

ÖNÁLLÓ TANULMÁNYOK

NITROGÉNKÖTÉS A BALATON, VÍZTÁROLÓK ÉS HALASTAVAK ÜLEDÉKÉBEN

OLÁH JÁNOS, M. A. ABDEL MONEIM és TÓTH LÁSZLÓ*

Haltenyésztési Kutató Intézet, Szarvas

*Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet, Budapest

A szénkötéssel összehasonlítva a nitrogénkötésről keveset tudunk. Az olcsó, gyors és érzékeny acetilénredukciós módszer bevezetése után, a hetvenes években kilenc tóban vizsgálták részletesen a vízoszlop nitrogénkötését (GRANHALL és LUNDGREN 1971, KEIRN és BREZONIK 1971, HORNE és VINER 1971, HORNE és GOLDMAN 1972, TORREY és LEE 1976, SARALOV 1978, OLÁH és mtsai 1979, EL SAMRA és OLÁH 1979). Az eredményekből megállapítható, hogy a vízoszlopban, biológiai úton megkötött nitrogén jelentős mértékben hozzájárul a tavak nitrogén mérlegéhez. Egyes tavakban elérheti a teljes külső nitrogén terhelés felét. Nyilvánvaló, hogy a tápanyagdúsulással felgyorsuló vízminőségromlás megállítása és a törekonstrukciós munkák tervezése, valamint az aquakultúra szempontjából e mennyiségileg is fontos biológiai folyamattal számolnunk kell.

A tavak nitrogén mérlegében a biológiai nitrogénkötés nagyságának a becslésénél eddig csupán a vízoszlopban megkötött nitrogén mennyiségét vették számításba, holott a rendelkezésre álló kevés számú adat szerint a nitrogénkötés az üledékben is jelentős lehet (SUGAHARA et al. 1971, KEIRN és BREZONIK 1971, SARALOV és DAUKSTA 1978). Elfogadható becslést lehetővé tevő évszakos vizsgálatokat csupán SARALOV (1978) végzett a Ribinszki-víztárolón. Becslése szerint a víztároló üledékében megkötött nitrogén mennyisége 1973-ban kevéssel meghaladta, 1974-ben pedig megközelítette az üledék fölötti vízoszlopban megkötött nitrogén mennyiségét. Ezek az adatok tehát azt jelzik, hogy a vízoszlopban és az üledékben együttesen megkötött nitrogén mennyisége egyes tavakban elérheti a különböző szennyező forrásokból eredő külső terhelés teljes mennyiségét is.

A vízminőségvédelem és törekonstrukció gyakorlata számára megdöbentő eredmények felhasználását az operatív beavatkozások tervezésénél, az adatok kevés száma nehezíti. Üledék nitrogénkötés mérésénél kérdéses az eddig alkalmazott módszerek megbízhatósága is. Jelen munkánkban leírjuk az üledék nitrogénkötés méréséhez kifejlesztett gyors és megbízható acetilénredukciós módszert, amely az in situ körülmények maximális megtartásán alapul. Ellenőrző kísérletekkel bizonyítottuk, hogy az alkalmazott módszerrel valóban a

tőüledékben, *in situ* folyó nitrogénkötés mennyiségét mérjük. A nitrogénkötés nagysága mellett mértük az üledék felső 20—25 cm-es rétegében, a nitrogénkötés és a befolyásoló tényezők vertikális eloszlását is.

Tavak és módszerek

Ekoszisztéma típusok

A vizsgálatokat négy sekély tavi ekoszisztéma típus üledékével végeztük, e tavak szerkezetével és működésével kapcsolatos komplex kutatási program keretében (OLÁH 1980). Mind a négy sekélytavi típus a hipereutróf tavak közé sorolható és a tápanyagterhelés szerint a következő sorrendben növekvő gradiens mentén helyezkednek el (1. táblázat).

I. Keszthelyi-medence (Balaton). A külső szerves és szervetlen tápanyagterhelésnek leginkább kitett medence, az elmúlt tizenöt év során gyorsan eutrofizálódott. A medence jelenlegi állapotában a sekély, hipertróf ekoszisztémák jellegzetes tüneteit mutatja (OLÁH 1975, HERODEK 1977). A kedvezőbb vízminőségi állapot visszaállítására számos restaurációs kezelési szintű eljárás alkalmazásának lehetősége felmerült. A leghatékonyabbak kiválasztása, időzítése és nagyságrendje alternatív elemzés és kísérleti próbák alatt áll. Üledékeltávolítás, makrofita aratás, a Kisbalaton természetes mocsárvilágának visszaállítása a befolyó víz szűrése céljából, növényevő halak betelepítése. A vízi környezetvédelem szempontjából e típusú rendszerben folyó anyag és energia forgalom, jelen esetben az üledék nitrogénkötésének vizsgálata a legsürgetőbb. A medence népgazdasági jelentősége, valamint a javított módszerünkkel mért igen jelentős nitrogénkötés indokolták, hogy a vertikális eloszlás törvényszerűségeinek a vizsgálatát erre a víztípusra koncentráltuk.

II. Körös-holtág víztároló. Kisebb-nagyobb vízfolyásainkon egymás után épülnek különböző célt szolgáló víztárolók. A Körös Kákafoki-holtág víztároló sokcélú: belvíz fogadás, öntözés, hal-kacsa tenyésztés. A szabályozott árteres folyók mentén a holtágak számos típusa képviseli a levágott kanyarszakaszo-

I. táblázat

A vizsgált tavak

	I.	II.	III.	IV.
Terület, h	3200	42	0,14	0,14
Átlagos mélység, m	2	2,5	1	1
Vízcsere	360	10	120	120
Szerves-C terhelés, g m ⁻² év ⁻¹	50	77	100	500
Halsűrűség, ha ⁻¹	120	1800	7000	5000
Szűrő hal, ha ⁻¹	2—4	110	2500	4000
Bentosz evő hal, ha ⁻¹	80	200	4000	1000
Halprodukción, kg ha ⁻¹	67	130	4300	2500

kat, lehetőséget nyújtva többek között olcsó és hatékony aquakultúrák kezelésére. Az egyszerű kultúra a kacsza és a hal megfelelő népesítésén és a kacsza takarmányozásán alapul. A költséges mesterséges kacsatáp nem hasznosított része, a kacsatrágya a legjelentősebb allochton szervesanyag és tápanyag forrás. A természetes vizek aquakultúrák hasznosításának ez a legmagasabb szintje.

III. Polikultúrák halastó. A kínai és indiai pontyok gyors világméretű terjedése kitűnő lehetőséget teremt a mesterséges haltenyésztő agroökoszisztémák ökológiai hatékonyságának növelésére. Ma a trópusokon, de a mérsékelt égövben is a polikultúrák termeléstehnológia bizonyul a leggazdaságosabb aquakultúrának. A gondosan és aprólékosan kifejlesztett, 2–8 halfajt magába foglaló népesítési szerkezetek nagy táplálkozási nyomást fejtenek ki a plankton és bentosz társulásokra, miközben csaknem teljességgel hasznosítják a halastó teljes természetes tápanyagkészletét. Az állandóan magas elsődleges termelést a gyakori és optimális dózisz műtrágyázási technológia biztosítja. Olcsó, alacsony fehérjetartalmú gabonafélék kiegészítő takarmányozása tovább emeli a halhozamot, jóval a természetes produkció fölé. A 4300 kg ha⁻¹ haltermelésből a természetes hozam csupán 1300 kg ha⁻¹ körüli. A nem teljesértékű, alacsony fehérjetartalmú takarmány nagyon nagy hányada csak közvetve hasznosul, miután kihasználatlanul megy át a halállomány bélesatornáján és belép a halastó anyag- és energiaforgalmába.

IV. Hígtrágyás halastó. Az energia-, fehérje- és környezetkrízis feloldásának egyik lehetséges alternatívája a lokálisan hozzáférhető, megújítható és legtöbbször szennyező forrásként jelentkező energiaforrások gazdaságos felhasználása, a globális szervesanyag-termelés nagyobb hányadát jelentő szerves hulladékok visszaforgatása. A fejlett országok iparszerű hústermelési rendszereiben óriási mennyiségben keletkező hígtrágya visszaforgatása többnyire megoldatlan. Magyarországon a hígtrágyák eleresztésével évente mintegy 150 ezer tonna szervesanyag, gyakorlatilag kukorica kárba vész és ráadásul természeti környezetünkben többnyire szennyező forrásként jelentkezik. A hígtrágya visszaforgatásának egyik legolcsóbb és leghatékonyabb formája a haltenyésztés. A hal rendkívül energiatakarékos fehérje termelése biológiai tulajdonságainak köszönhető. Ehhez adódik, hogy a hal élőközege a víz igen alkalmas a hígtrágya fogadására és haltáplálékká való átalakítására. A hígtrágyás halastóban az elsődleges termeléshez adódik a naponta beadagolt jelentős mennyiségű szervesanyag, amely a baktériumokon keresztül haltáplálékként jelentkezik. A tenyésztési szezonban bevitt mintegy 500 g m⁻² szerves szén megközelíti a tóban elsődlegesen megtermelt szervesanyag mennyiségét. Az általunk kidolgozott sertés hígtrágyás technológia a szűrő táplálkozású kínai nagy pontyokra épül és a szennyvíz-oxidációs halastóhoz hasonlóan a közönséges pontynak csak másodlagos szerepe van. Az aljazaton táplálkozó ponty a vízüledékhatár állandó felkavarásával biztosítja a megfelelő redox viszonyokat a rendszer hatékony működéséhez.

Módszerek

A bakteriológiai vizsgálatokhoz az üledékmintát Hargrave mintavevővel vettük. A Keszthelyi-medencében mintavevővel a kutatóhajó fedélzetére felhozott érintetlen, $25 \times 25 \times 30$ cm-es üledékhasábról a vizet szifonnal leeresztettük és sterilizált, 5 cm átmérőjű üveghengerrel, e folyamatot többször megismételve 5–10 részmintát vettünk. A rétegvizsgálatokhoz az üveghengerekből az üledékhurkát fokozatosan kinyomtuk és 5–10 rész minta megfelelő rétegeit keveréssel sterilizált üvegedényben homogenizáltuk. Az aerób nitrogénköltő baktériumok mennyiségi meghatározására széles spektrumú, több szénforrás keverékét tartalmazó tápoldatot, az anaerób Clostridium típusú nitrogénköltő baktériumok számlálására pedig a klasszikus Winogradsky-féle táptalaj, aszkorbinsavval és élesztőkivonattal gazdagított változatát használtuk (RODINA 1972). Az üledék intersticiális vizében a különböző nitrogén formák vertikális elterjedésének meghatározásához az üledék vizet REEBURGH (1967) szerint készített üledékpréssel, nitrogén atmoszférában nyertük ki. Az intersticiális vízben az $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációt indofenolos módszerrel (SCHEINER 1976, VERDOUW és mtsai 1978), az $\text{NO}_2\text{-N}$ és $\text{NO}_3\text{-N}$ mennyiségét pedig Gries-Ilosvay reagenssel és a kadmium redukciós módszerrel mértük, STRICKLAND és PARSONS (1968) eljárást alkalmazva. A redox és pH gradienst a Hargrave mintavevővel fedélzetre hozott üledékhasábra fokozatosan beszúrt sima platina elektróddal mértük kalomel elektróddal szemben, illetve kombinált üvegelektroddal. Az értékek leolvasását 5 mV-nál kisebb drift mellett végeztük. Az üledék nitrogénkötésének méréséhez korábban használt módszerünket (OLÁH és mtsai 1979) a hibaforrások kiküszöbölése céljából a következők szerint fejlesztettük tovább.

Módszer fejlesztés

Kémiai vagy biológiai redukció ?

Említettük, hogy a biológiai úton megkötött nitrogén gáz mennyiségének becslésére tavi üledékekben alig végeztek méréseket. A vízoszloppal összehasonlítva ugyanis az *in vitro* mérési módszerek általános hibái fokozott mértékben csökkentették a becsléshez felhasználható mérési adatok megbízhatóságát. Az acetilénredukciós módszer ökológiai alkalmazása során hamarosan felmerült a kérdés, hogy az acetilén redukciójáért valóban a nitrogénáz enzim a felelős, vagy esetleg a vízben, de különösen az üledékben jelenlevő redukált anyagok is részt vesznek a folyamatban. E kérdések tisztázása a redukált, szervesanyagban gazdag tavi üledékek vizsgálatánál különösen indokoltak voltak. BROOKS és mtsai (1971), valamint KEIRN és BREZONIK (1971) sokoldalúan bizonyították, hogy az üledékhez adott acetilénből az etilénképződés valóban biológiai úton megy végbe.

A háromszoros bizonyítási eljárást a Keszthelyi-medence üledékével megismételve megállapítható, hogy az acetilén redukciója a sekély tavak kisebb szervesanyag tartalmú üledékeiben is döntően biológiai folyamatok, közelebbről a nitrogenáz enzim működésének az eredménye.

1. Különböző cukrok hozzáadását követő rövid inkubációs idő alatt (0,5–4 óra) az üledék nitrogénkötő mikrobiális populációtól függően szelektíven nő az acetilénredukció. A Keszthelyi-medence felső centiméteres üledékzónájából származó, homogenizált minta acetilénredukáló képessége egyértelműen növekedett 10^{-3} – 10^{-1} M végkoncentrációjú glükóz és szukróz hozzáadása hatására. Hasonló koncentrációjú acetát egy kísérletben serkentő, két kísérletben gátló hatást váltott ki. BROOKS és mtsai (1971), KEIRN és BREZONIK (1971) egyértelmű stimuláló hatást csak szukróz hozzáadáskor kapott. A glükóz, acetát és butirát hol serkentő, hol gátló hatást váltott ki. MARSHO és mtsai (1975) a Chesapeake-öböl mocsaras üledékével dolgozva csak a szukrózra kapott egyértelmű pozitív hatást, a glükózra nem. PEARSON és TAYLOR (1978) szennyezett csatorna üledék esetében, hosszú, 24 órás előinkubálás után $2,5 \cdot 10^{-3}$ M végkoncentráció mellett gyakorlatilag minden vizsgált cukorra meglepően nagy acetilénredukció növekedést kapott. Eredményeik szerint, ami alig hihető, ugyanezen üledékmintákban a hosszú inkubálás ellenére sem növekedett a baktériumok száma. Mindezen adatok azt sugallják, hogy az acetilénredukció növekedéséért a vizsgált üledékekben, a megfelelő szén forrásra kیهezett nitrogénkötő baktériumpopulációk a felelősek.

2. Az abiotikus acetilénredukció feltételezett lehetőségét kizárták az 1,5%-os triklórecetsavval vagy a $6,4 \text{ g dm}^{-3}$ -es végkoncentrációjú higanykloriddal mérgezett üledékek negatív eredményei. A Keszthelyi-medence és a Körösholtág víztározó üledékekből vett mintákban a mérgezés után nem volt mérhető acetilénredukció. Természetesen a nem kellően tiszta acetilénben jelenlevő etilén, megfelelő vakpróbák és korrekciók nélkül az eredményeket meghamisítja.

