



10º Simposio de Ensino de Graduação

MECANISMO ANTIOXIDANTE EM PLANTAS

Autor(es)

VERUSCA SEMMLER ROSSI

Orientador(es)

MARGARETE DE FÁTIMA COSTA

1. Introdução

A respiração aeróbica foi uma evolução na obtenção de energia nos seres vivos, porém trouxe alguns malefícios como a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) extremamente tóxicas aos seres vivos. As plantas, devido ao modo de vida sésstil, ficam expostas a diversos fatores ambientais que podem levar a uma situação de estresse oxidativo, como excesso de luz, herbivoria, seca, alagamento, utilização de herbicidas, metais pesados, desbalanço de nutrientes, entre outros, podendo aumentar drasticamente a produção de EROs, levando a morte. Os antioxidantes agem mantendo baixo o nível celular dessas EROs impedindo assim que danos sejam causados na célula. De forma geral, os níveis das EROs são controlados por um complexo enzimático que atua em sincronia conhecido como enzimas antioxidantes, tais como, a superóxido dismutase (SOD), responsável pela conversão do radical superóxido em peróxido de hidrogênio; ascorbato peroxidase (APX), que converte o peróxido de hidrogênio em ascorbato; catalase (CAT), que transforma peróxido de hidrogênio em água; glutatona redutase (GR), que controla os níveis de glutatona reduzida, poderoso antioxidante não enzimático e glutatona S-transeferase (GST), que pode atuar no combate ao peróxido de hidrogênio. Essas enzimas são responsáveis pelo combate as EROs celulares provocadas pelos diversos fatores de estresse oxidativo, desintoxicando as plantas.

2. Objetivos

O objetivo deste trabalho é entender como os mecanismos de defesa das plantas atuam em sua defesa contra potenciais agentes estressores.

3. Desenvolvimento

A pesquisa foi realizada buscando artigos científicos utilizando o banco de dados do site Web of Science e SpringerLink, que permite acesso a artigos acadêmicos indexados ou de pesquisa científica.

4. Resultado e Discussão

Espécies Reativas de Oxigênio e o Sistema Antioxidante

O surgimento de organismos fotossintetizantes levou a um acúmulo de oxigênio na atmosfera, que passou a ser utilizado por indivíduos aeróbios comoceptor final de elétrons na obtenção de energia dos alimentos, adicionando uma vantagem evolucionária a estes indivíduos, já que através do metabolismo aeróbico uma molécula de glicose produz 28 moléculas de ATP enquanto o processo anaeróbico produz apenas 8 moléculas (Foyer & Noctor, 2000).

Ao mesmo tempo que a utilização do oxigênio trouxe benefícios as espécies aeróbias, inconvenientes surgiram como resultado desse

metabolismo, como por exemplo o surgimento das espécies reativas de oxigênio (EROs). No estado molecular o O₂ é pouco reativo, porém o metabolismo aeróbico produz inevitavelmente EROs como o radical superóxido (O₂^{•-}), dotado de baixa capacidade oxidativa, peróxido de hidrogênio (H₂O₂), capaz de romper a membrana nuclear e causar danos ao DNA, radical hidroxil (•OH), com baixa capacidade de difusão, porém alta reatividade, provocando lesões em uma série de moléculas em meio celular e o oxigênio “singlet” (O₂¹) (Scandalios, 2000). Em plantas as EROs podem se produzidas em reações ocorridas nas mitocôndrias, cloroplastos e peroxissomos (Foyer & Noctor, 2000).

Todas as EROs são extremamente reativas e citotóxicas, o •OH e o O₂¹ são tão reativos que suas produções devem ser minimizadas rapidamente, o H₂O₂ quando em alta concentração na célula inibe a fixação de carbono, uma vez que muitas enzimas do ciclo de Calvin são extremamente sensíveis ao H₂O₂ (Scandalios, 2000). Quando comparado aos demais radicais o O₂^{•-} e o H₂O₂ são relativamente pouco reativos, mas quando em presença de íons metálicos como o Fe, por exemplo, ativam uma sequência de reações que levam a formação de •OH na reação de Haber-Weiss, (Bowler et al., 1992). O •OH tem um grande potencial oxidativo atacando rapidamente e sem discriminação qualquer macromolécula levando a sérios danos celulares (Scandalios, 2000), causando peroxidação lipídica, desnaturação protéica, e mutação no DNA (Bowler et al., 1992), podendo levar a disfunções metabólicas irreparáveis e até morte celular (Scandalios, 2000). O O₂¹, formado a partir da transferência da energia de ativação para o O₂, também produz efeitos deletérios (Bowler et al., 1992).

