

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**^{52}Mn és $^{155,156}\text{Tb}$ radioizotópok ciklotronnal
végzett előállítása és tisztítása, valamint
kukorica palánták fenotipizálása ^{52}Mn
radioizotóppal miniPET kamera és gamma
spektrométer felhasználásával**

Brezovcsik Károly

Témavezető: Dr. Szűcs Zoltán



DEBRECENI EGYETEM
Kémiai Tudományok Doktori Iskola

Debrecen, 2022

Bevezetés és célkitűzés

A radioizotópokat széles körben használják mivel jól detektálhatóak rendkívül kis mennyiségben is, illetve a radioaktív bomlást semmilyen külső tényező nem befolyásolja (pl.: hőmérséklet, nyomás, pH stb.). Ez teszi lehetővé felhasználásukat különböző biológia rendszerekben, mert nem befolyásolják a megfigyelt folyamatokat. A természetben fellelhető radioizotópokon túl mesterségesen is előállíthatóak, ezzel növelve a felhasználható elemek lehetséges számát.

Számos területen használják őket, például sugársterilizáláshoz, átvilágításhoz, talajnedvesség méréshez stb., de talán a legközismertebb az orvosi felhasználásuk. Az orvosi gyakorlatban non-invazív, sebészeti beavatkozást nem igénylő diagnosztikát és terápiát végeznek velük. Diagnosztikára gamma és pozitron, míg terápiára negatív béta, alfa, Auger elektron kibocsátó radioizotópokat használnak. Segítségükkel felderíthetők más eljárással nem detektálható vagy gyógyítható daganatok, kóros elváltozások. Diagnosztikai-terápiás radioizotóp párokat szoktak használni, ebből a szempontból a terbium egy különleges elem, mivel 4 különböző radioizotópja használható diagnosztikára ($^{152,155}\text{Tb}$) és terápiára is ($^{149,161}\text{Tb}$).

Brezovcsik Károly: Doktori (PhD) értekezés tézisei

Mivel a radioizotópok rendkívül kis mennyiségben is jól detektálhatóak, ideálisak növényekben végzett tápanyag felvételi és keringési vizsgálatokra. A növények számára nélkülözhetetlen makró- (szén, nitrogén, oxigén, foszfor) és mikroelemek (bór, cink, vas, réz, nikkel, mangán, molibdén, klór) radioizotópokkal nyomjelezhetőek, vizsgálhatóak akár non-invazív módszerrel is (pl.: pozitron emissziós tomográf, PET kamera). A különböző tápanyagként szükséges elemek felvételének sebességében és felvett mennyiségében bekövetkezett változások alapján egy adott növény különböző fajtái között különbséget tehetünk, kategorizálhatjuk (fenotipizálhatjuk).

Általában a szükséges radioizotópokat mesterségesen állítják elő, például részecskegyorsítókkal. A részecskegyorsítókkal történő radioizotóp előállítás első lépése a besugározni kívánt céltárgy előállítása, ami többféle módszerrel történhet: tabletta préselés, elektrolízis, szedimentáció, párologtatás. A módszer megválasztásánál szempont a kívánt céltárgy vastagsága és az alkalmazott elem tulajdonságai. A céltárgynak kellő mechanikai stabilitással kell rendelkezni, hogy a besugárzás során fellépő körülményeket (magas hőmérséklet) kibírja. A második lépés a kémiai feldolgozás, amely során az előállított radioizotópot kémiai úton elválasztjuk a céltárgy anyagától. A

Brezovcsik Károly: Doktori (PhD) értekezés tézisei

tisztítást követően a termelt radioizotópot felhasználhatjuk önmagában vagy valamilyen molekulához kapcsolva.

A doktori munkám során különböző radioizotópok előállításával, az előállításához szükséges előkészületekkel, majd a termelt radioizotópok tisztításával és felhasználásával foglalkoztam. Két elemre fókuszáltam, a mangánra és a terbiumra. Mind a két elemnek van olyan radioizotópja, ami orvosi felhasználásra alkalmas (^{52}Mn , $^{149,152,155,161}\text{Tb}$), ezért a velük folytatott munka fontos radiológyszerek fejlesztése szempontjából. A terbium radioizotópok esetében célul tűztem ki a hatáskeresztmetszet mérésekhez megfelelő céltárgyak előállítását és terbium(III) elválasztását nagytömegű (150-300 mg) gadolinium(III)-tól a kromatográfiás oszlop méretének minimalizálása mellett.

