

# A Mágneses Rezonancia felhasználása a vörösiszap szennyezés repce növényre gyakorolt hatásának vizsgálatában

Jakusch Pál<sup>1\*</sup>, Tokai Richárd<sup>2</sup>, Földes Tamás<sup>2</sup> és Anda Angéla<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Pannon Egyetem Georgikon Kar Meteorológia és Vízgazdálkodás Tanszék  
8360 Keszthely Festetics u. 7, \*e-mail: jakusch.pal@gmail.com

<sup>2</sup> Kaposvári Egyetem Diagnosztikai és Onkoradiológiai Intézet  
7400 Kaposvár, Guba S. utca 40.

Összefoglaló: Vizsgálatunk célja a humámdiagnosztikában alkalmazott Mágneses Rezonancia készülék felhasználása a Kolontári iszapkatasztrófa által érintett területről származó növényi minták elemzésében. Tesztnövénynek repce (*Brassica napus L.*) növényt választottunk, amelyet vörösiszap által előtött szántóföldi területről gyűjtöttünk. Kontroll növényként a PE-GK szántóföldi kísérleti telepéről származó repcét használtunk. Az MRI méréseket a Kaposvári Egyetem Diagnosztikai és Onkoradiológiai Intézetében végeztük. Meghatározásra került a minták víztartalma, MRI méréseket végeztünk  $T_1$  (a sejtek életképességét méri) és  $T_2$  (a víztartalmat méri) idősúlyozásos technikával. A kontroll és a szennyezett repce víztartalmában 1 %-os különbséget lehetett kimutatni. A  $T_1$ -ben kapott MRI intenzitási értékek lefutásán egyértelműen látszik, hogy a növény vörösiszappal borított része a lúgos kémhatás következtében nagymértékben károsodott. A  $T_2$ -ben mért intenzitási értékekben azonban a szennyezett területről származó növényi mintákban magasabb jelintenzitást kaptunk, mint a kontroll növényekben. Az elvégzett vizsgálatok bebizonyították, hogy az MRI készülék alkalmazható a vörösiszap, mint szennyező anyag növényekre gyakorolt hatásainak vizsgálatára – in-vivo – körülmények között.

Kulcsszavak: vörösiszap, MRI, repce.

## Bevezetés

A vörösiszap a fő hulladéka a Bayer eljárással történő alumíniumgyártásnak (Brunori *et al.* 2004). Egy tonna alumínium előállítása 1-1,5 t vörösiszap hulladéktermelődéssel jár (Kumar *et al.* 2006), ezért az alumíniumgyártásnak ezt a folyamatát tekinthetjük a legnagyobb problémának (Yalcin & Sevinc 2000). A bauxit összetétele a bányászati helytől függően néhány %-os eltérést mutathat, azonban a fő komponensek között mindig megtalálhatóak a következők, amelyek meghatározzák a keletkező vörösiszap összetételét is:  $Fe_2O_3$ ;  $Al_2O_3$ ;  $SiO_2$ ;  $TiO_2$ ;  $Na_2O$ ;  $CaO$  (Atun & Hisarli 2000). Számos vizsgálatot végeztek arra vonatko-

zólág, hogy a vörösiszapot milyen úton lehetne a környezetbe visszajuttatni, hogy ne okozzon környezet károsítást. Ezen kutatások között megtalálhatunk tesztek (Brunori *et al.* 2004), valamint növényi vizsgálatokat is (Li *et al.* 2010).

A klasszikus növényi vizsgálatok - amelyek a vízháztartás paramétereinek meghatározására szolgálnak - mérési pontossága sokszor nem kielégítő (Pearcy *et al.* 1991). A környezet hatására bekövetkező változásokat a klasszikus módszerek felhasználásával nem lehet kimutatni. Erre megoldást nyújthat az MRI készülék alkalmazása a növényélettani vizsgálatokban. Az eljárás az élő növényben a spinek rendszerén végez méréseket, mely nem avatkozik be durván a mérendő rendszerbe, vagyis nem invazív mérési technika. A spinek csak gyenge kölcsönhatásban vannak a vizsgált biológiai rendszer azon makroszkopikus paramétereivel, amelyek biológiai és kémiai szempontból annak viselkedését befolyásolják. A mágneses tulajdonságok meglehetősen elhanyagolható szerepet játszanak a sejtszintű biokémiai folyamatokban (Berényi *et al.* 1997).

