



Braun Tibor

■ ELTE Kémiai Intézet, MTA Könyvtár és Információs Központ | braun@mail.iif.hu

Biobányászat, biokioldás bemutatása

Mikroorganizmusok szerepe és alkalmazása fémek kioldására ércekből

Előszó

Fontosnak tartjuk már a legelején megemlíteni, hogy a mikroorganizmusok a legnagyobb számban jelen levő élőlények a Földön (például 1 milliárd egy teáskanálnyi talajban).

Elsősorban néhány fogalmat és elnevezést szeretnénk tisztázni, főleg abból a szempontból, ahogyan azokat az angol és a magyar nyelvben alkalmazzák. A *biomining*-ot például *bioleaching*-ként, *biooxidation*-ként, *biobenefication*-ként is használják az angol nyelvű szakirodalomban. Általában *bioleaching*-nek azt a folyamatot nevezik, amelyben fémek kioldását kívánják ásványi forrásaikból, ércekből természetben előforduló mikroorganizmusokkal megoldani, vagy mikroorganizmusokat elemek helyének megváltoztatására használnak úgy, hogy az érintett elemek vízzel, vagy/és savakkal kioldhatók, elválaszthatók legyenek [1]. Járulékosan ugyanezt *biooxidation*-ként is használják [2].

Biobenefication-nek tekintik a folyamatot, amelyben szilárd anyagokat kezelnek mikroorganizmusokkal a bennük lévő nem kívánt szennyezések eltávolítására [3]. A *biomining* és a *bioleaching* lényegében hasonló mikrobiális folyamatokat jelent vizes közegben. Ezek interdiszciplináris területekként működnek, amikben együttesen jelennek meg a mikrobiológia (elsősorban geomikrobiológia), ásványtan, geológia, kémia, vegyészmérnöki és bányamérnöki szakterületek [4]. Előfordul az is, hogy *biogeotechnology*-t használnak *biohydrometallurgy* helyett [5]. A *hydrometallurgy*-t úgy definiálják, mint „ércet és fémeket tartalmazó anyagok vizes folyamatokkal való feldolgozása főleg ipari méretekben”.

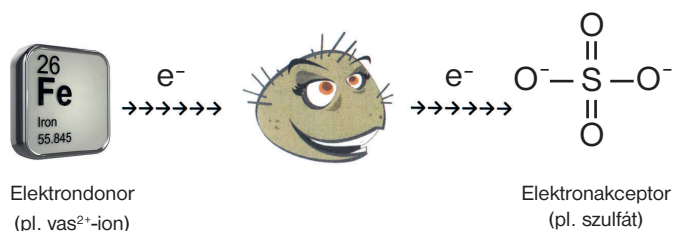
A fenti fogalmak és definíciók címszavanként is megtalálhatók adatbázisokban, például: *biomining* [6], *bioleaching* [7], *biooxidation* [8], *biohydrometallurgy* [9], *biogeotechnology* [10], *biolixiviation* [11], *biobenefication* [12].

Bár a fémek kioldása vízzel, illetve savakkal, mint ahogyan azt a római író, *Gaius Plinius Secundus* (i. e. 2379) tette közzé *Historia Naturalis* című könyvében [13], valamint *Georgius Agricola* (1494–1555) német fizikus és érccsakértő publikálta *De Re Metallica* című, 12 kötetes munkájában [14], már több mint ezer évvel ezelőtt ismert volt. A mikroorganizmusok alkalmazását a fémek biobányászatára első ízben csak 1922-ben javasolták [15].

1947-ben a *Thiobacillus ferrooxidans*-t azonosították a savas bányavizek mikrobiális közösségének tagjaként [16]. Ez utóbbi és

számos más közleményre építve [17–20] jelen szerző véleménye szerint fémek vízzel való kioldása már a fent említett *Gaius Plinius* és *Agricola* idejében mikroorganizmusok hozzájárulásával is történhetett anélkül, hogy nevezettek tudtak volna róla, mert abban az időben még a mikroorganizmusok léte sem volt ismert, hiszen azokat *Antonie van Leeuwenhoek* németalföldi zoológus csak 1674-ben fedezte fel [21].

A baktériumoknak az oxidálás tulajdonképpen munkát jelent. Egész sor kémiai reakció játszódik le, amelyekhez a baktériumok oxigént és savas közeget igényelnek. Ehhez a baktériumok elektronokat vonnak el az ércekből megkötött fémekből. Ezáltal ezek oldhatóvá válnak, és az ércekből a vízbe kerülnek. A *bioleaching*-hez szükségesek a szervesetlen elektrondonorok, például a vas, amelyek elektronjait a kénoxidáló baktériumok felveszik (1. ábra). Ilyen baktériumok például az *Acidithiobacillus* és a *Leptospirillum*.



