

Halastavak hidrobiológiája – a tókezelés hidrobiológiai alapjai

Halbiológia és haltenyésztés. (egyetemi tankönyv) Szerkesztő:
Horváth László. Mezőgazda Kiadó, Budapest, pp. 344-385.

2.5. Halastavak hidrobiológiája - a tókezelés hidrobiológiai alapjai

A hidrobiológia a vízi szervezetek valamint az abiotikus (fizikai és kémiai) és a biotikus (biológiai) környezeti tényezők közötti kölcsönhatást vizsgálja. A fizikai környezethez sorolható a fény, a hőmérséklet és a vízmozgás. A halastavak működését leginkább befolyásoló kémiai környezethez tartozik a víz ionösszetétele, a növényi tápelemek közül a különböző nitrogén-, foszfor- és szén-formák, az oldott gázok közül pedig az oxigén, a széndioxid, az ammónia, a kénhidrogén és a metán. A biológiai környezetet az egymással versengő, ill. táplálékláncokban egymásra épülő – alapvető szerepüket tekintve – elsősorban termelő (cianobaktériumok, algák és szervezettebb vízinövények), fogyasztó (ostoros és csillós egysejtűek, kerekesszervek, alsórendű rákok, rovarok és halak) vagy lebontó szervezetek (baktériumok és gombák) alkotják.

A halastavak természetes termelőképességét a rendelkezésre álló tápelemek határozzák meg. A tényleges termelőképesség azonban attól függ, hogy a tóban képződött élő szerves anyagból és a kívülről bevitt élő vagy élettelen szerves anyagból mennyi jut el a halakig közvetlenül, vagy közvetve a táplálékláncon áthaladva.

A halastavak tápanyagban, emiatt cianobaktériumokban, algákban és gyakran szervezettebb vízinövényekben is gazdag, céltudatosan bőven termővé, azaz hipertróffá tett vízi ökoszisztémák. Vízminőségük rendszeres vizsgálata biztonságot ad a halgazda számára, mert ezzel elkerülheti a szélsőségesen viselkedő hipertróf tavakban időnként előforduló halpusztulást és megválaszthatja az éppen szükséges tókezelési eljárást, így biztosíthatja a lehető legnagyobb természetes halhozamot.

A vízminőség a legtágabb értelemben magában foglalja a víz fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságait. A halgazdát azonban ezek közül csupán azok érdeklik, amelyek befolyásolják a víz haleltartó és haltermelő képességét. Az eseti halpusztulások, a túlzott algásodás, az algák vagy a vízínövények hirtelen elpusztulása, stb. rendszerint vízkémiai okra vezethetők vissza és jelentős vízkémiai változásokat okoznak. Bármilyen tapasztalt gazdáról legyen is szó, szabad szemmel ezeket a változásokat nem képes nyomon követni. A haltermelés és tókezelés hidrobiológiai alapjainak a tárgyalásakor ezért különös hangsúlyt szentelünk a vízkémiai folyamatoknak. A mérsékelt klímára hazai, a trópusi klímára pedig brazil példákat említünk. A kettő közötti eltérések fokozottan világítanak rá az egyes vízminőségi paraméterek jelentőségére és a tókezelési beavatkozások szükségességére.

A fejezetben csupán a hidrobiológia halgazdálkodás szempontjából legfontosabb részeit emeljük ki és nem foglalkozunk a vizsgáló módszerek receptszerű leírásával. A további részletek tanulmányozására és a módszerek megismerésére megfelelő szakkönyveket ajánlunk az érdeklődő olvasónak.

2.5.1. A vízi ökoszisztéma abiotikus elemei

2.5.1.1. Fő anionok és kationok - a kalcium és a hidrokarbonát jelentősége

A víz összes-ion tartalma alapvetően attól függ, hogy a csapadékból származó édesvíz a kőzetekből milyen és mennyi elemet képes kioldani. A víz összes-ion tartalmára a hordozható készülékekkel könnyen mérhető vezetőképességéből következtethetünk. A sok hidroxidot vagy szabad savat tartalmazó vizeknél a $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ értékben kifejezett vezetőképességet 0,55 alatti vagy körüli, míg nagy sótartalmú vizeknél 0,9-hez közeli faktorial szorozva megkapjuk a víz összes-ion koncentrációját $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ -ben. Hazai vizeinknél jó közelítő értéket kapunk, ha 0,63-nak tekintjük ezt a faktort.

A magyarországi vizek vezetőképessége változóan magas, néhány száztól néhány ezer $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ között változhat (**118. ábra**).

A víz összes-ion tartalmát növeli a párolgás és a szerves anyagok lebomlásából felszabaduló ionok mennyisége. Halastavaknál ezenkívül az üledéknek, a meszezésnek és a trágyázásnak van jelentős hatása. Az iontartalmat csökkenti a csapadék és a tóvíznél kisebb ion-tartalmú vízzel történő vízcseré vagy vízpótlás. Az alacsony összes-ion tartalom a halgazdálkodás szempontjából kedvezőtlen, mert minden túkezelési beavatkozás gyors és lényeges vízminőségi változással jár együtt, pl. pH-növekedés, algásodás. Az említett brazil vizeknél ezért a vízcseré lehetőség szerinti mellőzése, valamint fokozottabb szervestrágyázás és meszezés javasolható a tófeltöltést követő legalább 2-3 hónapban. Ennek segítségével egy Sao Francisco vízével táplált halgazdaságnál a vezetőképességet 87-ről $136 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ -re sikerült növelni. Gyakorlati tapasztalatok alapján megállapítható, hogy a fentihez hasonló vizeknél a $200 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ -nél nagyobb vezetőképesség már elfogadható. Hazai halastavainknál a vezetőképesség nem korlátozó tényező, sőt értéke a termelési időszak előrehaladtával növekszik, ami rendszerint javítja a halastavi vízminőséget.

Az összes-ion tartalom mellett a víz ion-összetétele határozza meg azt, hogy a víz mennyire alkalmas halgazdálkodásra. Az összes-ion tartalom döntően négy fő kation (nátrium, kálium, kalcium és magnézium) és négy fő anion (szulfát, klorid, hidrokarbonát és karbonát) ekvivalens mennyiségének az összegéből adódik. Az ion-összetétel a Maucha-féle csillagábrával mutatható be szemléletesen (**118. ábra**). A "jó halas vizekben" a kalcium (és a magnézium), ill. a hidrokarbonát van túlsúlyban. Ezzel szemben a potenciális kén-hidrogén képződés miatt bizonyos mértékig hátrányos a szulfát jelenléte. A víz minősége oldható vagy szuszpendálható anyagok hozzáadásával jelentősen befolyásolható. Ha a tápláló víz ion-összetétele nem felel meg az elvárásoknak, akkor az meszezéssel, trágyázással vagy egyéb kezelésekkel alkalmasabbá tehető a halgazdálkodásra, de mindez növeli a termelés költségét. Új halgazdaság helyének a kijelölésekor elengedhetetlen a

rendelkezésre álló tápláló víz vezetőképességének, ion-összetételének (és egyéb vízminőségi paramétereinek) legalább évszakonkénti előzetes vizsgálata.

A víz kalcium és magnézium tartalma az összes keménységgel, a hidrokarbonát és karbonát tartalma pedig az összes lúgossággal mérhető. A módszertani leírások szerint mindkét paraméter kifejezhető kalcium-karbonátban. Ebből következik, hogy ha az:

1. összes lúgosság < összes keménység, akkor a Ca^{2+} és Mg^{2+} a CO_3^{2-} és HCO_3^- ionokon kívül SO_4^{2-} és Cl^- ionokhoz is kapcsolódik,
2. összes lúgosság = összes keménység, akkor a Ca^{2+} és Mg^{2+} csupán CO_3^{2-} és HCO_3^- ionokhoz kapcsolódik,
3. összes lúgosság > összes keménység, akkor a CO_3^{2-} és HCO_3^- a Ca^{2+} és Mg^{2+} ionokon kívül K^+ és Na^+ ionokhoz is kapcsolódik.

A cianobaktériumok, az algák és a szervezettebb vízinövények fotoszintézisükhöz a széndioxidot veszik fel először a vízből és így növelik a víz pH-értékét. A szabad széndioxid elfogyása után a HCO_3^- -ionból az alábbiak szerint veszik fel a szerveszén szénét:

1. $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ vagy $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$

fotoszintézishez 	$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CaCO}_3$ vagy MgCO_3	
	kicsapódnak nem növelik a víz pH-t	
2. KHCO_3 vagy NaHCO_3

fotoszintézishez 	$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{K}_2\text{CO}_3$ vagy Na_2CO_3	
	oldatban maradnak növelik a víz pH-t	

A gyengén oldódó kalcium- vagy magnézium-karbonát a vízből kicsapódva csupán kismértékben növeli a pH-értéket. Ezzel szemben szikes vizekben a növények fotoszintézise során keletkező kálium- és nátrium-karbonát jobb vízoldékonysága miatt nem csapódik ki és gyakran 9, sőt 10 fölé emeli a pH-értéket.

A gyakorlat számára mindez azt jelenti, hogy kedvezőbb a vízminőség szempontjából, ha magas értékek mellett a kalcium-karbonátban kifejezett lúgosság nem

nagyobb mint a keménység. Vízeinkben ez legalább 100 mg.l^{-1} -t jelent, trópusi vizekben viszont már 25 mg.l^{-1} is elfogadható. A **119. ábra** egy alacsony és egy megfelelő lúgosságú (és keménységű) vízben bekövetkező napi pH-változást mutatja. A magas délutáni pH, ill. a kora reggeli és a délutáni pH nagy különbsége (2,5-nél nagyobb) jelzi a meszezés szükségességét. Ideális a tóvíz pH-értéke, ha az a kora délutáni órákban nem haladja meg a 8,3 - 8,4 értéket. A mésszel, pontosabban mészkőporral a fent leírt 1. képlet szerint növelhető a víz kalcium és hidrokarbonát tartaléka. A lúgosság és a keménység közötti túlzottan nagy különbség esetén gipsz (CaSO_4) adagolásával növelhető a kalcium-tartalom és csökkenthető a reggeli és a délutáni pH-érték közötti különbség.

2.5.1.2. Fény - fényviszonyok a vízben és a Secchi-átlátszóság

A földfelszínre érő elektromágneses sugárzás különböző hullámhosszúságú sugarakból áll, nevezetesen ultraibolya (380 nm-ig), látható (380-750 nm) és infravörös (750-3000 nm) sugarakból. Az összes sugárzó energiának kb. 55 %-a látható fény, 40-44 %-a infravörös, 1-5 %-a pedig ultraibolya sugárzás. A zöld növények a látható fényt, az úgynevezett fotoszintetikusán aktív (photosynthetically active radiation = PhAR) sugárzást képesek hasznosítani.

A vízfelszínre jutó fénynek csupán egy része tud behatolni a víztestbe. A sugárzás beesési szögétől és a víz nyugalmi állapotától függően a fény egy része - nálunk mintegy 3-14 %-a - visszaverődik a felszínről. A vízbe hatoló fény spektrális összetétele változik, intenzitása pedig csökken. A felszíni 1 méteres vízrétegen áthaladó fénynek mintegy fele hővé alakul át a tiszta vízben. A hosszabb - vörös és narancs - és a rövidebb hullámhosszú - ultraibolya és ibolya - fényt gyorsabban elnyeli a víz, mint a közepes hullámhosszú kéket, zöldet és sárgát. A természetben a vizek sohasem tiszták, mindig tartalmaznak olyan anyagokat, amelyek befolyásolják a fény behatolását a vízbe. Az oligotróf óceánokban a kék fény hatol a legmélyebbre, a tiszta vízü tavakban a zöld, eutróf, vagy szuszpendált

anyagokban gazdag vizekben pedig a vörös a legpenetránsabb fény, amit vörös eltolódásnak is neveznek (red shift). Azaz majdnem biztosra vehetjük, hogy halastavainkban a vörös fény az uralkodó.

A víz színét a nem elnyelt hullámhosszú fény és a fényelnyelést befolyásoló lebegő anyagok határozzák meg. A zavarosság a víz fényáteresztő képességének a csökkenését jelenti, ami a különböző méretű lebegő részecskékkel magyarázható. Halastavakban a víz zavarosságát és színét agyagkolloidok, a bomló növényzetből származó kolloidális szerves anyagok, szándékunk szerint pedig mindenekeelőtt a fitoplankton okozhatja.

Általában elfogadott, hogy a fotoszintézis és a légzés azonos abban a vízmélységben, ahol a vízfelszín elérő fénynek már csupán 1 %-a mérhető. Ez az úgynevezett kompenzációs réteg, ami fölött a jól megvilágított (eufotikus), alatta pedig a nem kellően megvilágított (afotikus) réteg található. Az eufotikus réteg becslésére alkalmas Secchi-korong 20 cm átmérőjű súlyozott korong, amelynek a felső lapja négy részre osztott és váltakozva feketére és fehérre festett. A Secchi-átlátszóság annak a két vízmélységnek az átlagát jelenti amelynél a korong felülről nézve eltűnik majd újra láthatóvá válik. Mérsékelt égvön hozzávetőleg a Secchi-átlátszóság kétszeresénél, trópusi vizekben pedig a háromszorosánál van a kompenzációs réteg, amely alatt már nincs nettó fotoszintézis, vagyis nettó szerves anyag- és oxigén-termelés.