Az MRI vizsgálat alapját a külső mágneses tér, az elektromágneses hullámok, és az anyag hidrogén atomjainak kölcsönhatása képezi. Eszerint az MR a protonok mennyiségét és eloszlását méri. Az anyagok közül relatív legtöbb proton a vízben van, ezért kiválóan alkalmas a növény-víz kapcsolat meghatározására. Az MRI nem az adott anatómiai struktúrát méri, hanem az adott anatómiai struktúrában levő víz mennyiségét és eloszlását, amely viszont meghatározza az adott anatómiai egységet (Westbrook *et al.* 2005, Jakusch *et al.* 2010).

A nem invazív és a nem destruktív MRI, amely magas szintű információt ad a hidrogének mennyiségéről a szövetekben, egy igen látványos alkalmazás a fiziológiai kutatásokban (Andaur *et al.* 2004), amelyeket gyümölcsökön (Raffo *et al.* 2005; Musse *et al.* 2009), fákön (Van As 2007) és zöldségeken (Moreda *et al.* 2009) végeztek.

## Módszerek

Tesztnövénynek repce (*Brassica napus L.*) növényt választottunk, amelyet vörösiszap által elöntött szántóföldi területről gyűjtöttünk (Devecser, 47° 6'É; 17°26'K). A mintavétel ideje 2010. október 6. volt, az MRI mérés október 6. éj-jelén, a víztartalom meghatározás október 9.-én történt. A mintákat a kiszáradás elkerülése érdekében dupla műanyag zsákba csomagolva, földlabdával együtt szállítottuk a mérések helyszínére. A vizsgálatokat 3 szennyezett és 3 kontroll egyeden végeztük. Kontroll növényként a Pannon Egyetem Georgikon Kar



**1. ábra.** Repce 3D-os MRI képe.

szántóföldi kísérleti telepéről (Keszthely) származó repcét használtunk, mivel az iszapkatasztrófa által sújtott területen kontroll növényeket nem találtunk. Meghatározásra került a minták víztartalma, MRI méréseket végeztünk  $T_1$  (a sejtek életképességét méri; repetíciós idő súlyozott) és  $T_2$  (a víztartalmat méri; echo idő súlyozott) idősúlyozásos technikával. Az 1. táblázat foglalja össze az alkalmazott gépbeállításokat. Az MRI mérések előtt a mintákat le kellett mosni, mert az iszap nagy vastartalma, amely a növényi minta felületén volt, zavarta a mérést. A növény által felvett fémek nem zavarták a mérést, az MRI felvétel műterméktől mentes (1. ábra). A minták víztartalmát tömegállandóságig történő szárítás után analitikai mérleg felhasználásával határoztuk meg. Az MRI méréseknél koponyatekereszt és a humámdiagnosztikában alkalmazott szekvenciák keverékét alkalmaztuk. Az adatok statisztikai értékelésére a egytényezős variancia analízist

**1. táblázat.** Az MRI mérés során használt gépbeállítások.

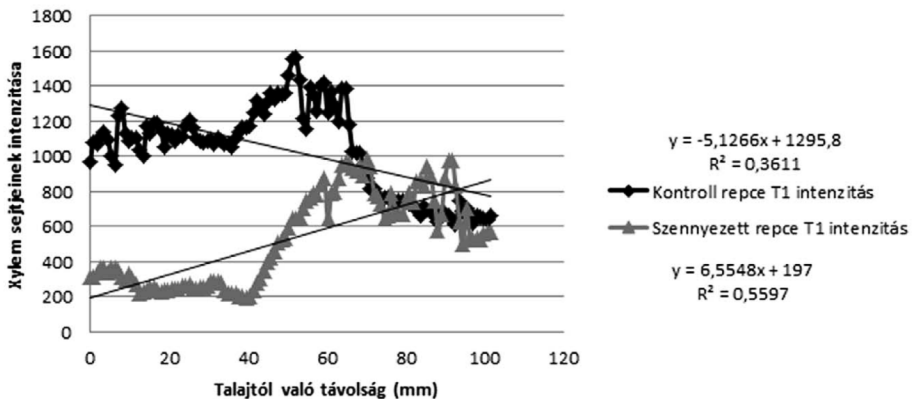
	$T_1$	$T_2$
Repetíciós idő	1160 sec	11,06 sec
Echo idő	3,92 sec	5,53 sec
Szeletvastagság	0,9 mm	0,89 mm
Pixelspacing	0,87	0,87
Pixel térfogat	0,681	0,673

alkalmaztunk. Az MR mérés során a növényekről transzverzális szeletek készültek, amelyekből rekonstruálható volt a növény 3D-s képe és elemzése (1. ábra).

