

AGROBÁNYÁSZAT ÉS FITOREAKTOR, AVAGY GYÁRTHATÓ-E „MŰTRÁGYA” KÖZETEKBŐL?

KRISTÁLY Ferenc

Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Ásványtani és Földtani Intézet, Miskolc

E-mail: askkf@uni-miskolc.hu

1. Bevezetés

A növények által felvett tápelemek – biológiai szempontból ásványi anyagok – kinyerése, felhasználása nem újkeletű dolog. Talán legismertebb hasznosítási módjuk a hamulúg előállítás és üveggyártási felhasználása (Fóris, 2008), vagy a biomassza hamu hidraulikus kötőanyagba való bekeverése (Coutelas et al., 2009). A növénytermesztésben való alkalmazás is ismert, leginkább komposzt (Vasanthi et al., 2022) és komposztlé formájában.

A növények szelektív elemfelvételét kihasználó alkalmazás több évtizedes kutatási területet jelent, a fitoextrakció és fitoremediáció révén. Bár ezek az eljárások elsősorban kármentesítésben használatosak, a hiperakkumuláló fajok segítségével értékes és ritka elemek is kinyerhetők, ami már a fitobányászat (Dang & Li, 2021) területe.

Az utóbbi években gyakran találkozni az agrobányászat kifejezéssel is (van de Ent et al., 2021), amelyet a makro- és mikrotápelemek biomasszából való kinyerésére alkalmaznak. A legtöbb tápelem, amelyet a növények ásványi formából, vagy ásványok segítségével vesznek fel, szintetikus forrásból, műtrágyákkal van adagolva a terméshozam növeléséhez. A környezetbarát mezőgazdaság visszaállításáért egyre elterjedtebb az ásványi trágyázás (Noh et al., 2015) alkalmazása is, de ilyen esetekben elhúzódó és lassú hatással lehet csak számolni, mivel a talajbaktériumok munkája nélkül nem kerülnek felvehető formába a tápelemek. Másrészt, olyan alapvető nutrienseket, mint a nitrát, lehetetlen ásványi formából bevinni.

Az ásványi trágyázás nagy tisztaságú és koncentrációjú anyagokat tesz szükségessé, amelyek költségesek lehetnek. Ezzel szemben óriási mennyiségben képződnek olyan bányászati meddők, hulladékok vagy melléktermékek, amelyek tartalmazzák a növényi tápelemeket, de nem alkalmasak ásványi trágyázásra. Ezek feldolgozása, kinyerése túl költséges és környezetkárosító a jelen technológiákkal, viszont növények általi kinyerése megoldható. A hagyományos növénytermesztés módszerei nem alkalmasak a célra, de a fitoreaktoros eljárások megoldást jelenthetnek.

Jelen kutatás célja a hazai bányászati meddők, melléktermékek és kisértékű ásványi nyersanyagok fitoreaktor általi agrobányászattal való kinyerése, a felvett elemek raktározási formájának és kinyerhetőségüknek a tanulmányozása.

2. Felhasznált anyagok, kísérletek

A kísérletekhez felhasznált ásványi nyersanyagok a bükkábrányi lignitbánya meddője (sárga és szürke), valamint szobi

andezit 2/4 mm szemcseméretű frakciója. A talajbaktériumok hatását meszes öntési talaj kolloid frakciójának a bevitelével teszteltük. A részletes összetételeket a 4. fejezet tartalmazza. A bükkábrányi anyagok finomszemű agyagos homoknak felelnek meg, jelentős kvarc- és csillámtartalommal. Az andezit melléktermékek esetében a 0/4 frakcióban a milliméter alatti rész dominál, jelentős agyagfrakcióval. A 2/4 frakció szemcséiben a földpátok dominálnak. Minden minta esetében részletes ásványtani (XRD) és kémiai (XRF) elemzés történt.

Napraforgó és tritikálé alkalmazásával talaj nélküli (vattakorongon, talajban, illetve talaj + riolitufa őrlémmel) és az ásványi anyagokba ültetett magokkal végeztünk kísérleteket. Az ásványi anyagokat 5 cm magas, 20 x 25 cm méretű, fedél nélküli dobozokba helyeztük, az alsó 2 cm-en pangóvíz réteget fenntartva. Öntözéshez csak desztillált vizet használtunk, naponta 50 ml/doboz, a talaj nélküli mintákhoz 10 ml mennyiségben.