Megfelelően kezelt halastavak ideálisnak tekinthető Secchi-átlátszósága rendszerint 20 - 30 cm, az eufotikus réteg vastagsága pedig 40 - 60 cm. A 100 - 120 cm mély halastavakban a fény nem jut le az üledék felszínéig, így lehetetlenné teszi a makrofítonok elszaporodását. A Secchi-átlátszóság az ilyen tavakban jó összefüggést mutat a lebegő szerves anyag és a fitoplankton mérő a-klorofill koncentrációjával (**120. és 121. ábra**). Mindazonáltal, minden tóra egyaránt érvényes összefüggés nem létezik. Egyes tórendszerekben, sőt egyes tavakban is eltérő képlet írható fel (**122. ábra**). Az átlátszóságot a (fito)plankton mellett befolyásolja a zavarosság és a víz színe is. Gyengén zavaros

halastavakban ideális Secchi-átlátszóságnál (20 - 30 cm) az a-klorofill koncentrációja 150 - 300 mg.m³, ami rendszerint jó termelőképességgel jár együtt.

2.5.1.3. Vízhőmérséklet - évszakos és napi változás

A víz felmelegedése a vízbe hatoló napsugárzásnak köszönhető, jóllehet a hőátadás, a hőcsere és a levegő felmelegedése szintén fontos tényező. A víz fényelnyelése, így hőmérséklete is a mélységgel exponenciálisan csökken. A felszíni vízréteg nagyobb felmelegedése az oldott szerves anyagok és a lebegő részecskék miatt halastavakban még kifejezettebb, mint a kevésbé zavaros vizekben. A hőátadás a mélyebb vízrétegekbe a konvekcós áramlásoknak és a szél keverő hatásának az eredménye.

A **123. ábra** a víz hőmérséklettől függő sűrűségét mutatja, ami 4°C-on a legnagyobb ettől felfelé és lefelé csökken. A víz ezen sajátos tulajdonsága okozza azt, hogy télen a 0°C-os jég a felszínen van, míg az üledék feletti vízréteg akár 4°C-os is lehet. A nyári hőrétegzettség azért alakul ki egy tóban, mert a gyorsabban felmelegedő felső vízrétegnek kisebb, a hidegebb alsó rétegnek pedig nagyobb a sűrűsége. Hőrétegzettség idején a két vízréteg sűrűsége közötti különbség olyan nagy, hogy a szél energiája már nem elegendő a tóvíz felkeveréséhez. Mély tavaknál a mérsékelt égvön téli és nyári hőrétegzettséget (stagnációt), valamint tavaszi és őszi felkeveredést (cirkulációt) lehet megfigyelni. Trópusi tavaknál a nyári hőrétegzettséget a téli felkeveredés követi. Az egyenlítőtől való távolság és a tengerszint feletti magasság függvényében az állandóan rétegzett vizektől (amiktikus) az évente számos felkeveredést mutató (polimiktikus) tavakig minden változat megtalálható.

A halastavak, földrajzi fekvésüktől függetlenül a polimiktikus tavak közé tartoznak. Nyáron az alkalmanként kialakuló nappali hőrétegzettséget rendszerint éjszakai felkeveredés követi, ami az oxigénben gazdagabb felszíni és a tápanyagban gazdagabb alsóbb vízrétegből homogén víztömeget hoz létre. Trópusi halastavaknál ez nem

törvényszerű. Itt ugyanis az éjszakai és a nappali léghőmérséklet között gyakran csekély a különbség. A magas vízhőmérsékleten a felszíni és az alsó vízréteg között kialakult különösen stabil hőrétegzettséget csupán erős szél képes megtörni. A 4 és 5°C-os víz sűrűsége közötti különbséget 1-nek tekintve a 24 és 25°C-os víz sűrűsége között 31-szeres, a 29 és 30°C-os víz között pedig 37-szeres a növekedés. Ez azt jelenti, hogy minél melegebb a víz annál stabilabb a nappali hőrétegzettség és annál kisebb a valószínűsége az éjszakai felkeveredésnek.

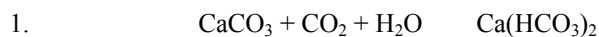
A rétegzett, mély tavakban a melegebb felső réteg (epilimnion) és a hidegebb alsó réteg (hipolimnion) között van az átmenetet jelentő váltóréteg (metalimnion) (**124. ábra**). Az alkalmankénti hőrétegzettséget mutató, sekély halastavakban helyesebb felső meleg és alsó hideg vízrétegről beszélni. A két vízréteg alapvetően különböző tulajdonságú különösen akkor, ha a csekély Secchi-átlátszóság miatt az eufotikus réteg alig vastagabb, mint a felső meleg vízréteg. Például 30 cm-es felső meleg vízréteget és 40 cm-es eufotikus réteget (= 2 x Secchi-átlátszóság) feltételezve könnyen belátható, hogy az alsó hideg vízréteg oxigén-ellátása csupán a 40-30 cm = 10 cm-es vízréteg oxigéntartalmától függ. Azonos vastagságú felső meleg vízréteg és eufotikus réteg esetén az alsó hideg vízréteg oxigén koncentrációja csekély. Mindez az üledék-víz határán olyan folyamatokat indíthat el (kénhidrogén-képződés, foszfor-felszabadulás), amelyek az ilyen esetekben rendszerint nem elfogadható vízminőséget tovább rontják. A merített, felszíni vízminták hőrétegzett tavakban alkalmatlanok a víz minőségének a jellemzésére. Meleg nyári délutánokon a halastavakban a teljes vízoszlop mintázása javasolható üveg- vagy műanyagcsővel. Kivétel az az eset, amikor a felső meleg és az alsó hideg réteg vízminőségét külön-külön kívánjuk megismerni.

2.5.1.4. Szervetlen szén - és a víz kémhatása közötti összefüggés

A széndioxid (CO₂) kis mértékben közvetlenül a levegőből, nagyobb részben a vízi szervezetek légzése útján kerül a vízbe. A szerves anyagokból aerob bomláskor teljes egészében CO₂ képződik, anaerob bomláskor pedig 50-50 %-ban CO₂ és metán. A vízben jól oldódó széndioxid a vízzel szénsavat (H₂CO₃) képez, aminek 99 %-a hidrogén- (H⁺) és hidrokarbonát-ionra (HCO₃⁻) disszociál. A HCO₃⁻ további disszociációjából H⁺ és karbonát (CO₃²⁻) keletkezik. A CO₂, a HCO₃⁻ és a CO₃²⁻ aránya a vízben a pH-értéktől függ: pH < 4-nél csupán CO₂ található a vízben, pH = 7 és 10 között főleg HCO₃⁻, míg pH = 11 fölött szinte kizárólag CO₃²⁻ (10. ábra). A CO₂ koncentrációját a savassággal (pH = 4,5 ⇒ 8,34), a CO₃²⁻- és HCO₃⁻-iont pedig a lúgossággal mérjük és a módszertani leírások szerint számítjuk, vagy a **125. ábráról** becsülhetjük.

A CO₂-dal telített 25°C-os vízben az összes-CO₂ koncentrációja 0,48 mg.l⁻¹, a pH-ja pedig 5,68 (ekörül van az állott desztillált víz pH-ja is). Nagyobb CO₂-koncentrációnál a pH kisebb lesz, például 25°C-os vízben 30 mg.l⁻¹-nél a pH 4,8-re csökken. A CO₂ azonban a pH-értéket 4,5 alá nem tudja csökkenteni. Az ennél kisebb pH-értékek ásványi és/vagy szerves savak jelenlétére utalnak, ami hazai halastavainkban nem, de trópusi halastavakban előfordulhat. Sokkal nagyobb gondot jelent a délutáni magas pH-értékek kialakulásának a megelőzése vagy kiküszöbölése.

A szénsav és a kalcium-hidrogénkarbonát (Ca(HCO₃)₂) együttesének a pufferhatása tudja megakadályozni a pH jelentős délutáni növekedését. A Ca(HCO₃)₂ úgy képződik, hogy a mészkőporral kijuttatott és a fotoszintézis során a tóban képződött biogén mész az agresszív CO₂ hatására oldatba megy. Másrésztől ugyanezen reakció alapján a szabad CO₂ kötött CO₂-dá alakul és növeli a víz CO₂-tartalmát:



A fotoszintézis során felvett CO₂-ot pótolja a Ca(HCO₃)₂-ből felszabaduló CO₂, a keletkezett CaCO₃ pedig mint biogén mész kicsapódik, így a pH nem emelkedik 8,34 fölé. A pufferhatás csupán addig érvényesül, amíg bizonyos mennyiségű egyensúlyi szénsav

rendelkezésre áll. Miután széndioxid, ennél fogva szénsav sincs a vízben $\text{pH} > 8,34$ -nél, ezért a pufferhatás is megszűnik, vagyis intenzív fotoszintézisnél a pH gyors és jelentős növekedésére kell számítani.

A **126. ábra** a CO_2 -átalakulás útját foglalja össze hőrétegzett halastóban. A melegebb felső vízrétegben nappal a CO_2 -felvétel, a szerves C-vegyületek képződése és a biogén mészkiválás dominál. Intenzív fotoszintézisnél a CO_3^{2-} -ion felvétele miatt képződő OH^- -ion jelentős pH-növekedéshez vezet. Éjszaka a szerves C-vegyületek egy része lebomlik, CO_2 szabadul fel és $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ keletkezik. Az alsó rétegben a kiülepedett biogén mész, vagy más forrásból származó CaCO_3 a vízi szervezetek légzéséből származó CO_2 -dal $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ -ot képez.

A CO_2 -átalakulás útjából nyilvánvaló, hogy a víz pufferkapacitása akkor nem megfelelő, ha nincs elegendő CaCO_3 (és CO_2) a $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ képződéséhez, ami a délutáni magas pH-értékben is tükröződik. A pufferhatás lényegéből adódik, hogy a pufferkapacitás nem megfelelő, ha a délutáni pH-érték 8,34 fölé emelkedik. A megoldás kis adagú mészkőpor kijuttatása - szükség szerint több napon át - a kora reggeli órákban.

Az Amazonas vidéki brazil halastavakban gyakran mérhetők 4,5 alatti pH-értékek. A Pericumá folyó (Maranhão állam) vizének a pH-ja az év során 2,6 és 5,4 között változik. A száraz évszakban a szulfátos talajból/üledékből származó kénsav idézi elő az egyébként lebegő anyagoktól gyakorlatilag mentes, színtelen, áttetsző víz rendkívüli pH-csökkenését. A Pericumá vizével táplált halastavak pH-ját csupán jelentős mennyiségű oltott mésszel (kálcium-hidroxid, $\text{Ca}(\text{OH})_2$) sikerült 6,5-7 közötti értékre növelni és vízcseré nélkül megtartani.

2.5.1.5. Szerves szén - a könnyen bontható szerves vegyületek jelentősége

A vízi ökoszisztémákban előforduló szerves szén két részre osztható: az élettelen és az élő lebegő anyagokban/szervezetekben lévő szerves szénre. A kettő együtt adja a vízben

található összes szerves szén. Az élettelen szerves szén tovább osztható oldott és lebegő részecskékhez kötött szénre. Módszertani okok miatt az élő és az élettelen lebegő részecskék szerves szene nem választható szét. A kettőt együtt összes formált (partikulált) szénnek nevezzük. A szerves anyagtól mentes szűrőlapon átszűrt vízben mérhető az összes oldott szén.

Az élettelen lebegő részecskékhez kötött szerves szén (detritusz) általában az elpusztult élő szervezetekből és a felkeveredett üledékből származik, amihez halastavakban jelentős adalék a halak ürüléke, a kijuttatott szervestrágya és az el nem fogyasztott takarmány. Jelentőségét a halgazdák már akkor felismerték, amikor függetlenül a más formában megjelenő detritusztól szervestrágyázni kezdték tavaikat. A detritusz a szűrő zooplankton szervezetek és halak közvetlen tápláléka, amivel legalább egy ideig át tudják vészelni a fitoplankton hiányát. A detrituszt szerves anyag forrásként felhasználó mikroszervezetek részint CO_2 -dal gazdagítják a vizet, részint a detritusz egy részét élő lebegő részecskévé alakítva fehérjében gazdagabb táplálékul szolgálnak a szűrő szervezeteknek. A bakterioplankton mellett az élő lebegő részecskék jellegzetes csoportja a zooplankton és a fitoplankton.

