

Kastori Rudolf akadémikus*, **Dr. Maksimović Ivana**** és **Dr. Putnik-Delić Marina*****

A ritka földfémek hatása a növények életfolyamataira

Bevezető

A ritka földfémek (RFF) a periódusrendszer elemeinek egy sajátos, a lantanoidák 15 elemből álló csoportját alkotják: La – lantán, Ce – cérium, Pr – prazeodímium, Nd – neodímium, Pm – prométium, Sm – szamárium, Eu – eurórium, Gd – gadolínium, Tb – terbium, Dy – diszprózium, Ho – holmium, Er – erbium, Tm – túlium, Yb – itterbium, Lu –lutécium és kiegészítésül ittrium – Y és szkandium – Sc. Az RFF vegyileg többé-kevésbé egységes elemcsoport, fizikai és kémiai tulajdonságaik hasonlóak. Általában elszórtan fordulnak elő a bioszféra minden részében. Ezek az elemek nem olyan ritkák, mint ahogyan régebben gondolták, a szkandium 25, az ittrium 31, míg a lantán 35 mg/kg mennyiségben fordul elő a földkéregben, összehasonlításként: a kobalt előfordulása 29 mg/kg (Greenwood és Earnshaw, 1997). A ritkaságukra vonatkozó vélekedés nagyrészt elválasztásuk nehézségének a következménye.

A ritka földfémeket széleskörűen alkalmazzák az iparban, különösen az elektronikában, egészségügyben, mezőgazdaságban, biotechnológiában és a tudomány egyes ágazataiban. Az eddigi kutatások eredményei alapján az RFF hatása a növények életfolyamataira, növekedésükre, fejlődésükre számos tényezőtől függően lehet hatástalan, pozitív vagy negatív (Hu et al., 2004). A hatásmechanizmusaik kevésbé ismertek. Részletes betekintést az RFF-nek a biológiai rendszerben betöltött szere-

* *Dr. Kastori Rudolf akadémikus, a Magyar Tudományos Akadémia külső tagja, a Vajdasági Tudományos és Művészeti Akadémia, valamint a Szerb Mérnöki Akadémia rendes tagja, nyugalmazott egyetemi tanár, Újvidéki Egyetem, Mezőgazdasági Kar, Újvidék*

** *Dr. Maksimović Ivana, egyetemi rendes tanár, Újvidéki Egyetem, Mezőgazdasági Kar, Újvidék*

*** *Dr. Putnik-Delić Marina, egyetemi docens, Újvidéki Egyetem, Mezőgazdasági Kar, Újvidék*

péről Brown et al. (1990), Horovitz (1993, 2000), Redling (2006) és Kastori et al. (2010, 2015) dolgozatai adnak.

A ritka földfémek felvétele és fiziológiai hatásuk

A ritka földfémek fő forrása a növények számára a talaj. Az RFF tartalma a földkéregben megközelítőleg 0,015%. Több mint 250 fajta ásványról tudunk, amelyek ritka földfémeket tartalmaznak. Az RFF koncentrációja a talajban elsősorban a szubsztrátum vegyi összetételétől függ. Ezen kívül a talaj felszíni rétegének RFF-tartalma függ a pedogenetikai folyamatoktól, időjárási viszonyoktól, a szerves anyagok és agyagásványok koncentrációjától és egyébektől is. Bohn et al. (1985) szerint az RFF koncentrációja a talajban 30-tól 700 mg/kg-ig terjed. Az RFF antropogén forrásai elsősorban a foszfor tartalmú műtrágyák, a foszforforgóanyag, a kanalizációs iszap és atmoszférikus depozíció. Az RFF eredetét, koncentrációját és dinamikáját a talajban részletesen tárgyalják Tyler (2004) és Hu et al. (2006) munkái.

Az eddigi ismeretek alapján a ritka földfémek az élőlények számos életfolyamatára hatnak: serkentik és gátolják a növekedést, pozitívan vagy negatívan hatnak a sejt jelzőrendszerére, serkentik vagy gátolják a sejtek proliferációját, antioxidáns és prooxidáns aktivitással rendelkeznek, fokozzák és csökkentik a sejtek áteresztőképességét, serkentik és gátolják az apoptózist, stabilizálják vagy destabilizálják a citoskeletonot, növelik és csökkentik az oxigén vonzódását a hemoglobinhoz, csökkentik az izmok összehúzódását, növelik és csökkentik a csontok növekedését, fokozzák a mineralizációt és a demineralizációt.

Az RFF sajátos szerepet játszanak a tudomány egyes területein is, például a magmás kőzetek vizsgálatában, a holdi magmás kőzetekben, valamint az égitestek differenciálódási fokának összehasonlításában.

