

HERANÇA DA RESISTÊNCIA DE *Lolium multiflorum* AO IODOSULFURON-METHYL SODIUM¹

*Inheritance of Resistance of *Lolium multiflorum* to Iodosulfuron- Methyl Sodium*

MARIANI, F.², VARGAS, L.³, AGOSTINETTO, D.³, SILVA, D.R.O.⁴, FRAGA, D.S.³ e SILVA, B.M.³

RESUMO - Populações de azevém resistente aos inibidores da enzima ALS têm aumentado rapidamente nos campos cultivados. Para o manejo da resistência, são necessários estudos de herança da resistência, os quais permitem entender a evolução da resistência, a estrutura genética da população e a dinâmica de adaptação dos biótipos resistentes. Este trabalho teve como objetivo identificar o tipo de herança, o número de genes envolvidos e o grau de resistência dos biótipos de azevém, homozigotos e heterozigotos, resistentes ao iodosulfuron. A partir da seleção dos biótipos homozigoto resistente (R) e homozigoto suscetível (S), foram realizados cruzamentos (R x S) para obtenção de plantas F1, e estas, cruzadas para obtenção da F2, e realizaram-se retrocruzamentos entre plantas F1 e os respectivos genitores masculinos e femininos resistentes (RCr) e sensíveis (RCs). As sementes F1, F2, RCr, RCs e dos genitores foram semeadas em bandejas e avaliadas, com aplicação do iodosulfuron, quanto à sua suscetibilidade ou resistência. Plantas F1 e dos genitores foram tratadas com doses crescentes do herbicida. A avaliação de controle dessas plantas pelo iodosulfuron foi feito por meio de notas (0 a 100), referentes aos sintomas de intoxicação e pela massa da matéria seca da parte aérea acumulada. Os genitores masculino ou feminino transmitiram a característica para a prole, sendo esta 100% resistente, indicando gene de resistência dominante. A geração F2 apresentou segregação 3:1 resistente/suscetível, confirmando a característica de dominância. O teste de dominância das plantas F1 evidenciou que as plantas homozigotas resistentes e as heterozigotas apresentam grau de resistência semelhante. Conclui-se que a resistência do azevém ao iodosulfuron é codificada por gene dominante nuclear com dominância completa.

Palavras-chave: *Lolium* spp., genética, herbicida.

ABSTRACT - Ryegrass populations resistant to ALS enzyme inhibitors have increased rapidly in cultivated fields. For resistance management, are necessary resistance inheritance studies, which allow us to understand the evolution of resistance, the genetic structure of the population and the dynamic adaptation of resistant biotypes. This study aimed to identify the type of inheritance, the number of genes involved and the degree of resistance of ryegrass biotypes, homozygous and heterozygous resistant iodosulfuron. From the selection of resistant biotypes homozygous (R) and susceptible homozygous (S), crosses were performed (R x S) to obtain the F1 and these crossed to obtain F2, and backcross were held between F1 plants and their parents male and female resistant (RCr) and sensitive (Rcs). The F1 seed, F2, RCr, RCs and parents were sown in trays and evaluated, with application of iodosulfuron, as to their susceptibility or resistance. F1 plants and parents were treated with increasing doses of the herbicide. The control of these plants by iodosulfuron was made by way of notes (0 to 100), referring to the symptoms of intoxication and dry matter accumulated shoot. The male or female parents passed on the trait to offspring, which is 100% resistant, indicating dominant gene resistance. The F2 generation presented segregation 3:1 resistant/susceptible, confirming the dominance of feature. The F1 plants dominance test showed that the resistant homozygous plants and heterozygous present similar resistance level. We conclude that the ryegrass resistance to iodosulfuron is encoded by nuclear dominant gene with complete dominance.

Keywords: *Lolium* spp., genetics, herbicide.

¹ Recebido para publicação em 28.9.2014 e aprovado em 29.1.2014.

² Instituto Federal do Rio Grande do Sul, Campus Sertão, Sertão-RS, Brasil, <marianifranciele@gmail.com>; ³ Embrapa Trigo, Passo Fundo-RS, Brasil; Universidade Federal de Pelotas Pelotas-RS, Brasil; ⁴ Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, Brasil.