Az oldott szerves szén az elhalt élő szervezetek bomlásakor kerül a vízbe, de tartalmazza az élő szervezetek által a környezetbe kibocsátott szerves anyagokat is. Eredetüket és kémiai természetüket tekintve nagyon változatosak. Lehetnek fehérjék, szénhidrátok, zsírok, humin-anyagok és a manapság ismét egyre gyakrabban emlegetett biológiailag rendkívül aktív extracelluláris enzimek. Közülük például a (lúgos) foszfátázok emelhetők ki, amelyek foszfor-hiánykor a szerves kötésű foszfor felszabadításával biztosítják a fitoplankton $\text{PO}_4\text{-P}$ igényét. Az öregedő algasejtekből és makrofitonokból kibocsátott szerves vegyületek a naponta megkötött szén 5 %-át is elérhetik. Különböző egyéb típusú vegyületeik mellett gátló, serkentő és káros anyagokat is kibocsátanak, például

növényi hormonokat, antimikrobiális anyagokat, kellemetlen íz- és szaganyagokat, valamint toxinokat.

A partikulált, az oldott és az összes szerves anyag a megfelelően előkészített minta kémiai oxigénigényével (KOI) mérhető. A KOI mérhető savas kálium-permanganáttal (KMnO_4) és savas kálium-bikromáttal ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$). Az eredeti, szűretlen minta KOI_{Mn} -értéke a könnyen elbontható, míg a KOI_{Cr} -értéke az összes szerves szén széndioxidra és vízre történő elbontásához szükséges oxigén koncentrációját jelenti. Az O_2 -hiány előrejelzésére alkalmas egyszerű megoldás a könnyen elbontható szerves szén mérése. A KOI_{Mn} értéke ugyan nagyobb mint a ténylegesen várható éjszakai oxigénfogyasztás, mégis jó becslést tesz lehetővé. Gyakorlati megfigyelések szerint nem kell éjszakai O_2 -hiánytól tartani, ha az így mért O_2 -igény 25-30 mg.l^{-1} -nél kisebb. A KOI_{Mn} alapján ezenkívül becsülhető a víz a-klorofill koncentrációja. A Vörösmarty Szövetkezet (Székesfehérvár) tavaiban a két paraméter között talált összefüggést a **127. ábra** mutatja. A KOI helyett egyes országokban ma már egyre gyakoribb a szerves szén-analizátorok használata az összes szerves szén (total organic carbon = TOC) közvetlen mérésére. A műszer - jelentős ára miatt - széleskörű hazai elterjedésére a halgazdasági gyakorlatban aligha lehet számítani a közeljövőben.

A szerves szén mikrobiális bontása során felhasznált oxigén mennyisége a biokémiai oxigénigénnyel (BOI) mérhető. Az éjszakai O_2 -hiány előrejelzésére ez lenne a legértékesebb adat, de a szabvány módszer 5-napos inkubálási ideje miatt használatának nincs gyakorlati jelentősége. Jó termelőképeségű halastavakban a manapság beszerezhető BOI-palackokkal viszont már rövidebb idő alatt is nyerhető eredmény.

A szerves anyagok anaerob mikrobiális bomlása a halastavak oxigénben szegény alsó hideg vízrétegében és főleg az üledékében megy végbe. Az erjedés során a szerves anyagból először több lépésben alkoholok és szerves savak képződnek, amelyek további anaerob bontását a metánképző (metanogén) baktériumok végzik. A végtermék, a metán (CH_4) az üledékben felhalmozódik és légnyomásváltozás, vagy az üledék mechanikai

mozgatása során gázbuborékok alakjában válik szabaddá (**128. ábra**). A metán önmagában véve nem káros a halastavakban. Káros viszont a metánképzéssel együttjáró környezeti feltétel (O₂-hiány) továbbá az, hogy a hasonló feltételek között képződő kénhidrogént a metán magával viszi a tóvízbe, ami a koncentrációtól függően már a halakra is veszélyes lehet. A metánt az aerob metánoxidáló úgynevezett metilotrof baktériumok képesek C-forrásként és elektrondonorként felhasználni, ezzel változó mértékben csökkenteni a metán koncentrációját.

2.5.1.6. Oldott oxigén - a hajnali oxigénhiány előrejelzése

Az oxigén (O₂) hőmérséklettől függő oldékonyságát a vízben, vagy másképpen fogalmazva az oxigénnel 100 %-ban telített víz O₂ koncentrációját a **27. táblázat** tartalmazza. Ez azt jelenti, hogy a tóvíz levegőztetésével, vagy vízmozgatással az adott vízhőmérsékleten a táblázatban megadottnál nagyobb O₂ koncentráció nem érhető el. A tóvízben délutánonként mérhető O₂ koncentrációnak a telítettség (100 %) feletti része biológiai eredetű, a cianobaktériumok az algák és a szervezettebb vízinövények fotoszintéziséből származik. A tóvíz levegőztetésével ilyen esetekben nem növelhető, hanem éppen csökkenthető a víz oldott O₂ koncentrációja, mégpedig egészen a 100 %-os telítettségig. Braziliában a rákhízlaló tavakat esetenként délután is levegőztetik, mondván a *Macrobrachium rosenbergii* nagyon O₂-igényes. Az eredmény minden esetben az oldott O₂ koncentráció csökkenése. Ez még rákos tavaknál is csupán oxigénnel erősen túltelített (200 % felett) tavaknál lehet elfogadható azzal az indoklással, hogy az O₂ koncentráció szélsőségesen nagy napi ingadozása káros lehet a rákokra.

Az oldott O₂ koncentrációja a legnagyobb a 0°C-os vízben és csökken a hőmérséklet növekedésével. Az O₂ oldékonyságát befolyásolja a légnyomás (P), ami az alábbi képlet szerint vehető figyelembe:

$$O_{2(k)} = O_{2(t)} \times \frac{P_{(0)} - P_{(g)}}{760 - P_{(g)}} \quad \text{ahol}$$

$O_{2(k)}$ = az O_2 korrigált vízdékonysága (mg.l^{-1}),

$O_{2(t)}$ = az O_2 vízdékonysága mg.l^{-1} -ben 760 Hgmm-en (**27. táblázat**),

$P_{(0)}$ = a mért légnyomás Hgmm-ben,

$P_{(g)}$ = a víz gőznyomása Hgmm-ben (**28. táblázat**).

Az O_2 vízdékonysága csökken a víz sótartalmának a növekedésével. Tekintettel azonban arra, hogy a csökkenés 0 és 30°C között minden 1000 mg.l^{-1} sótartalom növekedésével csupán $0,084 - 0,041 \text{ mg.l}^{-1}$ O_2 -nek felel meg, ezért ez a korrekció édesvizeknél elhanyagolható.

A vízi ökoszisztémák oldott O_2 koncentrációja állandóan változik a biológiai, kémiai és fizikai folyamatok következtében. A vízfelszín feletti levegő százalékos O_2 tartalma állandónak tekinthető ezért, ha a víz oldott O_2 -nel telített, akkor nincs gázcsere a víz és a levegő között. Az oxigénnel túltelített víz a vízmozgástól függő mértékben oxigént ad le a levegőbe, míg a nem telített víz oxigént vesz fel. Az esti órákban 130 - 150 %-os O_2 telítettségű víz diffúziós O_2 -vesztése 7-órás éjszakát feltételezve mintegy $0,3 - 0,9 \text{ mg.l}^{-1}$. Következésképpen a délután, ill. este nem túlzottan magas vagy alacsony O_2 telítettségű, tehát jól kezelt tó vízének a diffúziós O_2 -nyerése, ill. O_2 -vesztése rendszerint nem jelentős.

A halastó vízének O_2 koncentrációja döntően a cianobaktériumok, az algák és a makrofítonok fotoszintézisétől és az összes vízi szervezet légzésétől függ. A nappali órákban a fotoszintézis az eufótikus rétegben lényegesen több oxigént termel, mint amennyit elfogyaszt a légzés. Ezzel szemben éjjel nincs fotoszintézis, viszont a légzés tovább fogyasztja az oxigént. A nappali O_2 -termelés és a folyamatos O_2 -fogyasztás miatt a tóvíz oldott O_2 koncentrációja napi ritmust mutat. A legnagyobb O_2 koncentráció a délutáni órákban mérhető, a legkisebb pedig közvetlenül napfelkelte előtt vagy napfelkeltekor.

Nyáron a délutáni legnagyobb O_2 koncentráció a megvilágítástól, vagyis a felhőzettől, a zöld növények biomasszájától és fotoszintézisétől, valamint a légzéstől függ. A **129. ábra** a 200 % feletti délutáni O_2 -telítettséget mint túlzott, a 150 %-hoz közelit mint ideális, a 100 % alattit pedig mint nagyon gyenge O_2 -termelést jelöli. A túlzott O_2 -telíttség részint az O_2 -koncentráció és rendszerint a pH nagy napi ingadozásával jár együtt, részint pedig mindig magában hordozza az algák és/vagy makrofítonok hirtelen elpusztulásának és az ezzel járó O_2 -hiánynak a veszélyét. Az a-klorofill és a víz oldott O_2 koncentrációja között statisztikailag szoros összefüggés nem állapítható meg. A két paraméter közötti tendencia alapján azonban bizonyos, hogy a nyári időszakban 100 - 200 $mg \cdot m^{-3}$ a-klorofill 130 - 200 %-os O_2 -telítettséget képes biztosítani. A "nagyon gyenge O_2 -termelés" oka lehet a gyenge fotoszintetikus aktivitás vagy az O_2 -t fogyasztó szervezetek túlsúlya, például a zooplankton rendkívüli tömege, vagy fokozott mikrobiális szerves anyag lebontás. Délután mért 100 % alatti O_2 -telítettségénél hajnali O_2 -hiány várható.

A hajnali O_2 -hiány előrejelzése az egyéb előjelek mellett éjszakai O_2 -méréssel lehetséges. Az este 22 és a hajnali 1 órakor mért O_2 -koncentrációból becsülhető a víz hajnalra várható O_2 koncentrációja. Hét órás éjszaka valamint 22 órakor mért 10 $mg \cdot l^{-1}$ és 1 órakor mért 7 $mg \cdot l^{-1}$ O_2 -koncentráció esetén a hajnalra várható O_2 koncentráció napkeltekor (5 órakor) 3 $mg \cdot l^{-1}$, ami elfogadhatónak tekinthető. Feltehető azonban, hogy ez alulbecsült koncentráció, hiszen az O_2 -nel nem telített víz a levegőből O_2 -t vesz fel. Mindazonáltal az O_2 -hiányra való felkészülés korántsem felesleges akkor, ha a módszerrel becsült hajnali O_2 koncentráció 1 $mg \cdot l^{-1}$ körül van.

A víz oldott O_2 -koncentrációja a klasszikus Winkler-módszerrel, vagy a ma már elfogadható áron beszerezhető hordozható készülékekkel mérhető. A víz O_2 -telítettsége a vízhőmérséklet ismeretében számítható. Az **27. táblázat** szerint például 760 Hgmm légnyomáson az oxigénnel telített 26 °C-os vízben 7,99 $mg \cdot l^{-1}$ oxigén oldható, ezért a 26 °C-

os vízben mért 12 mg.l^{-1} oldott O_2 koncentráció $12 : 7,99 = 150$ %-os telítettségnek felel meg.

2.5.1.7. Nitrogén-formák - az ammónia-mérgezés megelőzése

A légköri nitrogénből (N_2) 25°C -os vízben 12 mg.l^{-1} oldható, de a N_2 -kötésre képes cianobaktériumok kivételével a vízi szervezetek számára nem hasznosítható. A szervesetlen nitrogén egyéb formái az előfordulás növekvő sorrendjében a nitrit (NO_2^-) a disszociálatlan (szabad) ammónia (NH_3), a nitrát (NO_3^-) és az ammónium-ion (NH_4^+).

A NO_2^- előfordulása a halastavakban ritka és rossz előjelnek tekinthető, mert csupán alacsony O_2 koncentrációnál jelenik meg. Rövid ideig elviselhető koncentrációja legfeljebb $0,1 - 0,3 \text{ mg.l}^{-1} \text{ NO}_2^- \text{-N}$. Szulfanilsavból és alfa-naftilaminből készült porreagenssel helyszíni vizsgálattal könnyen kimutatható. Az NH_3 és az NH_4^+ -ion összegét méri a vízanalitikában korábban használt, de gyakorlati célokra még ma is alkalmas Nessler-reagens, és az újabban pontos mérésekhez használt fenol-hipoklorit vagy timol-reagens. A halak számára mérgező NH_3 százalékos aránya a mért összes ammónián belül elsősorban a víz pH-értékének, másodsorban a vízhőmérsékletnek a figyelembe vételével számítható (**130. ábra és 29. táblázat**). Toxikus koncentrációja 24-órás hatástartamnál pontyokra $1 \text{ mg.l}^{-1} \text{ NH}_3\text{-N}$ körül van, de tartós jelenléte alacsonyabb koncentrációban ($0,1 - 0,3 \text{ mg.l}^{-1}$) is káros. Az NH_4^+ és a NO_3^- az algák szaporodásához szükséges hasznos ion. Az NH_4^+ javasolható koncentrációja a halastó vizében a toxikus NH_3 -ra való átalakulás lehetősége miatt legfeljebb $1 \text{ mg.l}^{-1} \text{ NH}_4^+\text{-N}$. A $\text{NO}_3^- \text{-N}$ ajánlható koncentrációja $1\text{-}2 \text{ mg.l}^{-1}$, bár nagyobb koncentrációja sem káros, de felesleges és az O_2 -hiányos környezetben fellépő denitrifikáció miatt célszerűtlen.

