
ŐSZI RADIOKÉMIAI NAPOK 2024

Balatonszárszó, 2024. október 14 - 16.

**A konferencia
programja és előadás-kivonatai**

Őszi Radiokémiai Napok 2024

Balatonszárszó, 2024. október 14 - 16.

A konferencia szervezői:



az MTA Radiokémiai Tudományos Bizottsága és munkabizottságai
(URL: https://mta.hu/vii-osztaly/tudomanyos-bizottsagok-105559#radiokemiai_tudomanyos_bizottsag)

és



a Magyar Kémikusok Egyesülete Radioanalitikai Szakcsoportja
(URL: <http://www.mke.org.hu>)

A kiadványt szerkesztette és tördelte:

Jószai István

ISBN 978-615-6018-26-7

TARTALOMJEGYZÉK

	Oldal
Regisztráció, szállás, étkezés és közlekedés	4
A konferencia programja	7
A konferencia előadás kivonatai – hétfő	13
„Vértes Attila Ifjúsági Nívódíj” – pályázatok	23
A konferencia előadás kivonatai – kedd	51
A konferencia előadás kivonatai – szerda	64
Résztevők listája	78

Regisztráció

SDG Családi Hotel és Konferencia Központ
(8624 Balatonszárszó, Csárda utca 39-41.)

2024. október 14., hétfő, 11:30 –

Szállás és étkezés

SDG Családi Hotel és Konferencia Központ
(8624 Balatonszárszó, Csárda utca 39-41.)

2024. október 14., hétfő

Ebéd: 12:30 – 13:30

Vacsora: 18:30 – 19:30

2024. október 15., kedd

Reggeli: 08:00 – 09:00

Ebéd: 12:30 – 13:30

Bankett: 19:00 – 22:00

2024. október 16., szerda

Reggeli: 08:00 – 09:00

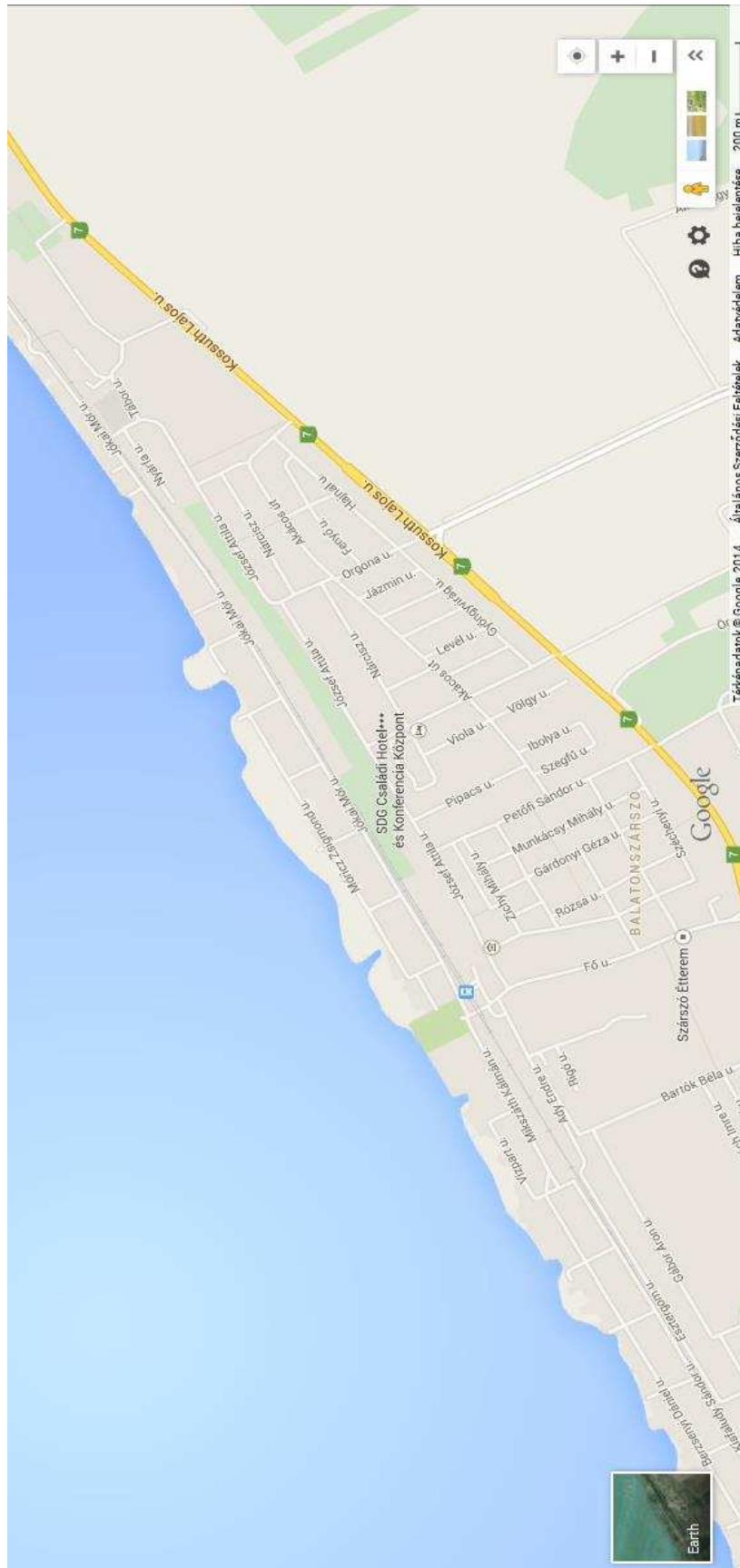
Ebéd: 12:30 – 13:30

Közlekedés

vonattal: <http://elvira.mavinformatika.hu>

személygépkocsival: az M7-es úton, balatonszárszói kijáratnál kell lehajtani

Térkép



A rendezvény támogatói:



A rendezvény kiállítói és hirdetői:



Táblák | Feliratok
Reklámtechnika

 tabla.hu



NORM Hungary

A konferencia

PROGRAMJA

OKTÓBER 14. HÉTFŐ

11:30 **Regisztráció**

12:30 **13:30** **Ebéd**

14:00 **14:10** Az Őszi Radiokémiai Napok 2024 megnyitója:
Nagy Noémi (MTA RKTB),

I. szekció Elnök: Nagy Noémi

14:10 **14:30** Wojnárovits László: TÉTÉNYI PÁL (1929. OKTÓBER 3. - 2024. SZEPTEMBER 8.) AKADÉMIKUS EMBERI ARCA

14:30 **14:50** Kónya József, M. Nagy Noémi: IMRE LAJOS – ÖTVEN ÉV TÁVLATÁBÓL

14:50 **15:10** Környei József: MESTERSÉGES RADIOAKTÍV IZOTÓPOK MAGYARORSZÁGON – 70 ÉVE ÉRKEZETT HAZÁNKBA AZ ELSŐ IZOTÓPKÉSZÍTMÉNY

15:10 **15:40** **Kávészünet**

II. szekció Elnök: Schiller Róbert

15:40 **16:00** Kasztovszky Zsolt, Szilágyi Veronika, Kereskényi Erika, Péterdi Bálint, Sági Tamás, Fúrholt Kata, T. Biró Katalin, Szakmány György: CSISZOLT KŐESZKÖZÖK NYERSANYAGÁNAK AZONOSÍTÁSA ÉS EREDETÜK MEGHATÁROZÁSA PROMPT-GAMMA AKTIVÁCIÓS ANALÍZIS SEGÍTSÉGÉVEL

16:00 **16:20** Papp István, Osváth Szabolcs, Vajda Nóra: NEHEZEN MÉRHETŐ RADIONUKLIDOK MEGHATÁROZÁSA LESZERELÉSI MINTÁBÓL

16:20 **16:40** Maria Gracheva, Katalin Gméling, Noémi Buczkó, Zoltán Klencsár, Krisztina Kovács, Katarina Vogel-Mikuš, Mitja Kelemen, Primož Pelikon, Valentina Bonanni, Milan Žižić, Alessandra Gianoncelli, Anja Krieger-Liszkay, Sébastien Thomine, Ádám Solti: ADVANCES IN UNDERSTANDING IRON AND MANGANESE HOMEOSTASIS IN PHOTOSYNTHETIC TISSUES

17:00	18:00	AZ MTA RADIOKÉMIAI TUDOMÁNYOS BIZOTTSÁG NYÍLT ÜLÉSE
-------	-------	---

18:30	19:30	Vacsora
-------	-------	---------

OKTÓBER 15. KEDD

8:00	9:00	Reggeli
------	------	---------

9:30	9:40	A Vértes Attila Ifjúsági Nívódíjért folyó verseny megnyitása: Homonnay Zoltán, Kovács Krisztina (Vértes Attila Alapítvány)
------	------	---

III. szekció Elnök: Kuzmann Ernő

Megjegyzés: Vértes Attila Ifjúsági Nívódíjért versenyzők

9:40	10:00	<u>Aicha Nour Laouameria</u> , Mátyás Hunyadi, Attila Csík, Zoltán Szűcs: INNOVATIVE APPROACH TO PRODUCING PALLADIUM-103 FOR AUGER-EMITTING RADIONUCLIDE THERAPY: A PROOF-OF-CONCEPT STUDY
------	-------	--

10:00	10:20	<u>Balla Viktória</u> , Németh Enikő, Kertész István, Szatmári István, Képes Zita, Trencsényi György, Péli-Szabó Judit, Forgács Viktória, Jószai István: AZ SZR72 KINURÉNSAV-ANALÓG 11C IZOTÓPPAL TÖRTÉNŐ JELZÉSE ÉS PREKLINIKAI VIZSGÁLATA
-------	-------	---

10:20	10:40	<u>Vörös Zoltán János</u> , Kónya József, M. Nagy Noémi: FOSZFÁTIONOK SZORPCIÓJÁNAK KINETIKAI ÉS TERMODINAMIKAI VIZSGÁLATA RÉTI TALAJON HETEROGÉN IZOTÓPCSERÉVEL
-------	-------	--

10:40	11:00	<u>Fodor Mátyás</u> , Brezovcsik Károly, Váradi Balázs, Tirsó Gyula, Szűcs Zoltán: PIKLÉN ALAPVÁZAS KELÁTOR MOLEKULÁK JELÖLÉSE RADIOTERBIUM IZOTÓPOKKAL, A pH ÉS HŐMÉRSÉKLET HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA
-------	-------	---

11:00	11:10	Szavazás
-------	-------	----------

11:10	11:30	Kávészünet
-------	-------	------------

IV. szekció

Elnök: Környei József

- 11:30** **11:50** Machula Gábor, Déri Zsolt, Hum Gábor: ZÁRT SUGÁRFORRÁSOK ÉS NYITOTT RADIOAKTÍV KÉSZÍTMÉNYEK OAH ELLENŐRZÉSE 2.
- 11:50** **12:10** Kovácsné Bogdán Csilla, Kovácsné Huszár Noémi, Déri Zsolt: SUGÁRVESZÉLYES MUNKAHELYEK ENGEDÉLYEZTETÉSE – ENGEDÉLYEZÉSE (AVAGY, A „HATÓSÁG” ÚTVESZTŐI)
- 12:10** **12:30** Déri Zsolt, Hum Gábor, Kapitány Sándor: AMIKOR A TERMÉSZETES EREDETŰ SUGÁRTERHELÉS NORM-ÁLIS, DE A SUGÁRTERHELÉS NEM FELTÉTLENÜL!
- 12:30** **13:30** **Ebéd**

V. szekció

Elnök: Kasztovszky Zsolt

- 14:00** **14:20** Kovács Krisztina, Tegze Anna, Bezsenyi Anikó, Wojnárovits László: TRIMETOPRIM LEBONTÁSA NAGYENERGIÁJÚ IONIZÁLÓ SUGÁRZÁSSAL: KINETIKA ÉS MÁTRIXHATÁS
- 14:20** **14:40** Homlok R., Elsherbeny M., Mohácsi-Farkas Cs., Belák Á.: STAPHYLOCOCCUS AUREUS TÖRZSEK ANTIBIOTIKUM-ÉRZÉKENYSÉGÉNEK VÁLTOZÁSA KÜLÖNBÖZŐ SÓKONCENTRÁCIÓK ÉS GAMMA BESUGÁRZÁS HATÁSÁRA
- 14:40** **15:00** Kiss L., Berényi A. E., Németh M., Tegze A., Homlok R., Takács E., Mészáros L.: GUMITÖRMELEK FELÜLETÉNEK GAMMA-SUGÁRZÁSSAL TÖRTÉNŐ AKTIVÁLÁSA A HATÉKONY GUMI ÚJRAHASZNOSÍTÁS ÉRDEKÉBEN
- 15:00** **15:20** Vizbel Ákos, Györke Tamás, Czibor Sándor, Kári Béla, Bibok András, Kovács Bence, Szőnyi-Pákai Renáta, Kállai-Szabó Nikolett, Lengyel Miléna, Taba Gabriella: TRANSZARTERIÁLIS RADIOEMBOLIZÁCIÓS ORVOSTECHNIKAI ESZKÖZ VIZSGÁLATA SZERKEZETVÁLTOZÁS SZEMPONTJÁBÓL A TERÁPIÁT KÖVETŐ IDŐSZAKBAN
- 15:20** **15:40** **Kávészünet**

VI. szekció

Elnök: Osváth Szabolcs

15:40 **16:40** Osváth Szabolcs: KVÍZJÁTÉK KÉMİKUSOKNAK, 2024.**16:40** A Vértess Attila Ifjúsági Nívódíj szavazatok összeszámolása, a bírálóbizottság ülése**19:00** **22:00** Bankett és a konferencia Előadói Nívódíjának kihirdetése**OKTÓBER 16. SZERDA****8:00** **9:00** **Reggeli****VII. szekció**

Elnök: Németh Zoltán

09:00 **09:20** Környei József: JELZÉSI REAKCIÓK HORDOZÓMENTES ÉS NEM HORDOZÓMENTES IZOTÓPOKKAL, RADIOGYÓGSZEREK ELŐÁLLÍTÁSÁHOZ**09:20** **09:40** Szemenyei Erzsébet, Gyuricza Barbara, Szűcs Péter, Keresztes Szilvia, Mikecz Pál, Környei József: $^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$ GENERÁTOR ELŐÁLLÍTÁSI TECHNOLÓGIÁJÁNAK MEGVALÓSÍTÁSA BUDAPESTEN**09:40** **10:00** Kálmán-Szabó Ibolya, Képes Zita, Arató Viktória, Péliné Szabó Judit, Farkasinszky Gergely, Szűcs Dániel, Hajdu István, Fekete Anikó, Szikra Dezső, Elek János, Kálmán Ferenc, Trencsényi György: ÚJ ^{61}Cu -JELZETT PROSZTATASPECIFIKUS MEMBRÁN ANTIGÉN (PSMA) RADIOFARMAKON SZINTÉZISE ÉS PREKLINIKAI VIZSGÁLATA**10:00** **10:20** Forgács Viktória, Németh Enikő, Péli-Szabó Judit, Képes Zita, Trencsényi György, Jószai István, Kertész István: ^{11}C]Ro15-4513 LIGANDUM ELŐÁLLÍTÁSA ÉS PREKLINIKAI VIZSGÁLATA**10:20** **10:40** **Kávészünet****VIII. szekció**

Elnök: Vajda Nóra

10:40 **11:00** Rell Péter, Kövendiné Kónyi Júlia, Hizsnay Julianna, Osváth Szabolcs: AZ NNGYK ANNA UTCAI TELEPHELYÉNEK KÖRNYEZETI RADIOLÓGIAI ÉRTÉKELÉSE

11:00	11:20	Glavatszkih Nándor, Homoki Zsolt, Kerekes Irén, Kohári György, Kövendingé Kónyi Júlia, Lóránt Györgyné, Orosz Péter, Pálvölgyiné Szabó Zsuzsanna, Szarkáné Németh Ágnes, Szigeti Ágnes, <u>Osváth Szabolcs</u> : AZ ERMAH MŰKÖDÉSE ÉS EREDMÉNYEI (2016-2023). ELSŐ RÉSZ - KÖRNYEZETI MINTÁK
11:20	11:40	Glavatszkih Nándor, Homoki Zsolt, Kerekes Irén, Kohári György, Kövendingé Kónyi Júlia, Lóránt Györgyné, Orosz Péter, Pálvölgyiné Szabó Zsuzsanna, Szarkáné Németh Ágnes, Szigeti Ágnes, <u>Osváth Szabolcs</u> : AZ ERMAH MŰKÖDÉSE ÉS EREDMÉNYEI (2016-2023). MÁSODIK RÉSZ - ÉLELMISZERMINTÁK
12:00	12:20	Homoki Zsolt, <u>Szigeti Ágnes</u> , Tóth Gergely, Csordás Anita, Kovács Tibor: A TALAJ RADON POTENCIÁL VIZSGÁLATOK HÁTTERE, GYAKORLATA ÉS EREDMÉNYEI
12:20	12:30	A konferencia zárszava – Homonnay Zoltán
12:30	13:30	Ebéd, hazautazás

A konferencia

ELŐADÁS-KIVONATAI

**2024. október 14.
hétfő**

**TÉTÉNYI PÁL (1929. OKTÓBER 3. – 2024. SZEPTEMBER 8.)
AKADÉMIKUS EMBERI ARCA**

Wojnárovits László

*HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont, Energia- és Környezetbiztonsági Intézet,
Felületkémiai és Katalízis Laboratórium, Sugárkémiai Csoport
1121 Budapest, Konkoly-Thege Miklós út 29-33.*

1959-ben az Országos Atomenergia Bizottság az 5 évvel korábban alapított Izotóp Elosztó bázisán, Izotóp Intézet néven új intézetet hozott létre, melynek igazgatója Tétényi Pál lett. Ő Intézetünket mindig is magáénak, gyermekének érezte. Későbbi magas állami és akadémiai tisztségei mellett, késő délutánonként, szinte minden nap fent járt Csillebércen és konzultált munkatársaival. Még idős korában, mint professzor emeritus is heti rendszerességgel az Intézetben tartózkodott.

Tétényi Pál, jó humorú, társaságkedvelő ember volt. Barátai köre rendkívül széleskörű volt, ebbe a politikai nézettől, vallástól függetlenül nagyon sokan beletartozhattunk.

A megemlékezés Tétényi Pált, mint embert mutatja be, kissé komoly, kissé anekdotázó stílusban.

**THE HUMAN FACE OF ACADEMIC PÁL TÉTÉNYI
(OCTOBER 3, 1929 – SEPTEMBER 8, 2024)**

László Wojnárovits

*HUN-REN Centre for Energy Research, Institute for Energy Security and Environmental Safety,
Surface Chemistry and Catalysis Department, Radiation Chemistry Group
1121 Budapest, Konkoly-Thege Miklós út 29-33.*

In 1959, the National Atomic Energy Commission established a new institute called the Institute of Isotopes at the base of the Isotope Distribution Center established 5 years earlier. Pál Tétényi was nominated to be as its director. He has always considered our Institute his own, his child. In addition to his later high state and academic positions, he visited Csillebérc late in the afternoon almost every day and consulted with his colleagues. Even in his old age, as a professor emeritus, he visited the Institute on a weekly basis.

Pál Tétényi was a good-humored, sociable person. His circle of friends was extremely broad, and many of us could be included regardless of political views or religion.

The commemoration presents Pál Tétényi as a person, in a somewhat serious, somewhat anecdotal style.

IMRE LAJOS - ÖTVEN ÉV TÁVLATÁBÓL

Kónya József, M. Nagy Noémi

Debreceni Egyetem, Fizikai Kémiai Tanszék, Imre Lajos Izotóplaboratórium, 4032 Debrecen, Egyetem tér 1.

Imre Lajosnak a huszadik század háromnegyedét átfogó élete (1900. márc. 21.-1974. szept. 22.) meglehetősen mozgalmas kor volt a magyar társadalom életében.

Iskolai tanulmányai után katonai szolgálatot teljesített (1918-ban), ezután kezdte egyetemi tanulmányait, melyet 1924-ben vegyész doktorként fejezett be. 1928 februárjában avatták „sub auspiciis Gubernatoris” doktorrá.

Állami ösztöndíjjal három évet töltött a Kaiser Wilhelm Institute für Chemie-ben (Berlin-Dahlem) Otto Hahn professzor mellett, aki 1944-ben Nobel díjat kapott. Ez az időszak rendkívül gazdag volt alapvető tudományos eredményekben és a későbbi évekre adott útvalóban. Imre Lajos így ír Hahn-ról szóló megemlékezésében:

„...Otto Hahn professzor tudmányszeretetét és optimizmusát kisebb-nagyobb mértékben munkatársai is örökölték; meggyőződéssel hisszük, hogy humanista hitvallása is lankadatlan szuggesztív erővel fog hatni...”

Önéletrajzi könyvében Hahn is igen pozitívan értékelt Imre kutatásait.

Imre Lajos hazajövele után (1931) Budapesten folytatta munkáját, melynek fő iránya a határfelületi reakciók termodinamikai értelmezése volt. Ebből habilitált, az eljárás során opponensei a legnagyobb elismeréssel nyilatkoztak róla és ajánlották a fokozat megadását. Életének következő évei Kolozsvárott teltek (1940-49) és meglehetősen mozgalmasak voltak, sajnos nem tudományos, hanem politikai szempontból. A közmondás is azt tartja, hogy háborúban hallgatnak a múzsák. A Kolozsvárott megkezdett kutatások teljesedtek ki Debrecenben, ahol Magyarországon elsőként alkalmazza az irreverzibilis termodinamikát határfelületi folyamatokra. Ide 1949-ben érkezett, az ekkor alakuló Természettudományi Karra. Ekkor folyt a kémiai tanszékek szervezése is. Korábban csak az Orvosi Vegytani Intézet foglalkozott néhány vegyész és kémia tanár képzésével. Az Általános és Fizikai-Kémiai Intézet is ekkor alakult. Imrét nála 20-30 évvel fiatalabb emberek várták, így kutatásait teljesen újonnan kellett indítani, illetve a kutatási témák ki is szélesedtek a nukleáris tudományok, a hordozómentes radioaktív izotópok és a korrózió irányába. A Magyarországon induló izotóptermeles elindításában is fontos szerepet játszott.

Imre professzor vizsgáiról ma is legendák keringenek: szigorúságáról, de időnként megnyilvánuló emberi „gyengeségéről-nagyságáról” szólnak. Ezek egy része biztosan nem történt meg, de a történetek mind tükrözik személyiségének lényegét, úgyhogy akár megtörténtnek is tekinthetjük őket.

IMRE LAJOS – LOOKING BACK FROM YEARS

József Kónya, Noémi M. Nagy

University of Debrecen, Department of Physical Chemistry, Imre Lajos Isotope Laboratory, 4032 Debrecen, Egyetem tér 1.

The life of Lajos Imre (21 March 1900 - 22 September 1974), extending three quarters of the twentieth century, was a rather eventful period in the life of Hungarian society.

After school, he served in the army (1918), then began his university studies, graduating in 1924 with a doctorate in chemistry. In February 1928, he was awarded a doctorate "sub auspiciis Gubernatoris".

On a state scholarship, he spent three years at the Kaiser Wilhelm Institute for Chemistry (Berlin-Dahlem) supervised by Professor Otto Hahn, who was awarded the Nobel Prize in 1944. This period was extremely rich in fundamental scientific achievements and in guidance for later years. Lajos Imre wrote in his memorial of Hahn:

"... Professor Otto Hahn's love of science and his optimism were inherited to a greater or lesser extent by his colleagues; we are convinced that his humanist credo will continue to have an unremittingly suggestive effect..."

In his autobiography, Hahn was also very positive about Imre's research.

After returning home (1931), he continued his work in Budapest. His main scientific field was the thermodynamic interpretation of interfacial reactions. He habilitated in this field, and during the procedure his opponents spoke highly of him and recommended that he be awarded the degree. The next years of his life were spent in Kolozsvár (1940-49) and were quite eventful, unfortunately not from a scientific but from a political point of view. The proverb says that in war the muses are silent. The research begun in Kolozsvár was completed in Debrecen, where the irreversible thermodynamics was applied to interfacial processes for the first time in Hungary. He arrived in Debrecen in 1949, to the newly established Faculty of Natural Sciences. At that time the chemistry departments were also organized. Previously, only the Institute of Medical Chemistry had been involved in the training of some chemists and chemistry teachers. The Institute of General and Physical Chemistry was also established at this time. Imre's research had to start from scratch, with people 20-30 years younger than him, and the research topics were extended to nuclear sciences, carrier-free radioactive isotopes and corrosion. He also played an important role in the launch of isotope production in Hungary.

Legends still circulate about Professor Imre's examinations: they speak of his rigour, but also of his occasional human "weakness and greatness". Some of these stories certainly did not happen, but they all reflect the essence of his personality, so they may as well be true.

MESTERSÉGES RADIOAKTÍV IZOTÓPOK MAGYARORSZÁGON – 70 ÉVE ÉRKEZETT HAZÁNKBA AZ ELSŐ IZOTÓPKÉSZÍTMÉNY

Környei József¹, Kocsonya András²

¹ *Izotóp Intézet Kft.,*

² *HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont
1121 Budapest, Konkoly Thege-Miklós út 29-33.*

70 évvel ezelőtt, 1954. szeptember 15-én érkezett hazánkba az első mesterséges radioaktív izotópszállítmány. Ez ⁶⁰Co sugárforrást, ³²P foszforsavat és dikálium-hidrogén-foszfátot, valamint a korabeli eredeti műbizonylatok szerint ¹³¹I kálium-jodidot is tartalmazott. A készítmények szeptember 28-án Debrecenbe kerültek: a sugárforrás a MTA Debreceni Fizikai Kutatóintézetébe, az oldatok pedig a KLTE Fizikai Kémiai Intézetébe. 1954-ben még további három szállítás történt és a radionuklidok palettája is bővült, míg a következő években rendszeressé vált az izotópkalkalmazás különféle helyeken, az erre alkalmas laboratóriumokban.

A megemlékező előadásban szó lesz továbbá az Izotóp Intézet megalakulásáról, a hazai izotóptermeles kezdeteiről, a radioaktív anyagok nyilvántartásáról. Bemutatásra kerül a ciklotronnal történő hazai izotóptermeles, továbbá a reaktor-izotópok pótlása abban az esetben, amikor a Budapesti Kutatóreaktor nem működik.

ARTIFICIAL RADIOACTIVE ISOTOPES IN HUNGARY – THE FIRST SHIPMENT ARRIVED 70 YEARS AGO

József Környei¹, András Kocsonya²

¹ *Institute of Isotopes Co. Ltd.,*

² *HUN-REN Centre For Energy Research
H-1121 Budapest, Konkoly Thege-Miklós street, 29-33.*

The first shipment of artificial radioactive isotopes was arrived to Hungary 70 years ago, on 15th September in 1954. This first shipment was transferred to institutes located in Debrecen on 28 September. It consists of a ⁶⁰Co sealed source and solutions of ³²P phosphoric acid, dipotassium hydrogen phosphate as well as of ¹³¹I potassium iodide. Three further shipments arrived also in 1954 and the selection of the imported radionuclides were extended. In the next years the deliveries to the dedicated isotope laboratories in Hungary became regular.

Other topics involved in this commemorative presentation: the establishment of the Institute of Isotopes, the beginning of the domestic isotope production, the registry of radioactive materials, cyclotron-produced radioisotopes and the way of replacements of domestic reactor isotopes in the time when the Budapest Research Reactor is shut-down.

CSISZOLT KŐESZKÖZÖK NYERSANYAGÁNAK AZONOSÍTÁSA ÉS EREDETÜK MEGHATÁROZÁSA PROMPT-GAMMA AKTIVÁCIÓS ANALÍZIS SEGÍTSÉGÉVEL

Kasztovszky Zsolt¹, Szilágyi Veronika¹, Kereskényi Erika², Péterdi Bálint³, Sági Tamás^{1,4}, Furholt Kata⁵, T. Biró Katalin⁶, Szakmány György⁴

¹ HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont, Budapest

² Bükk Nemzeti Park Igazgatóság, Eger

³ Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága, Budapest

⁴ Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest

⁵ Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel, Germany

⁶ Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest

A provenienciakutatás, azaz a régészeti tárgyak nyersanyagerejét meghatározása az örökségtudomány egyik fő kutatási feladata, amelynek egyik leggyakoribb módja a leletek kémiai összetételének elemzése. A kutatás két fő lépése a nyersanyag típusok (kőzetek) azonosítása, valamint a lehetséges származási hely meghatározása, azaz a régészeti tárgyak és a lehetséges nyersanyagforrások közötti kapcsolatok megállapítása. A csiszolt kőeszközök provenienciakutatásában jó eredményekre számíthatunk, mivel a kőeszközök kémiai-ásványos összetétele általában nem változott a készítésük, használatuk és utóéletük során. A régészeti tárgyak és a lehetséges nyersanyagok kőzettani-kémiai jellemzőinek összehasonlításával szerencsés esetben az eredetre vonatkozó közvetlen vagy közvetett összefüggéseket nyerhetünk. Nyilvánvaló, hogy a kulturális örökség értékes tárgyainak vizsgálatakor a roncsolásmentes módszerek előnyben részesülnek.

A prompt-gamma aktivációs analízis (PGAA) kiválóan alkalmas a különböző kőzetek tömbi ("bulk") elemösszetételének (főként a fő-, valamint néhány mellék- és nyomelem) roncsolásmentes mennyiségi meghatározására [1]. A Kárpát-medencei csiszolt kőeszközök átfogó kutatása az 1990-es évek óta folyik, amelynek célja a nyersanyagbeszerzés és a régészeti tárgyak cserkereskedelmének feltérképezése Magyarországon és környékén, a neolitikumtól a korai bronzkorig [2-9]. 1998-tól napjainkig több mint 1300 régészeti tárgyat és nyersanyagmintát elemeztünk PGAA-val.

