

Az ásványvizek mikrobiológiai jellemzői

I. rész

Dr. Némedi László

ÖSSZEFOGLALÓ

EBBEN A KÖZLEMÉNYBEN MEGKÍSÉRELJÜK FELVÁZOLNI MINDAZOKAT A MIKROBIOLOGIAI VONATKOZÁSOKAT, AMELYEK AZ ÁSVÁNYVIZEK TERMELÉSÉBEN, SZÁLLÍTÁSÁBAN ÉS FELHASZNÁLÁSÁBAN JELENTŐSEK. KÜLÖNÖSEN FONTOS ISMERNÜNK AZOKAT AZ ÖKOLÓGIAI FELTÉTELEKET, MELYEK HATÁSSAL LEHETNEK A MÉLYSÉGI VIZEK MIKROBA TARTALMÁRA, BELEÉRTVE ANNAK FAJ-ÖSSZETÉTELÉT ÉS AZ EGYES TAXONOK VÁRHATÓ DENZITÁSÁT.

INHALT

IN DIESEM BEITRAG MACHEN WIR EINEN VERSUCH DIEJENIGEN MIKROBIOLOGISCHEN BEZIEHUNGEN AUFZUSETZEN, WELCHE IN DER PRODUKTION, TRANSPORTIERUNG UND AUFWENDUNG DER MINERALWÄSSER EINE WICHTIGE ROLLE HABEN. ES

IST VON ÄUßERSTER BEDEUTUNG SOLCHE ÖKOLOGISCHE BEDINGUNGEN ZU WISSEN, DIE EINE WIRKUNG AUF DEN MIKROBENGEGHALT DER TIEFENGRUNDWÄSSER, EINSCHLIEßLICH DEREN SPEZIESSTRUKTUR UND DIE MUTMÄBLICHE KONZENTRATION DER TAXONS, HABEN KÖNNEN.

SUMMARY

ECOLOGICAL SIGNIFICANCE OF PRESENCE OF MICROBES IN THE MINERAL WATERS IS CONNECTED WITH INDUCEMENT OF LIFE. IN THIS ARTICLE IS SHOWN THE BIODIVERSITY OF MICROBES IN THE THERMAL AND MINERAL WATERS AT THE SITE OF SOURCES AND DURING THE USAGE.

THE CONSUMPTION OF MINERAL WATERS HAS BEEN INCREASED ALL OVER THE WORLD. WE HAD TO KNOW THE TYPE AND QUANTITY OF MICROBES EXACTLY.

Ebben a fejezetben megkíséreljük felvázolni mindazokat a mikrobiológiai vonatkozásokat, amelyek az ásványvizek termelésében, szállításában és felhasználásában jelentősek. Hangsúlyozni kívánjuk, hogy az „ásványvizek mikrobiológiája” nem önálló tudományág, hanem integráns része az általános víz-mikrobiológiának. Didaktikai szempontból azonban mégis úgy csoportosítjuk anyagunkat, hogy kiemeljük azokat a sajátosságokat, melyek jellemzik az ásványvizeket, és így ökológiai szempontból is jellemezzük azokat a mikroorganizmusokat, amelyek az adott feltételekkel szaporodni képesek vagy legalább fennmaradnak, ezáltal reverzibilis vagy irreverzibilis változást eredményezhetnek az ásványvíz minőségében a kitermelés, a szállítás és a felhasználás során.

Mikroorganizmusok életfeltételei az ásványvizekben

Autochton (eredeti) mikroflóra

A FAO/WHO Codex Alimentarius Bizottsága a természetes ásványvizek fogalmának meghatározásában alapvető kritériumnak tartja a bakteriológiai „tisztaságot”. Kétségtelen, hogy a különböző víztípusok között (felszíni vizek, felszín közeli vizek és mélységi vizek) a nagyobb mélységekből származó ásványvizek, mikrobiológiai szempontból a legtisztábbak. A „csíraszegénység” elsősorban az ásványvíz származási helyével magyarázható, az összetételével kevésbé.

Számos bizonyíték van arra, hogy a legzűlésebb feltételek között is kimutathatók élő szervezetek különböző ásványvizekben. A természetes ásványvizek mikroorganizmusok által való másodlagos szennyeződése, sőt fertőződése nem szünteti meg fizikai és kémiai összetételéből adódó fiziológiai hatását. Más kérdés az, hogy az ilyen ásványvíz közegészségügyi fenntartásokat követel.

A természetes ásványvizeknek, mint életközegnek a tanulmányozása alapvetően indokolt. A Föld benépesedett része, a bioszféra az atmoszféra és a hidroszféra kölcsönhatása révén alakult ki. A hidroszféra a tengereket és a belvizeket foglalja magába. Thienemann felosztásában a belvizeket 5 csoportra oszthatjuk: I. talajvizek; II. forrásvizek; III. folyóvizek, IV. állóvizek; V. különleges hőmérsékletű és vegyi összetételű vizek.

Ebben a felosztásban az ásványvizek az I., II. és V. csoportban fordulhatnak elő. Az, hogy a különböző ásványvizekben milyen élőlények fordulnak elő és milyen mennyiségben, az illető ásványvíz környezeti hatótényezőinek összességétől függ. Ökológiai értelemben a tényezők együttesen szinergista hatást is jelenthetnek. Sokszor a betelepült mikroba is új ökológiai feltételeket teremtenek, melyek további szukcessziós utakat tesznek lehetővé.

Ahhoz, hogy az ásványvizeknek mint biológiai környezetnek, illetve közegnek meghatározó szerepét felmérhessük, ismernünk kell az *ökológiai valencia* fogalmát. Ez a kifejezés a mikroorganizmusoknak a környezeti viszonyokhoz való alkalmazkodásának értékmérője. Egyes élőlények csak szűk határok között változó életfeltételeket viselnek el károsodás nélkül (sztenok fajok), mások viszont tág határok között is kibírják a változásokat (euriok fajok).

Az egyes mikroorganizmusok szaporodási feltételeinek optimuma jellemző a fajra. Az ökológiai valenciában – az egyes hatótényezőkre vonatkoztatva, azok intenzitásbeli tartománya szerint – *oligo-, mezo és poli-tartományt* különböztetünk meg. A tág ökológiai valenciájú szervezetek kifejlődésének optimuma bármelyik tartományra eshet.

Az ásványvizek sajátos fizikai és kémiai jellemzői általában az euriok fajok előfordulásának kedveznek. A szelekció azonban igen erős, mivel az ásványvizekben

előforduló hatótényezők többsége a szélsőséges értékek felé tolódik, így a *poli-euriok fajok csekély száma és közepes egyedszáma* jellemző az ásványvizekre.

Egy adott milióspektrumban ugyanaz a faj a különböző hatótényezőkkel szemben eltérő intenzitásokkal találkozhat. Termálvízben például a hőmérséklet és a sókoncentráció a politípusnak kedvez, de a táplálékkal való ellátottság (trófia) alapján az oligo-sztenok fajok számára van kedvező feltétel. Az ökológiai valencia és a milióspektrum egybevetése már felvilágosíthat arról, hogy milyen mikroflóra fordulhat elő egy adott ásványvízben.

A továbbiakban sorra vesszük a különböző hatótényezőket, amelyek előfordulhatnak az ásványvizekben, és így az ökológiai valencia ismeretében felvázolható a különböző ásványvizek *autochton* (eredeti, őshonos) mikroflórája. Ezek a hatótényezők:

- a vízáadó réteg geológiai állapota;
- a hőmérséklet;
- a sótartalom;
- a szerves anyagok;
- a szerves anyagok;
- a nyomás és a vízmozgás;
- a pH és a redoxpotenciál;
- a fényviszonyok;
- a gázok;
- a biológiai környezet.

A vízáadó rétegek geológiai állapota

Az ásványvizek fogalma meghatározásának egyik lehetséges szempontja az oldott sókoncentráció 1000 mg/l feletti értéke, a biológiailag aktív alkatrészek jelenléte és a 25 °C feletti hőmérséklet. Ezek a tulajdonságok elsősorban mélységi vizekben vannak meg. (Itt jegyezzük meg, hogy a talajvizek csoportjába tartozó ún. keserűvizek mikrobiológiai szempontból alapvetően különböznek a mélységi ásvány- és gyógyvizektől.)

A mélységi vizek jellege (juvenilis vagy vadózus, illetve kevert) az azok ere-

detét illető ökológiai viszonyokat jól körülhatárolja. A fosszilis vizekből származó juvenilis vizek az eredet helyén igen tiszták mikrobiológiai szempontból, a vadózus vizek vagy a kevert vizek benépesedése viszont a felszínről élénkebb biológiai állományt azonban egy adott vízrétegben nem a mélység határozza meg, hanem az ott előforduló kőzetek oldódási készsége, valamint az ökológiai értelemben vett klíma. A könnyen oldódó kőzetek nagy ionkoncentrációkat hoznak létre, ezért itt csak az euriók fajok képesek fennmaradni, a nehezen oldódó kőzetek viszont a sztenók fajok számára teremtenek kedvező feltételeket.

