

2012.

Az árpaszalma és alkalmazása a vizek algásodásának visszaszorítására

Tervezési feladat, biomérnök, BSc
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem



1. kép: Szalmabála
(http://www.orszagalbum.hu/szalmabala_p_2325)

Stiller Éva

2012.12.02.

Az árpaszalma általános tulajdonságai:

- Mezőgazdasági és erdészeti eredetű nem veszélyes hulladék, mely a közismert árpa (*Avena sativa*) betakarítása közben keletkező melléktermék.
- Szilárd halmazállapotú:
 - szárazanyag tartalma 80–90%:
 - 35–41% cellulóz
 - 20–25% hemicellulóz,
 - 10–15% lignin, és
 - 4–10% hamu.
 - nedvességtartalma 10–20%
 - izzítási vesztesége (LOI) 90–95%
 - C/N aránya pedig > 500.

Összetétele nem specifikus a beszállítóra. Magyarországra vetítve az átlagos éves mennyisége - az adott évi időjárás függvényében- kb. 1.480.000 t.

Általában kerti tavakban alkalmazzák az algák elszaporodásának megakadályozására, pellet, „golyócska” vagy bála formában. A mezőgazdaságokban előforduló kellemetlen szagok (istállószag) enyhítésére is alkalmazható, az állatok alá terítve.

Többféle talajremediációs célra is alkalmas, mint például:

- speciális tápanyag kielégítésre,
- talajlazításra, tömörödött talajok textúrájának javítására,
- ingoványos talaj stabilizálására (fizikai stabilizálás),
- kémiai stabilizálásra,
- vagy akár geotechnikai elemek előállítására is.

Az árpaszalma felhasználási lehetőségei:

1. Kerti tavak tisztítása

Lembi tanulmánya (<http://www.btny.purdue.edu/pubs/APM/APM-1-W.pdf>):

- Állóvizek - beleértve a nagy víztározók kerti tavak és csatornák- algásodásának megakadályozására, használnak árpaszalma bálákat.
- A gombák bontják az árpaszalmát a vízben, amely kémiai elsőbbséget élvez, és ez megakadályozza az algák növekedését.

- Laboratóriumi vizsgálatok során az angol kutatók úgy találták, hogy az árpaszalma nem hat valamennyi algafaj növekedésének szabályozására. Tény, hogy egyes vizsgálatok ellentmondásosak, azt állítva, hogy bizonyos algák fogékonyak, míg más tanulmányok azt állítják, hogy ezekre az algák nem fogékonyak.
- A legtöbb esetben azonban, a víz egyértelműen tisztább maradt hosszabb ideig, és ez annak köszönhető, hogy csökkenek az algapopulációk.

Everall and Lees, 1997-es tanulmánya:

- Árpa szalma jelenléte: egy használaton kívüli vízellátó tartályban jelentősen csökkentette a cianobaktérium és általános fitoplankton tevékenységet
- Az alga kontrollnak és a fitotoxikus vegyszeres "koktél" hozzáadásnak, a szalma bemelegése volt a kezdete, amit egy 3 hónapos lebomlási időszak követett.
- A szalma csurgalékvizének toxicitása a fitoplanktonokra a toxikológiai szempontból jelentős szintű fenolok és oxidált fenolok jelenlétével magyarázható.
- Optimalizálás: a fitoplankton szint ellenőrzésének segítségével történt.

2. Talajjavítás növényi maradvánnyal:

Beare *et al.* (2002) tanulmánya:

A fenntartható-növénytermesztési rendszerek fejlesztésére betakarítás utáni növényi maradványokat használnak.

- A hatását a bekeverés időpontja (őszi bekeverés [AI] vs tavaszi bekeverés [SI]) és az öntözés (öntözött [IRR] vs nem öntözött [NIRR]) befolyásolja. Az árpaszalma bomlását és mikrobiális aktivitásának kapcsolatát vizsgálták.
- Összességében elmondható, hogy az IRR és az AI növelte a nyári árpa a szárazanyag hozamát és N felvételét a nyári árpa terményben, ami egyidejűleg csökkentette a talajban az ásványi N szintet a NIRR SI kezelésekhez képest.

Mueller *et al.* (1998) tanulmánya:

- Daisy-modell: a modellt független eredményekkel támasztották alá, melyek 1 éves szabadföldi vizsgálatból származtak. Vályogos talaj felső 15 cm-es rétegébe vágott árpaszalmát, réti perjét, és kukoricát forgattak.
- A vizsgált paraméterek a következők voltak: talajlégzés, a talaj ásványi N-tartalma, a talaj mikrobiális biomassza-C és a N-tartalmának dinamikája és a hozzáadott szerves

anyag várható bomlása a hozzáadott szerves anyag függvényében (mérték a szerves anyag könnyű frakciójának mennyiségét)

- Jelentős különbségeket tapasztaltak minden paraméter értékének alakulásában a modell és a vizsgálat eredményei, a mért értékek között. Ugyanakkor a legjobb összefüggést a kezeletlen kontroll és az árpa mutatta a másik két kezeléssel szemben.

3.Talajok stabilitásának növelése:

Bouchia *et al.* (2005) tanulmánya:

- Az olcsó és megfizethető lakásépítés hiánya Algériában arra vezetett számos kutatót, hogy helyi, olcsó építőanyagot találjon.
- A föld-építés széles körben elterjedt sivatagi és a vidéki területeken, de problémás az anyag zsugorodásából eredő repedezés, az alacsony szilárdsága és a nem éppen tartós mivolta.
- A természeti és növényi rostok javíthatják ezt. Ez a tanulmány beszámol egy kísérletről, amely megvizsgálta a kompozit talajba erősített árpa szalma felhasználását négy különböző talajon.
- A hatást a szálhossz és a rost frakció befolyásolta.
- A zsugorodás, nyomószilárdság, hajlítószilárdság és nyírási szilárdságot vizsgálták.
- Előzetes vizsgálatokat végeztek a tartósság fokozására, különböző vízzáró vakolatok segítségével.
- Az eredmények azt mutatták, hogy a megfelelő árpaszalma arány alkalmazása csökkenti a különböző talajok zsugorodását, szükséges hőkezelésük mértékét és javítja a nyomószilárdságot.

4.Peszticidek biodegradációjának elősegítése:

US EPA

(http://cfpub.epa.gov/ncer_abstracts/index.cfm/fuseaction/display.abstractDetail/abstract/1727/report/0):

- A kiterjedt és széles körű peszticid (azaz herbicidek / növényi növekedést szabályozó, inszekticidek / féregirtók, fungicidek, füstölőszer) használatnak az Egyesült Államokban az elmúlt évtizedekben az lett az eredménye, hogy gyakori a kimutathatósága a felszín alatti vizekben.