1. ábra. A vasion mikrobiológiai biokioldásának donor-akceptor alapmechanizmusa

lum, amelyek „vasoxidáló” mikroorganizmusok. Ezek Gram-negatív, aerob, kemolitotróf, acidofil baktériumok. Az ilyen baktériumok biokioldó képessége a savban oldhatatlan fémek elektronos oxidálásán (tioszulfát mechanizmus), illetve a savban oldható fémek protonos támadásán (poliszulfid mechanizmus) nyugszik. Mindkét mechanizmus a nehézfémek kioldásához vezet az ércből (2. ábra).

Mint láttuk, a biobányászat, a biokioldás és a felsorolt szakterületek lényegében a bányászat kifejezéssel foghatók össze. Ez a terület olyan hatalmas szakirodalommal rendelkezik, hogy lehetetlen lett volna ebben a dolgozatban összefoglalni. Ezért úgy véljük, hogy bizonyos részterületektől el kell határolódnunk. Példának említiük, hogy amikor valaki a bányászat kifejezést hallja, óhatatlanul nagy, széles és mély lyukakra, gödrökre, hatalmas gé-



2. ábra. Ércminta mikrobiológiai oldódás előtt és után

pekre és liftekkel a mélybe induló bányászokra gondol, akik a föld alatti folyosókban termelik ki és hozzák a felszínre az érceket. Le szeretnénk szögezni, hogy a bányászat ezen, nevezzük műszaki-technológiai változatával itt egyáltalán nem foglalkozunk. Amit körbe szeretnénk járni, az az angol *bioleaching*, amit mi *biokioldásnak* fordítottunk, és ami arra vonatkozik, illetve azaz foglalkozik, ami a mélyből felhozott ércek kémiai, biológiai feldolgozására és a nehézfémek kinyerési elveire vonatkozik alap-kutatási szinten.

A bakteriális biokioldás (bioleaching) mechanizmusa

Hova kerül az értékes fém a kioldási folyamat után? A biokioldás során a *kívánt* fémet kioldják az ércből. A biooxidáció vagy bio-benefikáció (*biobenefication*) során viszont a *nem kívánt* fémetek és más vegyületeket oldják ki az ércből.

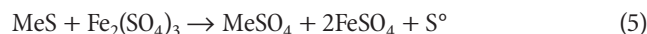
A továbbiakban a pirit (FeS_2) biokioldását ismertetjük példaként. Mint említettük, a bakteriális kioldásnak általában két változatát alkalmazzák. A *közvetlen* (3. ábra) bakteriális kioldásban közeli kapcsolat áll fenn a bakteriális sejt (például *T. ferroxi-*

Tudományos kutatások kimutatták, hogy például más fém-szulfidok: kovelit (CuS), kalkocilit (Cu_2S), szfalerit (ZnS), galenit (PbS), molibdenit (MoS_2), sztibnit (Sb_2S_3) és kobaltit (CoS) közvetlen reakcióban oxidálhatók a *T. ferrooxidans* baktérium által:



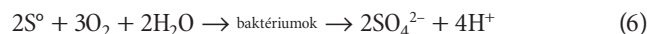
A tapasztalatok azt mutatták, hogy biokioldásnál a baktériumoknak, mint említettük, közvetlen kapcsolatuk kell legyen az érc felületével [25]. Erre a biofilmek kialakulásának kapcsán a továbbiakban még visszatérünk.

A *közvetett* bakteriális kioldás során a baktériumok egy biokioldószert (lixiviant) hoznak létre, ami kémiai oxidálja a szulfidércet. Savas oldatban ez a vas(III)ion, így a fém feloldását az (5) reakció írja le:



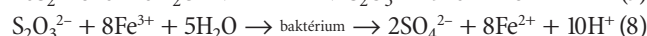
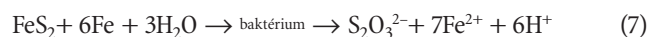
Annak érdekében, hogy elég vas maradjon az oldatban, a vas-szulfidok kémiai oxidálása savas közegben, $\text{pH} = 5$ alatti értéken kell történnie. Az ebből a reakcióból származó vas(II) *T. ferrooxidans* vagy *L. ferrooxidans* baktériumokkal vas(III)-má reoxidálható, és mint ilyen, újból részt vehet az oxidálási folyamatban.