INTRODUÇÃO

Os herbicidas inibidores da enzima ALS atuam bloqueando o acesso do substrato ao sítio ativo desta enzima, impedindo a síntese dos aminoácidos de cadeia ramificada (Duggleby et al., 2008). Por haver no mercado grande número de herbicidas inibidores da ALS e por serem efetivos no controle de diversas espécies de plantas daninhas, a utilização repetida de herbicidas desse grupo tem resultado na seleção de biótipos resistentes de diversas espécies (Tranel & Whright, 2002), como é o caso do azevém resistente aos inibidores da enzima ALS, selecionado, principalmente, pelo uso contínuo do herbicida iodosulfuron em culturas anuais, como o trigo.

Os fatores que influenciam a rápida evolução da resistência são os ligados à genética, como a frequência inicial de genes resistentes, o número de genes envolvidos com a resistência, a dominância do gene e o custo de adaptação dos genes de resistência (Powles & Yu, 2010). Outros fatores, como alta eficiência dos herbicidas para os biótipos sensíveis e atividade residual no solo, contribuem para o aumento de casos de resistência (Tranel & Wright, 2002). Em populações de *L. rigidum*, a alta frequência inicial de indivíduos resistentes aos herbicidas inibidores da enzima ALS que nunca antes foram expostos a esses herbicidas também ajuda a explicar a rápida evolução da resistência (Preston & Powles, 2002).

Estudos de herança em espécies resistentes aos inibidores da enzima ALS têm mostrado que a resistência é controlada por um único gene nuclear com incompleta (Boutsalis & Powles, 1995) ou completa dominância (Wang et al., 2003); também foi encontrada a resistência controlada por um único gene semidominante. Em estudo com *Monochoria vaginalis*, os resultados sugerem que a resistência é controlada por um único gene nuclear, com resistência dominante em baixas doses e suscetibilidade dominante em altas doses (Imaizumi et al., 2008). O grau de dominância pode estar relacionado com o genótipo, como observado em espécies diploides, onde os alelos de resistência aos inibidores da ALS são dominantes sobre espécies suscetíveis em doses de campo recomendadas

e os heterozigotos sobrevivem à dose normal de campo, facilitando a rápida disseminação dos alelos de resistência (Yu & Powles, 2014).

Quando herdada por genes nucleares, a resistência evolui rapidamente, e o processo é acelerado quando o alelo de resistência possui característica dominante (Mithila & Godar, 2013). Com o aumento dos casos de azevém resistente aos inibidores da enzima ALS, a caracterização da resistência, quanto ao número de genes e tipo de herança, é fundamental para que técnicas de manejo sejam recomendadas e utilizadas no sentido de evitar e/ou retardar o aparecimento e a multiplicação das plantas resistentes (Vargas et al., 2001). Portanto, o objetivo deste estudo foi identificar o tipo de herança, o número de genes envolvidos e o grau de resistência dos biótipos de azevém, homozigotos e heterozigotos, resistentes ao herbicida iodosulfuron-methyl sodium.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nos anos de 2011, 2012 e 2013. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado.

Os biótipos utilizados foram oriundos das cidades de Joia (resistente) - 28° 38' 51''S e 54° 07' 21''O e Pelotas (suscetível) - 31° 48' 04''S e 52° 24' 50''O. As sementes produzidas foram semeadas, a fim de comprovar que os biótipos são homozigotos resistentes e suscetíveis ao herbicida. Para isso, foram semeadas 10 sementes de cada genitor em bandeja; quando as plantas atingiram estágio de 3 a 4 folhas, foi realizada a aplicação de iodosulfuron-methyl sodium na dose de 7 g ha⁻¹. Os genitores que tiveram as plantas sobreviventes foram considerados em homozigose para a resistência, e aqueles em que todas as plantas morreram foram considerados homozigotos suscetíveis. Para realizar os cruzamentos, selecionaram-se seis genitores homozigotos resistentes e seis genitores homozigotos suscetíveis e foram constituídos seis pares (R x S).

