

# Aktivációs analízis az élelmiszer-analitikában VI.

## Aktiválás töltött részecskékkel

SZABÓ S. ANDRÁS\* – SZASIN L. IGOR\*\*

\* Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem, Élelmiszerkémiai Tanszéki Csoport, Budapest  
\*\* Egyesített Atomkutató Intézet, Dubna

Érkezett; 1987. október 20.

Az 1977-ben indított cikksorozatunk célja az aktivációs mérés technika élelmiszer-analitikai vizsgálatokban történő felhasználhatóságának bemutatása. A sorozat I. részében (1) az aktivációs analízis (AA) elvi alapjait ismertettük. A II. részben (2) egyes mikroelemek neutronaktivációval történő meghatározásának eredményeit közöltük. A III. részben (3) a makroelem-összetétel klasszikus aktivációs (ún. radioaktivációs) mérési lehetőségét mutattuk be. A IV. részben (4) a fehérje- és börtartalom meghatározása kapcsán bemutattuk a prompt neutronaktivációs eljárás élelmiszerkémiai alkalmazhatóságát. Végül a legutóbbi, V. részben (5) az ugyancsak a prompt módszerek közé sorolt röntgenfluoreszcenciás (röntgenemissziós) analízis (XRF, REA) élelmiszer-analitikában való alkalmazási lehetőségeiről számoltunk be.

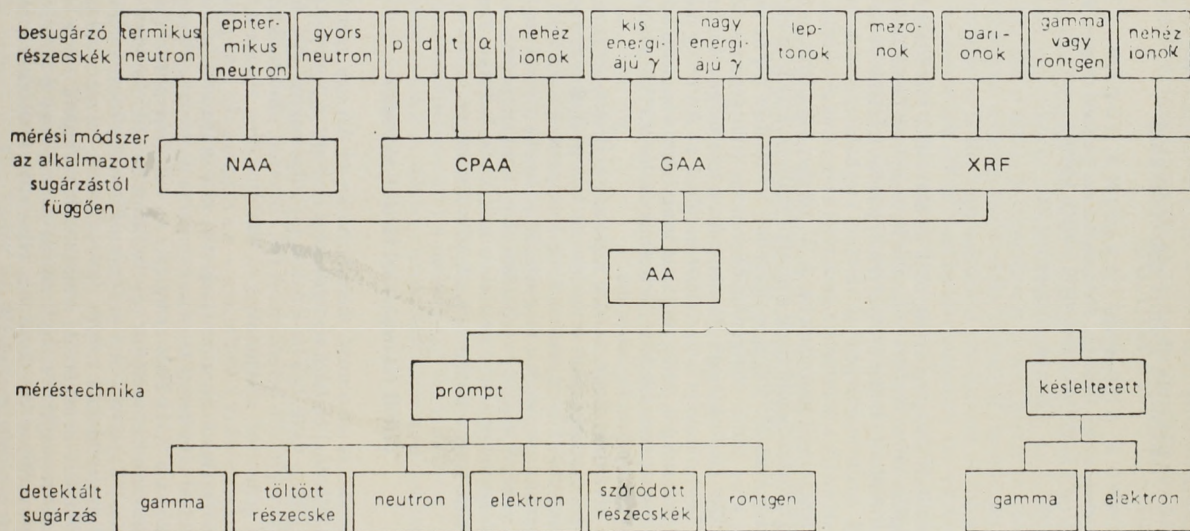
A cikksorozat folytatásaként ismertetésre kerülnek az AA eddig még nem tárgyalt módszerei, eljárásai is, ill. eddig még nem ismertetett vizsgálati adatok. Jelen dolgozatunkban a töltött részecskékkel történő aktiválás (CPAA, charged particle activation analysis) kérdéseivel foglalkozunk.

Hangsúlyozni kívánjuk, hogy az AA fogalmát szélesebb értelmezés szerint használjuk, azaz nem csupán azokat a módszereket tárgyaljuk a címnek megfelelően, amelyek a besugárzás következtében fellépő magreakciókban keletkező radioaktív izotópok sugárzásának, vagy a magreakciókat kísérő prompt sugárzás mérésén alapulnak. Ide soroljuk azokat az eljárásokat is, amikor a részecskékkel vagy fotonokkal történő besugárzás következtében keletkező, indukált sugárzás nem magreakció, hanem gerjesztés eredménye, ill. következménye.

