

Kutatásainkat az

- Állatorvosi Egyetemmel, az
- Óbudai Egyetemmel, az
- MTA Wigner Fizikai Kutatóközponttal, a
- Szegedi Tudományegyetemmel, az
- ELI-ALPS Kutatóintézettel, az
- MTA Atommagkutató Intézet (ATOMKI)-val közösen végezzük.

kutató fejlesztő munkánkba további magyar és külföldi egyetemek és kutatóintézetek bevonását is tervezzük.

Jelenleg folyó anyagvizsgálatok:

- Gamma Aktivizációs Analízis
- Röntgen Lumineszcencia
- Tömegspektrométer
- Raman Szórás
- Pixe – Proton Induced X-ray Emission vagy Particle-induced X-ray Emission
- Plazma Abláció - Impulzus Lézer Indukált Plazma Spektrometria
- NMR - Nuclear Magnetic Resonance
- ESR – Electron Spin Resonance
- ELI (Extreme Light Infrastructure - Extrém Fényimpulzus Forrás – „Superlézer”)
- Time resolved electron diffraction of macromolecules.
- Induktív csatolású plazma atom- és tömegspektrometria (ICP-AES, ICP-MS)
- Lézer indukált plazma spektroszkópia (LIPS/LIBS)

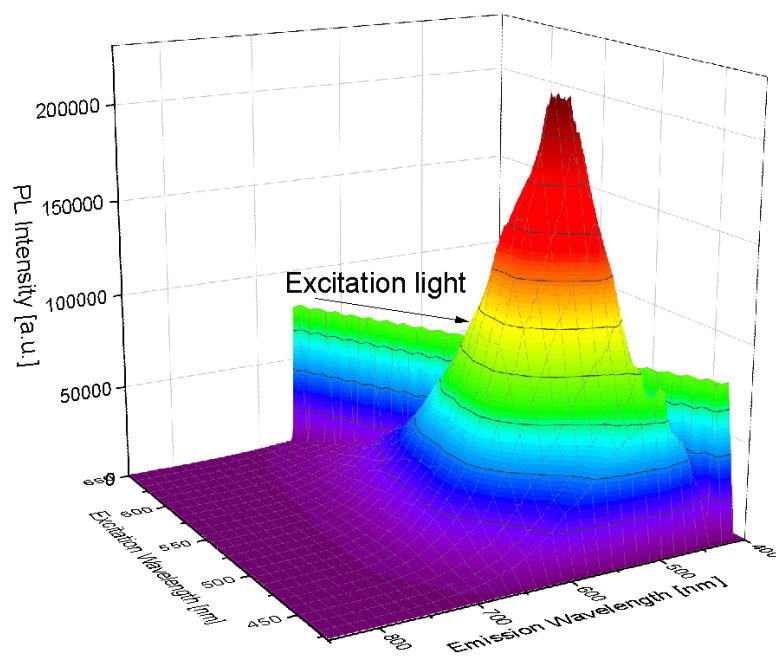
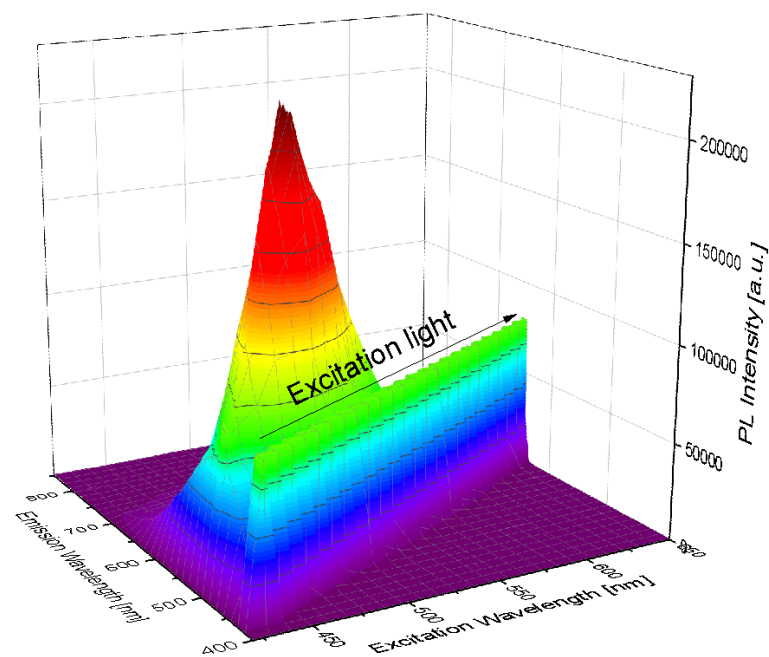
Hamarosan induló klinikai vizsgálat

