

Uso de elementos Terras Raras na agricultura

JULIANA SANTOS BATISTA OLIVEIRA¹; VALDECIR BIONDO²; MARIANA FERREIRA SAAB¹; KÁTIA REGINA FREITAS SCHWAN-ESTRADA^{3*}

¹Doutoranda em Agronomia, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Avenida Colombo 5790, Bloco T33, CEP 87020-900, Centro, Maringá/PR. E-mail: julianaglomer@hotmail.com

²Físico, Doutor em Física, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Avenida Colombo 5790, Bloco F67, CEP 87020-900, Centro, Maringá/PR. E-mail: vbsec21@yahoo.com.br

¹Doutoranda em Agronomia, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Avenida Colombo 5790, Bloco T33, CEP 87020-900, Centro, Maringá/PR. E-mail: marianasaab@hotmail.com

³Agrônoma, Prof. Doutora bolsista Pq2 CNPq, Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Avenida Colombo 5790, Bloco T33, CEP 87020-900, Centro, Maringá/PR. E-mail: krfsestrada@uem.br

*Autor para correspondência

RESUMO

O grupo da tabela periódica denominado Terras Raras é formado por 17 elementos químicos, onde 15 pertencem ao grupo dos lantanídeos, e os outros dois são o escândio e o ítrio. Os maiores depósitos minerais de Elementos Terra Raras (ETRs) se encontram na China, que domina mais de 95% do mercado mundial. Pesquisas em culturas agrícolas com o uso de compostos baseados em ETRs, realizadas majoritariamente na China, mostraram um incremento da produtividade e do crescimento das plantas, controle de doenças, além de outros efeitos benéficos, geralmente quando estes são aplicados em baixas concentrações. As razões para a ocorrência destes efeitos não são suficientemente compreendidas, mas, recentemente, interações fisiológicas com o cálcio, efeitos sobre a estrutura e a função das membranas citoplasmáticas, alterações na fotossíntese, no metabolismo dos hormônios, na atividade enzimática, e o aumento da eficiência no uso da água têm sido propostos como possíveis mecanismos de atuação dos ETRs. Os resultados positivos do uso destes elementos na agricultura, aliado às poucas pesquisas realizadas fora da China, são fortes indicativos da necessidade de maiores estudos com estas substâncias. Deste modo, na presente revisão são mostrados alguns dos efeitos advindos do uso dos ETRs nas culturas agrícolas, enfatizando as concentrações utilizadas e as interações fisiológicas com as plantas, entre outros mecanismos. Busca-se, ainda, contribuir para a disseminação do conhecimento envolvendo estas substâncias e evidenciar o potencial que estes podem assumir no cenário agrícola mundial e, conseqüentemente, no aumento da produção de alimentos.

Palavras-chave: aumento de produção, lantanídeos, metabolismo vegetal, nutrição, solo.

ABSTRACT

The use of Rare Earth Elements in the agriculture

The Rare Earth Elements (REEs) is a group of 17 chemical elements, where 15 belong to the group of lanthanides, and the other two are scandium and yttrium. The largest mineral deposits of REEs are in China, which dominates over 95% of the world market. Research on crops with the use of compounds based on REEs – performed mostly in China – showed an increase in productivity, plant growth, disease control and other beneficial effects, usually when they are applied in low concentrations. The reasons for these effects are not sufficiently understood, but recently, physiological interactions with calcium, effects on the structure and function of the cytoplasmic membranes, changes in photosynthesis, hormone metabolism,

SAP 10679

DOI: 10.18188/1983-1471/sap.v13n3p171-185

Data do envio: 28/08/2014

Data do aceite: 01/09/2014

Scientia Agraria Paranaensis - SAP

Mal. Cdo. Rondon, v.13, n.3, jul./set., p.171-185, 2014

enzyme activity, and increased efficiency on water use have been proposed as possible mechanisms affected by REEs. The positive results of the use of these elements in agriculture, combined with the few researches realized outside of China, are strong indicators of the need for further studies on these substances. Thus, in the present review are shown some of the resulting effects from the use of REEs on crops, emphasizing the used concentrations, and the physiological interactions with plants, among other mechanisms. Still, it contribute to disseminate knowledge involving these substances and also highlight the potential which they assume on the agricultural scenario in the world and, consequently, in increasing food production.

Keywords: increase production, lanthanides, nutrition, plant metabolism, soil.

INTRODUÇÃO

O uso de uma ampla gama de compostos químicos, isolados ou em mistura uns com os outros é, cada vez mais, um elemento essencial para as diversas atividades humanas, notadamente a produção de alimentos. A aplicação destas substâncias objetivando o aumento da produtividade e da qualidade dos produtos agrícolas, seja via solo, adubação foliar ou outros meios, é um recurso bastante utilizado para suplementação/suporte nutricional das plantas, correção da estrutura e pH do solo, indução de resistência, combate às pragas e produção de efeitos fitotônicos nas culturas, entre outros (FERNANDES, 2006).

Entre estes compostos, podem-se citar como promissores para utilização na atividade agrícola os Elementos Terras Raras (ETRs). Alguns relatos sobre a ação de Terras Raras no crescimento das plantas foram publicados por cientistas russos, romenos e búlgaros no início do século XIX, com efeitos positivos em sua maioria. Em 1972, uma investigação sistemática começou na China com impactos práticos sobre a agricultura deste país (GUO et al., 1988) e, mesmo hoje, a maioria dos estudos com estas substâncias estão concentrados neste país, provavelmente devido ao fato do mesmo possuir gigantescos depósitos minerais de Terras Raras e um histórico recente de dominação mundial do comércio de produtos baseados nestes elementos. Estes estudos, somados à aplicação efetiva dos ETRs com finalidade agropecuária na China, gerou um grande volume de resultados promissores, muitos em mandarim e de difícil acesso, mostrando a necessidade de um olhar mais atento a esta classe de compostos por parte de outros países.

Os poucos estudos publicados fora da China, apesar de também reportarem resultados animadores, mostraram-se insuficientes para a obtenção de resultados conclusivos; contudo, os dados publicados indicam que é necessário o uso de quantidades muito pequenas, o que se torna um dado interessante, pois diminui bastante os custos de utilização. Por exemplo, Wang & Huang (1985) pulverizaram uma solução com 0,01-0,03% de ETRs em arroz, observando um aumento do peso seco das raízes por 36,7% e 8,5%, respectivamente.

Há mais perguntas do que respostas sobre o efeito dos compostos de Terras Raras em plantas. Contudo, os resultados mais comuns são o aumento da produção, da ordem de 5 a 15% (e por vezes ainda mais elevada), como os obtidos por Xiong (1995); também são muito reportadas melhorias na qualidade dos produtos, como as obtidas por Brown et al. (1990) e Wan et al. (1998), ambos para uma ampla gama de culturas.

Resultados como estes justificam o investimento em maiores pesquisas, objetivando uma melhor compreensão de como os ETRs agem e como podem se tornar insumos úteis para a agricultura em geral e, conseqüente, possam ser utilizados com o objetivo de aumentar a oferta de alimentos de qualidade.

