

Primer caso en Europa de resistencia triple a glifosato, auxinas e inhibidores de la ALS en una población de *Bassia scoparia*

First case in Europe of triple resistance to glyphosate, auxins and ALS-inhibitors in a population of *Bassia scoparia*

German Mora^{1,*}, José María Montull¹, José María Llenes², Jordi Recasens¹, Alicia Cirujeda^{3,4}, Ana Isabel Marí⁴ & Joel Torra¹

¹ Dpto. de Ciencia e Ingeniería Forestal y Agrícola. Agrotecnio CERCA Center. Universidad de Lleida, Lleida, España

² Unidad de Malherbología. Dpto. de Acción Climática, Alimentación y Agenda Rural. Generalitat de Catalunya, Lleida, España

³ Departamento de Sistemas Agrícolas, Forestales y Medio Ambiente, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), Zaragoza, España

⁴ Instituto Agroalimentario de Aragón-IA2, CITA Universidad de Zaragoza, España

(*E-mail: german.mora@udl.cat)

<https://doi.org/10.19084/rca.34989>

Recibido/received: 2024.01.15

Aceptado/accepted: 2024.02.28

RESUMEN

Bassia scoparia es una planta anual de la familia *Amaranthaceae* que se encuentra comúnmente en regiones de América del Norte, Asia y Europa. Ha desarrollado resistencia a varios modos de acción herbicida, incluida la resistencia múltiple, lo que dificulta su control y requiere de una gestión integrada para abordar su problemática. En 2022 se recolectaron semillas de plantas de un campo de cereales de invierno bajo siembra directa, procedentes de Guissona (GUI-R) en Cataluña, supervivientes a tratamientos sucesivos con herbicidas auxínicos e inhibidores de la ALS y EPSPS. La población sensible de referencia procedía de Aragón (A17-S), cosechada en el 2017. Se realizaron ensayos de dosis – respuesta, en plántulas con cuatro hojas (BBCH 14), tres modos de acción herbicida diferentes y toma de datos 28 días después del tratamiento. Las dosis evaluadas de herbicidas para las poblaciones R y S, respectivamente, fueron: glifosato (HRAC 9) dosis entre 135 - 2.160 g e.a. ha⁻¹ y 33.75 - 1.080 g e.a. ha⁻¹, valores GR₅₀ de 255 y 129 g e.a. ha⁻¹, RF de 2 y LD₅₀ de 389 y 1.240 g e.a. ha⁻¹ y RF de 3.2 veces; tifensulfuron (HRAC 2) 7.5 - 480 g e.a. ha⁻¹ y 0.24 - 7.5 g e.a. ha⁻¹, valores GR₅₀ de 480 y 3.9 g e.a. ha⁻¹, RF de 123 y LD₅₀ indeterminada por la alta supervivencia de la población R. Actualmente se desarrollan estudios moleculares para dilucidar el mecanismo de resistencia involucrado y ensayos de dosis-respuesta con tres herbicidas auxínicos (HRAC 4): 2,4-D, dicamba y MCPA.

Palabras-clave: glifosato, MCPA, cereales de invierno, siembra directa.

ABSTRACT

Bassia scoparia is an annual plant of the *Amaranthaceae* family commonly found in regions of North America, Asia and Europe. It has developed resistance to several herbicide modes of action, including multiple resistance, making it difficult to control and requiring integrated management to address its problem. In 2022, seeds were collected from plants in a winter cereal field under no-tillage from Guissona (GUI-R) in Catalonia, survivors of successive treatments with auxin herbicides and ALS and EPSPS inhibitors. The sensitive reference population came from Aragon (A17-S), harvested in 2017. Dose-response assays were performed, on seedlings with four leaves (BBCH 14), two different herbicide modes of action and data collection 28 days after treatment. Values for R and S populations, respectively, were: glyphosate (HRAC 9) doses between 135 - 2,160 g a.e. ha⁻¹ and 33.75 - 1,080 g a.e. ha⁻¹, GR₅₀ values of 255 and 129 a.e. ha⁻¹, RF of 2 and LD₅₀ of 389 and 1.240 a.i. ha⁻¹ and RF of 3.2 times; thifensulfuron (HRAC 2) 7.5 - 480 a.i. ha⁻¹ and 0.24 - 7.5 a.i. ha⁻¹, GR₅₀ values of 480 and 3.9 a.i. ha⁻¹, RF of 123 and LD₅₀ undetermined due to high survival of the R population. Molecular studies are currently underway to elucidate the resistance mechanism involved and dose-response assays with three auxin herbicides (HRAC 4): 2,4-D, dicamba and MCPA.