- Dr. Hideghéty Katalin Ph.D., habil, Egyetemi Docens - Szegedi Tudományegyetem Általános Orvostudományi Kar, Onkoterápiás Klinika, – Tumor vizsgálatok – zebrahal



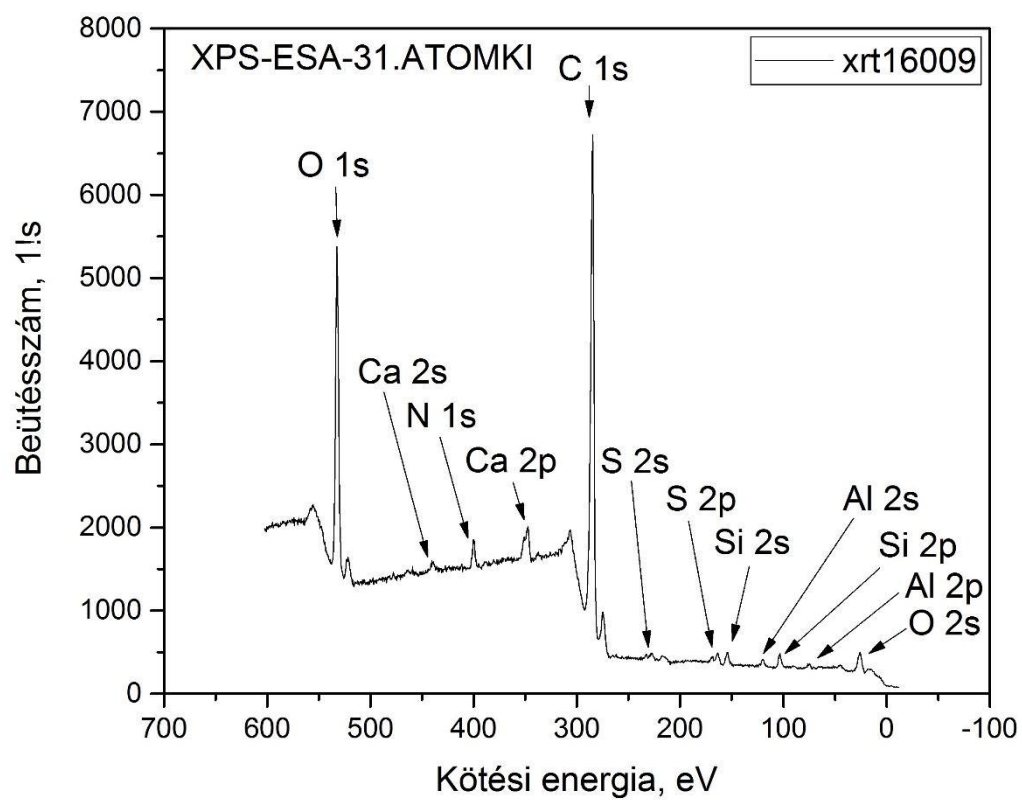
Általunk gyártott fulvosav (Barna – Donát supermacro felvétele)

5.8.2. Fotolumineszcencia



Fotolumineszcencia 3D (Gerjesztési-emissziós) mérések

5.8.3. Induktív csatolású plazma atom- és tömegspektrometria



Induktív csatolású plazma atom- és tömegspektrometria (ICP-AES, ICP-MS)

