

水田におけるスルホニルウレア系除草剤 抵抗性生物型雑草の研究の現状と防除法

九州農業試験場水田利用部雑草制御研究室 小荒井 晃

1. はじめに

除草剤による雑草防除技術は、現在日本の稲作技術の重要な部分になっている。我が国の除草剤の歴史は1950年の2, 4-Dの実用化に始まり、1955年のMCPAの実用化によってノビエを除く一年生雑草はほとんど防除できるようになった。その後NIP, CNP, プタクロールおよびプレチラクロールなどが開発され、初期剤と中期剤の体系処理による雑草防除が普及した。現在は稲作の省力・低コストの観点から、初期および初・中期一発型除草剤による雑草防除が主流となっている。初期および初・中期一発型水稲用除草剤は、そのほとんどがスルホニルウレア系除草剤（以下、SU）を含む混合除草剤（以下、SU混合剤）である。SU剤は低濃度でコナギを含む広葉およびカヤツリグサ科雑草全般に対して広い殺草スペクトラムを持ち、水稲に対する安全性が高く、1994年以降は水稲作付面積の80%以上に使用されている（日植調会議資料）。

しかし1996年に北海道においてSU抵抗性生物型のミズアオイ¹⁸⁾の出現が報告されて以降、各地のSU混合剤連用圃場においてSU抵抗性生物型のアゼトウガラシ⁹⁾、アゼナ類³⁵⁾、キクモ³⁹⁾、ミゾハコベ⁴⁾、キカシグサ⁸⁾、イヌホタルイ¹⁶⁾およびコナギ¹⁵⁾が出現した。これらのSU抵抗性雑草については多くの研究が行われており、いくつかの研究は本誌においても紹介されている。本

稿では日本国内で出現が確認されたSU抵抗性雑草について、未発表の研究も含めた現時点における発生動向、生理・生態および防除対策に関する知見を紹介したい。

2. SU抵抗性生物型雑草の発生状況（図-1）

a) ミズアオイ

ミズアオイは日本で最初に北海道の水田でSU抵抗性生物型の出現が確認された草種である¹⁸⁾。SU抵抗性生物型はSU剤の基準処理量の4倍の薬量でも完全には枯死せず、半数致死量および半数抑制量はSU感受性生物型と比較しておよそ100倍の差がある^{18, 38)}。

b) アゼトウガラシ

秋田県²⁷⁾、山形県⁹⁾、埼玉県⁵⁾および京都府³¹⁾の水田でSU抵抗性アゼトウガラシの出現が確認され、除草剤の使用前歴としてはSU混合剤を3年以上連用していたことが報告されている²⁴⁾。SU抵抗性生物型の半数致死量はSU感受性生物型と比較してベンスルフロンメチルで約280倍の差がある⁹⁾。

c) アゼナ類（アゼナ、アメリカアゼナCタイプ、アメリカアゼナRタイプ[タケトアゼナ]）

SU抵抗性アゼナ類は青森県²⁶⁾、秋田県²¹⁾、岩手（未発表）、宮城県³⁵⁾、山形県³⁵⁾、福島県（未発表）、埼玉県⁵⁾、新潟県²⁵⁾、京都府³¹⁾および佐賀県（未発表）の水田で出現が確認され、除草剤の

使用前歴としてはSU混合剤を5年以上連用していたことが報告されている²¹⁾。アゼナ類は小型雑草であるが、多発生した場合は減収し、刈り取り時にコンバインの歯に絡みつ়ことで作業能率が低下する²¹⁾。