3. Az acetilénredukció enzimatikus jellegét és azt, hogy a redukciót valóban a nitrogenáz enzim végzi a tavi üledékekhez hasonló rendkívül heterogén mintákban is, közvetlenül is ellenőriztük. Amikor a Keszthelyi-medence üledékéhez adott különböző koncentrációjú acetilén mellett keletkezett etilént a mintához adott acetilénkoncentrációkkal összefüggésben ábrázoltuk, a Michelis-Menten model tipikus enzim vagy telítődési kinetikáját kaptuk. A hélium atmoszférában minden acetilén koncentrációnál több etilén képződött, mint nitrogén atmoszférában. Az eredmények Lineweaver-Burk ábrázolása egyértelműen mutatta az etilén képződés nitrogén gáz által kiváltott kompetitív enzim gátlását.

Enzimtelítés

Miután bebizonyosodott, hogy az acetilén redukciója etilénné az üledékben is biológiai úton történik, a következőkben azt vizsgáltuk, milyen feltételek mellett telíti a mintához adott acetilén mint modellszubsztrát az üledék nitrogénkötő helyeinek enzimeszintjét. Bár az acetilén vízben lényegesen jobban oldódik az etilénnél az üledékvizsgálathoz nagyobb hibát eredményezhet, hogy a reakcióedény gázterébe bevitt acetilén nem telíti megfelelő gyorsasággal a teljes üledékmintát és az üledékben képződő végtermék, az etilén lassú diffúziója következtében a mennyiségi kinyerés pontatlan. E módszertani problémák tisztázására három kísérletsorozatot végeztünk a Körös-holtág víztározó felső 8 cm-es üledékrétegével. Mindhárom kísérletsorozatban a mérőedénybe 5 mm-től 50 mm-ig növeltük az üledékminta rétegvastagságát. A gondosan homogenizált, ugyanazon üledékkel egyszerre feltöltött mérőedényekkel az első sorozatban rázás nélkül végeztük el az acetilénredukció mérését, a második sorozatban az inkubálás után 60 másodpercig erőteljesen ráztuk az üledéket tartalmazó mérőedényt, a harmadik sorozatban a rázást az inkubálás megkezdése előtt és után is elvégeztük (2. táblázat). Az 1 cm³-re számított acetilénredukció a rázás nélküli kontrollhoz viszonyítva az inkubálás utáni rázás hatására egyértelműen növekedett a 10 mm-nél vastagabb üledékrétegeket tartalmazó mintákban. Ha az üledéket az inkubálás előtt és után is ráztuk az acetilénredukció tovább növekedett és egységnyi üledékmennyiségre vonatkoztatva lényegében azonos volt minden rétegvastagságnál. Az inkubálás előtti rázás hatására az üledék fölötti gázterbe befecskendezett acetilén gyorsan telítette a teljes üledéket, biztosítva ezzel az üledék enzimeszintjének gyors telítődését a modellszubsztráttal. Az inkubálás utáni rázás lehetővé teszi az üledékben képződött és ott túltelítődő etilén gáz pontos mennyiségi kinyerését. Az acetilén gyors oldódása és az etilén pontos kinyerése tehát egy perces kézi rázással kielégítően megoldható. Rázás nélkül egy napos inkubációs időt hasz-

2. táblázat

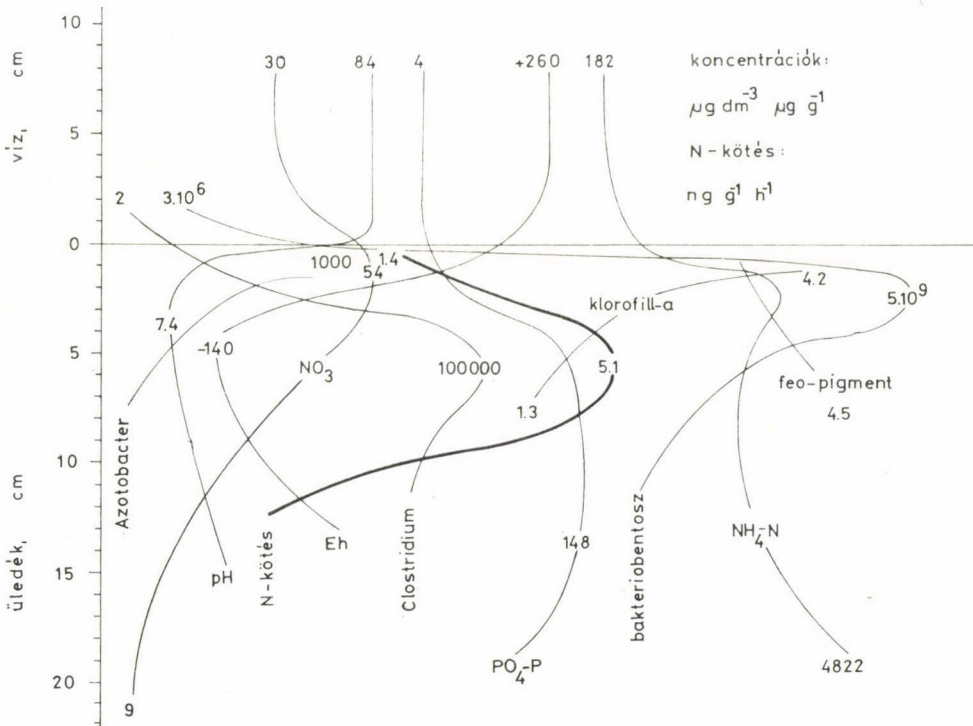
Az acetilénredukció függése az üledékréteg vastagságától *in vitro* inkubálás során, A = ng N cm⁻³ h⁻¹, B = ng N reakcióedény⁻¹ h⁻¹ Körös-holtág víztározó felső 8 cm üledék homogenizálva 1980. március 10., reakcióedény térfogata: 270 ml, inkubációs gázelegy: 85% levegő, 15% C₂H₂, inkubációs idő: 24 óra, 1 perc erőteljes kézi rázás nélkül, inkubálás utáni rázással és inkubálás előtti és utáni rázással

Üledék vastagság mm	Rázás nélkül		Rázás inkubálás után		Rázás inkubálás előtt és után	
	A	B	A	B	A	B
5	5,4	2,7	3,2	1,6	0,0	—
10	6,0	6,0	5,1	5,1	2,1	2,1
20	2,2	4,4	4,3	8,6	—	—
30	1,3	3,9	2,2	6,6	2,4	7,2
40	1,0	4,0	2,0	8,0	2,5	10,0
50	0,8	4,0	1,6	8,0	2,2	11,0

nálva a diffúziós hibaforrások elkerülése érdekében legfejlebb 10 mm-es rétegvastagságú üledékmintával dolgozhatunk. Az inkubációs idő csökkentésével párhuzamosan a rétegvastagságot is csökkenteni kell. 24 órás inkubálásnál megengedhető legnagyobb rétegvastagság rizsföldi talajoknál is 10 mm körüli volt. Ennél vastagabb talajréteggel dolgozva az acetilén már nem érte el a mélyebb rétegek nitrogénkötő helyeit (LEE és WATANABE 1977).

Fiziko-kémiai-biológiai gradiensek megőrzése

Vízben az acetilénredukció mérésekor az acetilén berázás és az etilén kirázás egyszerűen megoldható anélkül, hogy a minta természetes állapotát jelentősen megváltoztatnánk. Jelenleg lényegében ehhez hasonlóan történik az üledékben is az acetilén redukció mérése (SUGAHARA és mtsai 1971, KEIRN és BREZONIK 1971, BROOKS és mtsai 1971, SARALOV 1978), a vízzel ellentétben azonban az üledék 5–10 cm-es vastagságú rétegét homogenizálva alapvetően megváltozik a természetes állapot és a valóságostól eltérő folyamatot mérünk. A vízszlappal összehasonlítva ugyanis a vízüledékhatáron és az üledék felső 20–30 cm-es zónájában gyakran milliméterenként jelentős mértékben változik a fiziko-kémiai környezet és a bentsz társulást alkotó populációk nagy-



1. ábra. Fiziko-kémiai-biológiai gradiensek és a nitrogénkötés vertikális eloszlása a Keszthelyi-medence vízüledék határán

sága. Mintavételkor és inkubálás előtt az üledékminta alapos rázásával szétromboljuk az *in situ* természetes állapotban szigorúan meghatározott és elrendezett fiziko-kémiai és biológiai gradienseket és a valóságos aktivitástól lényegesen eltérő választ mérünk. Világosan láttuk ezt a hibaforrást a Keszthelyi-medence esetében, ahol korábban részletesen dolgoztunk a vízüledékhatár különböző gradiensein (OLÁH 1972, 1973, 1975). Ha a vizsgálataink során feltárt és leírt gradiensek trendjeit egyetlen ábrán összesítjük, első ránézésre nehezen áttekinthető, de szigorú törvényszerűségek által meghatározott gradiens elrendeződést kapunk (1. ábra). Ha a felső öt cm-es üledékréteg aktivitását mérjük és az inkubálás előtti rázással a mintát, és a gradienseket gyakorlatilag homogenizáljuk, azonos redox viszonyokat teremtünk a *Clostridium* és *Azotobacter* populációk számára, holott a valóságban az alapvetően eltérő fiziológiai típusú populációk csak az üledék szigorúan meghatározott rétegében kötnek jelentős mennyiségű nitrogént. Rázással megváltoztatjuk az üledék intersticiális vízében kialakult éles $\text{NH}_4\text{-N}$ és más tápanyag gradienst is, amely pedig a nitrogénkötés szempontjából meghatározó lehet. A gradiensek közé felvittük az 1977. augusztus 4-én centiméterenként mért acetilénredukció görbét. A vizsgálat idején az acetilénredukció maximuma egybeesett a *Clostridium* maximummal és az üledék intersticiális vízében oldott $\text{NH}_4\text{-N}$ minimummal. További részletezés nélkül javasolható, hogy az inkubálás előtti és utáni rázást igénylő eljárást, lehetőleg csak a nitrogénkötés rétegződésének a vizsgálatára, illetve olyan mérésekre használjuk, amelyekben a kitűzött cél lehetővé teszi a vékony üledékréteg használatát.

Az in situ eljárás és módszer

Jelen munkánkban az üledék nitrogénkötésének vertikális eloszlását a Hargrave mintavevővel vett üledékhurka felszeletésével nyert 10 mm vastagságú rétegből 1 g üledékkel határoztuk meg. A felszíni rétegből vett mintát 0,65 He, 0,2 O_2 és 0,15 atmoszféra C_2H_2 gázfázisban, a mélyebb rétegekből vett mintákat pedig 0,85 He és 0,15 atmoszféra C_2H_2 gázfázisban inkubáltuk. Inkubálás előtt és után az üledékmintát ráztuk. Az inkubálást *in situ* az üledék felett végeztük.

Vizsgálataink elején, 1977-ben az üledék teljes nitrogénkötését a Keszthelyi-medencében és a polikultúras halastóban érintetlen üledékhurka módszerünkkel határoztuk meg (OLÁH és mtsai 1979; EL SAMRA és OLÁH 1980), első sorban az eredeti *in situ* fiziko-kémiai és biológiai gradiensek megtartására ügyelve. Későbbi az acetilén diffúziójával kapcsolatos kísérleteinkből következik, hogy ezzel a módszerrel az *in situ* gradienseket megtartottuk ugyan, de a modellszubsztrátként szereplő acetilén csak a felső 1 cm-es üledékréteget telítette, így a mért aktivitás a valóságnál lényegesen kisebb volt. Tulajdonképpen csak az üledék felső centiméterének az aktivitását mértük (2. táblázat). Az eredeti *in situ* fiziko-kémiai és biológiai gradiensek megtartása és az acetilén

tökéletes telítése céljából alakítottuk ki az érintetlen üledékhurka perforált műanyaghengerekben módszert. A 40 cm hosszú és 5 cm átmérőjű PVC műanyag csövet, alsó 20 cm-es szakaszán 2 cm-enként átlukasztottuk és jól tömítő teflon dugóval zártuk. A Hargrave mintavevőből kiszűrt, érintetlen üledékhurkát ezeken a lyukakon keresztül injekciós tűvel és fecskendővel gyorsan tudtuk acetilénnel telíteni közvetlenül az inkubálás megkezdésekor. A 2 cm-es üledékrétegekbe 2 ml, acetilénnel telített desztillált vizet (1,6 ml C_2H_2 1 ml vízben) fecskendeztünk be a teflon dugóval lezárt lyukakból kiindulva sugárasan több irányban, egyenletesen szétszórtva. Az üledék feletti, előzetesen 0,8 He és 0,2 atmoszféra O_2 keverékkel átmosott gáztérbe egyetlen, teflon dugóval zárt lyukon keresztül 0,15 atmoszféra végkoncentrációjú acetilént fecskendeztünk be. Az így előkészített mérőedényt perlon zsinórral közvetlenül az üledékréteg fölé függesztettük fel. Az inkubálás után a mérőedényt erőteljesen ráztuk a képződött etilén pontos mennyiségi visszanyerése céljából. A kevesebb vizet tartalmazó üledékeknél az érintetlen üledékhurka szétrázásához gyakran 20 perces erőteljes kézírázásra volt szükség. A kirázás után az eredeti pozícióba visszarázott üledék fölötti gáztérből mintát vettünk a gázkromatográfiás elemzéshez. A gázkromatográfiás elemzést a korábban leírtak szerint végeztük (OLÁH és mtsai 1979). Minden mérésünkönél higanykloriddal mérgezett kontrollal is dolgoztunk, amely a mintához hasonló kezelésemellett, azzal a különbséggel, hogy az acetilén beinjekciózása előtt a teflon dugókon keresztül injekciós tűvel a teljes üledékhurkát mérgeztük. A perforált műanyaghengeres módszerrel az üledékben folyó in situ nitrogénkötés túlnyomó részét megbízhatóan és gyorsan mérhettük, miután rétegvizsgálataink eredményeiből látni fogjuk, hogy a nitrogénkötés az üledék felső 20 cm-es rétegére koncentrálódik.