5.8.4. Huminsavak és fulvosavak összetétele

Összetétel	Huminsavak	Fulvosavak
C	56,4	50,9
H	5,5	3,3
O	32,9	44,8
N	4,1	0,7
S	1,1	0,3
Funkciós csoportok szerint (mol kg ⁻¹)		
Savas csoportok	6,6	12,4
-COOH	4,5	9,1
-OH (fenolok)	2,1	3,3
-OH (alkoholok)	2,8	3,6
=CO (ketonok)	1,9	2,5
=CO (kinonok)	2,5	0,6
-OCH ₃	0,3	0,1

Huminsavak és fulvosavak összetétele – száraz anyagra vonatkoztatva (tömeg %-ban)

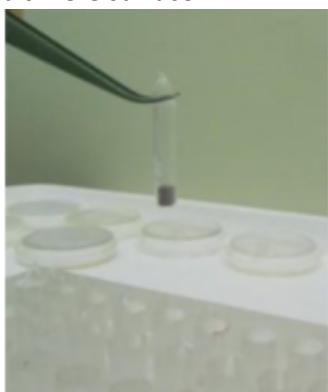
5.8.5. NAA vizsgálat

A humic acid sample were analysed with prompt-gamma activation (PGAA), and neutron activation analytical methods (NAA). The measurements were performed at the Budapest Neutron Centre (BNC). The PGAA and NAA facilities are operated by the Nuclear Analysis and Radiography Department, Centre for Energy Research, Hungarian Academy of Sciences. The methods were validated by numerous geological reference standards, and by inter-laboratory comparison. At the Budapest Neutron Centre both NAA and PGAA are using the k_0 -standardization method, which does not require a standard for analysis.

5.8.5.1. NAA

Neutron activation analysis (NAA) is a method for quantitative composition analysis of chemical elements, based on the partial conversion of stable nuclei in the sample to radioactive nuclei by known nuclear reactions. This is followed by the quantitation of the reaction products via their gamma radiations. The selective measurement of the radiation gives quantitative and qualitative information about the produced radioactive atoms. The NAA is especially capable of trace element determination in $\mu\text{g/g}$ concentration range or below. NAA method requires only simple sample preparation. For the measurement only small amount of sample needed, however the irradiated samples become radioactive, that it cannot be returned to the owner.

For k_0 -NAA irradiation, 108 μg humic acid powder sample were heat-sealed in high-purity quartz ampoule (Suprasil AN, Heraeus). The quartz ampoule was wrapped in aluminium foil and in a set with 5 other powder samples were encapsulated in an aluminium container, irradiated in a rotating, well-thermalized channel of the Budapest Research Reactor (BNC) for 3 hours. With the samples, monitor foils of Au, Zr were co-irradiated to get the flux parameters, which are essential to the concentration calculations by the k_0 -method. The thermal neutron flux density of rotating irradiation channel (N°17) has been $1.86 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Prior to the gamma counting, the irradiated quartz vials were surface



108 mg sample measured in high purity quartz ampoules, waiting for long irradiation.

The Budapest Research Reactor, where the humic acid samples was irradiated for NAA measurements.

cleaned by chemical etching in 10 % hydrogen fluoride acid solution, washed with double distilled water and finally dried. The gamma radiation of the humic acid sample was counted twice. After a typical decay time of 4 days, the gamma spectrum was collected for 900 sec, at 10 cm from the

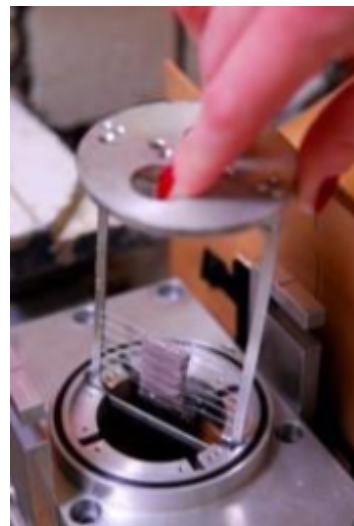
detector top. To improve the detection limit for several radionuclides, a second measurement was made after 20 days, when the spectrum was measured for 6600 sec, at 5 cm from detector top. The gamma-rays emitted from the samples were counted within low-level counting chambers (to reduce the room background), with a carefully calibrated p-type Ortec PopTop HPGe detector, having an energy resolution of 1.75 keV and relative efficiency of 55 % at 1332 keV, operated in a 50-3300 keV energy range. The detector was connected to a dual-input ORTEC DSPEC 502 spectrometer, and read out by the ORTEC Maestro 7 software. The spectra with 2×16 k channel were recorded with the zero-dead time (ZDT) option to accurately account for the different time dynamics of the isotopes (Szentmiklósi et al 2016). The corrected and uncorrected halves of the spectra are stored in a single SPC file. For spectrum evaluation HyperLab 2013.1 software was used (Simonits et al. 2003). For identification of radioactive isotopes and for element concentration calculations KayZero for Windows 3.06 program (De Corte et al. 2001) was applied, which is able to determine thermal and epithermal neutron flux ratio (f), α , and F_c calculation factors. KayZero calculates concentrations using the k_0 -standardization method according to De Corte and Simonits (2003).