Az ásványvíz összetételét meghatározó körülmények között a kőzetfajták természetesen az ökológiai viszonyokat is befolyásolják. Megközelítően vegytiszta vízminőség várható gránit esetén, a kvarc-kovavartartalmú lágy vizet eredményez; a homokkő kevés oldott anyagú lágy vizet, a gnejsz kálidús, mészszegény, a kristályos pala sószegény és esetleg kevés szervesanyag-tartalmú; a diabáz, diorit és szienit több oldott anyagú, a karbonátos kőzetek sok oldott anyagú, a bázikus kőzetek erős mésztartalmú, a dolomit és a márga kemény, az anhidrit nagy szulfát-tartalmú és a sótelepek erősen sós nagy oldottanyag-tartalmú vízminőséget eredményeznek. A kőzetek és a vízminőség összefüggése, valamint egyes baktériumfajok specifikus alkalmazkodása egy adott vízminőséghez egyes szerzők arra a megállapításra készítetett, hogy a feltörő ásványvizek mikroflórájából következtetni lehet egyrészt a geológiai összletre, másrészt előre lehet jelezni a várható hidrogeológiai paramétereket. Ez talán túlzás, de kétségtelen, hogy szoros összefüggés lehet az autochton mikroflóra és a geológiai viszonyok között.

A geológiai viszonyok közül a kőzetek anyagi minőségén kívül a mikroflóra kialakulásában jelentős szerepet játszik a vízadó rétegek szerkezete.

A hasadékos szerkezet (mészkö, dolomit stb.) kedvez a felszínről származó mikroszervezetek lejutásának. Ilyenkor az ásványvíz eredeti mikroflórájától idegen fajok nagy számban jelenhetnek meg a mélységi vizekben (pl. karsztvizek), ezek között számos szennyezetttség-jelző, sőt kórokozó típus is előfordulhat. A felszínről a mélybe került szervezetek egy része adaptálódhat a helyi ökológiai viszonyokhoz, többségük azonban egy idő múlva elpusztul. A mélységi vizek benépesedésének ez a módja igen gyakori, és csak kisebb mértékben juthatnak le élő szervezetek tektonikus mozgásuk vagy vulkánosság következtében. Mindazonáltal éppen az autochton mikroflóra meglepedésének (pl. kénbaktériumok) ez az utóbbi lehetőség jellemző esete.

A porózus vagy üledékes kőzetek (homokkő stb.) szűrőhatása igen jó, így a fe-

lülről származó mikrobiológiai szennyeződés vagy benépesülés esélye kicsi. Az ilyen kőzetekben különösen a heterotróf szervezetek fennmaradása valószínűtlen, mivel a felettes szűrőrétegek nemcsak a mikroszervezeteket, hanem a szerves anyagokat is visszatartják.

Nem új keletű az a felismerés, hogy a bioszféra nem korlátozódik a Föld felszínére. Taylor és Whelan már 1942-ben felismerték, hogy a spanyolországi Rio Tinto bánya vize alkalmas a réz-szulfid ásványok lúgozására, amikor is oldható réz-szulfátok keletkeznek. Rendkívül figyelemre méltó, hogy ez a szelektív folyamat baktériumos tevékenység eredménye, nevezetesen a *Thiobacillus ferrooxidans* erősen savas (pH 2-3) anyagcserjének következménye. Tapasztalati alapon ebben a bányában már 1670-ben koncessziót adtak ki a lúgozó folyadék hasznosításra.

Az ásványok mikrobiológiai úton való feltárása új tudományág fejlődését indította el. A geomikrobiológia ma már nem csupán az ércdúsítás kilúgozási folyamataival foglalkozik, hanem felöleli a geológiai és geokémiai folyamatok számos területén jelentkező mikrobiológiai hatások összességét.

A geomikrobiológiai kutatások számos területen érintkezhetnek az ásványvizek mikroflórájának kutatásával. Ezért nem érdektelen megismerni azokat a legjellemzőbb mikrobiológiai hatásokat, amelyek fölfedezését éppen a geomikrobiológia tette lehetővé.

Az első jelentős felismerés ezen a területen az volt, hogy a mikroorganizmusok nemcsak szerves anyagok jelenlétében életképesek, de még a mindennapi értelemben vett víz sem kizárólagos feltétel szaporodásukhoz. Megállapították ugyanis, hogy a kőzetekben kötött állapotban levő víz egyes baktériumok számára hozzáférhető. Egyes kőzetek biogenetikai eredetét már eddig is sejtették, hiszen a szén, a földgáz, a kőolaj, a kaolinit és az aragonit biológiai eredete általánosan elfogadott nézet (főleg az algák kaolinit- és aragonit termelése számít újdonságnak). Sajátosan geomikrobiológiai vívmány viszont, hogy a fémszulfid-tartalmú ásványok szintén biológiai eredetűek. A kén geokémiai folyamataiban egyébként egyre több ponton mutatható ki a mikrobiológiai hatás: fémszulfidok primer képzése szulfátredukáló baktériumok által, a kénhidrogén oxidálása (Beggiatoaceae család), a pirit oxidációja *Thiobacillusok* által, ahol az energiaforgalmat a vas-szulfát fedezi. Egyébként a vasoxidáló *Thiobacillusok* olyan szulfi-

dos érceket is megtámadnak, mint a kovallin, a kalkozit, a tetraedrit, a molibdenit, az orrpoment. A *Desulfovibrio* kénbaktérium esetében izotópos vizsgálatokkal is igazolták a biogenetikus redukáló tevékenységet.

Az egyes kőzetek geomikrobiológiai lebontásában szereplő élő szervezetek specificitása nagyfokú, így a geomikrobiológiai vizsgálat az ércelércek felkutatásában jelentős segítséget adhat (indikátor fajok).

A felszín alatti vizek autochton és allochton mikroba közösségeinek dinamizmusa az ásványvizekben megnyilvánuló folyamatokat jól szemlélteti.

Hőmérséklet

Az élő szervezetek számára az egyik legáltalánosabb környezeti tényező a hőmérséklet. A víz fizikokémiai tulajdonságai, valamint a fehérjeszerkezet hőérzékenysége (koaguláció), együttesen képezik az élő anyag ökológiai valenciájának szélső értékeit. Ezen belül igen nagy változatosság figyelhető meg a *tűrés határok és az optimum* tekintetében. Az egyes fajok enzimmrendszerének inaktiválódási hőmérséklete, valamint az aminosavak szintézisének gátlási pontja együttesen alakítja ki az illető fajra jellemző maximumértékeket.

A hőmérsékleti tolerancia alapján 3 fő ökológiai csoportot különböztetnek meg. *Rheinheimer* (1975) felosztása szerint a 3 csoportban az optimum és a tűrési határok a következők szerint alakulnak (1. táblázat).

A mélységi (ásvány-) vizek többségében a mezofil, még inkább a termofil fajok előfordulása várható, mivel ezek a vizek termikus energiában gazdagok. Egyébként a hőmérséklet ökológiai hatása azonos a természetes és a mesterséges közegekben. A hőmérséklet közvetlenül befolyásolja az ásványvizek benépesülését, faji szelekció révén. Nem hanyagolható el azonban a generációs időre gyakorolt módosító hatása sem. Mint ismeretes, a mikrobák szaporodása optimális körülmények között (laboratóriumi tenyésztés) 4 fázisból áll: 1. *lappangó fázis* vagy indukciós (lag-) periódus, ennek időtartama általában 2-3 óra, 2. *logaritmusos szaporodás fázisa*, más néven log-fázis, 10-12 óráig tart, 3. *veszteglő fázis*, pár óra, 4. *pusztulás fázisa*. A környezeti tényezők nagy határok között képesek módosítani az egyes periódusok időtartamát, így a hőmérséklet *Christophersen* (1955) szerint az alábbi módon befolyásolja a mezofil heterotróf baktériumok generációs idejét:

1. táblázat

	Minimum	Optimum	Maximum
Pszichrofilek	-10, +5	+10, +20	+20, +30
Mezofilek	+10, +15	+30, +40	+40, +50
Termofilek	+25, +45	+50, +65	+75, +80

0 °C-on	18,4 óra,
6 °C-on	7,0 óra;
12 °C-on	2,7 óra;
25 °C-on	0,77 óra;
30 °C-on	0,68 óra.