A *közvetett* kioldás során a baktériumoknak nem kell közvetlen kapcsolatban lenniük az érc felületével. Nekik csak katalitikus hatást kell gyakorolniuk a baktérium nélküli, különben rendkívül lassú vas(III)-reakció reoxidálásában. Mint kimutatták, baktériumok jelenlétében $\text{pH} = 2-3$ közötti oldatban a vas(II) oxidálása vas(III)-má $10^5 - 10^6$ -szor gyorsabb, mint a vas(II) kémiai oxidálása. Ugyanis a párhuzamosan képződött kén kénsavvá oxidálódik (6), ezáltal a *T. ferrooxidans* által és a *T. thiooxidans* által okozott oxidálás, ami gyakran jár együtt a *T. ferrooxidans* által, nagyságrendekkel gyorsabb [26]:

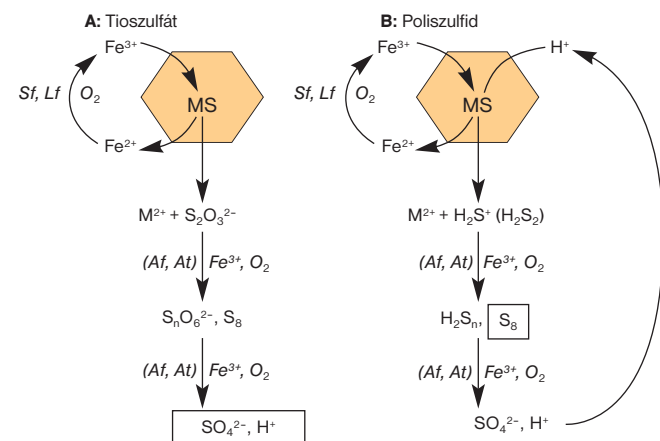
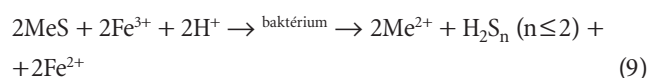


A *T. thiooxidans* szerepe az oldódás során nyilvánvalóan abban áll, hogy a vas(II)-t oxidáló baktériumoknak a vas(III)-mennyiség növekedéséhez kedvező feltételeket hozzon létre a *T. ferrooxidans* és az *L. ferrooxidans* által. Lényegében klasszikus szinten a biokioldás biológiai és kémiai folyamatok együtthatásának következményeként jön létre. Mint említettük, különös figyelmet érdemel a vas(II) – vas(III) ciklus. A biokioldási alkalmazásban mindkét mechanizmust, a *közvetlen* és *közvetett* kioldást is használják.

Meg kell még említsük, hogy az érc biokioldási reakciója nem azonos minden fém-szulfid esetében, illetve előfordul, hogy más szulfidok oxidálása közvetítőkön keresztül történik (3. ábra). Egy *tioszulfátos* és egy *poliszulfidos mechanizmust* is javasoltak például a pirit (FeS_2) és molibdenit (MoS), a szfalerit (ZnS), kalkopirit (CuFeS_2) és galenit (PbS) esetében:



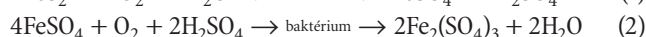
A *poliszulfidos mechanizmus* esetében a poliszulfid és a kén a fő közvetítők a galenit, szfalerit, kalkopirit, hauerit és realgar (arzen-szulfid) oxidálásában. A vas(III) jelenléte fontos az érc bomlásához. Mint már említettük, savban oldódó fém-szulfid oldódása a vas(III) és a protonok kombinált támadásából áll elemi kén közvetítésével. Az elemi kén ugyanis aránylag labilis szulfáttá oxidálható olyan kénoxidáló mikrobákkal, mint *Acidithiobacillus thiooxidans* vagy *Acidithiobacillus caldus* [28]:



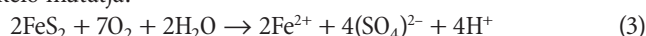
3. ábra. Fém-szulfidok biokioldásának mechanizmusa.

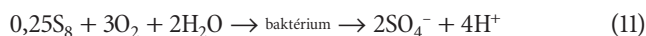
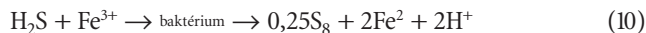
MS = fém-szulfid, M = fémkation, Af = Acidithiobacillus ferrooxidans, Lf = Leptospirillum ferrooxidans, At = Acidithiobacillus thiooxidans [34]

dans) és az érc, például a szulfidérc-kristályok felülete között, és a szulfáttá való oxidálás különböző enzimatikusan katalizált lépésekként történik. Például egy ilyen folyamatban a piritet vas(III)-szulfáttá oxidálják [22–24]:

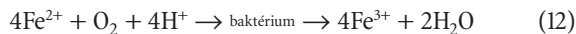


A pirit közvetlen bakteriális oxidálását összefoglalva a (3) reakció mutatja:





A (8) és (9) reakciók által képzett vas(II) vas(III)-má reoxidálható *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Leptospirillum*, illetve *Sulfobacillus* baktériumokkal:



Biokioldási mikroorganizmusok

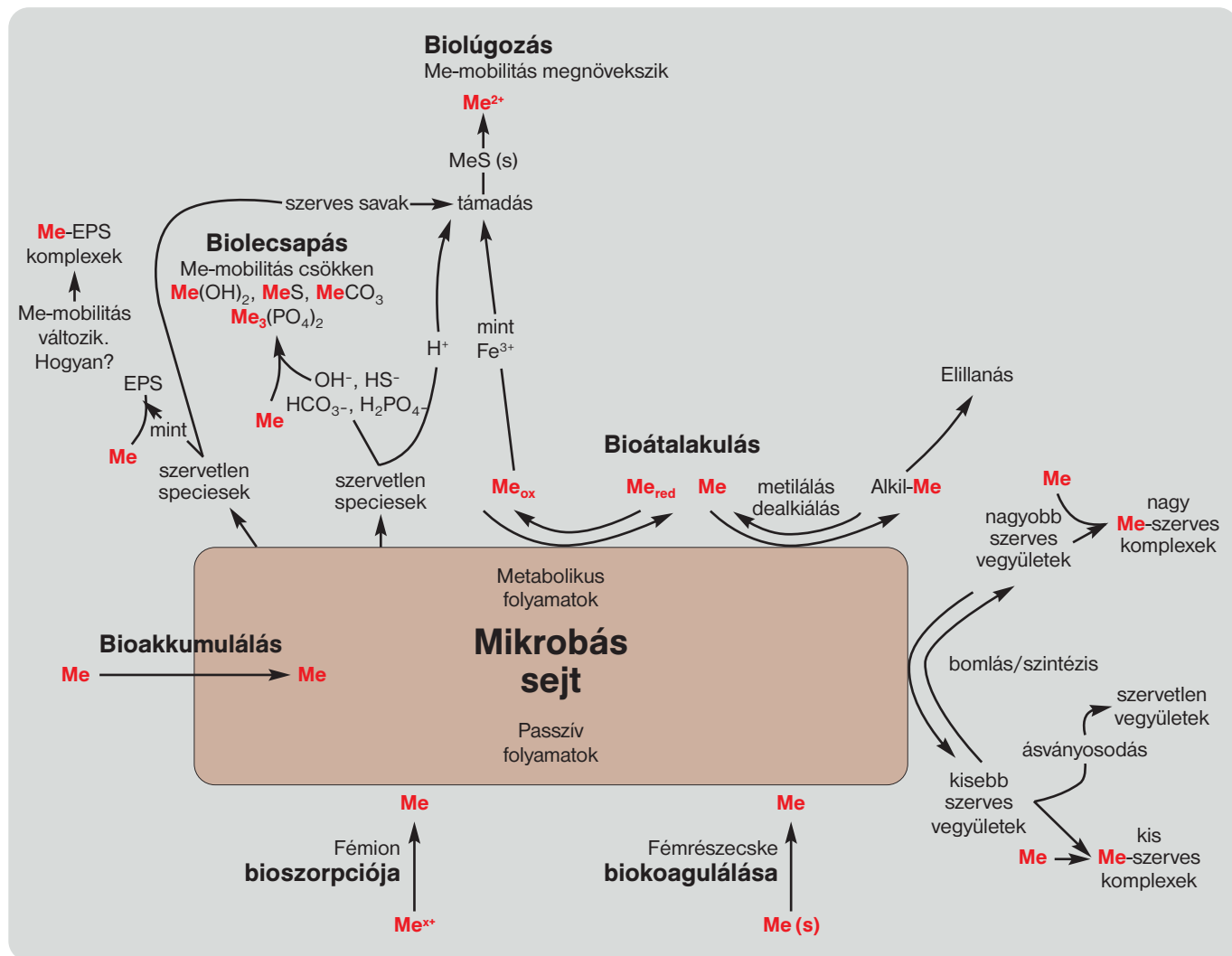
A biobányászatban általában a mikroorganizmusok az *extrofílek* csoportjához tartoznak, mivel azok extrém savas környezetben (pH: 1–3) és nagy mennyiségű, toxikus nehézfém-koncentrációk jelenlétében is megélnék [29]. A mikroorganizmusok aránylag nagy része képes létezni és növekedni olyan környezetben, ami biokioldási műveleteket tesz lehetővé [30]. A legvizsgáltabb baktériumok az *Acidithiobacillus* génuszhoz tartoznak. *Acidobacillus ferrooxidans* és *A. thiooxidans* acidofil mezofílekkel és a nagyon enyhén termofil *A. Calvus*-szal a Gram-negatív és γ -*protobaktériumokkal* rokoníthatók. Az *A. ferrooxidans* a vas(II)-ből és az elemi kénből vagy részben oxidált komponensekből nyeri energiáját [31]. A *Leptospirillum* génusz tagjai másik fontos biokioldó baktériumokhoz tartoznak, amelyeket egy új, *Nitrospirobakté-*