São inúmeros os fatores que podem contribuir para o aumento dos níveis de EROs, radiação UV, luminosidade intensa, herbicidas, ataque de patógenos, certas injúrias, hiperoxia, ozônio, flutuações na temperatura (Scandalios, 1994), seca, metais pesados, concentração elevada de sais, extremos de temperatura, poluição do ar (Mallick & Mohn, 2000).

A inativação efetiva das EROs exigem a ação de uma série de enzimas trabalhando em sincronia. Os mecanismos de destruição das EROs envolvem as enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX), dehidroascorbato redutase (DHAR), monodehidroascorbato redutase (MDHAR), glutatona redutase (GR), glutatona peroxidase (GPx), (Figura 1).

A SOD é considerada a primeira linha de defesa com os danos causados pelas EROs, a enzima atua dismutando o O₂^{•-} em H₂O₂ (Alscher et al., 2002), desta forma a atividade da enzima interfere na concentração das duas EROs envolvidas na reação de Haber-Weiss, fazendo parte do mecanismo central de defesa dos organismos, evitando a formação do radical •OH (León et al., 2002).

A Cu/Zn-SOD é encontrada no estroma dos cloroplastos, a Mn-SOD e a Fe-SOD são encontradas tanto em células eucarióticas quanto em procarióticas, na matriz mitocondrial (Mallick & Mohn, 2000).

A ascorbato peroxidase (APX) é responsável pela degradação do H₂O₂ utilizando o ascorbato como substrato, a enzima é importante na defesa de tecidos fotossintético contra o estresse fotooxidativo, a APX é encontrada também no citosol das células não fotossintetizantes atuando na redução dos níveis de EROs (Asada, 1992).

A catalase (CAT) é responsável pela inativação do H₂O₂ formado durante a conversão do glicolato a glioxalato que ocorre durante a fotorrespiração, onde o peróxido é convertido pela enzima a H₂O e O₂ (Igamberdiev & Lea, 2002). A catalase pode também decompor o peróxido formado durante a α -oxidação de ácidos graxos nos glioxissomos em tecidos de armazenamento de gordura (Holtman et al., 1994). A enzima é preferencialmente encontrada nos peroxissomos, mas também podem estar presentes em mitocôndrias e no citoplasma (Montavon et al., 2006), os cloroplastos não possuem a enzima (Asada, 1999). Em plantas de milho três isoformas distintas foram encontradas (Scandalios et al., 2000), mas somente duas foram encontradas em pêssego (Bagnoli et al., 2004) e cevada (Skadsen et al., 1995). Em *Arabidopsis thaliana* a CAT é codificada por uma família multigênica, formada por três genes CAT1, CAT2 e CAT3, estes três genes são altamente expressos nas inflorescências da planta, porém somente os genes CAT2 e CAT3 são altamente expressos em folhas e ambos são controlados pelo ciclo circadiano (Frugoli et al., 1996).

A glutatona redutase (GR) é uma enzima responsável por catalizar a redução da GSSG (glutatona oxidada) para GSH (glutatona reduzida). A GR pode ser encontrada tanto em cloroplasto quanto em mitocôndria, mas sua síntese ocorre no citoplasma da célula de onde é direcionada para as organelas (Mullineaux & Creissen, 1997), possui ocorrência quase universal, distribuída em procariotos e eucariotos, desde bactérias heterotróficas e fotossintetizantes até plantas e animais superiores (Foyer et al., 1997). A enzima desempenha um papel importante na defesa contra o estresse oxidativo, pois mantém o equilíbrio entre os níveis de GSSG e GSH na célula. A GSH é uma molécula importante dentro do sistema celular, participando inclusive do ciclo ascorbato-glutatona (Noctor et al., 2002), ou ainda da síntese de fitoquelatinas (Gratão et al., 2005).