- Jelenlegi becslések azt mutatják, hogy 970 millió tonna hagyományos peszticidet használnak az Egyesült Államokban egy átlagos évben. Az amerikai lakosság több mint 50 százaléka kapja ivóvizét a felszín alatti vizekből.
- Ezen komoly problémára a bioágyak alkalmazása jelenthet költséghatékony megoldást, mivel egyszerű designnal rendelkeznek, könnyen és olcsón karbantarthatóak, kialakításukhoz olcsó anyagok állnak rendelkezésre a mezőgazdasági termelők hulladékai által.
- A bioágy egy olyan négyszögletes mélyedés, amely alulról ki van bélelve agyaggal vagy egy szintetikus anyaggal, hogy megakadályozzák a peszticid kilúgozódást az alapul szolgáló talajba. A lukat talaj / tőzeg és egy lignocellulóz szubsztrátum keverékével töltik fel, amely elősegíti a mikrobiális aktivitást, és fedőként fűréteget alkalmaznak a nedvesség veszteség megakadályozására.
- Az árpaszalma, és a kukorica betakarítás következtében keletkező hulladék alkalmazása esetén is nagyon jó peszticid bontást figyeltek meg. Ezek szerkezete sokkal lazább, ezért könnyebben szívják fel a peszticideket és könnyebben bomlanak le. A kukoricacsutka viszont nem bizonyult ilyen hatásosnak, ami valószínűleg abból adódik, hogy nagyon tömör az állaga, ezért kevésbé képes a peszticid felszívásra.

Everall és Lees által készített esettanulmány részletes ismertetése (1997):

Először 1993-ban Newmann és Baret fedezett fel összefüggést az árpaszalma bomlása és a fitoplankton kontrollálása között felszíni vizek esetén, de ekkor még a pontos hatásmechanizmust nem azonosították. Majd 1997-ben Everall és Lees kutatásokkal demonstrálta, hogy az árpaszalma és a fitotoxikus vegyszerek egyidejű alkalmazásával hatékonyabban kontrollálhatóak a fitoplanktonok. 1994-95 között a Linacre Alsó és Középső víztározója súlyos cianobaktérium okozta toxikus virágzást szenvedett el. Elméletüket így a gyakorlatban is letesztelheték. Erre a víztározó alkalmasnak bizonyult, a referencia-tározó és az ellenőrizhető feltételek miatt. A tanulmány az alsó medencében, a bomló szalmából kioldódó vegyi anyagok vizsgálatára is kitért.



2. kép: Linacre víztározó (<http://www.visitchesterfield.info/dms-derbyshire.asp?dms=13&venue=6027989>)

A Linacre patak egy földalatti forrásból ered. A vízfolyások által kimélyített gyűjtőmedencéket kihasználva építették a víztározó rendszert 1854 és 1911 között. A felső-, közepső-, és alsó-, víztestek 572.800 m³, 409.900 m³ és 140.000 m³ kapacitásúak.

A teszt során az alsó és a közepső tározók maximum 10 méteres mélységűek lehettek.

1995. április 12-én 3,5 t árpaszalmát helyeztek el 6 helyen az alsó tározó, különböző pontjain. Ezeket a próba ideje alatt állandóan a víz felszínén tartották. A beömlő szelep megnyitásával 1Ml/nap állandó térfogatáramú víz áramlott a közepsőből az alsó medencébe. 1995. október első hetében távolították el a szalmát.

Mintagyűjtésre (11) hetente került sor az 1995. januártól októberig tartó időszak alatt. Mindhárom tározó esetében a víztározók partján 0,1m mélységben, elkerülve a marginális növényzet és a tengeri algák felhalmozódását a mintában. Ezen mintavételek során ellenőrizték a fitoplanktonokat és a zooplanktonokat a sejt és nemzettség (egyedszám) szintjén is. Továbbá nyomon követték a víz minőségét valamint a szerves anyagok mennyiségének változását.

Spektrofotometriásan elemezték a víztározók felszínéről vett mintákat és a bennük található klorofill mennyiség alapján sorolták be az algákat faj és nemzettség szintjén.

További mintákat vettek kéthetente a közepső és az alsó víztározókból, melyeket a Severn Trent Laboratóriumba küldték tápanyagelemzésre. Többek között vizsgálták az ortofoszfát, nitrát és szilícium-dioxid tartalomra is a „blue book” protokoll alapján.

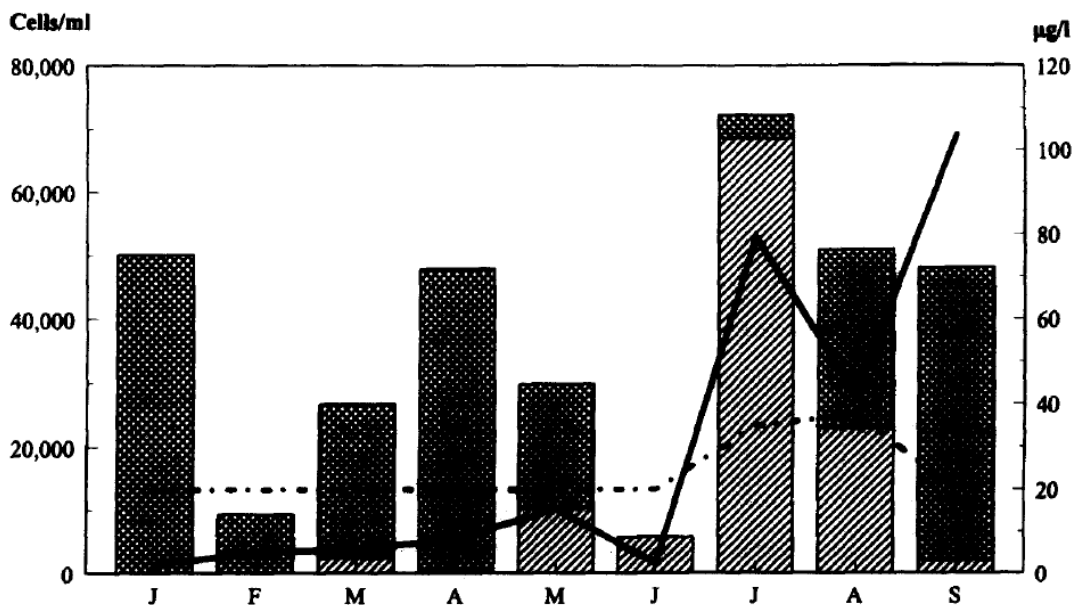
A szerves vegyületek összetételére vonatkozó vizsgálatok számát megemelték az alsó tározó esetében március és szeptember között havi mintavétellel, melyet mindig összevetettek a kontroll mintával, azaz a közepső tározóból vett mintákkal. Minden esetben három mintát vettek a folyásirányban elhelyezett szalmától 0,5, 100 és 500 m-re. Ezen kívül 10 g-os mintákat vettek a szalmából is, amit 1 l de-ionizált vízbe helyeztek, és hagyták állni 16 órán keresztül. Szeparáltan kezelték a kontroll miatti másik 1 l-es de-ionizált vizet. A laborban a mintákat a GCMS módszerrel vizsgálták. Az oldószeres extrakció után a

mérés kimutatta a szerves vegyületek széles skáláját a vízmintákban. A kivonatok kombinált tömegspektrometriás (GLC-MS) módszerrel való vizsgálatával meghatározták a bennük lévő szerves vegyületek mennyiségét. Kiterjedt elemzést végeztek a gyomirtók jelenlétére is a szalma kivonatban. A kémiai vegyületeket a kivonatokból számítógépes adatbázisokkal történő összevetéssel azonosították, de például a fahéjsav esetében megfelelő standardhoz hasonlították.