Az ásványvizekben előforduló magasabb hőmérsékletek sajátos mikroflóra, esetleg mikrofauna kialakulását eredményezik, ezek a társulások vagy egyes fajok a hőmérséklet szempontjából poliuriók típusúak. Itt szeretnénk hangsúlyozni, hogy az ökológiai valenciátípus tárgyalása csupán egy környezeti tényező alapján csak didaktikai szempontból indokolt. A valóságban az összes környezeti tényező együttesen alakítja ki az életközösséget, vagy szelekció, vagy adaptálódás révén. Mint látni fogjuk, a hévizeket lakó szervezetek nagy része euriterm, és igen kevés a csak magas hőfokú vízben tenyésző fajok száma.

A termofil szervezetek hőtűrése a fehérjék koagulálhatóságának a megváltozásával hozható összefüggésbe. Megállapították, hogy a nagy hőtűrésükkel kitérő spórák tokállománya kevés vizet tartalmaz, és ez is nagyrészt „kötött” víz. Jeney (1932) a hajdúszoboszlói termálvizből két termofil organizmust izolált, amelyek Gram-negatív fonális baktériumok voltak, vastag nyákos tokkal. Itt is a „kötött víz” jelenléte volt feltételezhető. A fajok rendszertanilag a *Chladothrix genushoz*, illetve a *Cyanophyceákhoz* álltak közel. Tenyésztési optimumuk 60–65 °C volt, és még 73 °C-on is növekedtek, jellemző tulajdonságuk a denitrifikáló és a tiosulfát-redukáló képesség volt.

A hévforrások mikroflóráját számos kutató tanulmányozta. Brock (1967) megállapította, hogy a hőtolerancia az alacsonyabb rendű szervezetek tulajdonsága. A vízi élőlények 37 °C felett általában nem szaporodnak. Az *eukariota* állatok és protozoák életképességének felső határa 45–51 °C!

A gombák és az algák magasabb hőmérsékleteken is szaporodnak: a *Yellowstone park* hévforrásaiban a *Synechococcus* alga 75–77 °C-on is életképes. A prokariotikus „kékalgák” viszont jellemző szervezetei a hévforrásoknak (73–75 °C optimum!). A nem fotoszintetizáló prokarioták (baktériumok) számos faja extrém magas hőmérsékleteken is előfordul: 89–90 °C! Élettani szempontból az élő anyag ilyen ritka és meglepő képességét a már említett „kötött víz” szerepe mellett egy bizonyos membránstruktúra jelenlétével magyarázzák, ahol a riboszómában a genetikai állományt a koaguláció ellen egy speciális struktúra védi.

Igen tanulságos néhány jellemző vízi baktériumfaj szaporodási ütemének bemutatása a hőmérséklet függvényében:

<i>Vibrio marinus</i>	15 °C – 81 perc;
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	25 °C – 52 perc;
<i>Bacillus megaterium</i>	40 °C – 22 perc;

<i>Bacillus subtilis</i>	40 °C – 26 perc;
<i>Escherichia coli</i>	40 °C – 21 perc;
<i>Bacillus thermophilus</i>	55 °C – 16 perc;
<i>Bacillus stearothermophilus</i>	65 °C – 11 perc;
<i>Bacillus coagulans</i>	70 °C – 14 perc.

Több szerző által megerősített tapasztalat, hogy a *Thermus* genusba tartozó fajok különösen kitűnnek hőrezisztenciájukkal. A *Thermus* genus rendszertanilag a Gram-negatív aerob baktériumok csoportjába tartozik (Bergey, 1975). Ez a baktérium obligát termofil, hévforrásokban és háztartási forró vizekben egyaránt előfordulhat (Ramaley, 1975). Jegerova (1975) és Loginova (1975) több fajt leírtak Kamcsatka melegforrásaiból: *Thermus flavus*, *Thermus ruber*. Megállapították, hogy 60 °C és 90 °C közötti forrásokban a források hőmérsékletére jellemző törzsek mutathatók ki. Egyes törzsek a 90–93 °C-os forrásokban is szaporodnak. Vörös karotinoidot tartalmaz a *Thermus ruber*, a *Th. flavus* viszont sárga színű fonatokat képez, amiket makroszkóposan is föl lehet ismerni. Ramaley (1975) Colorado hévforrásaiból a *Thermus aquaticus* fajt mutatta ki 90 °C-os vízből. Itt sikerült izolálni egy másik extrém termofil fajt, a *Bacillus stearothermophilus*-t.

Hazai szerzők közül a már említett Jeney mellett Kol (1951) a hajdúszoboszlói termálforrás vizéből számos mikroorganizmet írt le, amelyek a 74 °C-os és több mint 1000 m mélyről fakadó vizet népesítették be. A baktériumok közül a *Leptothrix ochraceae*, *Siderocapsa major*, *Beggiatoa alba*, *Beggiatoa minima* és a *Chromatium vinosum* fordult elő, a „kékalgák” 30 fajt és egy zöldalgát (*Stigeoclonium thermale*) sikerült izolálnia. A termofil mikrovegetáció ebben az esetben nem tekinthető eredeti társulásnak, mivel a vizsgálatot már a szabadba kijuttatott termálvízben végezték, de egyes típusok – főleg a vas-, a kénbaktériumok – származhattak a forrásból is. A kutatók

egyébként gyakran követték azt a gyakorlatot, hogy a feltörő hőforrás élő szervezeteit nem a forrásvízben, hanem a mesterséges vagy természetes vízgújítóban, közvetlenül a forrásfejnél tanulmányozták. Az így felszínre került ásványvíz fizikokémiai tulajdonságai már nem azonosak a mélységben uralkodó viszonyokkal (megvilágítás, nyomás, gáztartalom, oxigéntartalom stb.), de az ásványi összetétel, a hőmérséklet és más maradó paraméterek tekintetében mégis indokolt a benépesülés vizsgálata, mert víztípusonként más és más életközösség alakul ki az ilyen vízgújítóban, és a társulás jellemző az adott ásványvízre. Ennek alapján egyes szerzők (Vouk, 1950) a termálforrásokot éppen azok vízgújítóiban kialakult életközösség alapján osztályozták:

- kék-termák (Cyanophyceae- vagy C-termák)
- 1. Mastigocladus-típus, 2. Phormidium-típus, 3. Oscillatoria-típus;
- kék-kova-termák (kovaalga vagy D-termák);
- kék-zöld-termák (Chlorophyceae- vagy Ch-termák, zöldalga-termák);
- kénes-kék-termák (Thio-Cyano-termák);
- kénes-termák (Thiophyta-termák vagy S-termák);
- vasas-kék-termák (Siderophyta- vagy F-termák).

Sajátságos szelekciót eredményez a hőmérséklet és a pH együttes hatása. Yanagita (1990) termofil mikroorganizmusok növekedési értékeit vetette egybe (2. táblázat).

Sótartalom

Az ásványvizek definíciószerűen nagy oldottsó-koncentrációjúak (esetünkben elfogadott kritérium az 1000 mg/l feletti koncentráció). Ökológiai szempontból tehát a sókoncentráció az ásványvizekben alapvető környezeti tényező. Az ol-

2. táblázat

mikroorganizmus neve és típusa*	származása	°C (optimum-maximum)	pH (optimum-maximum)
<i>Thermus thermophilus</i>	hőforrás	65/75 – 48/85	– 6,5/9
<i>Th. aquaticus</i>	hőforrás	70 – 40/80	– 7,5/9
<i>Th. flavus</i>	hőforrás	– 40/81	– 6/9
<i>Thermomicrobium roseum</i>			
*alkalofil	hőforrás		
<i>Bacillus caldodenax</i>	hőforrás	80 – 85	7,5/8,5 –
<i>B. caldolyticus</i>	hőforrás	72 – 82	6/8 –
<i>Thiobacillus thermophilica</i>	hőforrás		
*autotróf		55/6 – 40/80	
<i>Methanobacterium thermoautotrophicum</i>			
*anaerob autotróf	szennyvíz iszap	65/70 – 40/80	7,2/7,6 –
<i>Sulfolobus acidocaldarius</i>			
*acidofil autotróf ösbaktérium	savas hőforrás	70/75 – 55/85	2/3 – 1/5,9
<i>Calderia acidophila</i>			
*acidofil autotróf	savas hőforrás	– 50/80	– 1,5/5

méréskelten termofil mikroorganizmusok talajból, komposztból, trágyából és silózott takarmányból maximum 70 °C mellett növekednek (*Bacillus acidocaldarius*, *B. stearothermophilus*, *B. coagulans*, *Clostridium thermoaceticum*, *Cl. thermosaccharolyticum*, *Desulfomaculium nigrificans*, *Thermoactinomyces vulgaris*, *Pseudomonocardia thermophila*, *Micropolyspora faeni*, *Thermoplasma acidophilum*, *Aspergillus fumigatus*, *Chaetomium* sp., *Cyanidium caldarium*, *Synechococcus elongatus*, *Mastigocladus laminosus*, *Phormidium laminosum*)

dott alkatrészek jelentős része Na-, K-, Ca- és Mg-só. A kationok közül a Na^+ , az anionok közül a HCO_3^- , a Cl^- és a SO_4^{2-} ionok képezik a vizek, így az ásványvizek sótartalmának jelentős részét.