A mangán(II) mint nélkülözhetetlen mikrotápanyag jelenik meg a növényekben és ezt felhasználva dolgoztam ki egy új módszert a kukorica hibridek kategorizálására, stressztűrő tulajdonságaik tesztelésére, amely segítségével gyorsabban kiválasztható az ellenállóbb típus.

Alkalmazott vizsgálati módszerek

A $\text{Gd}^{3+}/\text{Tb}^{3+}$ és a $\text{Tb}^{3+}/\text{Dy}^{3+}$ elválasztások esetében a 10 ml-es penicillines ampullába gyűjtött frakcióiban és a növény vizsgálatok esetében a feldarabolt növények becsomagolt,

Brezovcsik Károly: Doktori (PhD) értekezés tézisei

pontosan ismert tömegű mintákban a radioizotópok mennyiségét és a szükséges pontokon a minőségellenőrzéseket Canberra típusú HPGe gamma spektrométer felhasználásával végeztem. A spektrumokban a ^{156}Tb 534,32 keV-es, a ^{159}Gd 363,55 keV-es, a ^{159}Dy 58,00 keV-es és a ^{52}Mn 744 keV-es γ -vonalát használtam fel a kiértékeléseknél. A spektrumok kiértékelésére a Nucleus-II szoftvert használtam.

A növény mintákban a radiomangán eloszlását, mozgását az Atommagkutató Intézetben készült MiniPET-3 pozitron emissziós tomográf (PET) követtem, amelynek szoftveres vezérlését is én végeztem. A képeket a BrainMOD programmal értékeltem ki.

Rövidítések

PET - pozitron emissziós tomográf

SPECT - egy foton emissziós komputer tomográf

PEG - polietilén-glikol

α -HIBA - 2-hidroxi-2-metilpropánsav

Új tudományos eredmények

1 Radioterbiumot állítottam elő, amely alkalmas lehet

későbbi orvosi kutatásokra

Az orvosi gyakorlatban radioizotóp diagnosztikai-terápiás párokat szoktak használni a radiógyógyszerekben. Nagy előnyt jelent, ha azonos elem használható mind a kettőre. A terbium egy olyan speciális elem, amelynek a radioizotópjai között megtalálható mind a diagnosztikára, ^{155}Tb (SPECT vizsgálatokhoz), ^{152}Tb (PET vizsgálatokhoz), mind a terápiához, $^{149,161}\text{Tb}$, használható típus. A terbium radioizotópok mesterségesen állíthatóak elő részecskegyorsítóval a $^{149,152,155}\text{Tb}$ esetében, míg neutron besugárzással a ^{161}Tb esetén. A terbium radioizotópokat leggyakrabban gadolínium céltárgyból állítják elő: $^{152}\text{Gd}(p,n)^{152}\text{Tb}$, $^{155}\text{Gd}(p,n)^{155}\text{Tb}$, $^{152}\text{Gd}(p,4n)^{149}\text{Tb}$, $^{160}\text{Gd}(n,\gamma)^{161}\text{Gd} \rightarrow ^{161}\text{Tb}$ magreakciókkal. A munkám során főként a besugárzást követő radioterbium tisztításra fókuszáltam.

1.1 Vékony céltárgyat készítettem gadolíniumból hatáskeresztmetszet mérésekhez

A terbium izotópok kutatásának első lépése a ciklotronnal történő termelés optimalizálása. Ehhez szükséges hatáskeresztmetszet mérésekhez vékony, néhány μm vastag céltárgyakat kell előállítani. Ahhoz, hogy a hatáskeresztmetszet méréseknél minél kevesebb zavaró izotóp legyen a besugárzott

Brezovcsik Károly: Doktori (PhD) értekezés tézisei

mintában, a gadolíniumot Al hátlapra elektrolizáltam. Kidolgoztam egy olyan módszert, amellyel 2,5 μm vastag, mechanikailag kellően stabil gadolínium céltárgyat sikerült készítenem. A céltárgyak kibírták a próbabesugárzásokat 15 MeV-es proton nyalábbal. Az általam előállított céltárgyakkal hatáskeresztmetszet mérések is történtek.