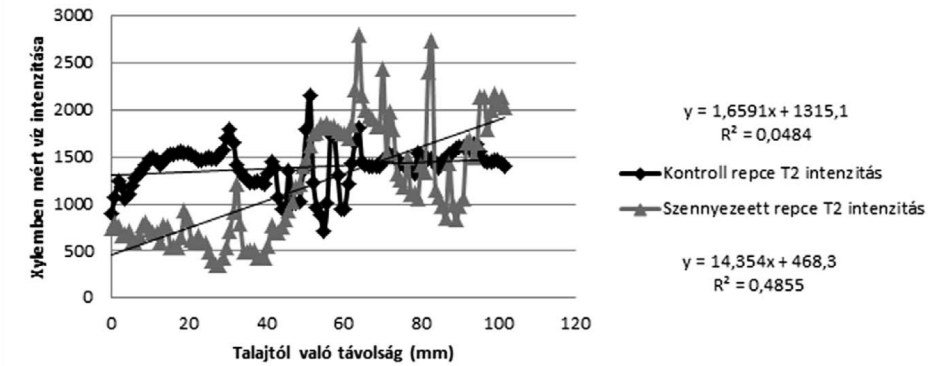
### Eredmények

A szárban lévő sejtek életképességét ( $T_1$ -es mérés) a 2. ábra mutatja be. Az ábráról leolvasható, hogy a talajtól mért 60 mm-es magasságig, a vörösiszappal borított területről származó repce intenzitása a kontroll növényen mért jel intenzitástól messze elmaradt. A 60 mm-es magasság feletti rész intenzitás lefutásában a kontroll növényhez hasonló eloszlás mutatkozott.

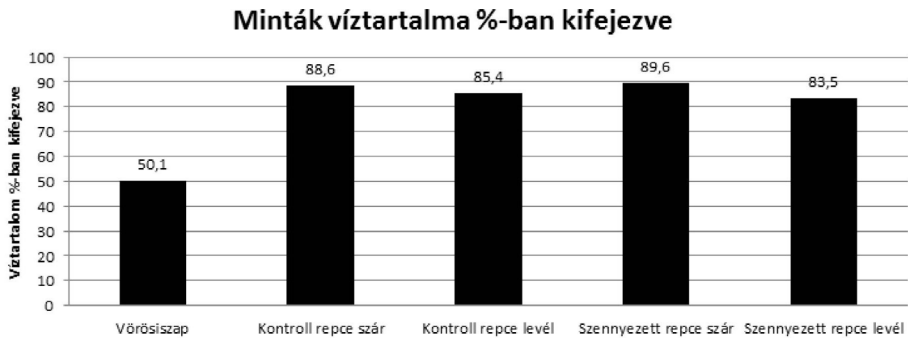
A szárban lévő víz intenzitás lefutását ( $T_2$ -es mérés) a 3. ábra mutatja be. A szennyezett repce intenzitás lefutása hasonló eloszlást mutat, mint a  $T_1$ -es mérés során detektált értékek, vagyis a 60 mm-es magasság alatt a kontroll növény víztartalmához képest elmarad. Az e feletti szárszakasz azonban a kontroll növényben tapasztalható intenzitási értékeket is meghaladta. A  $T_2$ -es mérésből származó adatok értelmezéséhez nyújt segítséget a 4. ábra. A vörösiszap víztartalma 50,1 % volt. A szennyezett repce szárában lévő víztartalom 89,6 %, míg a kontroll repce víztartalma 88,6 % volt. A vizsgált repcék leveleit elemezve a víztartalom ellenkezőjét mutatja a szár víztartalmához képest. A szennyezett növény levelének víztartalma (83,5 %) közel 2 %-kal maradt el a kontroll növény víztartalmához (85,4 %) képest.