Az ásványvíz származása a sótartalom összetételét meghatározza, így a sótűrő (halofil) szervezetek megjelenése az ásványvizekben jellemző az egyes forrásokra.

A halofília az élő szervezetek szemipermeabilis hártájának tulajdonságaival kapcsolatos. A sejtek belsejében uralkodó ozmotikus nyomás jellemző a különböző intenzitású halofil szervezetekre, de a halofília és az ozmofília nem azonos. Az élesztők növekedését például a 3%-os NaCl már gátolja, de jól elviselik a 70 at belső nyomást is, ha azt cukrok tartják fenn!

A halofília tehát az ozmofília speciális esete, amikor az egyes sók nagy koncentrációi fajspecifikus toleranciát váltanak ki meghatározott szervezetek esetében. Sokszor a sóösszetétel is döntő: vannak Na- és Ca-kedvelő fajok.

A halofília specifikus ökológiai hatása miatt a Gram-pozitív mikrobak nagyobb sókoncentrációt viselnek el, mint a Gram-negatívok. Ez ismét a belső ozmotikus nyomás következménye: a Gram-pozitívoknak 20 at, a Gram-negatívoknak 5–10 at a belső nyomásuk.

A sótűrés alapján a következő ökológiai valencia-típusokat különböztetik meg (3. táblázat).

Nagy sótartalmú ásványvizek mikroflórájára irodalmi adat nem áll rendelkezésre, de a fővárosi ÁNTSZ vizsgálatai szerint a budai keserűvíz kutak Gram-negatív mikroflórájának jelentős százaléka *Alcaligenes* genusba sorolható (felszíni szennyeződés!).

Bőséges irodalom áll viszont rendelkezésre a nagy sótartalmú tavak élővilágáról. Ezek ismerete azért hasznos, mert a nagy sótartalmú ásványvizekben ugyanezek a halofil szervezetek szintén előfordulhatnak. A világtengerek NaCl-tartalma 3–4%, így a Föld biomaszájának túlnyomó része mezohalin szervezetekből áll. Ez azt jelenti, hogy a nagyobb sókoncentráció egyes ásványvizekben, illetve gyógyvizekben nem lehet kizárólagos akadálya az élő szervezetek megtelepedésének. A hazai keserűvizek bakteriológiai vizsgálati tapasztalatai is megerősítik ezt. A 3–4% feletti összes sótartalmú keserűvizek bakteriológiai szennyezettsége sajnos igen nagy, olyannyira, hogy a nyers keserűvizet palackozás előtt szűrni kell (baktériumszűrő).

A teljesség kedvéért néhány extrém halofil mikroorganizmus előfordulására is felhívjuk a figyelmet. *Brison* (1974) az afrikai *Assal-tó* mikroflóráját tanulmányozta. A tó összes sótartalma 40%! Anaerob baktériumot nem talált. A heterotróf aerob baktériumok 90%-a euryhalin, 10%-a extrém halofil volt (*Halobacterium tropanicum* és *Halococcus morrhuae*). Az izolált 164 törzs 21%-a Gram-pozitív, 29%-a Gram-negatív nem spóráképző és 49%-a spóráképző baktérium volt.

Az uralkodó típusok: *Mycococcus*, *Micrococcus*, *Staphylococcus*, *Bacillus*, *Vibro*, *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Flavobacterium*, *Achromobacter*, *Halobacterium*, *Xanthomonas*.

A baktériumokon kívül ismerünk kifejezetten sótűrő, illetve sókedvelő algákat (*Dunaliella salina* zöldalga, *Chlorogloea sarcinoides* kékalga, *Mycrocystis packardii* stb.), egy- vagy többsejtű állatokat (*Ephydra cinerea* légylárva, *Artemia salina*, sófereg), sőt magasabb rendű növényeket is (*Juncus maritimus*, *Salsola kali* stb.).

Szervetlen anyagok

Az ásványvizekben oldott állapotban jelenlevő szervetlen anyagok tápanyagforrásként szerepelhetnek az autochton (eredeti) és az allochton (idegen) szervezetek számára. A szervetlen anyagok közé sorolhatók az előző fejezetben tárgyalt sók is, de ezek fiziológiai hatása eléggé egységes abban, hogy a sejtek ozmoregulációja mindig meghatározó jelentőségű. A mikroorganizmusok tápanyagforgalmában a legjelentősebb kationképző elemek a C, N, P, S, K, Na, Ca, Fe, Cu, Si, valamint a Mn, Mg, Zn, Co, Mo, V, W, Ba, Be, B. Az anionok közül a Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , NO_2^- , NO_3^- , ionok szerepelhetnek specifikus vagy aspecifikus környezeti tényezőként, illetve tápanyagforrásként.

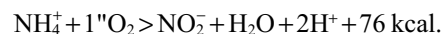
Az egyes vízkivételi helyről származó ásványvizek és gyógyvizek ionösszetétele meglehetősen állandó. A gyógyhatás megítélése éppen ezen alapul. Egy-egy ásványvíz esetében tehát jól ismertek a milióspektrum összetevői, melyek a benépesülés feltételeit együttesen alkotják, ez esetben a szervetlen anyagok tekintetében. Más szóval, egy új ásványvízfeltárás esetén előre jelezhető a várható mikroflóra, ha ismerjük a feltárt víz ionösszetételét. Kénés víz esetében például nagy valószínűséggel a „kénbaktériu-

mok” jelennek meg, ha az egyéb környezeti tényezők is lehetővé teszik azt. A benépesülés persze nem törvényszerű!

Egyes szervetlen alkatrészek tekintetében szólnunk kell még az ún. *minimumfaktor*ról is. Ismeretes, hogy az élő szervezetek bizonyos ionokat – még inkább elemeket – csak igen kis mennyiségben igényelnek, de azok hiányában szaporodásuk leáll. Az ásványvizek egy része olyan mértékben „tisztá”, hogy ez a hiánytényező akadálya lehet számos faj megtelepedésének. Ökológiai szempontból ez azért jelentős, mert ezekben az esetekben a minimumfaktor szempontjából közömbös fajok nagy tömegben elszaporodhatnak az antagonista hatások hiányában. Jó példa erre egyes *flavobaktériumok* tömegtermelésük tárolt, illetve palackozott ásványvizekben.

A szervetlen alkatrészek közül – jelentőségüknek megfelelően – ki kell emelnünk a nitrogén, foszfor, szén és a kén forgalmában részt vevő mikroflórát, valamint egyes fémek, illetve fém-sók (vas, mangán, réz) kemotrofikus, illetve litotrofikus mikroszervezeit. A mélységi ásványvizek autochton mikroszervezetei döntőképpen ezekből tevődnek ki. Főként szovjet szerzők vizsgálták a különböző összetételű ásványvizek mikroflóráját, és megállapították, hogy a víz típusa és a kialakuló mikroflóra között adekvát összefüggés van, és ez az illető baktériumtípusok fiziológiai tulajdonságaival kapcsolatos. Meglepő, hogy a korábban „baktérium-mentesnek” hitt mélységi ásványvizekben a baktériumszám-értékek a milliliterenként 10^5 , illetve 10^6 nagyságrendet is elérhetik, és az esetek nagy részében az egyes forrásokban nem vegyes mikroflóra alakul ki, hanem a víz ionösszetételének megfelelően homogén állomány – esetleg egyetlen faj szaporodik el.