A PGAA módszerrel mért adathalmazon végzett főkomponens-analízis (PCA) során a nyersanyag típusok osztályozásának fő diszkriminatív kémiai összetevőinek a Si, Ti, Al, Fe és Mg bizonyult. A nyersanyag-lelőhely azonosításához az alkálifémek, az Al, a Fe és a Ti mennyisége további támpontokat adhatnak. A különböző kőzettípusok esetében a PGAA segítségével a nyersanyag jellemzése és a származás meghatározása közepes vagy nagy bizonyossággal elvégezhető. Bár a PGAA a szerpentin, a „fehér kő” és a szaruszirt azonosítására hatékonyan bizonyult, más kőzettípusok esetében korlátozott siker érhető el, további kiegészítő módszerek (pl. mágneses szuszceptibilitás mérése, mikroszkópos petrográfia, pásztázó elektronmikroszkópia) alkalmazása szükséges.

Ebben az előadásban áttekintést adunk a Kárpát-medencében leggyakrabban előforduló, őskori kőeszköz nyersanyagként használatos kőzettípusok provenienciakutatásáról. Összefoglalva, a PGAA mérések alapján sikeresen azonosítottuk a fő kőzettípusokat. A nefrit, bazalt, kontakt metabázit, szaruszirt és nagynyomású metamorfitek esetében kisebb-nagyobb valószínűséggel nyersanyagforrásokat is rendelhetünk a kőzetekhez.

[1] Kasztovszky et al. 2022. *Journal of Cultural Heritage* 55 (2022) 356–368.

[2] Bendő et al. 2019. *Archaeological and Anthropological Sciences* 11: 1643–1667.

[3] Kereskényi et al. 2020. *Journal of Archaeological Science: Reports* 32: 102437.

[4] Starnini & Szakmány 1998. *Acta Archaeologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 50: 279–342.

[5] Szakmány 1996. In: Makkay et al. (eds.) *Società per la Preistoria e Protostoria della Regione Friuli-Venezia Giulia, Quaderno 6*. Trieste: 224–241.

[6] Szakmány & Kasztovszky 2004. *European Journal of Mineralogy* 16/2: 285–295.

[7] Szakmány et al. 2011. *European Journal of Mineralogy* 23: 883–893.

[8] Szilágyi et al. 2021. *Archeometriai Műhely* XVIII/3: 237–260.

[9] Váczi et al. 2019. *European Journal of Mineralogy* 31/5-6: 905–917.

RAW MATERIAL IDENTIFICATION OF POLISHED STONE TOOLS AND DETERMINATION OF THEIR ORIGIN BY PROMPT-GAMMA ACTIVATION ANALYSIS

Kasztovszky, Zsolt¹, Szilágyi, Veronika¹, Kereskényi, Erika², Péterdi, Bálint³, Sági, Tamás^{1,4}, Furholt, Kata⁵, T. Biró, Katalin⁶, Szakmány, György⁴

¹ HUN-REN Centre for Energy Research, Budapest, Hungary

² Bükk National Park Directorate, Eger, Hungary

³ Supervisory Authority for Regulatory Affairs, Budapest, Hungary

⁴ Eötvös Loránd University, Budapest, Hungary

⁵ Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel, Germany

⁶ Hungarian National Museum, Budapest, Hungary

Provenance research, i.e. to determine the raw materials' origin of heritage objects is one of the main topic in Heritage Science. Information on chemical composition can be a useful tool in provenance research. The two main steps of the research are the material characterization (i.e. identification of their geological types)) and the provenance identification (i.e. establish connections between the archaeological pieces and the possible raw material sources). Polished stone artefacts are especially appropriate subjects for the provenance approach since their chemical-mineralogical composition has usually not altered during their lifetime. By comparing the petrological-chemical features of archaeological objects with those of the potential raw materials, in fortunate instances, we can find direct or indirect connections between them. Obviously, when investigating precious objects of cultural heritage, non-destructive methods are strongly preferred.

Prompt-gamma activation analysis (PGAA) is a successful non-destructive method for the quantitative determination of the bulk elemental composition (mostly the major, a few minor and some trace elements) of different rocks [1]. The comprehensive research of polished stone tools in the Carpathian basin has been performed since the 1990s, aimed of mapping the raw material procurement and the circulation as archaeological items in Hungary and surroundings from the Neolithic to Early Bronze Age [2-9]. From 1998 until today, more than 1300 archaeological objects and raw material samples have been analysed with PGAA.

When applying Principal Component Analysis (PCA) on the PGAA dataset, the main discriminative chemical constituents proved to Si, Ti, Al, Fe and Mg for material characterization. On the provenance identification's level, major elements of alkali metals, Al, Fe and Ti could give further clue. On various rock types, raw material characterization and provenance determination can be done with medium-to-high certainty with the help of PGAA. Although PGAA proved to be a powerful in identification serpentinite, 'white stone' and hornfels, for other rock types it has limited success and requires complementary methods (e.g. magnetic susceptibility, microscopic petrography, scanning electron microscopy).

In this presentation, we give an overview of the provenance research, related to the most frequently rock types found in Prehistory of the Carpathian basin. In summary, the PGAA measurements have successfully identified the main rock types. For nephrite, basalt, contact metabasite, hornfels and high-pressure metamorphite, we can assign raw material sources to the rocks with a lower or higher probability.

[1] Kasztovszky et al. 2022. *Journal of Cultural Heritage* 55 (2022) 356–368.

[2] Bendő et al. 2019. *Archaeological and Anthropological Sciences* 11: 1643–1667.

[3] Kereskényi et al. 2020. *Journal of Archaeological Science: Reports* 32: 102437.

[4] Starnini & Szakmány 1998. *Acta Archaeologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 50: 279–342.

[5] Szakmány 1996. In: Makkay et al. (eds.) *Società per la Preistoria e Protostoria della Regione Friuli-Venezia Giulia, Quaderno 6*. Trieste: 224–241.

[6] Szakmány & Kasztovszky 2004. *European Journal of Mineralogy* 16/2: 285–295.

[7] Szakmány et al. 2011. *European Journal of Mineralogy* 23: 883–893.

[8] Szilágyi et al. 2021. *Archeometriai Műhely* XVIII/3: 237–260.

[9] Váczi et al. 2019. *European Journal of Mineralogy* 31/5-6: 905–917.

NEHEZEN MÉRHEŐ RADIONUKLIDOK MEGHATÁROZÁSA LESZERELÉSI MINTÁBÓL

Papp István^{1,2}, Osváth Szabolcs³, Vajda Nóra^{2,4}

¹ ISOTOPTÉCH Zrt., Bem tér 18/C, 4026 Debrecen

² Debreceni Egyetem TTK, Kémia Doktori Iskola, Egyetem tér 1., 4032 Debrecen

³ Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ, Albert Flórián út 3/A., 1097 Budapest

⁴ Radanal Kft., Konkoly-Thege M. út 29-33, 1121 Budapest

Az atomreaktorokat a végleges leállítást követően előbb-utóbb le kell szerelni, vagyis a reaktort és segédberendezéseit el kell bontani. A leszerelés során nagy mennyiségű, változatos összetételű, erősen sugárzó hulladék keletkezik. A különböző hulladékfajták osztályozása és radiokémiai jellemzése elengedhetetlen a hosszú távú biztonságos tárolás szempontjából. Jelenleg nem állnak rendelkezésre a felaktiválódott reaktorkomponenseket jellemző tanúsított referenciaanyagok, sem pedig olyan szabványosított vizsgálati módszerek, melyek segítségével meghatározhatók a leszerelési minták bizonyos nehezen mérhető izotópjai. E hiányosságok pótlása céljából egy nemzetközi összemérés szerveződött, melynek során ⁹³Zr, ⁹³Mo és ⁹⁴Nb meghatározását végeztük el leszerelési anyagmintából (rozsdamentes acél). Az említett radionuklidok elválasztására kombinált ioncserés és extrakciós kromatográfiás módszert dolgoztunk ki. Az elválasztást kationcserélő gyantán, diglikol-amid (DGA) ill. tetraalkil-amin alapú (TEVA) extrakciós kromatográfiás gyantákon végeztük, a molibdén frakciót aktivált alumínium-oxid oszlopon tisztítottuk. A ⁹³Zr és a ⁹³Mo meghatározását ICP-MS módszerrel végeztük, a ⁹⁴Nb-ot gamma-spektrometriával határoztuk meg.

Előadásunkban a módszerfejlesztés, a modellkísérletek és a minta-előkészítés tanulságait, valamint az összemérés eredményét fogjuk bemutatni.

DETERMINATION OF DIFFICULT-TO-MEASURE RADIONUCLIDES FROM A DECOMMISSION SAMPLE

István Papp^{1,2}, Szabolcs Osváth³, Nóra Vajda^{2,4}

¹ ISOTOPTECH Zrt., Bem tér 18/C, 4026 Debrecen

² Debreceni Egyetem TTK, Kémia Doktori Iskola, Egyetem tér 1., 4032 Debrecen

³ Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ, Albert Flórián út 3/A., 1097 Budapest

⁴ Radanal Kft., Konkoly-Thege M. út 29-33, 1121 Budapest

Nuclear reactors must be decommissioned sooner or later after final shutdown; the reactor and its auxiliary devices must be dismantled. During decommission, large amount, highly radioactive waste with variable chemical compositions are produced. The classification and radiochemical characterization of different waste types are crucial regarding their safe long-term storage. Up to now certified reference materials which represent activated reactor components, are unavailable. Standardized methods for determining difficult-to-measure (DTM) radionuclides are lacking as well. In order to overcome these shortcomings, an international comparison exercise was organized for radiochemical laboratories in different countries in order to determine ⁹³Zr, ⁹³Mo and ⁹⁴Nb nuclides from a decommission stainless steel sample. We developed a combined method to separate these radionuclides by using cation exchange resin, diglycolamide (DGA) and tetraalkyl-amine based (TEVA) extraction chromatographic resins. The molybdenum fraction was purified on an activated alumina column. ⁹³Zr and ⁹³Mo were determined by ICP-MS method, while ⁹⁴Nb was measured by g-spectrometry.

The conclusions of method development, model experiments and sample preparation, as well as the results of the intercomparison test will be presented.

ADVANCES IN UNDERSTANDING IRON AND MANGANESE HOMEOSTASIS IN PHOTOSYNTHETIC TISSUES

**Maria Gracheva^{*1,2}, Katalin Gméling², Noémi Buczkó², Zoltán Klencsár²,
Krisztina Kovács³, Katarina Vogel-Mikuš⁴, Mitja Kelemen⁵, Primož Pelikon⁵,
Valentina Bonanni⁶, Milan Žižić⁶, Alessandra Gianoncelli⁶, Anja Krieger-Liszkay⁷,
Sébastien Thomine⁷, Ádám Solti¹**

¹*Department of Plant Physiology and Molecular Plant Biology, Eötvös Loránd University, Budapest, Hungary*

²*HUN-REN Centre for Energy Research, Budapest, Hungary*

³*Laboratory of Nuclear Chemistry, ELTE Eötvös Loránd University, Budapest, Hungary*

⁴*Department of Biology, University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenia*

⁵*Department of Low and Medium Energy Physics, Jožef Stefan Institute, Ljubljana, Slovenia*

⁶*Elettra-Sincrotrone Trieste S.C.P.A, Trieste, Italy*

⁷*Institute for Integrative Biology of the Cell, CEA, CNRS, Université Paris-Saclay, Gif-sur-Yvette, France*

maria.gracheva@ek.hun-ren.hu

Iron (Fe) and manganese (Mn) are essential transition metals crucial for both plant and human health. They play vital roles in catalyzing redox reactions and are key components in numerous enzymatic processes. To prevent oxidative stress from uncontrolled reactions, the distribution of these metals within cells is strictly regulated. Despite their importance, particularly as cofactors of the photosynthetic apparatus, the mechanisms underlying intracellular transition metal homeostasis in photosynthetically active tissues remain incompletely understood.

This study offers new insights into Fe and Mn recycling processes using advanced methodologies that are not yet widely employed in plant sciences. Techniques such as particle-induced X-ray emission (PIXE), micro-X-ray fluorescence (XRF), and synchrotron low energy X-ray fluorescence (LEXRF) were utilized to produce elemental distribution maps of leaf cells at both macro (>10 μm) and micro (0.8 μm) resolutions in a non-destructive manner. Neutron activation analysis (NAA) provided detailed total metal concentrations, while electron paramagnetic resonance (EPR) and Mössbauer spectroscopy enabled the identification of Mn and Fe sites with different chemical environments.

A deeper understanding of transition metal metabolism can lead to enhanced control over cellular metal homeostasis, optimizing nutrition and biofortification strategies in agriculture.

This work was supported by the grant K-146865 of National Research, Development and Innovation Office, Hungary (NKFIH) and by the Bilateral Research Agreement of Centre National de la Recherche Scientifique and Hungarian Academy of Sciences (HAS). Á.S. was supported by the János Bolyai Scholarship of the HAS under grant number BO-00113-23-8. The XRF imaging facility at ELTE Eötvös Loránd University was granted by the European Structural and Investment Funds (VEKOP-2.3.3-15-2016-00008). We acknowledge Elettra-Sincrotrone, Trieste, Italy for the beam time accesses (20215493 and 20225238). We acknowledge ReMade@ARI grant No. PID 27548.

2024. október 15.

kedd

a

„Vértes Attila Ifjúsági Nívódíj”

elnyerésére benyújtott

közlemények



PÁLYÁZATI FELHÍVÁS

A „Vértes Attila Alapítvány” nevű közhasznú szervezet (a továbbiakban: Alapítvány), együttműködésben az MTA Radiokémiai Tudományos Bizottságával, (a továbbiakban: MTA RKTB) és a Magyar Kémikusok Egyesületével (a továbbiakban: MKE), a 35 évnél fiatalabb kutatók kiemelkedő kutatási eredményeinek elismerésére ösztöndíjat alapított

„Vértes Attila Ifjúsági Nívódíj”

elnevezéssel.

A Vértes Attila Ifjúsági Nívódíj (a továbbiakban: Nívódíj) 2023-ban azoknak a 35 évnél fiatalabb kutatóknak adományozható, akik a radiokémia tudományok területén végzett kutatási témájuk kidolgozásában az utolsó két évben kimagasló eredményt értek el.

Az eredményeket saját kutatási munkájából írt, minimum 4, maximum 6 oldal terjedelmű dolgozat, valamint az MKE közös szervezésében évente zajló "Őszi Radiokémiai Napok" konferencián tartott előadás alapján a szakértői kuratórium ítéli oda. A dolgozat alapját képezheti egy, referált folyóiratban már megjelent vagy megjelenésre elfogadott cikk, de a 4-6 oldalas dolgozatot minden pályázónak meg kell írni. Ebben az esetben az eredeti cikket is mellékelni kell, és fel kell sorolni a dolgozat irodalomjegyzékében. (A dolgozat megírásához alkalmazandó sablon a felhíváshoz csatolva.)

A dolgozatot angol vagy magyar nyelven kell megírni, és tartalmazzon egy 100-400 szavas angol- és magyar nyelvű kivonatot. Amennyiben a dolgozat alapja már megjelent cikk, ügyelni kell rá, hogy ábrák, táblázatok változtatás nélküli átvételéhez meg kell kérni a cikk kiadójának engedélyét. A dolgozatban a pályázónak első szerzőnek kell lenni.

A Nívódíj két kategóriában ítélhető oda:

I. kategória: Vértes Attila Ifjúsági Nívódíj

Ezt a díjat nem kaphatja olyan személy, aki azt korábban már legalább két alkalommal elnyerte.

II. kategória: Vértes Attila Ifjúsági Nívódíj, Különdíj

Az I kategória nyertese nettó 100.000,- Ft, azaz százezer forint összegű Vértes Attila Ösztöndíjban részesül. Az II kategória nyertese nettó 70.000,- Ft, azaz hetvenezer forint összegű Vértes Attila Ösztöndíjban részesül. A Különdíj azoknak a sikeres pályázóknak adományozható, akik második, vagy további helyezést értek el.

Oklevél illeti meg a díjazott fiatal kutatót és témavezetőjét. Az okleveleket az MKE készíteti el, és azt a MTA RKTB elnöke, az MKE képviselője és az Alapítvány képviselője írja alá. Az elismerő okleveleket az Őszi Radiokémiai Napokon az MTA RKTB elnöke vagy delegáltja, a Szakértői Kuratórium elnöke vagy delegáltja és a Vértes Attila Alapítvány képviselője adja át ünnepélyes keretek között.

Az ösztöndíjat a nyertesek részére az Alapítvány biztosítja és utalja át a díjazottaknak a Szakértői Kuratórium jegyzőkönyve, és a díjazottak által kitöltött személyi adatlap alapján.

A díjazott az ösztöndíjat oktatási intézményekben folytatott tanulmányokra, kutatásra vagy külföldi tanulmányútra köteles fordítani.

Az ösztöndíj odaítéléséről az Alapítvány által felkért, 5 főből álló Szakértői Kuratórium dönt:

- Az Alapítvány alapítója, vagy annak delegáltja, aki egyben a Szakértői Kuratórium elnöke,
- Az MTA RKTB elnöke,

továbbá a beérkező közleményeket bíráló szakértők:

- Kónya József, a kémiai tudomány doktora,
- Wojnárovits László, a kémiai tudomány doktora,
- Zagyvai Péter, a kémiai tudomány kandidátusa.

A bíráló szakértők helyébe azok bármilyen okból történő visszalépése esetén az Alapítvány kuratóriuma jogosult más személyt felkérni.

Tanácskozási jogú tagok:

- az MTA RKTB titkára (egyben a Szakértői Kuratórium titkára) és
- az MTA RKTB Munkabizottságok elnökei vagy delegáltjaik.

Állandó meghívottak:

- Az Alapítvány kuratóriuma.

A Szakértői Kuratórium a Nívódíjra vonatkozó tudnivalókat, továbbá ezt a pályázati felhívást a "Őszi Radiokémia Napok" konferencia felhívással együtt teszi közzé az MKE honlapján.

Az írásos pályázati munkát a konferencia honlapján lévő on-line jelentkezési rendszeren keresztül kell benyújtani, DOC vagy RTF fájlba szerkesztve. A pályázathoz tartozó további anyagokat (pályázati űrlap, társszerzői nyilatkozat, hallgatói státusz igazolása, beszkenelve (PDF vagy JPEG, esetlegesen a folyóiratcikk DOI számot is tartalmazó PDF verziója) pedig egy tömörített ZIP fájl formájában e-mail-en kérjük beküldeni (Jószai István, e-mail: joszai.istvan@med.unideb.hu). Az adminisztratív melléletek egy eredeti, aláírt példányát az Őszi Radiokémiai Napok regisztrációs pultjánál kérjük a konferencia kezdetén leadni. A pályázattal kapcsolatban további felvilágosítás a konferencia szakmai szervezőjétől (Jószai István, e-mail: joszai.istvan@med.unideb.hu) kérhető.

A pályázat benyújtási határideje 2024. szeptember 22. A szükséges formanyomtatványok és sablonok letölthetők a konferencia honlapjáról.

Budapest, 2024. május 2.

Dr. Szabó János Zoltán
az MKE ügyvezető igazgatója

Dr. Homonnay Zoltán
a Vértes Attila Alapítvány Kuratóriumának
elnöke

INNOVATIVE APPROACH TO PRODUCING PALLADIUM-103 FOR AUGER-EMITTING RADIONUCLIDE THERAPY: A PROOF-OF-CONCEPT STUDY

Aicha Nour Laouameria^{*1,2}, Mátyás Hunyadi², Attila Csik², Zoltan Szűcs²

¹Doctoral School of Chemistry, University of Debrecen, Egyetem tér 1, H-4032 Debrecen, Hungary

²HUN-REN Institute for Nuclear Research, Bem tér 18/c, 4026 Debrecen, Hungary

Absztrakt

Az Auger-emittáló radionuklidok, mint a Pd-103, ígértesek a rákterápiában magas citotoxikus hatásuk és lokalizált hatásaik miatt. A Pd-103, amelyet a Rh-103 proton sugárzással történő besugárzásával állítanak elő a ciklotronban, elkülönítése azonban kihívásokkal teli, és hagyományosan bonyolult "nedves kémiai" módszereket igényel. Jelen tanulmány bemutatja a radionuklidok elválasztására szolgáló berendezést (RSE), amely száraz desztilláción alapul, figyelembe véve a részleges gőznyomások közötti eltéréseket és a diffúzióval vezérelt kivonást. A módszer $17\% \pm 2\%$ elválasztási hatékonyságot ért el, a Pd-103 körülbelül $77\% \pm 2\%$ -át Nb fólián, míg $49\% \pm 2\%$ -át ZnO-val bevont W lemezekon izolálták, ami egy hatékonyabb elválasztási alternatívát kínál.

Abstract

Auger-emitting radionuclides like Pd-103 are promising for cancer therapy due to their high cytotoxicity and localized biological effects. However, separating Pd-103, generated via proton irradiation of Rh-103 at cyclotron, is challenging and traditionally requires complex "wet chemistry" methods. This study introduces radionuclide separation equipment (RSE) using dry distillation, based on differences in partial vapor pressures and diffusion-driven extraction. The method achieved a separation efficiency of $17\% \pm 2\%$, with approximately $77\% \pm 2\%$ of Pd-103 isolated on Nb foil and $49\% \pm 2\%$ on ZnO-coated W discs, offering a more efficient separation alternative.

1. INTRODUCTION

Palladium-103 (Pd-103), an Auger-emitting radionuclide, holds significant potential for cancer therapy due to its high cytotoxicity and localized effects [1]. The Auger effect, which involves low-energy electron emission from processes like electron capture [2,3], allows for targeted DNA damage in cancer cells while sparing healthy tissues [4,5]. Pd-103 decays to Rhodium-103m (Rh-103m) and is used in brachytherapy because of its favorable handling and shielding properties [6,7].

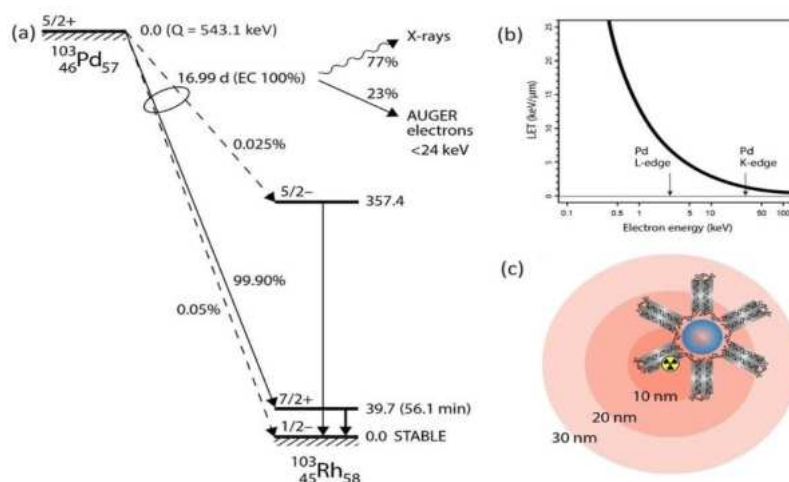


Figure 1: (a) Decay scheme of Pd-103 showing the subsequent decay of core–hole states via characteristic X-ray and Auger electrons. (b) Stopping power of electrons in an exemplary organic medium (guanine) for the energy range of typical Auger electrons calculated via the ESTAR code [8]. (c) Illustration of impact range of Auger electrons compared to the dimensions of chromatin strands.

Producing Pd-103 from Rh-103 via the $^{103}\text{Rh}(p,n)^{103}\text{Pd}$ reaction in a cyclotron presents challenges in separation, typically requiring complex wet chemistry methods hindered by material inertness, high rhodium costs, and radioactive waste generation [9,10,11,12]. Our study proposes a more efficient technique using diffusion-driven extraction through dry distillation, exploiting differences in partial vapor pressures. Experimental validation has confirmed the feasibility of this approach, involving atomic diffusion, selective evaporation, and palladium deposition.

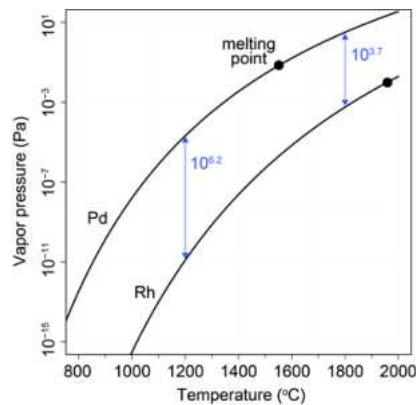


Figure 2: Partial vapor pressure of palladium and rhodium as a function of the temperature [13].

2. METHODOLOGY

2.1 Engineering and Optimization of the Thermoregulation System for the RSE

A dedicated system was engineered to isolate Pd-103 from irradiated rhodium foil under high-temperature and vacuum conditions, optimized based on vapor pressure curves (Figure 3). It uses resistive heating via a shaped Nb foil, with temperature monitored by a thermocouple. The deposition substrate is positioned 10 mm from the rhodium foil, employing different materials for pilot and separation experiments. A copper block cooling solution proved sufficient for the 20-minute operation.

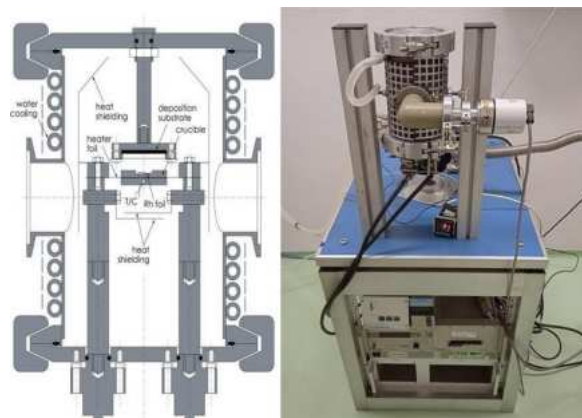


Figure 3: (a) Conceptual layout of the separation equipment incorporating a high-temperature effusion cell. (b) Image of the separation equipment and control electronics.

2.2 Production of Pd-103 via the Proton Irradiation of Rh-103

The $^{103}\text{Rh}(p,n)^{103}\text{Pd}$ nuclear reaction was induced using the MGC-20 cyclotron at ATOMKI, optimizing proton beam parameters based on cross-sectional data (Figure 4). Beam energy, intensity, and irradiation duration, were carefully determined, keeping the energy low to avoid unwanted side reactions. Helium gas was used for cooling, and the rhodium target foil was efficiently irradiated in a copper holder.

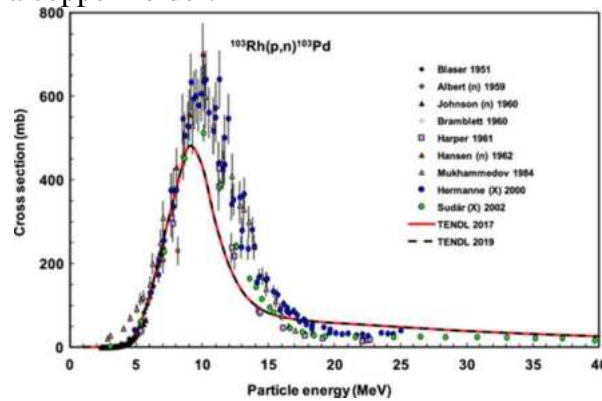


Figure 4: Comprehensive presentation of experimental data and TENDL predictions for the $^{103}\text{Rh}(p,n)^{103}\text{Pd}$ reaction [14] (with permission).

2.3 Synthesis and Diffusivity Characterization of Palladium/Rhodium Alloy Samples

Multi-layer specimens were prepared to predict the intrinsic diffusion coefficient of palladium in a rhodium matrix by coating 6 μm -thick rhodium foils with a 100 nm palladium layer via magnetron sputtering. The samples were annealed for 10 minutes at 600 $^{\circ}\text{C}$, 700 $^{\circ}\text{C}$, 800 $^{\circ}\text{C}$, and 900 $^{\circ}\text{C}$ under high-vacuum conditions, followed by analysis using SNMS depth profiling.

2.4 Separation of Pd-103 from Irradiated Rh-103: A Process of Isolation

Pilot experiments optimized the RSE design by refining electrical resistance, thermal conductance, and heating power, achieving stable 1200 $^{\circ}\text{C}$ at 400 W. Enhancements were made to thermal shielding, cooling, thermocouple positioning, and crucible materials to prevent alloying with rhodium. Tests at 1200 $^{\circ}\text{C}$ demonstrated effective palladium isolation with minimal rhodium contamination. Subsequently, the separation equipment successfully isolated Pd-103 from irradiated Rh-103 after the second and third irradiation events.

2.5 Pd-103 Retrieval from Deposition Surfaces through Enhanced Recovery Processes

For optimization study, two substrates were used for Pd-103 deposition. A 50 μm -thick Nb foil was initially used, treated with HCl to collect Pd-103. After process optimization, a tungsten disc coated with a 100 nm ZnO layer was employed to improve recovery, with the ZnO layer preventing Pd-103 penetration into the tungsten. The tungsten substrate was then treated with HCl and HNO₃ for extraction, and both substrates underwent quantitative analysis to evaluate recovery efficiency.

3. RESULTS

3.1 Characterization of Elemental Interdiffusion at the Palladium–Rhodium Interface

The feasibility of the dry distillation technique relies on the relative vapor pressure of palladium and rhodium, and the diffusion coefficient of palladium in a rhodium matrix. Multi-layer samples annealed at 600 to 900 °C were analyzed using secondary neutral mass spectrometry (SNMS), revealing significant interdiffusion. As shown in Figure 5, rhodium accumulation at 600 °C indicated faster diffusion through grain boundaries mechanism [15], with higher temperatures enhancing mutual diffusion between the two metals.