d) キクモ

秋田県の水田でSU抵抗性キクモの出現が確認

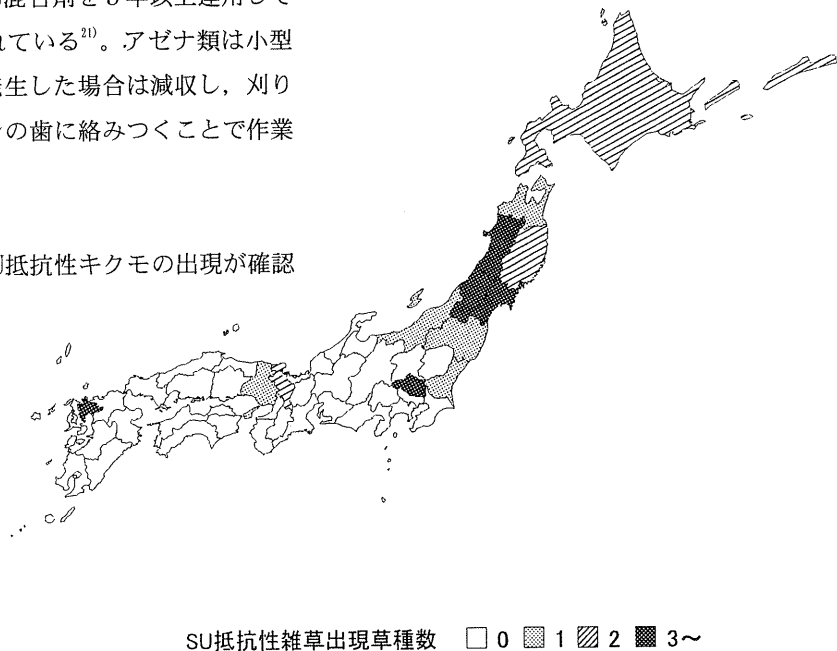


図-1 水田における都道府県別SU抵抗性雑草の発生状況

された³⁹⁾。SU抵抗性生物型の半数抑制量は、SU感受性生物型と比較してピラゾスルフロンエチルでおよそ300倍の差があり、他の3種のSU剤についてもそれぞれ600~900倍の差がある。他地域では現在のところSU抵抗性キクモの出現は報告されていない。

e) ミゾハコベ

宮城県⁶⁾、埼玉県⁵⁾および佐賀県(未発表)の水田でSU抵抗性ミゾハコベの出現が確認された。ミゾハコベは小型雑草で水稻への雑草害や収穫作業の障害は極めて小さいと考えられるが、多発生して田面をマット状に覆った場合、追肥の効果低下を心配する耕作者もいる。

f) キカシグサ

秋田県の水田⁸⁾および佐賀県(未発表)の水田でSU抵抗性キカシグサの出現が確認され、除草剤の使用前歴としてはベンスルフロンメチル・エスプロカルブを7年間連用していたことが報

告されている⁸⁾。SU抵抗性生物型は、SU感受性生物型と比較してピラゾスルフロンエチルでおよそ100倍の除草効果の差がある⁸⁾。

g) イヌホタルイ

北海道¹⁶⁾、岩手(未発表)、宮城県⁴⁴⁾および山形県¹³⁾の水田でSU抵抗性イヌホタルイの出現が確認され、除草剤の使用前歴としてはSU混合剤を5年以上連用していたことが報告されている¹⁶⁾。

h) コナギ

秋田県¹⁵⁾、茨城県¹⁵⁾および兵庫県(未発表)の水田でSU抵抗性コナギの出現が確認され、除草剤の使用前歴としてはSU混合剤を3年以上連用していたことが報告されている¹⁵⁾。

i) その他の雑草

秋田県(未発表)の水田でSU抵抗性オモダカの出現が確認された。キクモと同様に他地域では現在のところSU抵抗性オモダカの出現は報告さ

れていない。SU剤は難防除雑草であるミズガヤツリやクログワイなどの多年生雑草にも効果を示す優れた除草剤である。単一成分でこれに代わるものはまだ開発されていないので、SU抵抗性多年生雑草の出現には注意する必要がある。

3. SU抵抗性生物型雑草の拡散

SU抵抗性雑草が出現した水田には、大量のSU抵抗性雑草の種子が土壤中に含まれているので、土壌がトラクタやコンバインなどの作業機に付着して、他の水田にSU抵抗性雑草の種子が拡散していく可能性がある。そのため作業機の洗浄を丁寧に行うことなどによってSU抵抗性生物型の種子の拡散を防ぐ必要がある。またSU抵抗性雑草の種子は、用水路を経由して下流の水田に拡散していく可能性もある。イヌホタルイなどの強害雑草では、SU抵抗性生物型の種子の拡散には十分に注意する必要がある。一方ミズアオイは、SU抵抗性が核遺伝子に支配された完全優性で遺伝し⁴¹⁾、訪花昆虫による他殖率が37~80%と高いため⁴⁰⁾、花粉によるSU抵抗性遺伝子の拡散の危険性がある。ミズアオイと同属のコナギは自殖によって種子生産をするため³²⁾、花粉によってSU抵抗性遺伝子が拡散することはないが、雑草害はミズアオイより大きいので、イヌホタルイと同様にSU抵抗性生物型の種子の拡散には十分に注意する必要がある。