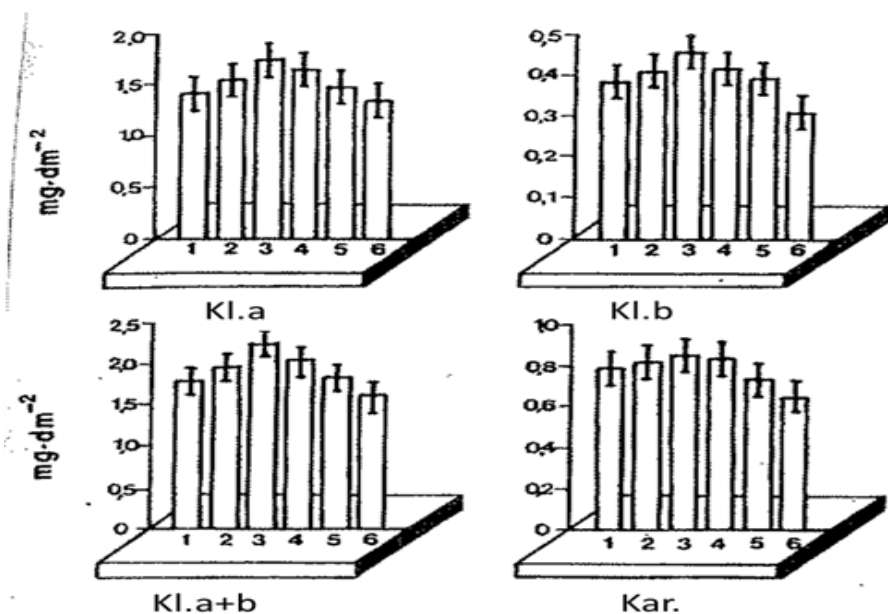
Az RFF növények életfolyamataira gyakorolt hatásának vizsgálatával mindenekelőtt kínai kutatók foglalkoztak, eredményeiket pedig túlnyomórészt kínai nyelven tették közzé. Ezeknek és hasonló kutatásoknak a részletes áttekintését Hu et al. (2004) adták meg.

A növények az RFF-et felvehetik mind a gyökereken, mind a föld feletti szerveken keresztül. Az RFF és az ehhez a csoporthoz tartozó egyes elemek felvétele számos tényezőtől függ. Megfigyelték, hogy a felvételénél megnyilvánul szinergizmus is meg antagonizmus is az RFF csoport egyes elemei között. Különböző a növényekben való mobilitásuk is. Általános a vélemény miszerint a Caspari-gyűrű korlátozza az

RFF transzportját a gyökérben. Az EDTA alkalmazása serkenti az RFF felvételét, mivel ez a szerves ligandum növeli az RFF deszorpcióját a talajba (Yang et al., 1999). Az RFF legnagyobb mértékben a gyökérben halmozódik fel, a legkisebb mértékben pedig a szárban és a reprodukciós szervekben. Megtalálhatóak a növénynek mind az intracelluláris, mind az extracelluláris részében, és kelátképződményeket alakítanak a metabolizmus számos összetevőjével, aminosavakkal, nukleinsavakkal, proteinekkal stb. Az RFF felvétele sokkal gyorsabb a levélen, mint a gyökérzeten keresztül. Ez nem csak az RFF-re jellemző, mivel más elemek ionjai is a levélen keresztül jelentős mértékben gyorsabban szívódnak fel és kapcsolódnak be a növény anyagcseréjébe, mint abban az esetben, ha a gyökéren keresztül szívódnak fel.

Az RFF hatással vannak az ásványi anyagok felvételére és metabolizmusára a növényben. Egyes elemek felvételét serkentik, másokét csökkentik. A legalaposabban a kalcium felvételére és funkciójára gyakorolt hatásukat vizsgálták (Brown et al., 1990). Az RFF csoport eleminek igen hasonló vegyi sajátosságuk és ionrádiuszuk van, mint a kalciumnak. Ugyanazokon a kötődési helyeken találhatóak a szervezetben és hasonló a hatásuk, mint a kalciumé. Ez mindenekelőtt a La^{3+} -ra vonatkozik. La alkalmazásával enyhíteni lehet a kalciumhiány szimptomáit és serkenteni azoknak a növényeknek a növekedését, amelyeknek hiányzik ez az elem. A kalciumhoz hasonlóan az RFF is hatással vannak a sejtmembrán stabilitására, permeabilitására és funkciójára, és előidézhetik a kalcium felvételének gátlását (Rengel, 1994).

Hu et al. (2004) munkájukban bemutatták számos szerző eredményeit, amelyek bizonyítják egyes RFF hatását egyes enzimek tevékenységére, a fitohormon-tartalomra, a fotoszintézis produktivitására és intenzitására, a klorofill szintézisére, a fotoszintézis produktumainak transzlokációjára, a növények vízháztartására és a vízhiánnyal szembeni ellenálló képességükre, az atmoszférikus nitrogén szimbiotikus fixációjára stb. Bao-Zhang et al. (1990) szintén megállapította, hogy az RFF kisebb adagjainak kedvező hatása van a fiatal napraforgók levelében levő klorofill és karotenoidok koncentrációjára (1. ábra). Több szerző megállapította, hogy az RFF kedvezően hatnak a mag csírázásra (Chen Shu-Linang et al., 1987, Bai Bao- Zhang et al., 1988).