rium osztályhoz sorolnak. Néhány Gram-pozitív biobányászati baktérium az *Acidimicrobium* génuszhoz tartozik. A *Ferrimicrobium* és *Sulfobacillus* baktériumokat is használják.

Extrém termofil *archeonok*, amelyek képesek vas(II) és kén oxidálására, évek óta használatosak biokioldásra. Ezek főleg a *Sulfolobus*, *Acidians*, *Metallosphaera* és *Sulphurisphaera* génuszokhoz tartoznak [31]. Nagyon érdekesek azok a kutatások, amelyekben egyedi baktériumok helyett baktériumkonzorciumokat használnak [32].

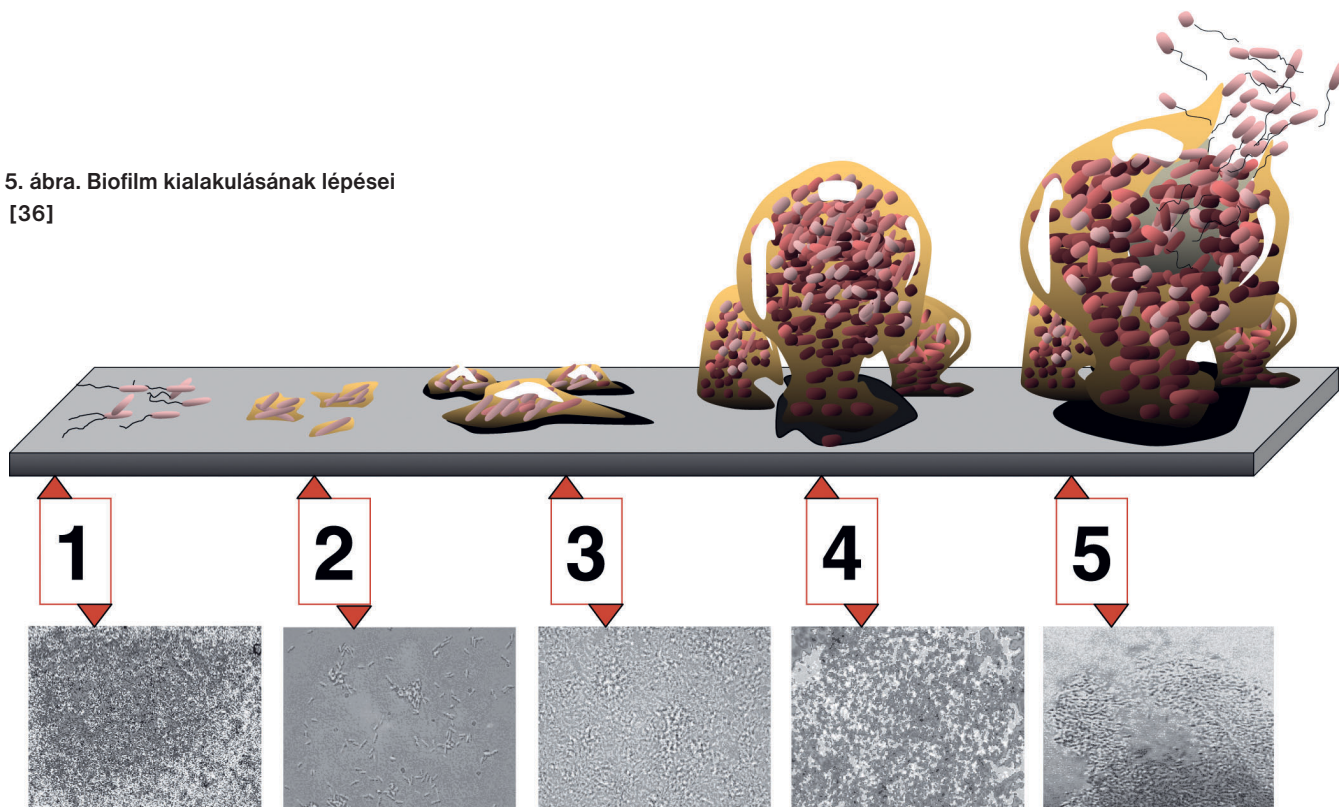
A fent említett mikroorganizmusok számos módon befolyásolhatják a kémiai állapotot, a változatok kialakulását és ezáltal a fémek biomobilizációját. Ezek a néha komplex mechanizmusok közvetlen folyamatokból származhatnak, mint például fémátalakulás és intracelluláris felvétel, vagy közvetett lépésekből, amik olyan vegyületeket hoznak létre, amelyek a fémeket többé-kevésbé biomobilizálják. Mikrobiálisan befolyásolt fémátalakulások fázisváltozást is létrehozhatnak, és felelősek lehetnek a fémek körforgásáért az ökoszisztémákban. Ezeket és más hasonló változásokat prokarióták és eukarióták hoznak létre. Számos mikrobiálisan megkönnyített érc-fém átalakuláshoz és a reakció mechanizmusához olyan különböző jelenségek is hozzájárulhatnak, mint az adszorpció, az ásványosodás, az oldódás és a lecsapás, az oxidálás és reoxidálás, a metilálás és a dealkilálás. A 4. ábra megkísérli összefoglalni ezeket a mikrobiális folyamatokat [33].