A *nitrogén forgalmában* részt vevő mikroflóra főként a mélységi vizekben levő „fosszilis” ammóniát oxidálja. A földtörténet során mélybe került növényi maradványok mineralizációs terméke ez az ammónia, és ezt a Nitrobacteriaceae család (*Bergey*, 1975) génuszai oxidálják az alábbi képlet szerint:



A nitrifikáló baktériumok obligát aerob szervezetek, főleg a talajban terjedtek el. A mélységi vizekben eredetileg nem mutathatók ki, de a vízkivétel során már megjelenhetnek. Feltétlenül figyelembe kell venni, hogy ezek a szervezetek obligát módon kötődnek a biofilmmhez, így a víztérből csak ritkán mutathatók ki. A felszín közeli ásványvizekben viszont a talajjal való kommunikáció eredményeképpen rendszeresen kimutathatók. A vadózus és egyéb felszín közeli ásványvizekben az ammónia teljes oxidációja végbemehet nitrítren keresztül egészen nitráttá. Ezekben a vizekben a fordí-

3. táblázat

NaCl(%):	0	1	2	3	4	5	15	20	25
nem halofil									
halofil			XX						
halofil			XXXXXXXX						
halofil				XXXXXXXXXX					
halofil					XXXXXXXXX				
									édesvízi szervezetek; euryhalin szervezetek, mezohalin szervezetek; extrém halofil szervezetek,

tott folyamat is lejátszódhat, nevezetesen a mikrobiológiai oxidáció vagy egyéb organikus szennyezés következtében jelenlevő nitrát egyes aerob baktériumok közbejöttével redukálódik nitríté vagy egyes esetekben gáz alakú nitrogénné (denitrifikáció). Az ezt előidéző baktériumok nem tartoznak az autochton mikroflórához, de megjelenésükre lehet számítani az ásványvizekben (*Bacillus* fajok, *Pseudomonas* fajok, *Escherichia coli*, *Actinomyces* fajok és egyes mycobacteriumok). Az ásványvizekben előforduló mikroorganizmusok számára az aminosav-szintézishez mindenféleképpen szükséges a nitrogén. Ez a feltétel az autotróf (a sejtreprodukció kizárólag vagy részben szerves anyagok felhasználásával történik) mikroflóra számára adott a mélylégi vizekben.

Az ásványvizek *foszfortartalma* a többi alkatrészhez képest mikrobiológiai szempontból alárendelt jelentőségű. Más szóval a foszfor mikrobiológiai mobilizálásának fő területe a talaj- és az ásványvizekben csak a minimumfaktor szempontjából van jelentősége a foszfor előfordulásának. E tekintetben különösen kedvezőek a szénsavas vizek, mivel a szén-dioxid hatására a rosszul oldódó foszfátok könnyebben oldódó dikalcium-foszfátokká alakulnak. Az ásványvizek autochton mikroflórájában a foszfortartalom szempontjából kitüntetett fajok nem fordulnak elő.

A *szén forgalmában* részt vevő mikroorganizmusok számos faja jellemző szervezete lehet a különböző típusú ásványvizeknek. Tápanyagforrásként valamennyi szervezet igényli a szén, de egyes ásványvizekben előfordulhatnak a kőszén, barnaszén és kőolaj átalakításában, a hidrogén-karbonátok oxidálásában és a metán forgalmában részt vevő baktériumok is. *Tronova* (1974) Nyugat-Szibéria különböző típusú ásványvizeiben jellemző fiziológiai csoportokat különböztetett meg, éppen a szénforgalomban való részvételük alapján. A szénforrás hozzáférhetősége egyébként is jellemző a mikroorganizmusok biokémiai viselkedésére. Vannak baktériumok, melyek kizárólag szerves karbonátokból tudják fedezni szénszükségletüket, sőt a kénbaktériumok nagy része is – melyek gyakoriak az ásványvizekben – ugyancsak szerves szénforrást használnak fel. Hazánkban az alföldi szénhidrogén-kutatás során feltárt mélylégi vizekben nem ritka, hogy olyan mikroflóra jelenik meg, amelyik éppen az itt rendelkezésre álló szerves és szerves szénforrást hasznosítja. Nem érdektelen megjegyezni, hogy a *Pseudomonadales* rend tagja (*Pseudomonas*, *Flavobacterium*), valamint egyes *Actinomycetales* (*Nocardia*)-fajok a rövid láncú alifás szénhidrogéneket különösen könnyen oxidálják. A többi között

valószínűleg ezzel magyarázható az a közegészségügyileg is veszélyes tapasztalat, hogy az utóbbi években az alföldi mélyfúrású kutakban és az ezekre kapcsolt törpevízmű-hálózatban masszív *Pseudomonas aeruginosa*-fertőzöttséget mutatnak ki. Ökológiai szempontból ezek a fajok euriök típusúak a szénforrás hozzáférhetősége szempontjából, a mélylégi vizekben levő autotróf baktériumok, valamint a heterotróf baktériumok jelentős része viszont sztenok típusú, így az ún. ubikviter *Pseudomonas*-ok az antagonisták korlátok hiányában könnyen elszaporodhatnak.

A *kén forgalmában* részt vevő mikroorganizmusok az ásványvizek autochton mikroflórájának legjellemzőbb tagjai, és számuk is nagyságrendekkel meghaladja az egyéb típusokét. Szerepüket egyes szerzők kifejezetten hasznosnak tartják. A kénes gyógyvizek gyógytényezői között *Makszimovics* (1974) az autochton kénbaktériumoknak a kénvegyületek átalakításában játszott szerepét meghatározó jelentőségűnek találta. *Svorcová* (1972) hasonlóképpen fontosnak tartja egyes kénhidrogén-tartalmú ásványvizekben a deszulfurikáló vasbaktériumok szerepét. A baktériumok mellett – többek között – az élesztőgombák hasznos tevékenységét is kimutatták. *Kvasznikova* (1975) a „Naftuszja” ásványvizekben számos fajt talált, melyek a kénforgalomban részt vesznek: *Candida*, *Rhodotorula*, *Cryptococcus*, *Hansenula*, *Torulopsis* fajok. A milliliterenkénti élesztőszám ezres nagyságrendű, és a fajok többsége a paraffin-származékokat is megtámadja.

Az ásványvizek biogén kénforgalmában részt vevő mikroorganizmusoknak két fő típusát különböztetjük meg. A szulfátokat redukáló szervezeteket deszulfurikálóknak nevezzük, a kénhidrogént, illetve a ként oxidálókat pedig szulfurikálóknak. A két folyamat több lépésben játszódik le, és más és más kénbaktérium végzi az egyes lépcsőkben a deszulfurikálást, illetve a szulfurikálást.

Szulfátredukciót végzők: *Thiobacillus thioparus*, *Th. denitrificans*, *Th. novellus*, *Th. thiooxidans*, *Desulfovibrio desulfuricans* stb. ...

H₂S-, illetve S-oxidálók: *Thiorhodaceae* család, *Beggiatoales* rend, *Thiobacillus* genus, *Thiothrix nivea* stb.

Egy-egy ásványvízben a deszulfurikáló és szulfurikáló mikroflóra aránya meghatározhatja a víz kénes jellegét. Figyelemre méltó, hogy különösen a *Thiobacillus* nemzetség tagjai egyformán végezhetnek deszulfurikálást és szulfurikálást.

Ezért a kénbaktérium fajok identifikálása nem mindig ad tájékoztatást azok fiziológiai viselkedésére a kimutatás helyén. Csehországban több kutató (*Dostalek*, *Svorcová*) vizsgálta az ásványvizek deszulfurikáló baktériumait, és ennek alapján az ásványvíz geokémiai jellege

mellett geomikrobiológiai paramétereiket is megadnak.

Dostalek (1956–1968) munkái alapján a deszulfurikáló baktériumok mennyiségi és minőségi adatait az illető ásványvíz összetételére és származására felhasználhatók:

- 10³/ml értéknél nagyobb deszulfurikáló baktériumszám kénhidrogénes vízre jellemző;
- a deszulfurikáló baktériumok ozmotoleranciája alapján a víz sókoncentrációja és ezen keresztül a felszíni eredetű édesvíz jelenléte vagy hiánya is meghatározható;
- a deszulfurikáló baktériumoknak és az aerob heterotróf mezofil baktériumoknak az aránya arányos a felszíntől való távolsággal, illetve a felszíni vizekkel való kommunikációval;
- az aerob és anaerob baktériumok aránya az ásványvízben az oxidációs, semleges vagy redukáló jellegre utal,
- A légköri nitrogént felhasználni képes deszulfurikáló baktériumok megváltoztatják a víz eredeti oxidoredukációs jellegét.

Ezek a kutatások az ásványvizek autochton mikroflórája szempontjából igen jelentősek, hiszen korábban a mélylégi vizeket többnyire „csíramentesnek” tartották. Most pedig kiderül, hogy nemcsak hogy kimutathatók mikroorganizmusok ezekben a vizekben, hanem tevékenységük adott esetben a víz jellegének meghatározója lehet.

Az autotróf kénbaktériumok az ásványvizekben gyakran előforduló szén-dioxid forgalmában is részt vesznek, sőt deszulfurikáló tevékenységük feltétele a szénforrás! A biborkén-baktériumok (*Thiorhodaceae*) a H₂S-t a következő képlet szerint oxidálják:

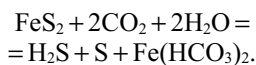


A kénbaktériumok – a velük sok tekintetben rokon vasbaktériumokhoz hasonlóan korróziós problémákat is okozhatnak a víz redoxpotenciáljának megváltoztatásával.

