 | 94 | -249 | -44 | 27,0 | 24,2 | 2,3 | 5,6 | 226 | 8,4 |
| 12 | 102 | 50,0 | 1884 | 29,8 | 8,1 | 1988 | 72,3 | 71 | 41,9 | 84 | -104 | -6 | 29 | 65 | 21,8 | 76 | -1410 | -309 | 8,4 | 8,2 | 0,7 | 1,4 | 70 | 3,7 |
| 13 | 85 | 10,1 | 1990 | 114 | 2,9 | 1000 | -28,5 | -33 | 7,2 | 71 | 990 | 50 | -49 | -114 | 3,3 | 75 | -209 | -34 | 8,7 | 10,2 | 0,7 | 7,3 | 73 | 3,7 |
| 14 | 91 | 10,6 | 2085 | 76,6 | 3,1 | 1013 | 14,5 | 16 | 7,4 | 70 | 1072 | 51 | -7,5 | -17 | 3,1 | 77 | -316 | -66 | 12,4 | 13,6 | 1,1 | 10,0 | 104 | 5,0 |
| 15 | 89 | 11,1 | 2415 | 84,0 | 3,5 | 1373 | 5,0 | 6 | 7,6 | 69 | 1042 | 43 | -15 | -34 | 3,2 | 72 | -480 | -71 | 19,3 | 21,7 | 1,6 | 14,7 | 161 | 6,7 |
| 16 | 112 | 15,7 | 2638 | 39,2 | 3,9 | 772 | 72,5 | 65 | 11,7 | 75 | 1866 | 71 | 39 | 90 | 4,0 | 81 | -356 | -287 | 24,6 | 22,0 | 2,1 | 13,5 | 206 | 7,8 |
| 17 | 168 | 23,9 | 4803 | 64,9 | 6,3 | 757 | 103,4 | 61 | 17,6 | 74 | 4046 | 84 | 39 | 90 | 3,8 | 77 | -127 | -102 | 42,1 | 25,0 | 3,6 | 15,0 | 352 | 7,3 |
| 18 | 101 | 14,8 | 2015 | 45,7 | 2,8 | 422 | 55,2 | 55 | 12,0 | 81 | 1593 | 79 | 19 | 44 | 4,0 | 81 | -116 | -94 | 21,8 | 21,6 | 1,9 | 12,6 | 182 | 9,0 |
| 19 | 100 | 13,3 | 1978 | 40,9 | 4,0 | 1017 | 58,9 | 59 | 9,3 | 70 | 961 | 49 | -3,1 | -4,9 | 3,8 | 77 | -608 | -490 | 19,1 | 19,1 | 1,6 | 12,2 | 160 | 8,1 |
| 20 | 166 | 18,9 | 2591 | 49,8 | 5,8 | 551 | 116,4 | 70 | 13,1 | 69 | 2040 | 79 | 68 | 83 | 5,5 | 66 | -42 | -20 | 21,5 | 12,9 | 1,8 | 9,7 | 180 | 6,9 |
| 21 | 185 | 21,2 | 3428 | 90,8 | 8,4 | 737 | 94,3 | 51 | 12,7 | 60 | 2691 | 79 | 49 | 60 | 4,8 | 58 | -42 | -20 | 36,9 | 19,9 | 3,1 | 14,8 | 308 | 9,0 |
| 22 | 174 | 30,9 | 5102 | 75,8 | 13,0 | 1144 | 98,3 | 56 | 17,9 | 58 | 3958 | 78 | 32 | 61 | 1,6 | 16 | -132 | -24 | 49,6 | 28,5 | 4,2 | 13,7 | 414 | 8,1 |
| 23 | 173 | 34,5 | 6618 | 81,9 | 7,1 | 990 | 91,3 | 53 | 27,4 | 79 | 5628 | 85 | 6,6 | 26 | 10,5 | 86 | -278 | -153 | 58,4 | 30,5 | 5,0 | 14,4 | 487 | 7,4 |
| Átlag(7) | 144 | 26,6 | 3260 | 60,9 | 5,8 | 833 | 83,6 | 53 | 20,8 | 74 | 2427 | 74 | 21,5 | 43 | 6,7 | 62 | -229 | -78 | 27,6 | 18,4 | 2,4 | 10,4 | 231 | 6,8 |
| Szórás(8) | 53 | 17,4 | 1387 | 21,6 | 2,4 | 375 | 52,2 | 25 | 16,4 | 10 | 1454 | 21 | 23,5 | 46 | 8,0 | 27 | 322 | 126 | 17,4 | 6,7 | 1,5 | 4,4 | 145 | 2,1 |
| Medián(9) | 120 | 19,1 | 2701 | 55,1 | 5,42 | 757 | 77,4 | 60 | 13,1 | 71 | 2040 | 79 | 28,3 | 60 | 3,8 | 72 | -132 | -44 | 21,5 | 19,6 | 1,8 | 10,3 | 180 | 7,3 |

