

A magnéziumbiológia jelentősége

Kastori Rudolf

1. Bevezetés

A magnézium (Mg) eredete azokban az asztrofizikai folyamatokban gyökerezik, amelyek a világmindenségben az ősrobbanás, vagyis a Big Bang¹ óta játszódnak le. Kémiaiilag tiszta Mg-ot először 1808-ban magnézium-oxidból sikerült kivonnia Humphry Davynek. Az alkáliföldfémek egyike, a periódusos rendszer II/a főcsoportjához tartozik, és a bioszféra minden részében megtalálható. Előfordulási gyakoriságát tekintve a Mg a nyolcadik elem a Földön,² 2,1%-kal pedig hatodik a földkéregben. A kontinentális rész felső rétege körülbelül 1,3%, az alsó 4,7%, az óceánok kérge pedig 4,3% Mg-t tartalmaz. A pedoszférában 0,1–1,5% között variál a mennyisége, egyes szerzők véleménye szerint pedig 0,03–0,84% között. Jelentős mennyiségben található a vizes közegekben is, amelyek így fontos magnéziumforrások az élőlények számára. A Mg koncentrációja a tengervízben kb. 0,13%, és a sóösszmenységének 3,69%-át képezi. A felszíni vizekben, amelyek az ivóvíz jelentős részét biztosítják, a Mg koncentrációja 15 és 25 mg/L között mozog. Magnézium-porszemcsék alakjában található a levegőben is. Minden élő szervezet tartalmaz Mg-t. A növények száraz anyagában 0,1 és 1,0% között alakul a koncentrációja. Az emberi testben a Mg a születéskor mért 700 mg-tól a felnőttéknél kimutatható kb. 24 g-ig terjed. A fentiek alapján megállapíthatjuk, hogy a Mg igen elterjedt a természetben, és megtalálható a bioszféra minden részében.

A fém Mg igen reaktív. A bioszférában szabad, ionizált alakban található Mg²⁺ kationként: vizes közegben só, illetve ásvány formájában. A földkéregben a Mg primer ásványként fordul elő – mint szilikát (ensztatit, diopszid, amfibol, olivin stb.) –, vagy szekunder ásványként (szerpentin, biotit, talk stb.).

A növények számára a legjelentősebb magnéziumforrás a talaj, az ember és az állat számára pedig a növényi táplálék és az ivóvíz. Az ásványi anyagok és ezek keretében a Mg táplálék útján való bevitele a szervezetbe az utóbbi évtizedekben számos országban negatív tendenciát mutat. A táplálkozásban túlsúlyba kerültek az energiában gazdag, valamint a számos olyan technológiai folyamat útján feldolgozott élelmiszerek, amelyekben a legtöbb ásványi anyag, köztük a Mg is, általában elvész. Általánosan elfogadott vélemény, amely szerint az emberi táplálkozásban a magnéziumbevitel első jelentősebb arányú csökkenése

¹ Lásd: SCHLESINGER, W. H. (1997): *Biogeochemistry: an Analysis of Global Change*. San Diego, Academic Press.

² MAGUIRE, M. E. – COWAN, J. A. (2002): Magnesium Chemistry and Biochemistry. *BioMetals*, Vol. 15. No. 3. 203–210.

a múlt század 20-as éveiben történt, mégpedig napi 500-ról 350 mg mennyiségre, majd a hatvanas években napi 300-ról 200 mg-ra. A napi magnéziumszükségletet jelentős mértékben fedezheti az ivóvíz. Napi 2–4 l víz konzumálása 30–100 mg Mg bevitelét jelenti.

A Mg elengedhetetlenül szükséges elem minden élőlény számára, tekintettel arra, hogy kivételesen jelentős szerepe van az életfolyamatokban. A fentiek alapján elmondható, hogy méltatlanul mellőzik,³ és hogy a Mg-nak ezentúl sokkal nagyobb figyelmet kellene szentelni, mind a növénytermesztés, mind az emberi táplálkozás és az állati takarmányozás terén. Emiatt úgy véltük, fontos rámutatni, emlékeztetni ennek az elemnek az élőlények szempontjából globális, biológiai jelentőségére, és ezzel kapcsolatban a szervezet optimális magnéziumellátásának a fontosságára.