A Keszthelyi-medencében azonos időpontban mértük a vertikális eloszlást és a perforált műanyaghengeres módszerrel a teljes nitrogénkötést. A felső 20 cm-es üledékréteg 1–2 cm-enkénti vertikális adatainak az átlagának azonosnak kell lenni a perforált műanyaghengeres módszerben erőteljesen össze-

3. táblázat

A perforált műanyaghengeres módszer 20 cm rétegvastagságú üledékének átlagos nitrogénkötése (A) és a vertikális eloszlás vizsgálatban 1–2 cm-enként külön mért értékekből számolt átlagos nitrogénkötés (B) a Keszthelyi medencében

	A	B	A/B
1980. 05. 14.	1,87	2,1	0,89
06. 10.	3,82	1,53	2,4
07. 08.	6,70	2,98	2,2
08. 12.	5,38	1,04	5,1
11. 11.	0,67	0,66	1,01

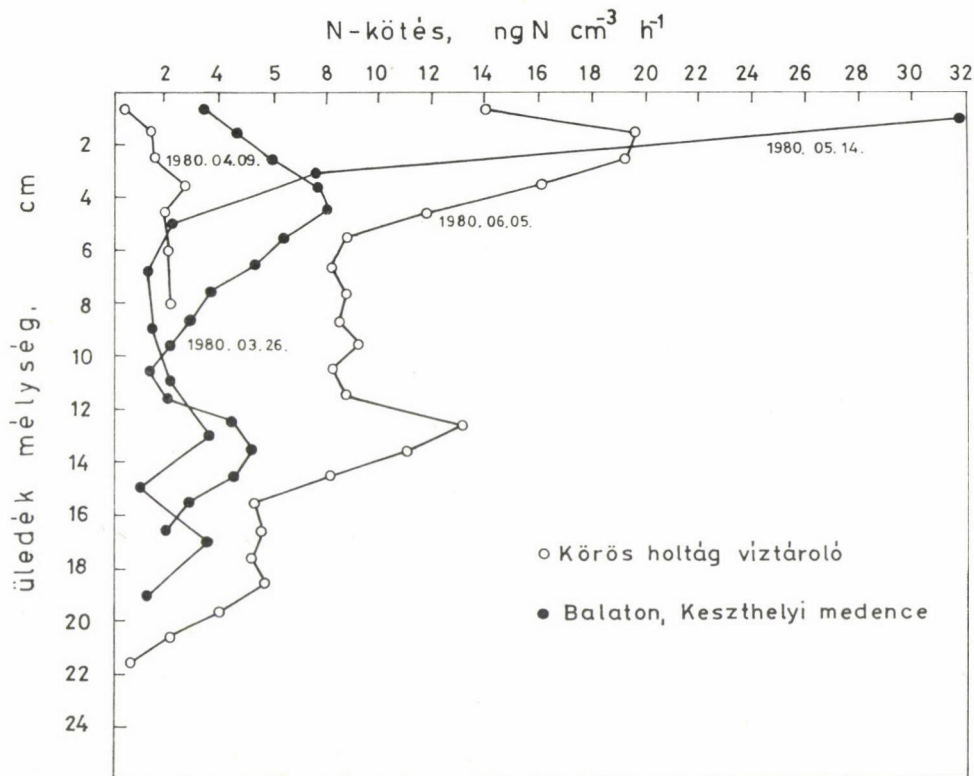
rázott üledékminta nitrogénkötésével. Eredményeink szerint azonban a két módszerrel kapott értékek csak a tavaszi és őszi vizsgálatok során volt azonos vagy nagyon közeli (3. táblázat). Nyáron, igen nagy nitrogénkötés mellett a vertikális értékekből számított átlagos nitrogénkötés lényegesen kisebb volt. 1980. augusztus 12-én 5,1-szer. Valószínűleg az üledékeknél használt hagyományos acetilén telítési eljárás, amikor a modellszubsztrátot az üledék fölötti gáztérbe viszem be, még akkor sem tökéletes, ha az üledék rétegvastagságot 10 mm-re csökkentem, legalábbis nagy nitrogénáz enzimek esetén. Ugyanakkor a perforált műanyaghengeres eljárásunknál a vízzel egyenletesen bevitt acetilén azonnal és gyorsan telíti az üledék teljes enzimekészletét.

Fiziko-kémiai-biológiai gradiensek és a nitrogénkötés vertikális eloszlása az üledékben

Nitrogénkötés

Egységnyi üledékfelület nitrogénkötésének becslésére a perforált műanyaghengeres módszerünkkel kapott mérési eredményeket használjuk. Az alkalmazott eljárással az üledék felső 20–25 cm zónájának átlagos aktivitását mérjük. Felmerült a kérdés, hogy van-e jelentős nitrogénkötés az ennél mélyebb rétegekben. Üledékekben a nitrogénkötés vertikális eloszlását még kevesen vizsgálták, a mikrorétegződést pedig egyáltalán nem. Ez feltehetően a vertikális felvételezés módszertani nehézségeivel és munkai igényességével magyarázható. BROOKS és mtsai. (1971) sekély tengerparti üledékben rendszeresen a 2–5 cm-es üledékrétegben mérték a nitrogénkötés maximumát. Az 5 cm-es réteg után gyors csökkenés következett és a felső 2 cm-es zónában nem volt mérhető nitrogénkötés. KEIRN és BREZONIK (1971) öt floridai tóban mérték a nitrogénkötés rétegződését az üledékben. A tengerparti üledékekhez hasonlóan a maximumokat legtöbbször közvetlenül a felszín alatti rétegekben mérték, amely a mélységgel gyorsan csökkent. SARALOV és DAUKSTA (1978) kilenc litván tóban mérte az acetilénredukció vertikális eloszlását az üledékben. A maximum rétegek elhelyezkedése évszakosan változott, nyáron általában az üledékfelszínen, télen pedig a mélyebb, 2–10 cm-es zónában helyezkedett el. A 10 cm-nél mélyebb rétegekben rendszerint kicsi volt a nitrogénkötés.

Sekély víztípusaink közül a Keszthelyi-medencében és a Körös-holtág víztározóban vizsgáltuk az üledékben a nitrogénkötés vertikális eloszlását. Mivel a felsorolt vertikális vizsgálatokban vastag, 5 vagy 10 cm-es üledékréteg homogenizátumok nitrogénkötését mérték, a pontosabb eloszlás tisztázása céljából saját vizsgálatunkban 1 vagy 2,5 cm-es üledékrétegekből nyert homogenizátumok nitrogénkötését mértük. A vertikális eloszlás víztípusok és évszak szerint változott (2. ábra). A Keszthelyi-medencében kora tavasszal a vertikális eloszlás az üledékben lényegében azonos volt az 1. ábrán bemutatott típus-



2. ábra. A nitrogénkötés vertikális eloszlása a Keszthelyi-medence és a Körös-holtág víztározó üledékében

sal. A nitrogénkötés maximuma az üledékfelszín alatti 4 és 5 cm-es mélységű rétegben helyezkedett el. Ezt követően a 11 cm-es rétegig gyorsan csökkent, majd a 13–15 cm-es rétegekben újabb maximumot mértünk. A május 14-i vizsgálat során a vertikális eloszlás változott. A felső 2 cm-es rétegben igen nagy nitrogénkötezt mértünk, amely a 4–6 cm-es rétegig nagyon alacsony értékre csökkent. A 4–10 cm-es üledékszónában a kora tavaszinál lényegesen kisebb volt a nitrogénkötés. A második, mélyebb és kisebb maximum most is jelen volt. A Körös-holtág víztározóban az április 9-i vizsgálat alkalmával egy nagyságrenddel kisebb értékeket mértünk, mint a június 5-i vizsgálat során. Legkisebb nitrogénáz enzim aktivitást a felszíni 2 cm-es zónában mértünk. Az aktivitás a felszíntől a 4 cm-es rétegig emelkedett, majd ezt követően azonos volt a mért 8 cm-es rétegig. A június 5-i vertikális eloszlás a Keszthelyi-medenceéhoz hasonlóan két maximumot mutatott. A mélyebb maximum itt is a 12–14 cm-es üledékszónában helyezkedett el. A felszín közeli maximum a 3–4 cm-es rétegben volt. A mért legmélyebb 22 cm-es üledékrétegben a nitrogénkötés már alacsony volt, kisebb mint 1 ng N h^{-1} egy g száraz üledékre számítva. A

4. táblázat

A nitrogénkötés évszakos vertikális eloszlása a Keszthelyi-medence üledékében, ng N cm⁻³ h⁻¹

Üledékmélység, cm	1980. 05. 14.	06. 10.	07. 08.	08. 12.	10. 10.
0—2	32,9	11,06	35,16	11,42	4,87
2—4	7,72	6,45	12,38	3,14	3,63
4—6	2,26	3,81	—	4,90	2,59
6—8	1,41	2,69	7,22	2,84	3,02
8—10	1,69	4,96	4,65	2,66	1,27
10—12	2,23	2,40	2,78	0,72	1,39
12—14	3,94	2,98	1,67	0,61	0,49
14—16	1,01	2,41	—	0,73	0,39
16—18	3,76	1,13	—	0,67	0,18
18—20	1,47	—	1,20	0,26	0,16
20—22	—	1,56	—	—	—
22—24	—	0,50	—	—	—
24—26	—	0,62	—	—	—
26—28	—	1,07	—	—	—
28—30	—	0,66	—	—	—

nitrogénkötés részletesebb évszakos vertikális eloszlás vizsgálata a Keszthelyi-medencében azt mutatja, hogy a melegvízű évszakokban a nitrogénkötés maximuma az üledék felső 2 cm-es rétegében van (4. táblázat). A mélyebb üledékrétegekben gyorsan csökken a nitrogénkötés, de kisebb-nagyobb felszín alatti maximumok is kialakulhatnak. A felszín alatti maximumok vertikális elhelyezkedése azonban a havonkénti vizsgálatok során jelentős mértékben változott. A felszín alatti maximum május 14-én a 12—14 cm-es, június 10-én a 8—10 cm-es rétegben volt. Július, augusztus és október hónapokban csak a felszínen volt maximum, felszín alatti maximumok nem alakultak ki. Az eddigi vizsgálatokból kiderül, hogy a tavi üledékekben a nitrogénkötés döntő többsége a felső 20 cm-es üledékszónára koncentrálódik. Ennél mélyebb rétegekben az aktivitás ritkán haladja meg a 0,5—1 ng N cm⁻³ h⁻¹ értéket. A felső 20 cm üledékréteg nitrogénkötését mérő, perforált műanyaghengeres eljárásunkkal tehát az egységnyi üledékfelület teljes nitrogénkötése jól becsülhető. Az üledékek nitrogénkötésének összehasonlításánál a részletes rétegvizsgálatok nélküli adatokat minden esetben az üledék felső 20 cm-es zónájára számítottuk.

pH

1980-ban, a Keszthelyi-medence üledékében rétegenként vizsgáltuk a nitrogénkötést befolyásolható fiziko-kémiai környezetet és a nitrogénkötésért felelős mikroorganizmusok mennyiségi eloszlását. A jól pufferolt, meglehetősen állandó pH értékkel jellemzett nyíltvíz az elmúlt évtizedben a Keszthelyi-medencében drámai változáson esett át. Jelenleg a pH erőteljes napi ritmust mutat, az elsődleges termeléstől függően a napszakos változás a vízoszlopban

5. táblázat

A pH évszakos vertikális eloszlása a Keszthelyi-öböl intersticiális vizében

Üledékmélység, cm	1980. 03. 26.	05.14.	06. 10.	07. 08.	08. 12.	10. 10.
Iszap feletti víz	7,05	7,51	7,34	7,71	7,45	7,82
0—2,5	7,15	7,38	7,28	7,55	7,72	7,73
2,5—5,0	7,45	7,38	7,45	7,52	7,70	7,83
5,0—7,5	7,67	7,34	7,38	7,92	7,59	7,59
7,5—10,0	7,51	7,44	7,78	7,95	7,91	7,88
10,0—12,5	7,52	7,37	7,76	7,61	7,95	7,76
12,5—15,0	7,55	7,55	7,71	7,72	8,20	7,89
15,0—17,5	7,65	7,71	7,82	7,82	8,18	7,78
17,5—20,0	7,67	7,74	7,83	7,95	8,02	7,98

már 8,2—9,1 közötti tartományban mozog. A napszakos változás a trofogén rétegben nagyobb és az aljzati vízrétegekhez közelítve csökken (OLÁH és mtsai. 1980). Jelen vizsgálatunkban használt módszerrel napszakos ritmust az üledékben már nem is tudtunk kimutatni. Az üledékrétegek évszakos pH vizsgálata azt mutatja, hogy a vízoszloppal összehasonlítva az üledék kevésbé lúgos (5. táblázat). Ismeretes, hogy a vízoszlopban a pH ősztől fokozatosan csökken tavaszig (ENTZ 1949—1950). Ez a változás az üledékre is érvényes. Az üledékfelszín kora tavaszi 7,15-ös pH értéke őszi 7,82-re növekedett. A jégolvadás utáni, kora tavaszi értékekhez képest, nyáron és ősszel még az üledék mélyebb rétegeiben is lúgosodik a környezet. Az esetek többségében a vízüledékhatár kevésbé lúgos, mint a mélyebb rétegek, feltehetően az erőteljesebb légzés következtében. A vizsgált üledékrétegekben a felszíni rétegen kívül az 5—7,5 cm-es réteg mutatott jelentős pH változást. Látni fogjuk, hogy ez az üledékréteg a többi vizsgált paraméter alapján is jelentős élettevékenységet mutat.

Redox potenciál

A vízüledékhatár és a mélyebb üledékrétegek 1980. évi évszakos redox potenciál vizsgálata jelentős változásra utal (6. táblázat). A hetvenes évek elején a vízüledékhatáron sohasem sikerült negatív redox potenciált mérnünk (OLÁH 1971, 1975), ugyanakkor jelen vizsgálatunkban, a melegvíű évszakokban a vízüledékhatáron a redox potenciál mindig negatív volt. Márciusban a vízüledékhatár, pontosabban a felső egy cm-es üledék redox potenciálja 65 mV volt és az első negatív értékeket csak a 4 cm mélységű üledékrétegben mértük. Májusra a felső egy cm-es üledékréteg már negatív volt, de még a legredukáltabb 13 cm-es rétegben is csak —84 mV értéket mértünk. A legmelegebb hónapokban a mélyebb rétegek redox potenciálja ennél lényegesen negatívabb volt, augusztusban a 17 cm-es rétegben elérte a —220 mV-ot. Júniusban és augusztusban az üledékfelszín is —100 mV körüli értéket mutatott. Októberre

6. táblázat

A redoxpotenciál (E_H) évszakos vertikális eloszlása a Keszthelyi-öböl intersticiális vizében, mV

Üledékmélység, cm	1980. 03. 26.	05. 14.	06. 10.	07. 08.	08. 12.	10. 10.
1	65	-7	-95	-34	-81	15
2	15	-3	-108	-75	-89	—
3	0	-18	-122	-92	-102	-115
4	-45	-31	-140	-96	-109	—
5	-55	-34	-158	-103	-118	-208
6	-105	-56	-153	-108	-118	—
7	—	-55	-160	-122	-135	-230
8	—	-29	-170	-127	-137	—
9	—	-41	-157	-88	-132	-245
10	—	-46	-164	-110	-131	—
11	—	-51	-185	-155	-130	-275
12	—	-65	-175	-125	-144	—
13	—	-84	-185	-135	-145	-295
14	—	—	-185	-145	-135	—
15	—	—	—	-145	-180	-315
16	—	—	—	-155	-170	—
17	—	—	—	—	-220	-345

az üledékfelszín újra pozitív lett, de az oxidált üledékfelszín alatt erőteljes redukált környezet alakult ki, a 17 cm-es üledékrétegben -345 mV-ot mértünk. Az alacsonyabb hőmérséklet mellett a redukált anyagcseretermékek felhalmozódása dominált az eloxidálással szemben.