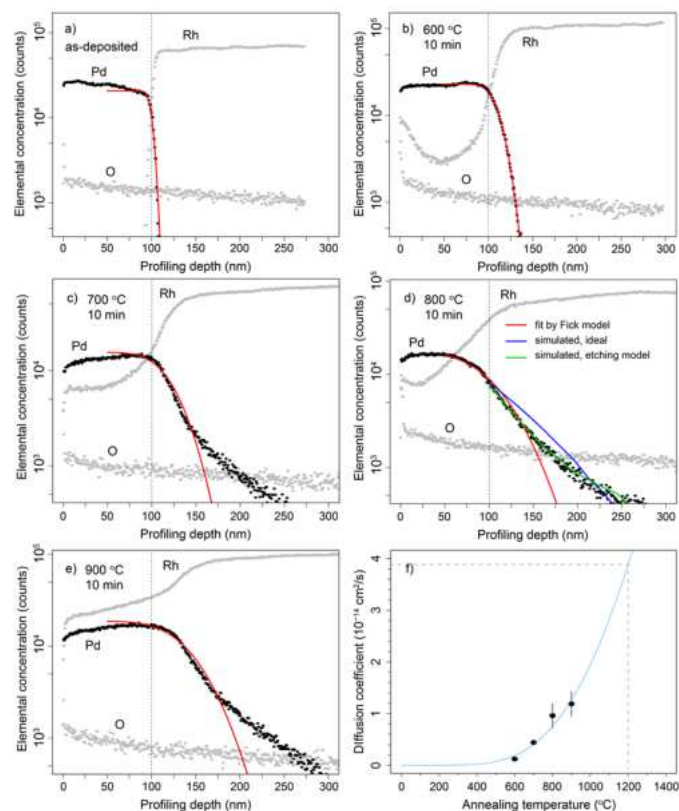


Figure 5: SNMS depth profiling analysis of palladium and rhodium for various conditions: (a) control sample, (b) 600 °C for 10 min, (c) 700 °C for 10 min, (d) 800 °C for 10 min, (e) 900 °C for 10 min; (f) diffusion coefficient of palladium in rhodium as a function of annealing temperature.

3.2 Purity Analysis of Palladium Separation

To evaluate the separation capability of the proposed dry distillation method for Pd-103, an evaporation probe was conducted using a 1:1 mixture of inactive palladium and rhodium on a 1 mm thick silicon wafer at 1200 °C for 10 minutes. Scanning electron microscopy (SEM) with energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX) revealed a rhodium decontamination factor greater than 100, indicated by the absence of rhodium at the detection limit of 0.1 at% (Figure 4).

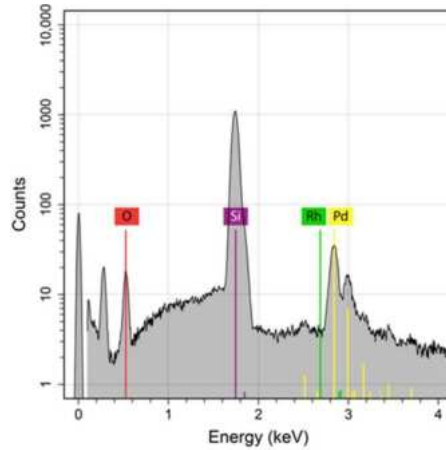


Figure 6: Elemental composition of the deposited layer on a silicon substrate examined via EDX (energy-dispersive X-ray spectroscopy).

3.3 Quantitative Analysis of Pd-103 Using γ -Spectroscopy

The activity of Pd-103 was quantified using a high-purity germanium (HPGe) detector on samples including the rhodium foil, niobium substrate, ZnO-covered W disc, and rinsed liquids from dissolution after irradiation and separation tests. Gamma peak areas were corrected to determine Pd-103 activity from its γ line at 357.45 keV [16]. The measurements showed an end-of-bombardment (EOB) activity of 31.9 MBq for the W disc separation test.

3.4 Separation Experiments: Evaporation and Recovery Efficiency of Pd-103

The separation of Pd-103 from irradiated rhodium foil involved heating the foil in the RSE to evaporate Pd-103 onto a substrate, along with a random-walk simulation to evaluate evaporation efficiency. The simulation yielded an evaporation efficiency of 14%, indicating a diffusion coefficient two orders of magnitude higher than that from depth profiling analysis. In the separation experiment, the activity on the ZnO/W substrate accounted for 25% of the missing activity in the rhodium target, corresponding to a coverage of 22%.

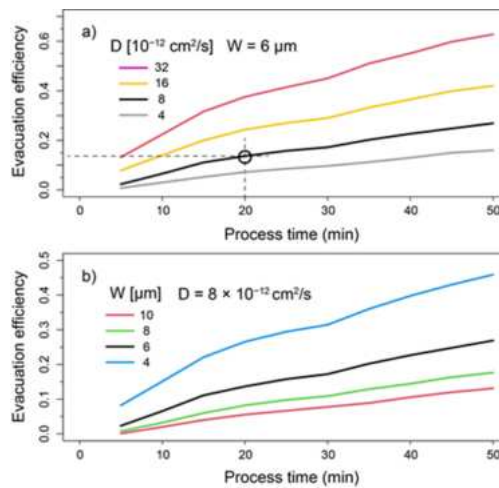


Figure 7: Simulated evacuation efficiency as the ratio of emitted Pd-103 with respect to the total amount in the rhodium foil. The evacuation efficiency is plotted at varying (a) diffusion coefficients D and (b) foil thicknesses (W). The measured ratio of evaporated-to-produced Pd-103 is also provided (open circle).

After distillation, substrates underwent acidic digestion to recover Pd-103, initially tested with niobium foil. Despite early equipment limitations, significant Pd-103 activity was separated without rhodium contamination. Design improvements were made, and the separation was repeated using a ZnO-coated W disc to prevent Pd-103 burial. While the niobium substrate showed higher separation efficiency, both methods confirmed the technique's applicability. ICP-MS analysis of the recovered Pd-103 indicated a specific activity of 8.1 GBq/g.

	deposition substrate	T _{evap} °C	Δt _{evap} min	EOB MBq	evaporated MBq	% _{EOB}	deposited MBq	% _{evap}	recovery kBq	% _{depo}
pilot experiment	Nb foil	~1500	10	7.87	3.54	45	1.49	42	1150	77
separation experiment	ZnO/W disc	1200	20	31.9	4.47	14	1.12	25	547	49

Table 1: Measured activities and processing efficiency in Pd-103 separation.

4. DISCUSSION

We evaluated the operational parameters for Pd-103 extraction, finding significant rates at 1200 °C for 20 minutes, yielding 31 MBq. While rhodium contamination was negligible, two concerns emerged: the thickness of the rhodium foil and the choice of deposition material. A thicker foil (100 μm) could enhance activity but may hinder extraction. Additionally, recovery rates varied significantly; 23% of Pd-103 remained on niobium foil, while 51% diffused into tungsten, highlighting the need to explore metal oxides as diffusion barriers.

5. CONCLUSION

Our investigation has led to a novel concept of using diffusion-driven extraction for isolating radionuclides from irradiated Rh-103, offering a viable alternative to traditional wet chemistry methods for separating Pd-103. After successfully isolating Pd-103, challenges arose in collecting the evaporated radioisotope and minimizing alloy formation with the substrate. Future optimization studies will aim to address these challenges.

BIBLIOGRAPHY

- [1] O'donoghue, J.; Wheldon, T. Targeted radiotherapy using Auger electron emitters. *Phys. Med. Biol.* 1996, 41, 1973.
- [2] Ku, A.; Facca, V.J.; Cai, Z.; Reilly, R.M. Auger electrons for cancer therapy—A review. *EJNMMI Radiopharm. Chem.* 2019, 4, 27.
- [3] Pirovano, G.; Wilson, T.C.; Reiner, T. Auger: The future of precision medicine. *Nucl. Med. Biol.* 2021, 96, 50–53.
- [4] Behr, T.M.; Béhé, M.; Löhr, M.; Sgouros, G.; Angerstein, C.; Wehrmann, E.; Nebendahl, K.; Becker, W. Therapeutic advantages of Auger electron-over β-emitting radiometals or radioiodine when conjugated to internalizing antibodies. *Eur. J. Nucl. Med.* 2000, 27, 753–765.
- [5] Reissig, F.; Mamat, C.; Steinbach, J.; Pietzsch, H.J.; Freudenberg, R.; Navarro-Retamal, C.; Caballero, J.; Kotzerke, J.; Wunderlich, G. Direct and Auger electron-induced, single-and double-strand breaks on plasmid DNA caused by 99mTc-labeled pyrene derivatives and the effect of bonding distance. *PLoS ONE* 2016, 11, e0161973.
- [6] Pomplun, E.; Terrissol, M. Low-energy electrons inside active DNA models: A tool to elucidate the radiation action mechanisms. *Radiat. Environ. Biophys.* 1994, 33, 279–292.
- [7] Ferro, A.; Bae, H.J.; Yenokyan, G.; Le, Y.; McNutt, T.; Mian, O.; Gergis, C.; Haviland, C.; DeWeese, T.L.; Song, D.Y. Reductions in prostatic doses are associated with less acute morbidity in patients undergoing Pd-103 brachytherapy: Substantiation of the rationale for focal therapy. *Brachytherapy* 2018, 17, 313–318.
- [8] Gümüş, H.; Bentabet, A. CSDA range, stopping power and mean penetration depth energy relationships in some hydrocarbons and biologic materials for 10 eV to 100 MeV with the modified Rohrlich–Carlson model. *Appl. Phys. A* 2017, 123, 334.
- [9] Sudár, S.; Cserpák, F.; Qaim, S. Measurements and nuclear model calculations on proton-induced reactions on 103Rh up to 40 MeV: Evaluation of the excitation function of the 103Rh (p, n) 103Pd reaction relevant to the production of the therapeutic radionuclide 103Pd. *Appl. Radiat. Isot.* 2002, 56, 821–831.

-
- [10] AC07607271, A; Cyclotron Produced Radionuclides—Physical Characteristics and Production Methods. International Atomic Energy Agency: Vienna, Austria, 2009.
- [11] Nikoloski, A.N.; Ang, K.-L.; Li, D. Recovery of platinum, palladium and rhodium from acidic chloride leach solution using ion exchange resins. *Hydrometallurgy* 2015, 152, 20–32.
- [12] Szucs, Z.; Moolman, D.; Verry, S.; Zeevaert, J.R. The metal rhodium does not have allotropes. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 2010, 284, 239–243.
- [13] Hampson, R.; Walker, R. The vapor pressure of palladium. *J. Res. Natl. Bur. Standards. Sect. A Phys. Chem.* 1962, 66, 177.
- [14] Tárkányi, F.; Hermanne, A.; Ignatyuk, A.V.; Takács, S.; Capote, R. Upgrade of recommended nuclear cross section data base for production of therapeutic radionuclides. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 2022, 331, 1163–1206.
- [15] Mehrer, H. Continuum Theory of Diffusion. In *Diffusion in Solids: Fundamentals, Methods, Materials, Diffusion-Controlled Processes*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2007; pp. 27–36.
- [16] Alekseev, I. Diffusion-thermal methods for radionuclides isolation from solid-state reactor and cyclotron targets: Possible prospects; *Diffuzionno-termicheskie metody vydeleniya radionuklidov iz tverdotel'nykh reaktornykh i tsiklotronnykh mishenej: Vozmozhnye perspektivy. Radiokhimiya* 2003, 45, 385–411.

AZ SZR72 KINURÉNSAV-ANALÓG ¹¹C IZOTÓPPAL TÖRTÉNŐ JELZÉSE ÉS PREKLINIKAI VIZSGÁLATA

**Balla Viktória¹, Németh Enikő¹, Szatmári István², Péli-Szabó Judit¹, Képes Zita¹,
Trencsényi György¹, Kertész István¹, Forgács Viktória¹, Jószi István¹**

¹ Debreceni Egyetem Általános Orvostudományi Kar Orvosi Képző Intézet Nukleáris Medicina Tanszék,
4032 Debrecen, Nagyerdei körút 98.

² Szegedi Tudományegyetem, Gyógyszerésztudományi Kar, Gyógyszerkémiai Intézet,
6720 Szeged, Eötvös utca 6.

Absztrakt

A kinurénsav (KYNA) agyi koncentrációjának eltérése a normális értékektől megfigyelhető olyan betegségeknél, mint a szklerózis és az Alzheimer-kór. A KYNA megfelelő szintjének beállítása terápiás lehetőségként szolgálhat. Ugyanakkor a kinurénsav rossz átjutási képességgel rendelkezik a vér-agy gáton. Ezért az agyi felvétel céljából olyan nagyobb lipofilitású analógjait fejlesztették ki, mint az SZR72. A munkánk célja ennek a származéknak a ¹¹C jelzése és preklinikai vizsgálata volt azon okból, hogy igazolást nyerjen az SZR72 átjárhatósága a vér-agy gáton. Ennek érdekében hatékony módszereket dolgoztunk ki a jelzett vegyület előállítására és analitikai vizsgálatára. Az optimalizált radioszintézis során 88,4%-os hozamot értünk el, miközben a termék radiokémiai tisztasága 100% volt. A kapott moláris aktivitás elérte a 75 GBq/μmol értéket. A kisállat PET vizsgálatok eredményei azonban azt mutatták, hogy az [¹¹C]SZR72 nem jutott át a vér-agy gáton, agyi halmozódást nem sikerült kimutatni a választott BalbC egér és Fischer344 patkány modelleken. Eredményeink arra utalnak, hogy az SZR72 analóg terápiás alkalmazása további módosításokat igényel, illetve más állatmodellek bevonására lehet szükség.

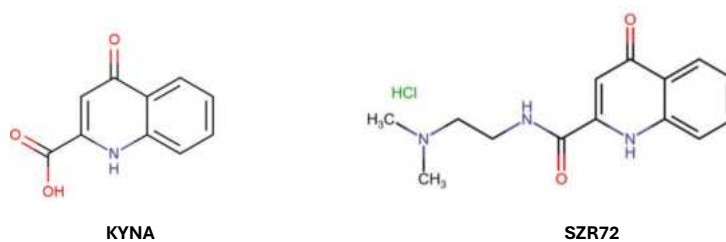
Abstract

The normal kynurenic acid (KYNA) concentrations change in the brain in case of sclerosis and Alzheimer disease. Normalizing these levels may have therapeutical value. However, KYNA has poor permeability across the blood-brain barrier (BBB). To overcome this challenge kynurenic acid analogues with higher lipophilicity were developed such as SZR72. The aim of this research was the radiosynthesis and preclinical evaluation of [¹¹C]SZR72 to prove the BBB crossing of this KYNA analogue. We successfully optimized a procedure for radiolabeling of SZR72 and developed a liquid chromatographic method for analysis of the radiotracer. The labeling yield was up to 88.4%, and the radiochemical purity of the product was 100%. The obtained molar activity was 75 GBq/μmol. The evaluation of small animal PET studies revealed that SZR72 did not cross the blood-brain barrier. No brain accumulation was observed in the selected BalbC mouse and Fischer344 rat models. Our findings suggest that the therapeutic application of the compound requires further modifications in the molecular formula and involvement of additional small animal models.

1. Bevezetés

A kinureninek a triptofán lebomlás fő metabolitjai. Kiemelt szerepet játszanak különböző fiziológiás és patológias folyamatokban, amelyek elsősorban a központi idegrendszert érintik. A triptofán metabolizmusának több mint 90%-áért a kinurenin-útvonal felelős, amely számos neuroaktív vegyületet, köztük kinurénsavat eredményez (1. ábra). A KYNA antioxidáns, antiexcitotoxikus és gyulladáscsökkentő tulajdonságai révén neuroprotektív hatású. Ugyanakkor a kinurénsav koncentráció abnormális változása megfigyelhető olyan neurodegeneratív betegségeknél, mint a szklerózis multiplex és az Alzheimer-kór. Feltételezhető, hogy a KYNA és más metabolitok szintjének szabályozásával terápiás hatás érhető el [1]. A KYNA hátrányos tulajdonsága, hogy kis mértékben hatol át a vér-agy gáton. Terápiás célra ezért a kinurénsav olyan analógjait állították elő, amelyek nagyobb lipofilitással rendelkeznek, bízva a nagyobb agyi felvételben. Az SZR72 az egyik ilyen KYNA származék. Migrénes modelleken végzett vizsgálatok során kimutatták, hogy csökkenti

a gyulladásoz folyamatokat, valamint jótékony hatását találták az epilepszia *in vitro* modelljében [2].



1. ábra: A kinurénsav és az SZR72 szerkezeti képlete

Munkánk során pozitronemissziós tomográfia (PET) vizsgálattal szeretnénk volna tanulmányozni az SZR72 analóg átjutását a vér-agy gáton kisállatmodellek felhasználásával a terápiás hatás lehetőségét igazolva. Célunk volt a KYNA származék ^{11}C jelzése, amely magába foglalja a radioszintézis optimalizációját, az analitikai eljárások kidolgozását és a kísérletes készítmény formulázását automatizált rendszeren; valamint terveink között szerepelt a kisállat vizsgálat megvalósítása.

2. Anyagok és módszerek

A radiokémiai és analitikai módszerfejlesztés során a Sigma, Merck és VWR által forgalmazott vegyszereket alkalmaztuk előzetes tisztítás nélkül.

A ^{11}C izotópot a $^{14}\text{N}(p,\alpha)^{11}\text{C}$ magreakció révén állítottuk elő GE PETTRACE 2132402 ciklotron segítségével az alábbi paraméterek mellett: 16,4 MeV nyaláb energia, 44 μA nyalábáram, 2-15 perc besugárzási idő, 70 ml gáztárgat térfogat, 13,4 bar $\text{N}_2/1\% \text{O}_2$ összetételű gázelegy.

A radioaktív $[^{11}\text{C}]\text{CH}_3\text{I}$ prekuzort Scansys szintézispanel segítségével állítottuk elő. A folyamat első lépéseként a $[^{11}\text{C}]\text{CO}_2$ a ciklotronból egy molekuláris szűrőre érkezik, ahol szobahőmérsékleten megkötődik. A molekuláris szűrő 350°C -ra történő melegítését követően $[^{11}\text{C}]\text{CO}_2$ -ból H_2 áramban a Ni katalizátort tartalmazó kemencén áthaladva $[^{11}\text{C}]\text{CH}_4$ képződik, ami a -180°C -os Hayesep töltetű oszlopon megkötődik. A Hayesep-ről -10°C -ra történő melegítést követően a felszabadult $[^{11}\text{C}]\text{CH}_4$ egy zárt recirkulációs körben egy membrán pumpa segítségével elkezd keringeni egy 80°C -ra fűtött I_2 tartalmú kemencén keresztül, miközben 720°C -on $[^{11}\text{C}]\text{CH}_3\text{I}$ -dá alakul. A recirkulációt követően az el nem reagált metán a hulladék gáz gyűjtőbe távozik. Végül a Hayesep oszlopot 250°C -ra melegítve felszabadul a $[^{11}\text{C}]\text{CH}_3\text{I}$, melyet metilezésre használunk.

Az SZR72 jelzési folyamatának optimalizációját manuálisan végeztük 2 ml-es Eppendorf csövekben. A hőmérsékletet fűtőblokk segítségével állítottuk be a kívánt értékre. A reakciók kivitelezése során a Scansys szintézispanelen előállított $[^{11}\text{C}]\text{CH}_3\text{I}$ -ot a megfelelő oldószerbe buborékoltattuk, és az így kapott oldat 300 μl -jét adtuk hozzá a többi reagenshez. A jelzési folyamat végeztével a reakcióelegyhez 100 μl vizet adtunk a reakció megállítása végett, majd az oldatot 0,22 μm pórusú szűrőn szűrtük.

A $[^{11}\text{C}]\text{SZR72}$ előállítását Scansys szintézispanelen végeztük, ahol a jelzési folyamatot az optimalizált reakciókörülmények mellett valósítottuk meg. A reakcióelegy tisztítása HPLC rendszeren történt, amely Knauer eluenszállító egységet, injektort radioaktivitás és UV detektort tartalmazott. A komponensek elválasztását Kromasil EternityXT 10-C18 150 x 10 mm 10 μm félpreparatív HPLC kolonnán végeztük. A eluensként 25 mM nátrium-dihidrogén-foszfát oldatot (pH 7,4) és B eluensként 96%-os etanolt használtunk. A tisztítás során a puffer tartalmát 90%-ról 75%-ra csökkentettük 20 perc alatt 5 ml/perc áramlási sebesség

mellett. Ebben az esetben a termék csúcsát 6 percnél kaptuk. A gyűjtött frakciót kétszeres térfogatú PBS-sel hígítottuk.

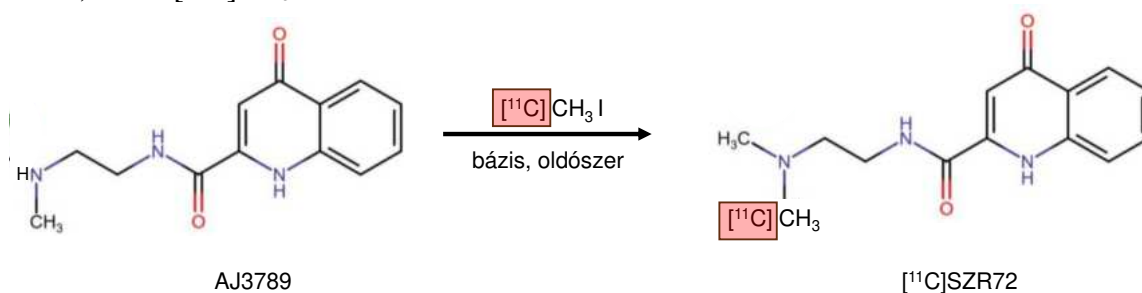
A termék radiokémiai tisztaság vizsgálatát és a moláris aktivitás meghatározását Waters I-Class UPLC rendszeren hajtottuk végre, amely az alábbi egységekből áll: pumpa, automata mintaadagoló, oszlopváltó, PDA- és saját fejlesztésű plasztik szcintillációs radioaktivitás detektor. A módszerfejlesztés során Waters BEH C18 100 x 2,1 mm, 1,7 mm (BEH100), Waters BEH C18 50 x 2,1 mm, 1,7 mm (BEH50) és Waters CSH C18 150 x 2,1 mm, 1,7 mm (CSH) kolonnákat használtunk. A kiértékeléséhez Empower3 szoftvert alkalmaztunk. Mozgófázisként 0,1% foszforsav oldatot és acetonitrilt, valamint kálium-dihidrogén-foszfát és acetonitril megfelelő összetételű elegyét vettük. Referencia anyagként az inaktív hatóanyagot (50 µg/ml), prekuzort (50 µg/ml), metil-jodidot (0,1 v/v%) és metanolt (10 v/v%) használtunk.

A kísérletes készítmény kémhatását indikátorpapírral határoztuk meg. A radionuklidos azonosítás és -tisztaság vizsgálat gamma spektrometriásan történt. Az etanol tartalom meghatározását Shimadzu GC-2010 Plus készüléken végeztük, amely ZB-624, 30 m, 0,32 mm, 1,80 µm kapilláris kolonnával volt ellátva. Az injektor 200°C, a FID detektor 250°C hőmérsékletre volt állítva. A kolonnateret állandó 60°C-on tartottuk. Injektálási térfogatnak 1 µl-t vettünk.

3. Eredmények

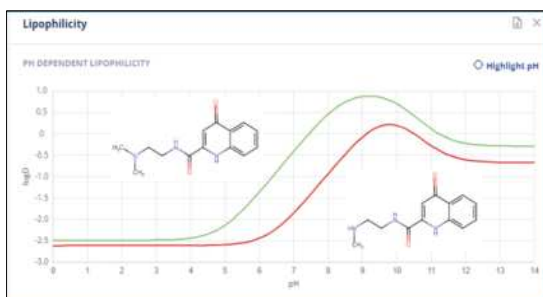
3.1. Folyadékkromatográfiai módszer kidolgozása az SZR72 jelzésének nyomon követésére

A [¹¹C]SZR72 előállítása során meg kell határoznunk a jelzési hatásfokot, illetve a késztermék esetén a radiokémiai tisztaságot és a moláris aktivitás értékét. Ezeket a paramétereket folyadékkromatográfiásan lehet megadni. Ebből kifolyólag munkánk első lépéseként olyan UPLC eljárást dolgoztunk ki, amely a 2. ábrán megadott jelzési reakcióban potenciálisan előforduló komponensek hatékony elválasztását biztosítja. Az alábbiakban azonosítható komponensek jönnek számításba: SZR72, prekuzor (AJ3789), metil-jodid és metanol, ami a [¹¹C]CH₃I hidrolíziséből keletkezhet.

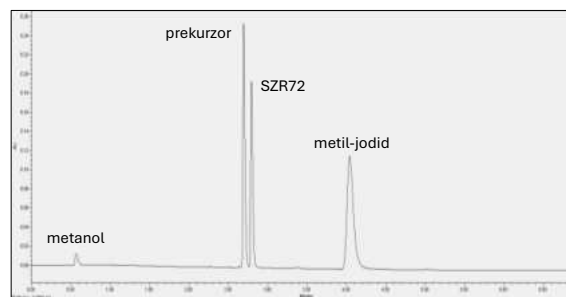


2. ábra: A [¹¹C]SZR72 előállítása metilezési reakcióban

Az analitikai módszer kidolgozása során a Chemaxon cég szoftvere segítségével becsültettük meg a négy komponens logP értékeit. Ebből kiderült, hogy a vártak megfelelően a prekuzor és a hatóanyag lipofilitása közel esik egymáshoz, amely rendre 0,19 és 0,87 volt. A továbbiakban a módszerfejlesztésnél a két komponenst kritikus párnak tekintettük és a kromatográfiai paraméterek optimalizálásánál ezekre nézve vizsgáltuk a hozzájuk rendelhető csúcsok felbontását, elméleti tányérszámát (kinetikai hatékonyság) és szelektivitását. A Chemaxon szoftverrel megadható a komponensek pKa és logD értékei. A 3. ábrán látható, hogy a 6-10 pH tartományon belül nagy szelektivitás, de kis elméleti tányérszám várható, míg ez a tendencia fordított pH 1 és 4 között. Ennek megfelelően vizsgáltuk az elválasztást olyan eluensekkel, melyek kémhatását pH 2 és pH 7 értékre állítottuk.



3. ábra: Az SZR72 és a prekursor logD értékének változása a pH függvényében



4. ábra: A $[^{11}\text{C}]$ SZR72 előállítása során azonosítható komponensek elválasztása

A mozgófázis a 2-es pH tanulmányozásánál 0,1%-os foszforsav és acetontiril volt. Ezzel szemben pH7 esetén az *A* eluens 95% 10 mM koncentrációjú KH_2PO_4 (pH7) és 5% acetonitril elegye volt, a *B* eluens pedig 50% 10 mM-os KH_2PO_4 -ot (pH7) és 50% acetonitrilt tartalmazott. A módszer kidolgozása során különböző gradiens elúciókat alkalmaztunk, mely során a szerves oldószer részarányát 0-40% között növeltük a mintafelvitelt követő 5 percen. Az analitikai módszer kidolgozása során BEH100, BEH50 és CSH fordított fázisú kolonnákat vizsgáltunk.

A módszerfejlesztés során kapott eredmények alapján elmondható, hogy pH7 kémhatásnál nagyobb szelektivitás és felbontás érhető el, ugyanakkor több esetben volt tapasztalható csúcshasadás, ami a komponensek több kémiai formájának jelenlétére utalhat (1. táblázat). A pH2 érték esetén a szelektivitás kisebb, de a követelménynek tekinthető 1,5 feletti felbontásértékek érhetőek el, illetve a nagy kinetikai hatékonyság kis csúcshasadást jelent, ami megnöveli a módszer érzékenységét, biztosítva a kis aktivitáshoz rendelhető csúcsok jobb detektálhatóságát. Ebből fakadóan az alábbi folyadékkromatográfiás eljárást használtuk a termék elemzéséhez. BEH 100 kolonna, 0,1% H_3PO_4 (*A* eluens), acetonitril (*B* eluens), elúciós profil: 0 perc 100% *A*, 4 perc 24% *B*, 0,6 ml/perc áramlási sebesség, 247 nm, 2 μl injektált térfogat. Az optimalizált eljárással kapott kromatogram a 4. ábrán látható.

1. táblázat: A $[^{11}\text{C}]$ SZR72 előállításának optimalizációja

Kolonna	pH	Felbontás	Hatékonyság	Szelektivitás
BEH100	2	3,2	34 800	1,07
	7	9,1	22 500	1,38
BEH50	2	1,8	13 990	1,07
	7	1,7	183	2,90
CSH	2	4,0	63 142	1,05
	7	7,0	9 824	1,32

3.2. Az SZR72 jelzési reakciójának optimalizálása

A $[^{11}\text{C}]$ SZR72 radioszintézisét az AJ3789 prekursor metilezése révén valósítottuk meg bázis jelenlétében aprotikus oldószerekben (2. táblázat). A kinurensav-analóg jelzési reakcióját a legnagyobb hatásfok mellett érdemes megvalósítani a termék megfelelő radioaktivitás értékének biztosítása érdekében. E tekintetben szükségesnek ítéltük a reakciókörülmények optimalizálását különös tekintettel a következő paraméterekre: hőmérséklet, reakcióközeg típusa, reakcióidő, bázis típusa, bázis mennyisége, prekursor mennyisége.