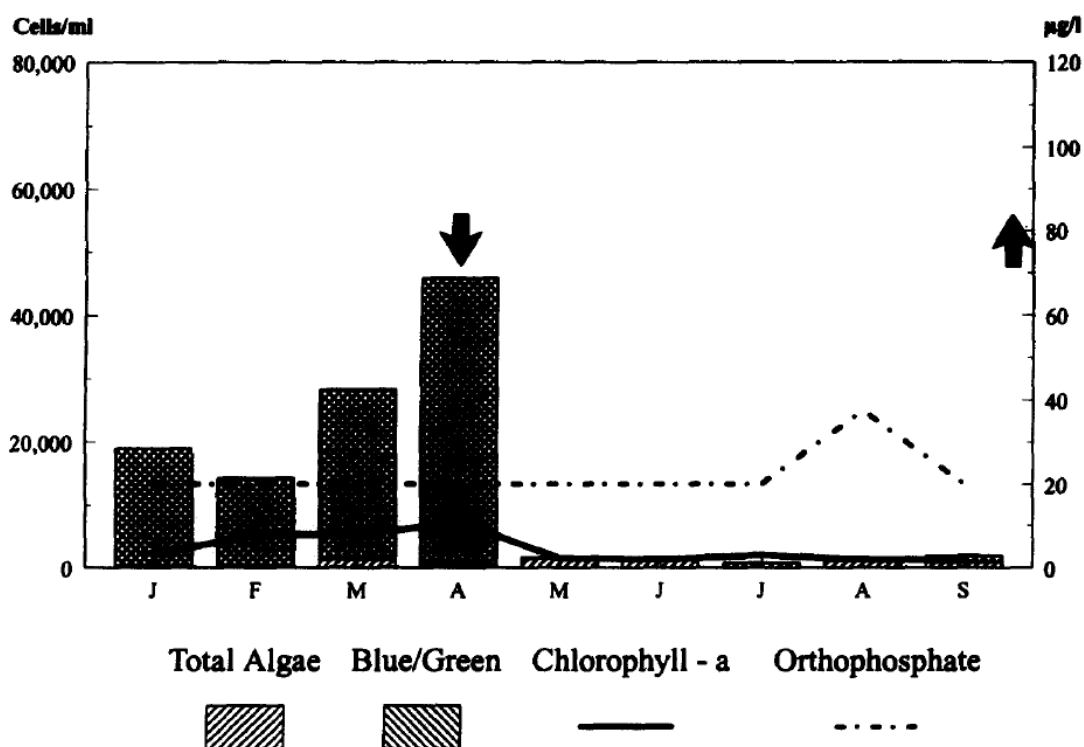
Az eredeti teljes és cianobaktérium számot, a klorofill-a és az ortofoszfát mennyiségi adatokat rögzítették az alsó és középső tározó felszíni vizei esetén. A szalma alkalmazása előtt és után is rögzített adatokat páros T-próbának vetették alá.

Eredményül azt kapták, hogy az árpaszalma hatására a kísérletet követően az alsó víztározóban az 1995. április közepi adatok alapján a havi átlagos algaképződés ($P < 0,0001$), a klorofill szint ($P < 0,05$) és a cianobaktériumok dominanciája ($P < 0,0001$) is jelentősen csökkent, a középső tározó adataival összevetve. Nem mutatható ki jelentős különbség az ortofoszfát szintben a szalmakísérlet során. Emellett a tápanyag limitáló ortofoszfátnak a június-júliusi időszakban mutatott szintemelkedése is csak a középső tározóban járt alagszint emelkedéssel (1. ábra). Kulcsfelfedezés volt, hogy a megfelelő fitoplankton kontroll szintet az alsó tározóban 12 nap alatt elérték el (1. ábra).

Linacre Middle (Reference Reservoir)



Linacre Bottom (Straw Reservoir)



1. ábra: Az algavirágzás változása hónapokra bontva (Everall and Lees, 1997)

Az azonosított vegyületek listája és azok számított koncentrációja a naturált és denaturált kivonatok az alsó tárolóban elhelyezett árpaszalmából az 1. táblázatban kerültek ismertetésre. Ezek szerint a mintákban nem volt kimutatható se gyomirtó, se kardamid származék.

A szalma mellett talált vegyületek szintjét alapul véve, a 2. táblázat tisztán bizonyította a leülepedő kémiai „plume” csóvhatását 24 óra elteltével.

1. táblázat: Az árpszalma alkalmazása során kioldódó vegyületek (Everall and Lees, 1997)

Algal control using barley straw

Table 1. Concentrations ($\mu\text{g kg}^{-1}$) of the "major" trace organic compounds identified from the barley straw placed in Linacre Bottom reservoir

Compound	Concentration range ($\mu\text{g kg}^{-1}$)
Acetic acid	10-100
3-Methylbutanoic acid	10-100
2-Methylbutanoic acid	10-100
Hexanoic acid	100-1000
Heptanoic acid	10-100
Octanoic acid	100-1000
Nonanoic acid	100-1000
Decanoic acid	100-1000
Dodecanoic acid	100-1000
Tetradecanoic acid	100-1000
Hexadecanoic acid	100-1000
1-Methylnaphthalene	100-1000
2-(1,1-Dimethylethyl) phenol	100-1000
(1,1-Dimethylethyl)-4-methoxyphenol	10-100
2,6-Dimethoxy-4-(2-propenyl) phenol	100-1000
2,3-Dihydrobenzofuron	100-1000
5,6,7,7A-Tetrahydro-4,4,7A-trimethyl-2 (4H) benzofuranone	100-1000
1,1,4,4-Tetramethyl-2,6-bis(methylene) cyclohexone	100-1000
1-Hexacosene	100-1000
11 unidentified organics	6-10-100
	5-100-1000

2. táblázat

Table 2. Concentration ($\mu\text{g L}^{-1}$) of the "major" trace organic compounds identified in the "reference" Middle and c. 0.5, 100 and 500 m downstream of decomposing barley straw in Linacre Bottom Reservoir from March to September 1995