4. SU抵抗性生物型雑草の除草剤による防除法 (表-1)

a) ミズアオイ

プレチラクロール、ピラゾレート、ペントキサゾンおよびテニルクロールの発生前処理、カフェンストロールおよびエトキシスルフロン・ピラゾレート・プレチラクロール混合剤の2葉

期処理が除草効果を示した^{18, 37, 42, 43)}。

b) アゼトウガラシ

プレチラクロール、カフェンストロール、ピフェノックスおよびナプロアニリドの発生前処理、ベンタゾンなどの中期剤が除草効果を示した⁹⁾。しかしメフェナセット、エスプロカルブ、ベンフレセート、ジメピペレート、エトベンザニドおよびシハロホップブチルは除草効果が不十分であった。

c) アゼナ類 (アゼナ, アメリカアゼナCタイプ, アメリカアゼナRタイプ[タクトアゼナ])

プレチラクロール、カフェンストロール、ピラゾレートおよびピフェノックスなどの発生前処理が除草効果を示した^{1, 7)}。しかしメフェナセット、エスプロカルブ、ベンフレセート、ジメピペレートおよびエトベンザニドの発生前処理は除草効果が不十分だった。SU抵抗性アゼナ類に対して効果を持つ成分を含む一発剤も、同様に除草効果を示した^{28, 43)}。

d) キクモ

プレチラクロールの発生前処理、プレチラクロールもしくはベンチオカーブ含有一発剤が除草効果を示した⁴²⁾。

e) ミゾハコベ

ピラゾレート、ペントキサゾンおよびピフェノックスの発生前処理が除草効果を示した^{4, 6)}。しかしメフェナセット、エスプロカルブおよびテニルクロールを含む一発剤は除草効果が不十分だった。カフェンストロール混合剤の1葉期処理、ジメタメトリン・プレチラクロール混合剤の2.5葉期処理は除草効果を示した⁶⁾。

f) イヌホタルイ

プレチラクロール、ピラゾレート、ペントキサゾン、クロメプロップ、ピリブチカルブおよびベンフレセートの発生前処理、プロモブチド

およびベンゾピシクロンの2葉期処理が除草効果を示した^{20,44)}。また一発剤ではエトキシスルフロン・ピラゾレート・プレチラクロール粒剤およびプロモブチド含有SU混合剤などが除草効果を示した^{3,20,30)}。

SU抵抗性イヌホタルイはSU感受性生物型よりも低温での発芽性に優れている^{17,19,20)}。そのため代かき後気温が低温で推移する北日本の水田では、SU抵抗性イヌホタルイはSU感受性生物型よりも発生が速やかであると考えられ、処理適期を逃さないように早めに除草剤を処理することが防除の重要なポイントになる。

g) コナギ

プレチラクロール、ベンチオカーブもしくはメフェナセットを含むSU混合剤の1葉期処理およびピラゾレートの5葉期処理が除草効果を示した¹⁵⁾。

5. SU抵抗性の検定

今までは雑草が残存した場合、除草剤の処理時期の逸脱や水管理の不良などが原因として考えられてきた。しかし現在はSU抵抗性生物型雑草が広く出現しているので、雑草が残存した原因としてSU抵抗性生物型の出現も考慮する必要がある。そのため残存した雑草のSU抵抗性の有無を明らかにし、速やかに適切な防除対策を策定することが重要である。そこでSU剤処理後水田に残存した成植物のSU抵抗性の有無を2～3日で検定する方法として、SU剤の作用部位であるアセト乳酸合成酵素(ALS)のSU剤処理下での活性を測定する検定法が開発された^{34,36)}。この検定法はアゼトウガラシおよびイヌホタルイの成植物と9～13葉期のアゼナ類に適用できることが確認されている。他草種に適用する場合はあらためて供試雑草の葉齢、採取部位や試葉、

