

Notas Científicas

Carotenoides em grãos de milho verde após a aplicação de herbicidas pós-emergentes

Sara de Almeida Rios⁽¹⁾, Maria Cristina Dias Paes⁽²⁾, Décio Karam⁽²⁾, Aluizio Borém⁽¹⁾ e Wilton Soares Cardoso⁽¹⁾

⁽¹⁾Universidade Federal de Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs, s/nº, CEP 36570-000 Viçosa, MG. E-mail: sarariosss@yahoo.com.br, borem@ufv.br, wiltonscardoso@yahoo.com.br ⁽²⁾Embrapa Milho e Sorgo, Caixa Postal 285, CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG. E-mail: mcdpaes@cnpmc.embrapa.br, karam@cnpmc.embrapa.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de herbicidas pós-emergentes no teor de carotenoides em grãos de milho verde. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado com cinco tratamentos – sem aplicação; foramsulfuron + iodossulfuron-methyl-sodium (40 g ha⁻¹); nicosulfuron (20 g ha⁻¹); mesotrione (120 g ha⁻¹) e tembotrione (100 g ha⁻¹) – e duas repetições. Os grãos foram avaliados para teores de luteína, zeaxantina, betacriptoxantina, alfacaroteno e betacaroteno, carotenoides pró-vitamina A, carotenoides totais e percentuais de luteína, zeaxantina e carotenoides pró-vitamina A. Os herbicidas tembotrione e o nicosulfuron não causaram efeitos deletérios nos teores de carotenoides totais ou nas frações com atividade pró-vitamina A.

Termos para indexação: *Zea mays*, planta daninha, vitamina A, xantofila.

Carotenoids in green corn grains after post-emergence herbicide application

Abstract – The objective of this work was to evaluate the effect of post-emergence herbicide application on carotenoid content in green corn grains. A completely randomized design was used, with five treatments – no application; foramsulfuron + iodossulfuron-methyl-sodium (40 g ha⁻¹); nicosulfuron (20 g ha⁻¹); mesotrione (120 g ha⁻¹) and tembotrione (100 g ha⁻¹) –, and two replicates. The grains were evaluated in terms of lutein, zeaxanthin, beta-cryptoxanthin, alpha-carotene and beta-carotene, pro-vitamin A carotenoids, total carotenoid contents, and percentage of lutein, zeaxanthin and pro-vitamin A carotenoids. Tembotrione and nicosulfuron herbicides did not cause deleterious effects on total carotenoids or fractions with pro-vitamin A activity.

Index terms: *Zea mays*, weed, vitamin A, xanthophyll.

O controle de plantas daninhas é uma prática importante para a obtenção de altos rendimentos em qualquer exploração agrícola, uma vez que a busca por produtividade e rentabilidade de grandes culturas esbarra na interferência das plantas daninhas, as quais tendem a aumentar o custo de produção, reduzir as margens de lucro e diminuir a qualidade do produto (Constantin & Oliveira, 2005).

A cultura do milho, apesar de ser considerada de boa capacidade competitiva e enquadrar-se entre o grupo de culturas que mais sombreiam o solo, sofre intensa interferência das plantas daninhas, com sérios prejuízos no crescimento, na produtividade e na operação de colheita (López-Ovejero et al., 2003; Nicolai et al., 2006). Portanto, o uso de herbicidas apresenta-se como uma necessidade de ordem econômica, que garante rapidez e eficiência no controle das plantas daninhas.

Alguns grupos químicos, recomendados para o controle de invasoras na cultura do milho, a exemplo das tricetonas, atuam na inibição da biossíntese de carotenoides (Karam & Cruz, 2004). A inibição é indireta, causada pela depleção do cofator da enzima fitoeno desidrogenase, catalizadora da reação de conversão do fitoeno em fitoflueno, necessária à produção do licopeno, que é precursor dos carotenoides presentes no milho (Schulz et al., 1993). Isso pode trazer preocupações para programas de melhoramento de milho que visem o aumento ou a manutenção de carotenoides nos grãos, a exemplo da biofortificação, alternativa complementar às ações nutricionais existentes para o combate às deficiências nutricionais, principalmente a hipovitaminose A (Handelman et al., 1999; Qaim et al., 2007).