1.2 Kidolgoztam egy olyan elválasztási módszert, amellyel nagy-tömegű (303 mg) gadolínium(III)-tól is meg tudtam tisztítani a keletkezett radioterbium(III)-at az alkalmazott oszlop méretének minimalizálása mellett

A kémiai kísérletek során 175-350 mg Gd_2O_3 -ból készült préselt tablettákat használtam a besugárzáshoz. Kidolgoztam egy új módszert a besugárzás során keletkezett radioaktív terbium(III) elválasztására 151,5-303 mg gadolínium(III)-tól, 250x4,6 mm (analitikai) és 115x15 mm méretű oszlopokon, AG50W-X8 kation cserélő gyantával. Eluensként az irodalomból jól ismert α -HIBA-t használtam különböző koncentrációban, 0,2 mol/dm³ a Tb^{3+} és 0,5 mol/dm³ a Gd^{3+} eluálásához. Az elválasztás hatékonysága 85% volt a kisebb, illetve 93% a nagyobb oszlop esetében radioanalitikai módszerekkel mérve. A folyamat végén mind a terbium, mind a gadolínium tartalmú frakciók azonos kation cserélő gyantán

tisztíthatóak meg az α -HIBA-tól, a végtermék terbium(III)-klorid formában lesz.

A módszerrel gyorsan tisztítható a keletkezett radioterbium, illetve a kiindulási anyag, a gadolínium is gadolínium(III)-klorid formában visszanyerhető. Dúsított kiindulási anyag használata esetén a felhasznált anyag visszanyerése is fontos.

1.3 Kidolgoztam egy olyan elválasztási módszert, amellyel egyszerre meg tudtam tisztítani a keletkezett radioterbium(III)-at a radiodiszprózium(III)-tól és a radiogadolínium(III)-tól egyszerre

Neutronokkal történő ^{161}Tb előállítás során gadolíniumból diszprózium is keletkezik. A keletkezett radioterbiumot mind a két szennyezőtől meg kell tisztítani. A módszeremmel 151,5 mg gadolínium(III)-tól és nyomnyi mennyiségű radiodiszprózium(III)-tól egy lépésben választottam el a radioterbium(III)-at 115x15 mm-es kationcserélő, AG50W-X8 gyantátöltetű oszlopon. A teljes radioterbium mennyiség 98 %-át sikerült szennyező mentesen megkapnom.

A módszer másik lehetséges felhasználása ^{155}Tb előállítása ^{155}Dy radioizotópon keresztül, ^{159}Tb -ból. Az elválasztás során elsőre a keletkezett diszprózium 34%-át sikerült szennyező mentesen megkapni, aminek a mennyisége egy második tisztítási lépéssel növelhető.

2 Módszert dolgoztam ki kukorica palánták fenotipizálására ^{52}Mn , pozitron sugárzó radioizotóp felhasználásával

A kukorica számára esszenciális mikroelemek közül az egyik a mangán. A kísérletek során a mangán-52 pozitron sugárzó radioizotópot használtam, amely lehetőséget adott miniPET kamera és gamma spektrométer alkalmazására. MiniPET kamera segítségével non-invazív módon tudtam megfigyelni a kukorica mangán(II) felvételét. Ezeket a méréseket egészítettem ki gamma spektrométeres mérésekkel, ami már invazív eljárás, viszont sokkal kisebb mennyiségben képes detektálni a radioizotópot, mint a miniPET kamera. A folyamathoz szükséges kísérleti paraméterek kidolgozása után két különböző kukorica hibridet, a 'P9903' (1-es típus) és az 'Armagnac' (2-es típus) fajtákat teszteltem.