Compound	Concentration range ($\mu\text{g L}^{-1}$). Month (1995) and sampling site																							
	March (2 sets)			April (24 h after straw in)			June			July			August			September								
	Ref.	100 m	500 m	Ref.	0.5 m	100 m	500 m	Ref.	0.5 m	100 m	500 m	Ref.	0.5 m	100 m	500 m	Ref.	0.5 m	100 m	500 m					
Acetic acid				C									C						C					
3-Methyl butanoic acid				C	D							C												
Pentanoic acid				D									D											
Hexanoic acid				D	E																			
9-Hexadecanoic acid											D													
Hexadecanoic acid											D													
9-Octadecanoic acid																								
Octadecanoic acid																								
Eicosanoic acid																								
Docosanoic acid																								
Benzene acetic acid																								
Benzene propanoic acid																								
Benzic acid																			A					
1,2 Dimethylbenzene												C							B					
Benzene												C												
Ethylbenzene																			B					
Benzaldehyde																			C					
Benzene acetonitrile																								
Phenol																								
3-Phenyl-2-propenoic acid																			B					
4-Methyl phenol						D																		
2-Methoxy-4-methyl phenol					C																			
(1,1-Dimethylethyl)-4-methoxyphenol					C	D																		
2,6-Dimethoxy-4-phenol					C																			
1-(4-Hydroxy-3,5-dimethoxyphenyl) ethanone																								
3-Methyl-3-buten-2-one																								
1-Phenyl ethanone																			D					
2-Pentadecanone																			B					
2-Heptadecanone																			D					
3-Methyl-3-buten-2-ol																								
2,3-Dimethyl-3-buten-2-ol																								
3-Pentan-2-ol																								
2-Methyl-1,3-dioxolone																								
3-Ethyl-2,2-dimethoxyoxane																								
2-Methyl-2-propenoic acid ester							E	E	D															
Dimethyl disulphide																								
Dimethyl trisulphide																								
Geosmin																								
Unidentified organics	D	D	D	E	B	C	D	E	E	D	E	C	C	E	E	D	A	C	D	E	E	C	E	E

A = 100-1000 $\mu\text{g L}^{-1}$; B = 10-100 $\mu\text{g L}^{-1}$; C = 1-10 $\mu\text{g L}^{-1}$; D = 0.1-1 $\mu\text{g L}^{-1}$; E = <0.1 $\mu\text{g L}^{-1}$. NB: No samples were taken in May.

A kémiai csóva az ismert fitotoxinokhoz hasonlóan működhet, és ez feltehetően bizonyítja az azonnali és jelentőségteljes csökkenést a fitoplankton populációkban az alsó tározóban (1. ábra).

Az eredmények kimutatták, hogy az árpaszalmától a folyásirányban kb. fél méterre az alsó tározóban a szerves kémiai anyagok mennyisége 14–142 µg/l volt és ez hozható összefüggésbe a cianobaktérium populáció azonnali csökkenésével.

Közvetlenül a bemerítést követően a szalmából kimosódó anyagok mennyisége még nagyobb lehetett a csóvában, ez további vizsgálatokat igényel.

Megállapítható továbbá, hogy a fitoplankton szint változása nem hozható összefüggésbe az időjárási körülmények vagy a tápanyag mennyiségének változással, mivel a középső-/felső víztározóval való összehasonlítással ezt ellenőrizték. Az árpaszalmáról bemosódó anyagok időrendi kioldódásával részletesebben egy másik tanulmány foglalkozik (Everall and Lees, 1996).

A fitoplanktonok mozgékonyasága miatt lehetséges, hogy az alगतömeg nagy része érintkezésbe került a szalmával. Így fordulhatott elő, hogy a középső tározóból „idevándorolt” alga is kapcsolatba került a szalmabálákkal.

Júliusban, és az azt követő három hónapban periódikusan csökkent a mikrobák száma és volt egy második hullámú alacsony vegyszer kimosódás a szalma közelében, mely adatokat szintén a 2. táblázat részletez. A metoxifenolok meglehetősen toxikus szintet ért el a szalmához közel július-augusztusban, és ezzel egyidőben figyelték meg a fitoplankton szint elnyomódását az alsó tározóban. Az oxidált fenolok toxikusabbnak bizonyultak néhány fitoplanktonra, mint a nem oxidáltak (Pillinger *et al.*, 1994).

A szalmában található lignin, lehet a forrása a metoxifenol vegyületeknek (Ridge *et al.*, 1995) és kioldódása megfigyelhető az árpaszalmából. (Kivaisi *et al.*, 1990) A lignin cellulóz után a második leggyakoribb szerves polimer a földön. A növények egyedfejlődése során a sejtfalban rakódik le, annak szilárdságát növeli. Ezt a folyamatot fásodásnak vagy lignifikációnak nevezik. A potenciális eredete az anti-alga oxidált fenoloknak nem szükségszerűen korlátozódik csak az árpaszalmára, habár nem volt ökológiailag vagy környezettanulmányilag elfogadható más alternatív anti-alga tanulmány. Újabb keletű anti-alga tanulmányok elbomló tölgyfalevelekkel ígéretesnek látszottak (Ridge *et al.*, 1995). Mindkét anyag ételmelet és védelmet biztosít a gerinctelen állatok széles csoportjának.

A vízben lebomló árpaszalmából kimosódott vegyületek direkt mérgező hatása talán nem a komplett magyarázata a fitoplankton kontrollnak a felszíni vizekben. A 1996-os tanulmány és jelenlegi tanulmányok azonosítottak több mérgező fenolvegyületet, melyek fototranszformációja tudvalevően az oxigéndús felszíni vizekben játszódik le. Az ezt megelőző szalmaátmosódásnál szintén kimutattak benzofuránt és más oxidált fenolokat

(Appel, 1993) . A fenolok fototranszformációjának mellékterméke: a filotoxin, hidrogén-peroxid és -szuperoxid (Canonica, 1995).

Barrett *et al.* (1994) tanulmánya előre vetítette az árpaszalma bomlásából eredő vegyületek fotolízisének algagátló hatását. A szalma báláknál jól ismert íz és szagkeltő anyagok, a dimetil-diszulfid és dimetil-triszulfid termelődött augusztusban. A fitoplankton és kémiai „plume” mozgásának tanulmányozása és modellezése a szalmabálákat tartalmazó víztározók esetén hasznos lehetőséget nyújt az algavirágzás elkerülésének érdekében.

Hasonlóan az árpaszalmához egyéb természetes hulladékok is, mint például tölgyfalevelek is használhatóak a folyóvizek minőségének javítására, az alga növekedés visszaszorításra és az állati közösségek diverzitásának növelésére. Ezek vizsgálataiban sok további lehetőség rejlik.