2. A magnézium szerepe az életfolyamatokban

A Mg nélkülözhetetlen elem a növények, a gerincesek, a gerinctelenek, az algák, a gombák, a baktériumok, gyakorlatilag minden élőlény zavartalan növekedéséhez és fejlődéséhez. Az egyes feltétlenül szükséges makroelemektől (C, P, N) eltérően, amelyek általában részt vesznek a szerves vegyületek felépítésében, az alkáliföldfémeket, köztük a Mg-ot is, a fiziológiai szerepük alapján elsősorban „funkcionális elemeknek” lehet tekinteni. Az alkáliföldfémeknek az anyagcsere folyamatában gyakran többé-kevésbé specifikus aktivátor szerepük van, illetve számos enzim kofaktorai. Ennek köszönhetően a Mg számos fiziológiai-biokémiai folyamatban vesz részt, amelyek nélkülözhetetlenek az élőlények zavartalan növekedéséhez és fejlődéséhez.

Nagyszámú enzim és enzimes reakció létezik, amelyekhez szükséges a Mg.⁴ Az enzimek kofaktorai (Mg, Ca, K) hatással vannak a proteinek hidratációjára, és ily módon megváltoztatják az enzimek konformációját, amivel különlegesen aktív katalitikus állapotba hozzák az enzimet. A Mg azon képessége, hogy aktiválja az enzimeket, jelentős mértékben alapul azon a tulajdonságán is, hogy a szerves molekulákkal képes kelátkötést létesíteni. A fémionokkal aktivált enzimekben a fémionok lazán kötődnek proteinekhez, ezenkívül fontos szerepet játszanak az enzimek minden tevékenységében. Általánosan elfogadott vélemény, hogy a Mg >300 enzim aktivátora, és hogy a növényekben található Mg 70–85%-a részt vesz különböző enzimes reakciókban.

A Mg-nak igen fontos szerepe van a foszfátok átvitelének reakcióiban (foszfatáz és ATPáz). Az ATP-szintézisben (foszforiláció: $ADP + P \rightarrow ATP$) a Mg-ra mint az ADP és az enzim közötti kötőelemre van szükség. A Mg-nak jelentős szerepe van az ATP minden reakciójában, tekintettel arra, hogy az ATP-vel komplexet alkot, és ily módon megkönnyíti a reakció lefolyását, illetve az energiaátvitelt. A sejtmembránok felszínéhez kötődnek különböző ATPázok, amelyek hidrolizálják az ATP-t. Magnéziumhiány esetén az ATPáz nem hidrolizálja az ATP-t, mivel gyenge az aktivitása.

³ ÇAKMAK, I. – YAZICI, A. M. (2010): Magnesium: a Forgotten Element in Crop Production. *Better Crops*, Vol. 94. No. 2. 23–26.

⁴ BLACK, C. B. – COWAN, J. A. (1995): Magnesium Dependent Enzymes in General Metabolism. In COWAN, J. A. ed.: *The Biological Chemistry of Magnesium*. New York, VCH Publishers.

Az elektrontranszportláncba tartozó piridin-nukleotidok, az NAD és az NADP számos dehidrogenáz kofaktorai. Az NADH és az NADPH oxidációjához nélkülözhetetlen a Mg. Magnéziumhiány esetén oxidációjuk gyorsasága körülbelül a felére csökken.⁵

A biomembránok proteinekből és foszfolipidekből állnak. A proteinek és foszfolipidek bioszintézise enzimes reakciók segítségével történik, és ezeket a reakciókat a Mg aktiválja. Azon kívül, hogy aktiválja a proteinek aminosavainak szintézisét katalizáló enzimeket, a magnéziumionok ugyanakkor részt vesznek az RNS, DNS és nukleotidok szintézisének stabilizálásában és mechanizmusában is. Ezen kívül a Mg részt vesz a K⁺, Ca²⁺ és Na⁺ ionok membránon keresztüli transzportjának szabályozásában is.⁶

Az oxidatív dekarboxiláció minden folyamatát a Mg²⁺ aktiválja. Az acetil-koenzim A (acetil-CoA) aktiválásával a Mg jelentős helyet foglal el a citromsavciklusban és a lipidek anyagcseréjében. A glikolízis (a glükóz lebomlása) során, amely legalább tíz lépésből áll, öt enzim működéséhez van szükség magnéziumionokra.⁷