2.1 ^{52}Mn tisztítására $\text{Cr}^{3+}/\text{Mn}^{2+}$ elválasztást optimalizáltam a saját rendszeremre

A mangán-52 radioizotópot fém krómból állítottam elő $^{52}\text{Cr}(p,n)^{52}\text{Mn}$ magreakcióval. A sósavas feloldást követően a $\text{Cr}^{3+}/\text{Mn}^{2+}$ rendszert AG 1-X8 anioncserélő gyantán választottam el tömény sósav eluenssel. Optimalizáltam a tisztítást, amely során egy 115x15 mm-es méretű oszlopon egy

Brezovcsik Károly: Doktori (PhD) értekezés tézisei

elválasztást követően sikerült a mangán radioizotópot tisztán megkapni. A módszer alkalmas 400 mg besugárzott króm céltárgy feldolgozására.

2.2 Kukorica palánták mangán(II) felvételét vizsgáltam miniPET kamera és gamma spektrométer használatával

Célom a kukorica palántákban a mangán(II) útjának a feltérképezése és megjelenítése volt. Ehhez a MiniPET kamerával kompatibilis növényekre volt szükségem, ezért fiatal, 3 leveles korban vizsgáltam őket. A módszer ellenőrzését gamma spektrometriás mérésekkel végeztem. Sikerült megfigyelni különböző fajták mangán(II) felvételének dinamikáját. A kísérletek során a két különböző hibrid szára jelent meg a PET képeken. Ezek alapján az 1-es típus gyorsabban juttatta el a mangán(II) radioizotópot a szárba. 3,5 óra elteltével a teljes szár látható, míg a 2-es típus esetében ez csak 6 óra után történik meg. A 12 órás végpontnál az 1-es típusról készült képeken látható, hogy nagyobb mennyiségű aktivitást halmozott fel mint a 2-es.

Gamma spektrométerrel képes voltam megmérni a levelekben felhalmozott mangán(II) aktivitást is. Ebben az esetben is jól látható eltérés van a két hibrid között a mangán(II) eloszlásában a levelekben. Az 1-es típus esetében minden levélben

megjelenik a mangán(II) és gyorsabban jut el a levelekhez mint a 2-es típus esetében, ami mint egy 4 órás lemaradást mutat az egyeshez képest.

A módszerem képes különbségeket tenni mind miniPET kamerával, mind gamma spektrométerrel a kukorica palánták között, így az eredmények alapján a kukorica palántákon fenotipizálás végezhető.

2.3 Szárazság stressz hatására a mangán(II) felvételben bekövetkezett változást figyeltem meg különböző kukorica hibrideken keresztül miniPET kamera és gamma spektrométer használatával

A különböző kukorica hibridek mangán(II) felvétele között már ideális körülménynek között is sikerült különbséget kimutatni a PET képek és a gamma spektrométeres mérések segítségével. Ahhoz, hogy a két növény közül a szárazságnak jobban ellenállót kiválasszam, újabb kísérleteket végeztem a kukorica palántákkal, ahol PEG alkalmazásával szimuláltam a szárazságot. A tápoldatban különböző koncentrációban használtam a PEG-et az enyhétől az erőlyes szárazságig: 5-10-20 %(m/m). Minden PEG koncentrációjában az 1-es típusú hibrid jobban teljesít, mint a 2-es típus. A magas, 20 % PEG tartalom esetén kis mértékű mangán(II) felvétel figyelhető meg az 1-es típusnál a levelekben is, míg a 2-es típusnál már a 10 %-

os PEG tartalom mellett 6 óránál egyáltalán nem mutatható ki és 10 óránál sincs jól mérhető radiomangán(II) a levelekben. Ezek a különbségek megmutatkoztak a PET képeken és a gamma-spektrometriás eredményekben is. Az eljárás alkalmas arra, hogy gyorsan és költséghatékonyan szelektáljunk az esetleges fajták között a szárazságtűrő képességük alapján.