Table 4: Nitrogen (N), Phosphorus (P) and organic matter (C) budgets of the investigated fishponds
Pond No(1), Total nutrient input(2), Total nutrient output(3), Nutrient budget(4), Inflow-outflow nutrient budget(5), Accumulated nutrient in fish yield(6), Average(7), Standard deviation(8), Median(9)

A vizsgált tavak foszformérlege minden esetben pozitív volt, vagyis minden tóba több foszfor került a tenyésztési időszak folyamán, mint amennyi onnan távozott. Az átlagos foszformérleg $21\pm 16 \text{ kg P/ha}$ volt, amely $74\pm 10\%$ -os foszfor-visszatartásnak felelt meg. A tavakba $27\pm 17 \text{ kg P/ha}$ került be, a bejutott foszformennyiségek közül – a nitrogénhez hasonlóan

– a takarmánnyal került jelentős mennyiségű foszfor a tavakba, ami az összes bekerült foszfor $42\pm 17\%$ -a volt.

Ugyanakkor a befolyóvízzel $35\pm 14\%$, és a trágyával $26\pm 17\%$ is jelentős mennyiségű foszfor jutott a halastavakba. A népesítőanyaggal $5\pm 4\%$ foszfor került a tavakba.

Lehalászaskor összesen $5,8 \pm 2,4$ kg P/ha került ki a vizsgált halastavakból, amelynek az $58 \pm 16\%$ -a halhozammal, $42 \pm 16\%$ -a elfolyóvízzel távozott. A halbiomassza-gyarapodás formájában (nettó hozam) $2,4 \pm 1,5$ kg P/ha akkumulálódott, azaz az összes bekerült foszfor mennyiségének átlagosan $10,4 \pm 4,4\%$ -a transzformálódott halhússá.

Negatív foszformérleg, amikor több foszfor távozott a halastóból, mint amennyi bekerült, egyetlen tó esetében sem fordult elő. A halastavakba bekerült összes foszfor mennyisége és a foszfor-visszatartás között erős ($r=0,99$, $P<0,001$) összefüggést találtunk. Ugyanakkor nem találtunk összefüggést ($r=0,02$; $P>0,1$) a bruttó halhozammal jellemezett termelési intenzitás és az elfolyóvíz foszfortartalma között, amely arra utal, hogy a termelés intenzitásának növelése a hagyományos tógazdasági gyakorlat esetében a nitrogénforgalomhoz hasonlóan nincs hatással az elfolyóvíz foszfortartalmára. A vizsgált halastavak foszformérlegét (21 kg P/ha) összevetve Knösche et al. (2000) által közölt németországi halastavak foszfor-visszatartásával ($5,71$ kg P/ha), megállapítható, hogy a vizsgálatba bevont magyarországi halastavak foszforvisszatartó kapacitása lényegesen nagyobb volt.