Os carotenoides presentes nos grãos de milho dividem-se em carotenos (betacaroteno e alfacaroteno)

e xantofilas (luteína, betacriptoxantina e zeaxantina) e a atividade pró-vitamina A é resultante do betacaroteno e, em menor grau, do alfacaroteno e da betacriptoxantina (Kurilich & Juvik, 1999). Existem poucas informações sobre o efeito dos herbicidas no teor e no perfil desses compostos de reconhecida importância para a saúde humana em grãos de milho verde.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de herbicidas pós-emergentes no teor de carotenoides em grãos de milho verde.

O plantio foi realizado em 2007, na fazenda experimental da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG (19°28'00"S, 44°15'00"W e altitude de 732 m). Utilizou-se o híbrido simples comercial BRS 1030. A adubação utilizada no plantio foi de 400 kg ha⁻¹ de NPK (8-28-16) + Zn e 80 kg ha⁻¹ de N, em cobertura, no estágio de quatro a cinco folhas do milho.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com cinco tratamentos – testemunha, sem aplicação de herbicidas (capina manual na ocasião da aplicação das formulações químicas); foramsulfuron + iodosulfuron-methyl-sodium (40 g ha⁻¹); nicosulfuron (20 g ha⁻¹); mesotrione (120 g ha⁻¹); e tembotrione (100 g ha⁻¹) – e duas repetições. Todas as aplicações químicas continham mistura com atrazine a 1.000 g ha⁻¹, e foram feitas 28 dias após-germinação, quando as plantas de milho estavam no estágio V3 a V4 (Magalhães et al., 1995), utilizando-se um pulverizador costal pressurizado a CO₂ (2,15 kgf cm⁻²), equipado com bico tipo XR-Teejet 110.02 VS, aplicando-se o equivalente a 150 L ha⁻¹ de calda.

Foram colhidas dez espigas, aleatoriamente, em cada parcela experimental no estágio reprodutivo R3 (Magalhães et al., 1995) e acondicionadas em sacos de papel. No laboratório, as espigas foram despalhadas e os grãos foram retirados com auxílio de uma faca com lâmina de aço inoxidável. A amostra composta de grãos das dez espigas de cada repetição do tratamento foi quarteirizada, e a alíquota final triturada em liquidificador. As amostras moídas foram transferidas para frascos de vidro, lacrados com filme parafinado e cobertos com papel alumínio, e armazenadas em freezer a -20°C, até posterior análise química, realizada em duplicata.

As extrações foram realizadas segundo Kurilich & Juvik (1999). Os carotenoides totais (CT) foram quantificados em espectrofotômetro Cary 50 Conc UV-Visible (Varian, Austrália). Os carotenos (alfa

e betacaroteno), as xantofilas (luteína e zeaxantina) e o monohidroxilado (betacriptoxantina) foram quantificados por cromatografia líquida de alta eficiência em cromatógrafo líquido Shimadzu, modelo LC-10, equipado com coluna polimérica YMC C 30 5 µm, 4,6x250 mm, (Waters, Milford, MA, USA), acoplado a detector de arranjo de diodo. O gradiente de eluição foi conduzido a 0,8 mL min⁻¹ em condições de gradiente linear 80:20 a 15:85 de metanol: éter metil tert-butil por 25 min, seguido de 80:20 por 5 min, e finalizado com 6 min de equilíbrio. A temperatura do laboratório foi mantida a 22°C durante todo o processo. Para identificação dos compostos foram utilizados padrões purificados a partir de cenoura e milho verde (Rodriguez-Amaya & Kimura, 2004).

O somatório dos teores de luteína, zeaxantina, betacriptoxantina, alfacaroteno e betacaroteno resultou nos valores de carotenoides totais (CT), e o total de carotenoides com atividade pró-vitamina A (Pro VA) foi obtido por meio do somatório entre o total de betacaroteno + ½ total de alfacaroteno + ½ do total de betacriptoxantina (µg g⁻¹ massa fresca), considerando 100% de atividade provitamina A para betacaroteno e 50% para as outras duas variáveis (Rodriguez-Amaya & Kimura, 2004). Foram determinados os percentuais de contribuição individual das frações e total de Pro VA, em relação ao teor de CT.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade, utilizando-se o Sisvar 5.0 (Ferreira, 2000).