1. ábra

Az RFF hatása fiatal napraforgónövények leveleinek klorofill és karotinoidok koncentrációjára (Bao-Zhang, 1990)

A ritka földfémeknek a növények növekedésére gyakorolt hatásával kapcsolatos kutatások eredményei részben ellentmondóak. Korábbi közlemények általában arra utaltak, hogy ezek az elemek, és elsősorban a lantán, inhibitorhatással vannak a növények növekedésére (Picard, 1970, Van Steveninck et al., 1976). Az utóbbi időben közzétett munkák többsége kiemeli az RFF serkentő hatását a növények növekedésére, valamint a szerves anyag előállítási képességére és a termék minőségére (1. tábl.). Kedvező hatást állapítottak meg számos termesztett faj hozamára: rizs (Hung Zhi-Gang et al., 1983), cukornád (Ning Ja-Ben et al., 1985), cukorrépa (Xie Hui-Guang és Yu Zheng-He, 1986, Bai Bao-Zahng és Wang Ting-Hui, 1988), szója (Kastori et al., 1990) (2. tábl.), napraforgó (Bai Bao-Zhang et al., 1990), gyümölcsök és zöldségfélék esetében (Redling, 2006). Az RFF nagyobb koncentrációi azonban mérgeként hatnak a növényekre és a talaj mikroorganizmusaira. A talaj 30 mg RFF/kg arányú dúsítását tekintik kritikus értéknek.

NÖVÉNY	TERMÉS NÖVEKEDÉSE (%)	HATÁSUK A TERMÉS MINŐSÉGÉRE	IRODALMI FORRÁS
Kukorica	6 – 12	-	Guo (1993)
Búza	6 – 15	növelik a lizin konc.	Xiong (1995)
Rizs	5 – 15	-	Xiong (1995)
Zab	5 – 10,3	-	Wan et al. (1998)
	6,43 – 26,4	-	Xia és He (1997)
Árpa	6 – 18	-	Xia és He (1997)
Cukornád	8 – 20	növelik a cukor konc. 0,5%	Xiong (1995)
Cukorrépa	8 – 15	növelik a cukor konc. 0,4%	Xiong (1995)
Gumifa	6 – 20	-	Xiong (1995)
Szója	6 – 12	növelik a fehérje és az olaj konc.	Xiong (1995)
Földimo- gyoró	8 – 15	-	Xiong (1995)
Len	8 – 12	növelik a rost tartalmát 10- 15%	Xiong (1995)
Pamut	5- 12	növelik a rostnyalábok hosszát 0,1- 0,4 %	Xiong (1995)
	5 – 10	-	Xia és He (1997)
Olajrepce	14 -24	növelik az olaj konc. 2%	Xiong (1995)

1. táblázat

Az RFF hatása termesztett növények termésére és minőségére (Redling, 2006)

Mért jellemző	Koncentráció ($\mu\text{g/ml}$)						LSD	
	0	5	10	50	100	500	5%	1%
Szár hossza cm/növény	14,1	18,1	20,1	16,9	16,4	7,5	1,2	1,6
Szár sz.a. mg/növény	71,9	109,4	105,7	97,6	99,4	38,9	6,3	8,2
Levélfelület cm²/növény	43,3	61,6	70,7	47,0	49,9	6,7	3,2	4,2
Levél sz. a. mg/növény	108,1	153,8	146,7	118,2	120	69,7	11,1	14,4
Gyökér sz. a. mg/növény	53,3	76,7	67,6	66,8	63,3	19,8	4,1	5,3
Gyökértérfogat cm³/növény	0,71	1,09	1,21	0,80	0,77	0,28	0,06	0,08

2. táblázat

*Az RFF hatása fiatal szőjanövények növekedésére vízikultúrás kísérletben
(Kastori, 1990)*

Az RFF az állattenyésztésben is alkalmazást nyertek (Redling, 2006). Az a vélemény alakult ki, hogy a jószág növekedését is serkenthetik. Az állatok szervezetébe bevitt RFF összmenyiségének mintegy 90%-a kiválasztódik a szilárd és a híg ürülékkel. Ily módon kerül sor az istállótrágya RFF-el való dúsítására. Az ilyen istállótrágyával való trágyázással növekszik koncentrációjuk a növényekben. Emiatt felmerül annak szükségessége, hogy részletesebb vizsgálatoknak vessék alá az RFF állattenyésztésben, akár csak a növénytermesztésben, való alkalmazásának ökológiai szempontjait.

Az RFF élő szervezetekre gyakorolt hatásának kutatási eredményei nem adnak betekintést az egyes RFF-elemek hatásába. Az élő szervezetekre gyakorolt hatásuk közben ezek az elemek egymás közt szinergikusan és antagonisztikusan is viselkedhetnek, vagy megtörténhet, hogy egyesek semmilyen biológiai hatást nem fejtenek ki. Emiatt mutatkozik annak szükségessége, hogy vizsgálatnak vessék alá az RFF biológiai hatásait, különösen az egyes RFF-elemekét. Fent említett okokból kifolyólag indokoltnak tartottuk, hogy külön tanulmányozzuk az RFF csoport egyik tagjának, ittrium (Y), fiziológiai hatását.

