



Omissão de macronutrientes em mutantes fotomorfogênicos de tomateiro

Luiz Cláudio Nascimento dos Santos¹; Gabriel Barbosa da Silva Junior¹; Cid Naudi Silva Campos¹; Renato de Mello Prado¹; Rogério Falleiro Carvalho²; Cláudio Ferreira Barreto¹

⁽¹⁾ Doutorando do PPG em Agronomia (Produção Vegetal), Universidade Estadual Paulista, Campus Jaboticabal, SP, Brasil; luizclaudio_agro@hotmail.com;

⁽²⁾ Professor, Universidade Estadual Paulista, Campus Jaboticabal, SP, Brasil.

RESUMO: Fitocromos são fotorreceptores relacionados com a percepção qualitativa e quantitativa da luz pelas plantas, desencadeando diversas e complexas respostas fisiológicas. Descobertas recentes têm demonstrado que estas moléculas também estão relacionadas com uma gama de respostas ao estresse abiótico e biótico, como deficiência nutricional. O trabalho objetivou-se avaliar o efeito da omissão de macronutrientes sobre o índice de cor verde e produção de matéria seca em plantas de tomateiro mutantes morfogenéticos cultivadas em solução nutritiva. Utilizou-se delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 7, com cinco repetições, sendo três genótipos de tomateiro e sete níveis de omissão, omissão de nitrogênio, omissão de fósforo, omissão de potássio, omissão de cálcio, omissão de magnésio, omissão de enxofre. Foi analisado índice de cor verde e produção de matéria seca da raiz e parte aérea. Para todas as variáveis estudadas houve efeito da interação entre os genótipos de tomateiro e omissão de nutrientes na solução nutritiva. Foi observado uma resposta alterada no crescimento nos mutantes *au* e *dgt* em função da omissão dos macronutrientes, onde os fotorreceptores podem ser parte da sinalização luminosa durante a nutrição, bem como o estresse nutricional em tomate.

Termos de indexação: desordem nutricional, fitocromo, estresse abiótico.

INTRODUÇÃO

O uso de microtomateiro cultivar Micro-Tom (*Solanum lycopersicum* L.) tem sido proposto como modelo para estudos fisiológicos (Meissner et al., 1997; Pratt et al., 1997) e moleculares (Martí et al., 2006) em função de suas vantagens no padrão morfogenético em relação à *Arabidopsis* e tomateiros de porte normal.

Tomateiros têm sido utilizados intensivamente em pesquisas na área de fotofisiologia, principalmente utilizando-se plantas mutantes em fotorreceptores. Aspectos morfológicos e genéticos têm sido estudados em microtomateiros (Martí et al.,

2006; Meissner et al., 1997) e naqueles fitocromo-mutantes, aspectos relacionados a trocas gasosas, concentração de pigmentos fotossintéticos, nitrogênio e carboidratos (Melo et al., 2009), alterações nas relações hídricas alterados em mutantes de tomateiro em fitocromo PHYA (Auge et al., 2012), que a hipótese de que esse recurso pode interferir na forma como os nutrientes são translocados na planta, o que nos levou a utilizar estes genótipo para determinar um papel mais abrangente dos fotorreceptores nestas respostas, no entanto, raros são os estudos que envolvem sua relação com a nutrição de plantas, embora sejam aspectos fundamentais para o entendimento dos processos de desenvolvimento das plantas.

Estes resultados indicam que há muitas variações nas respostas específicas de sinalização fitocromo A a partir da absorção de água pelas raízes para as folhas e frutos. Certamente, essas questões estão relacionadas a um dos temas mais importantes na ciência das plantas: nutrição. Em outras palavras, é o estado nutricional afetado pelo fitocromo A? Embora a deficiência em fitocromo *au* pode reduzir redutase do nitrato e nitrito em plântulas de tomate (Goud et al., 1994), nenhuma abordagem nutricional tem sido associada com o fitocromo. Assim, o trabalho objetivou-se avaliar o efeito da omissão de macronutrientes sobre o índice de cor verde e produção de matéria seca em plantas de tomateiro mutantes morfogenéticos cultivadas em solução nutritiva.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação do Departamento de Solos e Adubos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/Universidade Estadual Paulista – Câmpus de Jaboticabal, por meio de sistema hidropônico de cultivo, durante 35 dias.

