
O ÍON CÁLCIO (Ca²⁺) NA CÉLULA VEGETAL

ION CALCIO (Ca²⁺) IN VEGETABLE CELL

Mauricio Rezende Marques¹

RESUMO

O íon Cálcio é um dos mais importantes no sistema intracelular da planta, permanecendo na sua forma iônica na célula atuando em vários processos fisiológicos. A preocupação básica deste estudo é refletir sobre o papel do íon Ca²⁺, na célula vegetal, onde ele se encontra na célula, a sua concentração, a absorção e translocação, a regulação deste íon pela célula e os processos fisiológicos por ele envolvidos, através de levantamento bibliográfico. Muito já se conhece sobre o cálcio na célula, mas há também muitos processos ainda que não estão totalmente elucidados o que mostra que a ciência tem muito trabalho pela frente e com o avanço das técnicas de investigação muito será esclarecido sobre o papel deste íon na célula.

194

Palavras-chave: Cálcio. Processos fisiológicos. Metabolismo.

ABSTRACT

Calcium ion is one of the most important in the plant's intracellular system, remaining in its ionic form in the cell acting on various physiological processes. The basic concern of this study is to reflect on the role of the Ca²⁺ ion in the plant cell where it is in the cell, its concentration, absorption and translocation, the regulation of this ion by the cell and the physiological processes involved by it. of bibliographic survey. Much is already known about calcium in the cell, but there are also many processes that are not yet fully elucidated which shows that science has a lot of work ahead and with the advancement of research techniques much will be clarified about the role of this ion in the cell.

Key words: Calcium. Physiological processes. Metabolism.

INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem o propósito de fazer uma revisão na literatura sobre como o íon Cálcio (Ca²⁺) atua e interage na célula vegetal. Sendo que “a célula é a unidade estrutural

¹ Mauricio Rezende Marques, Técnico Agrícola, graduado em Licenciatura em Ciências Biológicas, especialista em Biologia Vegetal especialista em Fisiologia Humana e mestrando em Agroecologia.

e funcional fundamental dos seres vivos, assim como o átomo é a unidade fundamental das estruturas químicas” (ROBERTIS, 2010, p. 1), os “estudos em nível celular, mesmo os organismos mais diferentes são, em sua organização física e em suas propriedades químicas, notavelmente similares entre si” (RAVEN, 2001, p. 107).

O Cálcio descoberto por Humphry Davy no ano de 1808 é um elemento pertencente ao grupo 2 da tabela periódica (ATIKINS, 2012) sendo um “metal branco prateado, relativamente mole [...] e forma o cátion Ca^{2+} , em soluções aquosas” (VOGUEL, 1981, p. 311). Em 1860 Sanchs e Knop demonstrou em seus trabalhos com soluções nutritivas que o elemento Ca^{2+} é um elemento essencial para planta (KERBAUY, 2004). Para que sejam classificados como elementos essenciais ou nutrientes minerais essenciais, precisam atender a três critérios que segundo (KERBAUY, 2004) são: “1- Quando a planta não consegue completar seu ciclo de vida na sua ausência. 2- Tem função específica e não pode ser substituído. 3 – Deve estar diretamente envolvido no metabolismo da planta”. Diversos trabalhos demonstraram quais são os elementos essenciais nas plantas superiores que e podem ser classificados segundo as quantidades que são exigidas Macronutrientes: (N, P, K, **Ca**, Mg, e S) e Micronutrientes: (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn), ou podem conforme Taiz (2004) citando Menguel e Kirkby (1987), ser classificados em quatro grupos de acordo com o papel bioquímico e sua função fisiológica: 1- Nutrientes que fazem parte de compostos de Carbono; 2- Nutrientes que são importantes na armazenagem de energia e na integridade estrutural; 3 – Nutrientes que permanecem na forma iônica; 4 – Nutrientes que estão envolvidos em reação redox. O íon Ca^{2+} se enquadra no grupo três nesta classificação.

Sendo o íon Ca^{2+} um elemento essencial e classificado como Macronutriente e ou segundo sua função bioquímica como Nutriente que permanece na forma iônica, discutiremos a seguir onde este íon está presente na célula vegetal, suas concentrações no tecido, sua absorção e translocação pela planta, sua regulação e os processos fisiológicos em que está envolvido.