Az optimalizációs kísérletsorozat első lépéseként a reakcióhőmérséklet hatását vizsgáltuk a jelzési hatásfokra (2. táblázat, 1-3. sor). A reakcióelegy 0,1 mg prekuzort, 4 mg kálium-karbonátot és 300 μl $[^{11}\text{C}]\text{CH}_3\text{I}$ tartalmú etanos oldatot tartalmazott. A reakcióidő 5 perc volt. Eredményeink szerint 25 és 50°C-on a reakcióhozam nem haladta meg a 3%-ot. Ugyanakkor 100°C hőmérsékleten ez az érték elérte a 61,9%-ot. Következésképpen a metilezési reakciót 100°C-on hajtottuk végre a továbbiakban.

Ezt követően az oldószer minőségének hatását vizsgáltuk a [¹¹C]SZR72 hozamra. Az alkalmazott oldószerek etanol, dimetilformamid és acetonitril voltak (2. táblázat, 4-6. sor). Az eredmények alapján az etanolban végzett reakció hozama bizonyult a legnagyobbnak, hiszen a 61,9% meghaladta a DMF esetén elért 20,4%-ot és az acetonitrilben kapott 32,9%-ot. Ebből kifolyólag a soron következő jelzéseknél etanolt használtunk reakcióközegként.

A továbbiakban a reakcióidő optimalizálását hajtottuk végre. A jelzést 2-5-8 percig végeztük, majd 100 µl vizet adtunk a rendszerhez a folyamat megállítása érdekében (2. táblázat, 7-9. sor). Tapasztalataink azt mutatták, hogy 8 perc reakcióidőnél érhető el a legnagyobb hozam, ami 62,5%-nak bizonyult. Az 5 perc alatt képződő hatóanyag részaránya a nyers reakcióelegyben alig marad el ettől. Viszont 2 perc alatt csak 49,2% hatásfokot mértünk. Figyelembe véve a hosszabb reakcióidőből származó radioaktivitásaktivitás veszteségeket, a továbbiakban 5 perc alatt valósítjuk meg a jelzési folyamatokat.

Tanulmányoztuk a bázis típusának hatását a termék hozamára. Ebben az esetben a korábban használt kálium-karbonát mellett cézium-karbonátot és nátrium hidroxidot alkalmaztunk hasonló anyagmennyiségek mellett (2. táblázat, 10-12. sor). Eredményeink azt mutatták, hogy a nátrium-hidroxid és cézium-karbonát alkalmazásával a termék hozama 1,8% volt, míg korábban kiderült, hogy a kálium-karbonát esetén ez az érték eléri a 61,9%-ot. Fontos azonban megemlíteni, hogy a cézium-karbonáttal történő reakciókban, a kiindulási körülmények mellett jelentős mennyiségű melléktermék képződött, azonban 1 mg prekursor jelenléte mellett már 53,2%-os hozamot kaptunk (2. táblázat, 13. sor).

Az előző eredmények alapján a kálium-karbonát bizonyult alkalmasabb bázisnak. Ennek mennyiségét 2-4-6 mg értékekre állítottuk (2. táblázat, 14-16. sor). Optimálisnak a 4 mg kálium-karbonát mennyiség bizonyult, tekintve, hogy az ettől eltérő értékeknél kisebb hozamok érhetők el. Így a továbbiakban 4 mg kálium-karbonátot adtunk a reakcióelegyhez.

A jelzés optimalizálásának utolsó lépésében a prekursor mennyiségét növeltük. Az [¹¹C]SZR72 termék hozama 0,1 mg prekursorból kiindulva 61,9% volt, míg 1 mg mellett már elértük a 88,4% értéket (2. táblázat, 17-18. sor).

A jelzési folyamat szempontjából optimálisnak tekinthetők az alábbi reakciókörülmények. A reakció hőmérséklete 100°C, reakcióközeg etanol, a reakció ideje 5 perc. Bázisként 4 mg kálium-karbonátot alkalmazhatunk, a prekursor mennyiségét 1 mg-nak vehetjük.

2. táblázat: A [¹¹C]SZR72 előállításának optimalizációja

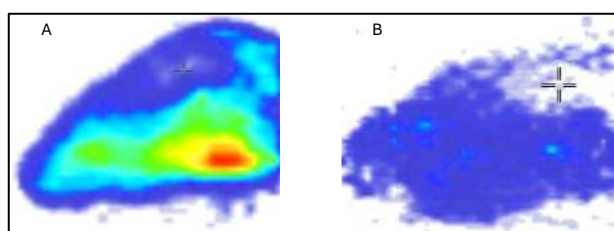
n/n	Hőmérséklet, (°C)	Oldószer	Reakcióidő, (perc)	Bázis	Bázis tömege, (mg)	Prekursor tömege, (mg)	Hozam, (%)
1	25	Etanol	5	K ₂ CO ₃	4	0,1	0,4
2	50	Etanol	5	K ₂ CO ₃	4	0,1	2,7
3	100	Etanol	5	K ₂ CO ₃	4	0,1	61,9
4	100	MeCN	5	K ₂ CO ₃	4	0,1	32,9
5	100	DMF	5	K ₂ CO ₃	4	0,1	20,4
6	100	Etanol	5	K ₂ CO ₃	4	0,1	61,9
7	100	Etanol	2	K ₂ CO ₃	4	0,1	49,2
8	100	Etanol	5	K ₂ CO ₃	4	0,1	61,9
9	100	Etanol	8	K ₂ CO ₃	4	0,1	62,5
10	100	Etanol	5	NaOH	4	0,1	1,8
11	100	Etanol	5	K ₂ CO ₃	4	0,1	61,9
12	100	Etanol	5	Cs ₂ CO ₃	4	0,1	1,8
13	100	Etanol	5	Cs ₂ CO ₃	4	1	53,2
14	100	Etanol	5	K ₂ CO ₃	2	0,1	32,2
15	100	Etanol	5	K ₂ CO ₃	4	0,1	61,9
16	100	Etanol	5	K ₂ CO ₃	6	0,1	41,4
17	100	Etanol	5	K ₂ CO ₃	4	0,1	61,9
18	100	Etanol	5	K ₂ CO ₃	4	1	88,4

3.3. A [¹¹C]SZR72 előállítása kisállat vizsgálatok céljára

Az SZR72 jelzését az optimalizált paraméterek mellett végeztük a Scansys rendszeren. Ennek megfelelően a reaktorba 1 mg prekuzort, 4 mg K₂CO₃-ot és 400 µl etanolt mértünk ki. A [¹¹C]CH₃I gázt elnyeltük a reakcióelegyben -5°C-on. A reakciót 5 perc alatt hajtottuk végre 100°C-on. Ezt követően 1,7 ml foszfát puffert adtunk az elegyhez, majd a teljes térfogatot injektáltuk a HPLC-re. Az elúció során a 6 percnél jelentkező frakciót gyűjtöttük, melynek 200 µl-jéhez 400 µl PBS-t adtunk. A szintézisidő 30 perc volt. A termék aktivitása elérte az 1 GBq értéket 70 MBq/ml koncentráció mellett. A radiokémiai tisztaság 100% volt, ami 60 perc után sem változott, ami a termék megfelelő *in vitro* stabilitásáról tanúskodik. A kapott moláris aktivitás elérte a 75 GBq/µmol-. Az etanol tartalom nem haladta meg az 5 v/v%-ot. Az oldat kémhatása 7,1 volt. Következésképpen elmondható, hogy a kapott termék megfelel a preklinikai vizsgálatoknál alkalmazott jelzett vegyületek minőségi elvárásainak.

3.4. A [¹¹C]SZR72 preklinikai vizsgálata

A [¹¹C]SZR72 preklinikai tesztelése BALB/c laboratóriumi egér és Fischer-344 patkányon történt. Körülbelül 10 MBq aktivitású nyomjelző intravénás injektálását követően 3x10 perces PET leképezést végeztünk a preklinikai MiniPET-II kamera segítségével (Debreceni Egyetem, Képző Klinikai, Nukleáris Medicina Tanszék, Preklinikai Laboratórium). A bomláskorrigált PET felvételek (5. ábra) elemzése során egyik kísérleti állat esetében sem tapasztaltunk radiofarmakon-felvételt az agyban, mely elsősorban a vér-agy gát fiziológiás barrier funkciójának, illetőleg a molekula oldhatósági karakterisztikájának tudható be.



5. ábra: A [¹¹C]SZR72 felvételének pozitron emissziós tomográfiával történt vizsgálata (A: egér, B: patkány, +: agy)

4. Összegzés

Munkánk során sikeresen optimalizáltuk az SZR72 kinurénsav-analóg radioszintézisét és analitikai vizsgálati módszerét. Az UPLC eljárás paraméterei: BEH 100 kolonna, 0,1% H₃PO₄ (A eluens), acetonitril (B eluens), az A eluens 4 perc alatt 100%-ról 76%-ra csökkent, 0,6 ml/perc áramlási sebesség mellett, így a kritikus komponenspár közötti felbontás 3,2-nek adódott. Az optimalizált jelzési reakció paraméterei: 100°C, etanol, 5 perc, 4 mg K₂CO₃ és 1 mg prekuzor. Az elért hozam 88,4% volt. A radiokémiai tisztaság 100%-nak adódott. A moláris aktivitás 75 GBq/µmol volt. A preklinikai felvételeken azonban nem látható agyi halmozódás, mely arra utal, hogy a molekula nem jutott át a vér-agy gáton.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás az Egyetemi Kutatói Ösztöndíj Program keretein belül, a Kulturális és Innovációs Minisztérium, valamint a NKFI Alap támogatásával valósult meg. (EKOP-24-2, 2024/2025)

Irodalomjegyzék

- [1] Domoki F, et al. *Int. J. Mol. Sci.* **2023**, *24*, 14522.
- [2] Tóth F, et al. *Orv Hetil.* **2020**, *161*, 443.
- [3] Czernin J, et al. *J. Nucl. Med.* **2004**, *45*, 1S.

FOSZFÁTIONOK SZORPCIÓJÁNAK KINETIKAI ÉS TERMODINAMIKAI VIZSGÁLATA RÉTI TALAJON HETEROGÉN IZOTÓPCSERÉVEL

Vörös Zoltán János, Kónya József, M. Nagy Noémi

Debreceni Egyetem Fizikai Kémiai Tanszék, Imre János Izotóplaboratórium, 4032 Debrecen, Egyetem tér 1.

Absztrakt

Foszfátionok réti talajon való megkötődését vizsgáltuk heterogén izotópcserével steady-state körülmények között. Célul tűztük ki, hogy a két kötőhelyes modell segítségével 5 különböző hőmérsékleten meghatározzuk az egyes kötőhelyeken a megkötődött foszfátmennyiségeket az oldatbeli egyensúlyi foszfátkoncentráció függvényében, ezáltal szorpciós izotermákat vehessünk fel. A kapott pontok mindkét kötőhely esetében jól illeszthetők voltak a Langmuir- izotermával, a szorpciós állandó hőmérsékletfüggéséből pedig a Van't Hoff-egyenlet segítségével megbecsültük a standard szorpciós entalpiát és entrópiát. A standard szorpciós entalpiára az egyik kötőhely esetében kis pozitív szám, a másikon hibatáron belül 0 adódott, míg a standard szorpciós entrópia értéke mindkét kötőhelyre egyértelműen pozitív. Mindebből arra következtethetünk, hogy a foszfátionok ioncsere vagy ligandumcsere útján kötődnek meg a réti talajon.

Abstract

The sorption of phosphate ions on meadow soil was examined by heterogeneous isotopic exchange in steady-state. Our aim was to determine the amounts of sorbed phosphate ions at the different bonding sites as a function of the equilibrium phosphate concentration in the soil solution using the biexponential kinetic equation. Data points at both types of bonding sites could be fitted well by the Langmuir isotherm, and from the temperature dependence of the sorption constants the standard enthalpy and entropy of sorption were estimated by using the Van't Hoff equation. The values of the standard enthalpy of sorption were slightly positive at one bonding site and zero within error at the other one. As for the standard entropy of sorption, it was positive at both types of bonding sites. According to this, it can be concluded that the mechanism of phosphate sorption on meadow soil is ion or ligand exchange.

1. BEVEZETÉS

A foszfor a növények számára nélkülözhetetlen tápanyag, amelyet gyökereiken keresztül a talajoldatból vesznek fel foszfátionok formájában. A talajoldatbeli foszfátionok a talajszemcséken megkötődve erősen vagy gyengén kötött formába kerülhetnek [i, ii]. Az erősen kötött foszfát a növények számára nem, vagy csak nehezen elérhető, és közvetlenül deszorpció révén nem képes visszajutni a talajoldatba. A gyengén kötött foszfát ezzel szemben képes deszorbeálódni, ezáltal a növények számára közvetett módon továbbra is elérhető. A foszfátionok szorpciójának szokásos vizsgálati módja az egyensúlyi szorpciós kísérlet, melynek során a szorbenst ismert koncentrációjú foszfátoldattal kevertetik, majd a szorpciós egyensúly beálltát követően a megkötődött foszfát mennyisége az oldatbeli kiindulási és egyensúlyi foszfátmennyiségek különbségeként adódik [iii]. A probléma ezzel az, hogy ez a különbség tartalmazza az irreverzibilisen kötött foszfátot is, így a módszer nem alkalmas egyensúlyi szorpciós izotermák felvételére. Erre nyújt megoldást a heterogén izotópcsere: utóbbi folyamatban ugyanis csak a reverzibilisen, azaz gyengén kötött foszfátionok vesznek részt.

A heterogén izotópcsere kísérletek lényege, hogy a talajmintát foszfátoldattal kevertetik, majd miután beállt a szorpciós egyensúly, a talajoldathoz radioaktív foszforizotóppal (P-32 vagy P-33)

jelzett foszfátionokat juttatnak, amelyek ezután elkezdnek cserélődni a talajon reverzibilisen kötött foszfátionokkal, ennek következtében a talajoldat radioaktivitása csökken [ii, iv]. Mivel a rendszer zárt, a radioaktív izotóp, így a radioaktivitás összmenyisége is időben állandó (a kísérlet ideje az izotóp felezési idejéhez képest elhanyagolható). Az izotópcseré révén a talajon megkötött radioaktivitás és az összes radioaktivitás hányadosa a talaj relatív radioaktivitása. A relatív radioaktivitást az idő függvényében ábrázolván a kapott pontokat empirikus vagy elméleti kinetikai egyenletekkel illesztve a gyengén kötött foszfát mennyisége meghatározható [ii, iv].

Kónya és mtsai 2015-ben felállítottak egy elméleti modellt a heterogén izotópcseré kinetikájára, amelynek eredményeképpen a relatív radioaktivitás időfüggése egy exponenciális egyenlettel írható le (egy kötőhelyes modell) [v]. Ennek az illesztési paramétereiből kiszámítható mind a gyengén kötött foszfát mennyisége, mind pedig a steady-state szorpciós-deszorpciós sebesség. Ugyanakkor humuszban gazdag talajok esetén az egy kötőhelyes modelltől szisztematikus eltérés volt tapasztalható, ezért Vörös és mtsai felállítottak egy újabb modellt, amely kétféle gyengén kötött foszfátot feltételez két különböző steady-state sebességgel (két kötőhelyes modell) – ekkor egy biexponenciális egyenlethez jutottak [vi]. A kapott egyenlet humuszban gazdag talajok, így a rendzina, illetve csernozjom, lápos réti és réti talajok esetében is jól leírja a heterogén izotópcseré kinetikáját, és segítségével meghatározhatók az egyes kötőhelyeken a megkötött foszfátmennyiségek, illetve a steady-state sebességek [vi, vii].

Jelen munkánk során a heterogén izotópcseré kinetikájának hőmérsékletfüggését vizsgáljuk réti talajon a két kötőhelyes modell segítségével. Meghatározzuk az egyensúlyi foszfátmennyiségeket az egyes kötőhelyeken az oldatbeli foszfátkoncentráció függvényében 5 különböző hőmérsékleten, és izotermákat veszünk fel. A szorpciós állandó hőmérsékletfüggéséből a Van't Hoff egyenlet segítségével megkíséreljük kiszámítani a standard szorpciós entalpiát és entrópiát, amelyből a szorpció mechanizmusára szeretnénk következtetéseket levonni.

2. KÍSÉRLETI RÉSZ

A kísérletet réti talajon végeztük (mintavétel: Görbeháza, 2018; részletes adatok: [vii]). A talajmintákat először különböző mennyiségű kálium-dihidrogén-foszfáttal 1 hétig érleltük szobahőmérsékleten, hogy a heterogén izotópcseré kísérleteknél különböző koncentrációjú oldatokat kapjunk. Ennek során 10 g réti talajhoz egyenletesen elosztatva 2 cm³ megfelelő koncentrációjú KH₂PO₄ oldatot csepegtettünk úgy, hogy a hozzáadott foszfor mennyisége végül 0, 50, 100, 200, 350, illetve 500 µgP/g talaj legyen (0 µgP/g esetében 2 cm³ desztillált vizet csepegtettünk), majd 1 hétig állni hagytuk (közben a vizet időnként pótoltuk, hogy a talaj-víz arány állandó maradjon).

Az előzőekben leírt módon érlelt talajmintából 4,5 g-ot 310 cm³ desztillált vízzel 2 óráig előkevertettünk és 0, 10, 20, 30, illetve 40 °C-on termosztáltunk abból a célból, hogy a szorpcióra és deszorpcióra nézve beálljon a steady-state, illetve a megfelelő hőmérséklet. Ezt követően fotometria céljára kivettünk 10 cm³ mintát a talajoldatból, és 0,45 µm porusátmérőjű koronszűrőn átszűrtük, ilyen módon elválasztva a talajoldatot a talajszemcséktől. Ezután a maradék 300 cm³ reakcióelegyhez 100 µL hordozómentes H₃³²PO₄ nyomjelzőt adtunk, majd (folyamatos termosztálás mellett) 0,5, 1, 2, 4, 7, 10, 15, 22, 30, 40, 55, 75, 100, 125, 150, illetve 180 perc múlva 1,5-1,5 mL mintát vettünk a reakcióelegyből. A mintavételekkor az oldatokat szintén átszűrtük 0,45 µm-es membránszűrőn (ezáltal megszakítva a heterogén izotópcseré folyamatát), majd a kapott tiszta oldatokból 1-1 cm³-hez 4-4 cm³ szcintillációs koktélt adtunk, és TriCarb 4810 TR Liquid Scintillation Analyser készülékkel (azaz folyadékszcintillációs módszerrel) megmértük az intenzitásokat. Az összes radioaktivitás meghatározása céljából 300 cm³ desztillált vizet is előkevertettünk, majd ehhez is 100 µL nyomjelzőt adtunk, és 1 óra múlva ebből is vettünk 1 cm³ mintát, és 4 cm³ szcintillációs koktélt adtunk hozzá, ez volt a nullminta. A háttérmintát úgy kaptuk, hogy 1 cm³ desztillált vízhez adtunk 4

cm³ szcintillációs koktélt. A háttér és a nullminta intenzitását a mintáknál leírtak szerint mértük meg. A fotometriás mérés során a talajoldatbeli foszfátkoncentrációkat ammónium-molibdátos módszerrel határoztuk meg Cary 3 UV-VIS spektrofotométer segítségével, $\lambda = 660$ nm-en.

3. KIÉRTÉKELÉS ÉS EREDMÉNYEK

A mért intenzitásokból meghatároztuk az egyes minták esetében a talaj relatív radioaktivitását, majd ábráztuk az idő függvényében. A kapott pontokat a két kötőhelyes modelltől kapott biexponenciális egyenlettel [vi] illesztettük:

$$x = \frac{A \cdot E}{A \cdot E + B \cdot D + B \cdot E} + \frac{B \cdot D}{A \cdot E + B \cdot D + B \cdot E} +$$

$$+ K_1 \cdot \left(A + \frac{-(A+B)-(D+E) - \sqrt{(A+B+D+E)^2 - 4 \cdot (A \cdot E + B \cdot D + B \cdot E)}}{2} \right) \cdot \exp \frac{-(A+B+D+E) + \sqrt{(A+B+D+E)^2 - 4 \cdot (A \cdot E + B \cdot D + B \cdot E)}}{2} \cdot t +$$

$$+ K_2 \cdot \left(D + \frac{[(A+B)-(D+E)] + \sqrt{(A+B+D+E)^2 - 4 \cdot (A \cdot E + B \cdot D + B \cdot E)}}{2} \right) \cdot \exp \frac{-(A+B+D+E) - \sqrt{(A+B+D+E)^2 - 4 \cdot (A \cdot E + B \cdot D + B \cdot E)}}{2} \cdot t \quad (1)$$

ahol

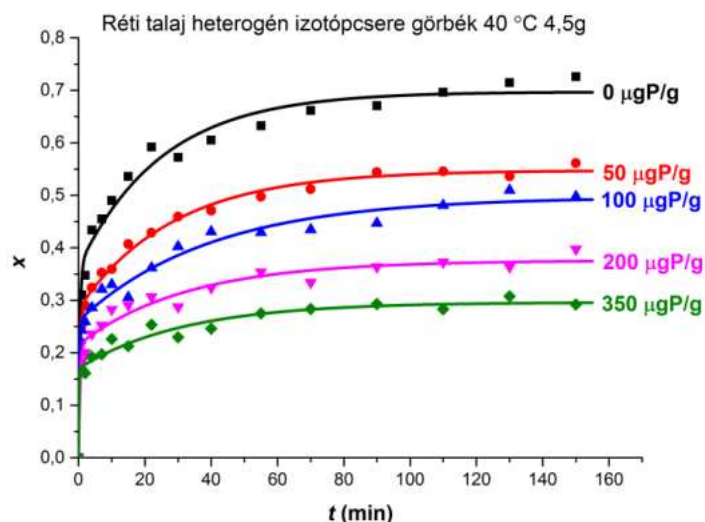
$$K_1 = \frac{B \cdot D}{A \cdot E + B \cdot D + B \cdot E} \frac{[(A+B)-(D+E)] + \sqrt{(A+B+D+E)^2 - 4 \cdot (A \cdot E + B \cdot D + B \cdot E)}}{2} \frac{A \cdot E \cdot D}{A \cdot E + B \cdot D + B \cdot E} \text{ and}$$

$$K_2 = \frac{A \cdot E}{A \cdot E + B \cdot D + B \cdot E} \frac{-(A+B)-(D+E) - \sqrt{(A+B+D+E)^2 - 4 \cdot (A \cdot E + B \cdot D + B \cdot E)}}{2} \frac{A \cdot B \cdot D}{A \cdot E + B \cdot D + B \cdot E}$$

ahol x a talaj relatív radioaktivitása (dimenziómentes), t az idő (percben), A , B , D és E pedig illesztési paraméterek. A fotometriás mérés alapján meghatároztuk a talajoldatbeli foszfátkoncentrációkat, abból pedig az oldatbeli foszfortömegeket (m_1) μg -ban. Ebből az egyes kötőhelyeken megkötött foszformennyiségeket, illetve a steady-state sebességeket a következőképpen számíthatjuk ki:

$$C_1 = A \cdot m_1, m_{2a} = \frac{A}{B} \cdot m_1, C_2 = D \cdot m_1, m_{2b} = \frac{D}{E} \cdot m_1 \quad (2)$$

ahol C_1 és C_2 a steady-state sebességek, m_{2a} és m_{2b} pedig a megkötött foszformennyiségek a 2a és 2b kötőhelyeken. (A talajon megkötött foszformennyiségeket a korábbi munkáinkban bevett jelölésnek megfelelően m_2 -vel jelöljük, ezt osztja tovább a két kötőhelyes modell a és b típusra). A 40 °C-os kísérletsorozat heterogén izotópcseré görbéit az 1. ábrán láthatjuk, a másik 4 hőmérsékleten az illesztés ugyanilyen módon történt. Az illesztési paramétereket és azok standard hibáját, valamint az oldatbeli foszfátkoncentrációkat az 1. táblázatban találjuk.



1. ábra: Réti talaj heterogén izotópcseréjének biexponenciális kinetikai görbéi 0 °C-on (4,5 g réti talaj / 300 cm³ reakcióelegy)

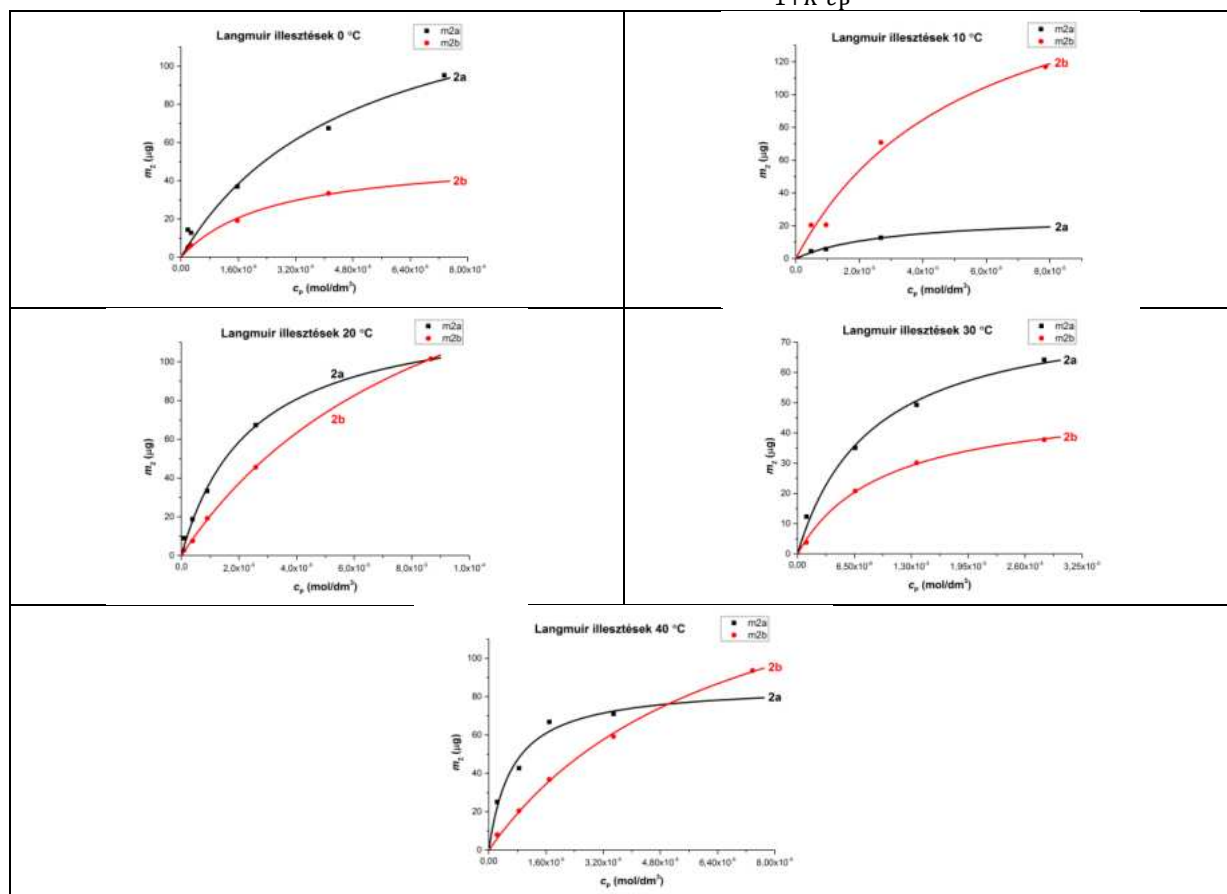
	Minta	A	$\sigma(A)$	B	$\sigma(B)$	D	$\sigma(D)$	E	$\sigma(E)$	c_P (mol/dm ³)
0 °C	0 µgP/g	0,0140	0,0017	0,0114	0,0023	1,0170	0,1937	2,2651	0,4924	1,89E-06
	50 µgP/g	0,0098	0,0010	0,0132	0,0019	0,7038	0,0832	1,9479	0,2684	2,79E-06
	200 µgP/g	0,0058	0,0014	0,0154	0,0047	0,2830	0,0725	1,4391	0,4429	1,57E-05
	500 µgP/g	0,0040	0,0006	0,0190	0,0034	0,4294	0,1474	3,6348	1,4232	7,35E-05
	350 µgP/g	0,0084	0,0018	0,0319	0,0063	0,2012	0,0862	1,5395	0,7761	4,12E-05
10 °C	50 µgP/g	0,3439	0,1003	2,2432	0,7549	0,0122	0,0011	0,0177	0,0020	4,77E-06
	100 µgP/g	0,2375	0,1271	2,4288	1,4920	0,0078	0,0013	0,0223	0,0043	9,51E-06
	200 µgP/g	0,0686	0,0132	0,8944	0,2254	0,0099	0,0007	0,0232	0,0016	2,68E-05
	500 µgP/g	0,0634	0,0152	0,7099	0,2310	0,0069	0,0011	0,0287	0,0041	7,86E-05
20 °C	0 µgP/g	0,0183	0,0031	0,0118	0,0032	0,7497	0,1760	1,5976	0,4528	9,41E-07
	50 µgP/g	0,0167	0,0029	0,0214	0,0044	0,8522	0,3022	2,6881	1,0847	3,88E-06
	100 µgP/g	0,0116	0,0024	0,0195	0,0048	0,7243	0,1782	2,1061	0,6072	8,98E-06
	200 µgP/g	0,0123	0,0030	0,0292	0,0073	0,9016	0,3675	3,1678	1,4464	2,58E-05
	500 µgP/g	0,0019	0,0024	0,0182	0,0317	0,2457	0,0866	1,3003	0,5694	8,66E-05
30 °C	0 µgP/g	0,0215	0,0022	0,0111	0,0019	0,8897	0,1059	1,4772	0,2162	1,02E-06
	50 µgP/g	0,0172	0,0025	0,0200	0,0034	0,8818	0,1181	1,7327	0,2834	6,60E-06
	100 µgP/g	0,0132	0,0020	0,0226	0,0038	0,8658	0,1691	2,4264	0,5476	1,36E-05
	200 µgP/g	0,0135	0,0018	0,0368	0,0050	1,4853	1,9240	6,8637	9,1175	2,82E-05
40 °C	0 µgP/g	0,0327	0,0051	0,0188	0,0037	0,8537	0,1704	1,5339	0,3879	2,32E-06
	50 µgP/g	0,0180	0,0017	0,0220	0,0024	0,7104	0,0803	1,8096	0,2488	8,43E-06
	100 µgP/g	0,0109	0,0018	0,0171	0,0037	0,8982	0,2187	2,5596	0,7055	1,69E-05
	200 µgP/g	0,0080	0,0020	0,0243	0,0065	0,5093	0,1072	1,8615	0,4708	3,49E-05
	350 µgP/g	0,0058	0,0012	0,0267	0,0061	1,2112	1,0278	5,9178	5,2017	7,38E-05