Az ittrium felvétele és fiziológiai hatása

A természetben az ittrium (Y) kisebb mennyiségben előfordul polifém ásványokban, amelyek lantanidák, kalcium, vas, urán, titán, cirkónium stb. vegyületeit tartalmazzák. A földkéreg megközelítőleg $5,0 \times 10^{-3}$ súlyszázalék Y-t tartalmaz. Az Y iránti érdeklődés és kereslet hirtelen megnövekedett, amikor megkezdődött a színes televízió-képernyők gyártása, mert egyes vegyületeit felhasználják mint anyagokat, amelyek világítanak, ha elektronokkal ütköznek. Az Y fémet, vegyületeit és izotópjait az utóbbi években különböző célokra használják a korszerű technológiákban, valamint az orvostudományban és a biotechnológiában (Horovitz, 1995). A növények fiziológiai és biokémiai folyamataira gyakorolt hatásainak kutatásai újabb keletűek, a múlt század végén kezdődtek és még mindig hiányosak.

Az ittrium mindenekelőtt a talajból kerül a növényekbe és ez által a táplálékláncba. A talaj Y-tartalma a litogén és a pedogén folyamatoktól, a szubsztrátum összetételétől, a talaj fizikai és vegyi tulajdonságaitól és antropogén tényezőktől függ. Ichihashi et al. (1992) szerint a talaj Y-tartalma <10-től 150 mg/kg-ig terjed. Nagyobb számú szerző kutatási eredményeinek alapján megállapítható, hogy a talaj Y-tartalma átlagban megközelítőleg 20 mg/kg. Ökológiai szempontból különösen fontos tudni, hogyan viselkedik az Y-90 a talajban. Az Y-90 adszorpciójának intenzitása a talajban a talaj típusától függ (Paulenova et al., 2000). A hidrogénionok nem befolyásolják szignifikánsan az Y-90 adszorpcióját a talajban (Solecki 2004).

Az ember tevékenységével dúsítja Y-al a talajt, mindenekelőtt a műtrágyák használatával. Kasimiva et al. (1996) szerint az Y koncentrációja a nitrogén-műtrágyákban 2-től 4 mg/kg-ig terjed. A szuperfoszfátban különböző gyártási években az Y koncentrációja 10,4-től 53,9

mg/kg-ig terjedt, a kálisóban 0,07-től 1,12 mg/kg-ig, míg a vizsgált nitrogén-műtrágyákban csak nyomokban volt jelen. A szerves trágya is dúsítja a talajt Y-al. Yoshino és Goto (Kabata- Pendias, 2001 nyomán) kutatásai szerint a száraz rizsszalma Y-tartalma 0.061 mg/kg volt, az ugyanabból a szalmából készített istállótrágyában jelentős mértékben nagyobb, 0.73 mg/kg.

A nukleáris reakciókban különböző Y-izotópok képződnek. Húszonhat instabil Y-izotópot karakterizáltak. Nukleáris robbanásakor Y-90 is keletkezik, ami miatt különösen fontos tudni, hogy a növények hogyan veszik fel és raktározzák az Y-t (Klechkonsky és Tselishcheva, 1957). Az 1985-ös csernobili katasztrófa után Magyarországon figyelemmel kísérték az Sr-90, Y-90 és más radionuklidok koncentrációját. Az Y-90 jelenléte a növényekben abban az évben 10-től 15-ször nagyobb volt, mint az 1981–1985-ös időszakban (Cseh és Kiss, 1993). Megállapították, hogy a növények nagyobb mértékben veszik fel a Sr-t az Y-nál, míg a növényen belül intenzívebb az Y transzportja.

A múlt század második felének kezdetén jelentek meg az első munkák, amelyek azzal foglalkoztak, hogyan veszik fel a növények az Y-t. Abban az időben létrehozták különböző elemek nagyszámú izotópját, így az Y-ét is, ami lehetővé tette, hogy egyebek között a kísérleti munkában is felhasználják őket. Spooner (1949) az elsők között foglalkozott annak vizsgálatával, hogyan veszik fel a növények a radioaktív Y-t. Megállapította, hogy a vörös és a barna algák különböző intenzitással veszik fel az Y-t, továbbá hogy az algák az Y-t a tengervízből részben adszorpcióval, részben pedig ioncsere által veszik fel. Jacobson és Overstreet (1948) megállapította, hogy a borsó leveleiben az Y csupán 0,034-szer nagyobb mennyiségben található, mint amennyi annak a talajban való koncentrációja. Ez az adat arra a feltevésre utal, hogy az Y szilárdan meg van kötve a talajban, és ezért korlátozott a felvétele és ez által a növények föld feletti szerveibe való transzlokációja. Erre utalnak Rediske és Selders (1954) vizsgálatának eredményei is, melyek szerint az árpa homokos, agyagos talajon felveszi az Y talajban való koncentrációjának mintegy 0,006%-át (koncentráció a növény föld feletti részében / koncentráció a talajban). Egyes szerzők sokkal nagyobb transzlokációs koeficienseket hoznak fel az RFF esetében. Más szerzők eredményeit idézve, Hu et al. (2004) felhossa, hogy az RFF talajból a növénybe való transzlokációs koeficiense megközelítőleg 20%, az RFF „Changle” műtrágya esetében pedig 55-60%. Welch (1984) szerint az Y, akárcsak az RFF növényekben és talajban való koncentrációjának aránya nagymér-

tékben függ a talajban levő koncentrációjuktól, és megállapította, hogy a szárazföldi növényeknél 0,003. Dobrovolsky (1994) nagyobb értéket kapott: 0,15.

