

# 三重県で採取されたオヒシバ およびオオアレチノギクにおける グリホサート感受性の低下

農研機構中日本農業研究センター  
内野 彰

## はじめに

グリホサートは非選択性除草剤として、非農耕地や果樹園の下草管理、水田畦畔、播種前や収穫後の農耕地などで広く使用される。しかしグリホサートに対する除草剤抵抗性雑草が世界的に報告されており (Heap 2024), 日本でもグリホサート抵抗性がネズミムギ (*Lolium multiflorum*), オヒシバ (*Eleusine indica*), ヒメムカシヨモギ (*Conyza canadensis*), オオアレチノギク (*Conyza sumatrensis*) で報告されている (内野 2024)。グリホサート抵抗性ネズミムギについては、静岡県の水田畦畔を中心とした分布実態 (Niinomi *et al.* 2013; 市原ら 2016) やグルホシネートにも感受性が低下したバイオタイプの存在 (Kurata *et al.* 2017; 市原ら 2018) が明らかとなり、防除対策の提案がなされている (市原 2019)。また同県内の果樹園におけるグリホサート抵抗性ネズミムギの実態や有効剤も報告されている (Ichihara *et al.* 2020)。さらに抵抗性ネズミムギのグリホサート抵抗性機構には除草剤移行阻害による非作用点抵抗性が関与することも判明している (Kurata *et al.* 2018)。

一方、ネズミムギ以外の草種においては、埼玉県グリホサート抵抗性オヒシバについて有効な除草剤と一部の集団の抵抗性機構に作用点抵抗性が関与することが判明している (丹野 2021)。グリホサート抵抗性オヒシバは福島県や沖縄県でも確認されており

(比屋根 2020; 佐藤・小椋 2022), 全国的な発生も懸念される。しかしオヒシバも含めてネズミムギ以外の草種については、調査結果の多くが学会発表にとどまっており (永井ら 2015; 倉田ら 2017; 小林ら 2019; 角ら 2020 など), その実態は不明な点が多い。三重県では他の地域と同様に非農耕地や果樹園の下草管理などでグリホサートが多用されてきているが、2020年にオヒシバおよびオオアレチノギクについてグリホサート抵抗性が疑われる事例が見つかった。そこで筆者らは、それらに対してグリホサートの効果を評価するとともに、代替除草剤としてグルホシネートの有効性を評価した (内野ら 2023)。本稿ではその内容を中心に、オヒシバおよびオオアレチノギクのグリホサート抵抗性とその防除について述べる。

## 材料および方法

グリホサート抵抗性が疑われるオヒシバ (Ei01) は種子を鈴鹿市で採取し、対照として伊賀市のオヒシバ (Ei02) の種子を供試した。グリホサート抵抗性が疑われるオオアレチノギク種子は鈴鹿市の2箇所 (Cs01 および Cs02) で採取し、対照として伊賀市のオオアレチノギク (Cs03) の種子を供試した (図-1)。Ei01 と Cs01 の種子は、グリホサートが10年以上使用された畑地畦畔周辺の非農耕地において、グリホサート処理後に生育する個体から採取された。Cs02 の種子は、グリホサートによる管理が10年以上続けら

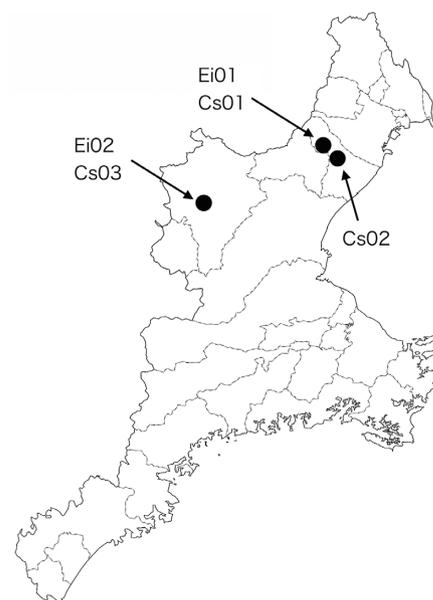


図-1 試験に供試したオヒシバ種子 (Ei01, Ei02) およびオオアレチノギク種子 (Cs01, Cs02, Cs03) の三重県内採取地

れた道路際の非農耕地において、グリホサート処理後に生育する個体から採取された。Ei02 および Cs03 の種子は、三重県農業研究所伊賀農業研究室内敷地において除草剤による管理がされていない非農耕地の個体から採取された。それぞれの種子はいずれも2020年に採取され、5°C風乾条件で試験開始まで保管した。