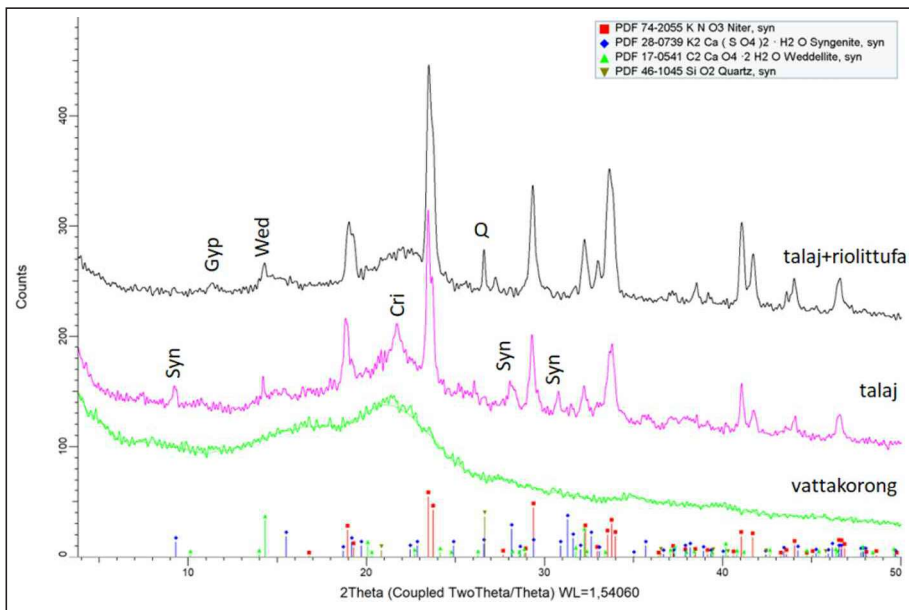
Az ásványi anyag-felvételt három beállításban teszteltük: 1) csak ásványi ágy, 2) kevert ásványi ágy és 3) talajkolloiddal kezelt ásványi ágy. A mintákat 10 nap növesztés után begyűjtöttük és elkezdtük a vizsgálati előkészítést. A rövid növesztési idő célja, hogy a kezdeti szakaszban intenzív ásványi anyagfelvétel hatását teszteljük.

3. Vizsgálati módszerek

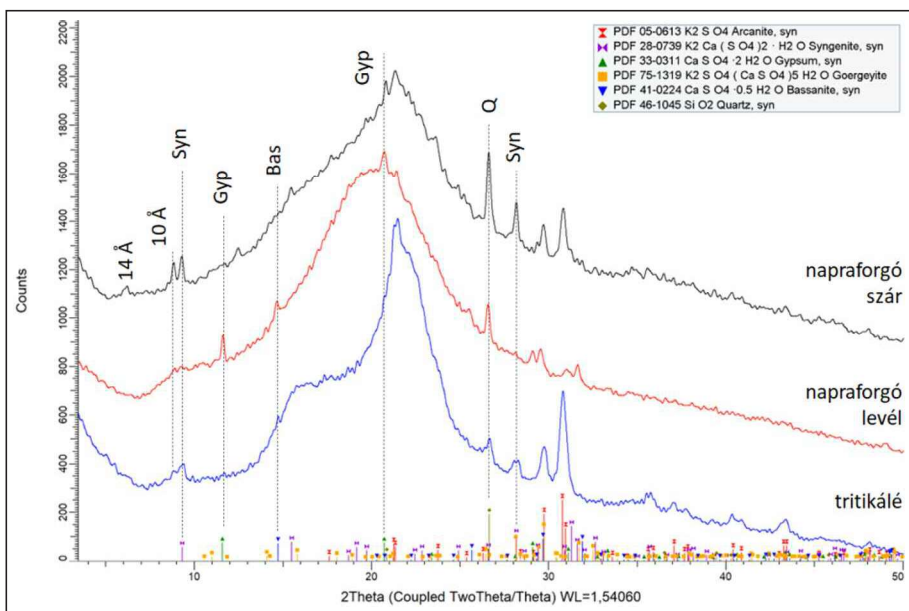
Vizsgálat előtt a növényi mintákat gyökér-szár-levellé részekre választottuk szét, melyek közül a szár- és levélpreparátumokat vizsgáltuk. A magas víz- és szerves illótartalom miatt szárítani kell az anyagot, amelyet 40 °C-on, levegőn végeztünk, a szervesanyag bomlását megelőzendő.