DESENVOLVIMENTO

Concentração no Tecido

Considerando que seis elementos químicos formam 99% do peso fresco da massa de toda matéria viva (C,H,O,N,P e S). A água constitui mais de 90% do peso da maioria dos

tecidos vegetais. Por outro lado os íons como K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} importantes como são, correspondem somente a cerca de 1%.“ (RAVEN, 2001).

“A demanda de Ca^{2+} , pelas plantas para um crescimento ótimo está dentro da faixa de concentração de 10 a 50 gr K^{-1} de matéria seca dependendo da espécie e da parte da planta”. (KERBAUY, 2004, p. 59)

Onde está presente na célula

O Ca^{2+} nas células vegetais pode ser encontrado na lamela média, parede vegetal, associado às proteínas dependente, livre no meio extracelular e intracelular e ainda estocado no vacúolo, mitocôndrias e retículo endoplasmático. (TAIZ, 2004, p.132).

O Ca^{2+} é armazenado no vacúolo, nos cloroplastos e no retículo endoplasmático, porém, nos vacúolos, aparece em concentrações da ordem de 10^5 vezes maiores que no citosol, acompanhado de ânions orgânicos (malato e outros) e inorgânicos (nitrato, cloreto e outros). No citosol, a concentração de Ca^{2+} é extremamente baixa, sendo mantida entre 0,1 e 0,2 $\mu\text{mol L}^{-1}$, o que é essencial para a célula por várias razões.

“Essa habilidade da célula vegetal em manter baixas concentrações de Ca^{2+} citoplasmático, bem como restaurar as elevações, é um requerimento essencial para a função desse íon como regulador de vários processos celulares”. (SOUZA, 1998).

A manutenção da baixa concentração do Ca^{2+} citoplasmático, segundo Faquin (2005) previne a precipitação do fósforo inorgânico como fosfato de cálcio.

Regulação do Cálcio na célula

Os mecanismos envolvidos nesta regulação ou no transporte dos íons Ca^{2+} , são: a) transporte ativo (contra um gradiente de concentração) as bombas de Ca^{2+} ou também chamadas de Ca^{2+} ATPase e b) transporte passivo (a favor do gradiente de concentração) os Canais de Ca^{2+} , estes dois tipos localizados na membrana plasmática da célula, c) o transporte tipo antiporte (Ca^{2+} / H^+) e d) Canais de Ca^{2+} dependente que utilizam o IP_3 (inositol trifosfato) como mensageiro, estes localizados nos tonoplastos (TAIZ, 2004). E conforme Souza (1998, p. 29 citando ALLEN *et al.*, 1995; MUIR; SANDERS, 1996) “Observações de que cADP-ribose era capaz de induzir a liberação de Ca^{2+} de vacúolos de beterraba sugerem a existência de um canal de Ca^{2+} sensível à cADP-ribose no tonoplasto.”

Algumas considerações feitas por Taiz (2004) a cerca do transporte de íons na célula vegetal são importantes a se destacar.

Os cátions Na^+ , Mg^{2+} e Ca^{2+} têm concentrações internas menores do que as previstas; portanto, tais íons entram na célula por difusão, a favor de seus gradientes eletroquímicos e são exportados ativamente.

A parede celular que circunda a membrana plasmática nas células vegetais não representa uma barreira de permeabilidade e, portanto, não é um fator no transporte de solutos.

As células vegetais regulam as concentrações de Ca^{2+} citosólico ao controlar a abertura dos canais de Ca^{2+} que permitem a difusão de cálcio para dentro da célula, assim como modulando a atividade de bombas que retiram Ca^{2+} do citoplasma de volta para os espaços extracelulares.

A maioria do cálcio na célula é estocada no vacúolo central, para onde é absorvido por transportadores $\text{Ca}^{2+} / \text{H}^+$ tipo antiporte, os quais utilizam o potencial eletroquímico do gradiente de prótons para energizar o acúmulo de cálcio dentro vacúolo.

O efluxo de cálcio do vacúolo para o citosol pode ser desencadeado em algumas células pelo inositol trifosfato (IP_3).

197

Absorção e translocação

Vários estudos mostraram que os solutos são absorvidos e acumulados por processos seletivos. Segundo Costa (2014, p. 66 citando MOROT-GAUDRY, 2009).