Oldott szerves-N

Az alacsonyabb vízhőmérséklet mellett a szervesanyagok lebontásának lelassulását bizonyítja az üledék intersticiális vizében oldott szerves-N évszakos eloszlása is (7. táblázat). Kora tavasszal, a jég elolvadása után az üledék in-

7. táblázat

Az oldott szerves-N évszakos vertikális eloszlása a Keszthelyi-öböl intersticiális vizében, mg dm⁻³

Üledékmélység, cm	1980. 03. 26.	05. 14.	06. 10.	07. 08.	08. 12.	10. 10.
Iszap feletti víz	1,62	0,01	0,307	1,521	0,10	1,41
0—2,5	—	2,60	0,21	4,89	3,35	6,109
2,5—5,0	14,30	1,40	1,20	3,37	2,76	6,124
5,0—7,5	12,96	3,71	0,10	4,16	0,98	2,525
7,5—10,0	10,73	2,25	4,98	2,01	0,71	5,038
10,0—12,5	8,16	4,10	3,14	1,39	2,95	0,195
12,5—15,0	7,01	3,20	3,55	1,05	3,05	0,828
15,0—17,5	8,06	1,50	3,91	0,04	3,80	1,321
17,5—20,0	7,33	1,90	2,70	0,04	3,29	1,880

tersticiális vízében feltűnően magas oldott szerves nitrogén koncentrációt mérünk. A 2,5–5 cm-es üledékrétegben az oldott szerves-N koncentráció 14,3 mg dm⁻³ volt. A feltehetően magasabb koncentrációjú üledékfelszín mintát méréstechnikai hiba következtében nem mérhettük. A mélységgel a szerves-N koncentráció gyorsan csökkent, de még a 17,5–20 cm-es üledékréteg intersticiális vízében is 7,33 mg dm⁻³ értéket mérünk. A téli hónapokban felhalmozódott oldott szerves-N május hónapban, a vízhőmérséklet gyors emelkedésével nagyon gyorsan elhasználódott, és egész nyáron alacsony szinten maradt. A pH környezethez hasonlóan az 5–7,5 cm-es rétegben változtak a legszembetűnőbben az értékek. Az üledékfelszín intersticiális vízében a legalacsonyabb szerves-N koncentrációt júniusban mérünk, amikor a téli felhalmozódás hatása már régen eltűnt, de a napi szervesanyag termelés maximuma még nem alakult ki. A vízhőmérséklet csökkenésével, októberre emelkedni kezdett az intersticiális víz szerves-N tartalma. Az emelkedés azonban még csak az üledék felső 10 cm-én észlelhető. A márciusi értékből látható, hogy az emelkedés tovább folytatódik és tél végére az alsóbb üledékrétegek oldott szerves-N készlete is megnő.

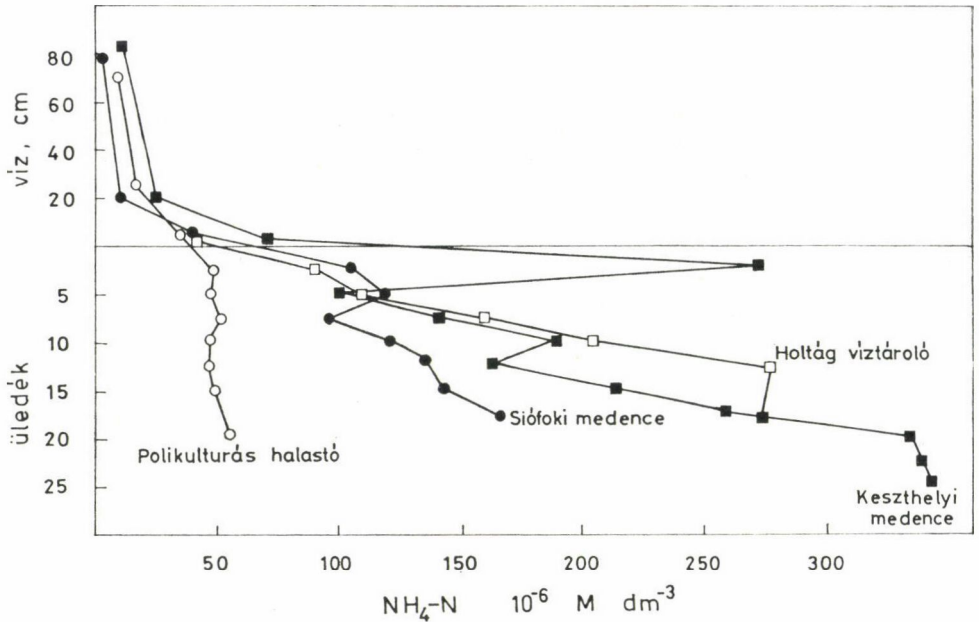
NH₄-N

Az üledék intersticiális vízében oldott szerves-N évszakos eloszlásához hasonlóan az NH₄-N koncentráció is a kora tavaszi hónapban volt a legmagasabb (8. táblázat). Az előbbivel ellentétben azonban az intersticiális vízben szabadon oldott ammónium ion egész évben igen nagy koncentrációban jelen volt, és ez a nitrogénkötés szempontjából különös jelentőséggel bír. Az üledékrétegek redox környezetéből következik, hogy az ammónium ion vertikális eloszlása a Keszthelyi-medencében már nem az oxidált üledékekre jellemző lefutású. A jelentős vastagságú oxidált üledékfelszínnel jellemzett üledékekben az ammónium ion koncentrációja a felszíntől lefelé haladva nő (OLÁH 1975). Jelen vizsgálat alapján megállapítható, hogy ez az elterjedési típus már

8. táblázat

Az NH₄-N évszakos vertikális eloszlása a Keszthelyi-öböl intersticiális vízében, mg dm⁻³

Üledékmélység, cm	1980. 03. 26.	05. 14.	06. 10.	07. 08.	08. 12.	10. 10.
Izszap feletti víz	0,30	4,21	1,21	3,23	5,60	2,541
0–2,5	6,80	4,85	0,21	2,61	2,34	5,211
2,5–5,0	6,25	4,50	6,65	2,62	1,78	4,225
5,0–7,5	7,54	4,54	6,02	3,25	4,26	4,016
7,5–10,0	6,02	4,30	5,85	4,62	4,08	3,96
10,0–12,5	4,34	4,10	5,61	4,11	4,80	2,02
12,5–15,0	4,24	3,90	4,15	4,45	4,94	2,682
15,0–17,5	3,94	4,05	3,81	4,61	4,02	2,621
17,5–20,0	4,02	4,15	3,25	4,11	3,70	2,811



3. ábra. A tóvízben és az üledék intersticiális vizében oldott $\text{NH}_4\text{-N}$ gradiensek a Keszthelyi medence, Siófoki medence, Körös-holtág víztározó és polikulturás halastó vízüledék határán

nem jellemzi többé minden évszakban a Keszthelyi-medence üledékét. Kora tavasszal a legmagasabb $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentráció az 5–7,5 cm-es rétegben volt, de a fölötté levő üledékrétegek értékei sem voltak lényegesen kisebbek. Májusban legtöbb ammóniumot az üledékfelszínen mértünk és lefele haladva alig csökkent a koncentrációja. Még közvetlenül az üledék feletti vízrétegben is hasonló koncentráció volt. Júniusban az üledék felső 2,5 cm-es rétegében feltűnően lecsökkent az ammónium ion koncentráció, legmagasabb a 2,5–5 cm-es rétegben volt és ezt követően fokozatosan csökkent egészen a vizsgált 20 cm-es réteget. Júliusban szintén az üledékfelszínen volt a legkevesebb ammónium és fokozatosan növekedett a 7,5–10 cm-es réteget, majd nagyjából azonos maradt. Kis eltéréssel hasonló típusú volt az augusztusi vertikális eloszlás is. Mindebből megállapítható, hogy a legmelegebb nyári hónapokban, erőteljes oxigén termelés mellett a vízszlophoz közeli üledékrétegek ammónium ion tartalma kisebb, mint a mélyebb üledékrétegeké. Októberben megfordul a helyzet. Legtöbb ammóniumot a legfelső üledékrétegben mértünk és az értékek lefelé haladva csökkentek. Végeredményben ez az állapot stabilizálódik a tél folyamán és megmarad egészen a jégolvadásig, sőt, amint láttuk, még májusban is a legfelső üledékrétegben mértünk legtöbb ammóniát. Összehasonlító vizsgálatunk során legkevesebb intersticiális ammóniumot a polikulturás halastó, legtöbbet pedig a Keszthelyi-medence üledékében mértünk (3. ábra).

NO_3 és NO_2

Az oldott szerves-N, de még az NH_4-N koncentrációhoz viszonyítva is az üledékben elenyésző az NO_3-N mennyisége (9. táblázat). A redox potenciál vertikális eloszlásából következően legtöbb nitrát ion a felső üledékrétegekben várható. Méréseink ezt egyértelműen bizonyították. Minden évszakban a felső üledékrétegekben mértünk legmagasabb nitrát koncentrációt. Kora tavasszal, amikor a redox profil a legpozitívabb volt, mértük a legmagasabb nitrát koncentrációt az üledékfelszínen. A vizsgálatok többségénél a nitrát koncentráció az üledékmélységgel párhuzamosan csökkent, de kis koncentrációt még a legmélyebb rétegben is találtunk. Októberben, a -345 mV redox potenciál mellett $39 \mu g dm^{-3}$ nitrát koncentrációt mértünk. Az üledék intersticiális vizében az előbbi nitrogénformákhoz képest az NO_2-N mennyisége kicsi (10. táblázat). A hidegvízű évszakokban a nitrit ion mennyisége általában az üledékfelszínen volt a legnagyobb, szemben a legmelegebb nyári hónapokkal, amikor a felső 2,5 cm-es üledékrétegben kisebb értékeket mértünk. Maximumokat

9. táblázat

Az NO_3-N évszakai vertikális eloszlása a Keszthelyi-öböl intersticiális vizében, $\mu g dm^{-3}$

Üledékmélység, cm	1980. 03. 26.	05. 14.	06. 10.	07. 08.	08. 12.	10. 10.
Izszap feletti víz	5	100	25	56	56	20
0–2,5	300	170	150	60	160	150
2,5–5,0	140	80	220	60	70	92
5,0–7,5	100	80	170	70	80	40
7,5–10,0	30	60	140	60	50	80
10,0–12,5	30	30	110	50	80	70
12,5–15,0	30	60	150	20	50	72
15,0–17,5	30	50	60	30	80	39

10. táblázat

Az NO_2-N évszakai vertikális eloszlása a Keszthelyi-öböl intersticiális vizében, $\mu g dm^{-3}$

Üledékmélység, cm	1980. 03. 26.	05. 14.	06. 10.	07. 08.	08. 12.	10. 10.
Izszap feletti víz	16	32	5	2	34	18
0–2,5	25	45	5	5	6	16
2,5–5,0	2	5	7	14	4	17
5,0–7,5	11	5	5	5	5	5
7,5–10,0	1	5	18	6	1	6
10,0–12,5	1	11	15	5	7	8
12,5–15,0	5	4	10	6	3	22
15,0–17,5	2	3	4	5	11	5
17,5–20,0	1	7	1	9	5	35

mértünk még kora tavasszal az 5–7,5 cm-es, májusban a 10–12,5 cm-es, júniusban a 7,5–15 cm-es, júliusban a 2,5–5 cm-es, augusztusban a 15–17,5 cm-es, októberben pedig a 12,5–15 és 17,5–20 cm-es rétegekben.

Azotobacter és Clostridium

A több szénforrást tartalmazó, széles spektrumú táptalajon számolt *Azotobacter* típusú aerób nitrogénkötő baktériumok a Keszthelyi-medencében nem játszanak jelentős mennyiségi szerepet a nitrogénkötésben (11. táblázat). 1980-ban az 50 cm-es vízrétegben csupán egy alkalommal találtunk *Azotobacter*-t. Mivel az előzetes mérések szerint mennyiségük az üledékben sem jelentős, a részletes rétegvizsgálatot nem is végeztük el, csupán az üledékfelszín és az 5–8 cm-es üledékréteg *Azotobacter* populáció nagyságát mértük. Az évszakos vizsgálati eredmények szerint a hideg vízű évszakokban az üledékfelszín és a mélyebb üledékréteg között nem találtunk különbséget. Mindkét üledékrétegben 100 körül volt az *Azotobacter* sejtek száma. Júliusban az üledékfelszínen megnőtt a populáció, elérte az 1000 sejtet egy g üledékben. Ugyanekkor a mélyebb, 5–8 cm-es üledékrétegben csak 10 sejtet találtunk. Az üledékfelszín és a mélyebb üledékréteg közötti különbség még júliusban is megmaradt. Ezek az eredmények egyértelműen bizonyítják, hogy az üledékben folyó nitrogénkötésért nem az *Azotobacter* populációk a felelősek, még az oxidált üledékfelszínen is csak kis mértékben járulnak hozzá a teljes nitrogénkötéshez.

A *Clostridium* típusú anaerób nitrogénkötő baktériumok évszakos vertikális eloszlásvizsgálata azt mutatja, hogy az üledék nitrogénkötését döntően ezek a baktérium populációk végzik. Látni fogjuk azonban, hogy teljes mértékben még a *Clostridium* fajokkal sem magyarázható a nitrogénkötés mért vertikális eloszlása. Kora tavasszal az üledékfelszínen és a mélyebb, 5–8 cm-es üledékrétegben is 10^4 sejtet találtunk egy üledékben. Ugyanekkor közvetlenül az üledékréteg feletti vízrétegben is magas volt a *Clostridium*ok száma. Májusban nem változott jelentős mértékben a helyzet, csupán az üledék feletti vízrétegben és a mélyebb üledékrétegben csökkentek egy nagyságrenddel az értékek. Júniusra az üledék feletti vízrétegben tovább csökkent a *Clostridium* szám, az üledékfelszínen viszont 10^5 -re emelkedett és a mélyebb

11. táblázat

Azobacter típusú aerob N-kötő baktériumok évszakos eloszlása az üledékfelszínen és az 5–8 cm-es üledékmélységben. MPN sejt cm^{-3} víz, sejt g^{-1} üledék

Üledékmélység, cm	1980. 03. 26.	05. 14.	06. 10.	07. 08.	08. 12.	10. 10.
Víz 50 cm	0	0	0	0	0	1
Iszapfelszín	100	100	1000	100	100	100
Iszap 5–8 cm	100	100	10	10	100	100

12. táblázat

Clostridium típusú anaerob N-kötő baktériumok évszakos vertikális eloszlása a Keszthelyi-öböl intersticiális vizében, MPN sejt cm^{-3} víz, g^{-1} üledék

Üledékmélység, cm	1980. 03. 26.	05. 14.	06. 10.	07. 08.	08.12.	10. 10.
Víz 50 cm	10^3	10^2	10^1	10^0	10^2	10^2
Iszap 0—1	10^4	10^4	10^5	10^6	10^5	10^4
1—2	—	—	10^3	—	10^5	—
2—3	—	—	10^3	—	10^4	—
3—4	—	—	10^4	—	10^4	—
4—5	—	—	10^5	—	10^4	—
5—8	10^4	10^3	10^4	10^4	10^4	10^4
8—11	—	—	10^2	—	10^4	—
11—14	—	—	10^3	—	10^3	—
14—17	—	—	10^3	—	10^4	—
17—20	—	—	10^3	—	10^3	—

rétegekben csökkent, majd a 4—5 cm-es üledékrétegben újra emelkedett 10^5 -ig. Júliusban az üledék feletti vízrétegben nem volt kimutatható Clostridium, ugyanakkor a felszíni üledékben ekkor mértük a legmagasabb értéket, 10^6 egy g üledékben. A nitrogénkötés évszakos vizsgálata során is ekkor mértük a legnagyobb értéket, ugyanebben az üledékrétegben (4. táblázat). Augusztusban az üledék feletti vízrétegben újra megjelennek a Clostridium sejtek és a felső üledékrétegekben továbbra is magasak az értékek és a mélyebb rétegek felé haladva csökkennek. Októberben a kora tavaszi eloszlást találtuk. Az üledékfelszínen és a mélyebb üledékrétegekben is 10^4 populációs nagyságot mértünk. Ha részletesen összevetjük a nitrogénkötés és a Clostridium típusú baktériumok vertikális elterjedését (4. és 12. táblázatok) a nitrogénkötést csupán a Clostridiumok vertikális elterjedésével nem tudjuk minden esetben megmagyarázni. A mélyebb rétegekben mért nitrogénkötési maximumokért esetenként feltehetően a szulfátredukáló baktériumok a felelősek. Az üledékfelszínen májusban, viszonylag kis Clostridium populációk mellett mért igen nagy nitrogénkötésben valószínűleg a hidrogén és a metánoxidáló baktériumok is részt vettek.