Altogether, concentration of 24 elements (Ca, K, Fe as major components; Ba, Sr, Nd, Na as minor components; some rare-earth elements: La, Ce, Sm, Eu; actinides: Th and U; transition metals: Co, Cr, Hf, Sc, Ta, Zn; alkali metals: Cs, Rb; nonmetals: As, Sb; and Br as halogens) could be quantified by NAA method, with a relative uncertainty below 10%. Result can be found at Table 1. The elemental concentrations are given in $\mu\text{g/g}$ SI units, with absolute ($\mu\text{g/g}$) and relative (%) uncertainty, and also detection limit is given for every element and measurements in $\mu\text{g/g}$ units.

5.8.5.2. PGAA

Prompt gamma activation analysis is also a nuclear analytical technique for non-destructive determination of elemental and isotopic compositions (Révay and Belgya 2004). The sample is irradiated in a guided neutron beam, and the gamma-rays from the radiative capture are detected. All elements can be analysed (except for helium), without any prior information on the analyte. The energies and intensities of the peaks are independent of the chemical state of the material; hence the analytical result is free of any matrix effects. Both neutrons and gamma-rays are highly penetrating; therefore, the average composition of the entire illuminated volume is obtained.

For PGAA analysis, 6 g-portion was weighted and heat-sealed into Teflon bags. The neutron flux at the sample position of the PGAA station was about $9.6 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$. The cross-section of the neutron beam was adjusted to $20 \times 20 \text{ mm}^2$ to optimize the count rate. The gamma radiation from the radiative neutron capture was detected with a High- Purity Germanium (HPGe) detector, surrounded by a Bismuth Germanate (BGO) scintillator and 10 cm thick lead shielding for 10 hours; the signals were processed with a Canberra AIM 556A multichannel analyser. The facility have been described in details in an earlier publication (Szentmiklósi et. al. 2010). The spectra was evaluated with Hypermet-PC gamma spectroscopy software. The element identification was done with the ProSpeRo program, utilizing our prompt-gamma analysis library (Révay et al. 2004). The results of the analyses are shown in Table 2. The table contains the concentrations of the major elements (in oxide and elemental form in wt%), and the trace elements (in $\mu\text{g/g}$) together with their relative 2-sigma ($k=2$) uncertainties. The measurement is non-destructive, and the induced radioactivity is low and decays in few hours or in 1-2 days, so samples can be given back to owners.



6 g of powdered humic acid sample wrapped in teflon bag, waiting for PGAA measurement.

De Corte F, and Simonits, A.: Recommended nuclear data for use in the $k(0)$ standardization of neutron activation analysis. At Data Nucl Data Tables 85, 47–67. (2003)

De Corte F, van Sluijs R, Simonits A et al.: Installation and calibration of Kayzero-assisted NAA in three Central European countries via a Copernicus project Appl. Radiat Isot 55, 347–354. (2001)

Révay, Zs., and Belgya, T.: Principles of the PGAA method. In: Molnár, G.L. (Eds.), Handbook of Prompt Gamma Activation Analysis with Neutron Beams. Kluwer, pp. 1-30. (2004)

Révay, Zs., Firestone, R.B., Belgya, T., Molnár, G.L.: Catalog and Atlas of Prompt Gamma Rays in Handbook of Prompt Gamma Activation Analysis with Neutron Beams, ed. G.L. Molnár, *Kluwer Academic Publishers*, Dordrecht/Boston/New York, (2004) 173–364.