Halastavakban a nitrogén körforgalma (mikro)biológiai tevékenység eredménye (**131. ábra**). A cianobaktériumok megjelenése és N_2 -kötése a halastavakban gyakori, de ez a nitrogén éves szinten általában jelentéktelen mértékben járul hozzá az ökoszisztéma N-

ellátásához. A felső meleg vízrétegben végbemenő N_2 -kötés évente legfeljebb $30 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ -ra becsülhető. Az élettelen szerves részecskékhez kötött fehérje első bomlásterméke az NH_4^+ , amit vagy felvesznek az algák és makrofitonok, vagy a felvétel előtt mikrobiális folyamatok révén először NO_2^- -té, majd NO_3^- -tá alakul. A szerves vegyületek az oxigénben szegény alsó hideg vízrétegbe vagy az üledékbe kerülve ugyancsak NH_4^+ -ra bomlanak, ami ismét felvehető N-forrást jelent. Az éjszakai felkeveredéssel az alsó hideg vízrétegbe került NO_3^- az anaerob denitrifikációval a NO_2^- -en keresztül nitrogén gázzá (N_2) alakul és elvész a rendszerből, hacsak a N_2 -kötők nem képesek azt újra megkötni.

A tavi nitrogén-körforgalom legkritikusabb pontja az NH_4^+ - NH_3 átalakulás szabályozása. Elméleti megfontolások alapján kétségtelen, hogy az algák és a makrofitonok számára a legkönnyebben hasznosítható szerves N-forrás az NH_4^+ . Az aminosav szintézisben ugyanis a "glutaminsav + NH_4^+ = glutamin"-út nem kerülhető meg. A NO_2^- -et és a NO_3^- -ot a növénynek energiaigényes folyamatokban először NH_4^+ -ionra kell redukálnia, és csupán ezt követően tudja aminosav szintézisre használni. A halastavakban rendszerint jelentős mennyiségben előforduló szerves anyagból felszabaduló NH_4^+ koncentráció nem szabályozható. NH_4^+ -tartalmú műtrágya kijuttatása előtt ezért feltétlenül meg kell mérni a víz összes ammónia koncentrációját és azt (NO_3^- hiányakor) legfeljebb $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ NH_4^+ -N koncentrációra célszerű megemelni. Ha a víz pH-értéke délután nagyobb mint 8,4 - 8,6, akkor az ajánlott koncentráció $0,5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Ha NO_3^- is van a vízben, akkor a kettő együttes koncentrációja N-re számítva szintén 1 (- 2) $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ legyen. NO_3^- -tartalmú műtrágya kijuttatásánál is az említett koncentráció a mérvadó.

Ha minden elővigyázatosság ellenére a tóvíz NH_4^+ -N koncentrációja 1 - $2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ vagy ezt is meghaladja, akkor az NH_4^+ -N naponta akár többszöri mérése mellett, egyéb vízminőségi paramétereket is figyelembe véve például az alábbi beavatkozások közül lehet választani:

- a.) a délutáni pH-érték nem magas (8,3 alatti). Kérdés az, hogy van-e elegendő ($0,1-0,2 \text{ mg.l}^{-1}$) oldott reaktív foszfor ($\text{PO}_4^{3+}\text{-P}$) a vízben. Ha nincs, akkor műtrágyázással növelve a P-koncentrációt elősegíthető az NH_4^+ felvétele az algákba. Ha van elég PO_4^{3+} a vízben, akkor a pH napi többszöri mérésével ellenőrizhető, hogy bekövetkezik-e pH-emelkedés, amikor másféle beavatkozásra van szükség.
- b.) A délutáni pH-érték magas (9-9,5 feletti), de az $\text{NH}_4^+\text{-N}$ $1-2 \text{ mg.l}^{-1}$ között van. A pH-érték gyors csökkentésére van szükség, minden olyan beavatkozással, ami csökkenti az algák fotoszintézisét, de nem pusztítja el azokat. Brazil halastavakban bevált a fotoszintézist gátló ADOL 80 WP $0,6-0,8 \text{ kg.ha}^{-1}$ adagjának szuszpenzióban történő délutáni egyenletes kijuttatása. A pH 3-4-órán belül látványosan csökkent és nem alakult ki hajnali O_2 -hiány. A kezelést követő napokban a tóvíz rendszeres vizsgálata ajánlatos.
- c.) A délutáni pH-érték magas (9-9,5 feletti) és az $\text{NH}_4^+\text{-N}$ koncentráció is nagyobb 2 mg.l^{-1} -nél. Ilyen szélsőséges esetekben a halak egy része már a víz felszínén látható, súlyosabb esetben reflex nélkül köröz a felszínen, vagy kiugrál a partra. Egyetlen megoldás a gyors vízcsere.

A b.) és c.) példánál a magas pH alapvető okának a vizsgálata javasolható a víz pufferkapacitásáról leírtak figyelembe vételével.

Az NH_3 toxicitása a halgazdálkodásban előnyösen is felhasználható, pl. a nemkívánatos halak elpusztítására, amit egy brazil kísérletben sikerült is bemutatni. Bebedouro település (Pernambuco állam) ivadéknevelő halgazdaságában a vízellátást a Sao Francisco folyó biztosította. A vizet - mint általában mindenhol Braziliában - kőzúzalék szűrőn át vezették a folyó halainak az eltávolítására. A szűrt víz mesterséges (kb 1 hektáros) tározóba került, innen pedig egy kacsás tóba és az ivadéknevelő tavakba. A 0,7 hektáros kacsás tóban 2000 kacsát tartottak és ennek a tápanyagban, algában és zooplanktonban gazdag víze "trágyázta" időnként a gazdaság többi tavát. A kacsás tóba azonban mindig

bekerült néhány nagyobb méretű Tilapia, ami az ivadékos tavakba átjutva jelentős károkat okozott. A tó vizét a kacsák miatt nem lehetett leereszteni. A megoldást a tó vízkémiai vizsgálata kínálta. A vízben a kacsák ürüléke miatt állandóan 10-16 mg.l⁻¹ körül volt az összes ammónia koncentrációja, miközben a víz pH-ja 8 alatt maradt, tehát az NH₃ aránya alacsony volt. A víz pH-értékét mintegy 250 kg délután kivitt mészhidráttal (Ca(OH)₂) 9,3-9,5 értékre, az összes ammónián belül az NH₃ koncentrációját pedig közel 7 mg.l⁻¹-re emeltük. A Tilapiá-k nyugtalan viselkedése azonnal megindult, a következő reggelre pedig elpusztultak. Az eljárás előnye, hogy a halak emberi fogyasztásra alkalmasak maradnak. Hazai tavainkban ammónium-szulfát (5-10 mg.l⁻¹ NH₄⁺-N) és mészhidrát kijuttatása (kb. pH=9,5-ig) a tökéletesen nem leereszthető tavak tócsáiba biztosan elpusztítja a visszamaradt, nemkívánatos halakat.

2.5.1.8. Foszfor-formák - az üledék foszfor-készlete feleslegessé teheti a foszfor-műtrágyázást

A foszfor a tavak és tározók eutrofizálódásáért leginkább felelős tápelem. Halastavakban növeli a természetes hozamot, de túlzott adagolása, vagy az üledékből váratlanul felszabadult nagyobb mennyisége káros vízvirágzásokhoz vezethet. A tóvízben mérhető összes foszfor (P_{össz.}) élő és élettelen részecskékhez kötött formált foszforra (P_{part.}), valamint oldott foszforra (P_{old.}) osztható. Az oldott foszfor oldott reaktív foszforból (PO₄³⁺), szerves (P_{org.}) és kondenzált (P_{kond.}) foszforból áll. A halastavi kezelések szempontjából lényeges PO₄³⁺-P helyszíni becslésére alkalmas, de nem elfogadhatóan pontos az ón-kloridos módszer. Az analitikában általánosan elterjedt a PO₄³⁺-mérés savas molibdát reagenssel. A gyakorlat számára ez a módszer a kimutatáshoz szükséges, gyorsan bomló aszkorbinsav oldat miatt nehézkes.

A tóvíz összes-P koncentrációja rendszerint 0,3-0,6 mg.l⁻¹ körül van. Az algák szárazanyagában megfelelő tápanyagellátás mellett mintegy 1 % az a-klorofill és

ugyanennyi a foszfor. Ha az ideális a-klorofill koncentrációt a halastóban $100-200 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ -nak ($=0,1-0,2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) tekintjük, akkor ez azt jelenti, hogy a tóvízben mért összes foszforból $0,1-0,2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ az algasejtekből található, többnyire ennél nagyobb mennyiség pedig az élettelen lebegő részecskékhez kötött. Az összes oldott foszfor koncentrációja változó, ezen belül az oldott reaktív foszfor (PO_4^{3+}) rendszerint $0,05 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ körül van, vagy egyáltalán nem mutatható ki. Mindezek alapján érthető az összefüggés a tóvíz a-klorofill és összes-P koncentrációja között. Az összes-P algákban lévő mennyiségétől függően azonban különböző tavakban egymástól lényegesen eltérő az összefüggés (**132. ábra**).

Mai ismereteink szerint minden alga számára csupán a PO_4^{3+} hozzáférhető, a $\text{P}_{\text{org.}}$ -t egyes algák lúgos foszfatázukkal, a $\text{P}_{\text{konv.}}$ -t pedig csupán bakteriális közvetítéssel képesek hasznosítani. Az algák a foszfort gyorsan és tényleges igényüknél sokkal nagyobb koncentrációban képesek felvenni a vízből. A P-ellátottságtól függően az algák szárazanyagában a P-koncentráció $0,1$ és $1-2 \%$ között változik. A sejtek az adott pillanatban felesleges foszfort polifoszfát testek alakjában raktározzák. A sejtek P-tartaléka, P-hiányos környezetben is legalább 2-3 osztódására elegendő. Következésképpen a PO_4^{3+} hiánya a vízben nem feltétlenül jelent tényleges P-hiányt. Okszerű P-műtrágyázás csupán a víz rendszeres vizsgálatával és több vízminőségi paraméter együttes figyelembe vételével végezhető (**lásd a 2.5.8. fejezetet**).

Az algák által a felső meleg vízrétegben felvett PO_4^{3+} szerves kötésű foszfor alakjában a táplálékláncon át hasznosul, vagy lassan kiülepszik és az üledékbe kerül (**133. ábra**). Az algák P-felvétele mellett egyéb mechanizmusok is csökkentik a tóvíz oldott P-készletét, amelyek $0,01-0,03 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ PO_4^{3+} -P koncentráció felett lépnek működésbe. A lebegő részecskék, különösen az agyagkolloidok felületéhez, kalciumhoz, vashoz és alumíniumhoz kötődve kerülhet az oldott foszfor a tavak üledékébe. Halastavakban különös jelentősége van a kalciumnak, amely a meszezés során ($\text{pH}=9$ felett) mellékhatásként csökkenti a víz foszfor és részben lebegőanyag tartalmát. A képződő és kiülepedő kalcium-

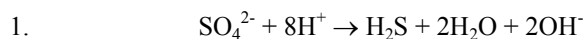
foszfát ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) miatt a tóvíz egyidejű kezelése a mész bármilyen alakjával és a szuperfoszfáttal ezért oktalanság. Általános tapasztalat az, hogy új tavak üledéke P-csapdaként működik. Brazíliában ivadéknevelő új tavak vizét apró szemcsékre tört és szuszpendálva kijuttatott szuperfoszfátból naponta $0,1 \text{ mg.l}^{-1} \text{ PO}_4^{3+}$ -P-ral kezeltük. A kezelést követő napon PO_4^{3+} -P-t már sohasem lehetett kimutatni a vízből, miközben a fitoplankton biomasszája alig növekedett.