Nitrogénkötést befolyásoló tényezők

Szervesanyag

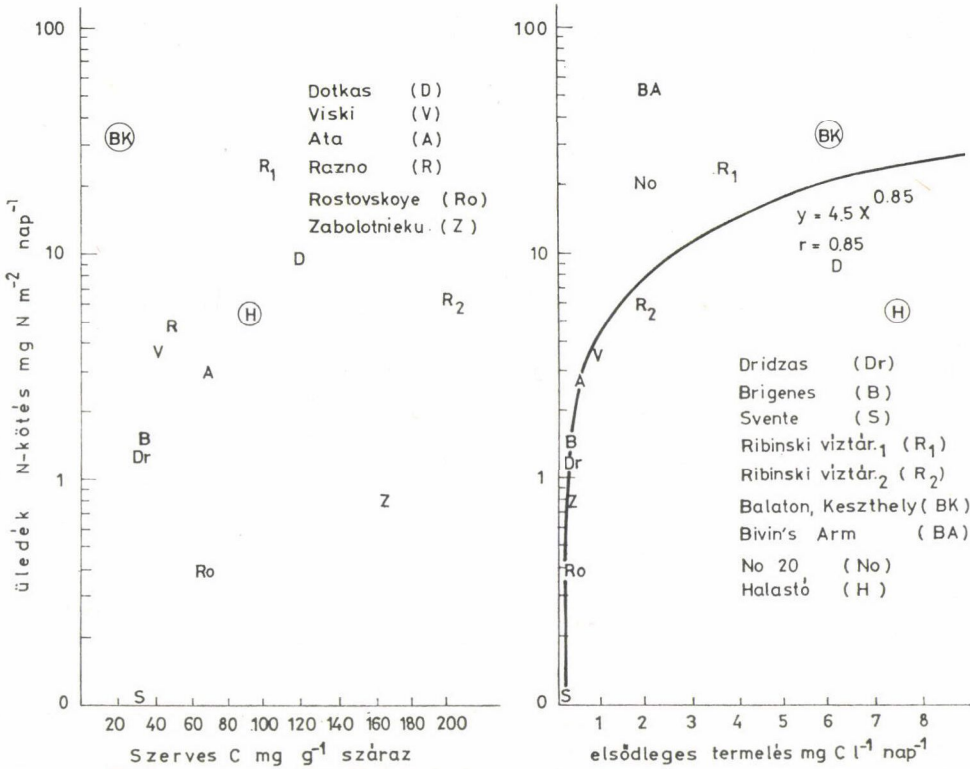
A nagy nitrogénkötéssel jellemezhető rögzült társulások a vizek fényzónáiban élnek, ahol a nitrogénkötéshez az energiát és redukált anyagot közvetlenül a fotoszintézis primér folyamatai szolgáltatják. A sötét, fény nélküli zónában található tavi üledékekben a nitrogénkötést elsősorban kemoorganotróf és kisebb mértékben kemolitotróf baktériumok végzik igen kis hatékonysággal. MULDER és BROTONEGORO (1974) szerint a *Clostridium pasterianum* obligát

anaerób szervezet 1 g cukor felhasználásával 10 mg nitrogént képes megkötni. Ugyanez a szám a *Klebsiella pneumoniae* fakultatív anaerób szervezetnél 5, az *Azotobacter* obligát aerób baktériumcsoportnál alacsony oxigéntartalom mellett 46, magas oxigéntartalom mellett 10–20, a *Mycobacterium flavum*nál pedig csak 3–6. A *Rhodospirillum rubrum* bíbor színű fotoorganotróf baktérium szervesanyag hasznosítása sem sokkal jobb. 1 g piruvat felhasználásával 32 mg nitrogént képes megkötni (SCHICK 1971). A rendkívül energiaigényes nitrogénkötési folyamat nagyságrendjét tehát a sekély tavak üledékében és általában a vizek sötét, fény nélküli régióiban elsősorban a rendelkezésre álló szervesanyag mennyisége határozza meg. A tavi üledékek szervesanyag-tartalma és nitrogénkötése közötti összefüggés leírása céljából összegyűjtöttük az eddig közölt adatokat és saját vizsgálataink eredményeit (13. táblázat). Változatos tavakat képviselő 15 tó üledékének szervesanyag-tartalma és nitrogénkötése között kilenc gyakori összefüggés típus számítógépes próbája semmiféle szignifikáns összefüggést nem mutatott (4. ábra). A várt összefüggés hiányát az üledékek szervesanyag-tartalma közötti minőségi különbségekben kell keresnünk. A használt módszerekkel mért szervesanyag-tartalomból ugyanis nem következtethetünk azok minőségére, holott a nitrogénkötés nagyságát nyilvánvalóan csak a ténylegesen hasznosítható, felvehető szervesanyag mennyisége határozza meg. A Zabolotnieku-tó nagy szervesanyag-tartalmú üledékében a humifikálódott, tovább már lassan bomló, fosszilizálódott szervesanyag dominál, érthetően alacsony nitrogénkötéssel. A Ribinszki-víztároló magas szervesanyag-tartalmú tőzeges üledékében is kisebb a nitrogénkötés, mint a

13. táblázat

Üledék nitrogénkötés (felső 20 cm), üledék szerves-C és plankton elsődleges termelés sekély és rétegzett tavakban

Tó	Mélység m	Üledék N-kötés mg N m ⁻² nap ⁻¹	Üledék szerves-C mg g ⁻¹ száraz	Elsődleges termelés mg C l ⁻¹ nap ⁻¹ felszín	Szerző
Dotkas, Litvánia	3	9,6	120	6,1	SARALOV és DAUKSTA 1978
Viski, Litvánia	8	3,9	43	1,0	SARALOV és DAUKSTA 1978
Ata, Litvánia	4	3,0	70	0,6	SARALOV és DAUKSTA 1978
Razmo, Litvánia	10	4,8	50	—	SARALOV és DAUKSTA 1978
Rostovskoye, Litvánia	7	0,4	66	0,3	SARALOV és DAUKSTA 1978
Zabolotnieku, Litvánia	16	0,8	166	0,3	SARALOV és DAUKSTA 1978
Dridzas, Litvánia	20	1,3	33	0,2	SARALOV és DAUKSTA 1978
Brigenes, Litvánia	16	1,5	36	0,2	SARALOV és DAUKSTA 1978
Svente, Litvánia	20	0,1	36	0,01	SARALOV és DAUKSTA 1978
Ribinski-víztároló ₁	8	25,3	100	3,5	SARALOV 1978
Ribinszki-víztároló ₂	3	6,3	200	2,0	SARALOV 1978
Bivin's Arm, Florida	1,5	56,1	—	1,8	KEIRN és BREZONIK 1971
No 20, Florida	3,4	21,1	—	1,8	KEIRN és BREZONIK 1971
Balaton, Keszthely	2,5	321,	20	6,0	jelen vizsgálat
Halastó, Szarvas	1	5,8	90	8,0	jelen vizsgálat

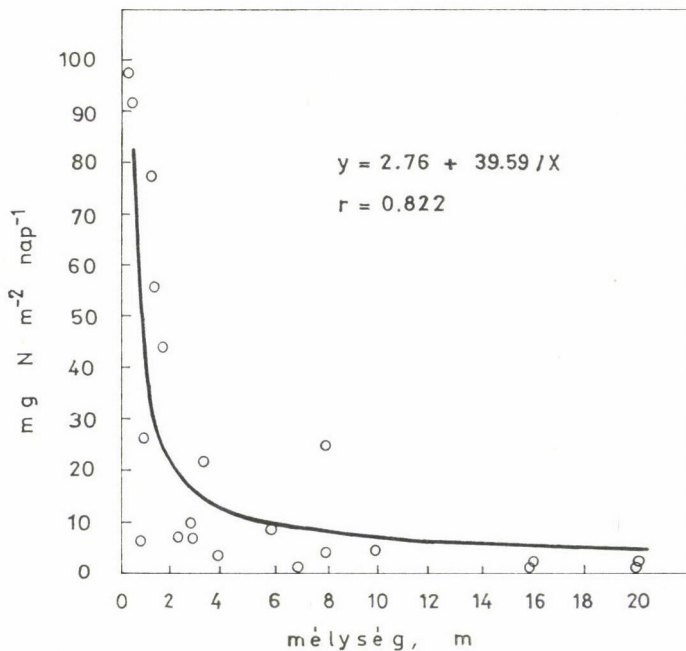


4. ábra. Összefüggés üledék nitrogénkötés és üledék szerves-C, valamint üledék nitrogénkötés és planktonikus elsődleges termelés között

planktonikus eredetű kevesebb szervesanyagot tartalmazókban. Meglepően szoros összefüggést találtunk ugyanezen tavak elsődleges termelése és üledékének nitrogénkötése között ($r = 0,85$). A hatvány típusú összefüggés szerint ($y = 4,5 x^{0,85}$) az üledék feletti vízoszlopban naponta megtermelt szervesanyag növekedésével ugrásszerűen nő az üledék nitrogénkötése. A növekedési ütem csak egészen magas elsődleges termelés mellett kezd csökkenni. A sekély, nagy kiterjedésű, vízmozgással gyakran felkavart Keszthelyi-medence üledéke jellemezhető az eddig vizsgált tavak között a leghatékonyabb nitrogénkötéssel, más szóval az adott szervesanyag-tartalom mellett a legnagyobb nitrogénkötéssel. A magas napi szervesanyag-termeléshez viszonyítva már kisebb a hatékonyság. Mindez azt bizonyítja, hogy a vízüledékhatáron az állandó oxigén utánpótlás következtében, a különböző baktérium populációk között rendkívül éles versengés folyik, a vízoszlopban naponta termelődő és üledékre jutó szervesanyagért. Hasonló következtetésre jutottunk a Balaton vízüledékhatárát jellemző magas hőmérséklet, nagy CaCO_3 tartalom és állandó oxigén telítettség hatásának kísérletes vizsgálatával (OLÁH 1971). Az üledékben rendelkezésre álló szervesanyag mennyiségét és minőségét tükrözi az üledék nitro-

génkötése és az üledék fölötti vízoszlop kiterjedése, azaz a vízmélység között talált elég szoros összefüggés (5. ábra). Az irodalomból összegyűjtött és az általunk vizsgált 21 tó adatai azt sugallják, hogy a tó mélység növekedésével csökken az üledék nitrogénkötése. A sekély tavak üledékében tehát általában nagyobb nitrogénkötés várható. A tó mélységgel való összefüggést azonban közvetettnek kell tekintenünk. A közvetlenül ható tényező ebben az esetben is az üledékre naponta lehulló szervesanyag mennyisége. A sekély tavak szervesanyag-termelése ugyanis általában nagyobb a mély tavakénál és a vízoszlopból az üledékre ülepedő szervesanyag aránya, a planktoneső is csökken a mélységgel a Hargrave-féle összefüggés szerint (HARGRAVE 1973, 1974). Ezek az összefüggések még akkor is meghatározók az üledék szervesanyag ellátásában, ha tudjuk, hogy a sekély és gyakran felkavarodó tavakra csak módosítással érvényesek (OLÁH 1978).

A módszer fejlesztése során a Keszthelyi-medencében elvégzett cukorhozzáadási kísérletek szerint, különböző cukrok eltérő módon befolyásolták a nitrogénkötést. A glükóz és acetát önálló és ammónia hozzáadásával kombinált hatását 1980. május 6-án vizsgáltuk a Körös-holtág víztározó üledékével. A hozzáadás azonnali hatását vizsgáltuk, 4 órás inkubálás során. Az üledékfelszínről származó mintát a hozzáadás után 0,65 He, 0,20 O₂ és 0,15 C₂H₂ atmoszféra gázkeverékben, az 5–7 cm üledékmélységből származó mintát pedig hozzáadás után 0,85 He és 0,15 C₂H₂ atmoszféra gázkeverékben inkubáltuk.



5. ábra. Összefüggés az üledék nitrogénkötés és a tó mélység között

14. táblázat

Ammónia, glükóz és acetát hatása az üledék nitrogénkötésre a Körös-holtág víztározóban, $\text{ng N g}^{-1}\text{h}^{-1}$

	Üledékfelszín (felső 1 cm)	Felszín alatti üledék (5–7 cm)
Kontroll	0,40	0,87
3 mg l^{-1} $\text{NH}_4\text{Cl-N}$	0,74	1,85
30 mg l^{-1} $\text{NH}_4\text{Cl-N}$	0,51	0,91
6 mM glükóz	0,95	0,76
6 mM acetát	0,33	0,95
3 mg l^{-1} $\text{NH}_4\text{Cl-N}$ + 6 mM glükóz	1,55	3,05
30 mg l^{-1} $\text{NH}_4\text{Cl-N}$ + 6 mM glükóz	0,65	2,60

A mintát inkubálás előtt és után is ráztuk. Az üledékfelszínről származó mintában a glükóz-hozzáadás hatására a kontrollhoz képest közel 150 százalékkal nőtt a nitrogénkötés (14. táblázat). Acetát-hozzáadás valamelyest csökkentette a nitrogénkötést. Az 5–7 cm mélységből származó mintában a nitrogénkötés a glükóz és acetát-hozzáadásra fordított választ adott, bár a gátló és serkentő hatás is kicsi volt. Ha a glükóz mellett az üledéket ammóniummal is gazdagítottuk a nitrogénkötés az üledékfelszíni és az 5–7 cm mélységből származó mintában is több mint háromszorosára növekedett a rövid négy órás inkubálás során. A glükóz és az ammónium erőteljes, együttes serkentő hatását nem ismerjük.