Simonits A, Ostor J, Kalvin S et al.: HyperLab: a new concept in gamma-ray spectrum analysis. *J Radioanal Nucl Chem* 257, 589–595. (2003)

Szentmiklósi, L., Belgya, T., Revay, Zs., Kis, Z.: Upgrade of the prompt gamma activation analysis and the neutron-induced prompt gamma spectroscopy facilities at the Budapest research reactor, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 286, 501–505. (2010)

Szentmiklósi, L., Párkányi, D., Sziklai-László, I. (2016): Upgrade of the Budapest neutron activation analysis laboratory. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 309, 91-99.

Table 1.

NAA result of the analyzed humic acid sample. The elemental concentrations are given in $\mu\text{g/g}$ SI units, with absolute ($\mu\text{g/g}$) and relative (%) uncertainty, and also detection limit is given for every element in $\mu\text{g/g}$ units. The given uncertainty equals 1.00 standard deviations including 1.8% systematical uncertainty(*).

HS	Q130	3h irradiation		
Humic Acid		k_0 -NAA		
mg/kg	Conc.	Unc.	Rel.Unc.	LD
As	5,77	0,18	3,0%	0,46
Ba	183	14	7,8%	29
Br	86,1	1,6	1,8%	0,5
Ca	35170	2618	7,4%	2555
Ce	11,6	0,3	2,7%	0,7
Co	2,12	0,06	2,7%	0,06
Cr	12,4	0,4	3,2%	1,1
Cs	2,38	0,05	2,2%	0,11
Eu	0,17	0,01	3,1%	0,02
Fe	5739	111	1,9%	51
Hf	0,67	0,03	4,8%	0,09
K	2440	80	3,3%	164
La	4,60	0,10	2,1%	0,13
Na	979	18	1,8%	0,2
Nd	421	13	3,2%	4
Rb	15,2	0,8	5,5%	2,5
Sb	0,45	0,03	6,0%	0,06
Sc	1,71	0,03	2,0%	0,01
Sm	0,79	0,02	2,6%	0,05
Sr	189	15	7,8%	53
Ta	0,16	0,01	7,4%	0,04
Th	1,56	0,05	2,9%	0,09
U	7,12	0,20	2,8%	0,67
Zn	20,9	1,1	5,0%	3,1

	transition metals
	rear earth
	element
	actinides
	major elements
	minor element
	alkali metals
	nonmeta
I	

Table 2.

PGAA result of the analyzed humic acid sample. The table contains the concentrations of the measured elements (in elemental form in $\mu\text{g/g}$ SI units) together with their relative 2-sigma ($k=2$) uncertainties.

PGAA		
	C $\mu\text{g/g}$	UNC $\mu\text{g/g}$
Al	9570	566.96
B	77.6	4.03
Br	2.43	0.66
C	354400	19059.25
Ca	36400	2194.13
Cd	0.163	0.01
Cl	221	12.15
Fe	5880	335.12
Gd	0.845	0.06
H	38200	1973.18
K	2610	145.60
Mg	4790	388.53
Mn	156	9.49
Nd	1.51	0.33
O	478300	23902.58
S	29600	1640.43
Si	39100	2232.43
Sm	0.75	0.04
Ti	591	34.89
V	47.6	4.87