2.4 Környezeti körülmények (hőmérséklet, fényintenzitás) változásának hatását figyeltem meg a kukorica palánták mangán(II) felvételére gamma spektrométerrel

A környezeti körülmények (mint a hőmérséklet és a fény) változásának is hatása van a kukorica palánták mangán(II)-felvételére. A korábban és a nevelés során alkalmazott 25 °C-os hőmérséklettől alacsonyabb, 17 °C-on tesztelt egyedeknél alacsonyabb mangán(II) tartalom észlelhető, míg a magasabb hőmérsékleten, 35 °C-on vizsgáltaknál 6 óránál kismértékű többlet mutatkozik a radiomangán(II) felvételben a levelekben, mint a korábban 25 °C-on vizsgált palántáknál. 10 óránál a 17 °C-on és a 35 °C-on vizsgált palánták leveleiben hasonló mennyiségű radiomangán(II) mutatható ki. Ezek alapján a hosszantartó emelt hőmérséklet sem ideális.

Éjszakai szakaszban a mangán(II) felvétel lassabb, mint nappal és a méréseim alapján a legöregebb levélhez jutott el a legtöbb

Brezovcsik Károly: Doktori (PhD) értekezés tézisei

mangán(II) a levelek közül. Közeledve a nappali szakaszhoz a felvett mangán(II) hasonlóan kezd eloszlani mint a nappal vizsgált egyedekben. 2 óra fény hatására a mangán(II) eloszlása és mennyisége hasonló mint a végig megvilágítva vizsgált példányoknál a 6 órás időpontban.

A csökkentett fény hatása nem olyan nagy mértékű mint a hőmérséklet változásnál vagy az éjszaki szakaszban mért, azonban itt is eltérés látható a mangán(II) eloszlásában eltérés a levelekben a teljes fényen vizsgáltakhoz képest.

Ezek alapján a módszerem alkalmas a környezeti változások hatására bekövetkező mangán(II) felvétel megfigyelésére és ezek alapján a kukorica palánták kategorizálására újabb paraméterek szerint.

Köszönetnyilvánítás

Hálával tartozom témavezetőmnek, Dr. Szűcs Zoltánnak a munkám során nyújtott segítségéért, irányításáért és tanácsaiért, amelyek rendkívül hasznosak voltak a tématerület mélyebb megismerésében.

Köszönettel tartozom Dr. Kovács Zoltánnak és Dr. Szelecsényi Ferencnek a terbium radioizotópokkal végzett munkám során kapott támogatásokért, tanácsokért és segítségéért.

Szeretném megköszönni az Atommagkutató Intézet Ciklotron Laboratórium munkatársainak, Dr. Fenyvesi Andrásnak, Dr.

Brezovcsik Károly: Doktori (PhD) értekezés tézisei

Sarkadi-Pribóczki Évának, Dr. Ditrói Ferencnek, Dr. Takács Sándornak, Dr. Bíró Barnának, Murvai Gergőnek, Tóth Norbertnek és Szenczi Gábornak a támogatásukat, segítségüket. Köszönettel tartozom az Atommagkutató Intézetben dolgozó ciklotron operátoroknak a radioizotóp termelésben nyújtott közreműködésükért.

Hálával tartozom a Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Növénytudományi Intézet, Alkalmazott Növénybiológiai nem önálló Tanszékén dolgozó Dr. Veres Szilviának és Csákyiné Faragó Erzsébetnek a kukorica palántákkal kapcsolatos tanácsokért és segítségükért.

Szeretnék köszönetet mondani Dr. Molnár Józsefnek, Dr. Király Beátának, Varga Máténak és Nagy Álmos Tasnak a miniPET kamerával kapcsolatos segítségükért.

Köszönet a K108669 OTKA pályázatnak a támogatásért.

Ezt a munkát az Európai Regionális Fejlesztési Alap és Magyarország költségvetése támogatta a GINOP-2.2.1-15-2016-00012 projekt keretében.

Szeretnék köszönetet mondani a családomnak, barátaimnak a munkám során nyújtott támogatásukért és biztatásukért.