DESENVOLVIMENTO

Os Elementos Terras Raras (ETR) e seus usos

De acordo com a *International Union of Pure and Applied Chemistry* - IUPAC (CONNELY, 2005), os Elementos Terra Raras (ETRs) são o grupo composto por 17 elementos químicos, sendo 15 destes pertencentes ao grupo dos lantanídeos, isto é, do lantânio ao lutécio:

lantânio (La, Z=57), cério (Ce, Z=58), praseodímio (Pr, Z=59), neodímio (Nd, Z=60), promécio, (Pm, Z=61), samário (Sm, Z=62), európio (Eu, Z=63), gadolínio (Gd, Z=64), térbio (Tb, Z=65), disprósio (Dy, Z=66), hólmio (Ho, Z=67), érbio (Er, Z=68), túlio (Tm, Z=69), itérbio (Yb, Z=70) e lutécio (Lu, Z=71), aos quais se juntam os metais escândio (Sc, Z=21) e o ítrio (Y, Z=39) por apresentarem propriedade físico-químicas semelhantes aos lantanídeos, como o raio atômico similar e preferência pelo estado de oxidação +3, além da ocorrência nos mesmos minerais que os lantanídeos (LIMA, 2012).

Os ETR costumam ser classificados em dois subgrupos, de acordo com suas características físico-químicas e seu raio atômico: (a) grupo do cério, chamado de Terras Raras Leves – ETRL, do lantânio até o európio, e (b) o grupo de ítrio, denominados de Terras Raras Pesadas – ETRP, do gadolínio até o lutécio, mais o ítrio. O promécio e escândio não costumam entrar nesta classificação devido à sua escassez natural (LIMA, 2012).

Apesar da denominação "rara", os ETRs são relativamente comuns na crosta terrestre, da ordem de 9.2 ppm no total, abundância próxima de muitos elementos mais comuns, como o cobre, que é de 27 ppm (RUDNICK et al., 2005).

Os ETR são encontrados em mais de 250 espécies minerais, mas poucas têm potencial de exploração econômica relevante, podendo-se destacar a bastnasita, a monazita e a xenotima, seguidas da loparita, das argilas, da uraninita e da apatita. As maiores jazidas são encontradas na China, na Comunidade dos Estados Independentes (CEI) e nos Estados Unidos, seguidos da Austrália, Índia, Canadá, África do Sul e Brasil, entre outros (ROSENTAL, 2008).

Os ETRs têm vasta aplicação na tecnologia atual, como, por exemplo, em eletrônica, óptica, magnetismo, catálise e dispositivos de alta eficiência energética (BGS, 2011). Nas últimas décadas, os ETRs têm se mostrado promissores em uma nova área: a agricultura, onde – também com domínio quase exclusivo da china – as pesquisas revelaram resultados surpreendentes na melhoria dos aspectos vegetais avaliados.

Terras raras no solo

Segundo Pang et al. (2002), a presença de Elementos de Terras Raras no solo, seja por ocorrência natural ou por adição antrópica, podem alterar a dinâmica de disponibilidade, solubilidade e absorção de nutrientes pelas plantas, trazendo como resultado a melhoria do rendimento e da qualidade dos produtos em diversas culturas, entre outros benefícios.

As Terras Raras podem ocorrer no solo de forma natural em minerais fosfatados, carbonatos, fluoretos, silicatos, e especialmente em pegmatitos, granitos, rochas ígneas e metamórficas, podendo ser distribuídas ou redistribuídas pelo processo de intemperismo (TYLER, 2004). Os ETRL ocorrem principalmente associados a solos argilosos, enquanto os ETRP estão associados a solos com minerais grosseiros (CASPARI et al., 2006). O aumento relativo nas concentrações de ETRs no solo de determinadas regiões podem vir do uso de rochas fosfatadas (naturalmente ricas nestes elementos) na fabricação de adubos fosfatados (PAPOULIS, 2004), reforçando o papel antrópico nas concentrações de ETRs no solo, assim como o aumento da atividade industrial, resíduos de esgoto e mineração (JONES, 1997; SMIDT et al., 2011).

No solo, ETRs apresentam baixa solubilidade, formando complexos com fluoretos, carbonatos, fosfatos e hidróxidos. A capacidade de adsorção dos ETRs depende do tipo de argila e do teor de ferro amorfo e óxido de manganês. Já a quantidade presente no solo apresenta a seguinte relação: residual > ligado à matéria orgânica > ligado aos óxidos Fe-Mn > ligado aos carbonatos > trocáveis e solúveis em água (PANG et al., 2002).

A relação entre plantas e os ETRs são complexas, e dependem de diversos fatores relacionados às espécies e ao solo. Por exemplo, a biodisponibilidade dos ETRs depende do pH do solo, estando disponíveis às plantas principalmente na forma de íons livres, e ainda podendo ser absorvidos sob a forma de quelatos, ou ainda provenientes dos silicatos do solo (ICHIHASHI et al., 1992; FU et al., 1998).

Desde a década de 70 os chineses têm utilizado fertilizantes contendo Terras Raras, com relatos de melhoria da eficiência de fixação do nitrogênio, redução de perda de água pelas plantas, aumento nos níveis de absorção e transporte de fosfatos, entre outros (EVANS, 1983; WEN et al., 2001). Existe um pressuposto de que a aplicação de lantânio em baixas dosagens acelera a transformação do nitrogênio em solos, e apesar de haver uma discussão sobre a dosagem atualmente aplicada na agricultura na China, cogita-se a possibilidade de haver inibição da nitrificação e amonificação do solo pela aplicação sucessiva desta substância em longo prazo, não havendo, contudo, indicativos neste sentido (ZHU et al., 2002). Reconhece-se que os processos fisiológicos das plantas são muito complicados, e além disso, muitos fatores, tais como propriedades específicas do solo, espécies de plantas e condições climáticas, também podem estar influenciando nestes processos. Deste modo, o mecanismo de aumento da produção e processos fisiológicos relacionados com a aplicação de fertilizantes contendo ETRs ainda não foram totalmente esclarecidos, havendo a necessidade de novos estudos (TYLER, 2004; PANG et al., 2002).

Terras Raras em plantas

São descritos na literatura muitos efeitos benéficos do uso de ETRs em plantas, em um momento ou outro de seu ciclo, como melhorias significativas na taxa de germinação, no rendimento, na produção de massa seca, clorofila, no comprimento de plântulas, entre outros. Ao longo do tempo, têm sido feitas várias tentativas para tentar explicar estes efeitos, e possíveis explicações incluem o aumento da atividade de enzimas vegetais, teor de clorofila e taxa fotossintética, efeitos na absorção de vários nutrientes, como nitrogênio, potássio e fosfato, ações no metabolismo do cálcio, melhoria da eficácia de hormônios, bem como o aumento da resistência ao estresse ambiental (WEN et al., 2001; HU et al., 2002).

As mais variadas espécies vegetais podem absorver e acumular ETRs, e ainda não se sabe muito sobre os possíveis efeitos deste mecanismo, possivelmente devido à falta de essencialidade destes elementos aos vegetais (KASTORI et al., 2010). Wen et al. (2001) observaram que o acúmulo de ETRs em plantas está relacionado à sua idade e às propriedades acumulativas diferenciadas dos seus órgãos, em ordem decrescente: raiz > folha > caule > grão.