Török (1960) a margitszigeti I–III. termálkút feltérő vizéből *Thiothrix nivea*t mutatott ki olyan mennyiségben, hogy a víz palackozását be kellett szüntetni.

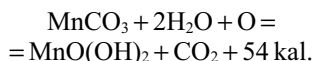
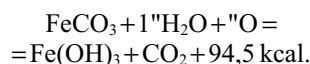
A *fémek és fémek forgalmában* részt vevő mikroszervezetekkel már a geomikrobiológiai kutatások ismertetésében szoltunk. Megállapítottuk, hogy a mélylégi vizek autochton mikroflórája – ezen belül is különösen a kénbaktériumok – bizonyítottan részt vehetnek a fémtartalmú ásványok biológiai bontásában. Általánosságban érvényes az a megállapítás, hogy az ásványvizekben a mikroorganizmusok kénforgalma és a fémvegyületek biológiai bontása kölcsönösen kiegészítik egymást. A *Thiobacillus ferrooxidans* például a nem oldható fémszulfidokat

(FeS₂ vagy CuSO₄) oxidálja. A közben felszabaduló energiát (vas[II] – vas[III]) átalakulás a baktérium hasznosítja. A reakció több lépcsőben megy végbe, és a kénforgalom szempontjából a következő képlet is mutatja a kölcsönösséget:



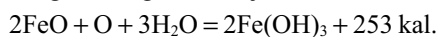
Külön kell szólni az ún. *vas-mangán baktériumokról*. Dorff (1934), Vinogradsky (1888), Cholodny (1926) alapvető kutatásai nyomán, újabban Kurnyecov (1959) és Alekszejev (1975) közlései alapján részletes ismereteink vannak e baktériumcsoport rendszertanáról és jelentőségéről.

Vinogradsky már a múlt század végén felismerte, hogy egyes baktériumok szerves tápanyagok nélkül is megélnék, sőt némelyik típus szaporodását kifejezetten gátolják a szerves anyagok (obligát autotrófok). Ezek között a baktériumok között vannak olyanok, amelyek a vas (II)-ionok oxidálása révén nyerik a kemoszintézisükhöz szükséges energiát. Ezeket „vas-baktériumoknak” nevezte. Az oxidációt az alábbi képlettel fejezhetjük ki:



A szerves anyagokban szegény vízázó rétegekben, ahol az oxigénellátottság megfelelő, és szén-sav is jelen van, a vas- és mangánbaktériumok tömegesen elszaporodhatnak. Az optimális pH-tartomány 5,4 és 7,2 között van és a Fe²⁺ ion-tartalomnak legalább 1,6 mg/l-nek vagy annál többnek kell lennie. Alekszejev viszont rámutatott, hogy 10–12 mg/l vas(II)-ion koncentráció felett már gátolt a baktériumok szaporodása.

A mélységi vizekben, így az ásványvizekben is, megvannak a vasbaktériumok szaporodásának feltételei. Az aerob vasbaktériumok felhasználják a jelenlevő kénbaktériumok, esetleg denitrifikáló baktériumok által termelt oxigént. Szén-sav és a szükséges mennyiségű vas, illetve mangán jelenlétében nagy problémát jelenthetnek a vezetékek korróziója, illetve eltömődése miatt. A keletkezett vas-hidroxid-csapadék, mely nagyobb részt a baktériumfonalak hüvelyében képződik, szabad szemmel is látható zavarosodást okozhat. A vascső vezetékekben tovább folytatódhat a folyamat, a vasbaktériumok ugyanis a védő vas-oxid réteget is megtámadhatják:



Ilyen jelenséget figyeltünk meg a margitszigeti I–III. termálkút vezetékében, amikor is a Nemzeti Sportuszoda medencéiben erősen zavaros lett a víz. A margitszigeti II. (Magda) termálkút vizét is ülepíteni kellett palackozás előtt, hasonló okokból.

Nem érdemtelen felhívni a figyelmet arra, hogy a vasbaktériumok szaporodása függ a rendszer redoxpotenciáljától is. Megfigyelték, hogy a talajvízkutak szűrőrétegének kolmatációja (vas-hidroxid által való eltömődése) és ezzel párhuzamosan a vas-mangán baktériumok mennyisége főleg pozitív Eh (redoxpotenciál)-értékeknél fokozódik, míg negatív Eh-értékeknél csökken vagy teljesen megszűnik.

A legfontosabb „vas-mangán baktérium” fajok a következők:

– *Vas-hidroxid-hüvelyképzők:*

„A” Leptothrix ochracea, L. discophora, L. lopholes, L. trichogenes, Crethrix polyspora, Clonothrix fusca, „H” Leptothrix major, L. pseudovacuata, L. thermalis

– *Kocsányas vas-hidroxid burok:*

„A” Siderocystis vulgaris, Ochrobium tectum, Mycothrix clonotrichoides „H” Siderocapsa major, Lieskeella bifida

– *Kocsány-, illetve szalagképződmény a kiválasztott vas-hidroxidból:*

„A” Gallionella ferruginea, G. minor, G. major, Siderophagus corneolus „H” Gallionella infrucata

– A vas-hidroxid a sejtfalban halmozódik:

„A” Siderobacter sp., Neumannella catenata, N. Minor, N. pygmaea „H” Neumannella neustonica

– Extracelluláris vas-hidroxid-kiválasztás:

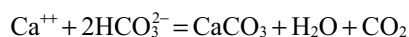
„A” Siderococcus limoniticus

„H” Siderococcus communis

Az „A” jelzés autotróf, illetve fakultatív autotróf anyagcserét, a „H” jelzés heterotróf (szerves anyagokat felhasználó) anyagcserét jelent.

A vas(II)-vas(III) átalakításban magasabb rendű egysejtű és több sejtű szervezetek is részt vesznek, de ezek jelentősége az ásványvizekben alárendelt (algák, protozoák).

Sajátos és mennyiségileg is jelentős szerep jut az élő szervezeteknek a kalcium-karbonát biogén-termelésében. Az ásvány- és gyógyvizek hidrogén-karbonát-tartalma a fizikokémiai átalakulás mellett biológiai hatásra is kiválthat, az alábbi képlet szerint:



Az átalakítás bakteriális szinten általában másodlagos anyagcsere-produktum eredménye, de az algák és protozoák és még inkább a magasabb rendű növények és állatok esetében, magukban a szervezetekben játszódik le. A baktériumok közül egyes kénbaktériumok, valamint néhány *Micrococcus*, *Siderobacter* (calceum), *Pseudomonas* (calcis), *Desulfovibrio* és *Bacillus* faj is képes anyagcseréje során a fenti átalakításra. A termálvízvezetékek eltömődése sok esetben ilyen tevékenység eredménye. Az ásványvizek felszínre

kerülése után a természetes vagy mesterséges tárolókban a mészforgalomban részt vevő növények és állatok változatos társulása alakulhat ki (kovaalgák pl. *Pinularia*, zöldalgák, pl. *Chara-Cladophora*, járommoszatok pl. *Cosmarium*, magasabb rendű vízinövények pl. Potamogeton, illetve az állatok közül számos kagyló- és csigafaj, valamint rákfaj).

Szerves anyagok

A mélységi ásványvizek és gyógyvizek ökológiai szempontból – a szervesanyag-terhelést illetően – oligotípusú környezetnek számítanak, a felszín közeli ásványvizek pedig a mezotípusba tartoznak. Az ásványvizek szervesanyag-tartalma lehet geológiai eredetű (korábban mélybe került élő szervezetek maradványa), lehet felszíni eredetű, és végül az autotróf mikroszervezetek produktuma. A minimális szervesanyag-tartalom miatt is érthető, hogy a mélységi vizek mikrofórája többségében autotróf (szervetlen anyagok átalakításából fedezik energiászükségletüket).

Egyes heterotróf baktériumok (energiászükségletüket szerves anyagok átalakítása, illetve beépítése révén fedezik) nagy tömegben is elszaporodhatnak a minimális szervesanyag-tartalmú ásványvizekben, ha egyéb környezeti tényezők ezt lehetővé teszik. Itt ismét a minimumfaktorra és az antagonizmusokra hívnánk fel a figyelmet. Egyes kifejezetten euriók baktériumtípusok, mint pl. a *Flavobacteriumok*, *Achromobacter-fajok* és a *Pseudomonas* nemzetségbe tartozó számos faj, antagonista korlátok hiányában, gyakran jelennek meg szervesanyag-tartalom szempontjából szegény ivóvizekben és ásványvizekben. A cm³-enkénti baktériumszám ilyen esetekben több tízezer is lehet, ugyanakkor a baktérium-populáció homogén, és gyakorlatilag egyetlen faj tisztá tenyésztéről van szó.