A halastavak és környezetük kölcsönhatásának feltárása érdekében a nitrogén vizsgálatához hasonló számításokat végeztünk a foszfor esetében is. A halastavakból elfolyó vízzel átlagosan távozó foszfor mennyisége a befolyóvízzel bekerült foszfor mennyiségének a $62 \pm 27\%$ -a volt. Az adatok alapján az átlagos be- és elfolyóvíz foszfor mérlege $6,7$ kg P/ha ($-0,6 - +27,0$ kg P/ha) volt, azaz a vizsgált tavak évente átlagosan ennyivel kevesebb foszfort adtak le hektáronként, mint amennyit a befolyóvízzel kaptak. A befolyóvíz összes foszfortartalma nagy változékonyságot mutatott $0,573 \pm 0,572$ mg P/l volt, $0,223$ és $1,786$ mg P/l közötti intervallumban, míg az elfolyóvíz foszfortartalma $0,366 \pm 0,509$ mg P/l volt, illetve $0,093$ és $0,682$ mg P/l között változott. Negatív be- és elfolyóvíz foszfor mérleg csak egyetlen vizsgált tó (No 8) esetében fordult elő.

A vizsgált halastavak üledékének foszfortartalma $0,52$ és $3,83$ g P/kg száraz üledék között változott, az átlagos érték $1,25 \pm 0,75$ g P/kg száraz üledék volt. A halastavak nitrogén forgalmától eltérően nem találtunk összefüggést sem az üledék és az elfolyóvíz összes foszfor tartalma ($r=0,11$; $P>0,1$), sem az üledék foszfor tartalma és a foszfor mérleg ($r=0,39$; $P>0,05$) között. Egyedüli kapcsolatot az üledék foszfor tartalma és a népesítési szerkezeten belüli ponty arány között találtunk ($r=-0,78$; $P<0,001$), azonban nem találtunk összefüggést az üledék foszfor tartalma és a bruttó halhozam ($r=0,03$; $P>0,1$) között. Ugyanakkor a nitrogén és a szervesanyag esetében nem volt összefüggés az üledék tápanyagtartalma és a ponty népesítési szerkezeten belüli aránya között.

A befolyóvízzel (293 kg/ha; 11%), a hálnépesítéssel (81 kg/ha; $2,5\%$), a trágyázással (399 kg/ha; 12%) és a takarmányozással (2488 kg/ha; 76%) bejutó összes szervesanyagot összevetve a

lehalászott hallal (311 kg/ha; 37%) és az elfolyóvízzel (522 kg/ha; 63%) kikerült szervesanyag mennyiségekkel, a vizsgált halastavak átlagos szervesanyag-visszatartása 2427 ± 1454 kg/ha volt, ami $74 \pm 21\%$ -a az összes bekerült szervesanyag mennyiségnek (4. táblázat). A halbiomassza gyarapodás formájában 231 ± 145 kg/ha szervesanyag – az összes bekerültnek $6,6 \pm 2,1\%$ -a – kötődött meg. A halastavakba bekerült szervesanyag mennyisége és a szervesanyag mérleg, vagyis a visszatartott szervesanyag mennyiségek között szoros pozitív kapcsolatot találtunk ($r=0,97$; $P<0,001$). A szervesanyag-mérleg csak egy tó esetében volt negatív, a többi tó jelentős mennyiségű szervesanyag visszatartására volt képes.

A halastavakba bekerült szervesanyag fő forrása a takarmány ($76 \pm 11\%$) volt, amelynek mennyiségét a népesítési intenzitás befolyásolta jelentősen. A halastavak bruttó halhozammal jellemzett termelési intenzitása és az elfolyóvíz szervesanyag tartalma között – a nitrogénhez és a foszforhoz hasonlóan – nem volt összefüggés ($r=0,09$; $P>0,1$), vagyis a vizsgált halastavak esetében a termelési intenzitás az elfolyóvíz szervesanyag-tartalmát nem befolyásolta.

A halastavak feltöltővízével érkező és az elfolyóvízzel távozó szervesanyag mennyiségekből számított mérleg megítélése már korántsem olyan egyértelmű, mint a nitrogén és a foszfor esetében. A kapott eredmények alapján átlagosan hektáronként 228 ± 153 kg-mal több szervesanyag távozott a halastavak lecsapolása során, mint amennyi érkezett a feltöltővízzel. A vizsgált tavak között mutatkozó nagy egyedi eltérések azonban nem az alkalmazott technológiából adódtak, mivel sem az alkalmazott népesítési sűrűség, sem a halhozam, sem a tó méret nem volt hatással az elfolyóvíz szervesanyag-tartalmára.