5.8.6. PGAA – ICP-MS - XRF

Z	El	PGAA	PGAA	ICP-MS	ICP-MS	XRF	XRF
		c µg/g	unc µg/g	c µg/g	unc µg/g	c µg/g	unc µg/g
1	H	38200	1973,18				
5	B	77,6	4,03	52,81	0,08		
6	C	354400	19059,25				
8	O	478300	23902,58				
	M						
12	g	4790	388,53	2776,71	618,04		
13	Al	9570	566,96	6493,55	437,64	9267,16	1887,32
14	Si	39100	2232,43			26324,14	1239,82
15	P					2583,90	518,82
16	S	29600	1640,43			87149,64	1755,36
17	Cl	221	12,15			489,83	93,91
19	K	2610	145,60			3309,61	283,98
20	Ca	36400	2194,13	16535,23	2251,42	58989,38	1132,27
22	Ti	591	34,89	585,99	19,02	786,04	53,06
23	V	47,6	4,87			96,64	31,45
24	Cr			10,92	1,59		
	M						
25	n	156	9,49	92,21	3,20	218,44	105,18
26	Fe	5880	335,12	4403,48	344,98	10727,97	389,81
27	Co			1,77	0,07		
28	Ni			7,86	0,81		
29	Cu			3,89	0,09		
30	Zn					50,24	16,86
35	Br	2,43	0,66				
37	Rb					37,87	3,76
38	Sr			149,92	8,45	274,17	10,66
39	Y			2,72	0,17		
40	Zr					96,63	7,51
41	Nb					33,18	4,62
	M						
42	o			9,53	0,24	58,68	5,96
48	Cd	0,163	0,01	0,10	0,00	28,50	10,45
51	Sb			2089,36	142,89		
55	Cs			1,75	0,26		
56	Ba			107,45	16,75		
57	La			3,15	0,56		
58	Ce			6,15	1,28		
60	Nd	1,51	0,33	2,89	0,47		
62	Sm	0,75	0,04				
64	Gd	0,845	0,06				
81	Tl			0,23	0,01		