A kristályos fázisok meghatározására röntgen-pordiffrakciót alkalmaztunk, a mintákban jelenlévő ásványokat a Search/Match algoritmus segítségével azonosítottuk. A méréseket Bruker D8 Discover készüléken (CuK-alfa sugárzás, 40 kV és 40 mA), Bragg-Brentano geometriában, LynxEye XE-T helyzetérzékelő detektorral végeztük. A mérések a 2–70° 2θ szögtartományban, 0,007° 2θ lépésközzel, 14,5 sec/lépés rögzítési sebességgel készültek. A mennyiségi ásványtani összetétel meghatározásához, illetve a biomasszában észlelt ásványok pontos azonosításához a TOPAS4 szoftverben Rietveld illesztést végeztünk.

A szövetszerkezet vizsgálatára, illetve mikrokémiai összetétel mérésére pásztázó-elektronmikroszkópiát és energiadiszperzív röntgen-spektrometriát (SEM+EDX) használtunk. A SEM+EDX-vizsgálatok JEOL JXA-8600 Superprobe W-katódos elektronmikroszkóppal, 20 kV gyorsítófeszültséggel, 20 nA mintaárammal és 60 sec gyűjtési idejű EDX-spektrumok



1. ábra: A talaj szerves rendszerének hatása az elemfelvételre és ásványi trágya alkalmazására.



2. ábra: Kristályos anyagok a szárított biomasszában, reprezentatív minták XRD-görbéi, agyagos meddőn.

mérésével történtek, vezető szénréteggel bevont preparátumokon.

4. Eredmények

Az előállított növényi minták ásványi anyag-tartalmának vizsgálatához XRD és SEM+EDX módszereket használtunk, mivel így részletesebben lehet azonosítani, illetve szövettani környezetben kimutatni az ásványi fázisokat. Az eredmények értelmezésébe némi bizonytalanságot visz be, hogy a mintákat vizsgálat előtt szárítani szükséges. Ennek ellenére az ásványi kiválások szöveti helyzete meggyőzően alátámasztja, hogy azok a növekedés során képződtek, még úgy is, ha olyan hidratált formában, amit analitikailag nehéz kimutatni. A napraforgó esetében látványosabb eredmények keletkeztek, így

szemléltető anyagként ezekből mutatunk be reprezentatív példákat.

4.1. A talaj és a baktériumok szerepe

A talaj nélkül csíráztatott növények esetében, bár a növekedés megfelelő volt, ásványi anyag-felvétel kis mennyiségben történt mind egyik növény esetében. Ezt a jelenséget a talajkolloid és a talajbaktériumok, rizómák hiányával lehet indokolni, amelyek tevékenysége nélkül minimális az ásvány-növény kölcsönhatás (1. ábra).

4.2. Kristályos szeretlen fázisok

Az XRD-mérések alapján az észlelt ásványi fázisok és a kőzetek között szoros összefüggés fedezhető fel. A lignitbánya meddőjében – a pirit és lignittörmelék jelenléte miatt – viszonylag jelentős kén-tartalom jellemző, amely főleg a napraforgó számára alapvető mikrotápelem, így a szulfátok jelenléte a domináns (2. ábra).

4.3. Ásványi kiválások, komponensek a szerves mátrixban

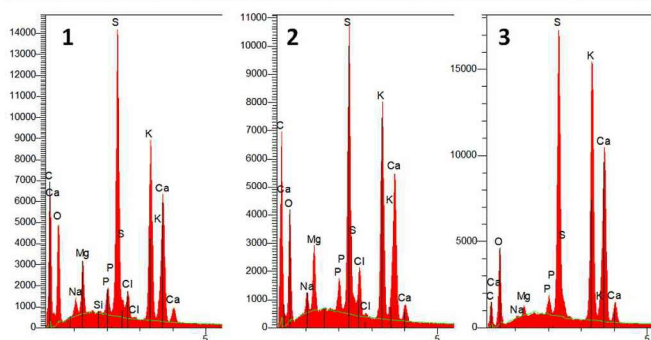
A SEM+EDX elemzésekkel pontosan megtalálhatók az XRD által kimutatott fázisok, a mikrométer alatti rostközi kiválásoktól egészen a tízedmilliméteres aggregátumokig, egyes esetekben hipidiomorf kristályokként is (3. ábra).