Os teores dos ETRs em plantas são, normalmente, extremamente baixos, situando-se entre 0,0001 e 140 mg kg⁻¹ de peso seco (EVANS, 1983); porém, existem referências de espécies que apresentam teores excepcionalmente elevados, como observado com gênero *Carya* sp., podendo apresentar concentração total dos ETRs ao redor de 2300 mg kg⁻¹ (MARKERT, 1987). Apesar da capacidade de algumas plantas de absorverem quantidades significativas de ETRs, os efeitos benéficos geralmente se observam em níveis baixos de aplicação, enquanto que doses elevadas tendem a causar efeitos adversos e, por vezes, tóxicos. A relação entre as doses aplicadas e seus efeitos sobre as plantas deve ser objeto de maiores investigações, permitindo a determinação das concentrações ótimas e tóxicas, o que poderia melhorar grandemente a sua aplicabilidade agrônômica (SHOSHI & TAKAYASU, 1987; HU et al., 2000, 2001; WANG et al., 2005).

Apesar da comprovada absorção de terras raras por plantas, ainda há relativamente pouca informação sobre como ocorre este fenômeno, bem como de suas consequências metabólicas. Ainda, argumenta-se que as terras raras são depositadas em locais extras ou intracelulares em plantas. Antigamente acreditava-se que os ETRs não penetravam a membrana plasmática (LEONARD et al., 1975); contudo, estudos recentes têm mostrado que estes elementos podem penetrar a membrana e ainda interagir com moléculas orgânicas (FASHUI et al., 2002). Assim, vários efeitos são atribuídos à aplicação de ETRs em vegetais, sendo propostas as mais diversas hipóteses para explicar os resultados, indicando a complexidade deste assunto.

Efeitos sobre a absorção de nutrientes

As alterações nas taxas de absorção de macro e micro nutrientes é um aspecto observado em plantas quando estas crescem na presença de ETRs, existindo relatos de efeitos promotores

ou inibidores da absorção dependendo da dose e do elemento utilizado (CHANG et al., 1998; LIU et al., 2012; LIU et al., 2013).

As mudanças nos padrões de absorção sugerem que as ETRs podem agir no mesmo sítio de assimilação de nutrientes, causando mudanças na absorção de íons por inibição de natureza competitiva, sendo o efeito de estímulo de assimilação diretamente relacionado a doses extremamente baixas (LEONARD et al., 1975). Kamiyo et al. (1998) demonstraram a natureza competitiva de elementos terras raras sobre a absorção de nutrientes ao trabalhar com *Variovorax paradoxus*, sendo observado uma redução na absorção de íons trivalentes, fenômeno este não observado para íons divalentes. Do mesmo modo, Diatloff et al. (2008) concluíram que o aumento da concentração de La e Ce ocasionou diminuição na absorção de Ca, Na, Zn e Mn em milho e em feijão verde.

Em doses e métodos de aplicação adequados, a presença de Terras Raras leva a aumentos significativos de absorção chegando, em certos casos, a aumentar na cultura de arroz em 16, 12 e 8% os teores de N, P, e K, respectivamente; em tomate, a absorção pode chegar a valores 10, 15 e 8% maiores para P, K e NO_3^- , respectivamente (PANG et al., 2002)

Efeitos sobre a função fisiológica do cálcio

O uso de ETRs pode alterar significativamente as concentrações de cálcio intracelular (LIU et al., 2011). No que diz respeito às suas propriedades químicas, uma série de efeitos fisiológicos podem ser atribuídos à grande semelhança das Terras Raras individuais com o cálcio (Ca^{2+}), uma vez que os raios iônicos destes elementos são muito próximos. Os ETRs não só apresentam semelhança acentuada no tamanho e na ligação, mas também na geometria de coordenação, atuando preferencialmente como um átomo doador, o que lhes permite substituir o Ca^{2+} em vários processos fisiológicos. Esta substituição, mesmo que ocorra isomorficamente, não conduz necessariamente a uma inibição dos processos fisiológicos (BROWN et al., 1990; JAKUPEC et al., 2005), apesar de haver relatos de algumas alterações das funções biológicas do Ca^{2+} pela presença de Y^{3+} , La^{3+} , ou Ce^{3+} (EVANS, 1983).

A substituição do cálcio por elementos ETRs afeta principalmente a estabilidade e funcionalidade das membranas fisiológicas. Em *Brassica napus* cultivadas na ausência de cálcio e na presença de neodímio (Nd), foi verificada uma redução dos sintomas de deficiência do Ca^{2+} pela diminuição do processo de peroxidação e da permeabilidade relativa das raízes (EVANS, 1983; MIKKELSON, 1976). Eu^{3+} foi descrito tendo a habilidade de substituir o Ca^{2+} em calmodulina, mantendo a função na ativação da NAD-quinase em ervilha (AMANN et al., 1992).

Efeitos sobre enzimas vegetais e resistência ao estresse

O envolvimento dos ETRs na regulação dos sistemas antioxidantes tem sido proposto como uma possível explicação para os efeitos benéficos observados em plantas, como a tolerância a estresses ambientais (vento, condições de baixas temperaturas e seca), podendo-se relacionar este efeito principalmente ao possível papel do aumento das enzimas e compostos antioxidantes (TIAN, 1988; ZHANG et al., 2003; D'AQUINO et al., 2009; MAHESWARAN et al., 2001; MEEHAN et al., 2001).

Em plantas sob condições de tensão osmótica, a presença de La^{3+} diminuiu a produção de OH^- através da redução do teor de O_2 e H_2O_2 , sendo aliviada a peroxidação de lipídios da membrana, reduzindo as lesões resultantes da presença de radicais livres (ZENG et al., 1999).

Plantas de pimenta tiveram os efeitos do estresse salino aliviados pelo tratamento com lantânio (HU et al., 2014), assim como os efeitos do estresse causado por perclorato em *Alternanthera philoxeroides*, aumentando o crescimento, peso seco, área foliar e o rendimento relativo (YINFENG et al., 2013); do mesmo modo, observou-se efeitos de redução dos danos na germinação de sementes envelhecidas (FASHUI et al., 2000; FASHUI, 2002).

Foi demonstrado por Shi et al. (2005) em pepinos que baixas concentrações de La^{3+} (0,002-0,02 mM) não afetam as atividades de enzimas antioxidantes (peroxidase e catalase e superóxido dismutase), enquanto concentrações maiores (0,2-2 mM) estimulam as atividades e

reduzem o teor de malonaldeído (MDA); os mesmos efeitos promotores de enzimas antioxidantes foram observados em soja (SHENGRONG et al., 2007) e arroz (FASHUI et al., 2000) tratadas com La^{3+} , assim como em rabanete tratado com neodímio (Nd^{3+}) (EVANS, 1990). Em *Hydrilla verticillata*, lantânio e cério induziram aumentos nos teores de H_2O_2 resultando em peroxidação de lipídeos, diminuição de prolina, aumento da concentração de malonaldeído, superóxido dismutase e catalase (WANG et al., 2007). Estes resultados sugerem que os ETRs podem estar envolvidos na regulação da atividade das enzimas relacionadas à remoção de espécies reativas de oxigênio (EROs).

Sabe-se que a formação de EROs (como os radicais livres e peróxidos), apesar de poder causar lesões celulares, são essenciais para o metabolismo e sistema imune. Dependendo da espécie e concentração, ETRs podem inibir ou estimular os processos mediados por EROs. A inibição ocorre com ETRL e é reforçada em concentrações crescentes; em contraste, a promoção acontece com ETRP e, neste caso, concentrações menores reforçam a promoção (SHIMADA et al., 1996; WANG et al., 2003; TAO et al., 2008).