Walker és Weinstein⁸ szerint a klorofill bioszintézisének első fokát a Mg²⁺ porfirinek szerkezetébe való beépítése képezi, Mg-kelatázzal katalizálva. Ennek az enzimnek az aktiválása APT-t és Mg-ot követel.⁹ A Mg-mal aktivált enzimek jelentős szerepet töltenek be a Calvin-ciklus fotoszintézisében is. A fotoszintézishez kulcsfontosságú Rubisco (RuBPC/o) aktivitáshoz nélkülözhetetlen a CO₂, a fény és a Mg jelenléte. Az csak akkor aktív, ha a RuBPC/o- CO₂-Mg komplexben található.

3. A magnézium hatása a mezőgazdasági termények biológiai értékére

Az egészséges táplálkozás fontosságának tudatosodásával megnövekedett általában az élelem minőségével, biológiai értékével kapcsolatos törődés mértéke is. A minőség a termék belső és külső tulajdonságainak összességét öleli fel. Az élelmiszerek és általában a termékek minőségének definiálására különböző mutatók szolgálnak: tápérték-, organoleptikus, szállítási, tárolási, feldolgozási stb. mutatók. Valamely termék minőségének fogalma változó a térben, más-más világrészekben, sőt a felhasználását illetően is.

A tápértéket azoknak a nélkülözhetetlen anyagoknak (szénhidrátok, zsírok, proteinek, ásványi anyagok) a megléte és aránya határozza meg, amelyek a szervezet felépítéséhez és energiaellátásához szükségesek, a biológiai értéket pedig az egészség szempontjából jelentős bioaktív anyagok megléte (vitaminok, polifenolok, fitoszterinek, fitoesztrogének, glikozinolatok, szaponinok, terpének, antioxidáns szubsztanciák, peptidek, flavonoidok stb.). Számos kutatás eredményei bizonyítják, hogy a Mg közvetlenül és/vagy közvetve

⁵ MOLLER, I. M. – SCHWITZGEBEL, J. P. – PALMER, J. M. (1982): Binding and Screening by Cation and Effect on Exogenous NAD(P)H Oxidation in Neurospora Crassa Mitochondria. *Eur. Biochem.*, Vol. 123. No. 1. 81–88.

⁶ GARBAN, Z. (1998): Interaction of Deoxyribonucleic Acid with Divalent Metallic Ions: Particularisation for Mg Ions. In KISS A. A. ed.: *Magnesium – Magnesium and Interaction of Magnesium with Trace Elements*. 6th European Magnesium Congress. Budapest. 331–334.; FAWCETT, W. – HAXBY, E. – MELE, D. (1999): Magnesium: Physiology and Pharmacology. *Brit. J. Anaesthesia*, Vol. 83. No. 2. 302–320.

⁷ KÓRÓS E. (1980): *Bioszervetlen kémia*. Budapest, Gondolat.

⁸ WALKER, C. J. – WEINSTEIN, J. D. (1991): Further Characterisation of the Magnesium Chelatase in Isolated Developing Cucumber Chloroplasts. *Plant Physiol.*, Vol. 95. No. 4. 1189–1196.

⁹ KABAYASHI, K. et alii (2008): Functional Analysis of Arabidopsis Thaliana Isomorf of the Mg-chelatase CHLI Subunit. *Photochem. Photobiol.*, Vol. 7. No. 10. 1188–1195.

befolyásolhatja az említett szubsztanciák jelenlétét a növényekben. Az említettek kivül a Mg enyhítheti a fitopatológiai megbetegedéseket, mechanikai sebeket, csökkentheti a káros anyagok jelenlétét (növényvédőszer maradványai, nitrátok, nitritek, nehézfémek stb.), amelyek rontják a táplálék egészségügyi biztonságosságát, és ezáltal annak biológiai és piaci értékét.¹⁰

Tekintettel arra, hogy a Mg az ember és az állat számára is nélkülözhetetlen elem, érthető, hogy a táplálék minősége és biológiai értéke a magnéziumtartalmától is függ. A Mg koncentrációja a növényekben a növényfajtától, genotípustól és a növényi szervtől függ, valamint attól, hogy mennyi volt belőle a talajban. Az ember magnéziumellátásában különösen fontosak a zöldségfélék, mivel a Mg nagyobb koncentrációban gyűlik a vegetatív szervekben, a növények azon részeiben, amelyeket a zöldségfélék esetében a táplálkozásban általában felhasználnak. Magas magnéziumtartalma van a tök, a dió és a mandula magjának is. Magnézium használata a talaj- és levéltrágyázásban jelentős mértékben megnöveli a növények magnéziumtartalmát.