Keywords: glyphosate, MCPA, winter cereals, no-tillage.

INTRODUCCIÓN

Los herbicidas son una de las diversas herramientas del manejo integrado de las malas hierbas, ya que éstas pueden llegar competir con los cultivos por nutrientes, la luz y el agua. El control de las malas hierbas es fundamental para la productividad agrícola, puesto que aumentan los rendimientos de los cultivos y reducen los costes de producción. Sin embargo, el uso indiscriminado de herbicidas plantea serias implicaciones para la agricultura y el medio ambiente, dando lugar al desarrollo de resistencia en las malas hierbas, disminuyendo la eficacia de los herbicidas y generando la necesidad de soluciones más intensivas.

Bassia scoparia (L.) Voss (sin. *Koeleria scoparia* (L.) Schrad.) es una planta herbácea anual perteneciente a la familia de las Amarantáceas. Originaria de Eurasia, ha colonizado diversas regiones del mundo, incluyendo la Península Ibérica. Es una planta C4, con una gran capacidad de adaptación a una amplia gama de condiciones climáticas y tipos de suelos (Kumar & Jha, 2017). Es una planta monoica con polinización cruzada, facilitando su alta variabilidad genética y herencia de la resistencia a herbicidas, debido al flujo genético via polen (Beckie *et al.*, 2016). Su reproducción se produce principalmente a través de semillas (> 100.000 semillas por planta, y persistencia en el suelo inferior a dos años) (Dille *et al.*, 2017), las cuales son dispersadas eficientemente por la acción del viento gracias a la fractura del tallo cuando se alcanza la madurez (planta estepicursora). Esta capacidad de dispersión y su resistencia a herbicidas de uso común, la convierten en una mala hierba problemática en sistemas agrícolas.

Actualmente, en *B. scoparia* se registran 56 casos de resistencia a herbicidas, de ellos, 45 casos corresponden a resistencia en un solo sitio de acción, así: 19 (inhibidores de la ALS/ grupo 2), 10 (Inhibidores de la EPSPS/ grupo 9), 10 (inhibidores del PSII/ grupo 5), 5 (Auxinas sintéticas/ grupo 4) y 1 caso a inhibidores de la PPO o grupo 14. Por otro lado, 11 de estos reportes corresponden a resistencias múltiples en dos, tres y cuatro sitios de acción. Es de agregar que del total de casos, 13 corresponden a plantas de borde de carretera o vías férreas, sitio de entrada para los cultivos debido a su mecanismo de dispersión (Heap, 2023).

En 2022 se recolectaron semillas de plantas de un campo de cereales de invierno bajo siembra directa, procedentes de Guissona (GUI-R) en Cataluña, supervivientes a tratamientos sucesivos con herbicidas auxínicos e inhibidores de la ALS y EPSPS. Este fenómeno presenta un desafío significativo, ya que la resistencia reduce la eficacia de los herbicidas, amenazando la productividad de los cultivos y aumentando los costos para los agricultores. Además, la aparición de malas hierbas resistentes destaca la necesidad de adoptar estrategias de manejo integrado que incluyan prácticas agronómicas sostenibles, rotación de cultivos y el desarrollo de nuevas tecnologías para combatir la resistencia. La comprensión de estos aspectos es esencial para preservar la eficacia de los herbicidas y garantizar la seguridad alimentaria en un contexto agrícola sostenible, por lo cual el presente estudio, tiene como objetivo determinar el estado de la resistencia de una población de *Bassia scoparia*, a tres modos de acción herbicida, mediante ensayos de dosis - respuesta.