Sementes de *Triticum durum* tratadas com um *mix* de nitratos de ETRs (La^{3+} , Ce^{3+} , Pr^{3+} , Nd^{3+} e Gd^{3+}) e nitrato de lantânio (La^{3+}) apresentaram, após a germinação, incrementos nos teores de ascorbato, glutatona, ascorbato peroxidase, enquanto o conteúdo de catalase na parte aérea diminuiu ligeiramente (D'AQUINO et al., 2009); do mesmo modo, LaCl_3 incrementou a atividade de peroxidase e catalase em pepino (SHI et al., 2005), enquanto o ítrio aumentou a atividade de peroxidase e superóxido dismutase (FENG et al., 2013).

Nd^{3+} e La^{3+} podem aumentar os fatores relacionados à indução de resistência das plantas através da via do ácido salicílico, gerando aumento, além do próprio ácido salicílico, de 2-0- β -glucoside, B-1,3-glucanase, quitinase, e da geração de O^{-2} (PENGYING & KAOSHAN, 2007). Já Nd^{3+} , La^{3+} e Ce^{3+} , em concentrações adequadas, induziram efeitos positivos sobre o crescimento de células de *Arnebia euchroma*, com aumento das atividades da peroxidase e fenilalanina amônia liase (GE et al., 2006). Em feijão caupi, diferentes concentrações de cério mostraram correlação positiva com o teor de prolina e atividade da polifenoloxidase, e correlação negativa com o teor de clorofila foliar e atividade do nitrato redutase (SHYAM & AERY, 2012).

Efeitos sobre a fotossíntese

A promoção do crescimento reportado em plantas tratadas com ETRs pode ser atribuída ao aumento da capacidade de fotossíntese vegetal, com efeitos evidentes em numerosas culturas (MENG & BAI, 1989; XIONG et al., 2000). Plantas de pepino, sobre a influência de La^{3+} , apresentaram incrementos no teor de clorofila total, *a*, *b* e carotenoides, promovendo maior crescimento vegetativo (SHI et al., 2005); em amendoim (*Arachis hypogaea*) também foi observado maiores valores de clorofila total, *a*, e *b* quando cultivado em solo contendo lantânio e samário (EMMANUEL et al., 2010); porém, quando avaliado em plantas de *Hydrilla verticillata*, lantânio e cério apresentaram efeito contrário, reduzindo o teor de clorofila (WANG et al., 2007).

Zhou et al. (2011) observaram aumento nas trocas de gases fotossintéticos, fluorescência e teores de clorofila em sálvia (*Salvia miltiorrhiza*) tratadas com LaCl_3 , fato atribuído à melhora da condutância estomática e ao aumento do nível da eficiência fotoquímica do fotossistema II (FSII). O uso de lantânio também pode proteger as ultraestruturas dos cloroplastos dos danos induzidos pela radiação UV (PENG & ZHOU, 2009).

Os efeitos da deficiência de magnésio podem ser revertidos em plantas quando tratadas com cério (Ce^{3+}), aumentando a resistência ao estresse oxidativo e à formação do FSII, melhorando a taxa de transporte de elétrons e aumentando a atividade de enzimas chaves da fotossíntese. Análises moleculares sugerem que o Ce^{3+} pode entrar nos cloroplastos e se ligar facilmente à clorofila, substituindo o magnésio para formar Ce-clorofila. (FASHIU et al., 2002; GONG et al., 2011).

Efeitos sobre o equilíbrio hormonal

As interações com os hormônios têm sido o mecanismo proposto como um dos meios mais importantes pelos quais os ETRs podem influenciar os processos fisiológicos vegetais, afetando as ligações hormonais, tanto por interações diretas quanto por indiretas, interagindo com seus receptores e podendo funcionar como potentes efetores de hormônios, devido às ações de estabilização da membrana (BROWN et al., 1990; ENYEART et al., 2002).

Apesar de não totalmente esclarecido, há uma relação de envolvimento de ETRs com o ácido abscísico (ABA). O lantânio (La) interagiu com o ABA na regulação da germinação de sementes e crescimento de raízes em *Arabidopsis*, diminuindo a repressão da germinação de sementes, revertendo a inibição do crescimento radicular e inibindo o desenvolvimento de pelos radiculares e a geração de H₂O₂ induzida por ABA em células de raiz (JIANRONG et al., 2014). O mesmo elemento (La) também pode aumentar a ligação da auxina *a*-naftalenoacético (NAA-14C) em milho (*Zea mays*) (POOVAIAH & LEOPOLD, 1976) e alterar os níveis de endógenos de ácido giberélico (AN & CHEN, 1994), assim como promover aumento no teor de ácido indol acético (SHENG & ZHANG, 1994).

Efeitos sobre a germinação e o crescimento

As respostas mais comuns de plantas ao uso de Terras Raras são a melhoria na qualidade do produto e o aumento da produção, que pode chegar a ser 15% maior (BROWN et al., 1990; XIONG, 1995; WAN et al., 1998).

Os efeitos em curto prazo de ETRs em plantas são evidentes em todos os estádios de desenvolvimento, mas os estudos com sementes e plantas nos estádios iniciais são os mais abundantes. Os resultados demonstram o potencial dos ETRs na melhoria da qualidade fisiológica, no aumento da germinação, no vigor da semente e no estímulo do crescimento de plântulas (BARBIERI et al., 2013; ESPINDOLA et al., 2013).

O lantânio é o elemento mais utilizado em pesquisas envolvendo ETRs, promovendo um aumento no vigor e na taxa e índice de geminação em arroz (FASHUI et al., 2003; LIU et al., 2013), um maior crescimento de mudas de *Triticum durum* (D'AQUINO et al., 2009), uma melhora na germinação e crescimento em pepino (SHI et al., 2005), e maiores taxas de desenvolvimento de *Isatis indigotica* e *Festuca arundinacea* (plantas cultivadas tipicamente na Ásia) (YAJIA et al., 2008). O tratamento de sementes de *Triticum aestivum* com ítrio resultou em incrementos de biomassa da raiz, ramos e folhas (FENG et al., 2013). Em sementes envelhecidas de espinafre, Chao et al. (2004) observaram que, após o tratamento com La e Ce, a percentagem de germinação e o vigor de sementes foram incrementados. Em milho e feijão verde foram observados resultados positivos sobre o crescimento, mesmo efeito observado na presença de cério (DIATLOFF et al., 2008). O Ce³⁺ também melhorou o sistema de defesa das raízes e da parte aérea, e aumentou o comprimento da raiz e da parte aérea, o número de raízes, a massa fresca e seca de raízes em arroz (LIU et al., 2012). Os efeitos promotores de crescimento podem estar associados aos aumentos nas taxas de divisão celular e ao tamanho das células após o tratamento com ETRs (EVANS, 1913).

O efeito dos diferentes ETRs sobre o crescimento vegetal se mostra muito variável entre as diferentes espécies e seus diferentes órgãos, aliado à estreita faixa que separa as doses ideais das fitotóxicas (D'AQUINO et al., 2009). Na maioria dos trabalhos conduzidos neste item os efeitos reportados são benéficos, mas também há efeitos inibitórios. O estudo realizado por Ma et al., (2010) exemplificou bem a diferença entre as respostas intraespecíficas e de doses relativamente altas: foram estudados os efeitos de quatro tipos de nanopartículas de óxido de Terras Raras, (nano-CeO₂, nano-La₂O₃, nano-Gd₂O₃ e nano-Yb₂O₃) sobre o crescimento de rabanete, canola, tomate, alface, trigo, repolho e pepino, com efeitos inibitórios expressivos. Neste estudo, em comparação aos estudos realizados com efeitos benéficos, as doses utilizadas (2000 mg L⁻¹) foram muito elevadas, justificando os resultados. Em grandes doses, os efeitos tóxicos chegaram a diminuir o crescimento na ordem de 32 e 95%, para milho e feijão respectivamente (DIATLOFF et al., 2008).