試験は2021年に農研機構中日本農業研究センター (三重県津市) で実施し、1/5000a ワグネルポットに壤土を詰め、7月8日に土壌表面にオヒシバおよびオオアレチノギク種子を播種し、自然光のガラス室で生育させた。ワグネルポットは大型トレイの中に設置し、トレイ中に常時3~5cmの水

表-1 三重県の2地点で採取したオヒシバに対する非選択性除草剤処理の効果 (内野ら 2023)

処理区	Ei01	Ei02
無処理	2.0 ± 0.2 (100)	1.8 ± 0.2 (100)
グリホサート	0.5 ± 0.1 (23)	0.0 ± 0.0 (0)
グルホシネート	0.0 ± 0.0 (0)	0.0 ± 0.0 (0)

値は地上部乾物重 (g/ 個体) の平均値 ± 標準誤差。() 内の数値は無処理区比 %。

グリホサートおよびグルホシネートの処理量は、それぞれ 270g a.e./10a および 101.75g a.i./10a。

8葉期に除草剤処理を行い、処理2週間後に地上部を刈り取り、枯れた組織を取り除いて緑色の組織の乾物重を測定した。



図-2 除草剤処理2週間後のオヒシバの生育状況  
左半分がオヒシバ Ei01, 右半分がオヒシバ Ei02。奥から手前に順に、無処理区、グリホサート処理区、グルホシネート処理区。各処理区は3ポット(3反復)で試験を行った。

を張ることにより、下から給水を行った。オヒシバは4葉期(7月23日)にポットあたり4個体となるように同サイズの新たなポットに移植し、移植10日後(8月2日)の8葉期に除草剤処理を行った。オオアレチノギクは6葉期(8月2日)にポットあたり4個体となるように新たなポットに移植し、移植6週間後(9月14日)の生育期(ロゼット葉期、ロゼット径10~20cm)にポットあたり2個体に間引きして除草剤処理を行った。グリホサート処理区ではグリホサートカリウム塩48%液剤(ラウンドアップ®マックスロード、日産化学)を500mL/10a(270g a.e./10a)で処理し、グルホシネート処理区ではグルホシネート18.5%液剤(バスタ®液剤、BASFジャパン)を500mL/10a(101.75g a.i./10a)で処理した。除草剤処理はそれぞれ水で100倍、200倍に希釈し、ハンドスプレー(ダイヤスプレースウィング500、フルプラ、東京)を用いて茎葉処理を行った。各試験には無処理区を設け、除草剤を処理しない他は除草剤処理区と同様に生育させて調査した。オヒシバは処理2週間後(8月18日)、オオアレチノギクは処理3週間後(10月5日)に、それぞれ地上部を刈り取り、枯れた組

織を取り除いて緑色の組織の乾物重を測定した。緑色の組織のない個体は枯死個体と判定した。乾物重は個体あたりの平均値で算出し、各ポットで算出した平均値を各反復データとした。試験は3反復で行った。

さらにオヒシバは、調査時に残存していた個体について種子生産の可能性を確認するため、地上部刈り取り時に無処理区とグリホサート処理区に生存していた個体の中から、1反復の1個体だけをそのまま残し、処理3週間後(8月26日)にその個体を観察した。オオアレチノギクについても種子生産の可能性を確認するため、播種後に上記試験に使用しなかった個体(移植しなかった残りの個体)を試験と同様に生育させ、10月5日(ロゼット葉期)に1反復で2個体/ポットに間引きし、間引き直後に48%グリホサートカリウム塩液剤を100倍希釈して500mL/10a(270g a.e./10a)で処理し、処理2ヶ月後の12月8日に観察を行った。