MATERIALES Y METODOS

Material vegetal

La población resistente, procedía de semillas de plantas de *B. scoparia*, supervivientes a tratamientos sucesivos (año 2022) con herbicidas auxínicos e inhibidores de la ALS y EPSPS, en un campo de cereales de invierno bajo siembra directa, ubicado en Guissona (GUI-R), Cataluña. La población sensible de referencia, Aragón (A17-S), procedía del Jardín Botánico de Especies Arvenses del CITA y cosechadas en el 2017. Las semillas fueron sembradas en bandejas de aluminio, con sustrato de turba humedecida. Las bandejas se colocaron en cámara de crecimiento, a 28/20 °C día/noche y un fotoperiodo de 12/12 horas. Después de cinco días, las plántulas se trasplantaron en macetas plásticas de 343 cm³, con sustrato a base de tierra limosa y turba (1:1). Se regaron periódicamente hasta que alcanzaron cinco hojas (BBCH 15), estado fenológico en el que se aplicaron los diversos tratamientos herbicidas.

Herbicidas evaluados

Para evaluar la sensibilidad de *B. scoparia* a diversos sitios de acción se aplicaron diversos herbicidas

empleados en el control de malas hierbas, en cereales de invierno y barbecho, en post-emergencia: **glifosato** (Roundup plus®, Bayer), sal isopropilamina, 36% p/v (inhibidores de la EPSPS - grupo 9), **tifensulfuron** (Harmony®, fmc), 50% p/p (inhibidores de la ALS – grupo 2), y **2,4-D** (Esteron®, corteva), 60% p/v, **MCPA** (Arges®, KARYON), 20% p/v, **dicamba** (Banvel-D® - syngenta) 48% p/v (auxinas sintéticas – grupo 4). Los herbicidas de los diferentes ensayos se aplicaron con un pulverizador de precisión estático de banco que suministraba 200 L ha⁻¹ a una presión de 215 kPa, con boquilla (amarilla) de abanico plano ISO 11002.

Ensayos de dosis – respuesta

Se implementaron diversos ensayos de dosis – respuesta, con los siguientes rangos de dosis de herbicida para las poblaciones GUI-R y A17-S, respectivamente: **glifosato**: 0, 135, 270, 540, 1080 (dosis de campo, 3 L ha⁻¹ p.c.), 1620, 2160 g e.a. ha⁻¹ y 0, 33.75, 67.5, 135, 270, 540, 1080 g e.a. ha⁻¹. **tifensulfuron**: 0, 7.5 (dosis de campo, 15 g/ha), 15, 30, 60, 120, 240, 480 g e.a. ha⁻¹ y 0, 0.23, 0.47, 0.94, 1.88, 3.75, 7.5 g e.a. ha⁻¹. **MCPA**: 0, 300, 600 (dosis de campo, 0.86 L ha⁻¹ p.c.), 1200, 2400, 4800, 9600, 19200 g e.a. ha⁻¹ y 0, 9.4, 18.8, 37.5, 75, 150, 300, 600 g e.a. ha⁻¹. **dicamba**: 0, 144, 288 (dosis de campo, 0.6 L ha⁻¹ p.c.), 432, 576, 864, 1152, 2304 g e.a. ha⁻¹. **2,4-D**: 0, 300, 600 (dosis de campo, 1 L ha⁻¹ p.c.), 900, 1200, 1800, 2400, 4800 g e.a. ha⁻¹ y 0, 9.38, 18.75, 37.5, 75, 150, 300, 600 g e.a. ha⁻¹. Por cada población se estudiaron diez repeticiones (dos plantas por maceta = una repetición), en un diseño completamente aleatorio. La determinación de porcentaje de supervivencia y peso fresco se evaluó a los 28 días después de tratamiento.

Análisis estadístico

Los datos de los experimentos de dosis-respuesta se analizaron utilizando un modelo de regresión no lineal, con SigmaPlot 11.0 (Systat Software, Inc., San José, CA, EE.UU.). La tasa de herbicida necesaria para una reducción del 50% del crecimiento de las plantas (GR₅₀) o del 50% de la mortalidad de las plantas (LD₅₀) se calculó con el uso de una curva logística de cuatro parámetros: $y = c + (d - c) 1 + EXP[b(\log(x) - \log(GR_{50} \text{ or } LD_{50}))]$ donde c = el límite inferior ajustado a 0, d = el límite superior ajustado

a 100 y b = la pendiente a la LD₅₀ o GR₅₀. En esta ecuación de regresión, la tasa de herbicida (g e.a. ha⁻¹) fue la variable independiente (x) y el peso seco de las plantas expresado como porcentaje del control no tratado o la mortalidad fueron las variables dependientes (y). El factor de resistencia (FR) se calculó como GR₅₀(R)/GR₅₀(S) o LD₅₀(R)/LD₅₀(S).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayo dosis – respuesta con glifosato