除草剤の処理濃度などを確認する必要がある。この検定法は、検定に供試する雑草の葉齢、採取部位や試葉、除草剤の処理条件などに注意を要するため農家や農業普及センターなどで簡易に検定することが難しい。そこで簡易な検定法として、SU水溶液で生育させた雑草の発根を観察することによって、7～14日でSU抵抗性の有無を検定する方法が開発された²²⁾。この検定法はアゼナ類、イヌホタルイおよびコナギの成植物に適用できることが確認されている。

一方SU剤は水田で初期あるいは初・中期一発除草剤として使用されることから、雑草の発生期における除草反応を明らかにすることが重要である。発生期における除草剤検定法には、ポット試験以外ではシャーレ試験および水耕法などがあるが、コナギは、シャーレ上などでは発芽しないためシャーレ試験や水耕法などでは検定ができない^{3,11)}。そこでコナギ種子に対して発芽促進効果を持つことが知られているイネ種子抽出液¹²⁾を添加した寒天培地によるコナギの除草剤検定法が開発されており¹⁴⁾、SU抵抗性の有無の検定にも適用できる。

6. SU抵抗性雑草の遺伝様式

SU感受性アゼトウガラシ、アゼナ類およびイヌホタルイのALSは、タバコALSのアミノ酸配列の196番目に相当する部分がプロリンであるのに対し、SU抵抗性生物型のALSは、アゼトウガラシではグルタミン、アゼナおよびアメリカアゼナCタイプではセリン、アメリカアゼナRタイプではアラニン、イヌホタルイではロイシンに置換されている^{28,33)}。このALSの変異によって出現したSU抵抗性は核遺伝子に支配された単因子優性で遺伝する^{10,41)}。

SU抵抗性生物型が出現するメカニズムは、雑

草の個体群にすでに抵抗性生物型が存在していたとする説や雑草の個体群に突然変異体が出現したとする説などいくつかの仮説がある⁴¹⁾。アゼトウガラシでは、各地域で出現したSU抵抗性生物型は、それぞれ独立して発生した突然変異体によるとした報告がある²⁷⁾。

7. おわりに

このようにSU抵抗性生物型雑草の発生動向や防除に関する研究は多く行われているが、生理・生態に関する研究は不十分である。SU抵抗性獲得のメカニズムはまだ不明な点も多く、遺伝様式の解明や分子生物学的な研究を行う必要がある。

SU抵抗性雑草の出現は北日本地域や早期・早植え栽培地域に集中しており、除草剤処理時の水温が低いことによる発生の長期化が、SU抵抗性雑草の出現に何らかの影響を与えている可能性がある⁵⁾。しかし最近九州でもSU抵抗性雑草が出現しており、全国どこでもSU剤を連用している水田ではSU抵抗性雑草が出現する可能性があるので注意する必要がある。

日本国内で出現したSU抵抗性雑草は複合抵抗性をもたないため、非SU系の初期剤と中期剤の体系処理によって防除できる。しかし海外ではベンスルフロンメチルと2,4-Dに対して抵抗性をもつキバナオモダカの出現が報告されており²³⁾、日本国内でも複合抵抗性雑草が出現しないように注意する必要がある。体系処理以外にもSU抵抗性雑草に効果を示す非SU系除草剤を含有する一発剤も防除効果が期待できる。しかしSU抵抗性雑草を防除するには有効除草剤の含有量が少ない場合や処理時期が遅い場合では、一発剤の防除効果は変動するので注意する必要がある。

SU剤は低薬量で一年生カヤツリグサ科雑草や一年生広葉雑草だけでなくオモダカやクログワイなどの多年生雑草にも効果を示す優れた除草剤であり、単一成分でこれに代わるものはまだ開発されていない。今後もSU剤の使用を続けるためにも、SU抵抗性雑草が出現した水田では、SU抵抗性雑草に効果のある非SU系除草剤を組み合わせた体系処理を行いSU抵抗性雑草の蔓延を防ぐこと、SU抵抗性雑草が出現していない水田では同じ作用機作を持つ除草剤の連用を避けることが肝要である。