A kén mellett, amely szulfátos formában van jelen, általános a Cl és P jelenléte is, amelyeket nem mindig lehet kristályos szeretlen fázishoz kötni. Ritkábban képződik halit és szilvin, de nem általános a jelenlétük.

Az EDX-mérésekben és térképeken általános a Mg, P és Cl megjelenése, változó arányban (4. ábra). A Mg jellemzően 3 és 9 tömegszázalék között változik, inkább a nem mineralizált szövetben. A foszfortartalom tartománya 0,3 és 3 tömegszázalék között változik, egyaránt a nem mineralizált szövetben és az ásványi kiválásokban is. A talajkolloidok kezelt mintákban általánosan magasabb a P-tartalom.

4.4. Biomineralizált elemek kivonása

A száraz biomasszámintákat desztillált vízbe áztatva, 72 óra alatt teljesen kioldható a biomineralizált tartalom (5.



3. ábra: K-Ca-szulfátos mineralizáció, az XRD-eredményekkel összevetve szingentit ± görgeyit, napraforgó szára, agyagos meddőn.

ábra). A demineralizáció után kapott biomassza legfeljebb nyomokban tartalmaz sót és a nanokristályos cellulóz is rendezettebbé válik, ahogy azt a 16° (2θ) és 22° (2θ) körüli púpok erősödése jelzi. A kinyert oldat szárítószekrényben, levegőn, 60°C -on bepárolt szilárdanyag-tartalma visszaadja a szulfátfázisokat, azonban az oldott K-nitrát szilvin formájában kristályosodik ki.

5. Diskusszió

A növényi alapszövetben az EDX-mérések és elemtérképek során tapasztalt jelentős Mg mennyiség elsősorban a klorofilből visszamaradó kation, mivel Mg-tartalmú kristályos fázisokat nem észleltünk az XRD-mérések során.

A kísérleti beállítások változtatásával jól megfigyelhető a növekvő K-felvétel, úgy a talajkolloid hozzáadása, mint a meddő + andezit keverék esetében. A talajbaktériumok

hatása a gamma (hexagonális) K-nitrát képződésében jelenik meg (6. ábra). Ennek a nitrátnak jelenleg nem ismerjük ásványi megfelelőjét.

Továbbá az ásványi keveréken növelt minta esetében nem is sikerül minden kristályos anyagot azonosítani az adatbázisok segítségével sem. A d -értékekkel jelölt csúcsokhoz legközelebb az L-aszparagin-hidrát (nem esszenciális aminosav) áll, ennek jelenlétét, illetve kapcsolatát a fokozódó ásványi anyag-felvételhez az eddigi eredményekkel sem bizonyítani, sem cáfolni nem lehet.

A kimutatható fázisok között a szulfátok dominálnak minden növény és növényi rész esetében, úgy az XRD, mint a SEM+EDX-mérések alapján. A jelenség hátterében a meddő minták S-tartalma áll, összevetve korábbi kísérletekkel, amelyek meszes öntéstalaj és riolittufa nanoörleményével készültek, és jellemzően K-nitrát mineralizáció alakult ki (Kristály et al., 2022).

A többváltozós kísérletek és korábbi eredmények fő megfigyelése, hogy a napraforgó és tritikálé ásványi elemfelvétele befolyásolható a csírázási-növekedési közegként alkalmazott ásványi anyag összetételével.