Az Y növények általi felvételére és ez által raktározására számos biotikus és abiotikus tényező hat. Kelátképződésre alkalmas vegyületek jelenléte a meszes talajban serkentette az Y felvételét a babnál (Essington et al., 1963). A környezet pH-értéke szintén hatással van az Y felvételére. Tyler és Olsson (2001) szerint minden RFF, az Y kivételével, koncentrációja az *Agrostis capillaris* gyökerében fordított arányban állt a talaj oldatának pH-értékével. Rediske és Selders (1954) eredményei arra utalnak, hogy a magasabb rendű növényeknél az Y felvétele arányos a jelenlevő hidrogénionok koncentrációjával. Ugyanezek a szerzők megállapították, hogy az Y felvétele és ez által a koncentrációja a bab föld feletti részében és gyökerében arányos a tápoldatban található koncentrációjával. Korábban Robinson (1943) konstatálta, hogy amikor gadolinitet adagol a talajba, növekszik az RFF elemek felvétele. Gu et al. (2000) szerint a vízkultúrárs termesztésnél intenzívebb az Y felvétele.

Számos szerző vizsgálta az Y koncentrációját egyes növényfajoknál. A közzétett eredmények alapján megállapítható, hogy egyes növényfajok és fajták különböző mértékben veszik fel ezt az elemet. Igen részletesen vizsgálta az Y koncentrációját a növényekben Connor és Shacklette, (1975) és Shacklette et al., (1978). Említett szerzők a vizsgált fajok 10%-ánál állapítottak meg mérhető Y-koncentrációt. Az élelmezésben használt növényekben az Y koncentrációja 20-tól 100 mg/kg-ig terjedt, a legnagyobb értéket a káposztánál állapították meg. Cowgill (1989) 71 növényfajt vizsgált meg 29 családból, és mind az 1100 analízált mintában megállapította az Y jelenlétét. A tény, hogy ilyen nagy az eltérés az Y növényekben mért koncentrációja között, ha összehasonlítjuk egyes szerzők eredményeit, valószínűleg azzal magyarázható, hogy különböző érzékenységű módszereket alkalmaztak az Y kimutatásához. A mai ismeretek fényében elmondható, hogy az Y igen elterjedt a növényvilágban. A többi növényfajhoz viszonyítva különösen nagy Y-tartalommal tűnnek ki a páfrányok és a zuzmók (Ichihashi et al., 1992). Ezt megerősítik Erämetsä és Yliroukanen (1971) eredményei is, ők ugyanis megállapították, hogy a mohák száraz anyagában az Y koncentrációja 2-től 200 mg/kg-ig terjed. Jelentős mértékben kisebb értékeket sorol fel ugyanezekre a növényekre nézve Bowen (1979): a zuzmóknál 0.2-től 2 mg/kg-ig, a moháknál pedig 1.3-től 7.5 mg/kg-ig a száraz anyagban. Ezek az eredmények megerősítik, hogy a faj genetikai speci-

fikumain, és valószínűleg a genotípuson kívül, az Y akkumulálásában fontos szerepet játszanak az ökológiai tényezők is, amivel megmagyarázhatóak a jelentős koncentrációbeli különbségek, melyeket egyazon fajnál mértek különböző szerzők különböző környezetben. Duke (1970) mérései szerint a trópusi erdős övezetekben élelmezésre használt növényekben a száraz anyagban az Y-tartalom 0.01-től 3.5 mg/kg-ig terjed. Viszonylag magas az Y koncentrációja a gombákban (Horovitz, 1995). Ha a növények Y-koncentrációjának említett értékeit összehasonlítjuk egyes jelentős biogén mikroelemek értékeivel (Mo, Co, Se, Ni stb.), arra a megállapításra jutunk, hogy igen hasonlóak az Y-hoz, ami a növényekben való jelenlétüket illeti.

Az elemek eloszlása a növényekben attól függ, mennyire mozgékonyak a növényben, milyen a fiziológiai és biokémiai szerepük, morfológiai és anatómiai jellegzetességeik, a növekvés és fejlődés mely fázisában található a növény stb. Zhu és Chen szerint az egyes RFF-elemek növénybeli mobilitásának sorrendje a következő: $^{147}\text{Nd} > ^{141}\text{Ce} > ^{90}\text{Y} > ^{140}\text{La}$ (Hu et al., 2004 nyomán). Reiske és Sedlers (1954) kiemeli az Y gyenge retranszlokációját a föld feletti szövetekből és a gyökérből való transzlokációt. Az RFF elemeiről általában elmondható, hogy eloszlásuk a növények szervei szerint a következő: gyökér>levél> szár>virág>termés. Az Y azonos eloszlását figyelte meg a fiatal kukoricánál Maksimović et al. (2014) (3. tábl.). Hong et al. (1999) szerint az Y a legnagyobb mértékben a gyökérben akkumulálódik, majd a levélben, és legkevésbé a szárban. Az Y jelentős akkumulációját állapította meg a bab gyökerében Rediske és Selders (1954) is. Említett szerzők véleménye szerint az Y nagy akkumulációja a gyökérben nem a gyökérszövet élettevékenységének eredménye, hanem mindenekelőtt a gyökérrendszer felületén való adszorpciójára.