A tanulmány alapján levonható konklúzió:

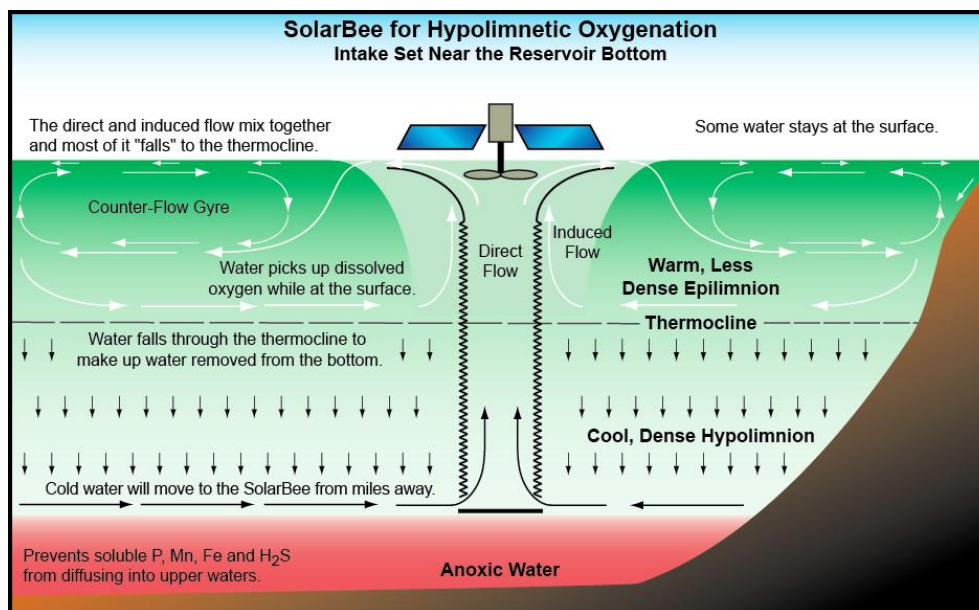
1. 25g/m^3 elbomló árpaszalma jelenléte a víztározó felszínén áprilistól októberig (1995-ben) jelentős kontrollt produkált a cianobakteriális és általános alga növekedésben.
2. A fitoplankton kontroll kapcsolatba hozható a fitotoxikus koktéllal, ami a szalmabálák közelében két hullámban jelentkezett: a kezdeti majd az azt követő 3 hónapos bomlási időszak alatt.
3. A fenolok voltak a legjobban a fitoplanktonra mérgező anyagok az árpaszalmáról lejutó csurgalékban, pl. a 4-metilfenol és bizonyos oxidált fenolok, vagy a 2,6-dimetoxi-4-fenol.
4. Megfelelő fizikai-kémiai környezet szükséges az elbomló szalma által okozott optimális fitoplankton kontrollhoz: a tározó oxigenizálása, semleges-lúgos pH, a szalma és alga tömegének közeli azonossága, alámerített, de a felszínen történő fenntartás, és a nyitott napsütötte vízfelszín.
5. Nem találtak az ivóvízre veszélyes szennyezési rizikófaktort a kísérlet során.

Az algagátlás további lehetséges alternatívái:

1. Napelemes keringtetés:

Hudnell *et al.* (2010) tanulmánya:

Az édesvízi káros algavirágzás (FHABs Freshwater harmful algal blooms,) komoly kockázatot jelent az emberi és állati egészségre, vízi-ökoszisztéma fenntarthatóságra (Hudnell *et al.* 2010). Számos kutatás folyik az FHAB megelőzésére, visszaszorítására és megszüntetésének módszereire. Innovatív, rövid távú megközelítések szerint az FHAB megelőzésére és csökkentésére van szükség, az emberi egészség, a vízi ökoszisztémák és gazdaságok védelmének érdekében (Hudnell and Dortch, 2008). Az FHAB akkor fordul elő a leggyakrabban, amikor a négy pozitív tényező egyszerre van jelen. Azaz fennáll a megfelelő tápanyag mennyiség, meleg ($> 20\text{ }^{\circ}\text{C}$), napfény és nyugodt vagy állóvíz (Paerl *et al.*, 2007). A hőmérséklet nem kontrollálható nagy víztesteknél, és túlságosan költséges még a kisebb víztestek esetében is. A tanulmány új lehetőségként veti fel a napelemes technológia alkalmazását (SPC) az FHAB elnyomására és a megelőzésére.

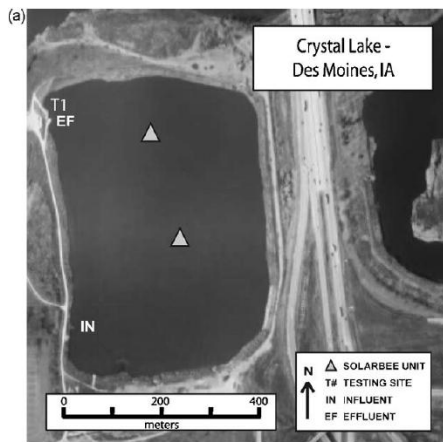


3. kép: <http://www.vitalbodies.com/blog/2009/04/22/earthday-everyday-for-lakes-ponds-and-reservoirs/>

Esetek:

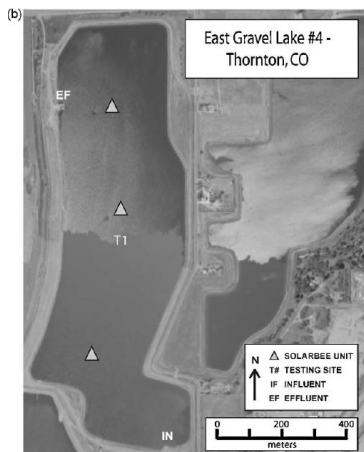
i.) Crystal tó (Des Moines, Iowa-ban található) egy vízzel töltött kavicsbánya. Nyers-víztározóként szolgál a szomszédos McMullen Ivóvíz-telepnek. A vizet folyamatosan vezetik a Raccoon-folyóba figyelembe véve a tó 18.930.000 L / napos vízforgalmát. A tó szinten tartása miatt ugyanazt a mennyiségű vizet vissza is kell szívni a telepbe.

A tározóban nagyon magas a tápanyag tartalom, és a nyáron rendszeresen tapasztalt gyakori cianobaktérium virágzás aggodalomra adott okot, mivel az a folyóba is bekerül, és így veszélyezteti annak ökoszisztémáját. Mesterséges algairtókat nem használtak szintén az ökoszisztéma megóvása céljából. Alternatív megoldásként 2006-ban 2 napelemes egységet telepítettek a tározóba és rendszeres mintavételek segítségével analizálták a rendszer alkalmazásának hatásait a cianobaktériumok és az algák mennyiségére.