Tudományos közlemények

Az értekezés alapjául szolgáló közlemények

Brezovcsik Károly: Doktori (PhD) értekezés tézisei

1. Z. Kovács, F. Szelecsényi, and K. Brezovcsik, “Preparation of thin gadolinium samples via electrodeposition for excitation function studies,” J. Radioanal. Nucl. Chem., vol. 307, no. 3, pp. 1861–1864, Mar. **2016**, doi: 10.1007/s10967-015-4399-4.
2. K. Brezovcsik, Z. Kovács, and F. Szelecsényi, “Separation of radioactive terbium from massive Gd targets for medical use,” J. Radioanal. Nucl. Chem., vol. 316, no. 2, pp. 775–780, May **2018**, doi: 10.1007/s10967-018-5718-3.
3. K. Brezovcsik, S. Veres, J. Molnár, A. Fenyvesi, and Z. Szűcs, “Comparison of manganese uptake and transport of maize seedlings by mini-PET camera,” Appl. Radiat. Isot., vol. 160, no. February, p. 109127, Jun. **2020**, doi: 10.1016/j.apradiso.2020.109127.

Egyéb közlemények

1. E. Sarkadi-Priboczki, M. Varga, I. Valastyán, K. Brezovcsik, A. Fenyvesi, and J. Molnár, “Compound-Specific Imaging of Methanol Fuel Cell for Performance and Degradation Studies Using a Mini Positron Emission Tomograph,” Chemistry–Methods, vol. 1, no. 7, pp. 315–322, **2021**, doi: 10.1002/cmtd.202000054.
2. S. Takács, F. Ditrói, Z. Szűcs, K. Brezovcsik, H. Haba, Y. Komori, M. Aikawa, M. Saito, T. Murata, M. Sakaguchi, N.

- Ukon, “Cross section measurement of alpha-particle-induced reactions on natSb,” Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms, vol. 505, pp. 24–33, **2021**, doi: 10.1016/j.nimb.2021.08.008.
3. F. Tárkányi, S. Takács, F. Ditrói, Z. Szűcs, K. Brezovcsik, A. Hermanne, A. V. Ignatyuk, “Activation cross sections of gamma-emitters produced in deuteron induced reactions on 209 Bi up to 50 MeV,” Eur. Phys. J. A, vol. 57, no. 7, **2021**, doi: 10.1140/epja/s10050-021-00548-y.
 4. F. Tárkányi, S. Takács, F. Ditrói, Z. Szűcs, K. Brezovcsik, A. Hermanne, A. V. Ignatyuk, “Investigation of cross sections of deuteron induced nuclear reactions on selenium up to 50 MeV,” Eur. Phys. J. A, vol. 57, no. 4, **2021**, doi: 10.1140/epja/s10050-021-00423-w.
 5. F. Szelecsényi, A. Fenyvesi, G. F. Steyn, K. Brezovcsik, Z. Kovács, and B. Biró, “Production possibility of 161Tb utilizing secondary neutrons generated by protons from a low-energy cyclotron onto an isotope production target,” J. Radioanal. Nucl. Chem., vol. 318, no. 1, pp. 491–496, **2018**, doi: 10.1007/s10967-018-6116-6.
 6. F. Tárkányi, A. Hermanne, F. Ditrói, S. Takács, Z. Szűcs, and K. Brezovcsik, “Study of activation cross sections of deuteron induced reactions on barium. Production of 131Cs, 133Ba,” Nucl. Instruments Methods Phys. Res.

Brezovcsik Károly: Doktori (PhD) értekezés tézisei

- Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms, vol. 414, no. October **2017**, pp. 18–28, 2018, doi: 10.1016/j.nimb.2017.09.022.
7. F. Tárkányi, A. Hermanne, F. Ditrói, S. Takács, Z. Szücs, and K. Brezovcsik, “Investigation of activation cross sections for deuteron induced reactions on strontium up to 50 MeV,” Appl. Radiat. Isot., vol. 127, no. May, pp. 16–25, **2017**, doi: 10.1016/j.apradiso.2017.04.031.
8. E. Sarkadi-Priboczki, I. Valastyan, K. Brezovcsik, D. Nagy, G. Opposits, I. Lajtos, M. Emri, L. Balkay, J. Molnar, “Three-Dimensional Imaging of High Performance Liquid Chromatography Processes Using a Mini Positron Emission Tomograph,” ChemistrySelect, vol. 2, no. 30, pp. 9797–9802, Oct. **2017**, doi: 10.1002/slct.201701242.
9. A. Hermanne, F. Tárkányi, S. Takács, F. Ditrói, Z. Szücs, and K. Brezovcsik, “Experimental cross-sections for proton induced nuclear reactions on mercury up to 65 MeV,” Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms, vol. 378, pp. 12–24, **2016**, doi: 10.1016/j.nimb.2016.04.016.