Sementes de cada genitor foram semeadas em vasos contendo 5,0 L do substrato comercial Germina Plant®, sendo realizado desbaste após a emergência, deixando-se uma

planta por vaso. Um vaso contendo o genitor resistente e outro com o genitor suscetível foram colocados em estufas individualizadas e vedadas, para evitar contaminações com pólen externo. Dessa forma, foi aceito que os genitores foram polinizados somente com pólen oriundo de seu par, obtendo-se a F1. Sementes F1 foram semeadas em vasos, e as plantas originadas destas sementes foram cruzadas para obtenção da F2. Por fim, foram selecionados três pares de genitores e realizados retrocruzamentos entre plantas F1 e os respectivos genitores masculinos e femininos resistentes (RCr) e sensíveis (RCs).

As sementes F1, F2, RCr e RCs e dos genitores foram semeadas em bandejas com 5,0 kg de solo. Foi avaliada a suscetibilidade ou resistência das plantas oriundas dessas sementes ao iodosulfuron após aplicação desse herbicida na dose de 5 g ha⁻¹. Além disso, foram semeadas em bandejas, com três repetições, sementes F1 e dos genitores resistente e suscetível. As plantas originadas dessas sementes foram tratadas com doses crescentes de iodosulfuron (0, 0,88, 1,75, 3,5 e 7 g ha⁻¹), sendo a dose de 3,5 g ha⁻¹ registrada para o controle do azevém.

As variáveis avaliadas foram eficiência de controle das plantas (C) e massa da matéria seca da parte aérea (MMSPA). O C foi avaliado

aos 14, 21 e 28 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT), adotando-se a escala percentual, em que 0 e 100 corresponderam à ausência de dano e à morte de plantas, respectivamente. A MMSPA foi determinada após avaliação do controle pela secagem do material vegetal em estufa à temperatura de 60 °C, até atingir massa constante. Os dados obtidos foram analisados quanto à homocedasticidade e, posteriormente, submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$) pelo programa SAS 9.3. Quando significativas, as doses foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). As frequências de suscetibilidade ou resistência observadas e esperadas foram avaliadas pelo teste de hipóteses de qui-quadrado (χ^2) ($p \leq 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para todas as frequências, foram aceitas as hipóteses de igualdade entre os números observados e esperados, ou seja, os desvios obtidos não foram significativos (Tabela 1). Os genitores resistentes (R) e suscetíveis (S) confirmaram, respectivamente, sua resistência e sensibilidade ao herbicida.

No primeiro cruzamento simples (S x R), o F1 apresentou-se totalmente resistente, evidenciando que o genitor masculino transmitiu a característica de resistência para a prole

Tabela 1 - Avaliação da segregação de cruzamentos simples, retrocruzamentos e cruzamentos recíprocos entre plantas de azevém suscetíveis (S) e resistentes (R) ao herbicida iodosulfuron-methyl sodium. Embrapa Trigo, Passo Fundo-RS, 2013

Cruzamento	Número de plantas	R	S	Frequência		χ^2 *	Probabilidade ^{1/} (%)
				Esperada	Observada		
S	6	-	6	-	-	-	-
R	6	6	-	-	-	-	-
SxR ^{2/}							
F1	68	68	0	1:0	1:0	0,00 ^{1/}	100
F2	70	48	22	3:1	2,2:1	1,54	21
RCr	20	19	1	1:0	19:0	0,05	82
RCs	22	12	10	1:1	1,2:0	0,18	67
RxS ^{3/}							
F1	45	45	0	1:0	1:0	0,00	100
F2	81	59	22	3:1	2,7:1	0,20	65
RCr	56	50	6	1:0	8,3:0	0,64	42
RCs	19	12	7	1:1	1,7:1	1,31	25

* Qui-quadrado calculado — fornece a probabilidade de as diferenças entre a frequência esperada e a observada serem devidas ao acaso ($p \leq 0,05$). Graus de liberdade = 1. ^{1/} Obtida através do software Genes (UFV) quando χ^2 possuem distribuição normal ($p \leq 0,05$). ^{2/} SxR significa que o biótipo suscetível é o progenitor feminino; ^{3/} RxS significa que o biótipo resistente é o progenitor feminino.



(Tabela 1). A geração F2 apresentou segregação resistente/suscetível de 2,2:1, com teste χ^2 fornecendo probabilidade de 21% de ser de 3:1. O RCr mostrou probabilidade de 82% de ser de 1:1, e a segregação apresentou uma planta suscetível das 20 testadas. O RCs apresentou segregação resistente/suscetível de 1,2:1, quando o esperado era 1:1, com probabilidade de 67% de ser de 1:1. Considerando que a característica é transmitida via pólen e o azevém possui fecundação cruzada, a disseminação da resistência é rápida na população (Mithila & Godar, 2013).