1. táblázat: Réti talaj heterogén izotópcseréje: a biexponenciális kinetikai egyenlet illesztési paraméterei és a fotometriából kapott oldatbeli egyensúlyi foszfátkoncentrációk (4,5 g réti talaj / 300 cm³ reakcióelegy)

A (2) egyenlet segítségével kiszámítottuk mindegyik reakcióelegy esetében a 2a, illetve 2b kötőhelyeken megkötött foszformennyiségeket (m_{2a} és m_{2b} µg-ban), majd az azonos hőmérsékletre

tartozó m_{2a} és m_{2b} értékeket ábrázoltuk az oldatbeli foszfátkoncentráció (c_P mol/dm³-ben) függvényében. A kapott pontokat ezután a Langmuir-izotermával (3) illesztettük, ahol m_2 a 2a vagy 2b kötőhelyen megkötött foszfor tömege (μg), K a szorpciós állandó (dm³/mol), M pedig a maximálisan megköthető foszformennyiség az adott kötőhelyen (μg). A Langmuir illesztéseket a 2. ábrán láthatjuk, az illesztési paramétereket pedig a 2. táblázatban.

$$m_2 = \frac{K \cdot M \cdot c_P}{1 + K \cdot c_P} \quad (3)$$



2. ábra: Langmuir izoterma illesztése az m_2 vs. c_P adatpontokra réti talajon a 2a és 2b kötőhelyeken 0, 10, 20, 30 és 40 °C-on

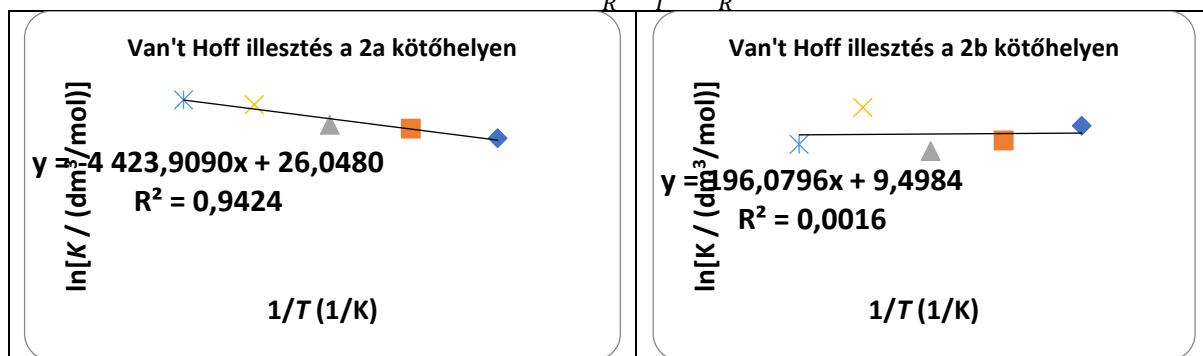
		K (dm ³ /mol)	σK (dm ³ /mol)	M (μg)	σM (μg)	R^2
0 °C	2a	20790,2	7533,1	153,98	27,54	0,9796
	2b	39525,4	10011,1	53,25	6,41	0,9910
10 °C	2a	34171,0	14980,6	26,36	6,92	0,9801
	2b	18391,6	6016,2	199,66	33,52	0,9813
20 °C	2a	41457,4	11366,8	129,35	20,13	0,9897
	2b	10785,7	497,5	210,09	5,66	0,9998
30 °C	2a	117919,2	22663,1	82,15	5,77	0,9925
	2b	101128,9	9397,6	51,40	1,86	0,9984
40 °C	2a	149852,1	44678,7	86,29	8,04	0,9756
	2b	15206,3	1475,8	175,87	9,81	0,9983

2. táblázat: Langmuir-izoterma illesztési paramétereit és azok hibája a foszfátionok réti talajon való szorpciójára a 2a és 2b kötőhelyen 0, 10, 20, 30 és 40 °C-on

A szorpció termodinamikai paramétereinek vizsgálata céljából mindkét kötőhelynél $\ln K$ -t ábrázoltuk $1/T$ függvényében, majd a kapott pontokat illesztettük a Van't Hoff egyenlet linearizált formájával (4), ahol K a szorpció egyensúlyi állandója (számértékeileg megegyezik a Langmuir izotermából

kapott szorpciós állandóval, de dimenziómentes), R az egyetemes gázállandó (8,314 J/(mol·K)), T a termodinamikai hőmérséklet (K), ΔH^0 a standard szorpciós entalpia (J/mol), ΔS^0 pedig a standard szorpciós entrópia (J/(mol·K)).

$$\ln K = -\frac{\Delta H^0}{R} \cdot \frac{1}{T} + \frac{\Delta S^0}{R} \quad (4)$$



3. ábra: Van't Hoff egyenlet illesztése az $\ln K$ vs. $1/T$ adatpontokra a 2a és 2b kötőhelyeken

A 3. ábrán látható illesztett egyenesek meredekségeiből és tengelymetszeteiből a (4) egyenlet segítségével kiszámítottuk a standard szorpciós entalpiát és entrópiát mindkét kötőhelyre, és a következő értékeket kaptuk:

	2a	2b
ΔH^0 (kJ/mol)	36,78	-1,63
ΔS^0 (J/mol/K)	216,6	79,0

4. KÖVETKEZTETÉSEK

Az eddigiek alapján egyértelműen látszik, hogy a heterogén izotópcserre kinetikájára Vörös és mtsai által felállított két kötőhelyes modell alkalmas az egyensúlyi megkötött foszfátmennyiségek meghatározására külön-külön az egyes kötőhelyeken. A megkötött foszfátmennyiségeket az oldatbeli foszfátkoncentráció függvényében ábrázolva szorpciós izotermák vehetők fel, a szorpciós állandó hőmérsékletfüggéséből pedig a standard szorpciós entalpia (ΔH^0) és entrópia (ΔS^0) a két kötőhelyre külön-külön kiszámítható. ΔH^0 értéke a 2a kötőhely esetében kis pozitív szám, a 2b kötőhelynél pedig hibahatáron belül gyakorlatilag 0. ΔS^0 értéke ugyanakkor mindkét kötőhely esetén határozottan pozitív. Mindez azt bizonyítja, hogy a szorpció mechanizmusa **nem lehet sem egyszerű felületi adszorpció, sem csapadékképződés**: utóbbiaknál ugyanis az entrópiának csökkennie kellene, hiszen mind a megkötődés, mind az ionok lecsapódása a rendezettség növekedésével jár. A foszfátionok réti talajon való szorpciójának valószínűsíthető mechanizmusa tehát valamilyen cserereakció: ez jelenthet ioncserét, vagy pedig azt, hogy a megkötődő foszfátionok vízmolekulákat löknek le a felületi kötőhelyről. Utóbbi feltételezést erősíti, hogy a 2a kötőhelyen ΔH^0 értéke a hidrogénkötések felszakítási energiájának nagyságrendjébe esik [viii].

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Mansell, R. S. et al., *Soil Science*, **1977**, 124, 102-109.
- [1] Fardeau, J. C., *Fertilizer Research*, **1996**, 45, 91-100.
- [1] U. Kafkafi et al., *SoilSci. Soc. Amer. Proc.*, **1967**, 31, 348.
- [1] E. Frossard, et al., *Biol. Fertil. Soils*, **1997**, 24, 1.
- [1] Kónya, J.; Nagy, N. M., *Soil & Tillage Research*, **2015**, 150, 171-179.
- [1] Vörös, J. et al., *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **2024**, 333, 1011-1028.
- [1] Vörös, J. et al., *Applied Radiation and Isotopes*, **2024**, ARI-D-24-00146R1, under review
- [1] G. R. Desiraju, T. Steiner: *The Weak Hydrogen Bond in Structural Chemistry and Biology*; Oxford University Press, **2001**

PIKLÉN ALAPVÁZAS KELÁTORMOLEKULÁK JELÖLÉSE RADIOTERBIUM IZOTÓPOKKAL, A PH ÉS HŐMÉRSÉKLET HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA

Fodor Mátyás^{*1,2}, Brezovcsik Károly², Váradi Balázs¹, Tircsó Gyula¹, Szűcs Zoltán²

¹Debreceni Egyetem, Kémia Doktori Iskola, 4032 Debrecen, Egyetem Sugárút 1.

²Atommagkutató Intézet, 4026 Debrecen Bem tér 18/c

Absztrakt

A kísérletek során radioterbiumot állítottunk elő és tisztítottunk meg a besugárzott Gd₂O₃-tól. A lantanidák elválasztásánál használt eluensek szerkezeti elemzésével új eluens anyagot választottam, és kísérleteket végzek az elválasztási hatékonyság meghatározására. A kísérletek a pályázat beküldésének idején még folyamatban vannak. Várakozásaim szerint a jelenlegi módszernél olcsóbban és hatékonyabban tudom majd a Tb³⁺ és Gd³⁺ ionokat elválasztani az új módszer segítségével.

A korábban bemutatott módon különböző kelátor vegyületeket jeleztünk Tb izotópokkal, és vizsgáltunk a jelzési hatások változását a kelátor koncentráció, valamint pH és a hőmérséklet függvényében. A radiokémiai hozamot jelentősen növeltük a pufferoldat optimalizálásával, illetve alternatív módszert dolgoztam ki rendkívül kis mintaoldatok pH mérésére, amely finomabb pH kontrollt tett lehetővé. A korábbi eredményekkel összevetve a változtatások jelentős javulást eredményeztek a radiokémiai hozamban, és lehetővé tették kisebb kelátor koncentrációk alkalmazását.

Abstract

During the experiments, terbium radioisotopes were produced, separated and purified from the irradiated material. By analysing the chemical properties of the eluents used for lanthanide separation, a new method is proposed for the separation of Gd³⁺ and Tb³⁺ ions. The separation experiments to determine the efficacy of the method are being carried out at the time of publication. If the experiments are successful, they will provide a cheaper and more efficient method to separate the aforementioned ions after target irradiation.

Various chelator molecules were labelled with radioterbium isotopes and the radiochemical yield was studied in the function of chelator concentration, temperature and pH, as described in the previous presentation. Radiochemical yield was significantly improved by optimizing the buffer solution as well as developing a new method to measure the pH of very small volume samples. This allowed for more precise pH control. Comparing the results with those acquired with the previous method, this led to considerable increase in radiochemical yield, and allowed the use of lower chelator concentrations in radiolabelling.

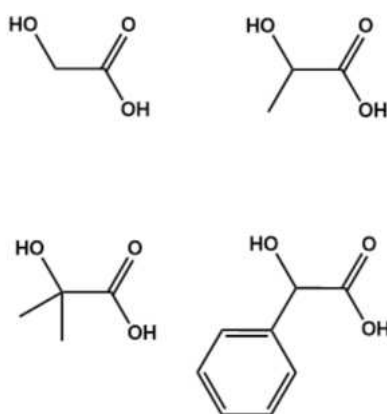
1. BEVEZETÉS

A jelen bemutatott munkám az előző, 2023-as évben bemutatott kutatási eredményeimre épül¹. A radioterbium izotópokat ciklotronnal állítottam elő, természetes izotópeloszlású Gd₂O₃ portabletta besugárzásával². A tablettakészítés módszerét optimalizáltam, hogy alkalmas legyen öntartó tablettá előállítására kis mennyiségű (50mg és kevesebb) Gd₂O₃ porból. Megfelelő mátrixanyagot választottam a tablettá mechanikai tulajdonságainak javítására. Új eljárást terveztem a Tb³⁺ és Gd³⁺ költséghatékonyabb elválasztására, amely jelenleg még kísérleti stádiumban van. Új eljárást alkalmaztam kis térfogatú radioaktív oldat (<10μL) pH-jának mérésére. A jelzési reakció sebességét és hatásfokát a pH és hőmérséklet függvényében optimalizáltuk, amit HPLC módszerrel követtünk nyomon.

2. KÍSÉRLETI LEÍRÁS

A munkát a különböző radioterbium izotópok előállításával kezdtük, amelyet a korábban leírt módon végeztünk². A radionuklidokat ionkromatográfias módszerrel választottuk el a targetanyagtól. Állófázisként AG 50w-X8 gyantátöltetet, eluensként pedig 2-hidroxi-2-metilpropánsav vizes oldatát használtuk. Folytak kísérletek 2-hidroxi-2-fenilecetsav alapú elválasztásokra is, azonban a konferenciára való jelentkezés határidejéig ezen kísérletek még nem fejeződtek be.

A szakirodalom tejsav- illetve 2-hidroxi-2-metilpropánsav(α-HIBA) vizes oldatát említi, mint lantanidák kromatográfias elválasztásánál alkalmazott eluenst. A vegyületek alapváza mindkét esetben a glikolsav, amely alfa szénatomján a hidrogéneket metilcsoportokra cserélve kapjuk meg a másik két vegyületet (ld. 1. ábra). Az elválasztás alapja, hogy az eltérő méretű lantanida ionok a hidroxil- és karboxilcsoportokhoz való koordinációját az alfa szénatom funkciós csoportjainak szterikus gátlása a fémionok méretének függvényében kissé csökkenti^{3,4}. Ez kissé eltérő stabilitást ad a keletkező komplexeknek, és kromatográfias szempontból kihasználható a lantanidák elválasztására. A szterikus gátlás növelésével azt várhatjuk, hogy ez a szelektivitás nő, így logikus lépés az elválasztási módszer javítására az eluens alfa szénatomján valamilyen megfelelő funkciós módosítás⁵. A kísérleteim alapötlete hogy a glikolsav egyik hidrogénjét fenilcsoportra cserélem és vizsgálom az elválasztás hatékonyságát a 2-hidroxi-2-metilpropánsavas módszerhez képest.



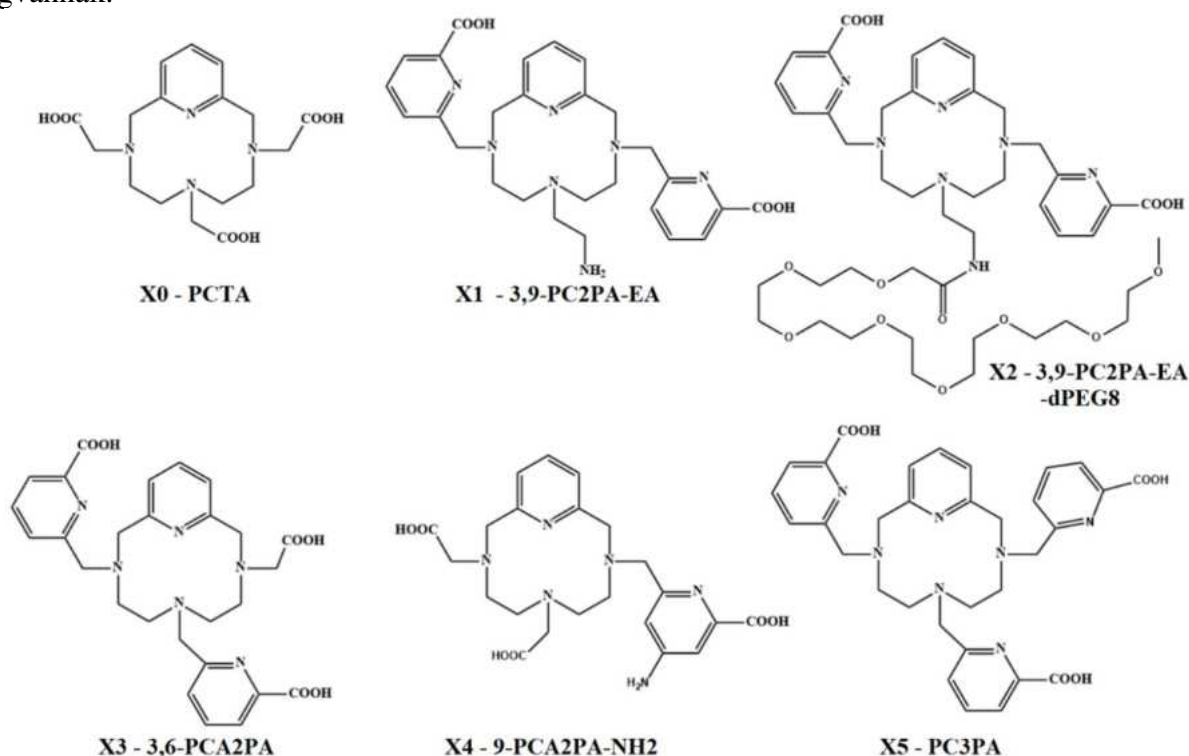
1. ábra. α-hidroxi-karbonsavak: glikolsav, 2-hidroxi-2-metilpropánsav és 2-hidroxi-2-fenilecetsav

A 2-hidroxi-2-fenilecetsav eluensként való alkalmazása mellett a 2-hidroxi-2-metilpropánsavnál nagyobb hidrofobicitásának hála alkalmas lehet C-18-as kolonntöltet felületi módosítására, amelyet követően egy alternatív, HPLC-re épülő elválasztási módszert kaphatunk. A 2-hidroxi-2-fenilecetsavat korábban urán és tórium elválasztására már használták ilyen módszerrel, de tudomásom szerint eluensként illetve Tb^{3+} - Gd^{3+} elválasztásra még nem volt kísérlet.^{4,6}

A radioizotópos jelölés előtt módszert fejlesztettem ki rendkívül kis folyadéktérfogatok (3-5 μ L) pH mérésére, hogy a jelölendő oldatok pH-ját is tudjam mérni. Ez azért fontos, mert a korábbi mérések eredményei azt mutatták, hogy a pH változása jelentős javulást (vagy romlást) okoz a radiokémiai hozamban. A pH a vizes oldatokban lévő egyensúlyi folyamatokat befolyásolva meghatározza az anyagok fajlagos formáit, terbium esetében Tb^{3+} ion vagy hidroxó-, oxo-hidroxó komplexek, csapadék. Emellett a kelátorok protonáltsági fokát is módosítja, ami kihatással van a fémionokkal való kölcsönhatásukra.

A kis mintatérfogatok (150 μ L ösztérfogat) miatt pH mérő elektród nem használható. Alternatívaként felmerült a pH papír használata azonban nem szerettünk volna indikátorgegyületeket illetve esetlegesen papírmorzszát juttatni az oldatba, különösen HPLC injektálás előtt. Felmerült a lehetőség hogy apró (kb. 1mm*3mm) méretű indikátor papír darabot vágjunk le, és arra cseppentsünk a mintából kis térfogatot. Mivel az indikátoranyagok maguk is befolyásolhatják a pH-t kismértékben ezért a módszer működőképességét ismert pH-jú referenciaoldatok mérésével kezdtem. Ezen mérések azt mutatták hogy már 3-5 μ L mintatérfogat is jól mérhető ilyen módon.

Jelenleg az 1. ábrán bemutatott kelátormolekulákat vizsgálom azonban a pályázat benyújtásának idejéig a kísérletek még folyamatban vannak. Az X0 és X2 kelátor mérési eredményei már megvannak.



2. Ábra. A vizsgált kelátor vegyületek

Valamennyi kelátormolekulát Dr. Tircsó Gyulától és Váradi Balázstól kaptuk (Debreceni Egyetem, Fizikai Kémiai Tanszék). A molekulák megtisztítva, vizes oldatként kerültek hozzánk, így folytattuk velük a munkát. A korábitól eltérő módon a mérést a törzsoldatok pH-jának mérésével kezdtem. A törzsoldatokból készült hígított oldatok illetve a radiokémiai jelzéshez összeállított minták pH-ját kevés mintatérfogot kivételével mértem. A továbbiakban aktív terbiummal végeztünk kísérleteket 1,0mM – 10 μ M kelátor koncentráció tartományban, szobahőmérsékleten (25°C) és 50°C követtük a reakciót. A reakcióelegyhez MES illetve HEPES puffert adtunk a megfelelő pH beállításához. Mivel azt találtuk hogy a korábban alkalmazott 5mM pufferoldat koncentráció nem elegendő minden kelátormolekula esetében a megfelelő pufferhatás eléréséhez a kísérleteket 50mM pufferoldat koncentráció mellett végeztük.

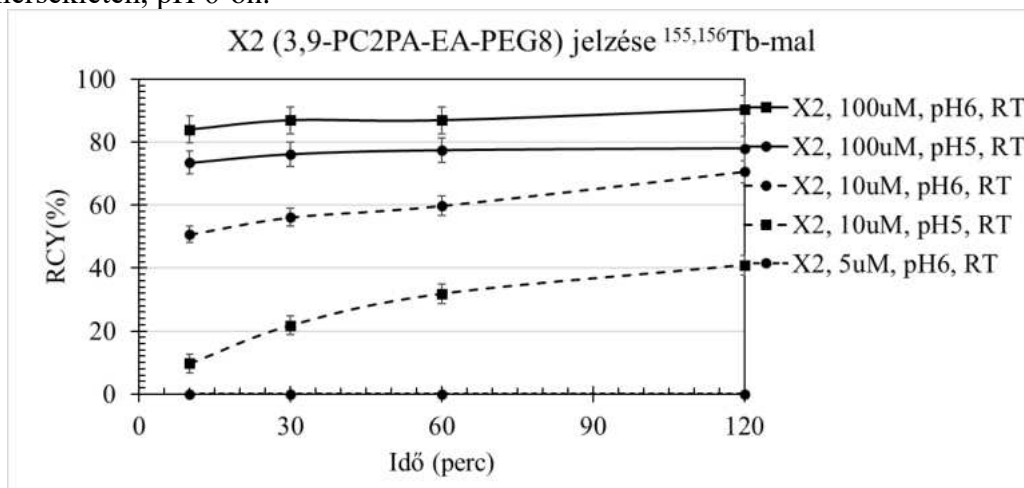
3. AZ EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSE

A 2. táblázat mutatja be a pH mérések eredményeit. A kelátor törzsoldatok koncentrációja 2-5mM tartományban van, a pH értékük pedig 2-3. Az eredeti feltételezés miszerint 1mM-ra hígítva a kelátorok koncentrációját 5mM pufferoldat képes lenne a pH-t a megfelelő értékre pufferálni nem állta meg a helyét, ugyanis a mért pH értékek 1mM kelátor koncentráció esetében 2,9-4,3 közötti érték. A TbCl₃ oldatot is lemértem, de TbCl₃-ot rendkívül kis mennyiségben (1-10 μ L) és koncentrációban (pM) tartalmaznak a mintaoldatok, így az nem valószínű hogy befolyásolná a pH-t. Az 5mM-os pufferoldatot használva a kelátorok koncentrációját 100 μ M-ra hígítva a minták nagy része pH-ja megfelelő, de az X2-es minta pH-ja eltér, 4,9. A pufferoldatokat 50mM-os koncentrációban alkalmazva az oldatok megfelelő pH-n tarthatók: még 1mM-s kelátor koncentráció tartományban is legfeljebb 5,5-ig csökken a pH. A kelátorok koncentrációját 100 μ M-ra csökkentve az összes minta pH-ja megfelelő.

3. Táblázat. A pH mérések eredményei

	Electrode	pH _{pap1}	pH _{pap2}	pH _{pap3}						
MES 5mM, pH6	5.78	5.7	5.6	5.7	5.7					
MES 50mM pH6	5.98	5.9	6.0	6.1	6.0					
		5mM buffer					50mM buffer			
X0	2.0mM, no buffer	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	
	1.0mM	-	3.0	3.0	3.0	5.8	5.7	5.9	5.8	
	100uM	-	5.6	5.6	5.6	5.9	5.9	5.9	5.9	
X2	3.8mM, no buffer	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	
	1.0mM	-	2.8	3.0	2.9	5.3	5.6	5.5	5.5	
	100uM	-	5.0	5.0	4.9	5.9	5.9	5.9	5.9	
X3	2.0mM, no buffer	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0			3.0	
	1.0mM	-	4.0	4.5	4.3	5.8	5.9	5.9	5.9	
	100uM	-	5.6	5.9	5.8	5.9	5.9	5.9	5.9	
X4	5.0mM, no buffer	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
	1.0mM	-	3.0	3.0	3.0	5.9	5.9	5.8	5.9	
	100uM	-	5.9	5.6	5.8	5.9	5.9	5.9	5.9	
X5	5.0mM, no buffer	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
	1.0mM	-	3.5	3.0	3.3	5.9	5.8	5.9	5.9	
	100uM	-	5.6	5.9	5.7	5.9	5.9	5.9	5.9	
TbCl3	36.1mM (no buffer)	5.6	5.6	5.3	5.5					
Composition: 1uL TbCl3, appr. amount of chelator, fill with buff. to 150uL.										

A pH beállítása után a jelölés hatékonyságát a korábban részletezett módon követtük HPLC-vel, radiodetektorral. A jelen pályázat benyújtásának idején még folyamatban vannak ezek a mérések. Az X2-es vegyület eredményeit a 4. ábra mutatja. Emlékeztetőül a 2023-ban bemutatott eredmények szerint az X2 1,0mM koncentrációban 2h alatt 93,8% radiokémiai hozamot (RCY) ér el, 100 μ M koncentrációban már csak 3,16%-ot. Összehasonlításként a referenciaként választott X0 mér 1 μ M koncentráció tartományban is közel 100% radiokémiai hozamot ér el, már 10 perc alatt szobahőmérsékleten, pH 6-on.



4. Ábra. Az X2-es kelátor jelzése terbium radioizotópokkal

4. KONLÚZIÓ

A korábbi nem kielégítő radiokémiai hozamok okát sikerült azonosítanom. A mintaoldatok pH-ja a hozzáadott pufferoldat ellenére a kívánt érték alá csökkent, mert a kelátorok a vártnál jobban megsavanyították a mintákat. A probléma orvoslásaként sikerült megoldást találnom rendkívül kis térfogatú radioaktív minták pH mérésére reprodukálható módon, úgy hogy azok a mérést követően HPLC injektálásra alkalmasak maradjanak. További kísérleteket szeretnék folytatni pontosabb pH mérési eljárás kidolgozására, amely során a mérés érzékenységét javítanám spektrofotométerrel. Terveim szerint kis mennyiségű állandó koncentrációjú indikátor oldatot használnék, amelyet spektrofotométerrel leolvastva kikerülném az indikátorpapír színváltozásának szabad szemmel való leolvasásából adódó hibát.

A pufferoldat koncentrációjának növelésével jelentősen javítani tudtam a kelátormolekulák terbium fémion kötő képességét, az X2 esetében akár több mint 90%-kal. A további minták mérése még folyamatban van, de az X2 minta mérési eredményei alapján hasonló javulást várok a korábbi adatokhoz képest.

A radiofémionos jelöléseken kívül optimalizálom a Tb³⁺ és Gd³⁺ fémionok elválasztási módszerét egy olcsóbb, remélhetőleg szelektívebb eluens, a 2-hidroxi-2-fenilecetsav alkalmazásával. Az erre vonatkozó kísérletek még szintén folyamatban vannak.

5. RÖVIDÍTÉSEK

HPLC - high pressure liquid chromatography - nagynyomású folyadékkromatográfia

(X0) PCTA - 3,6,9,15-Tetraazabicyclo[9.3.1]pentadeca-1(15),11,13-triene-3,6,9-triacetic acid

(X1) 3,9-PC2PA-EA - 6,6'-((6-(2-aminoethyl)-3,6,9-triaza-1(2,6)-pyridinacyclodecaphane-3,9-diyl)bis-(methylene))dipicolinic acid

(X2) 3,9-PC2PA-EA-m-dPEG®₈ - 6,6'-((6-(26-oxo-2,5,8,11,14,17,20,23-octaoxa-27-azanonacosan-29-yl)-3,6,9-triaza-1(2,6)-pyridinacyclodecaphane-3,9-diyl)bis(methylene))dipicolinic acid

(X3) 3,6-PC1A2PA – 6,6'-((9-(carboxymethyl)-3,6,9-triaza-1,(2,6)-pyridinacyclodecaphane-3,6-diyl)bis(methylene))dipicolinic acid

(X4) 9-PC2A1PA-NH2 – 2,2'-(9-((4-amino-6-carboxypyridin-2-yl)methyl)-3,6,9-triaza-1(2,6)-pyridinacyclodecaphane-3,6-diyl)diacetic acid

(X5) PC3PA – 6,6',6''-(3,6,9-triaza-1(2,6)-pyridinacyclodecaphane-3,6,9-triyltris(methylene) tripicolinic acid

TFA - trifluoacetic acid, trifluoecetsav, HPLC méréséknél a csúcsalak javítására használjuk

MES - morfolino-etánszulfonsav, Good's puffer pH 5.8-6.5

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kísérletek a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH) támogatásával, a TKP2021-NTKA-42 projekt keretén belül valósultak meg. A kutatást támogatta az MTA Román-Magyar Bilaterális együttműködésének NKM2022-16/2023 számú pályázata, valamint az Eötvös Lóránd Kutatói Hálózat SA-100/2021 számú pályázata.