A kezelések hatására a halastavak üledékében idővel jelentős mennyiségű foszfor halmozódik fel. A tavak üledéke P-forrássá válik. Száraz üledékre vonatkoztatva az összes-P elérheti az $1\text{-}3 \text{ mg.g}^{-1}$ koncentrációt, amiből általában 20-40 % az algák számára közvetlenül hozzáférhető foszfor. Ez azt jelenti, hogy ha az O_2 -ben gazdag üledéket az élő szervezetek vagy a szél felkeveri, akkor jelentős mennyiségű hasznosítható foszfor kerül a vízbe. Egészen más folyamat az, amikor az O_2 -hiányos üledékből 10 %-os O_2 -telítettségnél megkezdődik, $0,5 \text{ mg.l}^{-1}$ alatti O_2 koncentrációnál pedig robbanásszerűen felgyorsul a P-felszabadulás. A folyamat hőrétegzett halastavakban "öngerjesztővé" válhat a következő lépések szerint: (1) sok alga, csekély Secchi-átlátszóság, vékony eufotikus réteg, (2) erősen O_2 -hiányos alsó hideg vízréteg, PO_4^{3+} -felszabadulás az üledékből, (3) éjszaka a hőrétegzettség megszűnése, PO_4^{3+} -koncentráció növekedése a tóvízben, (4) a megnövekedett PO_4^{3+} miatt az algásodás fokozódása, (5) még csekélyebb Secchi-átlátszóság..., és a folyamat újra és újra ismétlődik növekvő algabiomassza mellett. Az algabiomassza közel azonos szinten tartása ($100\text{-}200 \text{ mg.m}^{-3}$ a-klorofill) a megfelelő tőkekezelésekkel ezért is lényeges. Másrésztől, a $2\text{-}3 \text{ mg.g}^{-1}$ összes-foszfort tartalmazó üledék piaci pontyos tavak vizének a P-ellátását bőségesen biztosítja, a P-műtrágyázás felesleges.

2.5.1.9. Kén - a kénhidrogén-mérgezés megelőzése

A kén leggyakoribb alakja a vizekben a szulfát (SO_4^{2-}). Koncentrációja és aránya az összes-ion tartalomban változó. Általában, de halastavakat tápláló vizekben különösen

kedvezőtlen, ha a domináns ionok közé tartozik. A szulfát az O₂-hiányos alsó hideg vízrétegben a szulfátredukáló baktériumok közreműködésével halakra toxikus kénhidrogénné (H₂S) alakul az alábbi képlet szerint:



A H₂S további sorsa az O₂-koncentrációtól függ. Oxigén jelenlétében kémiai úton elemi kénré, biológiai úton pedig több lépésben szulfáttá alakul. Anaerob körülmények között az üledék vas-foszfátja (FePO₄) Fe²⁺- és PO₄³⁻-ionra disszociál. A PO₄³⁻ növeli a víz P-koncentrációját, a Fe²⁺ és a S²⁻ pedig oldhatatlan vasszulfiddá (FeS) alakul és az üledékben fekete csíkot adó réteggé látható (**133. ábra**). A kénhidrogén oxidációja elemi kénre és a vasszulfid képződése a két tisztán kémiai folyamat a kén körforgalmában. A legfontosabb mikrobiális folyamatok a szulfát redukcója kénhidrogénné és szulfidra, valamint az elhalt szervesanyag kéntartalmú aminosavainak a bontása kénhidrogénné.

A szulfid és a kénhidrogén együttes meghatározása a Pomeroy-reakció alapján történik. A víz pH-értékének és a vízhőmérsékletnek a függvényében a **30. táblázat** segítségével számítható a disszociálatlan H₂S százalékos aránya. A táblázat szerint a kénhidrogén 7-7,5 alatti pH-értékeken fordul elő nagyobb arányban. A nitrogén tárgyalásakor ezzel szemben az NH₄⁺ ⇒ NH₃ átalakulás éppen ellenkezőleg, a lúgos pH-tartományban volt jelentős. A halakat tehát savas és lúgos pH-értéken egyaránt veszély fenyegetheti. Az ideálisnak tekinthető 8-8,3 körüli pH-értéken viszont az ammónia és a kénhidrogén aránya az összes ammónián és az összes szulfidon belül csupán mintegy 10 %. Szerves anyagban gazdag üledékben általában számítani kell a metán és a kénhidrogén képződésre. Az üledékből a metánnal együtt felszabaduló gázok a helyszínen egyszerű módszerrel vizsgálhatók. Vízzel telt bőszejű kb. egyliteres üvegedényt vízzel megtöltve, szájával lefelé fordítunk a víz alatt. Az üvegedény alatt bottal megmozgatjuk az üledéket és felfogjuk a felszabaduló gázt, ami az üvegedényből lassan kiszorítja a vizet. A gázzal legalább félig telt üvegedényt a víz alatt megfordítjuk és engedjük kiszabadulni a felfogott

gázt. Ugyanekkor gyufával megpróbáljuk azt meggyújtani és ha sikerül, akkor metán van az üledékben, ellenkező esetben kénhidrogén.

A kénhidrogén kimutatására az ólomacetáttal átitatott papírcsík, vagy kötélrészecské is alkalmas lehet. A szulfid jelenlétét a papírcsík vagy a vízbe leeresztett kötélrészecské megfeketedése jelzi. A kénhidrogén szúrós, záptojáshoz hasonló szagáról könnyen felismerhető. Ez a tulajdonsága használható üledék-minták "potenciális kénhidrogén"-tartalmának a vizsgálatára. Az üledéket jól zárható, bőszejű kb. egyliteres üvegedénybe tesszük, 1-2 cm³ hígított sósavat (1N HCl) öntünk hozzá, majd lezárjuk és összerázzuk. Néhány perc elteltével az üvegedényt kinyitjuk és óvatosan megszagoljuk. A záptojáshoz hasonló szag jelzi a H₂S jelenlétét. Ennek akkor van jelentősége, ha az üledékben nem látható a fekete vasszulfid csík. A vizsgálat nem azt jelenti, hogy a tóban a vizsgálat időpontjában ténylegesen kénhidrogén mérgezésre kell számítani. Ez csupán azt jelzi, hogy az üledék pH-csökkenése H₂S képződést eredményezhet, ami a légnyomás csökkenésekor a gáz felszabadulásához vezethet.

Az üledékben lévő gázok kiűzése az üledék mozgatásával, gereblyezésével, fészülésével lehetséges. Jelentős gázképződéskor naponta a tó 10-15 %-án mozgatható meg az üledék. Az egész tó üledékének a megbolygatásával ugyanis a metánnal együtt felszabaduló kénhidrogén halpusztulást idézhet elő. Ha az üledékben a vizsgálatokkal szulfid mutatható ki és az üledék pH-értéke 6-6,5 alatti, akkor az üledék mozgatása előtt mészkőpor kivitele javasolható a pH növelésére és a kénhidrogén képződés csökkentésére.

2.5.2. A vízi ökoszisztéma termelő szervezetei

2.5.2.1. Cianobaktériumok - N₂-kötő és toxikus fajok

A cianobaktériumok, vagy korábbi nevükön kéalgák morfológiai bélyegei a baktériumokhoz hasonlóak. Nincsenek ostorokkal mozgó formáik. Plazmájuk membránnal

nem körülhatárolt központi szintelen részre (centroplazma) és egy sejtfalhoz közeli színes zónára (kromatoplazma) különül. Az előbbi tartalmazza az örökítő anyagot, a DNS-t. Kromatoplazmájuk fotoszintetikus membránjaiban (tilakoidok) van a klorofillok közül az a-klorofill (b-klorofill hiányzik!) és a karotinoidok. A tilakoidok felszínén apró szemcsék alakjában található a fikobilineket tartalmazó fikobiliszómák. A cianobaktériumok kék színét a fikobiliniek közül fikocianin adja.

A kék fikocianin minden fajban előfordul, a vörös fikoeitritin gyakran hiányzik. A cianobaktériumok színe általában kék, kékes-zöld, de csupán akkor, ha a sejtekben a domináns színanyag a fikocianin. Különösen N-hiányos környezetben fordul elő, hogy a fikocianint a sejt lebontja és a bomlástermékeket felhasználja az anyagcseréjéhez. Ilyenkor a sejtek színe zöld, sárgás-zöld lehet a dominánssá váló a-klorofill, vagy egyes karotinoidok miatt.

A cianobaktériumok 150 nemzetségéből mintegy 2000 faj ismert. A halastavakban gyakori *Microcystis*-fajok apró gömb alakú sejteit kocsonyaburok veszi körül, így szabad szemmel látható telepekké állnak össze (**134. ábra**). Először apró kék csomókat alkotva a víztestben lebegve vízszíneződést okoznak. Biomasszájuk növekedésével már nem jutnak elég fényhez, ezért gázvakuólumokat képeznek és a víz felszínére emelkednek. A vízfelszínen olykor több centiméter vastag mézyszerűen sűrű masszát alkotnak, amit vízvirágzásnak nevezünk. Sajátos szagukról már messziről felismerhetők. A nagyon apró méretű (1 μm körül) pikoplanktonot alkotó fajok sorolhatók még a gömb alakú cianobaktériumok közé. A cianobaktériumok többsége fonal-alakú, amit kívülről kocsonyahüvely vehet körül (*Lyngbya*-fajok).

A kocsonyás anyag eltömi a szűrő szervezetek szűrőberendezéseit és jelentősen csökkenti a cianobaktériumok emészthetőségét. A kocsonyaburok az emésztő enzimek számára átjárhatatlan, így a vízből kiszűrt telepek, fonalak sértetlenül haladnak át a zooplankton és a busa tápcsatornáján. Etetési kísérletekkel igazoltuk, hogy a busa kiszűrte

az akváriumba adagolt *Lyngbya*-fonalakat, kompakt, kék színű ürülék is megfigyelhető volt az akvárium alján, de a halak veszítettek testtömegükből a 10-napos kísérlet végére. Másrészt a vékony, cellulózmentes sejtfalú fonalas cianobaktériumokat a busa könnyen kiszűri és hasznosítja. A zooplankton számára a pikoplankton a kedvező táplálék, míg a hosszú sejtfonalak többnyire kiszűrhetetlenek. A fonalak tömeges előfordulása még veszélyes is lehet, mert rátekeredve a kisebb szűrő szervezetekre, vagy a Cladoceraék szűrőlábaiba, mozgásképtelenné teheti azokat.

A légköri N_2 -kötésre képes fonalas cianobaktériumok a fonal többi sejtjétől eltérő alakú heterocisztáról (heterocita) felismerhetők. Elszaporodásuk többnyire az algák számára hasznosítható N-ionokban, vagy szerves N-vegyületekben hiányos vízben kezdődik és a rendszertelen N-műtrágyázásra vezethető vissza. A megkötött nitrogén mennyisége a haltermelés szempontjából elhanyagolható. Mérések szerint legfeljebb $30 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{év}^{-1}$, ami halastavakban - a kis koncentrációban szinte mindig jelenlévő NH_4^+ -ion miatt - még ennél is kevesebb. A N_2 -kötésért felelős enzim, a nitrogenáz működését az NH_4^+ -ion már kis koncentrációban is elnyomja.

Számos cianobaktérium-faj kedvezőtlen tulajdonságai közé tartozik a toxintermelés és a kellemetlen íz- és szaganyagok termelése. Mintegy 40 toxintermelő cianobaktérium fajt ismerünk, amelyek közé tartoznak a **134. ábrán** bemutatott fajok is. A cianotoxinok endotoxinok, a vízbe csupán a sejtek pusztulásakor kerülnek ki. Az a korábbi nézet, hogy a cianobaktériumok kedvezőtlen környezeti feltételek között termelnek toxint máskor pedig nem, ma már nem állja meg a helyét. A toxintermelés valójában a fajon belül egyes törzsek genetikailag meghatározott tulajdonsága. Ezek közül egyesek termelnek toxint, a többiek nem. Ha a "környezeti feltételek" a toxintermelő törzs elszaporodásának kedveznek, akkor a víz toxikus lesz, ellenkező esetben nem. A toxintermelés előfeltételét jelentő "környezeti feltételeket" nem ismerjük, így halastavakban védekezni sem tudunk a toxintermelő törzsek elszaporodása ellen. A kellemetlen íz- és szaganyagok termelésével kapcsolatban hasonló a

helyzet. Tudjuk, hogy a vizek leggyakoribb szaganyagait a geozmint és a metil-izoborneolt cianobaktériumok termelik. A védekezés egyetlen módja mégis csupán a halak tiszta vízbe való áthelyezése mintegy 10 napra, ami viszont növeli a termelési költségeket.

A cianobaktériumok előfordulása és tömeges elszaporodása eutróf és hipertróf vizekben egyre gyakoribb, amit különböző elméletekkel próbálnak magyarázni a kutatók. Az elméletek egyik csoportja a vízminőség változását tekinti mérvadónak: az emelkedő vízhőmérsékletet, a vizek tápanyag-dúsulását, a víz alacsony N/P arányát, a magas pH-t és az alacsony CO₂ koncentrációt. Mások a cianobaktériumok különleges képességeit emelik ki: túlélés magas pH-értéken, a zooplankton általi kifalás hatástalansága, gátló anyagok kibocsátása más algák ellen és a kiüledés szabályozása gázvakuólumokkal. Ma még közel sem ismert, hogy a felsorolt tényezők közül melyik, vagy melyek kombinációja a felelős a cianobaktériumok tömeges megjelenéséért. Mindenesetre a halgazdák is gyakran kárvallottjai annak, hogy a tápanyagban gazdag vizekben, így a halastavakban is gyakoriak gondot okozó fajaik.