Megállapították, hogy Mg használatával növelni lehet a burgonyagumók keményítő-tartalmát, és javítani a technológiai értéküket. A Mg kedvező hatással van a gabonafélék és a hüvelyesek termékének proteintartalmára, valamint a búzaszem sütőipari értékére is. Különösen akkor, amikor magnéziumszegény talajon vetik be, a Mg növeli az olajnövények magjának olajtartalmát, és megváltoztatja az egyes zsírsavak arányát. Megállapították, hogy Mg használatával javulnak a bor organoleptikus tulajdonságai, az aromikus anyagok íze, tartalma és összetétele, továbbá a Mg kedvezően befolyásolja a szőlő cukortartalmát. A szakirodalom szerint a Mg alkalmazásának hatására növekszik a C-vitamin és a karotinoidok, valamint egyéb antioxidánsok tartalma. A Mg növeli a színanyagok, antociánok és klorofill mennyiségét a növényekben, és közvetve növeli a növényi táplálék biológiai értékét azzal, hogy csökkenti egyes mérgező anyagok (nitrátok, egyes nehézfémek [kadmium] és növényvédőszer) mennyiségét.

4. Az elégtelen magnéziumellátottság következményei

4.1. A növények

A magnéziumhiány számos fiziológiai és biokémiai zavart idéz elő a növényeknél, minek következtében különböző morfológiai és anatómiai elváltozások lépnek fel, akut hiánya pedig pusztulással jár.¹¹ Általánosságban elmondható, hogy a magnéziumhiány csökkenti a növények asszimiláló és szintetizáló képességét, és ezáltal szerves produkcióját, hozamát. A levelek száraz anyagában a kritikus magnéziumkoncentráció kb. 0,2%. A magnéziumhiány nemcsak akkor léphet fel, amikor a talajban nincs belőle elegendő, hanem

¹⁰ BARKER, A. V. – PILBEAN, D. J. eds. (2015): *Handbook of Plant Nutrition. Sec. Ed.* Boca Raton, Fl. CRC Press.; KASTORI, R. – MAKSIMOVIC, I. – PUTNIK-DELIĆ, M. (2016): *Magnezijum u ishrani biljaka*. Novi Sad, Poljoprivredni fakultet.

¹¹ KASTORI R. (1983): *Uloga elemenata u ishrani biljaka*. Novi Sad, Matica srpska.; KASTORI R. (2005): *Fiziologija biljaka*. Novi Sad, Naučni institut za ratarstvo i povrtarstvo.; MENGEL, K. – KIRKBY, E. A. (2001): *Principles of Plant Nutrition*. Dordrecht, The Netherlands, Kulwer Academic Publishers.; MARSCHNER, P. (2012): *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Amsterdam, The Netherlands, Elsevier.

a K^+ , Ca^{2+} , Mn^{2+} , NH_4^+ , H^+ , Na^+ ionok konkurens hatásának következményeként is. A magnéziumhiány első jelei a legidősebb leveleken jelentkeznek. Ilyenkor lebomlanak a klorofillmolekulák, és megváltozik a kloroplasztisz ultrastrukturális felépítés. Csökken a gránumok, és növekszik a keményítőszemek száma. A klorofillmolekulák lebomlásának következtében először érközi klorózis jelentkezik. A magnéziumhiány következményeként megsérülnek a sejtmembránok, megváltozik a folyékonyáguk és a permeabilitásuk, akár csak az ioncsatornák funkciója. A magnéziumhiány kihat a mitokondriumok felépítésére is, ugyanis megbomlik a membránszerkezetük. A Mg kellő mennyiségének hiánya zavart idéz elő a foszforanyagcserében, a foszforiláció folyamataiban is.