## 結果

### 1. オヒシバの除草剤感受性

除草剤処理2週間後の調査において、鈴鹿市のオヒシバ Ei01 はグリホ

サート処理区で半数が生存し、地上部乾物重は無処理区比で23%の生育を示した(表-1, 図-2)。対照として供試した伊賀市のオヒシバ Ei02 はグリホサート処理区で全個体が枯死した。グルホシネート処理区では Ei01 および Ei02 の全個体が枯死した。

鈴鹿市のオヒシバ Ei01 はグリホサート処理区で半数の個体が生存したが、除草剤の効果発現中である可能性があったことから、生存した1個体について種子生産の可能性を確認するためにポットに残し、その後の生育を観察した。その結果、無処理区では処理3週間後に出穂して種子生産が認められた一方で、グリホサート処理区の個体は新葉が枯死して新たな再生が認められず、種子生産には至らなかった。

### 2. オオアレチノギクの除草剤感受性

除草剤処理3週間後の調査において、鈴鹿市のオオアレチノギク Cs01 および Cs02 はグリホサート処理区で全個体が生存し、地上部乾物重はそれぞれ無処理区比で59%、20%の生育を示した(表-2)。対照として供試した伊賀市のオオアレチノギク Cs03 はグリホサート処理区で全個体が枯死した。グルホシネート処理区ではどの産地のオオアレチノギクも全個体が枯死した。

表-2 三重県の3地点で採取したオオアレチノギクに対する非選択性除草剤処理の効果 (内野ら 2023)

処理区	Cs01	Cs02	Cs03
無処理	2.4 ±0.4 (100)	1.3 ±0.2 (100)	1.2 ±0.5 (100)
グリホサート	1.4 ±0.4 (59)	0.2 ±0.1 (20)	0.0 ±0.0 (0)
グルホシネート	0.0 ±0.0 (0)	0.0 ±0.0 (0)	0.0 ±0.0 (0)

値は地上部乾物重 (g/ 個体) の平均値±標準誤差。() 内の数値は無処理区比 %。グリホサートおよびグルホシネートの処理量は、それぞれ 270g a.e./10a および 101.75g a.i./10a。播種 2 ヶ月後のロゼット葉期 (ロゼット径 10 ~ 20cm) に除草剤処理を行い、処理 3 週間後に地上部を刈り取り、枯れた組織を取り除いて緑色の組織の乾物重を測定した。



図-3 グリホサート処理 2 ヶ月後のオオアレチノギク  
左から Cs01, Cs02, Cs03 のオオアレチノギク。

オオアレチノギクについても、グリホサート処理で生存した個体の種子生産の可能性を確認するため、上記試験に使用しなかった個体にグリホサート処理を行なったところ、Cs01 および Cs02 とともに処理 2 ヶ月後でも全ての個体が生存した。ただし Cs02 の各個体は 2 ヶ月後でも生育が強く抑制されたままであった (図-3)。Cs01 の個体は旺盛な生育状況が観察され、グリホサート処理後に種子が生産されるものと推定された。

## 考察

三重県内でグリホサート抵抗性が疑われたオヒシバおよびオオアレチノギクは、いずれもグリホサートに対する感受性が低下していることが確認された。鈴鹿市のオヒシバ Ei01 は本試験

の条件では種子を生産しないと推定されたが、処理時の生育サイズ、環境条件など効果の劣る条件や低い濃度で処理した場合には種子が生産される可能性があるため、注意が必要であろう。また鈴鹿市のオオアレチノギク Cs02 もグリホサート処理 2 ヶ月後の観察で生育が強く抑制された状態であった。Cs02 の種子生産については更なる確認が必要だが、Ei01 と同様に効果の劣る条件や低い濃度で処理した場合には種子が生産される可能性があるため、こちらも注意が必要であろう。一方、鈴鹿市のオオアレチノギク Cs01 については、グリホサート処理 2 ヶ月後に旺盛な生育を示した。オオアレチノギクは出芽翌年に開花結実する二年草であるため、試験期間中に開花結実が認められなかったが、Cs01 のその正常な生育状況から考えて、越