Para el porcentaje de supervivencia (Figura 1A), el 50% de la población sensible (A17) sobrevivió a tasas de glifosato de 389 g e.a. ha⁻¹ (LD₅₀), necesitando valores inferiores de 540 g e.a. ha⁻¹ para un control > 90%, es decir, que aun con la dosis mínima de campo de 1.5 L ha⁻¹ de producto comercial (p.c.), se obtienen controles eficientes. La población resistente (GUI-R) arrojó valores LD₅₀ de 1.248 g e.a. ha⁻¹, lo que significa que necesita 3.2 veces (FR) más la tasa de glifosato; comparado con la población S, para controlar el 50% de su población, siendo esta mayor a la dosis máxima de registro (1.080 g e.a. ha⁻¹ o 3 L ha⁻¹ p.c.), y requiriendo valores superiores a g e.a. ha⁻¹ para controles superiores al 90%.

Ensayo dosis – respuesta con tifensulfuron

Según porcentaje de supervivencia (Figura 1B), el 50% de la población sensible (A17) sobrevivió a tasas de tifensulfuron de 3.9 g e.a. ha⁻¹ (LD₅₀), necesitando valores inferiores a 6.9 g e.a. ha⁻¹ para un control > 90%, es decir, que con la dosis recomendada de campo de 7.5 g/ha de producto comercial, se obtienen controles eficientes. La población resistente (GUI-R) presentó valores LD₅₀ de 480 g e.a. ha⁻¹, necesitando 123 veces (FR) más la dosis de tifensulfuron en comparación con la población sensible, siendo mucho mayor a la dosis de registro recomendada (7.5 g e.a. ha⁻¹ o 15 g ha⁻¹ p.c.).

Ensayo dosis – respuesta con herbicidas auxínicos

De los tres herbicidas auxínicos evaluados, dos (2,4-D, dicamba) presentaron altas eficacias en el control de las poblaciones testadas, necesitando 300 y 144 g e.a. ha⁻¹, respectivamente, para controlar

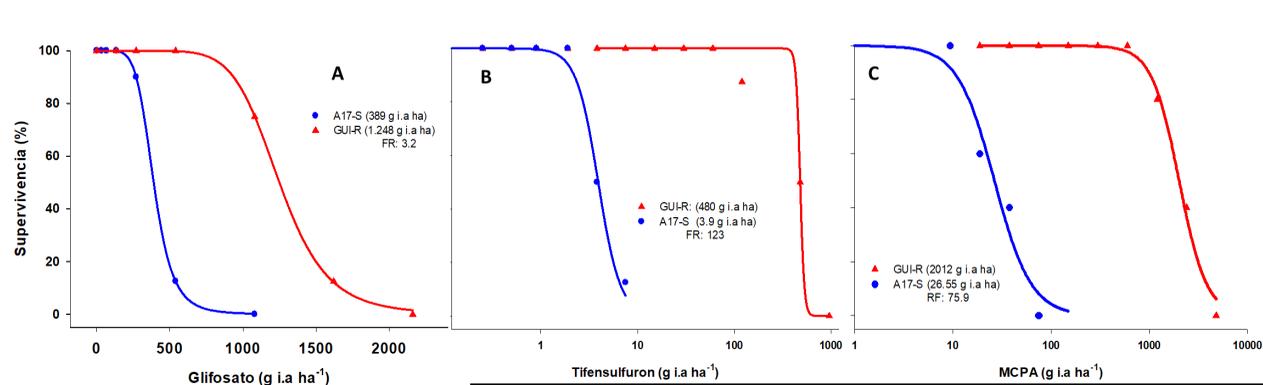


Figura 1 - Curva dosis – respuesta para valores de LD₅₀, que muestran los ajustes sigmoideales del porcentaje (%) de supervivencia respecto a controles no tratados en dos poblaciones (una sensible, A17-S y otra, GUI-R, potencialmente resistente) de *Bassia scoparia* tratadas con glifosato (A), tifensulfuron (B) y MCPA (C). LD₅₀: dosis letal media para el 50% de la población. FR: Factor de Resistencia, representan el cociente entre los parámetros LD₅₀ de la población R y la población S.

el 100% de las plantas, excepto el MCPA (Figura 1C), que requirió 2012 g e.a ha⁻¹, para controlar el 50% de la población resistente (GUI-R) mientras que para la población sensible, solo se requirieron 26.55 g e.a ha⁻¹ para lograr el mismo resultado, es decir, presenta un FR de 75.9.