Hu et al. (2006) estudaram os efeitos fisiológicos e tóxicos de lantânio (La) sobre o crescimento e sua bioacumulação em milho. Houve acúmulo em todas as partes da planta, e em decorrência disto, o alongamento da raiz e o peso seco da parte aérea e raízes das mudas foram reduzidos significativamente. Efeitos inibidores semelhantes foram observados sobre coleótilos de aveia tratados com o mesmo elemento (PICKARD, 1970).

Estudos com La^{3+} e Ce^{3+} mostraram que, apesar de incrementarem o crescimento vegetativo de *Arabidopsis thaliana*, resultaram em efeitos negativos sobre os aspectos reprodutivos, causando inibição floral e do crescimento reprodutivo (HE & LOH, 2000); em estudo idêntico, foram determinados efeitos inibidores e promotores na germinação de pólen e no crescimento do tubo polínico (SUN et al., 2003).

Efeitos sobre a microbiota

Estudos dos efeitos dos ETRs sobre microrganismos têm mostrado que estas substâncias podem apresentar ação antibacteriana e antifúngica (ALGHOOOL et al., 2013). Toda dinâmica da macrofauna do solo pode ser alterada em resposta a estes elementos, que em pequenas quantidades pode promover maior quantidade e diversidade de organismos, enquanto o aumento no teor de ETRs pode levar a um efeito contrário (LI et al., 2010). Tsuruta (2007) verificou a capacidade de 76 cepas de 69 espécies de microrganismos (22 bactérias, 20 actinobactérias, 18 fungos e 16 leveduras) em acumular os Terras Raras Sm, Sc, Y, La, Er e Lu, destacando-se as bactérias gram-positivas onde os acúmulos foram maiores.

A absorção de ETRs por microrganismos resulta em efeitos diferenciados, atuando como agentes de controle direto ou indireto, este último ao atuar sobre os mecanismos bioquímicos, como por exemplo, a inibição de fatores relacionados à patogênese; quando avaliada a ação direta na presença de Nd^{3+} , colônias de *Fusarium oxysporum*, apresentaram redução do crescimento da massa micelial de até 92%, e de 95% na atividade de pectinase, sendo ainda observados aumentos na permeabilidade da membrana (YUFENG et al., 2007). Os ETRs podem combinar prontamente com uma variedade de compostos, particularmente com os proteicos ou fosfatados, o que pode explicar a alteração nas estruturas e funcionalidade das membranas, sugerindo decomposição da parede celular, da membrana celular, ou de ambos (TALBURT & JOHNSON, 1967; SOBEK & TALBURT, 1968).

Aspergillus niger, inoculado em cinco espécies diferentes de plantas hospedeiras, também tiveram a atividade de celulase e pectinase reduzidas, assim como a severidade das podridões causadas pelo fungo (EMMANUEL & MARUTHAMUTHU, 2013). Em *Isatis indigotica* e *Festuca arundinacea*, o lantânio reduziu a taxa de infecção sobre a podridão de semente causada por *Rhizoctonia solani* e *Fusarium solani* (YAJIA et al., 2008). Efeitos inibitórios também foram observados ao se utilizar o La sobre *Rhizoctonia solani*, *Pythium sp.*, *Fusarium solani*, *Sclerotinia sclerotiorum* e *Fusarium oxysporum*, além de contenção do crescimento micelial e alterações na morfologia de hifas (KANGGUO et al., 2006). As estruturas reprodutivas também sofrem influência pelo uso de ETRs, havendo redução na produção de esporos e alterações na morfologia das estruturas reprodutivas (TALBURT & JOHNSON, 1967). A absorção de TRs ainda pode atuar como promotora de crescimento ou como ativadora metabólica em espécies de *Trichoderma*, como observado por (D'DAQUINO et al., 2009).

A análise dos resultados descritos na literatura mostra que bactérias são mais sensíveis à presença de ETRs quando comparados a fungos, o que pode ser atribuído à habilidade de certas espécies de fungos em fazer a detoxicação de ETRs pela incorporação destes em cristais insolúveis de oxalacetato (TALBURT & JOHNSON, 1967). Efetuando tratamentos com La, Wenhua et al. (2003) relatam efeitos estimulantes sobre o metabolismo e expressão genética em *Escherichia coli*, e efeitos inibidores sobre bactérias em *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* e *Candida albicans* (HUI et al., 2006). TANG et al., (1998) relataram que algumas bactérias patogênicas de plantas, bem como a atividade de algumas enzimas relacionadas com a patogênese, podem ser influenciadas pelos ETRs. O cério foi descrito com capacidade de entrar e

se ligar rapidamente em *E. coli*, inibindo o consumo de oxigênio e a respiração endógena (SOBEK & TALBURT, 1968).

CONCLUSÕES

A análise dos trabalhos publicados na literatura permite traçar um panorama promissor relacionado à interação de ETRs com plantas. Estes elementos, quando aplicados em doses e condições adequadas, podem promover melhorias em vários aspectos agrícolas, agindo sobre a microbiota do solo, sobre a absorção de nutrientes, a germinação, o crescimento, a produtividade, a resistência ao estresse ambiental, a indução de resistência a patógenos, o controle de doenças, entre outros.

Por outro lado, a maioria dos estudos se concentrando na China comunista traz uma série de dificuldades de acesso por parte do corpo científico mundial às pesquisas, principalmente devido à língua (mandarim), além da predominância, neste caso, de estudos relacionados a espécies ou variedades asiáticas.

Observou-se que a maior parte dos resultados descritos se relaciona com plantas nos estádios iniciais, e que há, até o presente momento, muitas perguntas sem respostas relacionadas aos efeitos sobre o crescimento, e como se dá a ação destes elementos. Outra questão pertinente é se alimentos produzidos utilizando ETRs não apresentam, indubitavelmente, nenhum risco à saúde humana e animal. Todos estes fatos indicam que há a necessidade de novas experiências, bem documentadas e cuidadosamente conduzidas, sobre estes elementos aplicados a plantas de espécies e estádios diferentes, especialmente nos trópicos, onde estes estudos são quase inexistentes.

Deste modo, a formação de um corpo de conhecimentos detalhados sobre o impacto dos ETRs em culturas agrícolas típicas de países ocidentais, pode estimular o uso agrícola dos mesmos, como já é amplamente praticado na China, transformando-os em mais um insumo aplicável na melhoria dos sistemas de produção agrícola em todo o mundo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALGHOOL, S.; ZOROMBA, S.H.; EL-HALIM, H.F.A. Lanthanide amino acid Schiff base complexes: synthesis, spectroscopic characterization, physical properties and *in vitro* antimicrobial studies. **Journal of Rare Earths**, v.31, p.715, 2013.

AMANN, B.T.; MULQUEEN, P.; HORROCKS, W.D. A continuous spectrophotometric assay for the activation of plant NAD kinase by calmodulin, calcium(II), and europium(III) ions. **Journal of Biochemical and Biophysical Methods**, v.25, p.207-217, 1992.