A aplicação dos herbicidas pós-emergentes não influenciou negativamente a composição de carotenoides nos grãos de milho verde, comparados à testemunha sem aplicação (p>0,05) (Tabela 1). O uso de nicosulfuron e tembotrione resultou em médias significativamente superiores de betacaroteno nos grãos de milho verde, comparadas à testemunha sem aplicação. A média dos teores de luteína, em grãos do tratamento com nicosulfuron, foi também significativamente superior em relação à testemunha, e foi significativamente igual aos demais tratamentos. Schulte & Köcher (2009), ao avaliar o mecanismo de ação do tembotrione, relataram que a degradação metabólica desse herbicida é mais rápida para o milho que para outras espécies, o que poderia influenciar positivamente a resposta na biossíntese de carotenoides,

Tabela 1. Teores médios de luteína, zeaxantina, betacriptoxantina, betacaroteno, alfacaroteno, carotenoides provitamina A (Pro VA) e carotenoides totais (CT) e percentuais de luteína, zeaxantina e carotenoides Pro VA, em grãos de milho verde híbrido simples BRS 1030, em razão da aplicação de herbicidas pós-emergentes⁽¹⁾.

Tratamento	Luteína	Zeaxantina	Betacriptoxantina	Betacaroteno	Alfacaroteno	Pro VA	CT	Luteína	Zeaxantina	Pro VA
	- (µg g ⁻¹ amostra fresca) -							- (%) -		
Testemunha (sem aplicação)	0,71b	9,85a	0,77a	0,88c	0,012b	1,27b	12,21a	5,78b	80,67a	10,37ab
Foramsulfuron + iodosulfuron-methyl-sodium (40 g ha ⁻¹)	0,93ab	11,03a	0,77a	0,97bc	0,020ab	1,36ab	13,71a	6,74a	80,46a	9,93b
Nicosulfuron (20 g ha ⁻¹)	0,98a	12,34a	0,78a	1,31a	0,023a	1,71a	15,42a	6,35ab	79,97a	11,09a
Mesotrione (120 g ha ⁻¹)	0,83ab	10,03a	0,64a	1,03bc	0,022ab	1,36ab	12,54a	6,58a	79,97a	10,83a
Tembotrione (100 g ha ⁻¹)	0,80ab	11,37a	0,80a	1,17ab	0,022ab	1,58ab	14,16a	5,61b	80,32a	11,16a
CV (%)	7,72	5,93	6,38	6,48	14,05	6,47	6,01	3,06	0,58	2,10
Média	0,85	10,92	0,75	1,07	0,02	1,45	13,61	6,21	80,28	10,68

⁽¹⁾Médias seguidas de letras iguais, na coluna, não diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

após aplicação desse herbicida, em relação ao uso de outros produtos.

As médias de betacaroteno foram significativamente iguais com aplicação de foramsulfuron + iodosulfuron-methyl-sodium e mesotrione, em relação à testemunha sem aplicação (Tabela 1). Os menores teores de betacaroteno, em relação a esses herbicidas, não parece ser efeito tóxico do produto e sim, resultado do efeito positivo da aplicação de nicosulfuron e tembotrione na biossíntese do betacaroteno (Schulte & Köcher, 2009).

A aplicação de mesotrione promoveu aumento no percentual de luteína, em relação à testemunha sem aplicação química. Kopsell et al. (2009) também relatam aumento nos teores de luteína e zeaxantina em milho, pós-aplicação de mesotrione e atrazina. Esses autores relatam possível aumento do grupo de carotenoides, uma vez que os genótipos de milho verde apresentam danos moderados pós-aplicação com o mesotrione, e supera o estresse oxidativo inicial causado por esse herbicida.

O percentual de luteína foi igual para os tratamentos tembotrione, nicosulfuron e testemunha sem aplicação. Em relação aos demais herbicidas, foram observadas médias superiores para essa característica (Tabela 1). Os percentuais de Pro VA foram significativamente inferiores no tratamento foramsulfuron + iodosulfuron-methyl-sodium, em comparação aos demais herbicidas, porém, foram iguais aos da testemunha sem aplicação.