Egyes közegészségügyi szempontból is jelentős heterotróf baktériumok szaporodását, illetve túlélését mi is vizsgáltuk előzőleg sterilizált ásványvizekben (a margitszigeti I–III. termálkút vizét). Megállapítottuk, hogy az oligocarophil *Pseudomonas aeruginosa* száma a termálvízben 37 °C-on inkubálva az első 10 nap után egy nagyságrenddel nagyobb lesz a kiindulási csíraszámánál, majd fokozatosan csökken, és még az 50. napon is megtartja a beoltási csíraszámot. A kifejezetten heterotróf *Escherichia coli* szintén szaporodik, de túlélése kisebb fokú, mint a *Pseudomonas* törzse. A parazita, más szóval kórokozó baktériumok nem szaporodnak, de túlélésük több napra terjed.

A heterotróf baktériumok megjelenésével főként a másodlagos szennyeződés kapcsán kell számolnunk, ezért ott majd ezzel a kérdéssel bővebben foglalkozunk.

Az ásványi eredetű szénhidrogének bontásában részt vevő mikroorganizmusokról már a szén forgalmának tárgyalásakor szóltunk, de a gázoknál még foglalkozunk a metánbontókkal.

Gázok

A különböző összetételű és származású ásványvizek oldott gáztartalma igen változó, és az illető vízadó objektumra jellemző. Mindenekelőtt a szabad szén-sav (CO_2), a kén-hidrogén (H_2S) gyakori jelenléte indokolja az ásványvizekben, hogy az oldott gázok ökológiai szerepét vizsgáljuk. Nem hagyható figyelmen kívül az oldott oxigén, szén-monoxid, nitrogén, hidrogén és különösen a metán környezeti faktorként való jelentősége sem.

A gázoknak önálló ökológiai tényezőként való vizsgálatát az is indokolja, hogy a folyadékban (vízben) való gázabszorpció során a gázmolekulák kémiai kapcsolatba kerülhetnek a vízzel és annak jellegét meghatározhatják (kénes vizek, szén-savas vizek) vagy csupán fizikai oldódás történik, de mindkét esetben olyan millió alakul ki, ahol az élő szervezetek számára „könnyen hozzáférhető” molekula jelent környezeti tényezőt. A hozzáférhetőség persze nem mindig kedvező az élőlény számára, adott esetben mérgező is lehet. Az ásványvizek benépesülését tehát nagymértékben meghatározhatják a bennük levő gázok.

Mindenekelőtt az oxigén jelenléte vagy hiánya meghatározó jelentőségű a kialakuló mikroflóra összetételét illetően.

Az élő szervezeteket az energianyerő légzés típusa szerint két fő csoportra oszthatjuk: azokat a szervezeteket, melyek légzésükhöz molekuláris oxigént használnak fel, *aerob* szervezeteknek, azokat pedig, amelyek intramolekuláris légzéssel lélegeznek (szerves vegyületek hasítása révén nyerik energiájukat) *anaerob* szervezeteknek nevezük. Vannak olyan típusok, melyek kis mennyiségű molekuláris oxigén jelenlétében már életképesek (*mikroaerofil szervezetek*), és olyanok is, melyek átmenetet képeznek a két légzési típus között (*fakultatív aerob*, illetve *anaerob*).

Különösen a mélységi vizek esetében, ahol az oxigén-tartalom sokszor igen csekély, vagy egyáltalán nem mutatható ki, igen nagy jelentősége van annak a körülménynek, hogy a baktériumok néhány csoportja molekuláris oxigén hiányában is képes aerob módon lélegezni (pl. deszulfurizáló és denitrifikáló baktériumok) mégpedig úgy, hogy anyagcseréjük során olyan labilis vegyületek keletkeznek (pl. N_2O), melyekből molekuláris oxigén szabadul fel. A mélységi vizek benépesülésének ez a körülmény igen fontos eleme. Így azután könnyen érthető, hogy egymás mellett aerob kénbaktériumok és anaerob metánbontó baktériumok ugyanabban az oxigénhiányos mélységi ásványvizekben kimutathatók.

Az ásványvizekben és gyógyvizekben – az oxigénnel szemben – a kén-hidrogénnek (H_2S) és a szabad szén-savnak (CO_2) specifikus ökológiai szerep van. Mindkét gáz igen gyakori ezekben a vizekben, és a gázabszorpció egyúttal kémiai átalakulást is jelent. A CO_2 -ban gazdag ásványvizek sajátos ökológiai közeget jelentenek (savanyú vizek). *Kol* (1943–45) például az észak-erdélyi borvízforrások mikrovegetációját éppen a széndioxid-tartalom alapján tanulmányozta.

A szén-dioxid mint ökológiai faktor többféleképpen hathat. Mindenekelőtt a közeg savanyítása (adott esetben egészen pH 4,5-ig) szelektálhat. Ismeretes, hogy a mikroszervezetek pH-optimuma általában semleges tartományba esik, így az erősen savanyú közeg a mikroflórát jelentősen beszűkítheti. Érdekes például, hogy a kénbaktériumok egy része kifejezetten savanyú közegben tenyészik, így a kén-hidrogén és szén-dioxid együttes jelenléte kedvez a baktériumok elszaporodásának. Másrészt a szén-sav hidrogén-karbonát rendszerben (ásványvizekben gyakori szituáció) számos fotoautotróf (pl. alga) valamint kemoautotróf és szénheterotróf mikroorganizmus vesz részt a kalcium-karbonát biogén termelésében (feltört után).

Metántartalmú mélységi vizekben számítani lehet metánt oxidáló baktériumok megjelenésére. Különösen a *Pseudomonadales* rendbe tartozó fajoknak, pl. *Pseudomonas methanica*-nak van meg ez a képessége; metánból szén-dioxidot termel. De vannak metánképző anaerob baktériumok is, amelyek szén-dioxid redukálása révén nyerik energiájukat, illetve szén-szükségletüket így fedezik (*Methanobacteriaceae*). E család jellegzetesen termofil, így a magas hőmérsékletű termálvizekben (65–70 °C) jelentékeny metánproduktiót okozhatnak (*Zeikus*, 1972). A család jellemző képviselője a *Methanobacterium thermoautotrophicum*. Egyébként a metánképző baktériumok főleg az anaerob rothasztási folyamatokban vesznek részt.

Néhány fizikai tulajdonság

- A fényviszonyok a fotoautotróf vegetáció életfeltételeit szabályozzák. A mélységi vizek e tekintetében természetesen nem megfelelők a fotoautotróf és a szén-dioxid-asszimiláló szervezetek szaporodására. A fénytől teljesen elzárt élettereket – így a mélységi vizeket is – barlangi biotópoknak nevezzük (stigmatikus élőhely).
- A feltörő mélységi vizek mikroflórájának jelentős része fényre kerülve elpusztul, mivel igen érzékenyek a természetes fény ultraibolya- (UV-) sugárzásával szemben. A minimális baktericid hatásos már 302 mikrométer hullámhosszú sugárhatás elegendő. A baktériumok többsége köz-

vetlen napfény hatására 1–2 óra alatt elpusztul. A mélységi vizek autochton mikroflóráját tehát nem lehet tanulmányozni a fényre már kikerült ásványvízben. Érdekes, hogy a kemoautotróf kénbaktériumok (pl. *Thiobacillus*) szerepét a feltört nagy kén-tartalmú forrásvízben fotoautotróf kénbaktériumok vehetik át (pl. *Chlorobium*, *Chromatium*). A bakteriális fotoszintézis abban különbözik a valódi növényi fotoszintézistől, hogy a növények H-donátorként a vizet használják, a kénbaktériumok viszont a H_2S -t:

fény



Kamcsatkában, Izlandon, Új-Zélandon és az USA-ban a Yellowstone park forrásaiban igen gyakoriak a zöld, barna vagy bíbor kénbaktériumok. Hazánkban a hévíz tóban elmeletlenül előfordulhatnak.

- A mélységi vizek eredeti élővilágát az ott uralkodó nyomásviszonyok is befolyásolhatják.

Bár a barofília nem ritka jelenség az élővilágban, hiszen a mélytengeri kutatások bebizonyították, hogy nemcsak alacsonyrendűek, hanem puhatestűek és egyéb magasabb rendű vízi szervezetek is kimutathatók a legmélyebb pontokon is. *Zobell* és *Morita* (1959) a Galathea expedíció során a Fülöp-árokban (10 000 m mélységben), ahol 500 atm nyomás van, a fenéköledék 1 grammjában 10 000–1 millió csírát talált. Érdekes, hogy a barofília elsősorban a halofil és pszichofil mikroszervezetek között a legkifejezettebb. Másfelől viszont *Zobell* (1964) azt találta, hogy az *Escherichia coli* 1000 atm nyomást is kibír.