### Töltött részecskékkel történő aktiválás

A töltött részecskéket alkalmazó mérés technika az AA egy speciális esete és mint az 1. ábrán is látható, bombázó részecskéként elsősorban protonokat, deuteronokat, tritonokat ( $^3\text{H}^+$ ) vagy hélium-ionokat ( $\alpha$ ) alkalmaznak (9). A szükséges ionnyalábot többnyire gyorsító berendezések (pl. ciklotron, szinkrociklotron, fazotron, Van de Graaff generátor) szolgáltatják – korlátozottan atomreaktorokban is van lehetőség töltött részecskék előállítására – s a magreakciót a megfelelően fókuszált nyalábnak a vizsgálandó mintába (targetbe) való ütköztetése eredményezi.

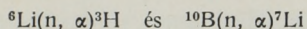
A magreakciókban keletkezett termékek gyakran pozitront ( $\beta^+$ ) sugárzó izotópok, s így detektálásra a 0,511 MeV energiájú, ún. megsemmisülési (annihilációs) sugárzás szolgál. Ennek a metodikának egyébként az a hátránya, hogy több olyan izotóp (pl.  $^{18}\text{F}$ ,  $^{52}\text{Mn}$ ,  $^{64}\text{Cu}$ ) is van, ami pozitronsugárzó. Élelmiszer-analitikai szempontból feltétlenül megemlítendő a  $^{13}\text{C}(p, n)^{13}\text{N}$  reakció, hiszen a 9,9 perc felezési idejű  $^{13}\text{N}$  izotóp 0,511 MeV-es sugárzása minden szerves eredetű anyag protonokkal való besugárzása esetén megjelenik. Nyilvánvaló persze, hogy a termékmag sugárzásán kívül a magreakcióban keletkező más részecskék is detektálhatók, azaz pl. ( $p, \alpha$ ) reakcióban az  $\alpha$ -részecskék is mérhetők.



1 ábra. Aktivációs analitikai módszerek



Az atomreaktorokban elérhető részecskefluxus rendszerint nagyságrendekkel kisebb, mint a gyorsítók fluxusa. Ilyenkor neutronreakció szolgál a töltött részecskék indukálására. A leggyakrabban használt reakciók az  $\alpha$ -részecskék és t-részecskék (triton,  $^3\text{H}$ ) előállítására a következő:



A töltött részecskéket alkalmazó aktivációs analitikai módszerek közül a protonaktiváció a legelterjedtebb, ilyenkor főleg (p, n), (p,  $\gamma$ ), (p, d), (p,  $\alpha$ ), (p, t) és (p, 2p) típusú reakciók mennek végbe. Gyakori a deuteronos besugárzás is, aminek eredményeképpen elsősorban (d, n), (d, p), (d, 2n), (d,  $\alpha$ ) és (d, t) magreakciók bekövetkezése várható.

A bombázó részecske lehet triton és héliumion is, ez esetben (t, n), (t, 2n), (t, p), és (t,  $\alpha$ ), valamint ( $^3\text{He}$ , n), ( $^3\text{He}$ , p), ( $^3\text{He}$ , d), ( $^3\text{He}$ , t) és ( $^3\text{He}$ ,  $\alpha$ ), ill. ( $\alpha$ , n), ( $\alpha$ , p), ( $\alpha$ , d), ( $\alpha$ , 2n), ( $\alpha$ , t) reakciókkal kell számolni.

Itt említjük meg, hogy az utóbbi években egyre nagyobb figyelmet fordítottak a pozitív töltésű részecskékkel történő gerjesztéses technika (PIXE, particle induced X-ray emission) analitikai alkalmazási lehetőségeinek kidolgozására, s ezen belül is főleg a protonokkal történő gerjesztés kifejlesztésére és a mérés technika gyakorlati felhasználására. A PIXE módszerrel egyébként részletesen foglalkozunk majd a cikksorozat egy későbbi részében.

### Mezőgazdasági termékek és élelmiszerek vizsgálata CPAA-módszerrel

Ismeretes, hogy az AA-ben számos referencia-anyag (SRM-minta, standard reference material) használatos, s ezek közül talán a legismertebb a Bowen-féle kelkáposztapor (Bowen's kale). Ennek összetételéről az adatokat a biológiai anyagok aktivációs analízisének „atya”, H. J. M. Bowen tette közzé (7), miután nemzetközi összefogással több elemre nem kevesebb mint 1000 analitikai adatból határozta meg az ún. nagy átlag értéket. A Bowen-féle minta és más biológiai eredetű anyagok igen sok elemre (a K, Na, Ca, Mg, P és Cl makroelemeken kívül a Fe, Mn, Co, Zn, Cu, B, Br, Rb, Pb és Sr mikroelemek) kiterjedő vizsgálatáról számolt be Demortier (8). A méréseket (p,  $\alpha$ ), (p,  $\gamma$ ), (p,  $\alpha$ ,  $\gamma$ ) és (p, p,  $\gamma$ ) magreakciók, ill. PIXE-módszer alapján 1,2–2,0 MeV energiájú protonszugárzás felhasználásával hajtotta végre.