IRODALOMJEGYZÉK

- (1) https://public.ek-cer.hu/~lazar/Kem-Tud-Oszt_Rad-Kem-Biz/5_ORN/ORN2023_konferenciakiadvany.pdf. https://public.ek-cer.hu/~lazar/Kem-Tud-Oszt_Rad-Kem-Biz/5_ORN/ORN2023_konferenciakiadvany.pdf (accessed 2024-09-14).
- (2) Brezovcsik, K. 52Mn és 155,156Tb radioizotópok ciklotronnal végzett előállítására és tisztítása, valamint kukorica palánták fenotipizálása 52Mn radioizotóppal miniPET kamera és gamma spektrométer felhasználásával. Doctoral Thesis, University of Debrecen, Debrecen, 2022.
- (3) Ellis, R. J.; Brigham, D. M.; Delmau, L.; Ivanov, A. S.; Williams, N. J.; Vo, M. N.; Reinhart, B.; Moyer, B. A.; Bryantsev, V. S. "Straining" to Separate the Rare Earths: How the Lanthanide Contraction Impacts Chelation by Diglycolamide Ligands. *Inorg. Chem.* **2017**, *56* (3), 1152–1160. <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.6b02156>.
- (4) Raut, N. M.; Jaison, P. G.; Aggarwal, S. K. Separation and Determination of Lanthanides, Thorium and Uranium Using a Dual Gradient in Reversed-Phase Liquid Chromatography. *J. Chromatogr. A* **2004**, *1052* (1–2), 131–136. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.08.054>.
- (5) Nash, K. L.; Jensen, M. P. Analytical Separations of the Lanthanides: Basic Chemistry and Methods. In *Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths*; Elsevier, 2000; Vol. 28, pp 311–371. [https://doi.org/10.1016/S0168-1273\(00\)28008-2](https://doi.org/10.1016/S0168-1273(00)28008-2).
- (6) Cheng, Y.; Cai, T.; Feng, J.; Yu, W.; Yu, D.; Zhou, Y.; Su, D.; Gan, Q.; Liang, B.; Guo, Z. Efficient Separation of Uranium and Lanthanides Based on High-Performance Ion Exchange Chromatography. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* **2024**, *333* (1), 281–288. <https://doi.org/10.1007/s10967-023-09249-w>.

**2024. október 15.
kedd**

további előadások

ZÁRT SUGÁRFORRÁSOK ÉS NYITOTT RADIOAKTÍV KÉSZÍTMÉNYEK OAH ELLENŐRZÉSE 2. KÓRHÁZAK NUKLEÁRIS MEDICINA OSZTÁLYAINAK ELLENŐRZÉSE, TAPASZTALATOK

Machula Gábor, Déri Zsolt, Hum Gábor

Országos Atomenergia Hivatal

Az előadás célja, hogy a zárt sugárforrásokat és nyitott radioaktív készítményeket alkalmazó Ügyfelek részére bemutassa az Országos Atomenergia Hivatal (továbbiakban OAH) ellenőrzéseket - jelen esetben a Nukleáris Medicina Osztályok ellenőrzését -, kiemelve azok sarokpontjait.

Az előadás a kórházak Nukleáris Medicina Osztályainak ellenőrzése során tapasztaltakra fókuszál, bemutatva az ellenőrzések folyamatát, az Ügyfél kötelezettségeit, az ellenőrzésre történő felkészülést, mind az Ügyfél, mind az OAH oldaláról. Rávilágítunk a helyszínen, az adminisztratív területen tapasztalt általános és a különleges problémákra. Áttekintjük az integrált sugárvédelmi ellenőrzések lefolytatását, elsősorban sugárvédelmi oldalról, érintve a fizikai védelmet, illetve radioaktív anyagok nyilvántartásának ellenőrzését. Bemutatjuk az alkalmazott mérőműszereket és az ellenőrző mérések folyamatát.

A tapasztalatokat összegezve reméljük, hogy az együttműködés az Ügyfél és az OAH között a jövőben, még inkább, a jogszabályi előírásoknak megfelelő és probléma mentes lesz.

AUTHORITY CONTROL OF CLOSED RADIOACTIVE SOURCES AND OPEN RADIOACTIVE PRODUCTS 2. INSPECTION OF NUCLEAR MEDICINE DEPARTMENTS IN HOSPITALS, EXPERIENCES

Gábor Machula, Zsolt Déri, Gábor Hum

Hungarian Atomic Energy Authority

The aim of the presentation is to provide an overview of the inspection processes driven by the National Atomic Energy Agency (hereafter Authority) of the Departments of Nuclear Medicine, focusing on application of closed radioactive sources and open radioactive preparations, by highlighting their crucial points.

The presentation covers the experiences during the inspections of the Nuclear Medicine Departments and of the hospitals, presenting the inspection process, the Customer's obligations, the preparation for the inspection, from both the Customer's and the Authority side. It highlights the general and special administrative problems encountered on site. and describes the integrated radiation protection inspections, focusing on the radiation protection side, affecting physical protection and the inspection of the records of radioactive materials. We present the applied measuring instruments and the process of control measurements.

Finally, it presents the solutions that enable successful cooperation between the costumers and the authority staff.

SUGÁRVESZÉLYES MUNKAHELYEK ENGEDÉLYEZTETÉSE – ENGEDÉLYEZÉSE (AVAGY, A „HATÓSÁG” ÚTVESZTŐI)

Kovácsné Bogdán Csilla, Kovácsné Huszár Noémi, Déri Zsolt

Országos Atomenergia Hivatal

Az előadás célja, hogy az engedélyesek számára bemutassa a különböző sugárveszélyes munkahelyeinek engedélyezési folyamatait, kiemelve annak fontosabb pontjait az Országos Atomenergia Hivatal (a továbbiakban: OAH) engedélyezési eljárásaiban. Röviden kitér az ügyfelek bejelentési és jelentési kötelezettségeire és útmutatást ad a típusengedélyekkel és a forgalomba hozatali engedélyekkel kapcsolatban is.

Az előadás röviden bemutatja az engedélyezés alapjait képező jogi előírásokat, majd végig vezeti a hallgatóságot az engedélyezési folyamatok fontosabb lépésein. Röviden ismerteti az engedélyesek kötelezettségeit, és módszertani útmutatót ad az egyes engedélyezési eljárásokra vonatkozóan.

Felhívja a figyelmet a sugárvédelem fontosabb szempontjaira és rámutat az általánosan tapasztalható problémákra, félreértésekre.

Végezetül bemutatja azokat a megoldásokat, amelyek elérhetővé teszik a sikeres együttműködést az engedélyes és az OAH között.

OCUPATIONAL RADIATION PROTECTION OBTAINING AND GRANTING AUTHORISATION (I.E. THE "LABIRINTH OF AUTHORITY")

Csilla. Bogdán Kovácsné, Noémi Huszár Kovácsné, Zsolt Déri

Hungarian Atomic Energy Authority

The aim of the presentation is to provide the authorisation holders with an overview of the authorisation processes of various radiation-hazardous activities, highlighting their key points. It briefly covers the reporting obligations of authorisation holders and also provides guidance on type approvals and marketing authorisations.

The presentation covers the legal requirements that form the basis of the authorisation and guides the audience through the main steps of the authorisation process. It briefly describes the obligations of the authorisation holders and provides methodological guidance on the different authorisation procedures.

It highlights the main aspects of radiation protection and points out common problems and misunderstandings. It describes the authorisation procedure and explains the responsibilities and possibilities of the Hungarian radiation protection inspectors.

Finally, it presents the solutions that enable successful cooperation between the authorisation holder and the authority staff.

AMIKOR A TERMÉSZETES EREDETŰ SUGÁRTERHELÉS NORM-ÁLIS, DE A SUGÁRTERHELÉS NEM FELTÉTLENŰ!

Déri Zsolt, Hum Gábor, Kapitány Sándor

Országos Atomenergia Hivatal

A NORM-ból származó ionizáló sugárzás káros hatásai elleni védekezés viszonylag új keletű a magyar jogalkotásban, ezért nincs túl sok tapasztalat a sugárvédelem ezen a területén. Ez a téma nagyon izgalmas és még a sugárvédelmi szakembereket is megosztja.

Ezért gondoltuk, hogy ez az előadás hiánypótló lesz ezen a területen.

A fő probléma, amiért nehéz kezelni ezt a sugárvédelmi területet, a következő:

Az ionizáló sugárzás hatásai függetlenek a forrás eredetétől (például természetes vagy mesterséges).

Ugyanakkor számolnunk kell azzal is, hogy a természetes forrásból származó átlagos éves dózisok elérhetik vagy sokkal magasabbak is lehetnek, mint a mesterséges források esetében. Ez igaz lehet a lakossági, de egyes ipari munkahelyekre is.

Nehéz tehát indokolni, hogy a szintet meghaladó sugárdózisok mesterséges eredetből eredő sugárzása esetén megelőző intézkedéseket adjunk, de egyébként nem kell cselekednünk, mert a sugárzás eredete természetes.

Ezenkívül bizonyos esetekben a természetes eredetű dózisok annyira megemelkedhetnek, hogy megelőző intézkedésekre van szükség.

Ezért a sugárvédelmi előírásoknak ki kell terjedniük a mesterséges eredetű sugárforrásokra, de a természetes eredetre is.

Ebben az előadásban szeretnénk bemutatni a NORM-hoz kapcsolódó sugárvédelmi jogszabályrendszer jelenlegi állapotát és az OAH szerepét ebben.

WHEN THE EXPOSURE TO NATURAL SOURCES OF RADIATION IS NORM-AL, BUT EXPOSURE IN THE WORKPLACE SHOULDN'T BE!

Zsolt Déri, Gábor Hum, Sándor Kapitány

Hungarian Atomic Energy Authority

Defenses against the harmful effects of ionizing radiation origin from NORM is relatively new in Hungarian legislation, therefore there are not too much experience in this field of radiation protection. This theme is very exciting and divided even the radiation protection experts.

This is why we thought that this presentation will fill some gap in this field.

The main problem why hard handling this field of radiation protection is:

The effects of ionizing radiation are independent of origin of the source (e. g. these are natural or artificial).

At the same we must take account of that the average annual doses of origin from natural sources may reach or be much more higher than in case of artificial sources. This may be true in case of public, but some industrial workplaces too.

So it is hard to justify that in case of radiation doses above a level origin from artificial sources we issues preventive measures, but otherwise we need not act because of that the origin of radiation is natural.

Additionally, in some cases the natural origin doses may be so elevated, so preventive measures needed.

This why radiation protection regulations have to cover the artificial origin radiation sources but the natural origin too.

In this presentation we would like to show present state of the radiation protection legislation system connecting to the NORM, and the role of HAEA of it

TRIMETOPRIM LEBONTÁSA NAGYENERGIÁJÚ IONIZÁLÓ SUGÁRZÁSSAL: KINETIKA ÉS MÁTRIXHATÁS

Kovács Krisztina¹, Tegze Anna¹, Bezsényi Anikó², Wojnárovits László¹

¹*HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont, 1121 Budapest, Konkoly-Thege Miklós út 29-33.*

²*Fővárosi Csatornázási Művek Zrt., 1087 Budapest, Asztalos Sándor út. 4.*

Az antibiotikumok jelenléte a vizekben egyre nagyobb kihívást jelent a környezetvédelemben, hiszen nagymértékben hozzájárulnak az antibiotikum-rezisztencia kialakulásához. A trimetoprim (TMP) egy széles körben alkalmazott antibiotikum, mely $\mu\text{g-ng dm}^{-3}$ koncentrációban kimutatható a környezetben [1–3]. A Nagyhatékonyságú Oxidációs Eljárások képesek hatékonyan eltávolítani a célvegyületet gyökös reakciókban [4–6]. E tanulmányban a TMP nagyenergiájú ionizáló sugárzással indukált lebomlását vizsgáltuk részletesen, tanulmányozva a pH és a különböző mátrixok hatását az eltávolítás hatékonyságára. A hidroxilgyökök ($\cdot\text{OH}$) elsősorban a molekula 1,2,3-trimetoxibenzol egységét (TMBz) támadják meg a TMP semleges és protonált formájában. A hidrogén-absztrakciós reakciók kismértékben járulnak hozzá a bomlási folyamatokhoz. A kémiai oxigénigény (KOI) és teljes szerves széntartalom (TOC) mérések alapján a TMP bomlása több lépésben játszódik le, mely során első lépésben kisebb molekulatömegű szerves töredékek keletkeznek. A bomlás kezdeti szakaszán a kiindulási vegyülethez képest toxikusabb vegyületek keletkeznek, a toxikus jelleg megszüntethető a dózis további emelésével. A sugárzásos kezelés hatására biológiailag lebomló bomlástermékek keletkeznek az oldatban. A kémiai lebonthatóságot különböző mátrixokban (nagy tisztaságú víz, csapvíz, szintetikus szennyvíz és tisztított szennyvíz) is vizsgáltuk. Az eredmények azt mutatták, hogy az egyes szerves és szervetlen mátrixkomponensek jelenléte lassítja a bomlási folyamatokat, ezáltal kisebb hatékonyság érhető el.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] J. O. Straub, *Antibiotics*, **2013**, 2, 115.
- [2] K. D. Brown et al., *Sci. Total Environ.*, **2006**, 366, 772
- [3] D. Fabregat-Safont et al., *Chemosphere*, **2023**, 337, 139375.
- [4] Y. Ji et al., *Chem. Eng. J.*, **2016**, 286, 16.
- [5] C.-C. Mo et al., *J. Environ. Chem. Eng.*, **2024**, 12(2), 112368.
- [6] Z. Zhang et al., *Radiat. Phys. Chem.*, **2016**, 127, 85.

HIGH ENERGY IONIZATION RADIATION INDUCED DEGRADATION OF TRIMETHOPRIM: KINETICS AND MATRIX EFFECT

Krisztina Kovács¹, Anna Tegze¹, Anikó Bezsényi², László Wojnárovits¹

¹*HUN-REN Centre for Energy Research, 1121 Budapest, Konkoly-Thege Miklós út 29-33.*

²*Budapest Sewage Works Pte Ltd., 1087 Budapest, Asztalos Sándor út. 4.*

The presence of antibiotics in water poses an increasing challenge to environmental protection, as they significantly contribute to the development of antibiotic resistance. Trimethoprim (TMP) is a widely used antibiotic that can be detected in the environment at concentrations ranging from μg to ng dm^{-3} [1–3]. The application of Advanced Oxidation Processes has proven effective in removing this target compound through radical reactions [4–6]. In this study, we investigated the degradation of TMP induced by high-energy ionizing radiation, focusing on the effects of pH and different matrices on the removal efficiency. Hydroxyl radicals ($\cdot\text{OH}$) primarily attack the 1,2,3-trimethoxybenzene unit (TMBz) of the TMP molecule in its neutral and protonated forms. Hydrogen abstraction reactions contribute minimally to the degradation processes. Based on measurements of chemical oxygen demand (COD) and total organic carbon (TOC), TMP degradation occurs in multiple steps, initially producing smaller molecular weight organic fragments. In the early stages of degradation, more toxic compounds form compared to the parent compound; however, this toxicity can be mitigated by increasing the absorbed dose. Radiation treatment results in the formation of biologically degradable products in the solution. The chemical degradability was also studied in various matrices (high-purity water, tap water, synthetic wastewater, and treated wastewater). The results showed that the presence of certain organic and inorganic matrix components slows down the degradation processes, resulting in reduced efficiency.

REFERENCES

- [1] J. O. Straub, *Antibiotics*, **2013**, 2, 115.
- [2] K. D. Brown et al., *Sci. Total Environ.*, **2006**, 366, 772
- [3] D. Fabregat-Safont et al., *Chemosphere*, **2023**, 337, 139375.
- [4] Y. Ji et al., *Chem. Eng. J.*, **2016**, 286, 16.
- [5] C.-C. Mo et al., *J. Environ. Chem. Eng.*, **2024**, 12(2), 112368.
- [6] Z. Zhang et al., *Radiat. Phys. Chem.*, **2016**, 127, 85.

STAPHYLOCOCCUS AUREUS TÖRZSEK ANTIBIOTIKUM-ÉRZÉKENYSÉGÉNEK VÁLTOZÁSA KÜLÖNBÖZŐ SÓKONCENTRÁCIÓK ÉS GAMMA BESUGÁRZÁS HATÁSÁRA

Homlok R.¹, Elsherbeny M.², Mohácsi-Farkas Cs.², Belák Á.²

¹ HUN-REN EK, Energia- és Környezetbiztonsági Intézet, Felületkémiai és Katalízis Laboratórium, Sugárkémiai csoport, Konkoly-Thege M. út 29-33, H-1121 Budapest

² MATE, Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet, Élelmiszer-mikrobiológia, -higiénia és -biztonság Tanszék, Somlói út 14-16, H-1118 Budapest

A *Staphylococcus aureus* komoly élelmiszerbiztonsági kockázatot jelentő Gram-pozitív patogén baktérium. Hőkezeléssel könnyen elpusztítható, de ha az élelmiszer keresztkontaminálódik, hőstabil toxinokat képes termelni. Mindemellett a *S. aureus* meticillin-rezisztens (MRSA) törzsét az Egészségügyi Világszervezet (WHO) a véráramfertőzések egyik fő okozójaként említi. Mivel az MRSA jelentős antimikrobiális rezisztenciával (AMR) jellemezhető és különösen jól alkalmazkodik a környezeti stressztényezőkhez (mint a magas sótartalom), magas kockázattal bír mind humánegészségügyi, mind élelmiszerbiztonsági szempontból.

A gamma-besugárzás hatékony módszer az élelmiszerek biztonságának növelésére, miközben csak minimális hatást gyakorol azok minőségére. Az antibiotikum-rezisztencia növekvő problémája miatt ebben a kutatásban azt vizsgáltuk, hogy hogyan reagál egy rezisztens (MRSA) és egy érzékeny (MSSA) *S. aureus* törzs az antibiotikumokra, miután környezeti stresszhatásoknak tettük ki őket. Ezek a stressztényezők megnövelt sókoncentrációt (ozmolaritást) és szubletális dózisú gamma-sugárzást jelentettek. A vizsgálat során néztük az antibiotikum-érzékenység és -rezisztencia változásait a stressz előtt és után, illetve PCR-alapú teszteket végeztünk a *mecA*, a béta-laktám antibiotikumokkal szembeni rezisztenciáért felelős gén kimutatására.

A *S. aureus* törzseket leteszteltünk antibiotikum-érzékenységre agardiffúziós módszerrel, tíz antibiotikum felhasználásával. Az MRSA-t továbbá 6%-os NaCl-oldatban és 0,6 kGy dózissal besugározva, külön-külön és kombinálva is vizsgáltuk. Összehasonlításként kezeletlen kontrollmintát használtunk. A baktérium túlélését és antibiotikum-rezisztenciáját néztük, továbbá PCR-tesztet végeztünk a *mecA* gén kimutatására az intra- és extracelluláris DNS-ben egyaránt.

Az eredmények azt mutatták, hogy a stresszhatások megváltoztatták a *S. aureus* antibiotikumokra adott reakcióit. Egyes antibiotikumokkal szemben megnövekedett az érzékenység, míg másokkal szemben fokozódott a rezisztencia. Különösen a növekvő NaCl-koncentrációk (6%, 10%, 12%) esetén fokozatosan csökkent a meropenemmel szembeni ellenálló képesség, és az érzékenység jelentősen növekedett, ha ezt szubletális, 0,6 kGy gamma-besugárzással kombináltuk. A PCR-eredmények megerősítették a *mecA* gén jelenlétét minden kezelés után, ami a DNS-ben történő változás hiányát jelezte a vizsgált génszakasz esetében. A baktériumszám jelentősen csökkent, különösen a besugárzás hatására.

Összefoglalva, a megnövelt sókoncentráció és a kis dózisú gamma-sugárzás csökkentette az MRSA meropenemmel szembeni rezisztenciáját. A *mecA* gén jelenléte továbbra is kimutatható volt, ami arra utal, hogy a rezisztencia elvesztése valószínűleg a gén expressziójának gátlása vagy a membránpermeabilitás megváltozása miatt következett be. Ezek az eredmények arra utalnak, hogy a kombinált stresszhatások fokozhatják az antibiotikumok felvételét, és potenciális stratégiát kínálhatnak az antibiotikum-rezisztens *S. aureus* elleni küzdelemben.

CHANGES IN ANTIBIOTIC SUSCEPTIBILITY OF *STAPHYLOCOSSUS AUREUS* STRAINS DUE TO GAMMA IRRADIATION AND DIFFERENT SALT CONCENTRATIONS

R. Homlok¹, M. Elsherbeny², Cs. Mohácsi-Farkas², Á. Belák²

¹ Radiation Chemistry Group, Surface Chemistry and Catalysis Department, Institute for Energy Security and Environmental Safety, HUN-REN EK, Konkoly-Thege M. street 29-33, H-1121 Budapest, Hungary

² Department of Food Microbiology, Hygiene and Safety, Institute of Food Science and Technology, MATE, Somlói Street 14-16, H-1118 Budapest, Hungary

Staphylococcus aureus is a significant pathogenic bacterium in food safety concern. Although it is a Gram-positive bacterium that is easily destroyed by heat treatments such as cooking or pasteurization, it can secrete heat-stable toxins if food is cross-contaminated. In 2019, the World Health Organization (WHO) identified antimicrobial resistance (AMR) as one of the top 10 global public health threats, with methicillin-resistant *S. aureus* (MRSA) being a major causative agent of bloodstream infections. *S. aureus* demonstrates extensive adaptability, including resistance to antibiotics through the acquisition of resistance genes and the ability to withstand stress factors like high salinity.

Gamma irradiation is an effective method to ensure food safety with minimal impact on food quality. In light of growing antibiotic resistance, this study aimed to examine the response of an MRSA and a sensitive (MSSA) *S. aureus* to antibiotics following exposure to environmental stressors. High salinity (osmolarity) and sublethal doses of gamma irradiation were used as stress factors. The study assessed changes in antibiotic susceptibility and resistance before and after stress application, along with genotypic analysis to detect the *mecA* gene, which is responsible for beta-lactam antibiotic resistance.

Two *S. aureus* strains, an MRSA and an MSSA, were tested for antibiotic susceptibility using the agar disk diffusion method with ten antibiotics. The MRSA was further subjected to NaCl solution with 6% concentration and 0.6 kGy dose of gamma irradiation, individually and in combination. Comparisons were made with a control sample that was neither salted nor irradiated. Changes in bacterial survival and antibiotic resistance were measured, and a PCR test was performed to detect the *mecA* gene in both intra- and extracellular DNA.

As a result, it was observed that stress factors altered behaviour of *S. aureus* of bacteria towards antibiotics, with some antibiotics showing increased susceptibility and others increased resistance. Notably, increasing NaCl concentrations (6%, 10%, 12%) progressively reduced antibiotic resistance to meropenem, and susceptibility increased significantly when combined with a sublethal dose of 0.6 kGy gamma irradiation. PCR results confirmed the presence of the *mecA* gene across all treatments, indicating no genetic change. The bacterial count number decreased significantly, particularly with irradiation.

In conclusion, high salinity and low dose of gamma irradiation decreased resistance to meropenem in MRSA. The *mecA* gene remained present, suggesting resistance loss might be due to inhibited gene expression or altered membrane permeability. These findings indicate that the combined stressors could enhance the uptake of antibiotics, potentially offering a strategy to combat antibiotic-resistant *S. aureus*.

GUMITÖRMELEK FELÜLETÉNEK GAMMA-SUGÁRZÁSSAL TÖRTÉNŐ AKTIVÁLÁSA A HATÉKONY GUMI ÚJRAHASZNOSÍTÁS ÉRDEKÉBEN

Kiss L.¹, Berényi A. E.¹, Németh M.², Tegze A.³, Homlok R.³, Takács E.³, Mészáros L.^{1,4}

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék, Műegyetem rkp. 3., H-1111 Budapest

² HUN-REN EK, Energia- és Környezetbiztonsági Intézet, Felületkémi és Katalízis Laboratórium, Konkoly-Thege M. út 29-33, H-1121 Budapest

³ HUN-REN EK, Energia- és Környezetbiztonsági Intézet, Felületkémi és Katalízis Laboratórium, Sugárkémiai csoport, Konkoly-Thege M. út 29-33, H-1121 Budapest

⁴ HUN-REN-BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport, Műegyetem rkp. 3., H-1111 Budapest

A gumihulladék újrahasznosítása egyre nagyobb környezeti kihívást jelent, mivel az autógumik világszerte óriási mennyiségben termelődnek és ezek jelentős része nem kerül újrahasznosításra. Az Európai Unióban például évente több százmillió új gumiabroncs kerül forgalomba, amely több millió tonna gumihulladékot generál, ami környezeti kockázatokat, például talajszennyezést és nehezen eloltható gumiabroncs-tüzeket okozhat. A jelenlegi újrahasznosítási technológiák, mint például a mechanikai őrlés, nem mindig eredményeznek megfelelő minőségű újrahasznosított anyagot, mivel a gumitörmelék (GTR) és az új gumimátrix közötti gyenge kölcsönhatás korlátozza az újrahasznosított gumi használhatóságát.

Kutatásunk célja a gumihulladék újrahasznosításának hatékonyságának növelése gammasugárzás alkalmazásával, amely képes kémiai változásokat előidézni a gumiőrlemény felületén. A vizsgálataink során a GTR-t különböző dózisu (5-30 kGy) gammasugárzásnak tettük ki vízben és nitrogénes közegben, hogy feltárjuk a sugárzás hatására bekövetkező kémiai és mechanikai változásokat. A vizes közegben a gammasugárzás során keletkező oxidálószerke, mint például a hidroxilgyökök és peroxidok, jelentős mértékben javították a GTR felületi aktivitását, ami erősebb kötést eredményezett a gumimátrix és a GTR között. Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópia (FTIR) és Röntgen-fotoelektron spektroszkópia (XPS) mérések kimutatták, hogy a vízben kezelt GTR felületén az oxigéntartalmú funkció csoportok mennyisége körülbelül 10%-kal nőtt, míg a nitrogénes kezelés során nem történt ilyen változás. Mechanikai tesztheink, mint a szakítószilárdság és a továbbszakító-szilárdság szintén alátámasztották az eredményeket, különösen a 20 kGy dózisu minták esetében, ahol a szakítószilárdság 30%-kal, míg a ellenállástovábbszakító-szilárdság 32%-kal javult.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a gamma-sugárzásos felületi aktiválás különösen hatékony módszer a gumihulladék újrahasznosításában, amely kis dózisu mellett is jelentős eredményeket mutat, ezáltal környezetbarát és iparilag alkalmazható megoldást kínál.

SURFACE ACTIVATION OF GROUND TIRE RUBBER VIA GAMMA IRRADIATION FOR EFFECTIVE RUBBER RECYCLING

L. Kiss¹, A. E. Berényi¹, M. Németh², A. Tegze³, R. Homlok³, E. Takács³, L. Mészáros^{1,4}

¹ Department of Polymer Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Budapest University of Technology and Economics, Műegyetem rkp. 3., H-1111 Budapest, Hungary

² Department of Surface Chemistry and Catalysis, Institute for Energy Security and Environmental Safety, HUN-REN Centre for Energy Research, Konkoly-Thege M. street 29-33, H-1121 Budapest, Hungary

³ Radiation Chemistry Group, Surface Chemistry and Catalysis Department, Institute for Energy Security and Environmental Safety, HUN-REN Centre for Energy Research, Konkoly-Thege M. street 29-33, H-1121 Budapest, Hungary

⁴ HUN-REN-BME Research Group for Composite Science and Technology, Műegyetem rkp. 3., H-1111 Budapest, Hungary

The recycling of rubber waste, particularly from used tires, is an increasingly critical environmental challenge. With millions of tons of tires being produced annually worldwide, a significant portion of these end up as waste, contributing to major environmental hazards, including soil contamination and unextinguishable tire fires. In Europe alone, hundreds of millions of new tires are sold annually, generating massive amounts of waste, much of which is not effectively recycled. The limitations of current recycling methods, such as mechanical grinding, stem from the poor interfacial interaction between the ground tire rubber (GTR) and fresh rubber matrices, restricting the applicability of recycled rubber in new products.

Our research seeks to enhance the efficiency of tire recycling by utilizing gamma irradiation to induce chemical modifications on the surface of GTR, thereby improving its compatibility with fresh rubber matrices. In this study, GTR was exposed to gamma radiation at varying doses (5-30 kGy) in both water and nitrogen environments to examine the chemical and mechanical changes that result from irradiation. The strong oxidizing agents produced during water radiolysis, such as hydroxyl radicals and peroxides, significantly improved the surface activity of GTR, resulting in a stronger bond between the GTR and the rubber matrix. This surface activation was confirmed through Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), which revealed a 10% increase in oxygen-containing functional groups on the GTR surface in water-treated samples. In contrast, no significant changes were observed in samples treated in nitrogen. Mechanical testing further supported these findings, as tensile strength improved by 30%, and tear strength increased by 32% in water-treated samples, particularly at a dose of 20 kGy.

These results demonstrate that gamma irradiation-induced surface activation is a highly effective method for improving the recyclability of rubber waste, particularly at low radiation doses, making it both environmentally friendly and industrially feasible. This approach offers significant potential for expanding the application of recycled rubber materials, thus contributing to waste reduction and a circular economy.