Ammónia

Ammónium-hozzáadás hatására a nitrogénkötés közel duplázódott mind a felszínről, mind pedig az 5–7 cm mélységből gyűjtött üledékmintákban (14. táblázat). Nagy végkoncentrációjú ammónium, 30 mg l^{-1} hozzáadásra ugyanakkor a nitrogénkötés a kontrollhoz képest alig változott. 1979. július 25-én és 1980. június 10-én a Keszthelyi-medencében vizsgáltuk az üledékhez adott ammónium rövid idejű hatását a nitrogénkötésre. A 4 órás inkubálás alatt 30 $\text{mg NH}_4\text{Cl}$ végkoncentráció mellett szignifikáns gátló hatást nem mértünk. Üledékekben az ammónium és nitrát ionok nitrogénkötésre kifejtett hatását kísérletesen nem vizsgálták. PATRIGUIN és KEDDY (1978) 33 mocsári növény gyökérszónájában mérte a nitrogénkötést és ezzel párhuzamosan hasonló üledékmélységből vákumesöves eljárással vett pórúsvízben az ammónium ion koncentrációt. Azokban az üledékekben, ahol az ammónium koncentráció a 42 $\mu\text{g l}^{-1}$ -t nem haladta meg, a nitrogénkötés többszöröse volt a 462 μg -ot vagy ennél többet tartalmazókéknak. Sajnos a vizsgált Nova Scotia tengerparti mocsári üledékeknél a két érték között nem volt adat, így a jelentős gátló hatást okozó ammónia koncentrációt csak az irodalmi adatokkal összevetve

becsülhették a mért két érték közötti 140 és 350 $\mu\text{g-os}$ tartományban. WATANABE és CABRERA (1979) kísérletesen vizsgálták több mM-os ammóniumklorid oldatok hatását a rizs gyökérszónájának nitrogénkötésére. A használt legkisebb, 4,6 mg l^{-1} -es koncentráció már gátló hatású volt, ugyanakkor figyelemre méltó, hogy a nitrogénkötés még 10–50 mM-os ammóniumklorid több napos hatása után is jelentős mértékű volt. Rizsföldek vizében élő *Azolla-Anabaena* társulás nitrogénkötését hat napos előinkubálás után, az alkalmazott 10 mM ammónium 30%-kal, a 10 mM nitrát pedig 68%-kal csökkentette (HOLST és YOPP 1979). DICKER és SMITH (1980) sós mocsári *Spartina* üledék nitrogénkötésénél az ammónium hatásban évszakos változást találtak. Kora nyáron az ammónia-hozzáadás nem eredményezett csökkenést a nitrogénkötésben, ugyanakkor késő nyáron és kora ősszel 2×10^{-2} M ammóniumklorid 5 napos hatására 85–95%-kal csökkent a kezeletlen kontrollhoz viszonyítva a nitrogénkötés. 2×10^{-2} M káliumnitrát minden vizsgált évszakban majdnem teljes gátlást eredményezett. A nitrát gátlás annak a kompetíciónak az eredményeként jön létre, amely a nitrát redukció és nitrogénkötés között folyik a rendelkezésre álló redukáló szubsztrátért (elektronok) és energiáért (ATP). A Körös-holtág víztározó és Keszthelyi-medence üledékének nitrogénkötését tehát rövid ideig tartó ammónia hatás nem gátolta, sőt esetenként serkentette. Az előbbi jó összhangban van azzal az általános, sokoldalúan bizonyított megállapítással, hogy az ammónia a nitrogenáz enzim működését nem befolyásolja, hosszan tartó hatásra viszont gátolja a nitrogenáz enzim szintézist. BROOKS és mtsai. (1971), valamint KEIRN és BREZONIK (1971) a tápanyagokban rendszerint gazdag tavi üledékekben mért magas ammóniatartalom és nitrogénkötés együttes előfordulását azzal magyarázták, hogy az üledékekben mért ammónia nagyobb hányada a formált frakcióban, adszorbeált formában van jelen és így a baktériumok számára nehezen hasznosítható. Vizsgálataik óta végbement módszertani fejlődés, az intersticiális víz kinyerésére alkalmas üledékprés eljárás lehetővé tette az üledékben valóban oldott formában jelenlévő ammónium pontos meghatározását. Láttuk, hogy a Keszthelyi-medence, a Siófoki-medence, a Körös-holtág víztározó és a polikultúras halastó üledékében is bőséges oldott ammónium ion található. Legkevesebb ammóniumot az egy méter vízmélységű, halak által felkavart polikultúras halastó üledékében, legtöbbit pedig a Keszthelyi-medence üledékében mértünk. A halastó intersticiális vizében oldott, közel 1 mg l^{-1} -es koncentrációjú ammónium is bőséges szervesetlen nitrogénforrást jelent a baktériumok számára, nem beszélve a Keszthelyi-öbölben mért több mg l^{-1} -es értékekről. A sok ammóniumot tartalmazó üledékek nagy nitrogénkötését tehát nem magyarázhatjuk a szervesetlen nitrogén hozzáférhetetlenségével. Számunkra továbbra is kérdéses, miért van gyakran igen jelentős nitrogénkötés állandóan nagy mennyiségű és könnyen felvehető formában jelenlévő ammóniát tartalmazó üledékekben. Mi az ökológiai jelentősége, magyarázata ennek az energiapazarló és mennyiségileg figyelemre méltó

folyamatnak? Feltételezzük, hogy az oxigénben mindig szűkös és „elektronban” mindig gazdag üledékekben élő Clostridium, Desulfovibrio vagy más típusú obligát anaerób nitrogénkötő baktériumok számára a nitrogéngáz nemcsak tápanyagként, hanem elektron akceptorként is szolgál?

Hőmérséklet

A könnyen hasznosítható szervesanyag mennyisége mellett az üledékek nitrogénkötésének évszakos alakulását alapvetően a hőmérséklet határozza meg. Télen a Ribinszki-víztároló üledékének nitrogénkötése laboratóriumi, 25 °C-os inkubálásnál hat-hétszer nagyobb volt, mint a párhuzamos in situ 2 °C-nál, elérve a tavaszi periódus maximumát (SARALOV 1978). Szennyezett csatorna üledékében a glükóz nitrogénkötést stimuláló hatása in situ 5 °C mellett nem jelentkezett. A párhuzamos laboratóriumi inkubálás 25 °C-on, a kontrollhoz képest több nagyságrenddel növelte a nitrogénkötést glükóz hozzáadásra (PEARSON és TAYLOR 1978). A Körös-holtág víztároló üledékének jég alatti, in situ hőmérséklet mellett mért nitrogénkötése 1,8 mg m⁻² nap⁻¹ volt, ugyanakkor laboratóriumi, 25 °C-os inkubálásnál 7,2 mg m⁻² nap⁻¹.

Többváltozós regresszió-elemzés

A Keszthelyi-medence üledékrétegeiben 1980. május 14. és november 10. között végzett mérések eredményeit felhasználva többváltozós regresszió-elemzést végeztünk a nitrogénkötés mint függőváltozó és az üledékmélység, pH,

15. táblázat

Többváltozós regresszió-elemzés a nitrogénkötés mint függőváltozó és az üledékmélység, pH, E_h, oldott szerves-N, NH₄-N és NO₃-N között. A Keszthelyi-medence üledékrétegeiben, 1980. május 14. és november 10 között végzett mérések. Többváltozós korrelációs koefficiens, 0,6647

Tényező	Variansciaelemzés			
	SQ	FG	MQ	F
Összes	2326,3	30		
Regresszió	1027,7	6	171,2	3,17
Hiba	1298,6	24	54,1	

Változók	Regressziós változók		
	Koefficiens	Szórás	t
Konstans x	28,675		
Üledékmélység	-0,818	0,419	1,95
NH ₄ -H	-1,209	1,061	1,14
Redox	0,025	0,024	1,04
Oldott szerves N	0,402	0,921	0,44
NO ₃ -N	4,482	10,786	0,42
pH	-1,019	7,920	0,13

E_h , oldott szerves-N, NH_4-N és NO_3-N mint független változók között (15. táblázat). A vizsgált változók közül a nitrogénkötéssel legszorosabb kapcsolatot az üledékmélység, az ammónium ion koncentráció és a redox potenciál mutatott. A vizsgált periódusban, üledékrétegekben és értéktartományokban az oldott szerves-N, NO_3-N és pH gyakorlatilag alig befolyásolta a nitrogénkötést. A hat változós regresszió-elemzés korrelációs koefficiense (0,6647) jelzi, hogy a regressziós elemzésből fontos paraméterek kimaradtak. Ha a nitrogénkötésért felelős mikroorganizmusok mennyiségét is az elemzéshez csatoljuk, feltehetően tovább javult volna a korrelációs koefficiens. Részletes Clostridium rétegvizsgálatot azonban csak két alkalommal végeztünk (12. táblázat) és azt is láttuk, hogy a Clostridium és Azotobacter típusú baktériumok számlálásával egyedül nem magyarázható minden esetben a nitrogénkötés vertikális elterjedése. A különböző üledékrétegek nitrogénkötéséért felelős mikroorganizmusok in situ mennyiségi viszonyait még kevésbé ismerjük.

Üledék nitrogénkötés jelentősége a nitrogén-háztartásban

Évszakos eloszlás

A mérsékelt égöv vizeiben a nitrogénkötés szabályos, évszakos eloszlással jellemezhető ritmusban folyik. A sokféle rögzült társulás nitrogénkötésének évszakos eloszlása, az élőhely fiziko-kémiai tulajdonságaitól, a szervesanyag ellátás típusától és a nitrogénkötő társulás összetételétől függően változatos. HORNE és CARMIGGELT (1975) egy kaliforniai sziklás patak Nostoc állományában a vizsgált patakszakasztól függően áprilisban és májusban mért jelentős nitrogénkötést. A Nostoc kolóniák júniusban eltűntek a patakból, valószínűleg tápanyaghiány következtében. Egy angliai szennyezett csatorna betonfalán a levegő víz határon kialakult Rivulária fonalszőnyeg nitrogénkötése júniusban és júliusban volt a legnagyobb, egybeesve a legalacsonyabb nitráttartalommal (PEARSON és TAYLOR 1978). New York államban, egy sekély édes vízi tó *Myriophyllum spicatum* epifita társulásában a Gloeotrichia kolóniák és feltehetően Rhodospseudomonas fotoszintetizáló baktériumok hínár szárazanyaghoz viszonyított nitrogénkötése a hőmérséklet emelkedésével ugrásszerűen növekedett május elején, majd mintegy a felére csökkent a nyári hónapokban. Ősszel fokozatosan tovább csökkent, és télen jég alatt nem volt mérhető nitrogénáz aktivitás. A hatékony elsődleges szervesanyag termelő C_4 -es *Spartina alterniflora* sósmocsári növény szárához rögzült epifita társulás nitrogénkötése a fentiekhez hasonlóan egész nyáron állandó volt (GREEN és EDMISTEN 1974). A *Spartina alterniflora* gyökérszónájának nitrogénkötése is közel egyenletes volt egész nyáron (PATRIQUIN és McCLUNG 1978). Feltehetően a szár- és a gyökérszónához kötődő nitrogénkötés összefügg a hatékony fotoszintetizáló növény szervesanyag-ürítésével. Tavi üledékekben a nitrogénkötés évszakos eloszlását csak a Ribinszki-víztárolóban vizsgálták részletesen (SARALOV 1978). A két-

16. táblázat

A nitrogénkötés évszakos eloszlása a négy vizsgált sekélytavi ekosisztéma típus üledékében, $\text{mg m}^{-2}\text{nap}^{-1}$

	Március	Április	Május	Június	Július	Augusztus	Szeptember	Október	November
1.	5,42		11,2	22,9	40,9	32,2	18,6	4,2	3,8
2.	7,6	46 83	15,1	17,3	25,8	49,1	10,2		2,1
3.			1,2		3,4		5,8		
4.	2,8		3,1 2,2	0,7 0,7	1,0	1,9	3,8	4,1	

hetenkénti mérések egy tavaszi és egy őszi maximumot mutattak, mind a tőzeges, mind pedig az iszapos üledékű vízterületen. A szerző szerint az őszi maximumot a plankton tömeges pusztulása és leülepedése idézi elő. Szeptemberben a vízhőmérséklet gyors csökkenésével párhuzamosan csökkent az üledék nitrogénkötése, majd a tavaszi felmelegedés előidézte a második maximumot.

Az általunk vizsgált négy sekélytavi ekosisztéma típusban a nitrogénkötés évszakos eloszlását egy négyzetméteres üledékfelületre számítva hasonlítjuk össze (16. táblázat). A Keszthelyi-medencében az üledék nitrogénkötése márciustól kezdve fokozatosan növekedett júliusig, majd ismét fokozatosan csökkent novemberig. A hidegvízi periódusra tehát jelentősen lecsökkent a nitrogénkötés. A Körös-holtág víztározóban a hidegvízi periódusban hasonlóan kicsi a nitrogénkötés, de a Keszthelyi-medencétől eltérően a legnagyobb aktivitást, $83 \text{ mg N m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$, áprilisban mértük. Ezt követően csökkent a nitrogénkötés, majd augusztusban újra megnőtt és a vízhőmérséklet csökkenésével, ősszel csökkenni kezdett. Polikultúrás halastóban kevés időpontban mértük az üledék nitrogénkötését, a három mérési pont a tenyésztési évszakban növekvő nitrogénkötést mutat, bár még a szeptemberben mért maximum is lényegesen kisebb, mint az előbbi két sekélyvízi ekosisztémában. A hígrágyás halastóban a tavaszi maximum után csökkent a nitrogénkötés és nyári hónapokban végig alacsony maradt, majd októberre kialakult a második évi maximum.

Tavi üledékek nitrogénkötésének nagyságrendje

Mivel tavi üledékekben a nitrogénkötés évszakos alakulását még kevesen mérték, adataink összehasonlítása érdekében, a nagyságrend érzékeltetésére a különböző tavakban mért maximális értékeket napi nitrogénkötésre számítottuk át egy négyzetméteres és 20 cm vastag üledékfelületre vonatkoztatva (17. táblázat). Feltüntettük a méréseknél használt gázösszetételt, mivel az jelentős mértékben befolyásolhatja az eredményeket. A tavi üledékekben mért legnagyobb nitrogénkötés megközelíti a 100 mg N m^{-2} -es naponkénti értéket. Fel-

17. táblázat

Nitrogénkötés sekély és rétegzett tavak üledékében (felső 20 cm)

Tó	Mélység m Z	N-kötés mg N m ⁻² nap ⁻¹	Módszer (gázfázis, %)	Szerző
Kis sekély tó, Japán	0,5	90,7	Ar 70, 02 20, C ₂ H ₂ 10	SUGAHARA et al. 1971
Moss Lee, Florida	6,0	8,4	He 85, C ₂ H ₂ 15, vagy Ar 64,9 02 20, C ₂ H ₂ 15, CO ₂ 0,04	KEIRN és BREZONIK 1971
Orange, Florida	1,8	44,6	He 85, C ₂ H ₂ 15, vagy Ar 64,9 02 20, C ₂ H ₂ 15, CO ₂ 0,04	KEIRN és BREZONIK 1971
Bivin's Arm, Florida	1,5	56,1	He 85, C ₂ H ₂ 15, vagy Ar 64,9 02 20, C ₂ H ₂ 15, CO ₂ 0,04	KEIRN és BREZONIK 1971
Kanapaha, Florida	—	98,4	He 85, C ₂ H ₂ 15, vagy Ar 64,9 02 20, C ₂ H ₂ 15, CO ₂ 0,04	9EIRN és BREZONIK 1971
Apopka, Florida	—	79,9	He 85, C ₂ H ₂ 15, vagy Ar 64,9 02 20, C ₂ H ₂ 15, CO ₂ 0,04	KEIRN és BREZONIK 1971
Alice, Florida	0,9	5,6	He 85, C ₂ H ₂ 15, vagy Ar 64,9 02 20, C ₂ H ₂ 15, CO ₂ 0,04	KEIRN és BREZONIK 1971
NO 20, Florida	3,4	21,1	He 85, C ₂ H ₂ 15, vagy Ar 64,9 02 20, C ₂ H ₂ 15, CO ₂ 0,04	KEIRN és BREZONIK 1971
Ribinszki víztároló ₁	8	25,3	Ar 90, C ₂ H ₂ 10, vagy Ar 70 02 20, C ₂ H ₂ 10	SARALOV 1978
Ribinszki-víztároló ₂	3	6,3	Ar 90, C ₂ H ₂ 10, vagy Ar 70 02 20, C ₂ H ₂ 10	SARALOV 1978
Dotkas, Litvánia	3	9,6	Ar 90, C ₂ H ₂ 10, vagy Ar 70 02 20, C ₂ H ₂ 10	SARALOV és DAUKSTA 1978
Viski, Litvánia	8	3,9	Ar 90, C ₂ H ₂ 10, vagy Ar 70 02 20, C ₂ H ₂ 10	SARALOV és DAUKSTA 1978
Ata, Litvánia	4	3,0	Ar 90, C ₂ H ₂ 10, vagy Ar 70 02 20, C ₂ H ₂ 10	SARALOV és DAUKSTA 1978
Razmo, Litvánia	10	4,8	Ar 90, C ₂ H ₂ 10, vagy Ar 70 02 20, C ₂ H ₂ 10	SARALOV és DAUKSTA 1978
Rostovskoje, Litvánia	7	0,4	Ar 90, C ₂ H ₂ 10, vagy Ar 70 02 20, C ₂ H ₂ 10	SARALOV 1978