冬後、翌年には開花結実するものと推定される。このことから Cs01 はグリホサート抵抗性集団と考えられる。

グリホサートに対して感受性が低下していたオヒシバおよびオオアレチノギクに対しては、ともにグルホシネートが高い効果を示した。従って当面の残草管理は、グルホシネートを代替除草剤として利用するのが良い。長期的には、同一除草剤による雑草管理を継続すると新たな抵抗性雑草が発生する可能性があるため、草刈りなども含めて多様な雑草防除手段を取り入れて管理するのが望ましい。

三重県で採取したグリホサート感受性が低下したオヒシバにグルホシネートが有効であることは既報 (比屋根 2020; 丹野 2021; 佐藤・小椋 2022) と同様であり、これらの既報で有効性が確認された他の有効除草

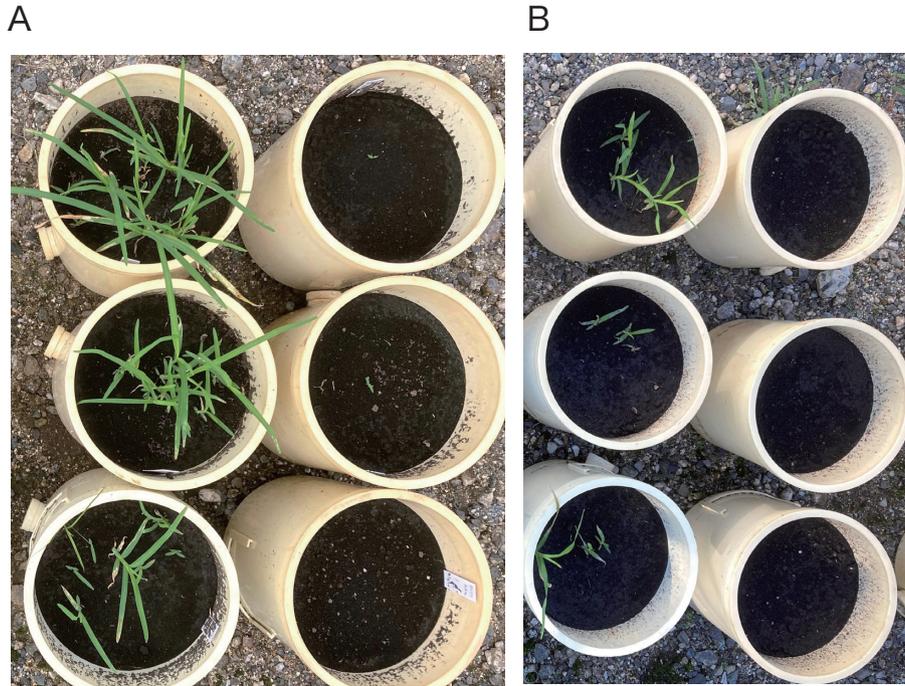


図-4 DCMU 顆粒水和剤のオヒシバに対する残効性  
 ポットあたりオヒシバ Ei01 を 50 粒散布し、1mm 目にふるった細土で 2～3mm 厚に覆土した後、DCMU 顆粒水和剤 (80%, 200g/10a) を 100L/10a 換算で水に希釈して全面土壤散布した。除草剤処理後 30 日目に効果を評価した (A) 後に土壤表面を攪乱しないように地上部を刈り取り、その後に出芽する個体に対する効果を除草剤処理後 60 日目に評価した (B)。それぞれ左側が無処理区、右側が除草剤処理区。各処理区は 3 ポット (3 反復) で、底面給水により土壤表面が乾かないように維持した。試験は 2024 年 8～10 月に三重県津市の屋外で行った。