As glutatona S-transferases são enzimas que catalisam a conjugação de GSH à substratos hidrofóbicos eletrofílicos, como xenobióticos (Dixon et al., 2002). São proteínas encontradas preferencialmente no citoplasma (Marrs, 1996). Várias classes de GST foram identificadas em plantas respondendo aos mais diversos tipos de estressores bióticos ou abióticos, principalmente herbicidas, em plantas foram encontradas quatro classes de GST, Phi, Zeta, Tau e Theta (Dixon et al., 2002).

5. Considerações Finais

Devido ao modo de vida sésil, as plantas estão expostas aos mais diversos fatores ambientais que podem levar ao estresse oxidativo e conseqüentemente, a produção descontrolada de espécies reativas de oxigênio (EROs), extremamente tóxicas aos vegetais. Para combater essas EROs as plantas dispõem de um sistema de defesa composto por antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos, que trabalham em conjunto e em sincronia limpando as EROs produzidas e desintoxicando as células, fazendo com que os vegetais superem a situação de estresse abiótico e recuperem a homeostase celular.

Referências Bibliográficas

- Alscher RG, Erturk N, Heath LS. Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants. *Journal of Experimental Botany*, 53:1331–1341, 2002.
- Asada K. The water-water cycle in chloroplasts: scavenging of active oxygens and dissipation of excess photons. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 50:601-639, 1999.
- Asada K. Ascorbate peroxidase- a hydrogen peroxide scavenging enzyme in plants. *Physiologia Plantarum*, 85:235-241, 1992.
- Bagnoli F, Danti S, Magherin V, Cozza R, Innocenti AM, Racchi ML. Molecular cloning, characterization and expression of two catalase genes from peach. *Functional Plant Biology*, 31:349-357, 2004.
- Buchanan, B.B.; Gruissem, W.; Jones, R.L. *Biochemistry & molecular biology of plants*. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2002.
- Bowler C, Vanmontagu M, Inzé D. Superoxide dismutase and stress tolerance. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 43:83-116, 1992.
- Dixon DP, Laphorn A, Edwards R. Plant glutathione transferases. *Genome Biology* 3:1-10, 2002.
- Foyer CH, Lopez-Delgado H, Dat JF, Scott IM. Hydrogen peroxide and glutathione-associated mechanism of acclimatory stress tolerance and signalling. *Physiologia Plantarum*, 100:241-254, 1997.
- Foyer CH, Noctor G. Oxygen processing in photosynthesis: regulation and signalling. *New Phytologist*, 146:359-388, 2000.
- Frugoli JA, Zhong HH, Nuccio ML, Mccourt P, Mcpeek MA, Thomas TL, Mcclung CR. Catalase is encoded by a multigene family in *Arabidopsis thaliana* (L.). *Plant Physiology*, 112:327-336, 1996.
- Gratão PL, Polle A, Lea PJ, Azevedo RA. Making the Life of heavy metal-stressed plants a little easier. *Functional Plant Biology*, 32:481-494, 2005.
- Holtman WL, Heistek JC, Mattern KA, Bakhuizen R, Douma AC. Beta-oxidation of fatty acids is linked to the glyoxylate cycle in the aleurone but not in the embryo of germinating barley. *Plant Science*, 99:43–53, 1994.
- Igamberdiev AU, Lea PJ. The role of peroxisomes in the integration of metabolism and evolutionary diversity of photosynthetic organisms. *Phytochemistry*, 60:651-674, 2002.
- León AM, Palma JM, Corpas FJ, Gomez M, Romero-Puertas MC, Chatterjee D, Mateos RM, Del Rio LA, Sandalio LM. Antioxidative enzymes in cultivars of peppers plants with different sensitivity to cadmium. *Plant Physiology and Biochemistry*, 40:813-820, 2002.
- Mallick N, Mohn FH. Reactive oxygen species: response of alga cells. *Journal of Plant Physiology*, 157:183-193, 2000.
- Marrs KA. The functions and regulation of glutathione S-transferases in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 47:127–158, 1996.
- Montavon P, Kucic KR, Bortilik K. A simple method to measure effective catalase activities: Optimization, validation, and application in green coffee. *Analytical Biochemistry*, 360:207-215, 2006.
- Mullineaux PM, Creissen GP. Glutathione reductase: regulation and role in oxidative stress. In: Scandalios, J.C. (Ed.). *Oxidative Stress and the Molecular Biology of Antioxidant Defenses*. Cold Spring Harbor Laboratory Press, NY, 1997. p. 667-713.
- Noctor G, Gomez L, Vanacker H, Foyer CH. Interactions between biosynthesis, compartmentation and transport in the control of glutathione homeostasis and signalling. *Journal of Experimental Botany*, 53:1283-1304, 2002.
- Scandalios JG, Acevedo A, Ruzsa S. Catalase gene expression in response to chronic high temperature stress in maize. *Plant Science*, 156:103-110, 2000.