Os mecanismos moleculares responsáveis pela seletividade implicam numa discriminação dos íons em função da sua dimensão e da energia de desidratação necessária para “arrancar” as moléculas de água que formam a “concha” de hidratação do íon”. “De fato, o íon deve perder a sua “concha” de desidratação para passar pela zona mais estreita do poro.

“O cálcio é absorvido pelas plantas na forma de cátion bivalente (Ca^{2+}), sendo maior que o Mg^{2+} , porém com menor raio de hidratação, o que lhe confere vantagem na absorção e na demanda seletiva pela planta.” (KERBAUY, 2004, p. 58).

Para que um íon seja absorvido pela planta é necessário que ocorra o estabelecimento do contato íon-raiz, que se faz através dos seguintes processos: Intercepção radicular, Fluxo

de Massa e Difusão (FAQUIN, 2005). Estabelecido este contato dois mecanismos de absorção são descritos, o primeiro é a absorção onde o íon ocupa o apoplasto e o segundo é a absorção onde o íon passa para o simplasto. Conforme Costa (2014 citando SALISBURY; ROSS, 1992):

A via apoplástica estende-se desde os pelos radiculares ou outras células epidérmicas até à endoderme, onde a banda de Caspary, impermeável, obriga as substâncias a atravessarem as membranas plasmáticas, ou seja, a passarem para a via simplástica. Assim, as membranas plasmáticas das células da endoderme representam o ponto de controle final da entrada de solutos na raiz.

A absorção de outros íons é dependente do íon Ca^{2+} , que regula a permeabilidade da membrana plasmática e é explicado por Faquin (2005) como “o efeito do cálcio sobre a absorção iônica é chamado de efeito “Viets”, que observou que a absorção de outros cátions (K^+ , p. ex.) era estimulada pela presença do Ca^{2+} em baixas concentrações no meio.”

Duma maneira geral, o movimento a grande distância, desde as raízes para as partes em crescimento, é feito pelos vasos mortos do xilema. O movimento descendente ocorre nas células vivas do floema (COSTA, 2014).

“O movimento de iões, moléculas e outros solutos no xilema é determinado, em certa medida, pelo fluxo transpiracional que, por sua vez, tem um efeito na distribuição destes compostos nos caules, pecíolos, folhas e frutos” (COSTA, 2014, p. 40).

Ações Fisiológicas

Algumas das ações do íon cálcio na célula são bem descritas e atestadas por muitos autores, outras são citadas, mas pouco se conhece, ainda, do seu mecanismo de ação, mesmo assim sendo de muita importância para a célula vegetal.

O cálcio como constituinte na lamela média e parede celular primária associado às pectinas “formam géis dos quais os grupos carboxila (COO^-) carregados de cadeias de pectina vizinhas são ligados via Ca^{2+} , que forma um complexo firme de pectina.” (TAIZ; 2004).

Na membrana plasmática o cálcio é descrito por diversos autores como responsável pela manutenção da estrutura e permeabilidade da membrana plasmática, Faquin (2005, p. 104) explica que “em PH menores de 4,5 as membranas tornam-se mais permeáveis favorecendo o efluxo de cátions, sendo esse efeito contrabalanceado pela presença de Ca^{2+} .”

O Ca^{2+} como Co-fator, íon necessário para atividade de certas enzimas, ou comumente citado como mensageiro secundário é descrito amplamente tendo a Calmodulina e as Knases dependente de Ca^{2+} as mais bem explicita na literatura, mediando uma extensa variedade de respostas celulares. Entre elas Taiz (2004) descreve a sinalização hormonal e ambiental, de como a ABA (ácido abscísico) aumenta o Ca^{2+} do citosol, eleva o PH citosólico (alcalinização) e despolariza as membranas, desencadeando respostas como a inibição da abertura estomática.

Também na adaptação fisiológica ao stresse térmico que pode ter no seu mecanismo de aclimação metabólica o aumento do ácido γ -aminobutírico (GABA) que ocorre com o aumento do Ca^{2+} citosólico que leva à ativação da calmodulina que se liga ao glutamato carboxilase (GAD) que catalisa a conversão de Glutamato em ácido γ -aminobutírico (GABA).

Experimentos que usam (EGTA) para quelatizar o cálcio, inibindo a absorção desse íon pela célula, sugerem que o gravitropismo pode ser regulado pelo cálcio-calmodulina.