剤 (ジクワット・パラコート液剤, フルアジホップ P 乳剤, アシュラム液剤) についても抵抗生オヒシバの防除に利用できる可能性がある。またキザロホップエチル 7% 水和剤が草丈 50cm の個体に高い除草効果を示し (小林ら 2019), DCMU フロアブル (50%SC, 200mL/10a) が 3 葉期までの個体に高い効果を示すとともに処理後 60 日程度の抑草効果を示すこと (安藤ら 2020) も報告されている。筆者らの試験でも、DCMU 顆粒水和剤 (80%, 200g/10a) が処理後 60 日程度まで高い防除効果を示すことを認めている (図-4)。さらに角ら (2020) および安藤ら (2020) は、DCMU フロアブル (50%SC, 200mL/10a) とグリホシネート P 液剤 (48% 液剤, 500mL/10a) の混用処理を試し、この処理が長期間の発生および生育を抑制したことを報告している。

グリホサート抵抗性オオアレチノギクに対しては、グリホサートカリウム塩 48% 液剤の低温期処理 (富山県における 11 月処理) が草丈 5～15cm の個体に対して高い効果を示したことが報告されている (小林ら 2019)。低温環境でグリホサートの効果が高まることは海外で報告されており、抵抗性ヒメムカシヨモギの研究では、グリホサートの液胞隔離能力が低温で低下することによってグリホサートの効果が高まると推定されている (Ge *et al.* 2011, 2014)。抵抗性オオアレチノギクに対する同様の効果は海外でも報告されており (Palma-Bautista *et al.* 2019), これらの抵抗性オオアレチノギクは上記の抵抗性ヒメムカシヨモギと同じメカニズムをもつ可能性が高い。抵抗性オヒシバでも低温でグリホサートの効果が向上する事例が報告されているが (Guo *et al.* 2023), 後述のようにオヒ

シバでは非作用点抵抗性の報告がほとんどないため、実場面での応用には更なる検証が必要であろう。

グリホサート抵抗性のメカニズムについては、既に海外で多様なメカニズムの存在が明らかとなっている (Gaines *et al.* 2019)。作用点抵抗性では、グリホサートの作用点となる酵素 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase (EPSPS) のアミノ酸置換による抵抗性が数多く報告されており、Pro106 における点変異 (P106S, P106L, P106A など), Thr102 と Pro106 とにおける 2 点変異 (T102I と P106S の 2 点変異; TIPS 変異と呼ばれる), さらに 3 点変異 (Thr102Ile, Ala103Val および Pro106Ser における変異) といったアミノ酸置換が知られている。また EPSPS 遺伝子の重複による酵素活性上昇が抵抗性を引き起こす事例も数多

く知られている。非作用点抵抗性では、処理葉からのグリホサート移行阻害が数多く報告され、その機構として処理葉におけるグリホサートの液胞隔離が研究されている。

オヒシバのグリホサート抵抗性メカニズムについては、EPSPS 遺伝子の点変異や遺伝子重複が数多く報告され、両者が重複している事例も報告されているが (Zhang *et al.* 2021), 非作用点抵抗性を明らかにした事例はほとんどない。一方、オオアレチノギクのグリホサート抵抗性メカニズムはあまり解析されておらず、EPSPS 遺伝子の点変異と移行阻害が重複している事例が報告されているものの (González-Torralva *et al.* 2014), 今後の更なる解析と検証が必要な状況である。ただしオオアレチノギクと同属のヒメムカシヨモギでは、点変異と移行阻害の両方によるグリホサート抵抗性の事例が多いことから (Palma-Bautista *et al.* 2023), オオアレチノギクでも類似のメカニズムが発達している可能性は高い。

抵抗性メカニズムの違いは有効除草剤に対する反応の違いを引き起こす可能性があるため、防除対策の構築には抵抗性メカニズムに注意する必要がある。また海外では、他の除草剤にも抵抗性を示す複合抵抗性オヒシバや複合抵抗性オオアレチノギクが既に報告されている (Li *et al.* 2022; Leal *et al.* 2022)。日本でもそうしたバイオタイプを発生させないよう、たとえ有効除草剤であっても同一除草剤に過度に依