82	Pb	2,84	0,42
90	Th	0,44	0,22

5.8.7. Az emberi szervezetben és a termékeinkben található huminsav/fulvosav elemei

Rendszám	Csoport	Vegyjel	Elem	Szervezetben %	Atom %	kg / 70 kg	Huminsav µgr / gr	Huminsav %
8	16	O	Oxigén	65	24	43	478 300,00	47,830000
6	14	C	Szén	18	12	16	354 400,00	35,440000
1	1	H	Hidrogén	10	62	7	77,60	0,007800
7	15	N	Nitrogén	3	1,1	1,8		
20	2	Ca	Kalcium	1,4	0,22	1	58 989,38	5,898938
15	15	P	Foszfor	1,1	0,22	0,78	2 583,90	0,258390
19	1	K	Kálium	0,25	0,033	0,14	3 309,61	0,330961
16	16	S	Kén	0,2	0,038	0,14	87 149,64	8,714964
11	1	Na	Nátrium	0,15	0,037	0,1		
17	17	Cl	Klór	0,15	0,024	0,095	489,83	0,048983
12	2	Mg	Magnézium	0,05	0,007	0,019	4 790	0,479000
26	8	Fe	Vas	0,006	0,000 67	0,004 2	10 727,97	1,072797
9	17	F	Fluor	0,003 7	0,001 2	0,002 6		
30	12	Zn	Cink	0,003 2	0,000 31	0,002 3	50,24	0,005024
14	14	Si	Szilícium	0,002	0,005 8	0,001	26324,14	2,632414
40	4	Zr	Cirkónium	0,000 6	0,000 000 3	0,000 001	96,63	0,009663
37	1	Rb	Rubídium	0,000 46	0,000 033	0,000 68	37,87	0,003787
38	2	Sr	Stroncium	0,000 46	0,000 033	0,000 033	274,17	0,027417
35	17	Br	Bróm	0,000 29	0,000 03	0,000 03	2,43	0,000243
82	14	Pb	Ólom	0,000 17	0,000 045	0,000 004 5	2,84	0,000284
41	5	Nb	Nióbium	0,000 16		0,000 001 5	33,18	0,003318
57		La	Lantán	0,000 137		0,000 000 8	3,15	0,000315
29	11	Cu	Réz	0,000 1	0,000 010 4	0,000 072	3,89	0,000389
13	13	Al	Alumínium	0,000 087	0,000 015	0,000 06	9 570,00	0,957000
48	12	Cd	Kadmium	0,000 072	0,000 004 5	0,000 004 5	28,50	0,002850
58		Ce	Cérium	0,000 057	0,000 000 2	0,000 012	6,15	0,000615
56	2	Ba	Bárium	0,000 031	0,000 001 2	0,000 022	107,45	0,010745
23	5	V	Vanádium	0,000 026	0,000 000 012	0,000 000 012	96,64	0,010745
50	14	Sn	Ón	0,000 024	0,000 000 6	0,000 02		
53	17	I	Jód	0,000 016	0,000 000 75	0,000 02		
79	11	Au	Arany	0,000 014	0,000 000 3	0,000 000 3		
22	4	Ti	Titán	0,000 013		0,000 02	786,04	0,078604
5	13	B	Bór	0,000 069	0,000 003	0,000 018	77,60	0,007760
33	15	As	Arzén	0,000 026	0,000 000 089	0,000 007		
34	16	Se	Szelén	0,000 019	0,000 000 045	0,000 015		
80	12	Hg	Higany	0,000 019	0,000 000 089	0,000 006		
25	7	Mn	Mangán	0,000 017	0,000 001 5	0,000 012	218,44	0,021844
28	10	Ni	Nikkel	0,000 014	0,000 001 5	0,000 015	7,86	0,000786
42	6	Mo	Molibdén	0,000 013	0,000 000 045	0,000 005	58,68	0,005868
52	16	Te	Tellúr	0,000 012		0,000 000 7		
32	14	Ge	Germánium	0,000 011		0,000 005		
51	15	Sb	Antimon	0,000 011		0,000 002	2 089,36	0,208936
3	1	Li	Lítium	0,000 003 1	0,000 001 5	0,000 007		
24	6	Cr	Króm	0,000 002 4	0,000 000 089	0,000 014	10,92	0,001092
55	1	Cs	Cézium	0,000 002 1	0,000 006	0,000 006	1,75	0,000175
27	9	Co	Kobalt	0,000 002 1	0,000 000 3	0,000 003	1,77	0,000177
47	11	Ag	Ezüst	0,000 001		0,000 002		
92		U	Uránium	0,000 000 1 3	0,000 000 003	0,000 000 1		
31	13	Ga	Gallium			0,000 000 7		
39	3	Y	Ittrium			0,000 000 6	2,72	0,000272
83	15	Bi	Bizmut			0,000 000 5		
81	13	Tl	Tallium			0,000 000 5	0,23	0,000023
49	13	In	Indium			0,000 000 4		
21	3	Sc	Szkandium			0,000 000 2		
73	5	Ta	Tantál			0,000 000 2		
90		Th	Tórium			0,000 000 1	0,44	0,000044
62		Sm	Szamárrium			0,000 000 05	0,75	0,000075
74	6	W	Volfrám			0,000 000 02		
4	2	Be	Berillium	0,000 000 05	0,000 000 045	0,000 000 036		
60		Nd	Neodimium				2,89	0,000289
88	2	Ra	Rádium	0,000 000 000 000 1		0,000 000 000 000 03		

Az emberi szervezetben és a termékeinkben található huminsav / fulvosav kémiai elemei

5.8.8. Kutatási témák, részben már folyó kísérletek

Az általunk gyártott különböző beltartalommal rendelkező huminsavakból, és

- A Budapesti Erdőgazdasági Zrt. Szentendrei laktanyában működő biomassza kazánjában keletkező, lúgos talaj javítására alkalmas biomassza hamuból, és
 - Az erdőműveléskor keletkező, eddig magas költségek árán megsemmisített, elégetett, hasznosíthatatlan veszélyes hulladékokból, mint a földből kiásott gyökerekből, és más mezőgazdasági hulladékból, további beruházások nélkül, a meglevő gépeinkkel, előállított talajjavításra alkalmas anyagból, és
 - A kimerülőben levő foszforbányák kiváltására, a jelenleg veszélyes hulladékként kezelt, vágóhidakon nagymennyiségben keletkező állati csontokból, pirolitikus eljárással előállított, magas foszfortartalmú csontlisztből, és
 - A szennyvíziszapból, és
 - Egyéb biokomposztokból, és
 - Az élelmiszeripari szennyvizeken (sörgyár, cukorgyár, stb.) nevelt algákból,
- magas hozzáadott értéket képviselő termékeket tervezünk gyártani. Az így előállított talajjavító anyag értéke meghaladhatja a kilónkénti ötven Eurót is.