Ugyancsak protonaktivációs módszert alkalmaztak Hänninen és mtsai (6) is biológiai eredetű minták Li- és B-koncentrációjának meghatározására. A Li és B tartalmát a  $\text{Li}(p, p, \gamma)^7\text{Li}$ , valamint a  $^{10}\text{B}(p, \alpha, \nu)^7\text{Be}$  reakciók alapján határozták meg, Li esetében a 0,478 MeV-es, B esetében a 0,429, ill. 0,718 MeV-es gamma vonal intenzitását mérve. A kialakított mérés technika – protonenergia 2,4 MeV, gamma-spektrózkópia  $110 \text{ Cm}^3$ -es, 1,9 keV energiefelbontású Ge(Li) detektorral – egyébként jól alkalmazható számos egyéb, viszonylag kis atomsúlyú elem (pl. F, Na, Mg, Al, P, K) meghatározására is.

Bonardi és mtsai (10) a protonaktivációs módszert Pb, Tl, Ti, Ge és V koncentráció meghatározására alkalmazták. A sugárforrás ciklotron volt, a protonenergia 5–45 MeV. Vizsgálatra mintegy 2 mm vastag, 20 mm átmérőjű, nagy tisztaságú grafitkontérbé csomagolt, 300–500 mg tömegű minták kerültek.

Korábban már részletesen írtunk a fehérjetartalom, ill. nitrogéntartalom prompt neutronaktivációs meghatározási lehetőségéről. A deuteront alkalmazó mérés technika viszont a N-tartalom mélységbeli eloszlásának – azaz a koncentrációprofilnak – meghatározására is lehetőséget nyújt. Sundquist és mtsai (11) Van de Graaff generátorral előállított, 6 MeV energiájú deuteronokkal határozták meg egyes mezőgazdasági termékek (pl. árpa, búza, bab) nitrogéntartalmát a  $^{14}\text{N}(d, n)^{14}\text{O}$

$^{15}\text{N}(d, 2n)^{15}\text{O}$ ,  $^{14}\text{N}(d, \alpha)^{12}\text{C}$  és a  $^{14}\text{N}(d, p)^{15}\text{N}$  magreakciók alapján. Külön kiemelendő, hogy a (d, p) reakció igen kis tömegű (mg nagyságrend) minta a nagyon rövid besugárzási idő esetén is megbízható eredményeket ad. Egy-egy szem fehérjeterméknek s a fehérjeteralom-eloszlásának meghatározására 20 s-os besugárzási időt alkalmaztak.

Könnyű és közepes rendszámú elemek tritonnal történő aktivációs meghatározási lehetőségeit vizsgálták Borderie és mtsai (12). A méréseket (t, n), (t, p), (t, d), (t, 2n) valamint (t,  $\alpha$ ) reakciók felhasználásával, 3,5 MeV energiájú tritonokkal végezték. Számos elemnél – pl. F, Al – 100 ppb alatti detektálási határ volt elérhető.

Végezetül megemlítjük, hogy a jövőben várhatóan egyre inkább teret hódítanak a prompt aktivációs mérés technika egyes változatai (13), s ezen belül a rendkívül kis anyagmennyiségek –  $10^{-14}$ – $10^{-18}$  g – mérésére pedig a nagy tömegű, töltött részecskékkel végzett mérési módszer kerül felhasználásra.