A cianobaktériumok elleni védekezés lehet megelőzés és tüneti kezelés. A megelőzés rendszeres vízvizsgálatot és okszerű trágyázást (N-műtrágyázás!), valamint az üledék kezelését jelenti. A tóban egykor elszaporodott cianobaktériumok kitartó alakjai az üledékben hosszú évekig képesek átvészelni a szaporodásukhoz kedvezőtlen feltételeket. Az üledék tehát oltóanyaga minden olyan cianobaktériumnak (és mikroalgának), aminek a tömeges elszaporodását a vízben annakidején nem tudtuk megakadályozni. Az adott évben jelentős cianobaktérium biomasszát termelő tó üledékének a "fertőtlenítése" a lehalászás után égetett mésszel vagy klórmésszel még akkor is célszerű ha tudjuk, hogy eközben az üledék hasznos szervezeteit is pusztítjuk.

A tüneti kezelésre a vízvirágzást okozó fajoknál van elsősorban lehetőség. A víz felszínén összegyűlt pl. *Microcystis* helyi kezelésére égetett mész, klórmész, vagy 2 kg.ha⁻¹-nak megfelelő ADOL 80 WP használata (délután!) javasolható. A rézszulfát használata

ellen szól, hogy hatása a pH növekedésével csökken, nagy biomassza mellett pedig a délutáni pH rendszerint magas. A cianobaktériumokban az ellenük gyakran használt rézsulfáttal szemben - kísérletekkel igazoltan - ellenállóképesség alakul ki. Érdemes kerülni a rézsulfát használatát azért is, mert a réz az üledékben felhalmozódik, ami hosszabb távon beláthatatlan következményekkel járhat.

2.5.2.2. Mikroalgák - a zooplankton többnyire jól hasznosítható tápláléka

A növényvilág 400-ezer fajának mintegy 10 %-a alga. Az algák eukariota, egy- vagy többsejtű, különböző méretű, alakú, szerveződésű és színű, elsődlegesen fototróf növények, amelyek valódi gyökérre, szárra és levélre nem tagolódnak. Rendszertani felosztásuk folyamatosan változik, de egyik legfontosabb kritériuma színanyagaik kémiai természete, ami gyakran elnevezésükben (pl. zöldmoszatok, barnamoszatok, vörösmoszatok) is kifejeződik, bár ez csupán azt jelzi, hogy a számos pigment közül melyik a meghatározó. Vízeinkben az eddig ismert fajok száma 3-4-ezerre tehető, amelyek többsége a kovamoszatokhoz, a zöldmoszatokhoz és az ostoros moszatokhoz tartozik.

Halastavakban legtöbbször a zöldmoszatok (**135. ábra**) dominálnak, de egyes esetekben az ostoros moszatok és az egybarázdás moszatok tömeges jelenléte is megfigyelhető. Utóbbiak többnyire algairtás után, vagy nagy oldott szerves anyag-tartalomnál fordulnak elő nagyobb számban. A vattaszerű zöld kötegekbe összeállt fonalas zöldalgák károkozására és eltávolítására a makrofitonoknál térünk vissza. Halastavakban az algák egyedszáma a sejtmérettől függően általában 10 - 1000 millió.l⁻¹. Az átlagos méretű (5-10 µm) egysejtű algákból mintegy 20-60 millió sejt felel meg egy milligramm (1 mg) szárazanyagnak. Az a-klorofillban kifejezett alga-biomassza ideális értéke 100-200 mg.m⁻³. A nedves algabiomasszának a 10-20 %-a szárazanyag, aminek a tápanyagellátástól függően 30-60 %-a fehérje. Az algák hozzáférhetősége és tápláléértéke a különböző vízi szűrő szervezetek számára eltérő.

A zooplanktonról a fitoplankton fogyasztására a fehér busa 15 mm-nél nagyobb példányai térnek át. A kifejlett egyedek a 10 μm -nél nagyobb részecskéket/algákat képesek kiszűrni a vízből. A hal és a részecskék méretétől függően az átszűrt víz mennyisége 100-200 $\text{cm}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ hal. Etetési kísérletek igazolták, hogy a megfelelő méretű zöldalgák kiszűrhetők a busa számára, de vastag cellulóz faluk miatt nem hasznosíthatók. Saját kísérleteinkben a fehér busa ivadék naponta a testtömegének a 2 - 8 %-ával azonos mennyiségű *Scenedesmus obtusiusculus* sejtet szűrt ki a vízből mégis vesztett testtömegéből.

Méretüktől függően a zooplankton szervezetek 1 - 20 μm -es alga kiszűrésére képesek. A kisebb méret a kerekeshéjúakra a nagyobb a nagytesű Cladocera-kra érvényes. A zooplankton kiváló táplálékai a megfelelő méretű algák, közülük pedig különösen az egysejtű, vagy néhány sejtés cönobiumot alkotó zöldalgák. Az algák beltartalmi értéke a víz növényi tápanyagainak a koncentrációjától függ. Az algasejtek telítetlen zsírsav tartalma, N-től függő fehérje tartalma és P-ellátottságtól függő P-koncentrációja befolyásolja a szűrő zooplankton szervezetek növekedését és szaporodását. Az algák megfelelő tápanyagellátása, a túkezelés ezért nem csupán biomassza, hanem minőségi biomassza termelését jelenti.

2.5.2.3. Makrofitonok - biomasszájuk átalakítása mikroalga-biomasszává

A halastavak makrofitonjai, szervezettebb vizinövényei a víz fölé emelkedő növényekre (pl. *Phragmites*), a víz felszínén úszó növényekre (pl. *Lemna*), és alámerült növényekre (pl. *Myriophyllum*, *Ceratophyllum*) oszthatók. Nagy felületű halastavaknál a nád a partvédelem miatt lehet előnyös, a vízilencse egyes halfajok közvetlen tápláléka, az alámerült növényzet pedig az ivadék búvóhelye és rovarlárvák élettere lehet. Mindezen előnyök ellenére a makrofitonok, különösen az alámerült növények jelenléte halastavakban általában nemkívánatos.

Az alámerült makrofitonok megjelenése és tömeges elszaporodása rendszerint a tóvíz hosszabb ideig tartó nagy átlátszóságával függ össze, aminek fő oka lehet: (1) a tőfeltöltést követően az oldott tápanyagok hiánya miatt az algák nem tudnak elszaporodni, (2) a víz zavarosságát növelő kétnyaras, de főleg háromnyaras pontyok hiánya (3) a túlzott trágyázás miatt olyan jelentős algabiomassza alakul ki, amely hirtelen elpusztul. Ez utóbbi többnyire napsütéses napokon következik be, amikor nagy a víz O_2 - és alacsony a CO_2 -koncentrációja, a pH pedig nagyon magas. Gyakran ehhez járul még a halgazda igyekezete az algák elszaporításának az elősegítésére. Látva az alámerülő vízinövények kezdeti elszaporodását elkezdi trágyázni a tavat abban a reményben, hogy a kívitt tápanyagot az algák fogják felvenni. Ezzel szemben a tápanyagot a növények veszik fel és még gyorsabban növekednek. Az alámerült növényekkel együtt, de többnyire csupán azok pusztuló szakaszában szaporodnak el a fonalas zöldalgák, amelyeknek csupán hátrányait lehetne felsorolni a halastavakban.

Az alámerült makrofitonok a halastavakban a táplálékláncon nagyon lassan továbbhaladó növényi biomasszát alkotnak. A fitoplankton dominanciájú halastavakhoz képest kisebb a vízinövényes tó természetes haltermelő képessége. A helyi szakemberek által ismert vízinövényes halastavakban a tömeges elszaporodás megakadályozása és az eltávolítás megfelelő amur népesítéssel lehetséges. Egyéb esetekben a vízinövények ellen - a vegyszeres irtás mellett - csupán a sávos kaszálás az egyetlen hatásos megoldás. A vízinövényekben és fonalas zöldalgákban lévő szervesanyagot algákba épült szervesanyaggá kell átalakítani. Tápanyagbevitel műtrágyával felesleges és káros. Másrészt viszont alacsony tápanyagtartalmú szervestrágyával és a tavi üledék gereblyezésével növelhető a víz zavarossága, annak holt szerves anyagával pedig táplálhatók a zooplankton szervezetek.

2.5.3. A vízi ökoszisztéma fogyasztó szervezetei

A korábbi másodlagos termelő szervezeteket, miután valójában nem termelnek, hanem saját testük anyagaivá alakítják át a vízben vagy az üledékben lévő élő vagy élettelen szerves anyagokat, ma helyesebben fogyasztóknak nevezzük. Az állati szervezeteket magában foglaló tápláléklánc növényevő elsődleges fogyasztókból és állati eredetű anyagokból élő másodlagos fogyasztókból áll. A határ azonban a két csoport között korántsem éles, amint azt a mindenevők táplálkozási módja is jelzi. Ennek ellenére megkülönböztetésük a tápláléklánc szerkezetének, valamint az ökoszisztémán belüli anyag- és energiaszállításnak a megértése miatt hasznos.

A vízi állatok többnyire formált szerves anyagokkal táplálkoznak, de jelentéktelen mértékben például a *Daphniá*-k a halak és a békák oldott szerves anyagokat is képesek felvenni. A vízi ökoszisztémákban a nyílt víz és az üledéklakó fogyasztók táplálkozási láncát különböztetjük meg. A vízi fauna összetételétől függően ezek maguk is számos táplálékláncból állnak össze. A nyíltvízi tápláléklánc fő tagjai a fitoplankton → a növényevő zooplankton → a ragadozó zooplankton → a nyíltvízi békés halak és → a nyíltvízi ragadozó halak. Az üledéklakó fogyasztók táplálkozási láncának fő tagjai az üledék algái, a vízinövények és a szerves törmelék → a növényevő üledéklakó állatok → ragadozó üledéklakó állatok → az üledék közelében élő békés halak és → az üledék közelében élő ragadozó halak. A két fő táplálékláncban résztvevő fogyasztó szervezetek a szerves anyagok egy részét raktározzák, ami az egyedek tömeggyarapodásában és az adott faj biomasszájának a növekedésében mutatkozik meg. A fogyasztó szervezetek közül a zooplanktont és röviden az üledéklakó szervezeteket tárgyaljuk, de nem foglalkozunk a víztestben élő rovarlárvákkal.

2.5.3.1. Zooplankton - táplálkozás, szaporodás és ökológiai igény

A tavi zooplankton fő tagjai a kerekesszék (Rotatoria) és az alsóbbrendű rákok (Crustacea) két csoportja a Cladocera-k és a Copepoda-k (**136. és 137. ábra**). Mindhárom csoportban vannak szűrő és ragadozó zooplankton szervezetek. A Rotatoria-k között ritka a nagytestű ragadozó, legtöbbjük kisméretű algákkal (1 - 4 μm) és szerves részecskékkel táplálkozik. A csillókoszorú mozgásával a szájüregbe sodort táplálékot ülepítéssel szerzik meg. A Cladocera-k halastavakban előforduló fajai, a Copepoda-k közül viszont inkább csupán a Calanoida-k a szűrő szervezetek. A legfeljebb 20 (-30) μm méretű táplálékukhoz nem ülepítéssel, hanem aktív szűréssel jutnak hozzá. A Copepoda-kon belül a Cyclopida-k egy része ragadozó. A kistestű zooplankton szervezetek mellett azonban fogyasztanak nagyobb méretű, például fonalas algákat is.

A szűrés hatásosságát befolyásoló tényezők és a vizekben mérhető értékeik tartománya irodalmi adatokból ismert. A tartományok felső értékei halastavakban nagyobbak is lehetnek. Az egyik meghatározó tényező a vízhőmérséklet 0 és 30 °C között változik. A fitoplankton nedves tömegre vonatkoztatott koncentrációja 0,3 és 100 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$. A hozzáférhető táplálék mennyiségét jobban jellemző piko- és nanoplankton koncentrációja 0,1 és 10 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$. A planktonikus rákok koncentrációja (nedves tömeg) 0,06 és 70 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Ez literenként 1 - 700 állatot jelent, aminek száraz tömege átlagosan 10 μg . Következésképpen 1,4 - 1000 cm^3 víz áll minden alacsonyabbrendű rák rendelkezésére. Ideális körülmények között minden egyes Rotatoria naponta mintegy 0,003 - 0,05 cm^3 vizet képes átszűrni, míg a legnagyobb testű szűrő szervezeteknél ez elérheti az 5 cm^3 -t is. A táplálék gyorsan néhány perc alatt, de legfeljebb 2 - 3 óra alatt áthalad az emésztő rendszeren. Ez az idő hosszabb a nagyobb testű állatoknál mint a kisebb testűeknél, és többnyire hosszabb a Copepoda-knál mint a Cladocera-knál.