Foram utilizados os mutantes *au* de tomateiro (cv Micro-Tom), o qual é deficiente na biossíntese do fitocromo cromóforo, e apresenta defeito o gene phytochromobilin synthase (Muramoto et al., 2005); e o mutante *high pigment*



(*hp*), o qual apresenta aumento na resposta a luz, o qual apresenta-se defeituoso por um gene homólogo a DDB1A de *Arabidopsis*, que codifica uma proteína que interage com DET1 (HP2), um repressor de fotomorfogênese (Liu et al., 2005). Como controle, foi utilizada a cultivar Micro-Tom (MT) sem a mutação.

Utilizou-se delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 7, com cinco repetições, sendo três genótipos de tomateiro e sete níveis de omissão, totalizando 21 tratamentos, correspondentes aos tratamentos, completo (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Mn, Zn, Cu, Fe e Mo), omissão de nitrogênio (-N), omissão de fósforo (-P), omissão de potássio (-K), omissão de cálcio (-Ca), omissão de magnésio (-Mg), omissão de enxofre (-S). Cada unidade experimental constou de um vaso de polipropileno com tampa, com 48 cm de comprimento x 16 cm de largura x 17 cm de altura, contendo 8 litros de solução nutritiva e cinco plantas, sendo utilizado isopor para fixar as plantas nos vasos.

A semeadura foi realizada em bandejas de isopor para mudas, contendo 288 células, em substrato contendo uma mistura na proporção de 1:1 de substrato comercial (Plantmax) e vermiculita expandida, sendo irrigadas diariamente. Quando as plantas de tomate apresentaram dois pares de folhas desenvolvidas (21 dias após a semeadura), foram transplantadas para o sistema hidropônico. A partir deste momento, as plantas foram cultivadas em solução nutritiva proposta por Hoagland e Arnon (1950), com todos os nutrientes, com modificação da fonte de ferro para Fe-EDDHMA, diluída a 25% da concentração recomendada, durante sete dias e 50% por mais sete dias.

Após este período, as plantas receberam 100% da concentração recomendada, com os respectivos tratamentos até o final do experimento. Utilizou-se água deionizada e cada vaso foi mantido em arejamento contínuo por meio do sistema de compressão de ar. Semanalmente, foi trocada a solução de acordo com os tratamentos e diariamente foram aferidos os valores do pH, sendo mantidos entre 5,5 e 6,0 por meio de soluções de HCl 1,0 mol L⁻¹ ou NaOH 1,0 mol L⁻¹.

Após 30 dias da aplicação dos tratamentos, foi avaliado o índice de cor verde, tomando-se a média das leituras no terço superior, mediano e inferior da quarta folha completamente desenvolvida, a partir do ápice, em cinco plantas por unidade experimental, entre as 11 e 12 h, com auxílio de um clorofilômetro (Opti-Sciences®, CCM-200, Chlorophyll Meter);

No momento da colheita, as plantas foram separadas em parte aérea e raízes e, em seguida, lavadas e acondicionadas em sacos de papel, secas em estufa de circulação forçada de ar (65 °C) até atingir massa constante, com duração de aproximadamente 72 horas. Após a secagem, obtiveram-se as massas secas das raízes e da parte aérea das plantas.

Os dados foram submetidos à análise de variância, seguindo-se da aplicação do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para comparação das médias, utilizando-se do programa estatístico SAS.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para todas as variáveis estudadas houve efeito da interação entre os genótipos de tomateiro e omissão de nutrientes na solução nutritiva (**Tabela 2**). O mutante de tomateiro *hp* apresentou maiores valores para a variável ICV comparado ao tomateiro MT, e *au*. Na omissão de N e Mg as plantas de tomateiro apresentaram maiores redução no ICV comparado com as plantas cultivadas com solução completa (**Tabela 1**), uma vez que estes são nutrientes presentes na estrutura da molécula de clorofila. A principal função do Mg nas folhas é ser constituinte da clorofila, ocupando posição central na molécula. Cerca de 10% do Mg total da folha está na clorofila. Portanto, é indispensável para a síntese do pigmento cloroplastídico, o que é bastante afetado pela disponibilidade do mineral (Dorenstouter et al., 1985). O Mg foi o elemento mais limitante para o tomateiro, onde a omissão do mesmo reduziu os valores de todas as variáveis estudadas em todos os genótipos (**Tabela 1**).

O N por sua vez é um componente essencial de uma vasta gama de moléculas, tais como proteínas, aminoácidos e ácidos nucleicos, uma deficiência deste elemento mais frequentemente resulta em crescimento reduzido e lento, bem como a clorose foliar (Gangwar e Singh, 2011; Thangaradjou et al., 2014). Portanto, nossos resultados demonstram que tanto MT e os mutante *au* e *hp* na deficiência de N apresentaram redução no índice de cor verde, e peso seco da parte aérea do mutante *au* (**Tabela 1**). Porém resultado interessantes foram observados no mutante *hp*, onde observou-se uma maior produção de matéria seca da raiz sob deficiência de N (**tabela 1**), essa resposta pode está ligada ao fato do mutante ter acumulado mais N no tratamento de omissão de N em relação a solução completa.