Y (M)	Második levél	Szár	Gyökér
0	0.00 d	0.00 d	0.00 d
10^{-5}	29.10 c	8.13 c	161.00 c
10^{-4}	123.00 b	38.10 b	2087.30 b
10^{-3}	163.33 a	66.83 a	7204.30 a

3. táblázat

Az itrium-terhelés hatása fiatal kukoricánövények itrium koncentrációjára (mg Y/kg sz. a.) (Maksimović, 2014)

Az ittrium nem biogén elem, ezért érthető, hogy az irodalomban nagyon kevés adat található arról, hogyan hat a növények növekedésére és fejlődésére, életfolyamataira. Hogy milyen kapacitása van az Y-nak a biomolekulákhoz való kötődésre, arra utal a képessége, hogy komplexumokat alkosson foszfortartalmú vegyületekkel, egyes poliszacharidokkal és fluoridokkal (Horovitz, 2000) és nukleinsavakkal (Fujiwara et al., 1990). Az Y növények fejlődésére gyakorolt hatásáról szóló első munka még a múlt század elején jelent meg Evans (1914) tollából. A szerző azt állította, hogy 1.7 $\mu\text{g Y}^{3+}/\text{L}$ csökkenti a sejtek osztódását és rendellenességet vált ki az elrendezésükben a jácintoknál (*Hyacinthus sp.*) A 40 fém, köztük 0.5-től 5 μM -ig Y-szulfát oldata hatásának sejttani vizsgálata a vöröshagyma gyökerén mérve a kolchicin szokásos hatását mutatta a mitózisra (Levan, 1945). Young (1935) vizsgálatai szerint 500 mg Y^{3+}/kg alkalmazása homokos, agyagos talajon serkentőleg hatott a mezei komócsin (*Phleum pratense*) növekedésére. 50 mg /L La, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd és Y klorid oldat egyenkénti alkalmazása megnövelte a búzamazag csírázását 1.3-től 16.5%-ig (Jie, forrás Hu et al., 2004). Maksimović et al. (2012 és 2014) kutatásának eredményei arra utalnak, hogy a fiatal kukorica jelentős mértékben akkumulálja az Y-t, és ezért az kedvezőtlenül hat a fotoszintézisre és a növények vízháztartására, aminek következtében csökken a növények növekedése (4. tábl.).

Y (M)	A	E	g_s	Ci	WUE	% H ₂ O
0	23.80 a	2.80 a	0.22 a	66.52 b	8.68 a	91.92 a
10 ⁻⁵	22.38 a	2.75 a	0.21 a	80.57 b	8.15 a	91.80 a
10 ⁻⁴	14.58 b	1.93 b	0.11 b	84.43 b	7.46 b	91.27 a
10 ⁻³	6.35 c	1.11 c	0.05 c	151.81 a	5.23 c	88.91 b

Fotoszintézis intenzitása (A - $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\text{s}$); transzspiráció intenzitása (E - $\text{mol H}_2\text{O}/\text{m}^2\text{s}$); a gázcsere nyílás vízpára vezetőképessége (g_s - $\text{mol H}_2\text{O}/\text{m}^2\text{s}$); a gázcsere nyílás légudvarának CO₂ koncentrációja (Ci - $\mu\text{mol CO}_2/\text{mol levegő}$); a víz felhasználásának eredményessége a fotoszintézisben WUE ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} / \text{mmol H}_2\text{O}/\text{m}^2\text{s}$); a második levél víztartalma (%H₂O), P<0,05

4. táblázat

Az ittrium hatása fiatal kukoricánövények fotoszintézisére és vízforgalmára (Maksimović, 2014)

Összegezés

Az irodalomban található számos adat utal az RFF széleskörű elterjedtségére a bioszféra minden részében. Ezek nem biogén elemek a magasabb rendű növények, sem más élő szervezetek számára, de nem specifikusan befolyásolhatják azok életfolyamatait. Az elsősorban Kínában végzett kísérletek azt mutatják, hogy az RFF kedvezően hathatnak a növények szerves produkciójára. Számos kutatási eredmény ellenére még mindig azt mondhatjuk, hogy nem eléggé ismeretes, hogyan hatnak ember és állat egészségére. Emiatt felmerül annak szükségessége, hogy ezen a téren folytatódjanak a vizsgálatok, tekintettel arra, hogy alkalmazással, különösen a mezőgazdaságban, jelentős mértékben növekszik annak veszélye, hogy az RFF bejut a táplálékláncba. Sokkal kevesebb adat található a szakirodalomban az RFF csoportba tartozó egyes elemek hatásáról a magasabb rendű növények életfolyamataira, ily módon az Y-nal kapcsolatban is. Megállapítást nyert, hogy a növények képesek jelentős mértékben felvenni az Y-t, ami azután kedvezőtlenül hat a növekedésükre. Ökológiai szempontból is igen jelentős lehet annak ismerete, hogyan szívódnak fel, akkumulálódnak, oszlanak el az RFF egyes növényfajokban és kerülnek ez által a táplálékláncba, és hogy milyen nem specifikus, legyen az serkentő vagy mérgező, hatást gyakorolnak a növényvilágra. Emiatt érthető, hogy a kutatók az utóbbi időben fokozott érdeklődést tanúsítanak a mikroelemek e csoportja iránt. Ehhez minden biztonnal hozzájárult, hogy vannak új, sokkal érzékenyebb módszerek a kimutatásukra, valamint a tény, hogy az emberi tevékenység különböző területein széleskörűen alkalmazzák őket.