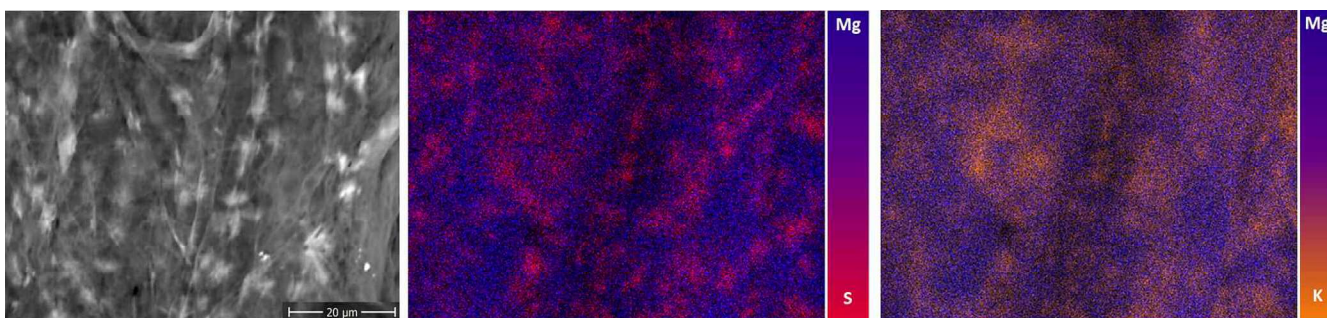
A makrotápelemek mellett jelentős mértékű a Cl és P extrakciója is, amely főleg az utóbbi esetében fontos paraméter, ugyanis, ha oldatos formában kinyerhető, akkor az oldat közvetlenül alkalmazható tápoldatként. A Cl forrása az agyagos meddőben található halit, míg a P az amorf szerves és szilikátos anyagból mobilizálódhat, de a járulékos ásványként jelenlevő apatit is könnyen oldódik a talajkolloiddal kölcsönhatásban.

Az EDX-mérésekben gyakran észlelt Si-tartalom egy része kvarcként van jelen az XRD alapján, a talajból a növény növekedése során bezáródott szemcsék formájában. Azonban olyan helyen is észlelni Si-tartalmat, ahol ásványi kiválások, zárványok nem láthatók, így az részben a szerves anyagba épülve, részben ugyancsak az XRD által jelzett nanokristályos cristobalit formájában van jelen.

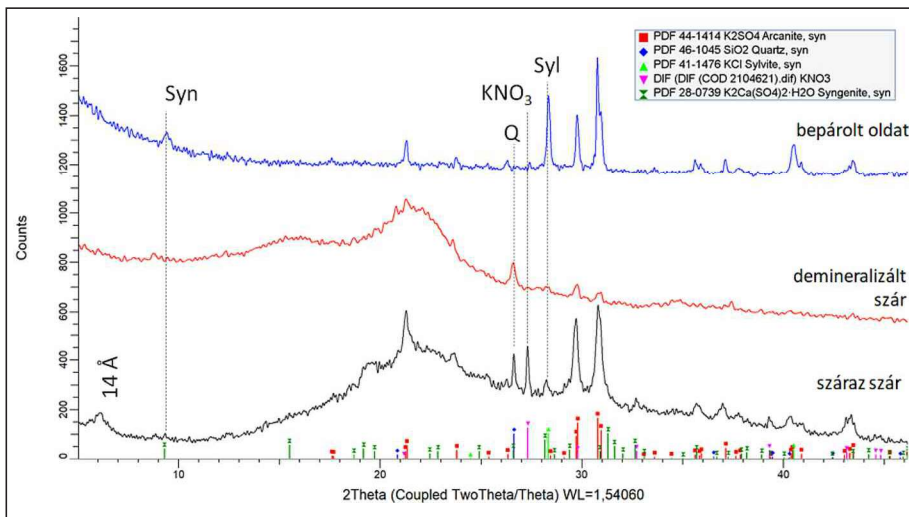
Az észlelt ásványi képződmények teljes mértékben átfednek a szintetikus szervesetlen műtrágyák készítése során keletkező fázisokkal (Jurišová et al., 2014)

6. Következtetések

A kísérleteinkkel kimutattuk, hogy bányászati meddők és melléktermékek alkalmazhatók mesterséges talajként, növényi tápelem kinyerése céljából.



4. ábra: A magnézium, kálium és kén eloszlása a mineralizált biomasszában.



5. ábra: Biomassa demineralizációja, napraforgó agyagos meddőn, talajkolloiddal kezelve.