No segundo cruzamento simples (R x S), a geração F1, como no primeiro cruzamento, mostrou-se totalmente resistente, indicando que a resistência também é transmitida hereditariamente pelo genitor feminino e, novamente, que ela é característica dominante. A F2 apresentou segregação resistente/suscetível de 2,7:1, com probabilidade de 65% de ser de 3:1. Na segregação do RCr foram testadas 56 plantas, das quais 50 foram resistentes; a segregação esperada era de 1:0 resistente/suscetível, com probabilidade de 42% de ser a esperada. No RCs a segregação observada foi de 1,7:1, e a esperada era de 1:1, com probabilidade de 25% de ser a esperada. Quando a resistência é transmitida pelos genes do citoplasma, apenas o genitor feminino transmite a característica da resistência para a prole, como no caso das triazinas (Vargas et al., 2007). Comparada a transmissão via pólen, a característica herdada matematicamente possui disseminação lenta na população (Mithila & Godar, 2013).

A geração F1, em ambos os cruzamentos, mostrou-se totalmente resistente ao herbicida, evidenciando que a resistência é característica dominante transmitida hereditariamente tanto pelo genitor masculino quanto pelo feminino, ou seja, a resistência é transmitida por genes nucleares, sendo esses resultados confirmados pelos retrocruzamentos.

A F2 apresentou tendência para o padrão de segregação de 3:1 em ambos os cruzamentos, indicando que a resistência é codificada por gene dominante. Esses resultados são semelhantes aos obtidos para diferentes espécies de plantas aos herbicidas inibidores

da ALS (Boutsalis & Powles, 1995; Vargas et al., 2001; van Eerd et al., 2004). Para explicar a rápida evolução dos inibidores da ALS em populações de *Solanum ptychanthum*, governados por gene de resistência nuclear com dominância incompleta, estudos de similaridade demonstraram que a pressão de seleção e o fluxo de genes contribuem para o rápido aumento da resistência (Ashigh et al., 2008). Outra característica que influencia na evolução da resistência é o número de genes envolvidos: quando apenas um gene está envolvido, chamada de monogênica, a disseminação é rápida na população (Vargas et al., 2007).

Houve efeito significativo da interação entre biótipos (suscetível, heterozigoto e resistente) e doses do herbicida para todas as variáveis avaliadas ($p \leq 0,05$) (Tabela 2). Os resultados evidenciam que as plantas homozigotas resistentes e as heterozigotas apresentam grau de resistência semelhante, pois até a máxima dose (7 g ha^{-1}) não são controladas pelo herbicida. Já as plantas suscetíveis mostraram redução de acúmulo de MMSPA a partir da menor dose do herbicida ($0,88 \text{ g ha}^{-1}$). Estas plantas, quando pulverizadas com doses a partir da dose de registro ($3,5 \text{ g ha}^{-1}$), apresentam controle acima de 60%. Quando resistente ao glyphosate, a característica da resistência ao herbicida em azevém é codificada por gene nuclear semidominante, sendo o biótipo heterozigoto sensível ao herbicida (Vargas et al., 2007).

Aos 14 DAT, os biótipos diferiram apenas na dose de $0,88 \text{ g ha}^{-1}$ do herbicida, com maior controle para o biótipo suscetível e menor para o heterozigoto (Tabela 2). Aos 21 DAT, observou-se diferença entre biótipos para todas as doses, sendo o maior controle para o biótipo suscetível, o menor, para o resistente, e o intermediário, para o heterozigoto. Contudo, aos 28 DAT, o controle e a redução da MMSPA foram maiores para o biótipo suscetível e não diferiram entre o resistente e o heterozigoto, comprovando a dominância para resistência das plantas F1.