AN, J.P.; CHEN, K.S. Effect of $NdCl_3$ on membrane damage induced by pervasion intimidation and content of ABA. **Journal of Chinese Rare Earth Society**, v.12, n.4, p.348-351, 1994.

BARBIERI, A.P.P.; ESPÍNDOLA, M.C.G.; MENEZES, N.L.; HENRIQUE, D.F.S. Tratamento de sementes de alface com soluções aquosas de cério e lantânio. **Pesquisa Agropecuária**, v.43, p.104-109, 2013.

BGS - BRITISH GEOLOGICAL SURVEY. **Rare Earth Elements**. London, 2011

BROWN, P.H.; RATHJEN, A.H.; GRAHAHM, R.D.; TRIBE, D.E. **Rare earth elements in biological systems**, in: Gschneidner Jr. K. A., Eyring, L. Roy (Eds.), Handbook on the physics and chemistry of rare earths, v.13, n.92, p.423-453. Amsterdam, Oxford: Elsevier North-Holland, 1990.

CASPARI, T.; BÄUMLER, R.; NORBU, C.; TSHERING, K.; BAILLIE, I. Geochemical investigation of soils developed in different lithologies in Bhutan, Eastern Himalayas. **Geoderma**, v.136, n.1, p.436-458, 2006.

CHANG, J.; ZHU, W.; ZHANG, L.; XIONG, J.; ZHANG, J.; HU, Z. Study on environmental effects of rare earth elements. In **2nd International Symposium on Trace Elements and Food Chain**, v.15, n.17, p.24, Wuhan, China, 1998.

CHAO, L. Effects of rare earth elements on vigor enhancement of aged spinach seeds. **Journal of Rare Earth**, v.22, p.547-551, 2004.

CONNELLY, N.G. **Nomenclature of inorganic chemistry: IUPAC recommendations 2005**. Cambridge (UK) RSC Publishing/IUPAC, p. 51, 2005.

D'AQUINO, A.L.; MORGANA, B.M.; CARBONI, B.M.A.; STAIANO, C.M.; ANTISARI, D.M.V.; RE, E.M.; LORITO, F.M.; VINALE, F.F.; ABADI, F.K.M.; WOO, F.S.L. Effect of some rare earth elements on the growth and lanthanide accumulation in different *Trichoderma strains*. **Soil Biology & Biochemistry**, v.41, p.2406-2413, 2009.

DIATLOFF, E.; SMITH, F.W.; ASHER, C.J. Effects of lanthanum and cerium on the growth and mineral nutrition of corn and mungbean. **Annals of Botany**, v.101, p.971-982, 2008.

EMMANUEL, E.S.C.; RAMACHANDRAN, A.M.; RAVINDRAN, A.D.; NATESAN, M.; MARUTHAMUTHU, S. Effect of some rare earth elements on dry matter partitioning, nodule formation and chlorophyll content in *Arachis hypogaea* L. plants. **Australian Journal of Crop Science**, v.4, n.9, p.670-675, 2010.

EMMANUEL, E.S.C.; MARUTHAMUTHU, S. Control effect of Rare Earth Elements on crown rot disease of *Aspergillus niger* in groundnut plants (*Arachis hypogaea* L.). **International Journal of Agriculture Innovations and Research**, v.2, p.2319-1473, 2013.

ENYEART, J.J.; XU, L.; ENYEART, J.A. Dual actions of lanthanides on ACTH-inhibited leak K⁺ channels. **American Journal of Physiology Endocrinology and Metabolism**, v.282, n.6, p.1255-1266, 2002.

ESPINDOLA, M.C.G.; MENEZES, N.L.; BARBIERI, A.P.P. Efeito do cério na qualidade fisiológica de sementes de milho e no desempenho agrônômico das plantas. **Bioscience**, v.29, p.1501-1507, 2013.

EVANS, C.H. Interesting and useful biochemical properties of lanthanides. **Trends in Biochemical Sciences**, v.8, p.445-449, 1983.

EVANS, W.H. The Influence of carbonates of the rare earths (Cerium, Lanthanum, Ittrium) on growth and cell-division in hyacinths. **Biochemical Journal**, v.7, n.4, p.341-348, 1913.

FASHUI, H. Study on the mechanism of cerium nitrate effects on germination of aged rice seed. **Biological Trace Element Research**, v.87, p.191-200, 2000.

FASHUI, H.; ZHENGGUI, W.; GUIWEN, Z. Effect of lanthanum on aged seed germination of rice. **Biological Trace Element Research**, v.75, p.205-213, 2000.

FASHUI, H.; LING, W.; XIANGXUAN, M.; ZHENG, W.; GUIWEN, Z. The effect of cerium (III) on the chlorophyll formation in spinach. **Biological Trace Element Research**, v.89, n.3, p.263-276, 2002.

FASHUI, H.; WANG, L.; LIU, C. Study of lanthanum on seed germination and growth of rice. **Biological Trace Element Research**, v.94, p.273-286, 2003.

FENG, X.; ZHU, G.; LI, Y. Toxicological effects of rare earth yttrium on wheat seedlings (*Triticum aestivum*). **Journal of Rare Earths**, v.31, n.12, p.1214-1220, 2013.

FERNANDES, M.S. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 432p., 2006.

FU, F.F.; AKAGI, T.; SHINOTSUKA, K. Distribution pattern for rare earth elements in fern - Implication for intake of fresh silicate particles by plants. **Biological Trace Element Research**, v.64, n.3, p.13-26, 1998.

GE, F.; WANG, X.; BING ZHAO, B.; WANG, Y. Effects of rare earth elements on the growth of *Arnebia euchroma* cells and the biosynthesis of shikonin. **Plant Growth Regulation**, v.48, p.283-290, 2006.

GONG, X.; HONG, M.; WANG, Y.; ZHOU, M.; CAI, J.; LIU, C.; SONGJIE GONG, S.; HONG, F. Cerium relieves the inhibition of photosynthesis of maize caused by manganese deficiency. **Biological Trace Element Research**, v.141, p.305-316, 2011.

GUO, C.; DENKUI, P. Effect of $CeCl_4$ on changes of physiological and biochemical indices as seed germination and seedling growth of chinese pine. In **2nd International Symposium on Trace Elements and Food Chain**, 12. - 15. Wuhan, China, p. 34, 1988.

HE, Y., LOH, C. Cerium and lanthanum promote floral initiation and reproductive growth of *Arabidopsis thaliana*. **Plant Science**, v.159, p.117-124, 2000.

HU, X.; DING, Z.; CHEN, Y.; WANG, X.; DAI, L. Bioaccumulation of lanthanum and cerium and their effects on the growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. **Chemosphere**, v.48, p.621-629, 2002.

HU, N.; SUI, Y.; CAI, Y.; FAN, H.; LIN, Y. Effects of lanthanum on POD expression and DNA methylation of purple pepper under salt stress. **Journal of Rare Earths**, v. 32, n.5, p.467-475, 2014.

HU, X.; WANG, X.-R.; WANG, C.W. Bioaccumulation of lanthanum and its effect on growth of maize seedlings in a red loamy soil. **Pedosphere** v.16, p.799-805, 2006.