Felhasznált irodalom:

- Bai Bao-Zhang, Kastori, R., Milošević, M. (1988): Effect of the elements from the scandium group on seed germination and seedling growth in soybean, sunflower, and sugarbeet. *Zemljište i biljka*, 37: 207-215.
- Bai Bao-Zhang, Kastori, R., Petrović, N. (1990): Effect of elements from scandium and lanthanid groups on growth and morphological characters of young sunflower plants. *Helia*, 13: 1-9.
- Bai Bao-Zhang, Wang Ting-Hui (1988): Effect of rare earth elements on the productivity of sugar beet. *China Sugar Beet J.* 1: 20-26.
- Bohn, R. L., McNeal, B. L., O'Conner, G. A (1985): *Soil Chemistry*, 2nd Edition, JohnWiley & Sons, New York.

- Bowen, H. J. M. (1979): *Environmental Chemistry of the Elements*. Academic Press, New York.
- Brown, P. H., Rathjen, A. H., Graham, R. D., Tribe, D. E. (1990): Rare earth elements in biological systems. In: Gschneidener, Jr., Eyring, L. (eds.) *Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths*. North-Holland, Amsterdam, Vol. 13: 423-453.
- Chen Shu-Liang, Tang Shu-Yan, Lio Li-Xia (1987): Research of yielding and physiological effects of rare earth elements on soybean. *Jilin Agri. Sci.* 4: 41-47.
- Connor, J. J., Shacklette, H. T. (1975): Background geochemistry of some rocks, soils, plants and vegetables in the conterminous United States. *U.S. Geol. Surv. Prof. Pap.* 547f, 168.
- Cowgill, U. M. (1989): The chemical and mineralogical content on the plants of the Lake Huleh Preserve. *Israel Phil. Trans. Roy. Soc. London*, 326B: 59-118.
- Cseh, E., Kiss, B. (1993): Observations of the amount of Sr isotopes and their changes in different samples after Chernobyl disaster. *Élelmisz. Közl.* 37:226-231.
- Dobrovolsky, V. V. (1994): *Biogeochemistry of the World's Land*. Mir Publishers, Moscow, 36-40.
- Duke, J. A. (1970): Ethnobotanical observations on the Chocó Indians. *Econ. Bot.* 23: 344- 351.
- Erämaetsä, O., Yliroukanen, L. (1971): The rare earths in lichens and mosses. *Suom. Kemistil.*, 44: 121-127.
- Essington, E., Nishita, H., Wallace, A. (1963): Effect of the chelating agents on the uptake of Y-91, Ru-106, Ce-144 and Pm-147 by beans grown in a calcareous soil. *Soil Sci.*, 95: 331-337.
- Evans, W. H. (1914): The influence of the carbonates the rare earth elements (Ce, La, Y) on growth and cell division hyacinths. *Biochem. J.*, 7: 349-355.
- Fujiwara, K., Kojyo, R., Okada, K. (1990): Coprecipitation of trace metals by DNA and RNA molecules. *Anal Chem.*, 62:504-508.
- Greenwood, N. N., Earnshaw, A. (1997): *Az elemek kémiája*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.
- Gu, Z., M., Wang, X. R., Cheng, J., Wang, L. S., Dai, L. M. (2000): Effects of sulfate on speciation and bioavailability of rare elements in nutrition solution. *Chem. Spec Bioavailab.* 12: 53-58.
- Hong, F. S., Wei, Z. G., Tao, Y., Wang, S. K., Yang, Y. T., Cao, X. D., Zhao, G. W. (1999): Distribution of rare elements and structure characterization of chlorophyll-lanthanum in a natural plant fern. *Acta Bot. Sinica*, 41: 851-854.