TRANSZARTERIÁLIS RADIOEMBOLIZÁCIÓS ORVOSTECHNIKAI ESZKÖZ VIZSGÁLATA SZERKEZETVÁLTOZÁS SZEMPONTJÁBÓL A TERÁPIÁT KÖVETŐ IDŐSZAKBAN

**Vizbel Ákos^{1,3}, Györke Tamás², Czibor Sándor^{2,4}, Kári Béla², Bibok András²,
Kovács Bence⁵, Szőnyi-Pákai Renáta⁵, Kállai-Szabó Nikolett³, Lengyel Miléna³,
Taba Gabriella¹**

1. *Semmelweis Egyetem Sugárvédelmi Szolgálat, Budapest*
2. *Semmelweis Egyetem Orvosi Képkalkotó Klinika, Budapest*
3. *Semmelweis Egyetem Gyógyszerészeti Intézet, Budapest*
4. *Pozitron Medical Diagnosztikai Kft., Budapest*
5. *Izotóp Intézet Kft., Budapest*

A Semmelweis Egyetemen 2018-óta végeznek radioembolizációs kezeléseket elsősorban inoperábilis hepatocellularis carcinoma esetében. Kezdetben üveg vagy műgyanta mátrixba zárt ⁹⁰Y izotópot tartalmazó, 2022-től PLLA (Polylactic Acid, poli(L-tejsav)) alapú ¹⁶⁶Ho tartalmú mikrogöngyök alkalmazása folyik. Utóbbinál a módszer új volta, az alkalmazott izotóp és a hordozó rendszer fiziko-kémiai tulajdonságai miatt számos kutatási téma merülhet fel. Előadásomban terápiás dózisu ¹⁶⁶Ho TARE (Transarterial Radioembolisation) kezelt páciensek 24 órás gyűjtött vizeletét hosszú ideig HPGe (High Purity Germanium) félvezető detektorral mértük, a vesén keresztül kiválasztott ¹⁶⁶Ho aktivitásának meghatározására. Tekintve, hogy ilyen műszerrel nem rendelkezünk és a ¹⁶⁶Ho felezési ideje mindössze 26,8 óra, a kezdeti aktivitást a hosszú felezési idejű ^{166m}Ho izotóp aktivitásából határoztuk meg. Az ürülés legfőbb oka feltételezhetően a göngyök radiolízise következtében felszabaduló holmium-acetilacetonát. A részecskékről készült mikroszkópos felvételek szabályos felszín és geometriát mutattak, a részecskeméret eloszlás a gyártói adatlapnak megfelelő volt. DLS (Dynamic Light Scattering) méréssel egyértelmű fragmentációt nem sikerült kimutatni. Az általunk mért és a korábban publikált vizeletszintek alapján kijelenthető, hogy a polimer degradációja, a ¹⁶⁶Ho felszabadulása és az általa okozott egészsettdózis rendkívül alacsony.

KVÍZJÁTÉK KÉMIKUSOKNAK, 2024.

Osváth Szabolcs

Magyar Kémikusok Egyesülete (MKE), Analitikai Szakosztály

Az MKE tagság nem egy súlyos teher: az ember (kémikus) befizeti a tagdíjat, és ha nem is csinál semmi mást, élvezheti a tagság előnyeit (például kedvezményes részvételi díjat fizet az MKE konferenciáin). Az MKE-ben tisztséget vállalni már valamivel komolyabb kihívást jelent: évente néhányszor illik részt venni ilyen-olyan megbeszéléseken, vezetőségi üléseken. Ez persze időbe kerül, cserébe az ember megismerheti a hazai kémikus-társadalom ezerféle gondját és örömét; és esetleg még befolyásolhatja is annak jövőjét. Első közelítésben az éves jelentések elkészítése is csak egy újabb púp a hátunkon; ám ha valaki beleolvas azokba (ami – valljuk be – nem egy gyakori jelenség), és nem restell tanulni a többi szervezeti egységtől, akár még ihletet is meríthet a beszámolóikból.

Ez az effektus mutatkozott 2020 tavaszán, amikor az NMR Szakcsoport előző évi jelentésében olvastam a szakmai kvízzjátékukról. Némi utánajárás, informálódás, tapogatózás és felkészülés után 2022-ben lehetőségem nyílt az Őszi Radiokémiai Napokon egy ilyen játékot vezetni. Azt remélem, hogy a többségnek tetszett; legalábbis erre utal, hogy a játék a 2023. évi konferencia programjában is helyet kapott – sőt, páran még el is kérték, hogy szakmai rendezvényen, tanórán használják.

Sajnos kérdést, feladványt azóta sem sokat kaptam. Ezúton is köszönetet mondok mindazoknak, akik küldtek néhányat; egyúttal bátorítok minden kollégát: ha változatos, a kémia minél több területét érintő kérdést szeretnének látni a jövőben, akkor segítsenek ilyeneket kitalálni, megfogalmazni! Természetesen annak sincsen semmi akadály, hogy a jövőben (akár jövőre) valaki más állítsa össze a kérdéseket, illetve vezesse a játékot; hiszen – a konferencia oly sok résztvevőjéhez hasonlóan – én is szeretek (és szeretnék) játszani.

-
- | | |
|---------------|----------------|
| 1. (12 pont) | 8. (4 pont) |
| 2. (4 pont) | 9. (3 pont) |
| 3. (3 pont) | 10. (4 pont) |
| 4. (3 pont) | 11. (10 pont) |
| 5. (5 pont) | 12. (2+2 pont) |
| 6. (6+1 pont) | 13. (4 pont) |
| 7. (9+9 pont) | 13+1 (5 pont) |
-

**2024. október 16.
szerda**

JELZÉSI REAKCIÓK HORDOZÓMENTES ÉS NEM HORDOZÓMENTES IZOTÓPOKKAL, RADIOGYÓGYSZEREK ELŐÁLLÍTÁSÁHOZ

Környei József

Izotóp Intézet Kft., 1121 Budapest, Konkoly Thege Miklós út 29-33.

Az Imre Lajos professzor úrról történő megemlékezéshez kapcsolódóan: két évvel a Budapesti Kutatóreaktor működésének kezdete előtt, 1957-ben a professzor felkérést kapott másodállás betöltésére a KFKI-ban, hogy munkásságának eredményeit felhasználva elméleti szinten megalapozza a hordozómentes radionuklidok előállítására irányuló törekvéseket. A hordozómentes izotópok ugyanis rendkívül kis koncentrációban vannak jelen a rendszerekben, így viselkedésük sok szempontból eltérő a makroszkópikus mennyiségű anyagokéhoz képest. Ebben az előadásban a hordozómentesség vonatkozásait a *jelzési reakciók* oldaláról mutatom be, mintegy 50 irodalmi hivatkozás és az Izotóp Intézet Kft. néhány fejlesztési eredménye alapján.

A mai radiogyógyszerészet legfontosabb radionuklidjai közül a generátor eluátum ^{68}Ga és az uránhasadványból származó ^{90}Y hordozómentesen hozzáférhető, fajlagos aktivitásuk 1 507 000, ill. 20 160 GBq/mg. A nem hordozómentes ^{18}F fluor szokásos fajlagos aktivitása általában 62 000, a $^{99\text{m}}\text{Tc}$ technéciumé 53 400, a ^{11}C széné 16 800 GBq/mg. A ^{64}Cu , a Zn-ből előállított ^{68}Ga , továbbá a ^{123}I , ^{131}I , ^{177}Lu fajlagos aktivitás értékei jóval kisebbek. Ha azonban a leggyakrabban alkalmazott kiindulási aktivitásokkal is számolunk, akkor láthatjuk, hogy a hordozómentes ^{68}Ga , ^{90}Y és a nem hordozómentes ^{64}Cu , a Zn-ből előállított ^{68}Ga és $^{99\text{m}}\text{Tc}$ izotópok egyaránt 11 nmol-nál kisebb mennyiségben vannak jelen a jelzések. Ugyanakkor a ^{11}C , ^{18}F , ^{123}I , ^{131}I , ^{177}Lu radionuklidok egy jelzési reakcióban résztvevő mennyisége többnyire a 30 – 300 nmol tartományba esik.

A számos kísérleti adat értékelése a következő megállapításokhoz vezetett:

- A szubsztrátum/reagens, azaz kémiai prekursor/radionuklid prekursor molarányoknak legalább 3:1-nek kell lenniük a minél nagyobb jelzési hatásfok eléréséhez; adott esetekben pedig meghaladják a 2000:1 arányt is.
- Átfedés van a hordozómentes és egyes nem hordozómentes radionuklid prekursorok moláris aktivitása között, így a minél nagyobb moláris aktivitású jelzett vegyületek előállításához *nem feltétlenül szükséges a hordozómentes állapot.*
- Minél nagyobb a radionuklid prekursor moláris aktivitása, annál inkább várható, hogy a jelzett vegyület moláris aktivitása is nagyobb lesz. Ugyanakkor amíg a tárgyalt radionuklid prekursorok moláris aktivitása a 100 – 100 000 GBq/ μmol , addig a jelzett vegyületek moláris aktivitása a 37 – 980 GBq/ μmol tartományba esik.
- A nagyobb mennyiségű kémiai prekursorokkal végzett „klasszikus” technécium- és jódjelzéseknél az el nem reagált kémiai prekursorok a jelzett vegyület hordozóiként vannak jelen és farmakológiai szempontból úgy is viselkednek, ezért e jelzett vegyületek moláris aktivitása rendkívül kicsi, < 3 GBq/ μmol .

LABELLING REACTIONS WITH CARRIER-FREE AND NON-CARRIER-FREE ISOTOPES FOR PRODUCTION OF RADIOPHARMACEUTICALS

József Környei

Institute of Isotopes Co. Ltd., H-1121 Budapest, Konkoly Thege Miklós street 29-33

For the commemoration about Professor Lajos Imre: in 1957, two years before the start of operation of the Budapest Research Reactor, the professor was provided with a second job in the KFKI, in order to establish the theoretical bases to produce carrier-free radionuclides. These radionuclides are present in rather low concentrations, so their behaviors may be different in many aspects from that of the macroscopic substances. In this presentation the features of carrier-free state will be shown from the side of labelling reactions, based on about 50 literature references and on some developments in Institute of Isotopes Co. Ltd.

Among the most important radionuclides of today's radiopharmacy, the generator eluate ^{68}Ga and the ^{90}Y (from strontium from uranium fission) are available in *carrier-free* form, their specific activities are 1,507,000 and 20,160 GBq/mg, respectively. The usual specific activity of the *non-carrier-free* ^{18}F fluorine is 62,000, that of $^{99\text{m}}\text{Tc}$ technetium is 53,400 and that of ^{11}C carbon is 16,800 GBq/mg. The specific activity values of the other prominent radionuclides such as ^{64}Cu , the ^{68}Ga obtained from Zn, the ^{123}I , ^{131}I , ^{177}Lu are much lower. However, if we take into consideration also the most often used radioactivities, we can see that the amounts of both the carrier-free ^{68}Ga , ^{90}Y and some non-carrier-free radionuclides (^{64}Cu , the ^{68}Ga obtained from Zn as well as $^{99\text{m}}\text{Tc}$) in the labelling reactions are less than 11 nmol. At the same time, the amounts of ^{11}C , ^{18}F , ^{123}I , ^{131}I , ^{177}Lu radionuclides in the labelling reactions are mostly in the range of 30-300 nmol.

Evaluation of numerous experimental data led to the following conclusions:

- The substrate/reagent, i.e. chemical precursor/radionuclide precursor molar ratios must be at least 3:1 to achieve the highest possible labelling efficiency and in certain cases they may exceed the ratio of 2000:1.
- There is an overlap between the molar activity of carrier-free and some non-carrier-free radionuclide precursors, so the carrier-free state is not necessarily needed to produce the labelled compounds with the highest molar activity.
- The higher the molar activity of the radionuclide precursor, the more it may be expected that the molar activity of the labelled compound will also be higher. At the same time, while the molar activities of the radionuclide precursors are in the range of 100 – 100,000 GBq/ μmol , the molar activities of the labelled compounds can be found in the range of 37 – 980 GBq/ μmol .
- In the case of "classic" technetium and iodine labelling, larger amounts of chemical precursors are used and the unreacted chemical precursors are present as carriers of the labelled compound and also behave as such from a pharmacological point of view. But therefore the molar activity of these labelled compounds is extremely low, < 3 GBq/ μmol .

$^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$ GENERÁTOR ELŐÁLLÍTÁSI TECHNOLÓGIÁJÁNAK MEGVALÓSÍTÁSA BUDAPESTEN

**Szemenyei Erzsébet, Gyuricza Barbara, Szűcs Péter, Keresztes Szilvia,
Mikecz Pál, Környei József**

Izotóp Intézet Kft., 1121 Budapest, Konkoly-Thege Miklós út 29-33.

Korunkban a szívkoszorúér-betegség meglehetősen gyakori, ezért a szívizom vérellátásának képzővizsgálatára nagy igény mutatkozik. A PET kiemelkedő minőségű leképezést és diagnosztikai értékelést tesz lehetővé, amennyiben alkalmas radiofarmakonok könnyen hozzáférhetők. Szívizom perfúzió PET-vizsgálatára a ^{15}O víz, ^{13}N ammónia, ^{82}Rb klorid a rutinban használható, míg a ^{18}F flurpiridáz kísérleti anyagként ismeretes.

A ^{15}O víz és ^{13}N ammónia injekciók a radionuklidok rövid fizikai felezési ideje miatt nem szállíthatók, alkalmazásuk csak a ciklotronok mellé telepített PET-kamerával lehetséges. Ugyan a ^{82}Rb radionuklidnak is rövid a fizikai felezési ideje (75 másodperc), azonban szállítható generátorból megkapható, hiszen a 25,3 napos fizikai felezési idejű ^{82}Sr izotópnak a leányeleme.

A ^{82}Sr előállítása a $^{85}\text{Rb}(p,4n)$ magreakcióban történik, melyhez 50-70 MeV energiájú protonokra van szükség; ilyen energiájú ciklotron hazánkban nincs. Az Izotóp Intézet Kft. egy francia partnerrel (Naogen Pharma, Nantes) együttműködve készséges volt egy budapesti generátor-előállítás megvalósítására, annál is inkább, mert a jelenleg elérhető Rb-generátorokat (CardioGen-82, Ruby-Fill) elsősorban a tengerentúlon használják. Az együttműködés keretében egy meglévő, háromosztatú forrófülkébe telepített automatizált, zárt rendszerű, aszeptikus technológiát valósítottunk meg, tisztatéri környezetben. A stroncium-ionok egy alkalmas módon, puffer-oldattal előkészített ón(IV)-oxid oszlopon kötődnek meg, és az intenzív utómosás, ill. a későbbi, sokszoros elúció ellenére sem oldódnak le, nem érik el az igen szigorúan meghatározott határértéket (0,02 kBq $^{82}\text{Sr}/\text{MBq}$ ^{82}Rb).

Vizsgálataink szerint a ^{82}Rb -klorid eluátum megfelel az Amerikai Gyógyszerkönyv (USP) monográfiájában előírtaknak (radionuklid tisztaság, pH, kémiai tisztaság, sterilitás, bakteriális endotoxin mennyiség). 2022-ben megtörtént a gyártásvalidálás (3 független gyártással), és hosszútávú stabilitás-vizsgálatokra került sor. Az eredmények alapján a generátor lejáratási ideje 61 napban lett megállapítva. A törzskönyvezési folyamat 2023. decemberében sikerrel zárult, a generátor jelenleg Franciaországban rendelkezik forgalombahozatali engedéllyel, ennek kiterjesztése más országokra a jövőben várható.

ÚJ ⁶¹Cu-JELZETT PROSZTATASPECIFIKUS MEMBRÁN ANTIGÉN (PSMA) RADIOFARMAKON SZINTÉZISE ÉS PREKLINIKAI VIZSGÁLATA

Kálmán-Szabó Ibolva^{1,2}, Képes Zita¹, Arató Viktória¹, Péliné Szabó Judit¹, Farkasinszky Gergely¹, Szücs Dániel¹, Hajdu István¹, Fekete Anikó¹, Szikra Dezső¹, Elek János³, Kálmán Ferenc⁴, Trencsényi György^{1,2}

1 Nukleáris Medicina Tanszék, Orvosi Képző Intézet, ÁOK, Debreceni Egyetem

2 Petrányi Gyula Klinikai Immunológiai és Allergológiai Doktori Iskola, Debreceni Egyetem

3 Science Port Kft., Debrecen

4 Fizikai Kémiai Tanszék, Kémiai Intézet, Természettudományi és Technológiai Kar, Debreceni Egyetem

A prosztatarák a prosztata sejtjeiből kiinduló rosszindulatú daganat, amely főként az idősebb férfiak betegsége, és a világon a második leggyakoribb rákfajta a férfiak körében. A képző diagnosztika alapját képező prosztataspecifikus membrán antigén (PSMA) nagymértékben van jelen az áttétes kasztrációrezisztens prosztatarák (CRPC) esetében. Vizsgálatainkban az általunk szintetizált, PSMA transzmembrán fehérjét célzó [⁶¹Cu]Cu-KFTG-PSMA radiofarmakont vizsgáltuk LNCaP tumort (humán eredetű prosztata carcinoma) hordozó CB17 SCID egerekben. A [⁶¹Cu]Cu-KFTG-PSMA intravénás injektálása után a szervekben és szövetekben történő biodisztribúciót *in vivo* pozitron emissziós tomográfiával (PET) és *ex vivo* gamma számlálóval vizsgáltuk tumoros egerekben. Az újonnan szintetizált [⁶¹Cu]Cu-KFTG-PSMA RCP%-a magasabb volt, mint 98%. A ⁶¹Cu-jelzett PSMA logP értéke átlagosan -3,59 volt. A biológiai eloszlási vizsgálatok azt mutatták, hogy a [⁶¹Cu]Cu-KFTG-PSMA minden mért időpontban (30, 90 és 180 perc) jelentős mértékben halmozódott a PSMA pozitív tumorokban; megközelítőleg 25-800-szor nagyobb radiotracer felvételt figyeltünk meg, mint a háttérben. Az *in vivo* és *ex vivo* blokkolós vizsgálatok igazolták a radiofarmakon magas PSMA specificitását. Összességében megállapítható, hogy a ⁶¹Cu-jelzett KFTG-PSMA ígéretes farmakon lehet a PSMA-pozitív tumorok PET-diagnosztikájában.

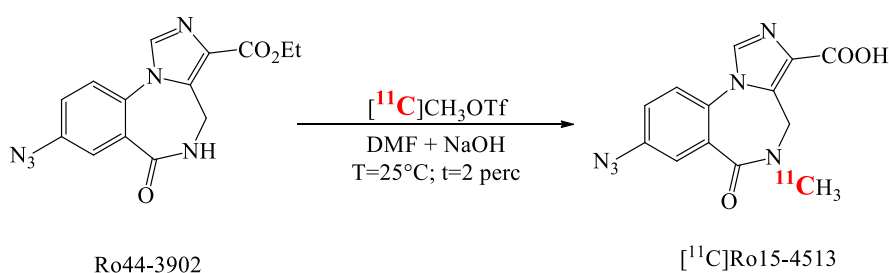
Köszönjük az anyagi támogatást a 2024-2.1.1-EKÖP Programnak.

[¹¹C]Ro15-4513 LIGANDUM ELŐÁLLÍTÁSA ÉS PREKLINIKAI VIZSGÁLATA

Forgács Viktória, Németh Enikő, Péli-Szabó Judit, Képes Zita, Trencsényi György, Jószi István, Kertész István

Debreceni Egyetem ÁOK Orvosi Képző Intézet Nukleáris Medicina Tanszék
4032 Debrecen, Nagyerdei krt. 98., e-mail: forgacs.viktoria@med.unideb.hu

Egy külső szponzorral való együttműködés keretében előkísérletként vizsgáltuk a [¹¹C]Ro15-4513 ligandum benzodiazepin receptorhoz való kötődését. Kutatócsoportunk számára a tervezett munka célja a Ro15-4513 vegyület ¹¹C izotóppal jelzett formában történő előállítása, minőségellenőrzése és a jelzett anyag preklinikai vizsgálata volt PET képalkotás segítségével.



A metilező ágens előállításához, a szintézis elvégzésére és a termék félpreparatív tisztítására a Scansys által készített szintézispanelt használtuk. Az elkészült [¹¹C]CH₃OTf intermediert buborékoltattuk a szobahőmérsékletű prekursor (Ro44-3902) tartalmazó oldatba. A tisztítást félpreparatív HPLC-vel végeztük AkzoNobel Kromasil EternityXT-10-C18 (10x150 mm, 10 μm) oszlopot használva. A termék frakciót PBS oldattal hígítottuk, így a termék oldatunk EtOH tartalma 10 % alá csökkent.

A ¹¹C jelzés során a radioaktív izotóp beépülését a megfelelő prekursor molekulába radio-HPLC-s méréssel igazoltuk. A termék minőségellenőrzéséhez Waters Acquity UPLC I-class ultranagy-hatékonyságú folyadékkromatográfiás készüléket használtunk, melyhez PDA és radioaktivitás detektor volt kapcsolva. Olyan gyorskromatográfiás eljárást dolgoztunk ki, amely képes elválasztani az aktív jelző anyagot, az inaktív prekursor és a jelzett terméket Acquity BEH 1,7 mm; 2,1x100 mm típusú kolonnán. A radiokémiai tisztaságra minden esetben 98% fölötti eredményt kaptunk, a moláris aktivitás 60-180 GBq/μmol tartományba esett, míg a specifikus aktivitás 0,19-0,57 GBq/μg értékek közötti eredmények voltak. A preklinikai vizsgálatok az irodalmi adatokkal megegyező eredményeket mutattak.

(a) Halldin C. *et al.*; *Psychopharmacology*, 1992, 108, 16–22.

(b) Suzuki K. *et al.*; *Nuclear Medicine and Biology*, 2003, 30, 335–343.

(c) Lingford-Hughes A. *et al.*; *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, 2002, 22, 878–889.

AZ NNGYK ANNA UTCAI TELEPHELYÉNEK KÖRNYEZETI RADIOLÓGIAI ÉRTÉKELÉSE

Rell Péter¹, Kövendiné Kónyi Júlia¹, Hizsnay Julianna², Osváth Szabolcs¹

¹Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ

²Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

A Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Főosztálya (NNGYK SSFO) nagy múltra tekint vissza. 1957-ben alapították Központi Sugárbiológiai Kutató Intézet néven. Az intézet feladata a kezdeti időszakban a „sugárbetegség tanulmányozása” valamint gyógyítása volt. Idővel az intézet kutatási profilja több feladattal bővült. Ezek a teljesség igénye nélkül: sejtszintű sugárbiológiai kutatások, radiofarmakonok gyártása és forgalmazása, mesterséges eredetű radioizotópok talajban valamint környezeti elemekben történő migrációs tulajdonságainak kutatása, környezeti monitoring, országos dozimetriai szolgálat működtetése. A felsorolt tevékenységek közül több mesterséges eredetű radionuklidokkal (¹²⁹I, ¹³⁷Cs, ⁹⁹Tc) való tevékenységgel járt.

Az intézet a kezdetektől fogva a Budapest XXII. kerület Anna utca 5. szám alatti telephelyen működött. A főosztály átköltözése az NNGYK központi telephelyére elkezdődött, előreláthatóan a közeljövőben be is fejeződik. Emiatt vált szükségessé egy radiológiai értékelés elkészítése a telephelyről.

Jelen munkánkban a telephelyen lévő környezeti radiológiai helyzetet kívánjuk bemutatni. Ehhez a korábbi évekből mostanáig terjedő időszakban vett növény-, valamint talajminták elemzését használtuk fel. A minták elemzéséhez nagy tisztaságú félvezető (HPGe) detektoros gamma spektrometriai mérőrendszert alkalmaztunk. A növényi mintákat mintavétel után szárítószekrényben 105 °C-on szárítottuk, majd 420 °C-on elhamvasztottuk. Méréshez kb. 30 g hamumintát mértünk be 100 ml-es hengeres mérőedénybe. A talajminták esetében a felső 5 cm-es réteget mintáztuk. Ezt megszáritottuk, golyósmalom segítségével őröltük, majd ezután szitáltuk. Ezt követően 600-700 g légszáraz talajmintát mértünk be 900 ml-es Marinelli mérőedénybe.

A talaj- és fűmintákat negyedévente gyűjtöttük a telephely különböző pontjairól a korábbi években. Jelen vizsgálat elkészítéséhez további 17 db mintavételi pontról vettünk további talajmintát.

Az Anna utcai mintákban a mesterséges eredetű ¹³⁷Cs radionuklid aktivitáskoncentrációja a fűminták esetében a **0,2-2,3 Bq/kg** tartományban volt. A kimutatási határ **0,3-1,1 Bq/kg** között alakult mintától függően. A talajminták esetében a ¹³⁷Cs radionuklidot minden esetben ki tudtuk mutatni, aktivitáskoncentrációja **0,69-65 Bq/kg** között mozgott. Más mesterséges eredetű radionuklidot nem találtunk. Az itt tapasztalt aktivitáskoncentrációk jól egyeznek a Magyarország hasonló környezetére jellemző irodalmi adatokkal. Megállapítottuk, hogy eltérés ugyan tapasztalható, de ez leginkább a terület sajátosságaiból (erdei talaj) adódik.

ENVIRONMENTAL RADIOLOGICAL EVALUATION OF THE ANNA UTCA CAMPUS OF THE NCPHP

Péter Rell¹, Júlia Kövendingé Kónyi, Julianna Hizsnyai, Szabolcs Osváth¹

¹*National Center for Public Health and Pharmacy*

²*Hungarian University of Agriculture and Life Sciences*

The Department of Radiobiology and Radiohygiene of the National Center for Public Health and Pharmacy was established in 1957. The original name was National Institute of Radiobiology and Radiohygiene and its mission was to investigation of the radiation syndrome and to find appropriate treatment to reduce its effects. By the time the scope was extended with (among others). investigation of microbiological effects of radiation, radio medicines production and distribution, study of migration of artificial isotopes in the environment, operation environmental monitoring and personal dosimetry. Most of the mentioned activities involve the application of artificial isotopes (¹²⁹I, ¹³⁷Cs, ⁹⁹Tc).

The institution has been operating from the beginning on the Anna utca 5. campus in Budapest. The relocation of the institute is in progress and will be completed soon. Related to this the preparation of the radiological survey has become priority.

This presentation shows the radiological state of the site through previously taken samples. Results of soil and plant samples were used for the study. The samples were measured by high purity germanium (HPGe) semiconductor detectors. The plant samples were dried at a temperature of 105°C and ashed at 420 °C. Approximately 30 g of ash was measured by the gamma spectrometry in a cylinder geometry sample beaker. The soil sampling was undertaken by collecting the upper 5 cm layer. All soil samples were dried at a temperature of 105°C, then homogenized in a ball mill. After that they were sieved to ensure the homogeneity of the sample into a Marinelli beaker. The sample mass values ranged between 600-700 g dry weight soil.

The environmental samples were collected once quarterly. Seventeen extra soil sample were collected to ensure the full coverage of the site. The samples were compared with other samples collected from other parts of the country.

The ¹³⁷Cs radionuclide activity concentration was investigated in each sample. In the case of the plant samples the ¹³⁷Cs activity concentration ranged between **0.2-2.3 Bq/kg**. The detection limit was ranged **0.3-1.1 Bq/kg**. The ¹³⁷Cs activity concentration was detectable in all soil sample. The results ranged between **0.69-65 Bq/kg**. No other artificial radionuclide was detected. The results show agreement with previously published Hungarian data.

AZ ERMAH MŰKÖDÉSE ÉS EREDMÉNYEI (2016-2023). ELSŐ RÉSZ - KÖRNYEZETI MINTÁK

**Glavatszkih Nándor¹, Homoki Zsolt^{1,2}, Kerekes Irén³, Kohári György⁴,
Kövendiné Kónyi Júlia¹, Lóránt Györgyné⁵, Orosz Péter⁵,
Pálvölgyiné Szabó Zsuzsanna⁶, Szarkáné Németh Ágnes¹, Szigeti Ágnes¹,
Osváth Szabolcs¹**

¹Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ

²Pannon Egyetem

³Tolna Vármegyei Kormányhivatal

⁴Csongrád-Csanád Vármegyei Kormányhivatal

⁵Hajdú-Bihar Vármegyei Kormányhivatal

⁶Győr-Moson-Sopron Vármegyei Kormányhivatal

A környezetünkben lévő természetes és mesterséges eredetű radioaktivitás figyelemmel kísérése állami feladat; ezért jogszabály (a 489/2015. Korm. r.) intézkedik az Országos Környezeti Sugárvédelmi Ellenőrző Rendszer (OKSER) működtetéséről. Az OKSER adatainak a zöme a 3 nagy ellenőrző adatszolgáltató központtól származik. Ezek egyike a Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ (NNGYK) irányítása alatt álló Egészségügyi Radiológiai Mérő és Adatszolgáltató Hálózat. Ebben az előadásban az ERMAH 2 fővárosi és 5 vidéki laboratóriuma által vett és elemzett környezeti mintákat, a mérési eredményeket és az azokból levonható következtetéseket mutatjuk be.

Más mérőhálózatokhoz és számos létesítményhez hasonlóan az ERMAH is méri a kültéri gamma-dózteljesítményt kézi műszerekkel, bár többnyire csak heti vagy napi gyakorisággal. 2024-ben ez kiegészül az NNGYK telephelyén egy on-line hálózatra köthető, folytonos működésű mérőműszerrel.