存しないよう注意が必要となる。抵抗性オヒシバや抵抗性オオアレチノギクは、日本のこれまで報告の無い地域でも顕在化している可能性があることに注意し、今後は各地域における実態を明らかにし、それぞれ有効剤の検証を進めて早期に有効な防除対策を構築していくことが重要であろう。

## 謝辞

本研究を遂行するに当たり、三重県農業研究所の中山幸則氏、小林泰子氏、三井友宏氏から材料提供などのご協力を頂いた。農研機構中日本農業研究センター転換畑研究領域および同中央技術支援センター安濃業務科職員各位に調査協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

## 引用文献

- 安齋達雄・赤嶺達也・竹内崇・比屋根真一 2020. グリホサート抵抗性オヒシバに対する DCMU を用いた防除方法に関する検討 (第2報). 日本雑草学会第 59 回大会講演要旨集, 50.
- Gaines, T.A., E.L. Patterson and P. Neve 2019. Molecular mechanisms of adaptive evolution revealed by global selection for glyphosate resistance. *New Phytol.* 223, 1770-1775.
- Ge, X., D. A. d'Avignon, J. J. Ackerman, B. Duncan, M. B. Spaur and R. D. Sammons 2011. Glyphosate-resistant horseweed made sensitive to glyphosate: low-temperature suppression of glyphosate vacuolar sequestration revealed by <sup>31</sup>P NMR. *Pest. Manag. Sci.* 67, 1215-1221.
- Ge, X., D. A. d'Avignon, J. J. Ackerman

and R. D. Sammons 2014. In vivo <sup>31</sup>P-nuclear magnetic resonance studies of glyphosate uptake, vacuolar sequestration, and tonoplast pump activity in glyphosate-resistant horseweed. *Plant Physiol.* 166, 1255-1268.

González-Torralva, F., J. Gil-Humanes, F. Barro, et al. 2014. First evidence for a target site mutation in the EPSPS2 gene in glyphosate-resistant Sumatran fleabane from citrus orchards. *Agron. Sustain. Dev.* 34, 553-560.

Guo W., C. Zhang, S. Wang, T. Zhang and X. Tian 2023. Temperature influences glyphosate efficacy on glyphosate-resistant and -susceptible goosegrass (*Eleusine indica*). *Front. Plant Sci.* 14. 1169726. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1169726>

Heap, I. 2024. The international herbicide-resistant weed database. <http://www.weedscience.org/Home.aspx> (2024 年 11 月 14 日アクセス確認)

比屋根真一 2020. グリホサート抵抗性オヒシバの発生分布と数種除草剤による防除効果. 沖縄県企画部科学技術振興課編「令和 2 年度沖縄県試験研究成果情報」, 沖縄県企画部科学技術振興, 沖縄, pp7-8.

市原実 2019. 外来雑草ネズミムギ (*Lolium multiflorum* Lam.) による農業被害とその防除対策. *雑草研究* 64, 85-90.

市原実・石田義樹・小池清裕・新實由貴・木田揚一・神谷径明・鈴木亨・済木千恵子・山下雅幸・澤田均 2016. 静岡県内の水田周辺部におけるグリホサート抵抗性ネズミムギ (*Lolium multiflorum* Lam.) の分布. *雑草研究* 61, 17-20.

市原実・宮田祐二・石田義樹・小池清裕・山下雅幸・澤田均 2018. 静岡県中遠地域の水田周辺部におけるグリホサート抵抗性ネズミムギ (*Lolium multiflorum* Lam.) の発生実態. *雑草研究* 63, 109-112.