A vizsgált halastavak üledékének átlagos szerves szén tartalma nagy változatosságot mutatott ($2,1-162$ g/kg száraz üledék). Az üledék átlagos szerves szén tartalma $30,5 \pm 44,3$ g/kg száraz üledék volt. Az üledék és az elfolyóvíz szervesanyag-tartalma között nem találtunk összefüggést ($r=0,12$; $P>0,1$). Ugyancsak nincs kapcsolat az üledék szervesanyag-tartalma és a szervesanyag mérleg ($r=0,35$; $P>0,1$), és a népesítési szerkezeten belüli ponty arány ($r=0,17$; $P>0,1$) között.

KÖVETKEZTETÉSEK

A vizsgált halastavak tápanyagmérlegében jelentős súlyt képviselt a vízzel érkező tápanyagmennyiség. Az összes, a tavakba bekerült tápanyag arányában, a nitrogén esetében $36 \pm 12\%$ -ot, a foszfor esetében $35 \pm 14\%$ -ot tett ki a feltöltővízzel, illetve a vízpótlással érkező tápanyagok mennyisége. A vízzel érkező nitrogén és foszfor mennyiség közel hasonló súllyal szerepelt a tápanyagmérlegben, mint amennyi a takarmánnyal jutott be a tavakba ($44 \pm 13\%$, illetve $42 \pm 17\%$). A szervesanyag-mérlegben a takarmánnyal bekerült ($76 \pm 11\%$) mennyiség volt a legjelentősebb, a szervesanyagnak mindössze $11 \pm 8\%$ -a érkezett vízzel. A jelenleg

alkalmazott tógazdasági gyakorlatban a haltermeléshez szükséges tápanyagok közül a nitrogén és foszfor forrásaként a takarmány meghatározó, de nem elsődleges jelentőségű. Ez azt jelenti, hogy a halastavi termelés fehérjeigényének csak mintegy fele takarmány eredetű. A fennmaradó rész forrása a feltöltővíz és a trágya. Ugyanakkor a haltermelés energiaszükségletének döntő része takarmányból származik.

A tápanyagmérlegek fajlagos és relatív variációjában jelentős eltérés mutatkozik. A nitrogénmérleg esetében a területegységre számított mérleg variációjában (cv%) 62% (84 ± 52 kg/ha), míg a relatív mérlegé 48% ($53 \pm 25\%$) volt. A foszformérleg esetében a variációk közötti különbség tovább nő; cv%=79 ($20,8 \pm 16,4$ kg/ha), illetve cv%=14 (74 ± 10) volt. A fajlagos és relatív szervesanyag-mérleg variációjában cv%=79 ($20,8 \pm 16,4$ kg/ha), illetve cv%=28 ($74 \pm 21\%$) volt. Mindez arra utal, hogy a vizsgált halastavak relatív tápanyag-visszatartása a bekerült tápanyagmennyiségektől függetlenül viszonylag állandó volt. Ezt támasztja alá a bekerült nitrogén, foszfor és szervesanyag mennyiségek és a visszatartásuk között meglévő erős lineáris regressziós kapcsolat ($r=0,83$; $0,99$ és $0,97$). Ez arra enged következtetni, hogy a halastavak tápanyag-feldolgozási kapacitása meghaladja az alkalmazott nitrogén, foszfor és szervesanyag terhelést.

A halastavakba érkező, és az onnan távozó víz kémiai paraméterei (ammónia-, nitrit-, nitrát-nitrogén, ortofoszfát- és összes foszfor, KOI, szerves lebegőanyag, vezetőképesség) között nem találtunk szignifikáns ($P > 0,1$) eltérést. A be- és elfolyóvíz mérlegek átlaga nitrogén és foszfor esetében pozitív volt ($43 \pm 46\%$, illetve $62 \pm 27\%$), ugyanakkor nitrogén esetében a halastavak között jelentős eltérés mutatkozott. Ezzel szemben a vizsgált halastavak szervesanyag be- és elfolyóvíz mérlegeinek átlaga $-78 \pm 126\%$ volt.