**2. ábra.**  $T_1$ -es MRI mérés kontroll és szennyezett repce intenzitás lefutása a talajtól mért távolság függvényében



3. ábra. T<sub>2</sub>-es MRI mérés kontroll és szennyezett repce intenzitás lefutása a talajtól mért távolság függvényében



4. ábra. Kontroll és a vörösiszap által előtött területről származó minták víztartalma

## Értékelés

A Kolontári iszapkatasztrófa által érintett területen az iszapszennyeződés hatására bekövetkezett természetkárosítás következtében a területen az ökoszisztéma által nyújtott szolgáltatás jelentősen csökkent. Az MRI vizsgálatokat összevetve a víztartalom meghatározással komplex eredményhez jutunk, az eredmények egymást magyarázzák. A szennyezett repce szárában a víztartalom 1%-al magasabb volt, mint a kontroll növényi mintában, azonban szignifikáns különbséget nem lehetett kimutatni. A levelek vizsgálatakor, azonban ennek

ellenkezőjét találjuk. A kontroll repce levelének víztartalma majdnem 2 %-kal haladta meg a vörösiszappal borított növény víztartalmát. Az MRI mérések során kapott  $T_2$ -es (víztartalom meghatározása, amely segítségével a vastagabb szöveteket (pl.: szállítóyalábok) lehet vizsgálni) intenzitás eloszlási görbét két részre bonthatjuk. A 60 mm alatti szárszakaszon a kontroll növény intenzitási értékei meghaladták a szennyezett repcét, míg a felette lévő intenzitási értékekben az ellenkezőjét tapasztaltuk. A hajtás felsőbb részén viszont a szennyezett repce víztartalma és  $T_2$ -es intenzitási értékei is meghaladták a kontroll növényét, amely a vörösiszap nagy víztartalmából adódhatott, amelyet a növények felvettek. A növényekben a víz a transzspiráló felületek irányában áramlik a folyamatból adódó szívó hatás következtében. A szennyezett területről származó repce szállítóyalábjában lévő sejtek károsodtak, ennek következtében a vízszállítás is sérült. A két eljárást összehasonlítva az MRI egy sokkal pontosabb, részletgazdagabb képet mutat a növény állapotáról, mint a víztartalom meghatározás. A klasszikus meghatározásnál az összvízmennyiséget lehet csak meghatározni, amely az esetleges kicsi eltéréseket eltakarja, míg az MRI lokális víztartalom meghatározásra volt alkalmas.

Az MRI mérések közül a  $T_1$ -es (szövetek életképességét méri) vizsgálatot elemezve egyértelműen látszik a sejtelhalás határa. 60 mm-es magasságig a szennyezett repce intenzitási értékei a kontroll növényhez képest messze elmaradtak, eddig a magasságig borította az erősen lúgos pH-jú vörösiszap a repcét. Hatására a szövetek nagymértékben károsodtak, elhaltak. A felette lévő szárszakasz intenzitás eloszlása megegyezett a kontroll növényvel. A  $T_1$ -es mérések jól magyarázzák a levelekben tapasztalt víztartalmat. Ugyan a szennyezett növény szárában az összvítartalom meghaladta a kontroll növény víztartalmát, azonban a sejtelhalás következtében a vizet a növény már nem tudta továbbítani a levelekhez. Ebből adódott, hogy a kontroll repce levelének víztartalma majdnem 2 %-kal haladta meg a vörösiszappal borított repce levelének víztartalmát.

A statisztikai elemzések során az egytényezős varianciaanalízissel szignifikáns különbséget lehetett kimutatni a kontroll és a szennyezett repce között.  $T_1$ -es mérés során kapott  $F_{3,88} = 219.47$ ,  $p = 3.75 \cdot 10^{-35}$ ;  $T_2$ -es mérés során kapott  $F_{3,88} = 10.84$ ,  $p = 0.001152$ .

Az elvégzett vizsgálatok bebizonyították, hogy az MRI készülék alkalmazható szennyezések növényekre gyakorolt hatásainak vizsgálatára –in-vivo– körülmények között, amelyek sokkal pontosabb, részletgazdagabb képet tudnak nyújtani, mint a klasszikus meghatározások. Az MRI mérések (a vizsgálati egyedek pusztulása nélkül) a különböző növényfajok vízhiánytartásában, valamint

életképességében a környezeti stressz hatására bekövetkező változások nyomon követését teszik lehetővé.

\*

*Köszönetnyilvánítás* – Jelen publikáció a TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0025 azonosítójú projekt támogatásával valósult meg.