A nagy nyomás önmagában még az igen mély ásványvizekben sem jelent számottevő gátlóhatást. Ismeretes a nyomás és a hőmérséklet együttes hatásának kumulatív hatása a baktériumokra. Minthogy 10 m-ként 1 atm nyomásnövekedéssel kell számolni, egy 1000 m mély fúrás esetén már 100 atm nyomás uralkodik. Ha ez a nagy nyomás 70–80 °C-os hőmérséklettel párosul, számítani lehet arra, hogy a baktériumok egy része károsodik, sőt a teljes sterilitás feltételei is kialakulhatnak. Ezt azért kell figyelembe venni, mert a fúrás esetén elkerülhetetlen a felszínről való szennyeződés. A mélyben uralkodó nyomás- és hőviszonyok viszont megakadályozzák a felszínről lekerült – esetleg kórokozó – baktériumok túlélését.

- Ökológiai szempontból két hatást tulajdoníthatunk a vízmozgásnak. Akár a természetes, akár mélyfúrásal feltárt ásványvízforrásokban, il-

letve – kutakban igen jelentős a víz áramlásának sebessége. Az egyik hatás a fizikai destrukció, de ennek csak akkor van lényegesebb szerepe, ha a víz nagy mennyiségű hordalékot tartalmaz. Ennek ellenére a vizekben szép számmal fordulnak elő rheofil szervezetek (kovaalgák, vázas protozoák és baktériumok is). A másik hatás az ásványvizek esetében a vízcserre, ami a benépesedést jelentősen hátráltatja. A nagyobb vízmozgás vagy turbulencia a felszíni vizekben, de a mélyégi vizekben is sajátos biotóp hoz létre. Ez a felületekhez tapadó ún. szesszilis életközösség. A mélyégi vagy akár a felszín közeli ásványvizek mikroflórája nagyrészt a felületeken kialakuló bevonatokban tapadhat meg. Ennek azért is nagy a jelentősége, mert a mintavétel során a vizsgáló csak a szabad víztérbe került – a bevonatról leszakadt – szervezeteket tanulmányozhatja. Tehát a mikrobiológiai vizsgálat a mélyben kialakult mikroflóra összetételét csak hozzávetőlegesen ismerheti meg. Természetesen van lehetőség mélyégi bevonat-minták vizsgálatára is, de az irodalomban főleg a felszínre került ásványvíz vizsgálati eredményeit közlik.

- Az ásványvizek fizikai tényezői között még a pH és a redoxpotenciál befolyásolja a benépesülést. A két tényező együttes tárgyalását az indokolja, hogy közöttük negatív logaritmikus összefüggés van. A két tényező valamennyi élő szervezet anyagcserjét meghatározó oxidoredukciós folyamataiban alapvető ökológiai faktor. Már említettük, hogy a szerves anyagok átalakítása több lépcsőben és más-más mikroorganizmus által történik. Ezekre a lépcsőkre éppen a pH- és a redoxpotenciál-viszonyok jellemzőek. A pH-optimum 6,5 és 8,5 között van a mikroorganizmusok többségénél, de *Thimann* (1964) a tűrőhatárokat pH 4 és pH 9 között állapította meg. Vannak szélsőséges esetek, és éppen az ásványvizekben is előfordul kénbaktériumok esetében. A *Thiobacillus thiooxidans* és a *Thiobacillus ferrooxidans* pH 3 körül szaporodik leginkább.

Biológiai környezet

A vizek benépesülésének ökológiai tényezői között az életközösség tagjainak egymásra hatása meghatározó jelentőségű. Ez a hatás annál nagyobb, minél sűrűbb az állomány, és természetesen a heterogenitás is fokozza ezt a hatást. Ezért a természetes vizek közül főleg a felszíni vizek (folyók, tavak, tengerek) jó példái a biológiai környezet meghatározó szerepének.

Az ásványvizekben viszonylag kicsi az állomány sűrűsége, és gyakran homogen állományok alakulnak ki. Mégis – ha kisebb mértékben is – számolni kell ezekkel a hatásokkal.

Mindenekelőtt a környezeti tényezők együttes hatására kialakult életközösség (biocönózis) jelentőségét kell hangsúlyozni az eredeti (autochton) mikroflóra kialakulásában (például kén- és vasbaktérium-állomány egy termálkútban). Az így kialakult mikroflóra egyes tagjai lehetnek közömbösek egymásra – ez a ritkább eset – de lehet közöttük *versengés* (kompetíció) is. A szulfátok redukálására vagy a kén-hidrogén és a kén oxidálására például több faj képes. Ezek esetleg rendszertanilag egymástól távol álló fajok, és az, hogy közülük melyik faj válik uralkodóvá egy-egy ásványvízben, az a kompetíció hatására létrejött szelekciótól függ.

Az állomány kialakulásában fontos szerepet játszik az a körülmény, hogy az egymás mellett szaporodó fajok gátolhatják a másik szaporodását (*antagonizmus*). Az anyagcsere-folyamatok során olyan végtermékek keletkezhetnek, amelyek bakteriosztatikus vagy baktericid hatást fejtenek ki egy másik faj egyedeire. Egyes kénbaktériumok a közeget erősen megsavanyítják (*Thiobacillus thiooxidans*), így közvetlen környezetükben gyakorlatilag más baktérium nem szaporodhat. Vannak specifikus baktericid anyagokat termelő fajok is (pl. *Pseudomonas*ok).

Az ásványvizekben az antagonista hatások csak a statikus rendszerben jelenthetnek értéklehető hatást a biocönózisban. A nagy vízcserre miatt a mélyégi vizekben csak a bevonatokban vagy a nyugalmi állapotban levő víztömegben van jelentőségük, de a felszín közeli ásványvizekben nagyobb szerepük lehet (pl. kecskerivíz-kutakban a halofil (*Pseudomonas* vagy *Achromobacter* fajok gátolhatják a *Bacillus*ok szaporodását).

Az antagonista hatás azonban nemcsak toxikus anyagok termelésével kapcsolatos, hanem ismeretes a pigmenthatás (pyocianin, hemipyocianin, prodigiosin), enzimgátlás és bakteriofág-átvitel is.

Sajátos és kedvező hatás a kommenzializmus. Ez azt jelenti, hogy az egyik baktérium vagy mikroorganizmus hasznosít húst a másik anyagcseréjéből, annak károsodása nélkül. Az előny egyoldalú, de káros hatás nélkül. Az oxigénben szegény mélyégi vizekben például jól szaporodhatnak obligát aerob baktériumok (po. vas- és kénbaktériumok), mivel az ott jelenlevő deszulfurizáló, esetleg denitrifikáló baktériumok labilis oxidokat termelnek.

A biológiai faktorok közül még megemlíthetjük a *szimbiózist* (kölcsonős előny) és a *szinergizmust* (kölcsonős egymásrautaltság), de ezeknek az ásványvizek benépesülése szempontjából elhanyagolható jelentőségük van.

A biológiai környezet mint ökológiai faktor, igen összetett, dinamikus hatású. Tágabb értelemben ez valamennyi környezeti tényezőre vonatkozik. Ezért az eddigiekben követett tárgyalási mód csak didaktikus célokat szolgált. Egy-egy élőhely (biotóp) valamennyi környezeti tényezőjét, azok együttes hatását nehéz rögzíteni a mintavétel térbeli és időbeli pontján. Ezért az ásványvizek autochton mikroflórájának tanulmányozása során, a vizsgálati adatok értelmezésekor csak az uralkodó hatásokat és tendenciákat lehet figyelembe venni. Különösen kritikusan kell kezelni a kvantitatív eredményeket (a különböző baktériumszámok numerikus értékei csak nagyságrendi különbségek esetén vagy többszöri mintavétel után kapott tendencia alapján értékelhetők). Az eredeti mikroflóra tanulmányozásának legfőbb nehézsége az, hogy a másodlagos szennyeződés kizárása nehéz, illetve a mintavételből származó szennyeződés lehetősége a vizsgálati eredmények értékét nagymértékben bizonytalanná teheti. Hangsúlyozni szeretnénk, hogy a szokásos és szabványos kémiai vízmintavétel egyáltalán nem alkalmas mikrobiológiai célra (pl. kutatófúrás esetén vett kémiai analízist szolgáló vízminta).

Szerző: Dr. Némédi László
mikrobiológus, kandidátus

HIRDESSZEN FOLYÓIRATUNKBAN!

PUT YOUR AD IN OUR PERIODICAL!

WERBEN SIE IN UNSERER ZEITSCHRIFT!