4. kép: Crystal tó és a napelemes egységek (2 db)

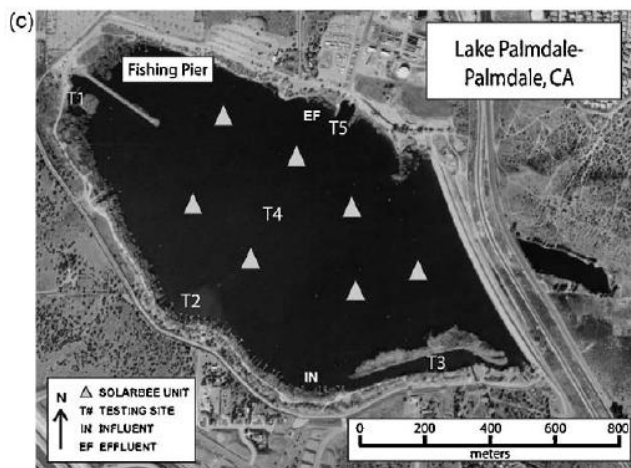
ii.) Az East Gravel-tó (EGL4) Thornton városában, Colorado államban található, és része egy multi-víztározó rendszernek. A nyersvíz tározó komplexumban nagy a tápanyagfelhalmozódás, ami a nagy mennyiségben befolyó nitrát és foszfát tartalmú vegyületeknek köszönhető (másodlagos szennyvíz). Ebben az esetben is állandó nagymértékű cianobaktérium virágzás volt tapasztalható a nyári időszakokban. Itt azonban réz-szulfát oldattal és aktív szénnel már próbálkoztak a kontroll érdekében. Végül 2003-ban 3 napelemes vízforgató készüléket helyeztek el a tározóban. 2005-ben ezeket felújították a folyamatos és korszerű algagátlás érdekében.



5. kép: East Gravel-tó és az elhelyezett napelemes egységek (3 db)

iii.) A Palmdale-i tó California államban található, és szintén nyers víztározóként szolgál, hogy kiszolgálja a szomszédos mezőgazdasági területeket. A tavon rendszeresen mérhető nagy szélesség, de ez támogatja a csónakázást, horgászatot, vadászatot, és a repülőgépek navigációs pontonjait. Az emberi testtel való érintkezésre azonban nem alkalmas, így ezt a fürdést tiltó táblákkal próbálják megakadályozni. Az itt tapasztalható algavirágzást is réz-szulfát használatával próbálták csökkenteni, ha a cianobaktériumok szintje átlépett egy bizonyos határértéket ($>15 \mu\text{g/l}$).

6 napelemes egységet telepítettek 2002-ben, majd még egyet 2003-ban és 2005-ben mindet korszerűsítették. 2004 márciusáig az összegyűjtött víz mintákat, legalább havonta ellenőrizték. De a későbbiekben is utóellenőrzéseknek vetették alá a víztározót. Az eredményeket zooplankton/ köbméterben mérték.



6. kép: Palmdale-i tó és az elhelyezett napelemes egységek (7 db)

Összegzés:

3. táblázat : Az egyes tározók különböző algaszintjei

Table 2
Planktonic densities pre- and post-SPC initiation.

	Total algae	Cyanobacteria	Green algae	Diatoms	Zooplankton
Crystal pre	86,302 ± 13,834	85,447 ± 13,799	871 ± 90	NA	NA
Crystal post	8,668 ± 972	5,161 ± 524	3,665 ± 380	NA	NA
EGL 4 pre	1,796 ± 862	72 ± 41	1,534 ± 850	135 ± 30	NA
EGL 4 post	306 ± 87	3.9 ± 1	45 ± 8	232 ± 86	NA
Palmdale pre	4,228 ± 848	426 ± 148	1,528 ± 423	2,216 ± 769	169 ± 56
Palmdale post	7,977 ± 2,449	967 ± 446	888 ± 214	4,436 ± 2,211	984 ± 272

Numbers are means ± standard errors of the means; NA: not available. Units are cell/mL at Crystal and Palmdale, and units/mL at EGL 4. Bolded values are statistically significant at $p < 0.05$; between-site comparisons are inappropriate. Algaecides were never used at Crystal, whereas copper sulfate usage declined by 85% at Palmdale and from 1–2/month to 1–2/year at EGL 4 after SPC initiation.

A vizsgálatok azt mutatták, hogy az SPC az epilimnionban (vízfelszíni rétegben) határozottan elnyomta az édesvízi káros algavirágzást még a tápanyagban gazdag vizek esetén is. A klorofil és kovamoszatok denzitása megemelkedett, ahogy a cianobaktériumok mennyisége csökkent. Bár a mechanizmus, amely az SPC segítségével elnyomta FHAB-t továbbra is ismeretlen, a bizonyítékok azt mutatták, hogy az elnyomás nagysága nőtt az idő múlásával.

Az SPC hatékony megközelítésnek bizonyult a káros algavirágzás megakadályozására.

2. Vertikális függöny alkalmazása:

Asaeda *et al.* (1996) tanulmánya:

A Japán Kyushu szigetén található Terauchi Dam Víztorozó komoly vízminőség romlással szembesült, főként a nyári időszakban az eutrofizáció miatt. A túlzott fitoplankton virágzás a felelős a víztározóban tárolt víz zöldes színéért, csökkent átláthatóságának és az oxigénhiányos állapotnak a kialakulásáért, ami nagyban megnehezíti a víz felhasználását. Ezért, szükségessé vált egy olyan környezetbarát és műszakilag megvalósítható és könnyen beépíthető eszköz használata, ami segít abban, hogy az eutrofizáció káros folyamatait enyhítse. Egyes rendelkezésre álló módszerek többféle lehetőséget biztosítanak ebben a kategóriában, mint például a tápanyag elterelése, a hígítása, a foszfor inaktiválása, vagy eltávolítása.

A folyó vize elegendő tápanyagot szállít az epilimnion rétegbe a fitoplanktonoknak és úgy tűnik, hogy ez felelős az algavirágzásért.

A „szádfal módszer” (2. ábra) lényege, hogy amikor a tározót tápláló folyó beáramlik, a tározóban lévő vizet mozgásba hozza és tolja maga előtt. A beáramló víz a nyári-időszakban tápanyagban gazdag, ami nekiütközve a függönynek lesüllyed a tartály aljára. Ezt egymás után kétszer alkalmazzák, a megfelelő hatékonyság elérése érdekében. A beépített függöny szerepe a felszínen felhalmozódó alga tápanyagoktól való elválasztása. A süllyedés során lehűl, tehát az eredetileg melegen befolyó víz, öntözésre alkalmas optimális hőmérsékletre csökkenthető.