HUI, Y.; QIZHUANG, H.; JING, Y.; WENJIE, Z. Synthesis, Characterization and Antibacterial Properties of Rare Earth (Ce^{3+} , Pr^{3+} , Nd^{3+} , Sm^{3+} , Er^{3+}) Complexes with L-Aspartic Acid and *o*-Phenanthroline. **Journal of Rare Earths**, v.24, p.4-8, 2006.

ICHIHASHI, H.; MORITA, H.; TATSUKAWA, R. Rare earth elements in (REEs) in naturally grown plants in relation to their variation in soils. **Environmental Pollution**, v.76, p.157-162, 1992.

JAKUPEC, M.A.; UNFRIED, P.; KEPPLER, B.K. Pharmacological properties of cerium compounds. **Reviews of Physiology, Biochemistry and Pharmacology**, v.153, p.101-111, 2005.

JIANRONG, W.; LEI, W.; TING, H.; WENCHAO, L.; SHAOWU, X. Effects of lanthanum on abscisic acid regulation of root growth in *Arabidopsis*. **Journal of Rare Earths**, v.1, p.78-82, 2014.

JONES, D.L. Trivalent soils and metal (Cr, Y, Rh, La, Pr, Gd) sorption in two acid its consequences for bioremediation. **European Journal of Soil Science**, v.48, p.697-702, 1997.

KAMIJO, M.; SUZUKI, T.; KAWAI, K.; MURASE, H. Accumulation of Yttrium by *Variovorax paradoxus*. **Journal of Fermentation Bioengineering**, v.86, p.564-568, 1998.

KANGGUO, M.; ANG CHI, Z.H.; LIN, Z.W.H. Effect of lanthanum on mycelium growth and some pathogenic factors. **Journal of Rare Earths**, v.24, p. 485-490, 2006.

KASTORI, R.; MAKSIMOVIA, I.; ZEREMSKI-SKORIA, J.; PUTNIK-DELI, M. Rare earth elements–yttrium and higher plants. **Proceedings for Natural Sciences**, v.118, p.87-98, 2010.

LEONARD, R.T.; NAGAHASHI, G.; THOMSON, W.W. Effect of lanthanum on ion absorption in corn roots. **Plant Physiology**, v.55, p.542-546, 1975.

LIMA, P.C.R. "Terras-raras: elementos estratégicos para o Brasil", Consultor Legislativo da Área XII; Recursos Minerais, Hídricos e Energéticos. Estudo: Fev-2012. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/a-camara/altosestudios/temas/temas-2013-2014/terras-raras/EstudoMineraisEstrategicoseTerrasRaras.pdf>> Acesso em: 20 jul. 2014.

LI, J.; HONG, M.; YIN X.; LIU, J. Effects of the accumulation of the rare earth elements on soil macrofauna community. **Journal of Rare Earths**, v.28, n.6, p.957-964, 2010.

LIU, D.; WANG, X.; LIN, Y.; SUN, L.; CHEN, Z.; XU, H. Analysis of the effects of cerium on calcium ion in the protoplasts of *Arabidopsis thaliana* with confocal microscopy. **African Journal of Biotechnology**, v.10, p.10781-10785, 2011.

LIU, D.; WANG, X.; LIN, Y.; CHEN, Z.; XU, H.; WANG, L. The effects of cerium on the growth and some antioxidant metabolisms in rice seedlings. **Environmental Science and Pollution Research**, v.19, p.3282-3291, 2012.

LIU, D.; WANG, X.; ZHANG, X.; GAO, Z. Effects of lanthanum on growth and accumulation in roots of rice seedlings. **Plant, Soil and Environment**, v.59, p.196–200, 2013.

MA, Y.; KUANG, L.; HE, X.; BAI, W.; DING, Y.; ZHANG, Z.; ZHAO, Y.; CHAI, Z. Effects of rare earth oxide nanoparticles on root elongation of plants. **Chemosphere**, v.78, p.273-279, 2010.

MAHESWARAN, J.; MEEHAN, B.; REDDY, N.; PEVERILL, K.; BUCKINGHAM, S. Impact of Rare Earth Elements on plant physiology and productivity. **Rural Industries Research and Development Corporation**, v.1, n.145, p.1–40, 2001.

MARKERT, B. The pattern of distribution of lanthanide elements in soils and plants. **Phytochemistry**, v.26, p.3167-3170, 1987.

MEEHAN, B.; PEVERILL, K.; MAHESWARAN, J.; BIDWELL, S. The Application of Rare Earth Elements in Enhancement of Crop Production in Australia Part 1. In Z. S. Yu, C. H. Yan, G. Y. Xu, J. K. Niu, and Z. H. Chen, editors, **Proceedings of the 4th International Conference on Rare Earth Development and Application**, v.16, n.18, p.244-250, 2001.

MENG, X.J.; BAI, B.Z. Effects of REEs on yield of sugar beet and its 14C assimilation. **Journal of Jilin Agricultural Sciences**, v.3, p.61-63, 1989.

MIKKELSON, R.B. Lanthanides as Calcium Probes, in: CHAPMAN, D., WALLACH, D.F. (Eds.). **Membranes in Biological Membranes**, v.3, Academic Press, New York, p.153-190, 1976.

PANG, X.; LI, D.; PENG, A. Application of rare-earth elements in the agriculture of china and its environmental behavior in soil. **Rare-Earth Elements**, v.9, p.143-148, 2002.

PAPOULIS, D. Monazite alteration mechanisms and depletion measurements in kaolins. **Applied Clay Science**, v.24, n.3-4, p.271-285, 2004.

PENG, Q.; ZHOU, Q. Influence of lanthanum on chloroplast ultrastructure of soybean leaves under ultraviolet-B stress. **Journal of Rare Earths**, v.27, p.304-307, 2009.

PENGYING, Z.; KAOSHAN, C. Inducement of salicylic acid in cucumber cotyledons by neodymium and lanthanum. **Journal of Rare Earths**, v.25, p.502-507, 2007.

PICKARD, B.G. Comparison of calcium and lanthanum ion in the Avena coleoptile growth tests. **Planta**, v.91, p.314-320, 1970.

POOVAIAH, B.W.; LEOPOLD, A.C. Effects of inorganic solutes on the binding of auxin. **Plant Physiology**, v.58, p.783-785, 1976.

ROSENTAL, S. **Terras Raras**. Comunicação Técnica CT2008-188-00. CETEM/CNPq, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2008-188-00.pdf>> Acessado em: 15 jul. 2014.

RUDNICK, R.L.; GAO, S.; HEINRICH, D.H.; KARL, K.T. **Composition of the Continental Crust**, Treatise on Geochemistry. Oxford, Pergamon. p.1-64, 2005.

SHENG, B.L.; ZHANG, L.J. Effects of La on content of endogenesis hormone in wheat seedling plant. **Plant Physiology Communications**, v.30, n.5, p.361-352, 1994.

SHENGRONG, Y.; XIAOHUA, H.U.; QING, Z.H. Effect of Lanthanum III on Reactive Oxygen Metabolism of Soybean Seedlings under Supplemental UVB Irradiation. **Journal of Rare Earths**, v.25, p.352-358, 2007.

SHI, P.; CHEN, G.C.; HUANG, Z.W. Effects of La³⁺ on the active oxygen-scavenging enzyme activities in cucumber seedling leaves. **Russian Journal of Plant Physiology**, v.52, p.294-297, 2005.