Télen a Cladocera-k gyakran teljesen hiányoznak a vizekből. A téli időszakot tartós- vagy téli-peték alakjában vészelik át és csupán tavasszal kelnek ki. Szaporodásuk többnyire szűznemzés, de a Copepoda-k ivarosán szaporodnak. A Copepoda rákok

naupliusz lárváiknak köszönhetően a téli planktonban is többé-kevésbé nagy számban fordulnak elő. A naupliusz lárvák a rákok ivaros szaporodásával jönnek a világra és egyáltalán nem hasonlítanak a kifejlett állatokra. Csupán 10 - 12 vedlés után nyerik el végleges alakjukat. Télen a leggerőteljesebben a Rotatoriá-k fejlődnek. Tehát míg a Copepodá-k és Rotatoriá-k nagy része egész évben megtalálható a planktonban, addig a Cladocera-k csupán nyáron és ősszel láthatók a nyílt vízben.

A Cladocera-k megjelenéséért és eltűnéséért leginkább felelős környezeti tényező a hőmérséklet. Ezen belül a faji összetételt már a pH és más abiotikus tényezők is befolyásolják, továbbá a fajok közötti versengés és a ragadozók általi szelektív kifalás. A halak a nagyobb fajokat kedvelik, így túlnépesítéskor ezek eltűnnek a planktonból. Ezzel szemben a ragadozó zooplankton a kisebb fajokat kedveli. A zooplankton állomány változásának a nyomonkövetése mikroszkópos vizsgálatokkal lehetséges. A fiatal egyedek, illetve a naupliuszok és a kifejlett, ezen belül a petés állatok arányából, továbbá a peték számából következtetni lehet arra, hogy a tóvíz zooplankton állománya növekszik, vagy pusztulóban van.

A zooplanktonra jellemző a fénytől függő vertikális mozgás. Éjjel a vízfelszín közelébe vándorolnak, nappal pedig a mélyebb vízrétegekbe. A zooplankton rajok/felhők kialakulása kedvező a szűrő halak számára. Halastavakban a *Daphniá*-k tömeges megjelenésekor a ponty planktonozása a vízfelszínhez közel a kora reggeli órákban gyakran megfigyelhető. A jelenség megtévesztő lehet, mert O₂-hiányra is gondolhat a nem eléggé tapasztalt szakember. Ritkán, de előfordul, hogy a halak nem szűrik ki kellő mértékben a nagy számban elszaporodó *Daphniá*-kat és ilyenkor úgynevezett *Daphnia*-tiszta víz állapot lép fel. A *Daphniá*-k ilyenkor olyan gyorsan átszűrik a tóvizet, hogy azt a fitoplankton szaporodása nem tudja követni. Elfogy az alga, áttetszően tiszta lesz a víz, miközben nagy tömegben látható *Daphnia* a vízben. A jelenség részint arra utal, hogy a népesítés nem volt megfelelő, részint pedig óvatosságra int, mert a csekély fotoszintézis és a jelentős légzés

miatt O₂-hiány alakulhat ki. Szélsőséges esetben még a Daphniák planktonhálóval való kiszűrése és más tavakba való átvitele, esetleg vegyszeres ritkítása is javasolható.

Az ivadéknevelő halastavakban fontos kistestű zooplankton elszaporításának a módját a télőkészítési fejezet tárgyalja.

2.5.3.2. Üledéklakó szervezetek - kiváló ponty-táplálék

A főleg baktériumokat és detrituszt fogyasztó üledéklakó szervezetek felosztása elsődleges és másodlagos fogyasztókra aligha lenne lehetséges. A tavi üledék növényi és állati eredetű maradványokat és baktériumokat egyaránt tartalmaz. Az üledéklakók különböző rendszertani egységekhez tartoznak, nevezetesen: Protozoa, Rotifera, Annelida, Crustacea, Mollusca, Insecta. Előfordulásuk és fajgazdagságuk a táplálkozási, növekedési és szaporodási feltételektől függenek. Halastavakban a halak táplálékként a *Chironomus*- és *Tubifex*-fajoknak van különös jelentősége.

Az üledéklakó rovarlárvák közül a leggyakoribbak a *Chironomus*-fajok. Életük nagyobb részét lárva alakjában a vízben töltik, de a kifejlett imágó mindig elhagyja a vizet. Az üledék felszínére épített lakócsőben élnek. Táplálékukat szűréssel vagy az alzathoz tapadt szerves anyag eltávolításával szerzik meg. Szinte kizárólag algákkal táplálkoznak. Testük ritmikus mozgásával vízáramot keltenek a lakócsőben, így a naponta kiülededett és többnyire elpusztult algáknak akár a 10 %-át is elfogyaszthatják. Intenzív táplálkozásukhoz és szaporodásukhoz oxigénben gazdag üledékre van szükségük.

A gyűrűsférgekhez tartozó *Tubifex tubifex* tisztán üledékfogyasztó. Fejjel lefelé beássa magát az üledékbe és a tápcsatornáján keresztül nagy mennyiségű üledéket szállít a felszínre. Az üledék szerves anyagtartalmának a növekedésével nő a *Tubifex* egyedszáma is. Az üledék 1-3 cm-es rétegére korlátozódó táplálkozása sohasem terjed ki az üledék közvetlen felszínére vagy a 6 cm-nél mélyebb rétegekre. Táplálékhasznosítása gyenge, a szerves szénnek átlagosan 20, az összes nitrogénnek pedig csupán mintegy 30 - 35 %-át

hasznosítja. Légzésének intenzitását az O_2 -ellátottságnak megfelelően tudja változtatni egészen a kritikus határig, ami az O_2 -telítettség 10 - 15 %-ának felel meg. Az oxigént testének üledékből kiálló, lebegtetett farki végén lévő O_2 -felvevő szervecskéivel a vízből veszi fel. A *Tubifex*-fajok egy része egy hónapig tartó vagy még hosszabb O_2 -hiányt is képes elviselni.

Halastavakban az üledéklakó makroinvertebráták mennyiségét és faji összetételét a ponty jelentősen befolyásolja. Kivételt képeznek az egynyaras pontyokat termelő tavak, amelyekben a zooplankton szervezetek túl könnyen kiszűrhetők, az üledéklakók pedig túl nehezen hozzáférhetők a halak számára. Az üledéket még nem turkáló, egynyaras pontyot nevelő tavakban a víz éppen ezért gyakran kitisztul. Összességében véve ezért a tó haltermelő képessége nem megfelelő és kihasználatlan. A tóban lévő szervesanyag alapvetően a zooplankton és az üledéklakó szervezeteken át jut el a halakig. Megfelelő polikultúrával és népesítéssel biztosítható a két út haltápláló szervezetein alapuló haltermelő képesség legjobb kihasználása.

2.5.4. A vízi ökoszisztéma lebontó szervezetei - baktériumok és gombák

Az elhalt szervezetek bomlása a tavakban gyorsan és két lépésben megy végbe. Az elpusztult szervezet szerves anyag vesztese először bakteriális közreműködés nélkül autolízissel megy végbe. A zooplanktonnál a pusztulás után azonnal felszabadul a szerves anyag mintegy 20 %-a, egy nap elteltével pedig a fele. A fitoplanktonnál néhány órán belül szabaddá válik a foszfor 25-75 %-a. Haltetemek egy nap alatt a szerves anyaguk 25 - 30 %-át veszítik el. Az intenzív bakteriális bontás csupán 12-24-órával a szervezetek pusztulása után kezdődik, aminek a helye (a felső meleg vagy az alsó hideg vízréteg) az elpusztult szervezetek ülepedési sebességétől függ. A bontásban résztvevő baktériumokba épült szerves anyag a baktérium → protozoa → zooplankton → hal fogyasztóláncon jut el a halakig. Tökéletes ásványosodásnál a termelő szervezetek hasznosítják a bomlástermékeket.

A valódi vízi baktériumok sajátos tulajdonsága az, hogy rendszerint a tápanyagok kis koncentrációit is képesek felvenni, például az acetátot és a glükózt 1 - 10 $\mu\text{g.l}^{-1}$ koncentrációban. A vizekben szabadon lebegve, részecskék felületéhez, vagy szilárd alzathoz tapadva élnek. A legkülönbözőbb rendszertani csoportokhoz tartoznak. Oxigén-igényüket tekintve lehetnek aerobok és anaerobok. Jelentőségük különösen a hipertrófhastavak anyagforgalmában vitathatatlan (metánképzés, nitrogén-, kén-körforgalom).

Heterotróf szervezetek lévén a gombák élete a szerves anyaghoz kötődik. A vizekben előfordulnak mind szaprofita, mind parazita fajaik, amelyek különböző növényeket és állatokat képesek megtámadni. Az egyik vagy másik életformát követő fajok mellett megtalálhatók fakultatív paraziták is. Ezek a környezeti feltételektől függően elhalt szerves anyagon élnek, de élő szervezeteken is élősködhetnek. A legtöbb vízi gomba aerob módon él. Különös jelentőségük, hogy a fehérjék, cukrok, keményítő és zsírok mellett a pektin, hemicellulóz, cellulóz, lignin és kitin lebontására is képesek. Tavakban a moszatgombák (Phycomycetes) közé tartozó Chytridiales és Saprolegniales gombák parazita és szaprofita fajtái a leggyakoribbak. Mint nevük is jelzi többnyire algákon élősködnek. A tömlősgombák (Ascomycetes) az üledékben élnek és az elpusztult vízinövényeken, vagy a tavakba kívülről bekerült növényi maradványokon élnek.

2.5.5. Táplálkozási láncok – felülről lefelé és lentől felfelé érkező hatások

Az abiotikus és biotikus tényezők, továbbá ezek egymásra hatásának a vizsgálata a vízi ökoszisztéma olyan új (rendszer)tulajdonságait tárja fel, amelyek az egyes tényezőkből nem lennének felismerhetők. A limnológia, mint az édesvizek tudománya az ökoszisztémának mint egésznek a szerkezetét, anyag- és energiaháztartását, rendszertulajdonságait kutatja.

A tavakban a növényi biomasza tömegét és annak fotoszintetikus aktivitását, vagyis termelését a rendelkezésre álló tápanyagok és a fény alapvetően meghatározzák. A halastavakban a makrofítonokkal szemben előnyben részesített fitoplankton termelését a túl

erős fény, és újabb magyarázatok szerint annak UV-sugarai gátolják. A vízfelszínen lévő algák biomasszája nem, de termelése ezért kisebb lehet, mint az alatta lévő vízrétegekben (138. ábra). Az algák sorsa méretüktől függ, amennyiben az apró algák többségét a zooplankton kiszűri, a nagyobbak az üledékbe kerülnek az óriás sejtek pedig a felső meleg vízréteg detrituszát gazdagítják (139. ábra). Az algák által megtermelt biomassza halakig vezető két fő útja tehát: (1) alga → zooplankton → hal, (2) alga → üledéklakók → hal. A két út azt sugallja, hogy a tavakban a tápanyag → termelők → fogyasztók → hal láncban mindent az előző láncszem határoz meg. Ez az ökoszisztéma működését magyarázó úgynevezett "bottom-up" szemlélet.

Az algabiomassza halakig vezető leegyszerűsített két útjából is nyilvánvaló, hogy a biomassza nem kizárólagos meghatározója a tavak természetes haltermelő képességének. Az ökoszisztémában felülről lefelé érkező ("top-down") hatások befolyásolják mind a rendszer biológiai szerkezetét, mind fizikai és kémiai paramétereit. Ezen az elven alapul a természetes tavak biomanipulációja, aminek a célja az algabiomassza csökkentése. Fehér busa telepítése közvetlenül csökkenti az algabiomasszát. A ragadozó halak telepítése közvetve hat azáltal, hogy csökkenti a zooplankton fogyasztó apró halak számát. Az eredmény több zooplankton, nagyobb algafogyasztás és kevesebb alga. A biomanipuláció persze nem ilyen egyszerű és sikeres mint az elméleti alapokból várható. A halastavak szempontjából csupán az elv a lényeg, ezért magát a biomanipulációt nem tárgyaljuk részletesebben.

A biomanipuláció kapcsán feltárt ismeretek közül a halastavakra is érvényes megállapítás az, hogy a felülről érkező hatás erős a táplálkozási lánc csúcsán (hal → zooplankton), de gyenge az alján (fitoplankton → tápanyag). A két elmélet kombinációjából alakult ki a "bottom-up/top-down" modell, amely szerint az ökoszisztéma egy termelési/fogyasztási szintjén elérhető biomassza alapvetően a hozzáférhető forrásoktól függ, de a ténylegesen létrejövő biomasszát az alulról felfelé ("bottom-up") és a felülről

lefelé ("top-down") érkező hatások határozzák meg. A gyakorlat nyelvére fordítva ez azt jelenti, hogy a polikultura kialakításánál figyelembe kell venni az egyes halfajok alsóbb táplálkozási szintekre gyakorolt hatását.