A magnéziumhiány következtében a levelekben felgyülemlik a keményítő és a cukor. Ennek oka lehet a keményítő lassú lebontása a kloroplasztokban, a felborult cukoranyagcsere, és/vagy azok lassú átvitele más szervekbe a floém által. A következmény a gyökér növekedésének lassulása. Ezen kívül a magnéziumhiányban szenvedő növények leveleiben növekszik az oxigénformák kialakulása, amelyek kárt okoznak a növények életfolyamataiban, szuperoxid aniongyök és hidrogénperoxid keletkezik. Amikor nagy a fény intenzitása, a Mg védi a növényeket az oxidatív stressztől.

4.2. Az emberek

Az utóbbi évtizedekben részletes kutatások tárgyát képezte a Mg szerepe az ember és az állat fiziológiai és biokémiai folyamataiban.¹² A Mg az előfordulás gyakoriságát tekintve a negyedik elem az ember szervezetében. Megtalálható a szervezet minden sejtjében. Magnéziumra szükség van számos jelentős biomolekula (például proteinek, lipidek, szénhidrátok, nukleinsavak, nukleotidok és zsírsavak) felépítéséhez és funkcionálásához.

Általánosan elfogadott vélemény, miszerint a lakosság jelentős részénél elégtelen a magnéziumbevitel. Normális körülmények között a szervezet napi magnéziumszükséglete 4–5 mg/kg, stresszhelyzetben, betegség vagy terhesség esetén pedig nagyobb, 7–10 mg szükséges a testmassza kilogrammjaként naponta. Steinmetz szerint¹³ a táplálkozásban tapasztalt magnéziumhiány elsődleges okai a következők: zsírban és cukorban gazdag, de Mg-ban szegény élelmiszerek fogyasztása, valamint a számos technológiai folyamatban feldolgozott élelmiszerek, amelyekben a legtöbb ásványi anyag, köztük a Mg is, általában elvész. Másodlagos okok: a Mg csökkentett felszívódása, alkoholizmus, anyagcserezavarok és endokrin betegségek, gyógyszerek (vízhajtók, antibiotikumok), terhesség, fizikai és pszichikai/mentális stressz, gyakori hányás, hasmenés, bélbetegségek stb.

Számos kutatás eredményei kimutatták, hogy összefüggés van a Mg-hiány és a szív- és egyéb betegségek között. A Mg-nak szerepet tulajdonítanak számos betegség megelőzésében is, mint amilyen az arterioszklerózis, angina pectoris, vérnyomás-labilitás, szívinfarktusz, vérkeringés, gyomor- és bélgyörcsök, gyomorrák, diabétesz (a magnéziumhiány okozza az inzulinkiválasztás csökkenését), asztma (a magnéziumhiány összefüggésben áll a tüdő működésének csökkenésével), zsibbadás és szurkálás érzése karban és lábban, trombozusra és embóliára való hajlam, depresszió és ideges reakciók, lármára és stresszre

¹² GRZEBISZ, W. (2011): Magnesium – Food and Human Health. *J. Elem.*, Vol. 16. No. 2. 299–323.

¹³ STEINMETZ, T. (1999): Magnesium: a Key Element of Health. *Health Supplement Retailer*, No. 7. 1–7.

való érzékenység, kalcium-oxalát – vesekő kialakulása, meszesedés és öregedés, migrén és alvászavarok stb.

A felsoroltakon kívül a Mg-nak szerepet tulajdonítanak a sejtek energiaforgalmában, az oxigén energetikai folyamatokban való jobb hasznosításában, növeli továbbá az inzulin hatását a cukorbetegknél, enyhíti a túlzott alkoholfogyasztás kedvezőtlen következményeit stb. Tekintettel arra, hogy részt vesz az ember számos életfolyamatában, a magnéziumhiány tünetei igen sokfélék: nyugtalanság, fáradtság, ájulás, szédülés, allergia, remegés, bizonytalan járás, szemtekerezgés, szívritmuszavar, izomkontrakció stb.

Magnéziumtúltengés, -mérgezés, hipermagnezémia ritkán jelentkezik, ha normális a vesék működése.