Esperava-se controle maior para o biótipo suscetível, sendo necessário para isso maior tempo de avaliação. Os sintomas característicos dos inibidores de ALS são clorose do tecido

Tabela 2 - Avaliação do controle e MMSPA (%), em função da aplicação de doses crescentes do herbicida iodosulfuron-methyl sodium em biótipos de azevém suscetível, heterozigoto (F1) e resistente, em casa de vegetação. Embrapa Trigo, Passo Fundo-RS, 2013

Iodosulfuron (g ha ⁻¹)	Suscetível	Heterozigoto	Resistente
Controle (%) - 14 DAT			
0,00	0 c ^{L/ ns}	0 c	0 b
0,88	25 bA	10 bcB	14 abAB
1,75	20 b ^{ns}	22 ab	19 a
3,50	25 ab ^{ns}	22 ab	12 ab
7,00	35 a ^{ns}	27 a	23 a
Controle (%) - 21 DAT			
0,00	0 c ^{ns}	0 b	0 b
0,88	30 bA	18 aAB	10 abB
1,75	40 abA	26 aAB	16 abB
3,50	45 abA	30 aAB	17 abB
7,00	48 aA	33 aAB	24 aB
Controle (%) - 28 DAT			
0,00	0 c ^{ns}	0 b	0 ^{ns}
0,88	20 c ^{ns}	18 ab	5
1,75	48 bA	20 abB	5 B
3,50	62 abA	20 abB	8 B
7,00	80 aA	32 aB	19 B
MMSPA (%)			
0,00	100 a ^{ns}	100 a	100 a
0,88	35 bB	83 abcA	87 abA
1,75	21 bB	90 abA	83 abA
3,50	20 bB	52 cAB	77 abA
7,00	17 bB	60 bcA	62 bA

^{L/} Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ^{ns} não significativo ($p \leq 0,05$). DAT: dias após a aplicação do herbicida. MMSPA: massa da matéria seca da parte aérea.

meristemático, seguida de necrose; a morte da planta pode levar várias semanas. Dessa forma, evidencia-se que a resistência apresentada pelos biótipos de azevém é codificada por gene nuclear com dominância completa. As características com herança do tipo nuclear têm disseminação rápida na população, via pólen, em espécies com alta taxa de fecundação cruzada, como é o caso do azevém. Como exemplo, é possível citar o caso de *L. rigidum*, em que mais de 95% de 362 populações amostradas, na Austrália, possuem plantas resistentes aos inibidores da ALS (Owen et al., 2014). Quando o mecanismo de resistência envolvido ocorre pela mutação na enzima-alvo, a resistência é, pelo menos, parcialmente dominante, com gene de herança nuclear transmitido por ambos: sementes e pólen

(Tranel & Whright, 2002). Além disso, na maioria dos casos, não são observados custos para o gene de resistência na ausência do herbicida, o que auxilia na compreensão do motivo da rápida evolução das populações resistentes a esses herbicidas (Yu et al., 2010; Li et al., 2013).

A resistência dos genótipos heterozigotos tem implicações práticas importantes em lavouras infestadas com essas plantas, pois o aumento da dose de iodosulfuron não resultará em controle e somente os biótipos suscetíveis serão controlados, selecionando a população dos genótipos resistentes e heterozigotos na área. Estratégias de manejo pró-ativas, como rotação de culturas e uso de herbicidas com diferentes mecanismos de ação, devem compor as estratégias de manejo para retardar a evolução da resistência (Mithila & Godar, 2013). Quando a resistência já ocorreu no campo, medidas reativas devem ser tomadas para evitar a propagação da resistência, entre elas a redução do banco de sementes (Mithila & Godar, 2013). Na Austrália, onde o azevém tem ameaçado as lavouras para produção de trigo, programas de manejo visando à eliminação de sementes resistentes durante a colheita da cultura têm apresentado benefícios significativos e servem como exemplo para o uso sustentável e continuado do controle químico (Wash & Powles, 2014).

Estratégias semelhantes devem ser adotadas por produtores brasileiros, considerando que a resistência do azevém ao herbicida iodosulfuron é codificada por gene dominante nuclear com dominância completa e a evolução da resistência ocorre rapidamente na população.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos de doutorado.

LITERATURA CITADA

ASHIGH, J.; RAJCAN, I.; TARDIF, F. J. Genetics of resistance to acetohydroxyacid synthase inhibitors in populations of eastern black nightshade (*Solanum ptychanthum*) from Ontario. **Weed Sci.**, v. 56, n. 2, p. 210-215, 2008.