4. ábra. Mikrobás sejtek által elősegített átalakulások [33]





5. ábra. Biofilm kialakulásának lépései
[36]



Biofilmek kialakulása

Az előbbieken említésre került, hogy a biokioldás közvetlen mechanizmusa során közeli kapcsolatnak kell kialakulnia a bakteriális sejt és az érc között. Ennél a mechanizmusnál az érc és a baktériumok együttese *biofilm* kialakulásához vezet az érc-kristályok felületén [34]. Ez gyakorlatilag 5 lépésben történik. Az *első lépésben* a baktériumok diffúzióval, konvekcióval és aktív mozgással közelítik meg a kristályszemcsék felületét. A *következő lépést* a baktériumok kezdeti csatlakozása vagy szorpciója képezi. Úgy tekintik, hogy ezt a folyamatot fizikokémiai és elektrosztatikai, valamint hidrofób erők uralják a részecskék és a felületek között. A baktériumok szorosabb csatlakozása a kristályfelületekhez képezi a *harmadik lépést*. A felülethez tapadt baktériumok olyan speciális szerkezeteket képezhetnek, mint lineáris biopolimerek, poliszaharidok, amik még szorosabban kötődnek a felülethez. A *negyedik lépésben* a kristályfelületek teljes befedése baktérium *mikrodomének* és *biofilmek* kialakulásához vezet. *Ötödik lépésként* a baktériumok és váladékaik stabilisan növekednek a felületen, ami biofilmek tartós diszperziójához vezet [35–36]. A biofilmek megvédik a mikroorganizmusokat a ragadozók támadásaitól (5. ábra).

A biooldódást befolyásoló tényezők

A biooldódás eredményessége nagymértékben függ a mikroorganizmusok hatékonyságától és a kioldandó érc kémiai és ásványi összetételétől. Maximális hatékonyság csak akkor érhető el, ha a biooldódási feltételek megfelelnek a baktériumok következő növekedési feltételeinek.

Tápanyagok

A fémek biokioldása a szulfidércekből kemolitoautotrofikus baktériumoktól függ, ezért csak szerves vegyületek szükségesek a

növekedéshez. Általában az ásványi tápanyagokat a környezetből és az oldandó ércből nyerik. A vas- és kénvegyületek legkedvezőbb növekedését ammónium-, foszfát- és magnéziumsók egészíthetik ki.

O_2 és CO_2

Oxigén megfelelő adagolása szükséges a biokioldó baktériumok megfelelő növekedéséhez és magas aktivitásához. A CO_2 jelenléte is szükséges, de a mechanizmus nem igényel külső CO_2 -hozzáadást.

pH

A helyes pH-érték beállítása döntő jelentőségű a fémek kioldásához. 2,0–2,5 pH-értékek optimálisak a vas(II) és a szulfid biooxidálásához. 2,0 pH-érték alatt a *T. ferrooxidans* jelentős inhibíciója következik be, de sav hozzáadásával a *T. ferrooxidans* adaptálható alacsonyabb pH-értékekhez is [37].

Hőmérséklet

A *T. ferrooxidans* által vas(II) és szulfid oxidálására az optimális hőmérséklet a 28–30 °C közötti. Alacsonyabb hőmérsékletnél a fémkioldás csökken, de még 4 °C-nál bakteriális oldódást figyeltek meg a kobalt, nikkel és cink esetében. Magas hőmérsékletknél (50–80 °C) termofilikus baktériumok használata ajánlott. A biokioldási közeg ásványi összetétele elsőrendű fontosságú. Magas karbonáttartalomnál a kioldó folyadék pH-ja növekszik, és inhibíció vagy a bakteriális tevékenység teljes megszűnése következhet be [38].