Actualmente, solo se ha reportado una población de *Bassia scoparia*; en campos de cereales de Canadá, con resistencia múltiple a los mismos tres modos de acción herbicida evaluados; inhibidores de EPSPS, ALS (sulfonilureas) y auxinas sintéticas (dicamba-benzoatos) Beckie *et al.* (2019). La población GUI-R, presenta similar patrón de resistencia, pero difiere; respecto a la población canadiense, en la familia química del grupo auxínico, ya que esta se comportó como resistente frente a MCPA (fenoxycarboxilatos) y no ha dicamba.

CONCLUSIONES

La población de *B. scoparia* procedente de Guissona – Cataluña, presenta resistencia a tres modos de acción herbicida, glifosato, tifensulfuron y MCPA, con factores de resistencia de 3.2, 123 y 75.9, respectivamente. Si bien los niveles de resistencia para glifosato son bajos, en campo se requerirán volúmenes mayores a 4.6 L ha⁻¹ de producto comercial

para controles mayores al 90%, muy por encima de los 3 L ha⁻¹ recomendados. Respecto a tifensulfuron (inhibidores de la ALS), presenta altos factores de resistencia, necesitando dosis muy superiores (480 g e.a. ha⁻¹) a las recomendadas en campo (7.5 g e.a. ha⁻¹). Por último, el uso de 2,4-D y dicamba, aun es una opción viable para el control de las poblaciones evaluadas, sin embargo, el MCPA falla en su control, puesto que son necesarias dosis superiores a 2012 g e.a. ha⁻¹, para controlar el 50% de las plantas, valor mucho más alto que los 600 g e.a. ha⁻¹ recomendados. El control efectivo de malas hierbas resistentes a herbicidas es esencial para preservar la productividad agrícola, reducir costos, minimizar el impacto ambiental y fomentar prácticas agrícolas sostenibles. La gestión integrada de malas hierbas es crucial para abordar este desafío de manera efectiva, y más teniendo en cuenta su expansión y el nivel de resistencia actual en campo, que evidencian una problemática latente.

NOTA

Este trabajo es un avance que hace parte de un capítulo de la tesis doctoral de German Mora, desarrollada en la Universitat de Lleida, actualmente en curso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Beckie, H.; Blackshaw, R., Hall, L. & Johnson, E. (2016) - Pollen and seed - mediated gene flow in kochia (*Kochia scoparia*). *Weed Science*, vol. 64, n. 4, p. 624–633. <https://www.jstor.org/stable/26420731>
- Beckie, H.J.; Hall, L.M.; Shirriff, S.; Martin, E. & Leeson, J. (2019) - Triple-resistant kochia [*Kochia scoparia* (L.) Schrad.] in Alberta. *Canadian Journal of Plant Science*, vol. 99, n. 2, p. 281–285. <https://doi.org/10.1139/cjps-2018-0256>
- Dille, J.A.; Stahlman, P.W.; Du J.; Geier, P.W.; Riffel, J.D.; Currie, R.S.; Wilson, R.G.; Sbatella, G.M.; Westra, P.; Kniss, A.R.; Moechnig, M.J. & Cole, R.M. (2017) - Kochia (*Kochia scoparia*) Emergence Profiles and Seed Persistence across the Central Great Plains. *Weed Science*, vol. 65, n. 5, p. 614-625. <https://doi.org/10.1017/wsc.2017.18>
- Heap, I. (2023) - *Base de datos internacional sobre malezas resistentes a herbicidas*. [cit. 2023.12.01]. www.weedscience.org
- Kumar, V. & Jha, P. (2017) - Effect of temperature on germination characteristics of glyphosate-resistant and glyphosate-susceptible kochia (*Kochia scoparia*). *Weed Science*, vol. 65, n. 3, p. 361–370. <https://doi.org/10.1017/wsc.2016.26>