A környezeti minták közül a legfontosabb az aeroszol. Baleseti vagy nem tervezett környezeti kibocsátás esetén ugyanis a radioaktív szennyezés a légköri mozgások közvetítésével terjed a leggyorsabban és a legnagyobb távolságra. Az aeroszol mintázása normál időszakban is folyamatos, napi összes-béta aktivitás és heti gamma-spektrometriai mérés mellett. Jelenleg a hálózatban öt egyforma közepes légforgalmú, 150 m³/h teljesítményű, aeroszol-mintavevő van (Budapesten kettő, Győrött, Szekszárdon és Miskolcon egy-egy), így a mintavételi pontok – hazánkban egyedülálló módon – nagyjából lefedik az egész országot. A minták nagy tisztaságú félvezető (HPGe) detektorral felvett gamma-spektrumában mindig megtalálhatóak a természetes eredetű ⁷Be és ²¹⁰Pb, de a mesterséges eredetű ¹³¹I, ¹³⁴Cs és ¹³⁷Cs csak nagyon ritkán mutatható ki. 2024-ben áll üzembe az NNGYK telephelyén egy nagy légforgalmú, 400 m³/h teljesítményű aeroszol mintavevő.

A folyamatosan gyűjtött és havi mintaképzéssel vizsgált kihullási (fallout) mintákban a csapadékvíz ³H-aktivitáskoncentrációját és a levegőből kimosott aeroszol összes-béta és ¹³⁷Cs-tartalmát is vizsgáljuk.

A kihullás ellenőrzése talajminták vizsgálatán keresztül is történik. Az ERMAH nem mezőgazdasági művelés alatt álló, hanem bolygatatlan talajokat vizsgál. A talajminták mellett fűmintákat is vizsgálunk; ezeket nemcsak szárítjuk, hanem mérés előtt el is hamvasztjuk.

A kormányhivatalokban működő ERMAH-laboratóriumok vármegyénként egy-egy állóvízből és egy-egy folyóvízből vesznek havonta mintát, az NNGYK SSF a Dunát 6 ponton monitorozza (Gönyű, Észak-Budapest, Budafok, Paks, a Paksi Atomerőmű V2 melegági csatornája és Mohács), továbbá referenciaképpen a Szelidi-tó vizét vizsgálja.

Az alkalmazott mérési technikák nagy tartalékkal alkalmasak a jelentési szinteknél kisebb aktivitáskoncentrációk kimutatására.

OPERATION AND RESULTS OF RAMDAN (2016-2023). FIRST PART – ENVIRONMENTAL SAMPLES

Nándor Glavatszkih¹, Zsolt Homoki^{1,2}, Irén Kerekes³, György Kohári⁴,
Júlia Kövendingé Kónyi¹, Györgyné Lóránt⁵, Péter Orosz⁵,
Zsuzsanna Pálvölgyiné Szabó⁶,
Ágnes Szarkáné Németh¹, Ágnes Szigeti¹, Szabolcs Osváth¹

¹National Center for Public Health and Pharmacy

²University of Pannonia

³Tolna County Government Office

⁴Csongrád-Csanád County Government Office

⁵Hajdú-Bihar County Government Office

⁶Győr-Moson-Sopron County Government Office

In Hungary, it is expected to monitor the radioactivity (both of natural and artificial origin) in our environment. The 489/2015 Gov. decree regulates the structure and operation of the National Environmental Radiation Monitoring System (NERMS). One of the 3 monitoring networks that provide data to NERMS, is the Radiological Monitoring and Data Acquisition Network (RAMDAN), which is led by the National Center for Public Health and Pharmacy (NCPHP). Type of samples taken and analyzed by the 7 RAMDAN laboratories (2 placed in the capital city and 5 in county seats) are presented and the results are discussed.

Outdoor gamma dose rate is measured in weekly or daily basis by portable devices. In 2024 an on-line automated dose rate probe is going to be put in operation at the NCPHP site.

Aerosol is the most important type of environmental samples, as its dispersion rate and route is the highest – both in case of normal and accident emission. Aerosol is monitored continuously, using total beta counting and gamma spectrometry. The 5 medium-rate aerosol samplers of RAMDAN are located in Budapest (2), Győr, Szekszárd and Miskolc. Their throughput is 150 m³/h. Using high purity Ge (HPGe) detectors, natural radionuclides like ⁷Be and ²¹⁰Pb are always detected, but artificial radionuclides like ¹³¹I, ¹³⁴Cs és ¹³⁷Cs are rarely to be proven. In 2024 a high-rate (400 m³/h) aerosol sampler is going to be commissioned at NCPHP.

Fallout (washout) is collected continuously and analyzed monthly. ³H, ¹³⁷Cs and total beta activity concentrations are measured.

Radioanalysis of soil is a kind of indirect monitoring of fallout, as RAMDAN takes undisturbed soil samples. Grass samples are also investigated (after drying and ashing). Samples from standing water and running water are taken monthly in each county by the RAMDAN laboratories of the county government offices. NCPHP samples Danube at 6 places (Gönyű, Budapest North, Budafok, Paks, V2 channel of Paks Nuclear Power Plant, Mohács) as well as Lake Szelidi as a reference.

Measurement techniques that are applied are efficient enough to detect activity concentrations much below the reporting levels.

AZ ERMAH MŰKÖDÉSE ÉS EREDMÉNYEI (2016-2023). MÁSODIK RÉSZ - ÉLELMISZERMINTÁK

**Glavatszkih Nándor¹, Homoki Zsolt^{1,2}, Kerekes Irén³, Kohári György⁴,
Kövendiné Kónyi Júlia¹, Lóránt Györgyné⁵, Orosz Péter⁵,
Pálvölgyiné Szabó Zsuzsanna⁶, Szarkáné Németh Ágnes¹, Szigeti Ágnes¹,
Osváth Szabolcs¹**

¹Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ

²Pannon Egyetem

³Tolna Vármegyei Kormányhivatal

⁴Csongrád-Csanád Vármegyei Kormányhivatal

⁵Hajdú-Bihar Vármegyei Kormányhivatal

⁶Győr-Moson-Sopron Vármegyei Kormányhivatal

A környezetünkben lévő természetes és mesterséges eredetű radioaktivitás figyelemmel kísérése állami feladat; ezért jogszabály (a 489/2015. Korm. r.) intézkedik az Országos Környezeti Sugárvédelmi Ellenőrző Rendszer (OKSER) működtetéséről. Az OKSER adatainak a zöme a 3 nagy ellenőrző adatszolgáltató központtól származik. Ezek egyike a Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ (NNGYK) irányítása alatt álló Egészségügyi Radiológiai MÉRŐ és Adatszolgáltató Hálózat (ERMAH). Ebben az előadásban az ERMAH 2 fővárosi és 5 vidéki laboratóriuma által vett és elemzett élelmiszermintákat, a mérési eredményeket és az azokból levonható következtetéseket mutatjuk be.

Az ERMAH egyik célja a lakosság dózisterhelésének a becslése, ezért – az érzékeny átlagfogyasztót modellezve – az élelmiszermintákat szupermarketek polcáról vesszük, többnyire a legolcsóbb (éppen akciós) terméket választva. Tudomásunk szerint hazánkban csak az ERMAH vizsgál „vegyes élelmiszer”-mintákat (azaz fogyasztásra kész ebédmenüt). Ezeket kifőzdéből, menzáról, ételfutártól szerezzük be.

A mintákat általában szárítás és hamvasztás után mérjük. Gázátáramlásos detektorral meghatározzuk a minta összes-béta aktivitáskoncentrációját. Ez túlnyomórészt a természetes ⁴⁰K-tól származik, így ennek a mennyiségnek a legtöbb mintánál nincs, csak a zöldségek és gyümölcsök esetében van jelentési szintje.

Nagy tisztaságú félvezető (HPGe) detektoros spektrométerrel felvesszük a minták gamma-spektrumát. Ebből a ⁴⁰K mellett minden minta esetében meghatározzuk a ¹³⁷Cs (és sok esetben a ¹³⁴Cs) aktivitáskoncentrációját illetve kimutatási határát. A ⁴⁰K és az összes-béta aktivitáskoncentrációk összevetése a mérések belső minőségellenőrzésére szolgál. A ¹³⁷Cs egy mesterséges radionuklid, ami maghasadás során nagy hozammal keletkezik, tehát a légköri atombomba-robbantásoknak és a nukleáris létesítmények baleseteihez kapcsolódó kibocsátásoknak egy fontos indikátora. Jelenléte számos mintában még mindig kimutatható, ezért több élelmiszer mintatípus esetében jelentési szintje is van.

A legfontosabb Ca-forrásunkat jelentő tejből, tejtermékekből (sajt, túró, tejföl) és a vegyes élelmiszerből egy másik hosszú felezési idejű tipikus hasadási terméknek, a ⁹⁰Sr-nek az aktivitáskoncentrációját is meghatározzuk. Ez közvetett módon történik, a ⁹⁰Sr bomlástermékének, a ⁹⁰Y-nek a tömény salétromsavas közegből történő tributil-foszfátos (TBP) folyadék-folyadék extrakcióján és mérésén keresztül.

Az OKSER tevékenységéről minden évben jelentés készül, amit az érdeklődők megtalálhatnak az OAH (illetve a 2014 előtti jelentések esetében az NNGYK) honlapján (www.haea.hu illetve nngyk.gov.hu).

OPERATION AND RESULTS OF RAMDAN (2016-2023). SECOND PART – FOOD SAMPLES

Nándor Glavatszkih¹, Zsolt Homoki^{1,2}, Irén Kerekes³, György Kohári⁴,
Júlia Kövendingé Kónyi¹, Györgyné Lóránt⁵, Péter Orosz⁵,
Zsuzsanna Pálvölgyiné Szabó⁶, Ágnes Szarkáné Németh¹, Ágnes Szigeti¹,
Szabolcs Osváth¹

¹National Center for Public Health and Pharmacy

²University of Pannonia

³Tolna County Government Office

⁴Csongrád-Csanád County Government Office

⁵Hajdú-Bihar County Government Office

⁶Győr-Moson-Sopron County Government Office

In Hungary, it is expected to monitor the radioactivity (both of natural and artificial origin) in our environment. The 489/2015 Gov. decree regulates the structure and operation of the National Environmental Radiation Monitoring System (NERMS). One of the 3 monitoring networks that provide data to NERMS, is the Radiological Monitoring and Data Acquisition Network (RAMDAN), which is led by the National Center for Public Health and Pharmacy (NCPHP). Type of samples taken and analyzed by the 7 RAMDAN laboratories (2 placed in the capital city and 5 in county seats) are presented and the results are discussed.

Monitoring program focuses on the dose of the price-sensitive “average consumer”, therefore typical customer habits are followed at sampling (e.g. buying the cheapest product). Food products and mixed diet (purchased from restaurants, canteens, food delivery services) are also analyzed.

Samples are typically dried and ashed. Gas flow detector is used to determine the total beta activity concentration; which originates mainly from natural ⁴⁰K, therefore it has no reporting level for the most type of samples (except in case of vegetables and fruits).

Gamma-ray spectrometry using high purity Ge (HPGe) detector is performed to determine the activity concentration (or limit of detection) of ⁴⁰K, ¹³⁷Cs and ¹³⁴Cs. Comparison of total beta and ⁴⁰K activity concentrations serves as quality check. ¹³⁷Cs is an artificial radionuclide, a high-yield fission product released from atmospheric nuclear bomb tests and nuclear power plant accidents. It is still present in the environment, therefore it has reporting levels.

Activity concentration of ⁹⁰Sr (another typical high-yield fission product) in milk, dairy products (cheese, quark, sour cream) and mixed diet is also determined; as these are the most important sources of Ca. Radioanalysis of ⁹⁰Sr is performed due to the radiochemical separation (liquid-liquid extraction using tributyl phosphate) and measurement of its progeny ⁹⁰Y.

Yearly reports of NERMS are available at homepages of Hungarian Atomic Energy Authority (HAEA, www.haea.hu) and NCPHC (nngyk.gov.hu).

A TALAJ RADON POTENCIÁL VIZSGÁLATOK HÁTTERE, GYAKORLATA ÉS EREDMÉNYEI

Homoki Zsolt^{1,2}, Szigeti Ágnes¹, Tóth Gergely², Csordás Anita², Kovács Tibor²

¹Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ

²Pannon Egyetem

Az elmúlt évtizedekben egy radioaktív nemesgáz, a radon került a sugárvédelemmel foglalkozók érdeklődésének fókuszába mivel a radon a második legnagyobb kockázati tényező a tüdőrák kialakulásában a dohányzást követően. A WHO közleménye alapján az összes megbetegedés kb. 3-14%-áért felelős a radon.

A nemzetközi tudományos szervezetek ajánlásait figyelembe véve az Európai Unió is beépítette a sugárvédelmi irányelvébe (2013/59/EURATOM direktíva) a természetes forrásokból származó expozíciók korlátozásának elvét, és követelményeket fogalmazott meg a betartásukra. 2021-ben indult el Magyarországon a Nemzeti Radon Cselekvési Terv célkitűzéseinek megvalósítása a Nemzeti Népegészségügyi Központ irányításával. Ennek célja megismerni a hazai lakosság radon-kitettségének nagyságát és területenkénti változatosságát. Figyelmet igénylő, jelentős radonszint olyan zárt terekben tud kialakulni elsődlegesen, ahol alacsonyabb a szellőzés és nagy a radon beáramlás mértéke. Tipikus ilyen helyek pl. az épületek, a földalatti üregek (bányák, barlangok) és a gyógyvizes fürdők. Az épületekben lévő radon legnagyobb részt az alatta lévő talajból származik, amelyhez hozzájárul az építőanyagból felszabaduló radon is. Ezért fontos számunkra, hogy mekkora a talajgázban a radon-koncentráció. Ez azonban önmagában csak közvetett kockázatot jelent. Fontos tudni azt is, hogy milyen könnyen jut ki a radon a talaj pórusaiból a felszínre. A kettő paraméterből együtt lehet következtetni egy adott területet jellemző, talaj eredetű, ún. geogén radon potenciál (GRP) értékére. Az országos radon program egyik kiemelt célja ezért hazánk területének felmérése talaj radon potenciál szempontjából.

A vizsgálatok EC JRC által elfogadott módszertanát Csehországban, Matej Neznal és munkatársai dolgozták ki. A terepi vizsgálataink során mi is e módszer alapján dolgozunk. A módszer a 80 cm mélységben lévő talajgáz radon-koncentrációjának és a talaj gázáteresztő képességének (ún. permeabilitásának) a helyszíni meghatározásán alapul. A kettő eredményből számítható a geogén radon potenciál értéke. A mérési eredmények mellett feljegyezzük az időjárásra vonatkozó információkat is, mérjük a háttér gamma-dózisteljesítményt és talajmintát veszünk a laboratóriumi mérésekhez.

Az NNGYK és a Pannon Egyetem együttműködéseként mostanáig felmérésre került a Dunántúl teljes területe, az Északi-középhegység Miskolctól keletre eső része, valamint az Alföld jelentős része. Eddig több mint 2150 helyszínen történt vizsgálat. A helyszíni vizsgálatok befejezésére várhatóan 2025-ben kerül sor. Ugyanakkor már elkezdődött az eredmények kiértékelése, statisztikai feldolgozása. Az eredményeket önmagukban, a geológiai információkkal, valamint a beltéri radon felmérés eredményeivel összevetve vizsgáltuk. Ez alapján elmondható, hogy a legtöbb tájegységünkön a mért értékek heterogenitást mutattak, de a helyszíneket a talajtani besorolásuk alapján csoportosítva, az egyes formációkhoz tartozó értékek egymástól megkülönböztethető eloszlásúak. Egyesek alacsonyabb, mások magasabb talaj radon potenciállal jellemezhetők.

Előadásunkban bemutatjuk a talaj radon potenciál vizsgálatok szükségességének okát, elméleti hátterét, gyakorlati kivitelezését és az eredmények elemzéséből eddig levonható következtetéseinket.

BACKGROUND, METHOD AND RESULTS OF THE RADON POTENTIAL EXAMINATIONS

Zsolt Homoki^{1,2}, Ágnes Szigeti¹, Gergely Tóth², Anita Csordás², Tibor Kovács²

¹*National Center for Public Health and Pharmacy*

²*University of Pannonia*

A radioactive noble gas, the radon, has gotten into the focus of interest of some radiation protection specialists in the last decades. Why the radon? Because of the radon is the second leading factor in the incidence of developing lung cancer after smoking. According to WHO Radon Handbook, the radon is responsible for 3-14% of all incidences.

Several international scientific organisations propagated the necessity of limitation of exposures from natural sources in their recommendations. The European Union has adopted this principle and updated its own radiation protection directive (2013/59/EURATOM Directive) amended with requirements for monitoring and control of the natural radiation sources among the public and workers. In 2021, a comprehensive, nationwide radiation health program was launched by the National Public Health Center in Hungary. The aim of the program was to get data about the magnitude and spatial distribution of radon exposure of the general Hungarian population.

The radon can primarily accumulate in significant amounts only in confined spaces where the ventilation rate is low and the radon ingress speed is high. Such typical places are the buildings, underground cavities (mines, caves) and thermal spas. The radon in the buildings originates primarily from the soil underneath the house. The building material can also have some contribution to its level. Thus, the radon concentration of the soil is an important factor. The gas permeability of soil is another important parameter, which provides information on how easily the radon gas came out from the soil. Using these parameters, we can calculate the so-called geogenic radon potential (GRP) value, which is applicable to characterise the soil originated radon risk potential of an area. One of the priority goals of the national radon program is to examine the whole territory of Hungary from the point of view of soil radon potential. The methodology of the soil radon potential study accepted by the EC JRC was developed in the Czech Republic by Matej Neznal et. al. We followed the same procedure during our field expedition work. The test method is based on the in-situ determination of radon concentration and the permeability of soil gas at 80 cm depth. The value of the geogenic radon potential can be calculated from the results of these two parameters using the appropriate formula. Additionally, the weather information is recorded, the background gamma dose rate is measured and soil samples are taken for laboratory examination purposes, respectively.

A large part of the territory of Hungary has already been surveyed as a result of the cooperation between the NCPHP and the University of Pannonia. More than 2150 sites have been surveyed until now. These surveys are expected to be completed in 2025. At the same time, the evaluation and statistical processing of the results has already begun. The results are examined in themselves, and in connection with the geological information and the results of the indoor radon survey. The results of analysis showed that the measured values varied within the examined field, but if we grouped the values according to the geology, they could be characterised with a specific distribution. Some geology formations can be characterised with lower, other ones with higher soil radon potential.

In our presentation, we would like to present the theoretical background, the practical implementation of the soil radon potential studies and our conclusions that can be drawn from the results of the analysis.

RÉSZTVEVŐK LISTÁJA
LIST OF PARTICIPANTS

Agárdiné Újvárosy Melinda

AFV Kft.
4030 Debrecen, Tarányi J. u. 2.
iroda@tabla.hu

Aicha Nour Laouameria

HUN-REN Atommagkutató Intézet
4026 Debrecen, Bem tér 18/C.
laouameria.aicha.nour@atomki.hu

Bagosi Norbert

Országos Atomenergia Hivatal
1036 Budapest Fényes Adolf u 4.
BagosiNorbert@haea.hu

Balla Viktória

Debreceni Egyetem
Orvosi Képző Intézet
Nukleáris Medicina Tanszék
4032 Debrecen, Nagyerdei krt. 98.
bviko17@gmail.com

Bátor Gergő

Radioökológiai Tisztaságért Társadalmi Szervezet
8200 Veszprém, József Attila u. 7/A 2/10.
batorgergo@rttsz.hu

Bednár András

Radioökológiai Tisztaságért Társadalmi Szervezet
8200 Veszprém, József Attila u. 7/A 2/10.
bm.abednar@gmail.com

Botárné Forgács Viktória

Debreceni Egyetem
Orvosi Képző Intézet
Nukleáris Medicina Tanszék
4032 Debrecen, Nagyerdei krt. 98.
forgacs.viktoria@med.unideb.hu

Brezovcsik Károly

HUN-REN Atommagkutató Intézet
4026 Debrecen, Bem tér 18/C.
brezovcsik.karoly@atomki.hu

Buda Csaba

Canberra-Packard Kft.
1221 Budapest, Honfoglalás út 72.
c.buda@cpce.net

Csurgai József

SOMOS KFT
1031 Budapest, Szentendrei út 141.
jcsurgai@gmail.com

Déri Zsolt

Országos Atomenergia Hivatal
1036 Budapest Fényes Adolf u 4.
derizsolt@haea.hu

Flachner Orsolya

Országos Atomenergia Hivatal
1036 Budapest Fényes Adolf u 4.
flachner@haea.hu

Fodor Mátyás

HUN-REN Atommagkutató Intézet
4026 Debrecen, Bem tér 18/C.
fermium@atomki.hu

Galuska László

Debreceni Egyetem
Orvosi Képző Intézet
Nukleáris Medicina Tanszék
4032 Debrecen, Nagyerdei krt. 98.
galuska.laszlo@gmail.com

Garai Zoltán

GAMMA Műszaki Zrt.
1097 Budapest, Illatos út 11/b.
garai@gammatech.hu

Gonter Katalin

Országos Atomenergia Hivatal
1036 Budapest Fényes Adolf u 4.
Gonter@haea.hu

Gracheva Maria

Eötvös Loránd Tudományegyetem
1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C
maria.gracheva@ek.hun-ren.hu

Gyuricza Barbara

Izotóp Intézet Kft.
1121 Budapest, Konkoly Thege út 29-33.
gyuricza@izotop.hu

Homlok Renáta

HUN-REN Energiatudományi
Kutatóközpont
1121 Budapest Konkoly-Thege út 29-33.
homlok.renata@ek.hun-ren.hu

Homoki Zsolt

Nemzeti Népegészségügyi és
Gyógyszerészeti Központ
1097 Budapest, Albert Flórián út 3/A.
homoki.zsolt@nngyk.gov.hu

Homonnay Zoltán

Eötvös Loránd Tudományegyetem
1053 Budapest Egyetem tér 1-3.
homonnay.zoltan@ttk.elte.hu

Horváth Nikoletta

Országos Atomenergia Hivatal
1036 Budapest Fényes Adolf u 4.
HorvathN@haea.hu

Horváth Roland

Országos Atomenergia Hivatal
1036 Budapest Fényes Adolf u 4.
HorvathR@haea.hu

Jószai István

Debreceni Egyetem
Orvosi Képző Intézet
Nukleáris Medicina Tanszék
4032 Debrecen, Nagyerdei krt. 98.
joszai.istvan@med.unideb.hu

Kálmán-Szabó Ibolya

Debreceni Egyetem
Orvosi Képző Intézet
Nukleáris Medicina Tanszék
4032 Debrecen, Nagyerdei krt. 98.
szabo.ibolya@med.unideb.hu

Kaposy Nándor

HUN-REN Energiatudományi
Kutatóközpont
1121 Budapest, Konkoly-Thege út 29-33.
kaposy.nandor@ek.hun-ren.hu

Kasztovszky Zsolt

HUN-REN Energiatudományi
Kutatóközpont
1121 Budapest, Konkoly-Thege út 29-33.
kasztovszky.zsolt@ek.hun-ren.hu

Kocsonya András

HUN-REN Energiatudományi
Kutatóközpont
1121 Budapest, Konkoly-Thege út 29-33.
kocsonya.andras@ek.hun-ren.hu

Kónya József

Debreceni Egyetem, Fizikai Kémiai
Tanszék
4032 Debrecen, Egyetem tér 1.
konya.jozsef@science.unideb.hu

Kovács Árpád

Országos Atomenergia Hivatal
1036 Budapest Fényes Adolf u 4.
KovacsArpad@haea.hu

Kovács Krisztina

ELTE Kémiai Intézet
1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/a
krisztina.kovacs@ttk.elte.hu

Kovács Krisztina

HUN-REN Energiatudományi
Kutatóközpont
1121 Budapest, Konkoly-Thege út 29-33.
kovacs.krisztina@ek.hun-ren.hu

Kovácsné Bogdán Csilla

Országos Atomenergia Hivatal
1036 Budapest Fényes Adolf u 4.
kovacsnebogdancs@haea.hu

Kovácsné Huszár Noémi

Országos Atomenergia Hivatal
1036 Budapest Fényes Adolf u 4.
kovacsnehn@haea.hu

Környei József

Izotóp Intézet Kft.
1121 Budapest, Konkoly Thege út 29-33.
kornyei@izotop.hu

Kun Éva

Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal
1024 Budapest, Keleti Károly u. 24.
kune@nebih.gov.hu

Kuzmann Ernő

ELTE, Kémiai Intézet, Magkémia 1117
Budapest, Pázmány P. s 1/A
drkuzmann@gmail.com

Lázár Károly

HUN-REN Energiatudományi
Kutatóközpont
1121 Budapest, Konkoly Thege út 29-33.
lazar.karoly@ek-cer.hu

Lőrincz Hajnalka

Országos Atomenergia Hivatal
1036 Budapest Fényes Adolf u 4.
lorinczh@haea.hu

Madarász István

Országos Atomenergia Hivatal
1036 Budapest Fényes Adolf u 4.
Madarasz.Istvan@haea.hu

Machula Gábor

Országos Atomenergia Hivatal
1036 Budapest Fényes Adolf u 4.
MachulaG@haea.hu

Menyhárt Ádám

MVM Paksi Atomerőmű Zrt.
7030 Paks hrsz 8803/17
menyhart@npp.hu

Miovecz Ádám

Canberra-Packard Kft.
1118 Budapest, Pannónhalmi út 35/A
a.miovecz@cpce.net

Monoki Angéla

AFV Kft.
4030 Debrecen, Tarányi J. u. 2.
iroda@tabla.hu

Nagy Noémi

Debreceni Egyetem, Fizikai Kémiai
Tanszék
4032 Debrecen, Egyetem tér 1.
nagy.noemi@science.unideb.hu

Németh Zoltán

LynXes Innovation Kft.
2600 Vác Hanusz István 28.
zoltan.nemeth@lynxes.eu

Nényei Árpád

MVM Paksi Atomerőmű Zrt.
7030 Paks hrsz 8803/17
nenyeia@npp.hu

Osváth Szabolcs

Nemzeti Népegészségügyi és
Gyógyszerészeti Központ
1097 Budapest, Albert Flórián út 3/A.
osvath.szabolcs@nngyk.gov.hu

Papp István

Isotoptech Zrt.
4025 Debrecen, Piac u.53., II. em. 9.
pappistvan@isotoptech.hu

Garai Zoltán

GAMMA Műszaki Zrt.
1097 Budapest, Illatos út 11/b.
petranyi@gammatech.hu

Poscher János

Izotóp Intézet Kft.
1121 Budapest, Konkoly Thege út 29-33.
poscher@izotop.hu

Rebb Nikoletta

Országos Atomenergia Hivatal
1036 Budapest Fényes Adolf u 4.
RebbN@haea.hu

Rell Péter

Nemzeti Népegészségügyi és
Gyógyszerészeti Központ
1097 Budapest, Albert Flórián út 3/A.
rell.peter@nngyk.gov.hu

Ritter Ákos

MVM Paksi Atomerőmű Zrt.
7030 Paks hrsz 8803/17
rittera@npp.hu

Schiller Róbert

HUN-REN Energiatudományi
Kutatóközpont
1121 Budapest, Konkoly-Thege út 29-33.
schiller.robert@ek.hun-ren.hu

Somogyi András

Nemzeti Népegészségügyi és
Gyógyszerészeti Központ
1097 Budapest, Albert Flórián út 3/A.
SomogyiA@haea.hu

Szemenyei Erzsébet

Izotóp Intézet Kft.
1121 Budapest, Konkoly Thege út 29-33.
szemenyei@izotop.hu

Szigeti Ágnes

Nemzeti Népegészségügyi és
Gyógyszerészeti Központ
1097 Budapest, Albert Flórián út 3/A.
szigeti.agnes@osski.hu

Szűcs Zoltán

HUN-REN Atommagkutató Intézet
4026 Debrecen, Bem tér 18/C.
zsuzcs@atomki.hu

Taba Gabriella

Semmelweis Egyetem
1085 Budapest Üllői ut 26.
tabagabi@gmail.com

Takács Erzsébet

HUN-REN Energiatudományi
Kutatóközpont
1121 Budapest Konkoly-Thege út 29-33.
takacs.erszebet@ek.hun-ren.hu

Várhalminé Németh Enikő

Debreceni Egyetem
Nukleáris Medicina Tanszék
4032 Debrecen, Nagyerdei krt. 98.
nemeth.eniko@med.unideb.hu

Vajda Nóra

RADANAL Kft.
1121 Budapest, Konkoly-Thege út 29-33.
vajdanor@gmail.com

Vizbel Ákos

Semmelweis Egyetem
Sugárvédelmi szolgálat
1082 Budapest, Üllői Út 78.
vizbel.akos@semmelweis.hu

Vörös Zoltán János

Debreceni Egyetem, Fizikai Kémiai
Tanszék
4032 Debrecen, Egyetem tér 1.
voros.janos@science.unideb.hu

Windisch Gábor

Sugárvédelmi szakértő
1195 Budapest, József Attila u. 88.
wingabor59@gmail.com

Wojnárovits László

HUN-REN Energiatudományi
Kutatóközpont
1121 Budapest Konkoly-Thege út 29-33.
wojnarovits.laszlo@ek.hun-ren.hu

Zagyvai Péter

HUN-REN Energiatudományi
Kutatóközpont
1121 Budapest, Konkoly-Thege út 29-33.
zagyvai.peter@ek.hun-ren.hu

Zsille Ottó

SOMOS KFT
1031 Budapest, Szentendrei út 141.
jcsurgai@gmail.com

Zsoldos Balázs

Izotóp Intézet Kft.
1121 Budapest, Konkoly Thege út 29-33.
zsoldos@izotop.hu