Zabolotnieku, Litvánia	16	0,8	Ar 90, C ₂ H ₂ 10, vagy Ar 70 02 20, C ₂ H ₂ 10	SARALOV és DAUKSTA 1978
Dridzas, Litvánia	20	1,3	Ar 90, C ₂ H ₂ 10, vagy Ar 70 02 20, C ₂ H ₂ 10	SARALOV és DAUKSTA 1978
Brigenes, Litvánia	16	1,5	Ar 90, C ₂ H ₂ 10, vagy Ar 70 02 20, C ₂ H ₂ 10	SARALOV és DAUKSTA 1978
Svente, Litvánia	20	0,5	Ar 90, C ₂ H ₂ 10, vagy Ar 70 02 20, C ₂ H ₂ 10	SARALOV és DAUKSTA 1978
Balaton, Keszthely	2,5	6,8	levegő 85, C ₂ H ₂ 15	OLÁH és mtsai 1979
Halastó, Szarvas	1	26,2	levegő 85, C ₂ H ₂ 15	el SAMRA és OLÁH 1979
Balaton, Keszthely	2,5	40,2	in situ	jelen vizsgálat
Körös-holtág víztározó	3	83	in situ	jelen vizsgálat
Polikultúrás halastó	1	5,8	in situ	jelen vizsgálat
Hígtrágyás halastó	1	4,1	in situ	jelen vizsgálat

tűnő, hogy a floridai tavakban lényegesen nagyobb acetilénredukciót mértek, mint a litván tavakban. A litván tavakban mért legalacsonyabb értékek $1 \text{ mg N m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$ alatt vannak. Ezek a tavak azonban lápos területen fekszenek és az üledékben igen magas a nehezen hasznosítható, humifikált szervesanyag aránya. A floridai tavak üledékében mért nagy nitrogénkötés a használt in vitro módszer miatt valószínűleg túlbecsült, még akkor is, ha számításainkat a mért maximális értékekre alapoztuk. A rendkívül energiaigényes nitrogénkötéshez ugyanis csak korlátozott ideig áll rendelkezésre a négyzetméterként naponta 100 mg nitrogén megkötéséhez szükséges szervesanyag. Ha a tóban naponta megtermelt szervesanyag teljes egészében az üledék nitrogénkötésére fordítódna, a különböző nitrogénkötő baktériumok szervesanyag-hasznosítási együtthatóiból kiindulva, a 100 mg-os nitrogénkötést is csak az elsődleges termelés elméleti felső határa körüli fotoszintézis volna képes folyamatosan ellátni energiával. Jelen vizsgálatainkban, a perforált műanyaghengeres, in situ módszerrel kapott eredmények ugyanakkor azt mutatják, hogy a természetes mikrobiális közösségben a nitrogénkötő baktériumok közvetlenül vagy közvetve más baktérium populációkra épülve a kísérletesen kapott eredményeknél sokkal takarékosabban hasznosítják a rendelkezésre álló energiakészletet. Ezt figyelembe véve is a legmagasabb nitrogénkötési érték, amit a Körös-holtág víztározóban kora tavasszal mértünk, csak a kacsás-halás hasznosítású belvíztározó igen jelentős allochton szervesanyag-ellátásával magyarázható (1. táblázat).

Éves nitrogénkötés tavi üledékekben és más rögzült társulásokban

A nitrogénkötés évszakos eloszlása ismeretében becsülhető az egész évben megkötött nitrogén mennyisége (18. táblázat). 1980-ban a Keszthelyi-medence üledékében megkötött nitrogén mennyisége, $4,7 \text{ g m}^{-2}$, megközelíti a fölötte

18. táblázat

Havonként és egy év alatt megkötött nitrogén mennyisége a négy vizsgált sekély vízi ökoszisztéma típus üledékében, mg m^{-2}

Periódus	1	2	3	4
Január	118	236	—	—
Február	106	212	—	—
Március	168	236	—	86
Április	162	2018	36	84
Május	347	468	37	96
Június	687	519	36	21
Július	1246	799	105	31
Augusztus	998	1522	105	58
Szeptember	558	306	174	114
Október	130	65	—	127
November	114	63	—	—
December	118	65	—	—
Január—december	4752	6509	493	617

19. táblázat

Szilárd aljzaton élő vízitársulások nitrogénkötése

Ökoszisztéma	N-kötés g N m ⁻² év ⁻¹	Domináló szervezet
Árapályos sziklás tengerpart, Nagy-Britannia (STEWART 1970)	2,5	Calothrix scopulorum
Sekély tengeri üledék, California (BROOKS et al. 1971)	0,4	Clostridium
Epifita társulás pelágikus Sargassumon (CARPENTER 1972)	0.004	Dichothrix fucicola
Epifita társulás sekély tengerparti makrofitákon, trópus (GOERING és PARKER 1971)	109,5	Calothrix
Tengeri angiospermák rhizoszférája (PATRIQUIN és KNOWLES 1972)	10–40	baktériumok
Thalassia gyökér, üledékkal (McROY et al. 1973)	0,001	baktériumok
Epifita társulás tengerparti Codiumon (HEAD és CARPENTER 1975)	0,9	Azotobacter
Árapályos tengerparti üledék, Skócia (HERBERT 1975)	35	?
Hideg hegyi patak, Florida (HORNE és CARMIGGELT 1975)	0,04–0,36	Nostoc
Korallzátony (MAGUE és HOLM-HANSEN 1975)	40	?
Árapályos korallzátony, trópus (WIEBE et al. 1975)	65,7	Calothrix crustacea
Szennyezett korallzátony, Hawaii (HANSON és GUNDERSEN 1976)	0,6	heterotróf baktériumok
Fjord anaerób üledék, Skócia (HARTAIG és STANLEY 1978)	8,1	baktériumok
Spartina alterniflora állomány (PATRIQUIN és McCLUNG 1978)	11,5	baktériumok
Szennyezett csatorna üledék, Nagy-Britannia (PEARSON és TAYLOR 1978)	0,4	baktériumok
Ribinszki-víztároló üledék (SARALOV 1978)	0,4	baktériumok
Keszthelyi-öböl (Balaton) (jelen vizsgálat)	4,7	baktériumok
Körös-holtág víztároló (jelen vizsgálat)	6,5	Clostridium
Polikultúras halastó (jelen vizsgálat)	0,4	baktériumok
Hígtrágyás halastó (jelen vizsgálat)	0,6	baktériumok

levő vízoszlopban megkötött nitrogén mennyiségét (7,1 g m⁻², OLÁH és mtsai. 1980). Végeredményben a Keszthelyi-medence eredményei megegyeznek az egyetlen eddig vizsgált rendszer, a Ribinszki-víztároló adataival, ahol az üledékben megkötött nitrogén közel azonos volt a vízoszlopban megkötött nitrogénnel (SARALOV 1978). A Körös-holtág víztárolóban az üledék 6,5 g m⁻²-es évi nitrogénkötése lényegesen meghaladja a vízoszlop nitrogénkötését is (OLÁH és mtsai. 1980). A polikultúras és a hígtrágyás halastóban az üledék nitrogénkötése a tenyésztési évszakban fél gramm körüli egy négyzetméteren. A két halastó típus üledékében megkötött nitrogén mennyisége azonos a Ribinszki-víztároló üledékében megkötött mennyiséggel (18. táblázat). Sajnos az álta-

lunk vizsgált négy sekély tavi típus mellett csupán a Ribinszki-víztároló üledékének éves nitrogénkötését ismerjük. Ha a tavi üledékek nitrogénkötését más szilárd aljzaton élő víztársulásokéval hasonlítjuk össze a tavi üledékekre eddig mért legnagyobb értéket, a Körös-holtág víztároló $6,5 \text{ g m}^{-2} \text{ év}^{-1}$ értékét jóval meghaladó nitrogénkötés több rögzült társulás típusnál is előfordul (19. táblázat). Ezek a társulások azonban napfény által megvilágított zónákban alakulnak ki és a nitrogénkötést fotoszintetizáló kéalgák végzik a fotoszintézis primér folyamataiban termelődő redukáló szubsztrát és energia rovására. Több szerző is igen magas értéket mért jól átvilágított korallzátonyokon, ahol a nitrogénkötést a *Calothrix* genuszhoz tartozó kéalgák végzik. Vízi ökoszisztémákban az eddig legnagyobb nitrogénkötési értéket, $109,5 \text{ g N m}^{-2} \text{ év}^{-1}$ GOERING és PARKER (1972) mérték trópuson, sekély tengerparti, gyökerező makrofita állomány epifita társulásában. A domináló nitrogénkötő szervezet itt is egy *Calothrix* faj volt. Tengerparti angiospermák rhizoszférájában PATRIQUIN és KNOWLES (1972) feltűnően nagy bakteriális nitrogénkötést mért. McROY és mtsai. (1973) szerint a nagy értéket módszertani hibák eredményezték. Saját vizsgálataikban több nagyságrenddel kisebb értéket mértek a *Thalassia* gyökérszónájában. A *Clostridium* vagy *Azotobacter* baktérium populációkkal jellemzett társulásokban becsült éves nitrogénkötés általában 1 g alatt van négyzetméterenként (BROOKS és mtsai 1971, HEAD és CARPENTER 1975, PEARSON és TAYLOR 1978, SARALOV 1978). Láttuk, hogy a Keszthelyi-medencében és a Körös-holtág víztárolóban az üledék nitrogénkötése jelentősen meghaladja ezt az értéket. Hasonló nagyságrendet csak egy anaerób fjord üledékben mértek Skóciában (HARTVIG és STANLEY 1978). Sekély tavak gyakran nagykiterjedésű parti zónájában a makrofita állományhoz valamilyen formában kapcsolódó nitrogénkötés is jelentős lehet az egész tó nitrogénháztartásában. Hínárfélék gyökérszónájából is izolálták a *Spirillum lipoferum* mikroaerofil, általában gyökérszónában élő nitrogénkötő baktériumot, amely az oxigént és a szervesanyagot döntően a növénytől kapja. A skót Loch Leven-tóban tömegesen tenyésző *Potamogeton filiformis* gyökérszónájában e szervezet nitrogénkötése megközelítette az $1 \mu\text{g N-t}$ óránként, 1 g száraz gyökérre számolva (SYLVESTER-BRADLEY 1976). New York államban, a Cayuta sekély tó nagykiterjedésű *Myriophyllum spicatum* állományában a növényzeten élő epifitátársulás nitrogénkötése évente elérte a $12,5 \mu\text{g N-t}$ 1 mg növényre számolva. Az epifitátársulásban a nitrogénkötést elsősorban a *Gloeotrichia* kéalga és a *Rhodopseudomonas* fotoszintetizáló baktérium végezte (FINKE és SEELEY 1978).

Következtetések

1. Tavi üledékek nitrogénkötését célzó módszer fejlesztésünk során bizonyítottuk, hogy az acetilén redukciót az üledékekben is biológiai, enzimatis folyamatok, közelebbről a nitrogenáz enzim végzi. Az üledékminta gyors ace-

tilén telítése és a keletkezett etilén mennyiségi visszanyerése céljából, a mintát inkubálás előtt és után is rázni kell. A minta inkubálás előtti rázásával azonban szétrombolódnak a vízüledékhatáron in situ állapotban szigorúan meghatározott és elrendezett fiziko-kémiai-biológiai gradiensek és a valóságos aktivitástól lényegesen eltérő választ mérünk.

2. Az eredeti in situ fiziko-kémiai-biológiai gradiensek megtartása és az acetilén tökéletes telítése céljából alakítottuk ki az érintetlen üledékhurka perforált műanyaghengerekben módszert. 40 cm hosszú és 5 cm átmérőjű PVC műanyag csövet alsó 20 cm-es szakaszán 2 cm-enként átyukasztottuk és jól tömítő teflon dugóval zártuk. A teflon dugókon keresztül telítettük a teljes üledéket acetilénnel. In situ inkubálás után az egész üledékhurkát alaposan összeráztuk a keletkező etilén mennyiségi kinyerésére.

3. A Körös-holtág víztárolóban a nitrogénkötés vertikális eloszlása az üledékben különbözött a Keszthelyi-medencében mért eloszlástól. A víztárolóban a maximum az üledékfelszín alatt helyezkedett el. A Keszthelyi-medencében a meleg vízi évszakokban a nitrogénkötés maximuma az üledék felső 2 cm-es rétegében alakult ki. A felszíni maximum mellett, hónaptól függően különböző üledékmélységben, egy második, kisebb maximumot is mértünk.

4. A vízoszloppal összehasonlítva az üledék kevésbé lúgos. Az üledékfelszín kora tavaszi 7,15-ös pH értéke őszre 7,82-re növekedett. Az esetek többségében a vízüledékhatár pH értéke kisebb, mint a mélyebb rétegeké, feltehetően az erőteljesebb légzés következtében.

5. A Keszthelyi-medencében a hetvenes évek elején a vízüledékhatáron sohasem sikerült negatív redox potenciált mérnünk. Jelen vizsgálatunkban, a meleg vízi évszakokban a vízüledékhatáron a redox potenciál mindig negatív volt. Ősz felé a mélyebb rétegek redox potenciálja csökkent egészen -345 mV-ig. Az alacsonyabb vízhőmérséklet mellett a redukált anyagcseretermékek felhalmozódása dominált az eloxidálással szemben.

6. Kora tavasszal, jégolvadás után, az üledék intersticiális vizében feltűnően magas oldott szerves-N koncentrációt mértünk, $14,3$ mg dm⁻³. A víz felmelegedésével, május hónapban, a télen felhalmozódott oldott szerves-N gyorsan elhasználódott. A vízhőmérséklet csökkenésével, októberben növekedni kezdett az intersticiális víz oldott szerves-N tartalma.

7. Összehasonlító vizsgálatunk során legkevesebb intersticiális NH₄-N-t a polikultúrák halastó, legtöbbit pedig a Keszthelyi-medence üledékében mértünk, ahol a szabadon oldott ammónium ion egész évben igen nagy koncentrációban volt jelen és ez a nitrogénkötés szempontjából különös jelentőséggel bír.