A halastavak környezeti szerepét értékelve megállapítható, hogy a halastavak képesek javítani a természetes vizeink minőségét azáltal, hogy kevesebb nitrogént és foszfor vegyületet bocsátanak ki a lecsapolásuk során, mint amennyit a vízfeltöltés és vízpótlás során befogadtak. Ugyanakkor a halastavak által elengedett víz lényegesen több szervesanyagot tartalmazott, mint amennyi vízzel érkezett, elsősorban a haltermelés által megnövekedett szerves lebegőanyag koncentrációk következtében. Az elfolyóvízzel távozó nitrogén mennyisége jelentősen függött az üledék nitrogén tartalmától. Negatív be- és elfolyóvíz nitrogénmérleg csak kiugróan magas nitrogéntartalmú üledék esetében ($13,7$ - $20,6$ g/kg száraz üledék) fordult elő.

Kiemelendő, hogy a termelési intenzitás növelésével, vagyis az elért hozamokkal nem jár együtt a halastavak által az elfolyóvízzel kibocsátott tápanyagok mennyiségének növekedése. Ez megerősíti azt a feltételezésünket, hogy a halastavak termelési intenzitása tovább növelhető a természeti környezet károsítása nélkül.

A halbiomassza-gyarapodás (nettó hozam) formájában megkötött nitrogén, foszfor és szerves szén aránya $18,4 \pm 6,7\%$; $10,4 \pm 4,4\%$ és $6,6 \pm 2,1\%$ volt. A haltermelés transzformációs hatékonysága nem érte el az intenzív rendszerek átlagos 25% -os transzformációs hatékonyságát (Brune et al., 2003). Azonban amíg az intenzív haltermelő üzemek magas fehérjetartalmú iparilag előállított takarmányt használnak fel haltermelésre, addig a halastavi technológia egyéb olcsó, gyakran hulladék tápanyagforrásból állít elő értékes halfehérjét.

A vizsgált poli- és monokultúrában hasznosított halastavak tápanyag-visszatartása és a környezetre gyakorolt hatása között nem volt különbség. A vizsgálatba bevont tavak esetén nem találtunk hozamtöbbletet a ponty aránnyal jellemzett polikultúrák népesítési szerkezetében.

IRODALOM

- APHA (1995): Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 1985. 17th ed., American Public Health Association, Washington, D. C.
- Brune, D.E.-Swartz, G.-Eversole, A.G.-Collier, J.A.-Schwedler, T.E. (2003): Intensification of pond aquaculture and high rate photosynthetic systems. *Aquacultural Engineering*, 28: 65-86.
- Felföldy L. (1987): Biológiai vízminősítés. *Vízügyi hidrobiológia* 16, Vízgazdálkodási Intézet, Budapest. 1-258.
- Knösche, R.-Schreckenbach, K.-Pfeifer, M.-Weissenbach, H. (2000): Balances of phosphorus and nitrogen in carp ponds. *Fisheries Management and Ecology*, 7: 15-22.
- Németh J. (1998): A biológiai vízminősítés módszerei. *Vízi Természet- és Környezetvédelem* 7, Környezetgazdálkodási Intézet, Budapest. 1-304.
- Oláh, J.-Szabó, P.-Esteky, A.A.-Nezami, S.A. (1994): Nitrogen processing and retention in Hungarian carp farm. *Journal of Applied Ichthyology*, 10: 335-340.
- Schreckenbach, K.-Knösche, R.-Wedekind, H.-Pfeifer, M.-Weissenbach, H.-Janurik, E.-Szabó, P. (1999): Pond management and aquaculture. *Institute für Binnenfischerei e. V. Potsdam, Sacrow. Project report*, 34.