## IRODALOM

- (1) Szabó A., Boráncs J., Gundorin A., N., Kovács Z.: Aktivációs analízis az élelmiszer-analitikában. Élelmiszervizsg. Közl., 23 (5–6), 224–229, 1977.
- (2) Szabó A., Bogáncs J., Mihályi É.: Aktivációs analízis az élelmiszer-analitikában. II. Élelmiszervizsg. Közl., 25 (3–4), 61–64, 1979.
- (3) Szabó S. A., Gunderin A. N.: Aktivációs analízis az élelmiszer-analitikában. III. Élelmiszervizsg. Közl., 28 (4), 183–186, 1982.
- (4) Szabó S. A., Szasin L. I.: Aktivációs analízis az élelmiszer-analitikában. IV. Élelmiszervizsg. Közl., 28 (5), 227–233, 1982.
- (5) Szabó S. A., Kiss B., Liszónyiné Gaecályi M., Török G.: Aktivációs analízis az élelmiszer-analitikában. V. Élelmiszervizsg. Közl., 32 (4), 204–214, 1986.
- (6) Szabó S. A.: Aktivációs analízis az élelmiszer-kémiában. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1986.
- (7) H. J. M. Bowen; Problems in the elementary analysis of standard biological materials. J. Radioanal. Chem., 19 (2), 215–226, 1974.
- (8) G. Demortier; Prompt analysis of biological samples by proton bombardment. Radiochem. Radioanal. Lett., 20 (3), 197–205, 1974.
- (9) R. Hänninen, A. Räisänen, A. Antilla; Elemental analysis of Li and B with proton induced  $\gamma$ -ray reactions. Radiochem. Radioanal. Lett., 44 (4), 201–206, 1980.
- (10) M. Bonardi, C. Birattari, M. C. Gilardi, R. Pietra, E. Sabbioni; Development of proton activation analysis for the determination of heavy metals in biological matrices. J. Radioanal. Chem., 70 (1–2), 337–348, 1982.
- (11) B. Sundquist, L. Gönczi, I. Koersner; A fast method for nitrogen determination in single seeds. Int. J. Appl. Rad. Isot., 25, 277–281, 1974.
- (12) B. Borderie, J. N. Barrandon, J. L. Debrun; 3,5 MeV triton activation elements with  $Z < 34$ . J. Radioanal. Chem., 37 (1), 297–306, 1977.
- (13) M. Preisach; Prompt nuclear analysis. J. Radioanal. Chem., 61 (1–2), 243–271, 1981.

## AKTIVÁCIÓS ANALÍZIS AZ ÉLELMISZER-ANALITIKÁBAN VI. AKTIVÁLÁS TÖLTÖTT RÉSZECSKÉKKEL

Szabó S. András és Szasin L. Igor

A szerzők a cikkben a töltött részecskékkel történő aktiválás (charged particle activation analysis, CPAA) kérdéseit elemzik. Bemutatják a fontosabb magreakciókat, majd röviden néhány olyan dolgot ismertetnek, amelyekben a szerzők protonokkal, deutronokkal és tritonokkal történő aktiválást, ill. gerjesztést alkalmaztak.



## ACTIVATION ANALYSIS IN FOOD ANALYTICS. VI. ACTIVATING WITH CHARGED PARTICLES

*Szabó, S. A., Sashin, L. I.*

Authors examine the problems of charged particle activation analysis (CPAA). They present the important nuclear reactions and the review some short dissertation in which the authors used activating with protons, deuterons and tritons.

## АКТИВАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ В АНАЛИТИКЕ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ. ЧАСТЬ УІ. АКТИВАЦИЯ ЗАРЯЖЕННЫМИ ЧАСТИЧКАМИ

*А. Сабо Ш. и И. Сашин Л.*

В статье авторы проанализировали вопросы активации (charged particle activation analysis, CPAА) производимой заряженными частичками. В статье приводятся наиболее важные ядерные реакции, затем дается краткое описание применения активации с помощью протонов, дейтронов и тритонов.

## AKTIVATIONSANALYSE IN DER LEBENSMITTELANALYTIK VI. AKTIVIERUNG MIT GELADENEN TEILCHEN

*Szabó, S. A. – Saschin, L. I.*

Verfasser setzten sich mit Fragen der Aktivierung mit geladenen Teilchen auseinander. Die wichtigeren Kernreaktionen werden vorgestellt und dann einige solche Publikationen kurz erläutert, in denen die Aktivierung bzw. Erregung mit Protonen, Deuteronen und Tritonen angewandt wurde.

---

### **Táplálkozás, minőség és technológia** (*Tájékoztató tudományos ülészacról*)

*Industries Alimentaires et Agricoles 103 (1986) 6, 554–572.*

1986. január 7-én tudományos ülészakkal ünnepelte fennállásának 20. évfordulóját a Táplálkozás- és Élelméztudományi Főiskola, Dijon (ENS. BANA, Dijon).

A kollokviumi előadások között kiemelt helyet foglaltak el a biotechnológiai eljárások élelmiszeripari alkalmazásának kérdései és ezekkel szoros összefüggésben

- a nyersanyagok minőségi komponenseinek vizsgálati módszerei aromák, növényi fehérjék, toxikus anyagok stb. kimutatására,
- a biotechnológia által előtérbe kerülő új eljárások szabványosításának kérdései.

Külön előadás foglalkozott az élelmiszerek érzékszervi megítélésével is, különös tekintettel arra, hogy a stressz-hatás okozta humán neurobiológiai elváltozások befolyást gyakorolnak-e az élelmiszerek kedvezőtlen érzékszervi megítélésére.

Beszámoltak az emberi egészség alakulásáról kapott eredményeikről a felvett táplálék összetételével kapcsolatban.

*Harkayné V. M. (Budapest)*