A halastavi ökoszisztéma felépítését bonyolítja a szerves trágyával és a takarmánnyal kívülről bevitt (allochton) szerves anyag, ami jelentős mértékben kiegészítheti a tóban termelődött (autochton) szerves anyag mennyiségét (**140. ábra**). A kettő együtt adja azt a biomasszát, ami a fogyasztó szervezetek különböző szintjének a rendelkezésére áll. Általában véve elfogadható az, hogy ennek a biomasszának a 10 - 15 %-a jelenik meg a zooplankton és az üledéklakó szervezetekben és csupán 2 - 3 %-a a halakban. Az arányokat a tó működésének és a polikultura kiválasztásának az összhangja határozza meg vagyis az, hogy mennyire sikerül a tóban termelődő haltáplálék szervezetekhez igazodó faji összetételt biztosítani.

2.5.6. Vízi élettájak és életközösségek

A vízi ökoszisztémák élettájai a litorális (parti), a pelagiális (nyíltvízi) és a profundális (mélységi) régiók (**141. ábra**). A litorális régióban élnek az üledékhez rögzült vízinövények. A mélyebb vízrétegek felé haladva találhatók a víz fölé emelkedő, az úszólevelű és az alámerült gyökeres növények. A profundális régió a vízinövényektől mentes üledéket jelenti. A litorális és a profundális régió között van egy kevésbé elkülönülő réteg, a litoriprofundális régió, ahol makrofitonok már nem találhatók, de üledéklakó algák és főleg cianobaktériumok még élnek. A pelagiális régió a víz üledékkel közvetlen kapcsolatban nem álló tömegét jelenti. A halastavak sekélységük miatt egész felületükön lehetővé teszik a vízinövények elszaporodását, ezért elméletileg az egész tó litorális régióknak tekinthető.

A pelagiális régió életközösségei közül minden tóra jellemző a plankton, amely a baktériumokat, egy- vagy többsejtű algákat, protozoákat, Rotatoriá-kat, Cladocera-kat és a

Copepodá-kat foglalja magában. Közös jellemzőjük a lebegőképesség, ami főleg a zooplanktonnál aktív úszással társulhat. A növényi eredetű planktont fitoplanktonnak, az állati eredetűt pedig zooplanktonnak nevezzük. A vízmozgástól független úszásra képes állatok alkotják a nektont. A pleusztton a víz és a levegő határán élő szervezeteket jelenti, amelyek lehetnek szervezettebb növények (pl. *Lemna*) vagy erre morfológiailag alkalmas rovarok. A pleuszttonon belül megkülönböztetjük a neusztont, vagyis a mikrobiális szervezeteket, például a baktériumokat és az algákat. A bentosz (benton) az üledéklakó szervezetek összességét jelenti. A biotekton a köveken, növényeken, egyáltalán szilárd alazon megtelepedett, többnyire algákból, baktériumokból, gombákból és állatokból álló bevonat.

Az élettájaknak és életközösségeknek a hidrobiológiában szokásos további felosztása a haltermelés hidrobiológiai alapjainak a megismeréséhez nem feltétlenül szükséges, ezért azt részletesebben nem tárgyaljuk.

2.5.7. Vízvizsgáló készletek - halastavi alkalmazásuk

A vízkémiai paraméterekről írt fejezetekben említett és a gyakorlatban is használható analitikai módszerek egyszerűek és bárki számára könnyen végrehajthatóak. A szükséges vegyszerek elfogadható áron beszerezhetők, csupán a reagensek elkészítése igényel kémiai előismereteket és minimális laboratóriumi felszereltséget. Nagyobb halgazdaságokban, ahol rutinszerűen számos tó vizsgálatát végzik célszerű saját reagensek készítése, ill. készíttetése arra vállalkozó laboratóriumokkal. Kisebb gazdaságok számára 50 - 100 mérésre elegendő vízvizsgáló készletek beszerzése javasolható. A vízügyi és környezetvédelmi laboratóriumok nem a halgazda számára fontos paramétereket vizsgálják, hanem annál lényegesen többet. Az eredmények értékelésekor rendszerint nem tudják figyelembe venni a halgazda sajátos szempontjait. A mérések célja nem az adatszerzés, hanem az adatok

alapján annak eldöntése, hogy milyen beavatkozásra van szükség a halgazdálkodás számára jó vízminőség biztosítására.

Halastavak hidrológiai jellemzésére, valamint vízének a fizikai és kémiai vizsgálatára az alábbi paraméterek rendszeres (heti 1-2 alkalommal), vagy szükség szerint esetenkénti vizsgálata javasolható:

1. vízállás feljegyzése a zsiliphez erősített vízmércéről,
2. átlátszóság mérése Secchi-koronggal,
3. felszíni és üledék feletti víz hőmérséklet mérése délután,
4. pH-mérés délután, pH=6-10 között mérő indikátor oldattal (nem pH-papírral!), vagy nagyobb gazdaságokban hordozható pH-mérővel, magas délutáni pH esetén kora reggel is,
fenolftalein indikátorral megállapítható, hogy a pH 8,3 feletti vagy sem,
5. lúgosság mérése vízvizsgáló készlettel, szükség szerint,
6. keménység mérése vízvizsgáló készlettel, szükség szerint
7. kémiai oxigénigény mérése (KOI_{Mn}) vízvizsgáló készlettel, ha a Secchi-átlátszóság 20 cm vagy annál kisebb,
8. oldott oxigén mérése vízvizsgáló készlettel, nagyobb gazdaságoknál hordozható oldott O_2 -mérővel, délutáni alacsony értéknél éjjel és hajnalban is,
9. összes ammónia mérése vízvizsgáló készlettel (mérési tartomány: $0-1 \text{ mg.l}^{-1}$) és az NH_3 számítása a délutáni pH és víz hőmérséklet alapján,
10. oldott reaktív foszfor mérése vízvizsgáló készlettel (mérési tartomány: $0-0,25 \text{ mg.l}^{-1}$),
11. összes szulfid mérése vízvizsgáló készlettel (mérési tartomány: $0-0,25 \text{ mg.l}^{-1}$), és a H_2S számítása a hajnali pH és víz hőmérséklet alapján.

A felsoroltakon kívül csupán rendkívüli vízminőségi helyzetekben lehet szükség egyéb paraméterek vizsgálatára. A fentiek közül az 1., az 5-8. és a 11. paraméter vizsgálata szükség szerint, legalább 2-4-hetenként célszerű, de jól kezelt tónál nem feltétlenül

szükséges. A 2-4. és a 9-10. paraméterek heti kétszeri mérése a megfelelő tókezelések kiválasztásához feltétlenül javasolható (lásd a 2.5.8. fejezetet).

2.5.8. A tókezelés elméleti alapjai - meszezés, szerves- és műtrágyázás

A tókezelési eljárásokkal növelhető a víz formált élő és élettelen szerves anyagainak a koncentrációja és ezzel a tó potenciális haltermelő képessége. A szervestrágyával bevitt kész szerves anyag azonnal rendelkezésre áll a fogyasztó szervezetek számára, de oxigénfogyasztása miatt csupán a reggeli órákban adagolható és akkor sem korlátlanul. Másrészt a zooplankton és a halak csupán a fitoplankton fogyasztásával juthatnak hozzá a létfontosságú telítetlen zsírsavakhoz. A fitoplankton biomasszájának/fotoszintézisének a növelése tehát nem csupán az O₂-termelés miatt lényeges. A megfelelő tápanyag-ellátás az algák igénye alapján történhet.

Az algák legfontosabb tápanyagai a szén, a nitrogén és a foszfor. A többi tápelem rendszerint mindig elegendő koncentrációban fordul elő a tóvízben. A tápanyagokkal kellően ellátott algákban mintegy 50 % C, 10 % N és 1 % P van. A fotoszintézis sztöchiometriájából adódóan a három elem aránya grammatom-tömegben kifejezve: C:N:P = 106:16:1, vagy tömegben kifejezve: C:N:P = 44:7,2:1. Ez azt jelenti, hogy az algák ideális tápanyagellátásához egységnyi tóvízben például 1 mg P-ra 7,2 mg N-re és 44 mg C-re van szükség. Az összes szerves szén gyakorlatilag sohasem korlátozza az algák szaporodását, de a délutáni pH 8,34 alatti értéken tartása fontos (lásd szén-formák). A N és a P algák számára hozzáférhető formái az ammónia, a nitrit, a nitrát és az oldott reaktív foszfor, vagyis a három N-forma N-re számított összege kell ideális arányban legyen az oldott reaktív foszforral.

A tóvíz ideális tápanyag-koncentrációjának a számításához az alábbiakból lehet kiindulni:

1. a tóvíz ideális a-klorofill koncentrációja átlagosan 150 mg.m⁻³ (100-200 mg.m⁻³),

2. az algák szárazanyagában az a-klorofill és a P egyaránt 1 %,
 vagyis 150 mg.m^{-3} a-klorofill termeléséhez ugyanennyi P-ra ($150 \text{ mg.m}^{-3} = 0,15 \text{ mg.l}^{-1}$) van szükség. A P:N = 1:7,2 arányból kiszámítható, hogy a nitrogén ideális koncentrációja közel $1,1 \text{ mg.l}^{-1}$. Tófeltöltést követően az algákban szegény víz tápanyag-ellátására $0,15 \text{ mg.l}^{-1}$ $\text{PO}_4\text{-P}$ és $1,1 \text{ mg.l}^{-1}$ $\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$ elegendő. A tóvíz folyamatos trágyázásánál az ideális P:N-arány már nehezebben vehető figyelembe, tekintettel az algák P-akkumuláló képességére. Miután közismert a kisadagú műtrágyázás kedvező hatása, ezért az alábbi tótrágyázási program javasolható, ami figyelembe veszi az üledékből felszabaduló P-t is:

1. hétfői és csütörtöki napokon vízvizsgálat: Secchi-átlátszóság, pH, vízhőmérséklet, összes ammónia, oldott reaktív foszfor,
2. a vizsgálati eredmények alapján keddi és pénteki napokon tókezelés:
 - ha a Secchi-átlátszóság 30 cm-nél nagyobb, akkor az oldott reaktív P-t $0,15 \text{ mg.l}^{-1}$ -re, az összes ammóniát $1,1 \text{ mg.l}^{-1}$ -re lehet növelni,
 - ha a Secchi-átlátszóság 20 - 30 cm, akkor az oldott reaktív P-t $0,075 \text{ mg.l}^{-1}$ -re, az összes ammóniát $0,55 \text{ mg.l}^{-1}$ -re lehet növelni,
 - ha a Secchi-átlátszóság 20 cm-nél kisebb, akkor tókezelésre nincs szükség.

Az első két tókezelési példánál a N-műtrágya használatát a víz pH-értéke is befolyásolja. Ha a pH értéke 8,34-nél nem nagyobb, akkor használható NH_4^+ -tartalmú műtrágya a tókezelésre, ellenkező esetben az összes ammónia alakjában mért N-koncentráció kiegészítésére/növelésére csupán NO_3^- -tartalmú műtrágya javasolható.

A műtrágya oldott, vagy szuszpendált alakban a leghatásosabb. A szemcsézett szuperfoszfátot célszerű a kijuttatás előtt porrá őrölni és vízben szuszpendálni, vagy egy éjszakára beáztatni és apróra törve kijuttatni. A P-műtrágyát lehet, a N-műtrágyát pedig ajánlatos a reggeli órákban (de sohasem délután) kijuttatni. A tavak meszezését és bármilyen műtrágyázását egyidejűleg végezni nem szabad. A mész a foszfort kicsapja, az összes ammóniát pedig pH-növelő hatása miatt halakra toxikus NH_3 -ra alakítja át.

A délutáni magas pH (9 fölött), valamint a kora reggeli és a délutáni pH közötti nagy különbségnél javasolható meszezésről a **2.5.1.1.** fejezet végén már volt szó. A mész további formái közül az égetett mész (CaO) algairtásra és az üledék fertőtlenítésére, a méshidrárt (Ca(OH)₂) pedig a víz pH növelésére alkalmas. Az égetett mész vízzel érintkezve veszélyes, ezért a munkavédelmi előírások szigorú betartása elengedhetetlen.

Manapság egyre gyakoribb a műtrágya helyett a szervestrágya használata. Ez érthető ha arra gondolunk, hogy a legtöbb helyen ingyen vagy olcsón hozzá lehet jutni, kész szerves anyaggal gazdagítja a tavat és gyakorlott használatakor (egy ideig) még a vízminőségi problémák is elhanyagolhatók. Számítások szerint mintegy 8-10 kg 30-50 % szárazanyag-tartalmú trágyából állítható elő 1 kg halhús. A kérdés csupán az, hogy meddig folytatható ez az eljárás a tó üledékének a jelentős feltöltődése, továbbá az O₂-hiány és az ezzel együtt járó összes kedvezőtlen folyamat megindulása nélkül. A tó ideiglenes kivonása a termelésből, a szárazonállás beiktatása mindenesetre ilyen esetben különösen fontos és javítja a tó regenerálódását.