Az érc jellege

A biokioldó közeg ásványi összetétele elsőrendű fontosságú. Az érc nagy karbonáttartalmánál a biokioldó pH növekedni fog, és inhibíció, vagy a bakteriális tevékenység teljes elnyomása következhet be. A biokioldó baktériumok szükséges növekedéséhez ala-



csony pH-értékek külső sav hozzáadással érhető el, de ez nem okozhatja a kalcium-szulfát képződését és kicsapódását. A biokioldás sebessége a komponens (szubsztrátum) teljes felületétől is függ. A részecskeméretnek csökkenése a teljes felület növekedéséhez vezet, ezért magasabb fémkitermelés érhető el a részecskének össztömegének változtatása nélkül. A 42 µm-es részecskeméret optimálisnak tekinthető [39].

Nehézfémek

A fém-szulfidok biokioldását a fémkoncentráció növekedése kíséri az oldatban. Általában a biokioldó mikroorganizmusok, különösen a *Thiobacillus* nagy tűrőképességgel rendelkeznek nehézfémekkel szemben. Bizonyos fajták még 50 g/l Ni, 55 g/l Cu vagy 112 g/l Zn mennyiséget is tűrnek [40].

Felületaktív anyagok és szerves oldószerek

A folyadékextrakcióban alkalmazott felületaktív anyagok és szerves vegyületek gátló hatást gyakorolnak a biokioldó baktériumokra, főleg a felületi feszültség és az oxigén tömegtranszferje csökkenésével [41].

Utószó

Jelen írásban a kémia, a biológia és a bányászat interdiszciplináris jellegét szeretnénk volna néhány kiválasztott példára építve bemutatni. A biobányászati irodalom mérete miatt természetesen nem törekedhetünk monografikus ismertetésre még a kiválasztott példák (vas-szulfidok) esetében sem.

Valószínűnek tartjuk, hogy a biobányászat és biokioldás kutatása jelentős jövő előtt áll. A fejlődés főleg az egyre újabb mikroorganizmusok és gombák, valamint penészek használatára terjed ki. Jelentős előrehaladás várható még a mikroorganizmus-konzorciumok [32] alkalmazásából is.

IRODALOM

- [1] S. P. Parker, Concise Encyclopedia of Science and Technology, McGraw-Hill, 1992.
- [2] G. S. Hansford, D. M. Miller, Biooxidation of a gold-bearing pyrite-arsenopyrite concentrate, Microbiol. Rev. (1993), 11, 175.
- [3] S. N. Groudev, Biobeneficiation of mineral raw material, Miner. Metall. Process (1999) 16, 19.
- [4] G. Rossi, Biohydrometallurgy, McGraw-Hill, Hamburg, 1990.
- [5] H. Watling, Microbiological Advances in Biohydrometallurgy, Minerals (2016), 6, 49.
- [6] <https://en.wikipedia.org/wiki/Biomining>
- [7] <https://en.wikipedia.org/wiki/Bioleaching>
- [8] <http://wiki.biomine.skelleftea.se/wiki/index.php/Biooxidation>
- [9] <https://en.wikipedia.org/wiki/Biohydrometallurgy>
- [10] <https://en.wiktionary.org/wiki/biogeotechnology>
- [11] <https://en.wikipedia.org/wiki/Biolixivation>