8. Az *Azotobacter* típusú aerób nitrogénkötő baktériumok a Keszthelyi-medence üledékében nem játszanak mennyiségileg fontos szerepet a nitrogénkötésben. Csupán júniusban, az üledékfelszínen számoltunk 1000 sejtet egy g üledékben. Ugyanekkor a mélyebb, 5–8 cm-es üledékrétegben csak 10 sejtet találtunk egy g üledékben. Az üledék nitrogénkötésében a Keszthelyi-medencé-

ben döntően a Clostridium típusú anaerób nitrogénkötő baktériumok vesznek részt. Mennyiségük a felszíni üledékrétegben, júliusban elérte a 10^6 sejtet egy g üledékben. A nitrogénkötés évszakos vizsgálata során is ekkor mértük a legmagasabb értéket. A mélyebb rétegekben mért nitrogénkötési maximumokért esetenként feltehetően a szulfátredukáló baktériumok a felelősek. Az üledékfelszínen májusban, viszonylag kis Clostridium populációk mellett mért igen nagy nitrogénkötésben valószínűleg a hidrogén és metán oxidáló baktériumok is részt vettek.

9. Változatos tavakat képviselő 15 tó üledékének szervesanyag-tartalma és nitrogénkötése között kilenc gyakori összefüggés típus számítógépes próbája semmiféle szignifikáns összefüggést nem mutatott. Meglepően szoros összefüggést találtunk ugyanezen tavak elsődleges termelése és üledékének nitrogénkötése között ($r = 0,85$). A hatvány típusú összefüggés szerint ($y = 4,5 \times 0,85$) az üledék feletti vízoszlopban naponta megtermelt szervesanyag növekedésével ugrásszerűen nő az üledék nitrogénkötése. Az üledékre lehulló szervesanyag fontosságát tükrözi az üledék nitrogénkötése és az üledék feletti vízoszlop kiterjedése, azaz a vízmélység között talált elég szoros összefüggés ($r = 0,82$). Glükóz hozzáadás azonnali hatásaként a Körös-holtág víztárolóban jelentősen nőtt az üledék nitrogénkötése.

10. Korábbi ismeretanyaggal összhangban ammónia rövid idejű hatására az üledék nitrogénkötése nem csökkent, esetenként növekedett. Tavi üledékeknél az ammónia-hozzáadás hatását még nem vizsgálták, más rögzült társulásokban, azonban gyakran nagy végkoncentrációjú ammónia sem gátolta a nitrogénkötést. A Keszthelyi-medence üledékében igen nagy nitrogénkötést mértünk $4-5 \text{ mg dm}^{-3}$ -es intersticiális ammónium nitrogén mellett. Kérdéses miért van gyakran igen jelentős nitrogénkötés állandóan nagy mennyiségű és könnyen felvehető formában jelenlevő ammóniát tartalmazó üledékekben.

11. Többváltozós regresszió elemzés szerint a Keszthelyi-medence üledékrétegeiben a nitrogénkötés legszorosabb kapcsolatot az üledékmélységgel, az ammónium ion koncentrációval és a redox potenciállal mutatott. A hat változós regressziós elemzés korrelációs koefficiense (0,6647) jelzi, hogy az elemzésből fontos paraméterek kimaradtak, például a nitrogénkötésért felelős mikroorganizmusok mennyiségi eloszlása.

12. A Keszthelyi-medencében az üledék nitrogénkötése márciustól júliusig növekedett, majd csökkenni kezdett. A Körös-holtág víztárolóban a hideg vízi periódusban hasonlóan kicsi a nitrogénkötés, de a Keszthelyi-medencétől eltérően a legnagyobb aktivitást, $83 \text{ mg m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$, áprilisban mértük. Ezt követően csökkent a nitrogénkötés, majd augusztusban újra megnőtt és a vízhőmérséklet csökkenésével, ősszel csökkenni kezdett. Halastavakban az üledék nitrogénkötése a tavaszi kisebb maximum után lecsökkent, majd a tenyésztési periódus végén újra emelkedett.

13. Tavi üledékekben eddig és jelen vizsgálatainkban mért nitrogénkötés összehasonlítása azt mutatja, hogy a mért legnagyobb nitrogénkötés megközelíti a $100 \text{ mg N m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$ értéket. A rendkívül energiaigényes folyamathoz azonban csak korlátozott ideig áll rendelkezésre, a négyzetméterenként naponta 100 mg nitrogén megkötéséhez szükséges energia. A legmagasabb nitrogénkötési érték, amit a Körös-holtág víztárolóban kora tavasszal mértünk, csak a kacsás-halás hasznosítású belvíztároló igen jelentős allochton szervesanyag-ellátásával magyarázható.

14. 1980-ban a Keszthelyi-medence üledékében megkötött nitrogén mennyisége $4,7 \text{ g m}^{-2} \text{ év}^{-1}$, megközelíti a fölötte levő vízoszlopban megkötött nitrogén mennyiségét ($7,1 \text{ g m}^{-2} \text{ év}^{-1}$). A Keszthelyi-medence eredményei megegyeznek az egyetlen eddig vizsgált rendszer, a Ribinszki-víztároló adataival, ahol az üledékben megkötött nitrogén közel azonos volt a vízoszlopban megkötött nitrogénnel. A Körös-holtág víztárolóban az üledék $6,5 \text{ g m}^{-2}$ -es évi nitrogénkötése lényegesen meghaladta a vízoszlop nitrogénkötését. Tavi üledékekkel összehasonlítva a napfény által megvilágított zónában élő nitrogénkötő társulásokban az éves nitrogénkötés elérheti a 100 g m^{-2} értéket. Ezekben a társulásokban a nitrogénkötést kékalgák végzik a fotoszintézis primér folyamataiban termelődő szubsztrát és energia rovására.

IRODALOM

- BROOKS, R. H., BREZONIK, P. L., PUTNAM, H. D., KEIRN, M. A.: Nitrogen fixation in an estuarine environment: the Waccasassa on the Florida Gulf coast. *Limnol. Oceanogr.* **16**, 701—710 (1971).
- CARPENTER, E. J.: Nitrogen fixation by a blue-green epiphyte on pelagic *Sagassum*. *Science* **178**, 1207—1209 (1972).
- DICKER, H. J., SMITH, D. W.: Physiological Ecology of Acetylene Reduction (Nitrogen Fixation) in a Delaware Salt Marsh. *Microb. Ecol.* **6**, 161—171 (1980).
- ENTZ, B.: Some physical and chemical conditions of the water of Lake Balaton, investigated from september 1948, to april 1949. (Temperature, transparency, dissolved oxygen, pH and organic substances.) Különlenyomat a Magyar Biológiai Kutatóintézet Évkönyvéből 69—81 (1949—1950).
- FINKE, L. R., SEELEY, H. W. Jr.: Nitrogen Fixation (Acetylene Reduction) by Epiphytes of Freshwater Macrophytes. *Applied and Environmental Microbiol.* **36**, 129—138 (1978).
- GOERING, J. J., PARKER, P. L.: Nitrogen fixation by epiphytes on sea grasses. *Limnol. Oceanogr.* **17**, 320—323 (1972).
- GRANHALL, U., LUNDGREN, A.: Nitrogen fixation in Lake Erken. *Limnol. Oceanogr.* **16**, 711—719 (1971).
- GREEN, F., EDMISTEN, J.: Seasonality of nitrogen fixation in Gulf Coast salt marshes. p. 113—126. In H. Lieth (ed.), *Phenology and seasonality modeling*. Springer-Verlag New York, Inc., New York (1974).
- HANSON, R. B., GUNDERSEN, K. R.: Bacterial Nitrogen Fixation in Polluted Coral Reef Flat Ecosystem, Kaneohe Bay, Oahu, Hawaiian Islands. *Pacific Science* **30**, 385—393 (1976).
- HARGRAVE, B. T.: Coupling carbon flow through some pelagic and benthic communities. *J. Fish. Res. Board Can.* **30**, 1317—1326 (1973).
- HARGRAVE, B. T.: The importance of total and mixed-layer depth in the supply of organic material to bottom communities. *Symp. Biol. Hung.* **15**, 157—165 (1975).
- HARTWIG, E. O., STANLEY, S. O.: Nitrogen fixation in Atlantic deep-sea and coastal sediments. *Deep-Sea Research* **25**, 411—417 (1978).
- HEAD, W. D., CARPENTER, E. J.: Nitrogen fixation associated with the marine macroalga *Codium fragile*. *Limn. Oceanogr.* **20**, 815—823 (1975).

- HERBERT, R. A.: Heterotrophic nitrogen fixation in shallow estuarine sediments. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **18**, 215—225 (1975).
- HERÓDEK, S.: Recent results of phytoplankton research in Lake Balaton. *Annal. Biol. Tihany* **44**, 181—198 (1977).
- HOLST, R. W., YOPP, J. H.: Environmental regulation of nitrogenase and nitrate reductase as systems of nitrogen assimilation in the *Azolla mexicana*-*Anabaena azollae* symbiosis. *Aquatic Botany*, **7**, 369—384 (1979).
- HORNE, A. J., VINER, A. B.: Nitrogen fixation and its significance in tropical Lake George, Uganda. *Nature* **232**, 417—418 (1971).
- HORNE, A. J., GOLDMAN, C. R.: Nitrogen fixation in Clear Lake, California. I. Seasonal variation and the role of heterocysts. *Limnol. Oceanogr.* **17**, 678—693 (1972).
- HORNE, A. J., CARMIGGELT, C. J. W.: Algal nitrogen fixation in Californian streams: seasonal cycles. *Freshwat. Biol.* **5**, 461—470 (1975).
- KEIRN, M. A., BREZONIK, P. L.: Nitrogen fixation by bacteria in Lake Mize, Florida, and in some lacustrine sediments. *Limnol. Oceanogr.* **16**, 720—731 (1971).
- LEE, K. K., WATANABE, I.: Problems of the Acetylene Reduction Technique Applied to Water-Saturated Paddy Soils. *Applied and Environm. Microbiol.* **34**, 654—660 (1977).
- MAGUE, T. H., HOLM-HANSEN, O.: Nitrogen fixation on a coral reef. *Phycologia*, **14**, 87—92 (1975).
- MARSHO, T. V., BURCHARD, R. P., FLEMING, R.: Nitrogen fixation in the Rhode River estuary of Chesapeake Bay. *Can. J. Microbiol.* **21**, 1348—1356 (1975).
- MCROY, C. P., GOERING, J. J., CHANEY, B.: Nitrogen fixation associated with sea grasses. *Limnol. Oceanogr.* **18**, 998—1001 (1973).
- MULDER, E. G., BROTONEGORO, S.: Free-living heterotrophic nitrogen-fixing bacteria in A. Quispel (ed.) *The Biology of nitrogen fixation*. North-Holland Publishing Company, Amsterdam p. 37—85 (1974).
- OLÁH, J.: A Keszthelyi-öbölben időszakonként kialakuló vízvirágzások okairól. *Hidrol. Köz.* **51**, 455—459 (1971).
- OLÁH, J.: Studies on the photosynthetic pigments and their decomposition in the sediment of Lake Balaton and Lake Belső. *Annal. Biol. Tihany* **39**, 115—121 (1972).
- OLÁH, J.: Bacterial gradients at the sediment-water interface of shallow lakes. *Annal. Biol. Tihany*, **40**, 219—225 (1973).
- OLÁH, J.: Metalimnion function in shallow lakes. *Symp. Biol. Hung.* **15**, 149—155 (1975).
- OLÁH, J.: The annual energy budget of Lake Balaton. *Arch. Hydrobiol.* **81**, 327—338 (1978).
- OLÁH, J.: Structural and functional quantification in a series of Hungarian hypertrophic shallow lakes. *Development in Hydrobiology*, Vol. 2. *Hypertrophic Ecosystems* ed. by J. Barica and L. R. Mur. p. 191—202 (1980).
- OLÁH, J., EL SAMRA, M. I., TÓTH, L.: Nitrogénkötés a Balatonban. *Hidrol. Köz.* **59**, 51—56 (1979).
- OLÁH, J., EL SAMRA, M. I., MONEIM, M. A., TÓTH, L., VÖRÖS, L.: Nitrogénkötés sekély tavakban (1980). (nyomdában)
- PATRIQUIN, D. G., KROWLES, R.: Nitrogen fixation in the rhizosphere of marine angiosperms. *Mar. Biol.* **16**, 49—58 (1972).
- PATRIQUIN, D. G., KEDDY, C.: Nitrogenase activity (acetylene reduction) in a Nova Scotian salt marsh: its association with angiosperms and the influence of some edaphic factors. *Aquatic Botany* **4**, 227—244 (1978).
- PATRIQUIN, D. G., McCLUNG, C. R.: Nitrogen Accretion, and the Nature and Possible Significance of N₂ Fixation (Acetylene Reduction) in a Nova Scotian *Spartina alterniflora*. *Stand. Mar. Biol.* **47**, 227—242 (1978).
- PEARSON, H. W., TAYLOR, R.: Nitrogen fixation in a polluted canal system. *Ecol. Bull. (Stockholm)* **26**, 69—82 (1978).
- REEBURGH, W. S.: An improved interstitial water sampler. *Limnol. Oceanogr.* **12**, 163—165 (1967).
- RODINA, A. G.: *Methods in aquatic microbiology*. University Park Press, Baltimore p. 461 (1972).
- EL SAMRA, M. I., OLÁH, J.: Significance of nitrogen fixation in fish ponds. *Aquaculture* **18**, 367—372 (1979).
- САРАЛОВ, А. И.: Фиксация молекулярного азота в рыбинском водохранилище. *Гидробиологический журнал*, **14**, 5 33—38 (1978).
- САРАЛОВ, А. И., ДАУКШТА, А. С.: Фиксация молекулярного азота в озерах Латвийской СССР **14**, 6 7—14 (1978).
- SCHICK, H. J.: Substrate and light dependent fixation of molecular nitrogen in *Rhodospirillum rubrum*. *Arch. Mikrobiol.* **75**, 89—101 (1971).

- SCHEINER, D.: Determination of ammonia and Kjeldahl nitrogen by indophenol method. *Water Research* **10**, 31—36 (1976).
- STEWART, W. D. P.: Algal fixation of atmospheric nitrogen. *Plant Soil*. **32**, 555—588 (1970).
- STRICKLAND, J. D. H., PARSONS, T. R.: A practical handbook of seawater analysis. *Fish. Res. Bd. Canada Bulletin* p. 167 (1968).
- SUGAHARA, I., SAVADA, T., KAWAI, A.: Microbiological studies on nitrogen fixation in aquatic environments — VI. On the in situ nitrogen fixation in water regions. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* **37**, 1093—1099 (1971).
- SYLVESTER-BRADLEY, R.: Isolation of Acetylene-reducing *Spirilla* from the Roots of *Potamogeton filiformis* from Loch Leven (Kinross). *Journal of General Microbiol.* **97**, 129—132 (1976).
- TORREY, M. S., LEE, G. F.: Nitrogen fixation in Lake Mendota, Wisconsin. *Limnol. Oceanogr.* **21**, 365—378 (1976).
- VERDOUW, H., ECHTELD, C. J. A., DEKKERS, E. M. J.: Ammonia determination based on indophenol formation with sodium salicylate. *Water Research* **12**, 399—402 (1978).
- WATANABE, I., CABRERA, D. R.: Nitrogen Fixation Associated with the Rice Plant Grown in Water Culture. *Applied and Environ. Microbiol* **37**, 373—378 (1979).
- WIEBE, W. J., JOHANNES, R. E., WEBB, K. L.: Nitrogen Fixation in a Coral Reef Community. *Science* **188**, 257—259 (1975).