- BOUTSALIS, P.; POWLES, S. B. Inheritance and mechanism of resistance to herbicides inhibiting acetolactate synthase in *Sonchus oleraceus* L. **Theor. Appl. Gen.**, v. 91, n. 2, p. 242-7, 1995.
- DUGGLEBY, R. G.; MCCOURT, J. A.; GUDDAT, L. W. Structure and mechanism of inhibition of plant acetohydroxyacid synthase. **Plant Physiol. Biochem.**, v. 46, n. 3, p. 309-324, 2008.
- HEAP, I. **The international survey of herbicide resistant weeds**. Disponível em: <<http://www.weedscience.org>>. Acesso em: 5 fev. 2014.
- IMAZUMI, T.; WANG, G. X.; TOMINAGA, T. Inheritance of sulfonylurea resistance in *Monochoria vaginalis*. **Weed Res.**, v. 48, n. 5, p. 448-454, 2008.
- LI, M. et al. ALS herbicide resistance mutations in *Raphanus raphanistrum*: evaluation of pleiotropic effects on vegetative growth and ALS activity. **Pest Manag. Sci.**, v. 69, n. 6, p. 689-695, 2013.
- MITHILA, J.; GODAR, A. S. Understanding genetics of herbicide resistance in weeds: implications for weed management. **Adv. Crop Sci. Technol.**, v. 1, n. 4, p. 1-3, 2013.
- NEVE, P.; VILA-AIUB, M. M.; ROUX, F. Evolutionary-thinking in agricultural weed management. **New Physiol.**, v. 184, n. 4, p. 783-793, 2009.
- OWEN, M. J.; MARTINEZ, N. J.; POWLES, S. B. Multiple herbicide-resistant *Lolium rigidum* (annual ryegrass) now dominates across the Western Australian grain belt. **Weed Res.**, v. 54, n. 3, p. 314-324, 2014.
- POWLES, S. B.; YU, Q. Evolution in action: plants resistant to herbicides. **Ann. Rev. Plant Biol.**, v. 61, n. s/n, p. 317-347, 2010.
- PRESTON, C.; POWLES, S. B. Evolution of herbicide resistance in weeds: initial frequency of target site-based resistance to acetolactate synthase-inhibiting herbicides in *Lolium rigidum*. **Heredity**, v. 88, n. 1, p. 8-13, 2002.
- TRANDEL, P. J.; WRIGHT, T. R. Resistance of weeds to ALS inhibiting herbicides: what have we learned? **Weed Sci.**, v. 50, n. 6, p. 700-712, 2002.
- VAN EERD, L. L. et al. Resistance to quinclorac and ALS-inhibitor herbicides in *Galium spurium* is conferred by two distinct genes. **Weed Res.**, v. 44, n. 5, p. 355-365, 2004.
- VARGAS, L.; BORÉM, A.; SILVA, A. A. Herança da resistência aos herbicidas inibidores da ALS em biótipos da planta daninha *Euphorbia heterophylla*. **Planta Daninha**, v. 19, n. 3, p. 331-336, 2001.
- VARGAS, L.; MORAES, R. M. A.; BERTO, C. M. Herança da resistência de azevém (*Lolium multiflorum*) ao glyphosate. **Planta Daninha**, v. 25, n. 3, p. 567-571, 2007.
- WALSH, M. J.; POWLES, S. B. Management of herbicide resistance in wheat cropping systems: learning from the Australian experience. **Pestic. Manag. Sci.**, v. 70, n. 9, p. 1324-1328, 2014.
- WANG, G. X. et al. Inheritance of sulfonylurea resistance in a paddy weed, *Monochoria korsakowii*. **J. Pestic. Sci.**, v. 28, n. 2, p. 212-214, 2003.
- YU, Q.; HAN, H.; VILA-AIUB, M. M. AHAS herbicide resistance endowing mutations: effect on AHAS functionality and plant growth. **J. Exper. Bot.**, v. 61, n. 14, p. 3925-3934, 2010.
- YU, Q.; POWLES, S. B. Resistance to AHAS inhibitor herbicides: current understanding. **Pest Manag. Sci.**, v. 70, n. 9, p. 1340-1350, 2014.