Contudo, chama atenção o aspecto clorótico das folhas do mutante deficiente em fitocromo e o verde escuro do mutante com aumento de resposta a esse



fotorreceptor, demonstrando que o fotorreceptor controla preferencialmente as vias de transdução de sinal que levam ao desenvolvimento de cloroplastos, tendo uma função secundária no controle da expansão da área foliar, o que se refletiu no valores de ICV na solução completa, onde o *hp* foi superior ao controle (MT) e o *au*.

Carvalho et al. (2011) relata que os fitocromos são fotorreceptores relacionados com a percepção qualitativa e quantitativa da luz pelas plantas, desencadeando diversas e complexas respostas fisiológicas. Descobertas recentes têm demonstrado que estas moléculas também estão relacionadas com uma gama de respostas ao estresse abiótico, como nutricional, e biótico, devido ao seu papel na regulação da transcrição de genes específicos, influenciando mecanismos bioquímicos e moleculares de sinalização celular.

CONCLUSÕES

Os dados do desenvolvimento do tomateiro nos permitem nos revela uma resposta alterada no crescimento nos mutantes *au* e *dgt* em função da omissão dos macronutrientes, onde os fotorreceptores podem ser parte da sinalização luminosa durante a nutrição, bem como o estresse nutricional em tomate.

REFERÊNCIAS

Auge G.A., M.L. Rugnone, L.E. Cortés, C.V. González, G. Zarlavsky, H.E. Boccalandro and R.A. Sánchez: Phytochrome A increases tolerance to high evaporative demand. *Plant Physiol.*, 146, 228-235 (2012).

CARVALHO, R.F. et al. The role of phytochrome in stress tolerance. *Journal of Integrative Plant Biology*, v.53, n.12, p.920-929, 2011.

CHEN, M.; CHORY, J.; FANKHAUSER, C. Light signal transduction in higher plants. *Annual Review Genetics*, v.38, p.87-117, 2004.

DORENSTOUTER H, PIETERS GA & FINDENEGER GR Distribution of magnesium between chlorophyll and other photosynthetic functions in magnesium deficient sun and shade leaves of poplar. *Journal Plant Nutrition*, 8: 1088-1101, 1985

Goud K.V. and R. Sharma: Retention of photoinduction of cytosolic enzymes in aurea mutant of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Plant Physiol.*, 105, 643-650 (1994).

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. The water culture method for growing plants without soils. Berkeley: California Agricultural Experimental Station, 1950, p. 347.

KENDRICK, R.E. et al. Photomorphogenic mutants of tomato. *Plant Cell and Environment*, v.20, p.746-751, 1997.

LIU YS, ROOF S, YE ZB, BARRY C, VAN TUINEN A, VREBALOV J, BOWLER C, GIOVANNONI J: Manipulation of light signal transduction as a means of modifying fruit nutritional quality in tomato. *Proc Natl Acad Sci USA* 2004, 101:9897-9902.

MARTÍ, E.; GISBERT, C.; BISHOP, G.J.; DIXON, M.S. Genetic and physiological characterization of tomato cv. Micro-Tom. *Journal of Experimental Botany*, Madison, v.57, p.2037-2047, 2006.

MELO, H. C.; CASTRO, E. M.; SOARES, A. M.; OLIVEIRA, C.; RAMOS, S. J. Características fisiológicas de microtomateiros fitocromo-mutantes. *Ciência e Agrotecnologia*, v.33, p. 1213-1219, 2009.

MEISSNER, R.; JACOBSON, Y.; MELAMED, S.; LEVYATUV, S.; SHALEY, G.; ASHRI, A.; ELKIND, Y.; LEVY, A. A new model system for tomato genetics. *Plant Journal*, Shannon, v.12, p.1465-1472, 1997.

MURAMOTO T, KAMI K, KATAOKA H, IWATA N, LINLEY PJ, MUKOUGAWA K, YOKOTA A, KOHCHI T. The tomato photomorphogenic mutant, aurea, is deficient in phytochromobilin synthase for phytochrome chromophore biosynthesis. *Plant Cell Physiol* 2005, 46:661-665.

PETERS, J.L.; SZELL, M.; KENRICK, R.E. The expression of light-regulated genes in the high-pigment1 mutant of tomato. *Plant Physiology*, Washington, v.117, p.797-807, 1998.