Konferencia részvétel, poszter

A PhD értekezéstémájához kapcsolódó előadások

Brezovcsik Károly: Doktori (PhD) értekezés tézisei

1. Brezovcsik Károly, Pribóczki Éva, Fenyvesi András, Varga Máté, Molnár József, Veres Szilvia, Szűcs Zoltán: Kukoricapalánták mangánfelvételének nyomon követése ^{52}Mn radioizotóppal, Őszi Radiokémia Napok, Balatonszárszó, 2018
2. Brezovcsik Károly, Szűcs Zoltán, Pribóczki Éva, Fenyvesi András, Varga Máté, Német Brigitta: PET felvételek készítése növényekről mini pozitron emissziós tomográfiával, Őszi Radiokémia Napok, Balatonszárszó, 2017
3. Károly Brezovcsik, Zoltán Kovács, Ferenc Szelecsényi: Production of radioactive terbium isotopes for medical use, 5th International Nuclear Chemistry Congress, Sweden, 2017
4. Brezovcsik Károly, Szelecsényi Ferenc, Kovács Zoltán: Radioaktív terbium izotópok előállítása orvosi felhasználásra, Őszi Radiokémia Napok, Balatonszárszó, 2016

Egyéb előadás, poszter

1. Károly Brezovcsik, Balázs Váradi, Gyula Tircso, Zoltán Szűcs: Examination of bifunctional chelates for efficient

Brezovcsik Károly: Doktori (PhD) értekezés tézisei

labeling of affibodies with ^{52}Mn , International Symposium on Radiopharmaceutical Sciences (iSRS), Nantes, France, 2022

2. Brezovcsik Károly, Szűcs Zoltán: ^{55}Co kinyerése ^{64}Cu mellől, Őszi Radiokémia Napok, Balatonszárszó, 2015

Brezovcsik Károly: Doktori (PhD) értekezés tézisei



**DEBRECENI
EGYETEM**

**DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR**
H-4002 Debrecen, Egyetem tér 1, Pf.: 400
Tel.: 52/410-443, e-mail: publikaciok@lib.unideb.hu

Nyilvántartási szám: DEENK/387/2022.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Brezovcsik Károly
Doktori Iskola: Kémiai Tudományok Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10053958

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

(idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (3))

1. **Brezovcsik, K.**, Veres, S., Molnár, J., Fenyvesi, A., Szűcs, Z.: Comparison of manganese uptake and transport of maize seedlings by mini-PET camera.
Appl. Radiat. Isot. 160, 1-6, 2020. ISSN: 0969-8043.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apradiso.2020.109127>
IF: 1.513
2. **Brezovcsik, K.**, Kovács, Z., Szelecsényi, F.: Separation of radioactive terbium from massive Gd targets for medical use.
J. Radioanal. Nucl. Chem. 316 (2), 775-780, 2018. ISSN: 0236-5731.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10967-018-5718-3>
IF: 1.186
3. Kovács, Z., Szelecsényi, F., **Brezovcsik, K.**: Preparation of thin gadolinium samples via electrodeposition for excitation function studies.
J. Radioanal. Nucl. Chem. 307 (3), 1861-1864, 2016. ISSN: 0236-5731.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10967-015-4399-4>
IF: 1.282



Brezovcsik Károly: Doktori (PhD) értekezés tézisei



**DEBRECENI
EGYETEM**

**DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR**

H-4002 Debrecen, Egyetem tér 1, Pf.: 400
Tel.: 52/410-443, e-mail: publikaciok@lib.unideb.hu

További közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (9)

4. Tárkányi, F., Takács, S., Ditrói, F., Szűcs, Z., **Brezovcsik, K.**, Hermanne, A., Ignatyuk, A. V.:
Activation cross sections of gamma-emitters produced in deuteron induced reactions on 209Bi up to 50 MeV.
Eur. Phys. J. A. 57 (7), 233, 2021. ISSN: 1434-6001.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1140/epja/s10050-021-00548-y>
IF: 3.131
5. Pribóczki, É., Varga, M., Valastyán, I., **Brezovcsik, K.**, Fenyvesi, A., Molnár, J.: Compound-Specific Imaging of Methanol Fuel Cell for Performance and Degradation Studies Using a Mini Positron Emission Tomograph.
Chem. Methods. 1 (7), 315-322, 2021. ISSN: 2628-9725.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/cmt.202000054>
6. Takács, S., Ditrói, F., Szűcs, Z., **Brezovcsik, K.**, Haba, H., Komori, Y., Aikawa, M., Saito, M., Murata, T., Sakaguchi, M., Ukon, N.: Cross section measurement of alpha-particle-induced reactions on natSb.
Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms. 505, 24-33, 2021. ISSN: 0168-583X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2021.08.008>
IF: 1.279
7. Tárkányi, F., Takács, S., Ditrói, F., Szűcs, Z., **Brezovcsik, K.**, Hermanne, A., Ignatyuk, A. V.:
Investigation of cross sections of deuteron induced nuclear reactions on selenium up to 50 MeV.
Eur. Phys. J. A. 57 (4), 117, 2021. ISSN: 1434-6001.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1140/epja/s10050-021-00423-w>
IF: 3.131
8. Szelecsényi, F., Fenyvesi, A., Steyn, G. F., **Brezovcsik, K.**, Kovács, Z., Bíró, B.: Production possibility of ¹⁶¹Tb utilizing secondary neutrons generated by protons from a low-energy cyclotron onto an isotope production target.
J. Radioanal. Nucl. Chem. 318 (1), 491-496, 2018. ISSN: 0236-5731.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10967-018-6116-6>
IF: 1.186
9. Tárkányi, F., Hermanne, A., Ditrói, F., Takács, S., Szűcs, Z., **Brezovcsik, K.**: Study of activation cross sections of deuteron induced reactions on barium. Production of ¹³¹Cs, ¹³³Ba.
Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms. 414, 18-28, 2018. ISSN: 0168-583X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2017.09.022>
IF: 1.21



Brezovcsik Károly: Doktori (PhD) értekezés tézisei



**DEBRECENI
EGYETEM**

**DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR**

H-4002 Debrecen, Egyetem tér 1, Pf.: 400
Tel.: 52/410-443, e-mail: publikacio@lib.unideb.hu

10. Tárkányi, F., Hermanne, A., Ditrói, F., Takács, S., Szűcs, Z., **Brezovcsik, K.**: Investigation of activation cross sections for deuteron induced reactions on strontium up to 50 MeV.
Appl. Radiat. Isot. 127, 16-25, 2017. ISSN: 0969-8043.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apradiso.2017.04.031>
IF: 1.123
11. Pribóczki, É., Valastyán, I., **Brezovcsik, K.**, Nagy, D., Opposits, G., Lajtos, I., Emri, M., Balkay, L., Molnár, J.: Three-Dimensional Imaging of High Performance Liquid Chromatography Processes Using a Mini Positron Emission Tomograph.
ChemistrySelect. 2 (30), 9797-9802, 2017. ISSN: 2365-6549.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/slct.201701242>
IF: 1.505
12. Hermanne, A., Tárkányi, F., Takács, S., Ditrói, F., Szűcs, Z., **Brezovcsik, K.**: Experimental cross-sections for proton induced nuclear reactions on mercury up to 65 MeV.
Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms. 378, 12-24, 2016.
ISSN: 0168-583X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2016.04.016>
IF: 1.109

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 17,655

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre):
3,981**

A DEENK a Jelölt által az IDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2022.08.15.