4.3. Az állatok

A Mg az állatok számára is nélkülözhetetlen elem, mivel részt vesz számos fiziológiai és biokémiai folyamatban.¹⁴ Az állati szervezetben kb. 0,05% a koncentrációja. A kalciumon és foszforon kívül a Mg fontos összetevője a csontszövetnek. A fiatal állatoknál a csontszövetben található Mg kb. 30%-a mobilizálható. A korral csökken a csontszöveti Mg mobilizálásának lehetősége.

A szilárd takarmány messzemenően a legfontosabb magnéziumforrás az állatok számára. Jelentéktelen az a magnéziummennyiség, amely az ivóvíz által jut a szervezetükbe. Magnéziumbevitel céljából szükség szerint alkalmazhatók különböző preparátumok. Az állati szervezet magnéziumháztartása sokban függ annak kiválasztásától is. A Mg endogén úton szilárd ürülék, vizelet és izzadás formájában távozik a szervezetből, az emlősöknél a tejvel is. A szervezet magnéziumellátottságától függ, hogy milyen mennyiségben lesz található a belső szervekben és az izmokban, és ezáltal azok hogyan fognak működni. A hipomagnezémia elsősorban az izomidegrendszerre van hatással. Általános a vélemény, miszerint a Mg hatással van az acetilkolin szintézisére és disztribúciójára. Ha nem kielégítő a Mg koncentrációja, növekszik az acetilkolin felszabadulása, ami az izmok ingerlékenységének növekedéséhez és spontán kontrakciókhoz (tetánia) vezet. Fordított esetben a magnéziumkoncentráció növekedése csökkenti az izomidegek ingerlékenységét. Szarvasmarha és juh esetében az elégtelen magnéziumellátottság az emésztő- és légzőszervek megbetegedését okozhatja, miközben jelentős mértékben csökken a szívizom magnéziumtartalma.

A legelterjedtebb betegség, amely magnéziumhiány esetén a teheneknél jelentkezik, a tetánia. Ennek a betegségnek a megjelenését a nátrium hiánya fokozza. A tetániában szenvedő állatok szájából folyik a nyál, a tehenek félénkek, izomgörcsök jelentkeznek náluk, kifordul a szemük, hangosan bögnék, nekimennek a tárgyaknak, és végezetül görcsben összeomlanak. Megfigyelték, hogy különösen tavasszal, amikor a fiatal növényekben sok a kálium és kevés a nátrium, jelentkeznek rendellenességek a szarvasmarhák és juhok anyagcseréjében, aminek következtében rosszabbodik a magnéziumfelszívódás és úgynevezett „legelői hasmenés” lép fel.

¹⁴ KOVÁCSNÉ GAÁL K. (1992): A magnézium szerepe az állatvilágban. In FAZEKAS T. et al. szerk.: *A magnézium forrásai és jelentősége az élővilágban*. Budapest, Akadémiai Kiadó. 121–133.; RAYSSIGUIER, Y. (1992): Metabolism of Magnesium in Animals and Pathology Related to a Deficit in Magnesium. In HUGUET, C. – COPPENET, M. eds.: *Le magnesium en agriculture*. Paris, INRA Editions. 21–31.

A hipermagnezémia ritkább a háziállatok körében. Jelentkezhet a fejősteheneknél a nagy tejtermelés következményeként, amikor a tej magas kalciumtartalma és a kalcium tejjel való kiválasztódása miatt alakul ki hipokalcémia és hipermagnezémia, ami az úgynevezett „tejlázban” manifesztálódik.

5. Összegzés

A magnézium nélkülözhetetlen elem minden élőlény – növények, emberek, állatok és egyes alacsonyabb rendű élőlények – számára. A növénytermesztésben, valamint az emberi táplálkozásban és az állati takarmányozásban a Mg-nak gyakran nem szentelnek kellő figyelmet, annak ellenére, hogy számos tudományos és szakmai kutatás eredményei mutatnak rá rendkívüli biológiai jelentőségére. Az élőlények szervezetében fellépő magnéziumhiány számos fiziológiai, biokémiai, anatómiai, morfológiai és egyéb elváltozást okoz. A növények optimális magnéziumellátottságának fontossága túlmutat a növényvilág keretein, tekintettel arra, hogy a növények jelentik az ember és az állat számára a legfontosabb magnéziumforrást. A Mg-ot újabban méltatlanul mellőzött biogén elemként emlegetik. Nem túlzás, ha azt állítjuk, hogy Mg nélkül nem lenne élet a Földön, tekintettel a szerepére, amelyet a fotoszintézisben és általában az életfolyamatokban betölt.