Anexos

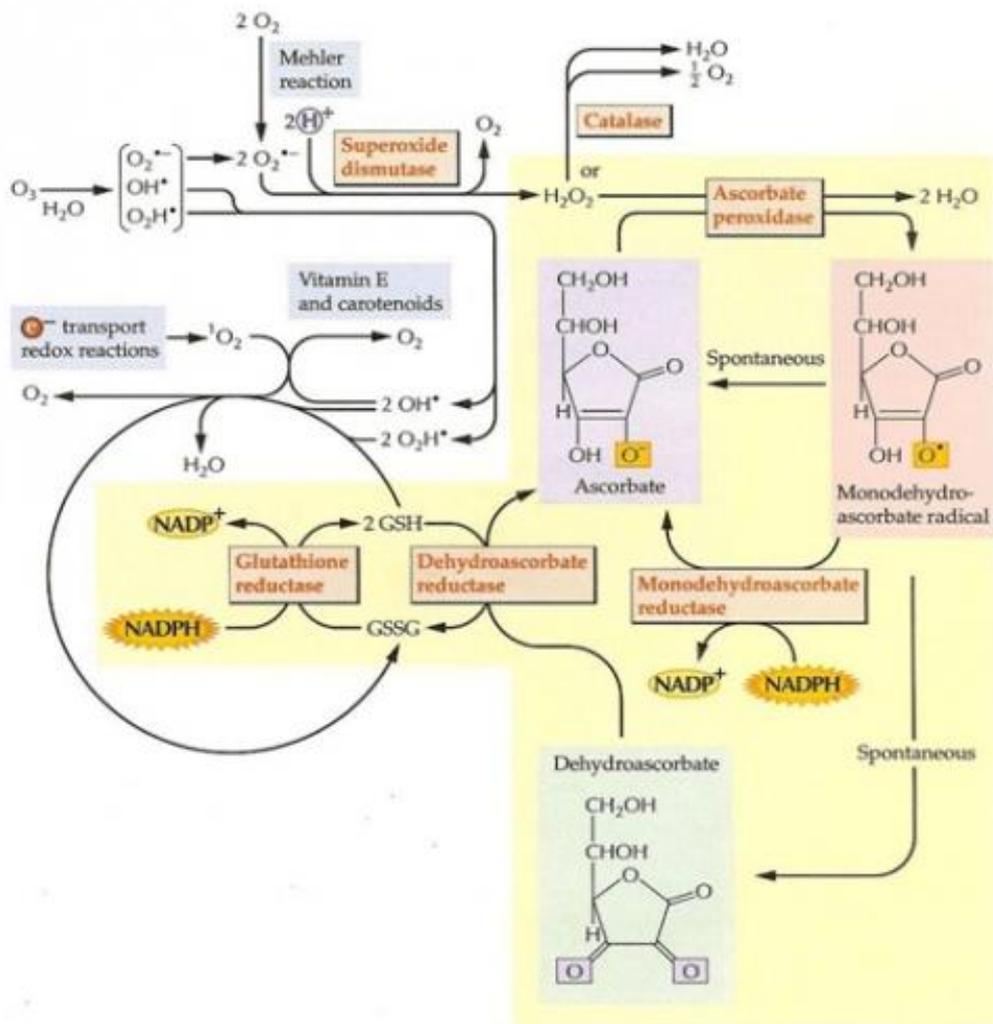


Figura 1. Mecanismo de desintoxicação celular (Buchanan et al, 2002).