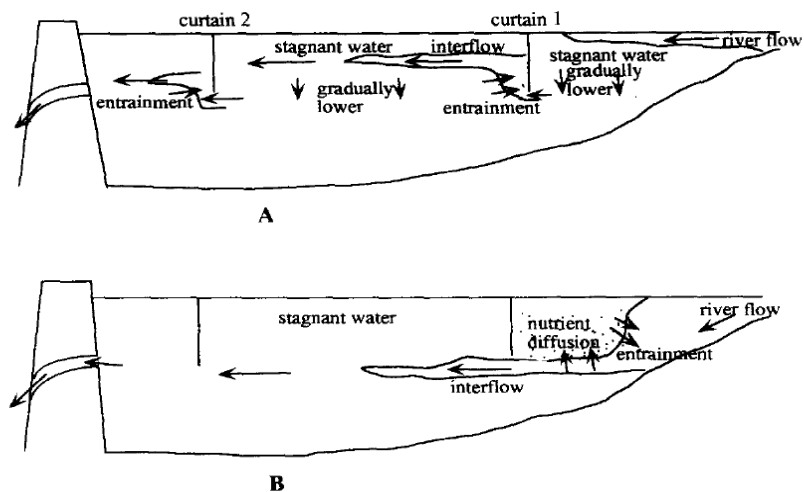


Fig. 4. Illustration of possible mechanisms after installing curtains (A) during early spring (B) during late spring and summer.

2. ábra: A vertikális függöny illusztrációja (Takashi *et al.*, 1996)

Összegzés:

- A függöny a tározó felső 4 méterébe lóg bele, mivel itt lehetséges az algák elszaporodása, megfelelő körülmények esetén.
- A függöny módszer alkalmazására leginkább egy hosszúkás tározó vagy tó esetén alkalmazható.
- Ez a módszer egy alacsony költségű technika, amelyet magas fokú megbízhatóság is jellemez, működése egyszerűen ellenőrizhető. A Terauchi víztározóba beépített függöny technika költségeinek körülbelül 75%-át a levegőztetés kiépítése tette ki. A levegőztetés éves karbantartási költsége ugyanannyiba kerül, mint maga a kiépítési költsége, de a függöny karbantartási költségei alacsonyabbak és várható élettartama 10 év.



7. kép: A vízfűggöny alkalmazása a Terauchi Dam víztározónál (Asaeda *et al.*, 2001)

3. Átlevegőztetős módszer:

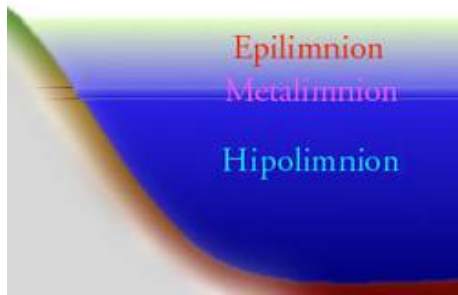
Chipofya *et al.* (2003) tanulmánya:

A tanulmány áttekinti - működés és költséghatékonyság szempontjából-, a sűrített levegős rendszert alkalmazó Mudi tározó esetében az átlevegőztetős eljárást.

- A meleg epilimnionban*, ahol a hőmérséklet 23-26°C közötti szapora alga növekedés figyelhető meg. Az alsó réteg sokkal alacsonyabb hőmérsékletű, és oxigén hiányos állapotban - azaz anaerob körülmények között-, ammónia, szulfidok, vas és mangán szabadulnak fel az üledékből.
- Ennek eredményeként a gazdag tápanyag beáramlás valamint a tropikus környezeti hőmérsékletet ideális terepet biztosít az algavirágzáshoz.

- Az ilyen problémák esetén megoldás a levegő mesterséges keringtetése történik meg közel a beviteli toronyhoz, egy perforált csövön keresztül, amely össze van kötve egy elektromos meghajtású kompresszorral.
- Ez okozza a tározó vízének mesterséges áramlását a hypolimnion* régiójában. Az állandóan forgásban lévő, ellenséges környezetben nem jönnek létre az algavirágzáshoz szükséges feltételek. A tartály oldott oxigén és hőmérséklet profilja gyakorlatilag egységes felülről lefelé.
- A tanulmány arra a következtetésre jutott, hogy kiemelkedően jelentős a költségmegtakarítás a sűrített levegős/ átrétegzéses vízkezelés során.

*az epilimnion (felső réteg) és a hipolimnion(alsó réteg) szemléltető ábrája rétegződő tavak esetén:



3. ábra: A vízrétegek illusztrációja (<http://hu.wikipedia.org/wiki/Hipolimnion>)

Technológia verifikáció:

Kockázat:

- A technológia kockázatát egyedül a már említett (Everall and Lees, 1996) kioldódó vegyületek adják (2. táblázat), melyek veszélyesek lehetnek az élővilág magasabb rendű képviselőire is. Ezt azonban megakadályozhatjuk azzal, hogy nem várjuk meg a szalma rothadását, hanem megfelelő időközönként lecseréljük.
- Az egyes kutatások ellentmondásosak, így nem bizonyított, hogy az árpaszalma valamennyi algafaj növekedésének szabályozására ugyanúgy hat. A legtöbb esetben azonban, a víz egyértelműen tisztább maradt hosszabb ideig, mivel lecsökkentek az algapopulációk.
- A napelemes vízkeringtetés, a levegőztetés valamint a vízfűgöny egyaránt megzavarhatja a vízi élőlényeket, míg az árpaszalma, biztonságos bújóhelyet jelenthet számukra. Ez a legkevésbé kockázatos technológia az algavirágzás kezelésére illetve megelőzésére.

Anyagmérleg:

- A vízkezelési technológia kivitelezéséhez, csak a bálázott árpaszalmára van szükség, melyet a kezelés után eltávolítva, komposztanyagként további felhasználásra kerülhet.
- A kezelt területen a tanulmány szerint az árpaszalma teljesen visszaszorította az algavirágzást.

Felmerülő költségek:

- Anyagköltség (Ft/t)
- Szállítási költség (t/km)

Gazdasági értékelés:

- az árpa betakarítása során keletkező hulladék, nagy mennyiségben és olcsón rendelkezésre áll.
- a rothadó szalma komposzt alapanyagként szolgálhat, ami további hasznot jelent
- nem szükséges egyéb kiegészítő kezelés
- egy évben (a nyári szezonban, mivel csak ekkor lép fel algavirágzás veszély) csak 2x kell foglalkozni vele, a be- ill. kiemeléskor.
- nincs üzemeltetési költség → munkaerőt és energiát nem igényel → szintén idő és pénz megtakarítás

Részletes költségbecslés:

Mivel a tanulmány 25 g árpaszalma /m³víz alkalmazásával készült, ezt veszem standardnak.