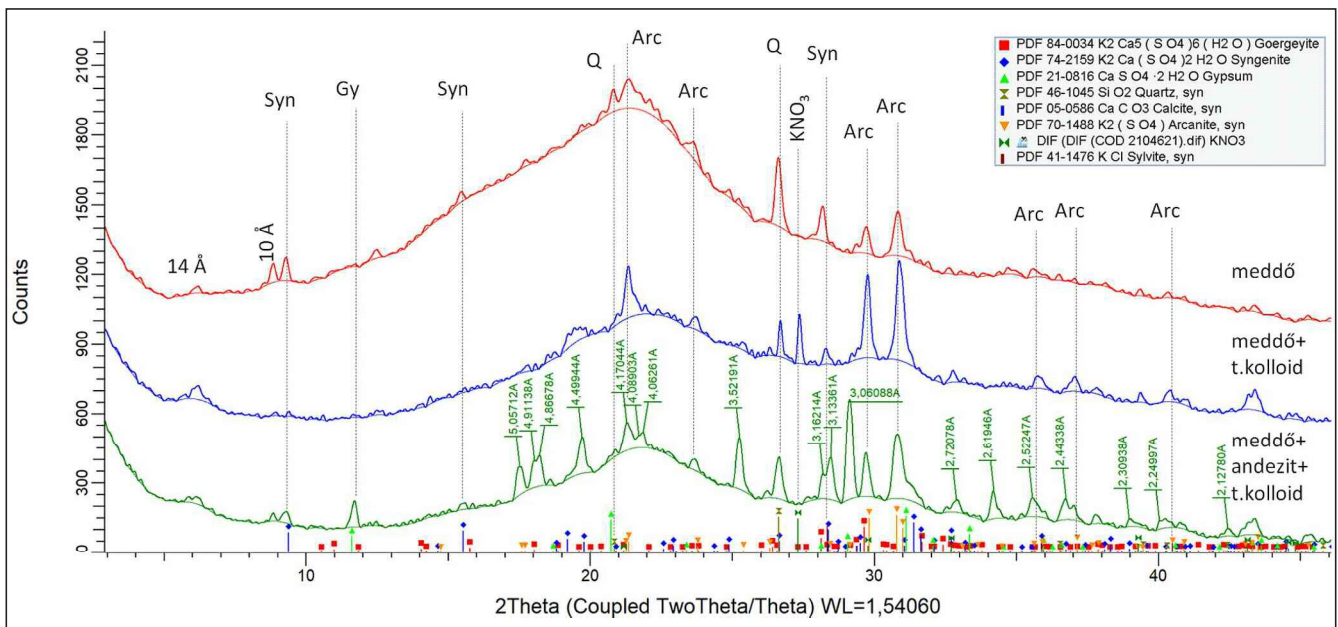
A tápelemfelvétel fokozható különböző beállításokkal, amely az agrobányászat lehetőségét is alátámasztja. A felvett tápelemek vizes oldatban kivonhatók a biomasszából.

Köszönetnyilvánítás

A tanulmány az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-21-5. kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

Irodalom

- Coutelas, A., Büttner, S., Oberlin, C., Palazzo-Bertholon, B., Prigent, D. & Sumera, F. (2009): Le mortier de chaux. Éditions Errance, Paris.
- Dang, P. & Li, C. (2021): International Journal of Environmental Science and Technology, 23, 1–4.
- Fóris I. (2008): A Miskolci Egyetem Közleménye, A sorozat, Bányászat, 74, 113–136.
- Jurišová, J., Danielik, V., Fellner, P., Lencsés, M. & Králik, M. (2014): Acta Chimica Slovaca, 7/1, 20–24.
- Kristály F., Sipeki L., Márkus I. R., Tompa R., Rác Á. & Mucsi G. (2022): Fitoextrakció, mint kálium, nitrát és egyéb alapnutriens trágya forrása? XVIII. Nemzetközi Tudományos Napok, Gyöngyös, in press.
- Noh, Y. D., Komarneni, S. & Park, M. (2015): Korean Journal of Soil Science and Fertilizer, 48/1, 1–7.
- van der Ent, A., Baker, A. J. M., Echevarria, G., Simonnot, M.-O. & Morel, J. L. (Eds.) (2021): Agromining: Farming for metals. Extracting unconventional resources using plants. 2nd Edition. Springer Nature Switzerland.
- Vasanthi, M., Thamaraiselvi, C., Biruntha, M., Paul, J. A., Thirupathi, A., Chang, S. W., Xu, Z., Al-Rashed, S., Munuswamy-Ramanujam, G. & Ravindran, B. (2022): Chemosphere, 288, 132561.



6. ábra: Különböző kísérleti beállítások hatása a biomineralizációra.