PRATT, L.H.; CORDONNIER-PRATT, M.M.; KELMENSEN, P.M.; LAZAROVA, G.I.; KUBOTA, T.; ALBA, R.M. The phytochrome gene family in tomato (*Solanum lycopersicon* L.). *Plant Cell and Environment*, v.20, p.672-677, 1997.

SCHITTENHELM, S.; MENGE-HARTMANN, U.; OLDENBURG, E. Photosynthesis, carbohydrate metabolism, and yield of Phytochrome-B-Overexpressing potatoes under different light regimes. *Crop Science*, Madison, v.44, p.131-143, 2004.

SHARMA, R.; LÓPEZ-JUEZ, E.; NAGATANI, A.; FURUYA, M. Identification of photo-inactive phytochrome A in etiolated seedlings and photoactive phytochrome B in green leaves of aurea mutant of tomato. *Plant Journal*, Shannon, v.4, p.1035-1042, 1993.

TERRY, M.J.; KENDRICK, R.E. The aurea and yellowgreen-2 mutants of tomato are deficient in phytochrome chromophore synthesis. *Journal of Biological Chemistry*, v.271, n.35, p.21681-21686, 1996.



Tabela 1. Índice de cor ver (ICV), matéria seca da raiz (MSR) e matéria seca da parte aérea (MSPA) de tomates MT, *au* e *hp* sob solução completa ou deficiente (-).

Solução de nutrientes	ICV			MSR			MSPA		
	MT	<i>hp</i>	<i>au</i>	MT	<i>hp</i>	<i>au</i>	MT	<i>hp</i>	<i>au</i>
Completa	44,6 ^B	67,6 ^A	31,2 ^B	0,53	0,46	0,51	3,56 ^A	2,38 ^B	3,01 ^A
-N	28,8 ^A	12,7 ^{*B}	10,0 ^{*B}	0,47 ^B	0,67 ^{*A}	0,46 ^B	2,71	2,43	2,09 [*]
-P	34,2 ^B	67,6 ^A	21,7 ^B	0,63	0,54	0,58	2,72	2,97	2,60
-K	36,9 ^A	20,8 ^{*B}	23,1 ^{AB}	0,25 [*]	0,22 [*]	0,30 [*]	1,35 [*]	1,54	1,91 [*]
-Ca	51,1 ^A	49,1 ^{*A}	31,7 ^B	0,27 [*]	0,26 [*]	0,36	1,58 [*]	1,87	1,65 [*]
-Mg	16,7 [*]	11,5 [*]	5,7 [*]	0,29 ^{*A}	0,14 ^{*B}	0,29 ^{*A}	1,74 [*]	1,09 [*]	1,21 [*]
-S	54,5 ^A	35,6 ^{*B}	21,3 ^B	0,33 [*]	0,30	0,25 [*]	1,90 [*]	1,92	2,20

Média marcada com asterisco na coluna indica que existe diferença significativa entre o tratamento nutricional e a solução completa, e letras diferentes na linha indicam que existe diferença significativa entre os genótipos de acordo com o teste de Tukey a $p < 0,05$.

Tabela 2- Índice de cor verde (ICV) e matéria seca das raízes e da parte aérea de mutantes fotomorfogênicos de tomateiro comparados ao cultivar não mutado (MT) sob omissão de macronutrientes em cultivo hidropônico.

Fontes de variação	ICV	Matéria seca (mg planta ⁻¹)	
		Raiz	Parte aérea
Genótipo (G)			
MT	38,11	0,39	2,22
<i>hp</i>	37,83	0,37	2,03
<i>au</i>	20,65 ^{**}	0,39	2,09
DMS	5,40	0,05	0,26
Omissão (O)			
Completo	47,83	0,50	2,98
-N	17,14 ^{**}	0,53	2,40 ^{**}
-P	41,19	0,58	2,76
-K	26,90 ^{**}	0,26 ^{**}	1,60 ^{**}
-Ca	43,95	0,30 ^{**}	1,70 ^{**}
-Mg	11,27 ^{**}	0,25 ^{**}	1,34 ^{**}
-S	37,12 ^{**}	0,29 ^{**}	2,00 ^{**}
DMS	10,46	0,10	0,50
-----Teste F-----			
G	39,47 ^{**}	0,76 ^{ns}	1,69 ^{ns}
O	33,28 ^{**}	39,60 ^{**}	28,65 ^{**}
G x O	7,56 ^{**}	3,13 ^{**}	2,74 ^{**}
C.V (%)	26,1	20,8	19,0

^{**}, ^{*} e NS - Significativo a 1% e 5% de probabilidade, e não significativo, respectivamente.