- Horovitz, Ct.T. (1993): Could scandium and yttrium be required for life? In: Anke M., Meissner, D., Mills C.F. (eds.) Trace Elements in Man and Animals. TEMA-8, 747-749.
- Horovitz, T. C. (2000): Biochemistry of Scandium and Yttrium, Part 2: Biochemistry and Applications. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.
- Horovitz, T.C. (1995): Two hundred years of research and development of yttrium. Trace elements and Electrolytes. 12: 153-160.
- Hu, Z. H., Richter, H., Sparovek, G., Schnug, E. (2004): Physiological and biochemical effects of rare earth elements on plants and their agricultural significance: A Review. Journal of Plant Nutrition, 27: 183-220.
- Hu, Z., Haneklaus, S., Sparovek, G., Schnug, E. (2006): Rare earth elements in soil, Communications in Soil Science and Plant Analysis, 37: 1381-1420.
- Hung Zhi-Gang, Chen Pei-Zi, Zhang Mei-Juan (1983): Effect of spray rare earth elements on crossing early rice. Hunan Agri. Sci. 4:43-49.
- Ichihashi, H., Morita, R., Tatsukawa, R. (1992): REE in naturally grown plants in relation to their variation in soil. Environ Poll. 76:157-162.
- Jacobson, L., Overstreet, R. (1948): The uptake by plants of plutonium and some products of nuclear fission absorbed on soil colloides. Soil Sci., 65: 129-143.
- Kabata-Pendias, A. (2001): Trace Elements in Soils and Plants. Third Edition. CRC Press , Boca Raton, Florida.
- Kasimiva, N. S., Solncevoy, N. P. Rihklinga, A. V. (1996): Natural Raw Materials: Sustainable Utilization and Protection. Moscow University.
- Kastori, R. R., Maksimović, I. V., Zeremski-Škorić, T. M., Putnik-Delić, M. I. (2010): Rarer earths elements- yttrium and higher plants. Proc. Nat. Sci. Matica Srpska, 118: 87-98.
- Kastori, R., Maksimović, I., Putnik-Delić, M. (2015): Rere earth elements and plants. Proceedings 21st International Symposium on Analitical and Environmental Problems. University of Szeged, 12-15.
- Kastori, R., Bao-Zhang, B., Petrović, N. (1990): Effect of elements from scandium and lanthanum grups on some morphological and physiological characters of young soybean plants. Agrochimica, 34: 467-474.
- Klechkonsky, V. M., Tselishcheva, G. N. (1957): Some specific features of the behavior of Sr-90/Y-90 on absorption by plants. In: Klechkonsky, V. M. ed. On the Behavior of Radioactive Fission Products in Soil, Their Absorption by Plants and Their Accumulation in Crop. U.S. Atomic Energy Commission, Washington, DC. 194-221.
- Levan, A. (1945): Cytological reactions induced by inorganic salt solutions. Nature, 156:751-753.

- Maksimović, I., Kastori, R., Putnik-Delić, M., Zeremski, T. (2012): Yttrium-accumulation, translocation and distribution in young sunflower plants (*Helianthus annuus* L.). *Fersenius Environmental Bulletin*, 21: 11-18.
- Maksimović, I., Kastori, R., Putnik-Delić, M., Borišev, M. (2014): Effect of yttrium on photosynthesis and water relations in young maize plants. *Journal of Rare Earths*. 32: 371-378.
- Ning Ja-Ben, Zhang Xio-Ju, Chao Zhi-Xin (1985): Applied Effect and Technique of Rare Earth Elements in Suagr cane. *Hunan Agri. Sci.* 2: 13-19.
- Paulenova, A., Rajec, P., Kandrac, J., Saskolova, G., Tothova, E., Bartos, P., Svec, V., Gora, R. (2000): The study of americium, yttrium and lead complexation by humic acids of different origin. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 246: 617-622.
- Picard, B.G. (1970): Comparasion of calcium and lanthanum ions in the *Avena* coleoptile growth test. *Planta*, 91: 314-319.
- Redling, K. (2006): Rare Earth Elements in Agriculture with Emphasis in Animal Husbandary. Inaugural-Dissertation, Ludwig-Maximilians- Universitaet, München.
- Rediske, J. H., Selders, A. A. (1954): The upatke and translocation of yttrium by higher plants. *American Journal of Botany*, 41: 238-242.
- Rengel, Z. (1994): Effectsod aluminium, REE and oter metals on net Ca²⁺ uptake by *Amaranthus* protoplasts. *J. Plant Phyiol.* 143: 47-51..
- Robinson, W. O. (1943): The occurence of rare earths in plants and soils. *Soil. Sci.* 56: 1-6.
- Shacklette, H. T., Erdman, J. A., Harms, T. F. (1978): Trace elements in plant foodstuffe. In: Oehme, F. W. Ed. *Toxicity of Heavy Metals in the Environments*, Part I. Marcel Dekker, New York.
- Solecki, J. (2004): Yttruim-90 adsorption on various solis of successive horizons in Poland. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 262: 759-766.
- Spooner, M. A. (1949) :Observations on the absorption of radioactive strontium and yttrium by marine alge. *Jour. Marine Biol. Assoc.* 28. 587-625.
- Tyler, G. (2004): Rare earth elements in soil and plant systems - A review. *Plant and Soil* 267: 191-206.
- Tyler, G., Olsson, T. (2001): Plant uptake of major and minor elements as influenced by soil acidity and liming. *Plant Soil*, 230: 307-321.
- Van Steveninck, R. F., Van Steveninck, M. E., Chescoe, D. (1976): Intercellular binding of lanthanum in root tips of barley (*Hordeum vulgare*). *Protoplasma*, 90:89-97.
- Welch, G. R. (1984): Biochemical dynamics in organized states: A holistic approach In: Ricard, J., Cornish-Bowen, A. (eds.), *Plenum Press*, New York, 85-101.

- Xie Hui-Guang, Yu Zheng-He (1986): Research of effect of rare earth elements on quantities and quality of sugar beet. *China Sugar Beet J.* 1:18-24.
- Yang, L. H., Wang, X. R., Sun, H. (1999): The effect of EDTA on rare earth elements bioavailability in soil ecosystem. *Chemosphere*, 38: 2825-2833.
- Young, R.R. (1935): Certain rarer elements in soil and fertilizers and their role in plant growth. *Mem. Cornell Agric. Exp. Stan.* 174: 1-70.