Linacre alsó víztározója	~ 140.000 m³
1 zsák árpaszalma =25 kg	3,5 t → 140 zsák
1 raklap =24 zsák	~ 6 raklap
1 kamion =35 raklap, azaz részrakásos szállítványozást kell igénybe venni (LTL =Less than Truck Load = kevesebb, mint teljes kamion rakomány).	
~ 30.000 Ft/ 100 km fuvarozási és rakodási költséggel lehet számolni	
~ 20.000 Ft / tonna árpaszalma	70.000 Ft

SWOT analízis:

<p>Erősség</p> <ul style="list-style-type: none">- olcsó<ul style="list-style-type: none">- melléktermék/hulladék- viszonylag nagy mennyiségben rendelkezésre áll- nem igényel semmilyen beavatkozást/átalakítást- kis mennyiség alkalmazása is hatásos (25 /m³)- biológiailag lebomló- környezetbarát- ivóvízre nem veszélyes- további hatékonyságot fokozó tényező, hogy a tározóban megtalálható gombák az árpaszalmát bontják, amely kémiai előbbeséget élvez, és ez is megakadályozza az algák növekedését.	<p>Gyengeség</p> <ul style="list-style-type: none">- mennyisége függ az adott évi időjárástól- optimális kontrollhoz szükséges még: megfelelő mennyiségű oxigén, napfény
<p>Lehetőség</p> <ul style="list-style-type: none">- visszaszoríthatóak a kémiai anyagok használata (algairtó)- kivonat vagy pellet formában is hatásos- vízi állatok számára élőhelyet, tápanyagot biztosít	<p>Veszély</p> <ul style="list-style-type: none">- rothadó szalmából kioldódó fenolos vegyületek- szállítás során felmerülő környezeti terhelés (kipufogó gáz)

Idézett forrásmunkák

- Appel, H.** Phenolics in ecological interactions: the importance of oxidation [Folyóirat] // Journal of Chemical Ecol., 19 (7). - 1993.. - old.: 1521-1551.
- Asaeda, T., Pham, H.S., Priyantha D.G.N., Manatunge, J., Hocking, G.C.** Control of algal blooms in reservoirs with a curtain: a numerical analysis [Folyóirat] // Ecological Engineering 16 . - 2001.. - old.: 395–404.
- Asaeda, T., Priyantha D.G.N., Saitoh, S., Gotoh, K.** A new technique for controlling algal blooms in the withdrawal zone of reservoirs using vertical curtains [Folyóirat] // Ecological Engineering. - 1996.. - old.: 95-104.
- Barett, P.R.F.** Field and laboratory experiments on the effects of barley straw on algae [Folyóirat] // In Comparing Field and Glasshouse Pesticide Performance. - 1994..
- Beare, M. H., Wilson, P. E., Fraser, P. M., and Butler, R. C.** Management Effects on Barley Straw Decomposition, Nitrogen Release, [Folyóirat] // SOIL SCI. SOC. AM. J., VOL. 66. - 2002.. - old.: 848-856.
- Bouhicha, M., Aouissi, F., Kenai, S.** Performance of composite soil reinforced with barley straw [Folyóirat] // Cement & Concrete Composites 27. - 2005.. - old.: 617-621.
- Canonica, S., Jans, U., Stemmler, K. and Hoigne, J.** Transformation kinetics of phenols in water: photosensitisation by dissolved natural organic material and aromatic ketones [Folyóirat] // Environmental of Science Technology. - 1995.. - old.: 1822-1830.
- Cao, Ch., Zheng, B., Chen, Zh., Huang, M., Zhang, J.** Eutrophication and algal blooms in channel type reservoirs: A novel enclosure experiment by changing light intensity [Folyóirat] // Journal of Environmental Sciences, 23(10) . - 2011.. - old.: 1660–1670.
- Chipofya, V.H., Matapa, E.J.** Destratification of an impounding reservoir using compressed air- case of Mudi reservoir, Blantyre, Malawi [Folyóirat] // Physics and Chemistry of the Earth 28 . - 2003.. - old.: 1161–1164.
- Dodds, W.K., Bouska, W.W., Eitzmann, J.L., Pilger, T.J., Pitts K.L., Riley A.J., Schloesser J.T., Thornbrugh D.J.,** Eutrophication of U.S. freshwaters: analysis of potential economic damages. [Folyóirat] // Environmental Science of Technology 43, . - 2009.. - old.: 12–19..
- Everall, N. C. and Lees, D. R.** The use of barley straw to control general and blue--green algal growth in a Derbyshire reservoir [Folyóirat] // Water Research, 30. - 1996.. - old.: 269-276.
- Everall, N. C. és Lees, D.R.** The identification and significance of chemicals released from decomposing barley straw during reservoir algal control [Folyóirat] // Water Resaerch. - [hely nélkül.] : Elsevier Science Ltd., 1997.. - No.3 : Vol. 31. kötet. - old.: 614-620.
- Hudnell, H.K., Dortch Q.** A synopsis of research needs identified at the interagency, international symposium on cyanobacterial harmful algal blooms (ISOC-FHAB). [Folyóirat] // Springer Press, New York: http://www.epa.gov/cyano_habs_symposium/.. - 2008.. - old.: 17–43.
- Hudnell, H. K., Jones, Ch., Labisi, B., Lucero, V., Hill, D. R., Eilers, J.** Freshwater harmful algal bloom (FHAB) suppression with solar powered circulation (SPC) [Folyóirat] // Harmful Algae 9. - 2010.. - old.: 208-217.
- Humpage, A.** Toxin types, toxicokinetics and toxicodynamics. [Folyóirat] // Cyanobacterial Harmful Algal Blooms: State of the Science and Research Needs. - 2008.. - old.: 383–416.
- Kivaisi, A. K., Opden, Camp H. J. M., Lubberding, H.J., Boon, J. J. and Voyels, G. D.** Generation of soluble lignin-derived compounds during degradation of barley straw in an artificial rumen reactor [Folyóirat] // Applied Microbiology and Biotechnology. - 1990.. - old.: 93-98.
- Mueller, T., Magid, J., Jensen, L.S., Svendsen, H., Nielsen, N.E.** Soil C and N turnover after incorporation of chopped maize, barley straw and blue grass in the field: Evaluation of

- theDAISY soil–organic-matter submodel [Folyóirat] // Ecological Modelling 111 . - 1998.. - old.: 1-15.
- Murray, D., Parsons S. A., Jarvis, P., Jefferson, B.** The impact of barley straw conditioning on the inhibition of Scenedesmus using chemostats [Folyóirat] // Water Research. - 2010.. - old.: 1373-1380
- Paerl, H.W., Valdes-Weaver, L.M., Joyner, A.R., Winkelmann, V.,** Phytoplankton indicators of ecological change in the eutrophying Pamlico Sound system, North Carolina [Folyóirat] // Ecology Spplication 17 (5). - 2007.. - old.: 88–101.
- Paerl, H.W., Huisman, J.** Blooms like it hot [Folyóirat] // Science 320. - 2008.. - old.: 57–58.
- Pillinger, J. M., Cooper, J. A. and Ridge I.** Role of phenolic compounds in the anti-algal activity of barley straw. , . [Folyóirat] // Journal of Chemical Ecology, 20. - 1994.. - old.: 1557-1569.
- Reynolds, C.S.** The ecology of freshwater phytoplankton. [Folyóirat] // In Cambridge Studies in Ecology, Cambridge University Press, Cambridge. - 1984..
- Ridge, I., Pillinger, J. and Waiters, J.** Alleviating the problems of excessive algal growth. [Folyóirat] // The Ecological basis for River Management. - 1995..