SHIMADA, H.; NAGANO, M.; FUNAKOSHI, T.; KOJIMA, S. Pulmonary toxicity of systemic terbium chloride in mice. **Journal of Toxicology and Environmental Health**, v.48, n.1, p.81-96, 1996.

- SHOSHI, M.; TAKAYASU, H. Inhibition of adventitious root growth in *Tradescantia* by calmodulin antagonists and calcium inhibitors. **Plant Cell Physiology**, v.28, P.1569-1574, 1987.
- SHYAM, R.; AERY, N.C. Effect of cerium on growth, dry matter production, biochemical constituents and enzymatic activities of cowpea plants [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.12, n.1, p.1-14, 2012.
- SMIDT, G.A.; KOSCHINSKY, A.; CARVALHO, L.M.; MONSERRAT, J.; SCHNUG, E. Heavy metal concentrations in soils in the vicinity of a fertilizer factory in Southern Brazil. **Landbauforschung Voelkenrode Agriculture and Forestry Research**, v.2011, n.61, p.353-364, 2011.
- SOBEK, J.M.; TALBURT, D. Effects of the Rare Earth Cerium on *Escherichia coli*. **Journal of Bacteriology**, v.95, p.47-51, 1968.
- SUN, Y.; LIU, D. L.; YU, Z. Q.; ZHANG, Q.; BAI, J.; SUN, D.Y. An apoplastic mechanism for short-term effects of rare earth elements at lower concentrations. **Plant Cell and Environment**, v.26, p.887-896, 2003.
- TALBURT, D.E.; JOHNSON, G.T. Some effects of rare earth elements and yttrium on microbial growth. **Mycologia**, v.59, p.492-503, 1967.
- TANG, X.; ZHANG, Z.; ZHAO, H.; ZHANG, J.; LIU, Q.; ZHU, W. Ecological effects of rare earth elements accumulations on microbe in soil. In **2nd International Symposium on Trace Elements and Food Chain**, p.12-15, 1998.
- TAO, L.; SHIMING, D.; WENCHONG, N.G.; ZHONGYI, C.H.O.; CHAOSHENG, Z.; HAITAO, L. A review of fractionations of rare earth elements in plant. **Journal of Rare Earths**, v.26, p.7-15, 2008.
- TIAN, W.X. Effect of REEs on distribution of photosynthesis production for sugar beet. **Chinese Journal Sugar Beet**, v.4, p.22-26, 1988.
- TSURUTA, T. Accumulation of Rare Earths Elements in Various Microorganisms. **Journal of Rare Earths**, v.25, p.526-532, 2007.
- TYLER, G. Rare earth elements in soil and plant systems – A review. **Plant and Soil**, v.277, p.191-206, 2004.
- WAN, Q.; TIAN, J.; PENG, H.; ZHANG, X.; LEE, D.; WOO, C.; RYU, J.; PARK, C. The effects of rare earth on increasing yield, improving quality and reducing agricultural chemical remained in crop production. In Proceedings **2nd International Symposium on Trace Elements and Food**. v.12, p.25, 1998.
- WANG, Y.M.; HUANG, J.Y. Study application of REEs (Nongle) in west part of Guangdong Province. **Rare Metals**, v.5 (special issue), p.1-7, 1985.
- WANG, D.; WANG, C.; WEI, Z.; QI, H.; ZHAO, G. Effect of rare earth elements on peroxidase activity in tea shoots. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.83, p.1109-1113, 2003.
- WANG, L.; BING, H.; BAI, K.Z.; LI, L.B.; KUANG, T.Y. Photosynthetic characterization of the plant *Dicranopteris dichotoma* Bernh in a Rare Earth Elements mine. **Journal of Integrative Plant Biology**, v.47, n.9, p.1092-1100, 2005.

- WANG, X.; SHI, G.X.; XU, Q.S.; XU, B.J.; ZHAO, J. Lanthanum- and Cerium-Induced Oxidative Stress in Submerged *Hydrilla verticillata* Plants. **Russian Journal of Plant Physiology**, v.54, p.693-697, 2007.
- WEN, B.; YUAN, D.; SHAN, X.; LI, F.; ZHANG, S. The influence of rare earth element fertilizer application on the distribution and bioaccumulation of rare earth elements in plants under field conditions. **Chemical Speciation and Bioavailability**, v.13, n.2, p.39-48, 2001.
- WENHUA, L., RUMING, Z., ZHIXIONG, X., XIANDONG, C., PING, S.. Effects of La^{3+} on the growth, transformation and gene expression of *Escherichia coli*. **Biological Trace Elements Research**, v.94, p.167-177, 2003.
- WILLIAMS, W.M. Effects of two levels of nitrate on cell-divisions rates in roots of wheat seedlings. **New Zealand Journal of Botany**, v.6, n.1, p.25-32, 1968.
- YAJIA, L.; ANG YAN, W.; FUBIN, W.; UMING, Y.; JIANYU, U.I.; LIN, H.; KANGGUO, M. Control effect of lanthanum against plant disease. **Journal of Rare Earths**, v.26, p.115-120, 2008.
- YINFENG, X.; XIANLEI, C.; WEILONG, L.; GONGSHENG, T.; QIAN, C.; QIANG, Z. Effects of lanthanum nitrate on growth and chlorophyll fluorescence characteristics of *Alternanthera philoxeroides* under perchlorate stress. **Journal of Rare Earths**, v.31, p.823, 2013.
- YOUZHANG, S.; ZHOU, W.X. The effect of neodymium (Nd^{3+}) on some physiological activities in oilseed rape during calcium (Ca^{2+}). Disponível em: <<http://www.regional.org.au/au/gcirc/2/399.htm?print=1>>. Acesso em: 15 jul. 2014.
- YUFENG, Z.; LIFEN, Y.; KAOSHAN, C.; LIANG, D. Effects of Neodymium on growth, pectinase activity and mycelium permeability of *Fusarium oxysporum*. **Journal of Rare Earths**, v.25,n.1, p.100-105, 2007.
- XIONG, B.K. Application of Rare Earths in Chinese Agriculture and their perspectives of Development. In **Proceeding of the Rare Earths in Agriculture Seminar**, v.20. p.5-9, 1995.
- XIONG, B.K.; CHENG, P.; GUO, B.S.; ZHENG, W. Rare Earth Element research and applications in Chinese agriculture and forest. **Metallurgical Industry Press**, Beijing, China, 2000.
- ZENG, F.A; ZHANG. Y.; ZHANG, H.T. The effects of La (III) on the peroxidation of membrane lipids in wheat seedling leaves under osmotic stress. **Biological Trace Element Research**, v.69, n.2, p.145-150, 1999.
- ZHANG, L.; ZENG, F.; XIAO, R. Effect of lanthanum ions (La^{3+}) on the reactive oxygen species scavenging enzymes in wheat leaves. **Biological Trace Element Research**, v.91, p.243-252, 2003.
- ZHOU, J.; GUO, L.; ZHANG, J.; ZHOU, S.; YANG, G.; ZHAO, M.; HUANG, L. Effects of LaCl_3 on photosynthesis and the accumulation of tanshinones and salvianolic acids in *Salvia miltiorrhiza* seedlings. **Journal of Rare Earths**, v.29, n.5, p.494-498, 2011.
- ZHU, J.G.; CHU, H.Y.; XIE, Z.B.; YAGI, K. Effects of lanthanum on nitrification and ammonification in three Chinese soils. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.63, p.309-314, 2002.