Például: a Kaposvár-i cukorgyár kampányszerűen működik. Ősszel kezdi a munkát, és addig dolgozik, amíg van alapanyaga. A munkájuk során keletkező szennyvizüket tavakban tárolják. A Kaposvár-i szennyvíztisztító innen szivattyúzza a cukorgyár szennyvizét, amikor ennek feldolgozására van kapacitása. Költséges és nehéz ennek a magas kálium, nitrogén, és foszfortartalmú szennyvíznek a tisztítása, azonban ideális lehet algatenyésztésre. Az alga összegyűjti a szennyvízből ezeket az elemeket. Ez lehetne a szennyvíztisztítás első lépése, ami után sokkal könnyebb és olcsóbb a szennyvíz további tisztítása. Sörgyárak és cukorgyárak szívesen használnák ezt a technológiát, de számukra ez egy zéróegyenlegű technológia, mert nem tudnak mit kezdeni az algával. Azt is meg kéne semmisíteniük. Mi ezt az algát tovább feldolgozhatnánk, és megfelelő arányban a mezőgazdasági célra gyártott huminsavakhoz adhatnánk.

5.8.9. Huminsavak vizsgálatával kapcsolatos első publikációnk

Many Particle Spectroscopy of Atoms, Molecules, Clusters and Surfaces (MPS-2018, 21-24 August 2018 Danubius Hotel Flamenco, Budapest. Hungary) jelenik meg.

„Major and trace elements in humic acids”

Szerzői:

Gy. Pádi¹, I. F. Barna^{2,3}, M. A. Pocsai², K. Tőkési^{3,4}, Z. Kis⁵, K. Gmélíng⁵, T. Kocsis⁵, and J. Osán⁵

- 1., AndiMed kft. Budapest, 1121. Konkoly Thege Miklós út 29-33.
- 2., Wigner Research center, HAS, Budapest, 1121. Konkoly Thege Miklós út 29-33.,
- 3., ELI-HU Nonprofit Kft., Dugonics Tér 13, Szeged, 6720,
- 4., Institute of Nuclear Research of the HAS (ATOMKI), H-4001 Debrecen, P.O. Box 51,
- 5., Centre for Energy Research, HAS, Budapest, 1121. Konkoly Thege Miklós út 29-33.,

During the last decades large interest is turned to the use of humic acids. The aim of our recent research is the determination of the major and trace elements in humic acids measured by various physical methods.

The present measurements were carried out at the Prompt Gamma Activation Analysis (PGAA), and at the Neutron Activation Analysis (NAA) experimental stations of the Budapest Neutron Centre (BNC) [1]. Both nuclear analytical techniques provide quantitative elemental composition from the entire irradiated volume, based on the partial conversion of stable nuclei in the sample to radioactive nuclei by known nuclear reactions, and followed by the quantitation of the reaction products via their gamma radiations [2]. The major technical difference between PGAA and NAA originates from the gamma detection practice. PGAA is based on the on line detection of the prompt gamma rays, whereas NAA utilizes the delayed gamma rays observed after the irradiation, in a separate step. At the BNC both NAA and PGAA are using the k_0 -standardization method, which does not require a standard for analysis [3]. PGAA is capable to quantify major components and a few significant trace elements, while NAA is especially suitable for trace element determination in $\mu\text{g/g}$ concentration range or below. In this humic acid sample we were able to identify and quantify low-Z elements (H, B, Mg, Al, Si, S, Cl, K, Ca), metals (Ti, V, Mn, Fe) and rare earth elements (Sm, Gd) by PGAA; while with NAA, we quantified 24 elements (Ca, K, Fe as major components; Ba, Sr, Nd, Na as minor components; some rare-earth elements: La, Ce, Sm, Eu; actinides: Th and U; transition metals: Co, Cr, Hf, Sc, Ta, Zn; alkali metals: Cs, Rb; nonmetals: As, Sb; and Br as halogene).

References

- [1] www.bnc.hu
- [2] G. Molnár, editor , *Handbook of Prompt Gamma Activation Analysis with Neutron Beams* **(2004)** Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- [3] F. De Corte F, A. Simonits, *Data Nucl Data Tables* **(2003)** 85, 47–67.