Ichihara, M., T. Tominaga, M. Yamashita and H. Sawada 2020. Emergence of glyphosate- and glufosinate-resistant

- Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) populations in Japanese pear orchards in Japan and their responses to several foliar-applied herbicides. *Jpn. Agric. Res. Q.* 54, 129-135.
- 角龍市朗・安齋達雄・山本良介・吉澤裕和 2020. グリホサート抵抗性オヒシバに対するDCMUを用いた防除方法に関する検討(第1報). 日本雑草学会第59回大会講演要旨集, 49.
- 小林弘・藤田貴之・小池龍也・宮崎隆雄・矢野哲彦 2019. 日本国内におけるグリホサート抵抗性雑草対策法の検討. 日本雑草学会第58回大会講演要旨集, 41.
- Kurata, K., M. Ichihara, Y. Ishida, Y. Shimono and T. Tominaga 2017. Glufosinate-resistant Italian ryegrass populations emerge from glyphosate-resistant populations in Japan. *Int. Invent. J. Agric. Soil Sci.* 5, 21-25.
- 倉田康平・永井絵理・下野嘉子・岩上哲史・富永達 2017. 日本におけるグリホサート抵抗性雑草の出現とそれらの抵抗性機構. 日本雑草学会第56回大会講演要旨集, 60.
- Kurata, K., Y. Niinomi, Y. Shimono, M. Miyashita and T. Tominaga 2018. Non-target-site mechanism of glyphosate resistance in Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*). *Weed Biol. Manag.* 18, 127-135.
- Leal, J. F. L., A. dos S.Souza, J. Borella, et al. 2022. Sumatran fleabane (*Conyza sumatrensis*) resistant to PSI-inhibiting herbicides and physiological responses to paraquat. *Weed Sci.* 70, 46-54.
- Li, J., Z. Zhang, Q. Lei, B. Lu, C. Jin, X. Liu, Y. Wang and L. Bai 2022. Multiple herbicide resistance in *Eleusine indica* from sugarcane fields in China. *Pestic. Biochem. Physiol.* 182, 105040. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2022.105040>
- 永井絵理・寺本翔太・下野嘉子・富永達 2015. グリホサート抵抗性オヒシバおよびヒメムカシヨモギにおけるグリホサート抵抗性の獲得機構. 日本雑草学会第54回大会講演要旨集, 44.
- Niinomi, Y., M. Ikeda, M. Yamashita, Y. Ishida, M. Asai, Y. Shimono, T. Tominaga and H. Sawada 2013. Glyphosate-resistant Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) on rice paddy levees in Japan. *Weed Biol. Manag.* 13, 31-38.
- Palma-Bautista C., R. Alcántara-de la Cruz, A. M. Rojano-Delgado, I. Dellaferrera, P. A. Domínguez-Martínez and R. De Prado 2019. Low temperatures enhance the absorption and translocation of 14C-glyphosate in glyphosate-resistant *Conyza sumatrensis*. *J. Plant Physiol.* 240, 153009. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2019.153009>
- Palma-Bautista, C., J. G. Vazquez-Garcia, G. Lopez-Valencia, J. A. Dominguez-Valenzuela, F. Barro and R. De Prado 2023. Reduced Glyphosate Movement and Mutation of the EPSPS Gene (Pro106Ser) Endow Resistance in *Conyza canadensis* Harvested in Mexico. *J. Agric. Food Chem.* 71, 4477-4487.
- 佐藤優平・小椋智文 2022. グリホサートカリウム塩液剤で除草できないオヒシバは他の薬剤で除草可能(浪江町). <https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/566437.pdf> (2024年11月14日アクセス確認)
- 丹野和幸 2021. 埼玉県内のオヒシバにみられたグリホサート作用点抵抗性. 雑草研究 66, 11-15.
- 内野彰 2024. これまでに日本で除草剤抵抗性が報告されている雑草. <http://www.wssj.jp/~hr/weeds.html> (2024年11月14日アクセス確認)
- 内野彰・中山幸則・小林泰子・三井友宏 2023. 三重県内で採取されたオヒシバおよびオオアレチノギクの非選択性除草剤感受性. 雑草研究 68, 164-167.
- Zhang C., D. J. Yu, Q. Yu, W. L. Guo, T. J. Zhang and X. S. Tian 2021. Evolution of multiple target-site resistance mechanisms in individual plants of glyphosate-resistant *Eleusine indica* from China. *Pest. Manag. Sci.* 77, 4810-4817.