### Irodalomjegyzék

- Andaur, J. E., Guesalaga, A. R., Agosin, E. E., Guarini, M. W. & Irrarázaval, P. (2004): Magnetic Resonance Imaging for nondestructive analysis of wine grapes. – *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **52**: 165–170.
- Atun, G. & Hisarlı, G. (2000): A study of surface properties of red mud by potentiometric method. – *Journal of Colloid and Interface Science* **228**: 40–45.
- Berényi, E., Bogner, P., Horváth, Gy. & Repa, I. (1997): *Radiológia*. – Budapest, Springer Hungarica Kiadó Kft.,
- Brunori, C., Cremisini, C., Massanisso, P., Pinto, V. & Torricelli, L. (2004): Reuse of a treated red mud bauxite waste: studies on environmental compatibility. – *Journal of Hazardous Materials* **B117**: 55–63.
- Jakusch, P., Anda, A., Földes, T., Tokai, R., Hatvani, I. & Kocsis, T. (2011): Effects of heavy metals on the water balance of cucumber detected by MRI measurement. – *Georgikon for Agriculture* **14**(1): 21–38.
- Kumar, S., Kumar R. & Bandopadhyay, A. (2006): Innovative methodologies for the utilisation of wastes from metallurgical and allied industries. – *Resources, Conservation and Recycling* **48**: 301–314.
- Li, Yi., Yetang, H., Duojun, W. & Youngxuan, Z. (2010): Effect of red mud on the mobility of heavy metal in mining-contaminated soils. – *Chinese Journal of Geochemistry* **29**: 191–196.
- Moreda, G. P., Ortiz Canavate, J., Garcia-Ramos, F. J. & Ruiz-Altisent, M. (2009): Non-destructive technologies for fruit and vegetable size determination – a review. – *Journal of Food Engineering* **92**: 119–136.
- Musse, M., Quellece, S., Cambert, M., Devaux, M-F., Lahaye, M. & Mariette, F. (2009): Monitoring the postharvest ripening of tomato fruit using quantitative MRI and NMR relaxometry. – *Postharvest Biology and Technology* **53**:22–35.
- Pearcy, R. W., Ehleringer, J., Mooney, H. A. & Rundel, P. W. (1991): *Plant Physiological Ecology*. – Chapman and Hall, London-New York-Tokyo, pp. 457.
- Raffo, A., Gainferri, R., Barbieri, R. & Brosio, E. (2005): Ripping of banana fruit monitored by water relaxation and diffusion H-1-NMR measurements. – *Food Chemistry* **89**:149–158.
- Van As, H. (2007): Intact plant MRI for the study of cell water relations, membrane permeability, cell-to-cell and long-distance water transport. – *Journal of Experimental Botany*. **58**(4): 743–756.
- Westbrook, C., Roth, C.K. & Talbot, J. (2005): *MRI in practice*. – Blackwell publishing, Italy, pp. 1–17.
- Yalcin, N. & Sevinc, V. (2000): Utilization of bauxite waste in ceramic glazes. – *Ceramics International* **26**: 485–493.

## Application of MRI in the examination of the effects of Kolontár red mud catastrophe on plants

Pál Jakusch<sup>1\*</sup>, Richárd Tokai<sup>2</sup>, Tamás Földes<sup>2</sup> and Angéla Anda<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*University of Pannonia, Georgikon Faculty,  
Department of Meteorology and Water Management  
8360 Keszthely Fesztetics u. 7.,*

*\* e-mail: jakusch.pal@gmail.com*

<sup>2</sup>*Kaposvár University Institute of Diagnostics and Oncoradiology  
7400 Kaposvár, Guba S. utca 40.*

The purpose of our research is applying MRI equipment used by human diagnostics in examination of plant samples from the territory of Kolontár red mud catastrophe. Colza (*Brassica napus L.*) was selected as test plant and collected from the agricultural fields covered by red mud. As control plant, colza from the experimental field of University of Pannonia was used. MRI measurements were carried out at Kaposvár University Institute of Diagnostics and Oncoradiology. The water content of the samples was determined. MRI measurements were made with  $T_1$  (it measures the vitality of the cells) and  $T_2$  (it measures the water content) relaxation time. 1% of difference could be experienced between the water contents of the control and the polluted colza. MRI measurements of  $T_1$  give explicit result that the part of the plants covered by red mud was much damaged in consequence of high basic pH. Intensity signals of  $T_2$  were higher for the polluted plant samples than for the control. The researches proved that MRI equipment can be used for examining the effects of red mud as a pollutant on plants in – in-vivo – circumstances.

Keywords: red mud, MRI, colza.