Felhasznált irodalom

- BLACK, C. B. – COWAN, J. A. (1995): Magnesium Dependent Enzymes in General Metabolism. In COWAN, J. A. ed.: *The Biological Chemistry of Magnesium*. Inc. New York, VCH Publishers.
- CAKMAK, I. – YAZICI, A. M. (2010): Magnesium: a Forgotten Element in Crop Production. *Better Crops*, Vol. 94. No. 2. 23–26.
- FAWCETT, W. – HAXBY, E. – MELE, D. (1999): Magnesium: Physiology and Pharmacology. *Brit. J. Anaesthesia*, Vol. 83. No. 2. 302–320.
- GARBAN, Z. (1998): Interaction of Deoxyribonucleic Acid with Divalent Metallic Ions: Particularisation for Mg Ions. In KISS A. A. ed.: *Magnesium – Magnesium and Interaction of Magnesium with Trace Elements*. Budapest, 6th European Magnesium Congress. 331–334.
- GRZEBISZ, W. (2011): Magnesium – Food and Human Health. *J. Elem.*, Vol. 16. No. 2. 299–323.
- GRZEBISZ, W. (2015): Magnesium. In BARKER, A. V. – PILBEAN, D. J. eds.: *Handbook of Plant Nutrition. Sec. Ed.* Boca Raton, FL. CRC Press.
- KABAYASHI, K. – MOCHIZUKI, N. – YOSHIMURA, N. – MOTOHASKI, K. – HIASABORI, T. – MASUDA, T. (2008): Functional Analysis of Arabidopsis Thaliana Isomorf of the Mg-chelatase CHLI Subunit. *Photochem. Photobiol.*, Vol. 7. No. 10. 1188–1195.
- KASTORI R. (1983): *Uloga elemenata u ishrani biljaka*. Novi Sad, Matica srpska.
- KASTORI R. (2005): *Fiziologija biljaka*. Novi Sad, Naučni intitut za ratarstvo i povrtarstvo.
- KASTORI R. – MAKSIMOVIĆ, I. – PUTNIK-DELIĆ, M. (2016): *Magnezijum u ishrani biljaka*. Novi Sad, Poljoprivredni fakultet.
- KOVÁCSNÉ GAÁL K. (1992): A magnézium szerepe az állatvilágban. In FAZEKAS T. et al. szerk.: *A magnézium forrásai és jelentősége az élővilágban*. Budapest, Akadémiai Kiadó. 121–133.
- KÖRÖS E. (1980): *Bioszervetlen kémia*. Budapest, Gondolat.

- MAGUIRE, M. E. – COWAN, J. A. (2002): Magnesium Chemistry and Biochemistry. *BioMetals*, Vol. 15. No. 3. 203–210.
- MARSCHNER, P. (2012): *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Amsterdam, The Netherlands, Elsevier.
- MENGEL, K. – KIRKBY, E. A. (2001): *Principles of Plant Nutrition*. Dordrecht, The Netherlands, Kulwer Academic Publishers.
- MOLLER, I. M. – SCHWITZGEBEL, J. P. – PALMER, J. M. (1982): Binding and Screening by Cation and Effect on Exogenous NAD(P)/H Oxidation in *Neurospora Crassa* Mitochondria. *Eur. Biochem.*, Vol. 123. No. 1.
- RAYSSIGUIER, Y. (1992): Metabolism of Magnesium in Animals and Pathology Related to a Deficit in Magnesium. In HUGUET, C. – COPPENET, M. eds.: *Le magnesium en agriculture*. Paris, INRA Editions. 21–31.
- SCHLESINGER, W. H. (1997): *Biogeochemistry: An Analysis of Global Change*. San Diego, Academic Press.
- STEINMETZ, T. (1999): Magnesium: a Key Element of health. *Health Supplement Retailer*. No. 7. 1–7.
- WALKER, C. J. – WEINSTEIN, J. D. (1991): Further Characterisation of the Magnesium Chelatase in Isolated Developing Cucumber Chloroplasts. *Plant Physiol.*, Vol. 95. No. 4. 1189–1196.