A Auxina controla vários processos, como alongamento do caule, dominância apical, formação de raiz, desenvolvimento de frutos e tropismo, o cálcio apresenta função de transdução de sinais, e experimentos demonstram que a auxina aumenta o nível de cálcio livre na célula.

E da mesma forma o aumento do nível de cálcio citosólico antes do início da síntese de α -amilase, sugere que o cálcio é um importante transdutor de sinal do hormônio Giberelina que é um promotor de estabelecimento e crescimento do fruto e germinação das sementes.

Estudos mostram um modelo do ciclo de oxidação da água e geração de O_2 no PSII (Fotosistema II) onde os íons Cl^- e Ca^{2+} são essenciais.

A fosforilação da PEP-carboxilase no ciclo das plantas C_4 e CAM (metabolismo ácido das crassuláceas) é catalisada pelo efluxo de Ca^{2+} do vacúolo para o citosol ativando PEP carboxilase-quinase.

Os fitocromos respondem a sinalização ambiental pela absorção da luz pelo pigmento, realizado mudanças nas plantas como a regulação dos potenciais de membrana e os fluxos de íons.

O cálcio que é descrito tendo função na divisão celular, é pouco elucidado, mas (JUNQUEIRA, 1997) descreve a regulação da polimerização e despolarização dos dímeros de tubulina para formar o microtúbulo, pela concentração de íon cálcio e pelas proteínas

associadas aos microtúbulos. Outra participação do cálcio na divisão celular está ligada a Citocinese, no fim da mitose, que ocorre devido à interação dos filamentos de actina e miosina. Também o cálcio e os filamentos de actina e miosina estão ligados às proteínas motoras que medeiam o transporte intracelular de organelas delimitadas por membrana. Estes movimentos motores têm a mesma base molecular e resultam da interação de filamentos de actina com filamentos de miosina, dependentes do íon cálcio.

Costa (2014) e Faquin (2005) afirmam a necessidade do íon cálcio para expansão celular, processo importante para o crescimento de raízes e dos tubos polínicos, esta relação parece estar relacionada aos microfilamentos de actina, dependentes de Ca^{2+} , e que segundo Taiz (2004), também participam no crescimento do tubo polínico, outra evidência da participação do íon cálcio na expansão celular conforme Taiz (2004) são as vesículas de Golgi, que contêm precursores da parede celular, localizados na extremidade dos tubos polínicos e que se fundem a membrana plasmática e então estes precursores são acrescentados à parede celular.

A morte celular programada etileno-dependente é descrita por Taiz (2004) nas raízes hipóxicas e tem uma elevação da concentração de Ca^{2+} citosólico como parte da rota de transdução de sinal do etileno.

200

CONCLUSÃO

Todos os processos celulares envolvendo o íon cálcio deixam claro tamanha a importância e essencialidade deste elemento para a célula vegetal. Neste trabalho procurou-se investigar os processos fisiológicos e estruturais em que o Ca^{2+} se envolve e ou se insere na célula vegetal e como eles interagem nesses processos fisiológicos. Alguns destes processos envolvendo o íon cálcio estão amplamente investigados e estudados pela ciência e bem descritos, outros processos são citados pelos autores aqui estudados, mas o processo fisiológico que explicita a participação do Ca^{2+} em alguns destes processos ainda é pouco conhecida.

Tamanha a complexidade e o envolvimento do Ca^{2+} em tantos processos fisiológicos, justifica o contínuo estudo deste mineral e seu envolvimento nos processos fisiológicos das células vegetais, para que a ciência descubra as rotas e mecanismos fisiológicos por ele envolvidos.

REFERÊNCIAS

ALBERTS, B. *et al.* **Biologia Molecular da Célula**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de Química**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

COSTA, A. R. **Nutrição Mineral de Plantas Vasculares**. Évora: Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora, 2014

FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005.

JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. **Biologia Celular e Molecular**. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1997.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.

RAVEN, P. H.; Evert, R. F.; Eichhorn, S. E. **Biologia vegetal**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.

ROBERTIS, E. M. F.; HIB, J. **Base da Biologia Celular e Molecular**. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

SOUZA, J. F. **Transporte e Homeostase de Ca² em Protoplastos de Células de *Citrus sinensis***. Campinas: [s.n], 1998.

TAIZ, LINCOLN *et al.* **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

VOGUEL, A.I. **Química Analítica Qualitativa**. 5. ed. São Paulo: Mestre Jou, 1981.