Ambos herbicidas tembotrione – que inibe a enzima 4-hidroxifenil piruvato dioxigenase, precursora da biossíntese de carotenoides na planta (Schulte & Köcher, 2009) – e o nicosulfuron – que atua na inibição da enzima acetolactato sintase (ALS) (Williams & Pataky, 2008), nas dosagens avaliadas de 100 e 20 g ha⁻¹, respectivamente – não causaram efeitos deletérios aos teores de carotenoides totais e frações com atividade pró-vitáminica A, em grãos do híbrido BRS 1030, e podem ser utilizados sem restrições no manejo da cultura com essa cultivar para a produção de milho verde destinado à alimentação humana.

Porém, a aplicação do herbicida foramsulfuron + iodosulfuron-methyl-sodium reduziu os percentuais de Pro-VA de grãos do milho verde BRS 1030, em comparação aos demais herbicidas, e, portanto, são necessários estudos complementares para melhor entendimento da relação entre herbicidas desse grupo químico e os teores de carotenoides em grãos de milho verde.

Agradecimentos

Ao Programa Harvest Plus e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais pelo apoio financeiro.

Referências

CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA, R.S. Dessecação antecedendo a semeadura direta pode afetar a produtividade. **Informações Agrônomicas**, n.109, p.14-15, 2005.

- FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000. São Carlos. **Programas e resumos**. São Carlos: UFSCar, 2000. p.255-258.
- HANDELMAN, G.J.; NIGHTINGALE, Z.D.; LICHTENSTEIN, A.H.; SCHAEFER, E.J.; BLUMBERG, J.B. Lutein and zeaxanthin concentrations in plasma after dietary supplementation with egg yolk. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.70, p.247-251, 1999.
- KARAM, D.; CRUZ, M.B. **Características do herbicida mesotrione na cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2004. 4p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 52).
- KOPSELL, D.A.; ARMEL, G.R.; MUELLER, T.C.; SAMS, C.E.; DEYTON, D.E.; MCELROY, J.S.; KOPSELL, D.E. Increase in nutritionally important sweet corn kernel carotenoids following mesotrione and atrazine applications. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v.57, p.6362-6368, 2009.
- KURILICH, A.C.; JUVIK, J.A. Quantification of carotenoid and tocopherol antioxidants in *Zea mays*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.47, p.1948-1955, 1999.
- LÓPEZ-OVEJERO, R.F.; FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D.; GARCÍA Y GARCÍA, A.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Seletividade de herbicidas para a cultura de milho (*Zea mays*) aplicados em diferentes estádios fenológicos da cultura. **Planta Daninha**, v.21, p.413-419, 2003.
- MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M.; PAIVA, E. **Fisiologia da planta de milho**. Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS, 1995. 27p. (Embrapa-CNPMS. Circular técnica, 20).
- NICOLAI, M.; CARVALHO, S.J.P. de; LÓPEZ-OVEJERO, R.F.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Aplicação conjunta de herbicidas e inseticidas na cultura do milho. **Bragantia**, v.65, p.413-420, 2006.
- QAIM, M.; STEIN, A.J.; MEENAKSHI, J.V. Economics of biofortification. **Agricultural Economics**, v.37, p.119-133, 2007.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D.B.; KIMURA, M. **HarvestPlus handbook for carotenoid analysis**. Washington: International Food Policy Research Institute; Cali: International Center for Tropical Agriculture, 2004. 58p. (HarvestPlus technical monograph, 2).
- SCHULTE, W.; KÖCHER, H. Tembotrione and combination partner isoxadifen-ethyl – mode of herbicidal action. **Bayer CropScience Journal**, v.62, p.35-52, 2009.
- SCHULZ, A.; ORT, O.; BEYER, P.; KLEINIG, H. SC-0051, A 2-benzoyl-cyclohexane-1,3-dione bleaching herbicide, is a potent inhibitor of the enzyme *p*-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase. **FEBS Letters**, v.318, p.162-166, 1993.
- WILLIAMS, M.M.; PATAKY, J.K. Genetic basis of sensitivity in sweet corn to tembotrione. **Weed Science**, v.56, p.364-370, 2008.

Recebido em 2 de julho de 2009 e aprovado em 9 de dezembro de 2009