- [12] <http://wiki.biomine.skelleftea.se/wiki/index.php/Biobeneficiation>
- [13] https://en.wikipedia.org/wiki/Pliny_the_Elder
- [14] https://hu.wikipedia.org/wiki/Georgius_Agricola
- [15] W. Rudolfs, Oxidation of iron pyrites by sulfur-oxidizing organisms and their use for making mineral phosphates available, Soil Sci. (1922) 14, 135.
- [16] https://en.wikipedia.org/wiki/Acidithiobacillus_thiooxidans
- [17] A. R. Colmer, M. E. Hinkle, The Role of Microorganisms in Acid Mine Drainage, J. Ind. Microbiol. (1947) 106, 253.
- [18] J. A. Brierley, Acidophilic thermophilic archaeobacteria: Potential application for metals recovery, FEMS Microbiol. Rev. (1990) 75, 287.
- [19] C. L. Brierley, Bacterial leaching, Crit. Rev. Microbiol. (1978) 6, 207.
- [20] C. L. Brierley, Bacterial oxidation, Eng. Min. J. (1995) 196, 42.
- [21] https://en.wikipedia.org/wiki/Antonie_van_Leeuwenhoek
- [22] B. Rewerski, S. Mielnicki, I. Bartosiewicz, H. Polkowska-Motrenko, A. Sklodowska, Uranium post-mining wastes as a potential reserve source of uranium for nuclear energy plants, Physicochem. Probl. Miner. Process. (2013) 49, 5.
- [23] <http://web.mit.edu/12.000/www/m2015/2015/bioleaching.html>
- [24] J. C. Bennett, H. Tributsch, Bacterial leaching patterns on pyrite crystal surfaces, J. Bacteriol. (1978) 134, 310.
- [25] A. E. Torma, Microbiological oxidation of synthetic cobalt, nickel and zinc sulfides by Thiobacillus ferrooxidans, Rev. Can. Biol. (1971) 30, 209.
- [26] D. T. Lacey, F. Lawson, Kinetics of the liquid-phase oxidation of acid ferrous sulfate by the bacterium Thiobacillus ferrooxidans, Biotechnol. Bioeng. (1970) 12, 29.
- [27] F. Anjum, H. N. Bhatti, M. Asghar, M. Shahid, Leaching of metal ions from black shale by organic acids produced by Aspergillus niger, Appl. Clay Science (2010) 47, 356.
- [28] W. Sand, T. Gehrke in W. Wingender, T. R. Neu, H. C. Flemming (Eds.) Analysis and Function of the EPS from the Strong Acidophile Thiobacillus ferrooxidans. Microbial Extracellular Polymeric Substances, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1992, 127.
- [29] <https://en.wikipedia.org/wiki/Bacteria>
- [30] M. Dopson, C. Baker-Austin, P. R. Koppineedi, P. L. Bond, Growth in sulfidic mineral environments: metal resistance mechanisms in acidophilic micro-organisms, Microbiology (2003) 149, 1959.
- [31] D. E. Rawlings, D. B. Johnson, The microbiology of biomining: development and optimization of mineral-oxidizing microbial consortia, Microbiology (2007) 153, 315.
- [32] J. Hollender, U. Dreyer, L. Kornberber, P. Kämpfer, W. Dott, Selective enrichment and characterization of a phosphorus-removing bacterial consortium from activated sludge, App. Microb., Biotechnol. (2002) 58, 106.
- [33] http://wiki.biomine.skelleftea.se/wiki/index.php/Microbially-mediated_mineral_transformations
- [34] A. Schippers, W. Sand, Bacterial leaching of metal sulfides proceeds by two indirect mechanisms via thiosulfate or via polysulfides and sulfur, Appl. Environment. Microbiology (1999), 65, 319.
- [35] A. Olivera-Nappa, C. Picioreanu, J. A. Asenjo, Non-homogeneous biofilm modeling applied to bioleaching processes, Biotechnol. Bioeng. (2010) 106, 660.
- [36] D. Monroe, Looking for Chinks in the Armor of Bacterial Biofilms, PLoS. Biol. (2007) 5, 307.
- [37] W. E. Rozzell, P. C. Trussell, Isolation and properties of an iron-oxidizing Thiobacillus. J. Bacteriol. (1963) 85, 595.
- [38] L. Ahonen, O. H. Tuovinen, Effect of temperature on the microbiological leaching of sulfide ore material in percolators containing chalcopyrite, pentlandite, sphalerite and pyrrhotite as main minerals, Biotechnol. Lett. (1989) 11, 331.
- [39] A. E. Torma, The role of Thiobacillus ferrooxidans in hydrometallurgical processes. Adv. Biochem. Eng. (1977) 6, 1.
- [40] K. Bosecker, Studies on the bacterial leaching of nickel ores, In: Conference Bacterial Leaching (W. Schwartz, ed.) Verlag Chemie, Weinheim, 1977.
- [41] A. E. Torma, G. G. Gabra, R. Guay, M. Silver, Effects of surface active agents on the oxidation of chalcopyrite by thiobacillus ferrooxidans, Hydrometallurgy (1976) 1, 301.

VISSZHANG



Ötvenhét éve Egyesületünk tagja Fazekasné dr. Veres Ágnes, aki apró versével köszöntötte a Magyar Kémikusok Egyesületét. Olvassák szeretettel.

Kémikusok Egyesülete

Valamikor vegyész voltam, kongresszuson előadtam. Írtam szabadalmat, kellett, akkor nem írtam még verset.

De az élet megváltozott, réges-rég nyugdíjas vagyok. A NAV szerint költő lettem, meg is jelent már sok versem.

De a Kémikusok Lapját még mindig megkapom, azért én hálás vagyok igen, igen nagyon.

Ez az én egyesületem, őket még mindig szeretem, velük teljes az életem, és ez nagyon fontos nekem.

Veres Ágnes