8. 引用文献

- 1) 青木美里ら 1998. スルホニルウレア系除草剤抵抗性アメリカアゼナ多発圃場における数種薬剤の効果と防除体系. 雑草研究, 43(別), 32-33.
- 2) 千坂英雄・片岡孝義 1977. 水田一年生雑草種子の休眠・発芽・出芽の特性. 雑草研究, 22(別), 94-96.
- 3) 福本俊彦ら 1999. 水稻作でのスルホニルウレア系除草剤抵抗性雑草をも対象としたベンスルフロンメチル含有一発処理剤の開発 2. スルホニルウレア系除草剤抵抗性イヌホタルイをも対象にした一発剤の開発. 雑草研究, 44(別), 90-91.
- 4) 畑克利ら 1998. スルホニルウレア系除草剤抵抗性ミゾハコベの発現. 雑草研究, 43(別), 28-29.
- 5) 畑克利ら 1998. 埼玉県における除草剤抵抗性水田雑草の発生状況. 雑草とその防除, 35, 89-93.
- 6) 平田秋靖ら 1999. 宮城県内で発生したスルホニルウレア系除草剤抵抗性ミゾハコベと数種除草剤の効果. 雑草研究, 44(別), 76-77.

- 7) 伊藤一幸ら 1997. スルホニルウレア系除草剤抵抗性アゼナ類の防除. 雑草研究, 42(別), 24-25.
- 8) 伊藤一幸ら 1998. 秋田県大曲市に出現したスルホニルウレア系除草剤抵抗性のキカシグサについて. 雑草研究, 43(別), 40-41.
- 9) Itoh, K. et al. 1999. Sulfonylurea resistance in *Lindernia micrantha*, an annual paddy weed in Japan. Weed Res., 39, 413-423.
- 10) 伊藤一幸ら 1999. アゼトウガラシにおけるスルホニルウレア系除草剤抵抗性の遺伝様式. 雑草研究, 44(別), 78-79.
- 11) 片岡孝義ら 1978. 数種雑草種子の発芽時の酸素要求度. 雑草研究, 23(1), 9-12.
- 12) Kawaguchi et al. 1997. Allelopathic potential of rice seed (*Oryza sativa* L.) on seed germination of *Monochoria vaginalis* var. *plantaginea*. J. Weed Sci. Tech., 42(3), 262-267.
- 13) 川崎聡明 1999. スルホニルウレア系抵抗性イヌホタルイの発生確認と対策. 平成11年度新しい技術の試験研究成果 (普及奨励技術), 山形県農林水産部編, 9-10.
- 14) 小荒井晃ら 2001. 寒天培地を用いたコナギの培養法の開発とイネ粉浸漬液のコナギに対する影響の品種間差異の検定. 雑草研究 (投稿中).
- 15) 小荒井晃ら 2001. 東日本の水田におけるスルホニルウレア系除草剤抵抗性のコナギの出現. 雑草研究 (投稿中).
- 16) 古原洋ら 1999. 北海道におけるスルホニルウレア系除草剤抵抗性イヌホタルイ (*Scirpus juncooides* Roxb. var. *ohwianus*. T. Koyama) の出現. 雑草研究, 44(3), 228-235.
- 17) 古原洋ら 1999. スルホニルウレア系除草剤抵抗性イヌホタルイ種子の低温下における発芽. 雑草研究, 44(別), 74-75.
- 18) 古原洋 2000. 北海道における水田雑草ミズアオイの発生状況と防除. 農業技術, 55(1), 22-25.
- 19) 古原洋ら 2000. スルホニルウレア系除草剤抵抗性イヌホタルイ 3 集団の採種直後からの発芽. 雑草研究, 45(別), 38-39.
- 20) 古原洋 2000. 北海道におけるスルホニルウレア系除草剤抵抗性雑草の発生状況とその対策. 植調, 34(3), 85-91.
- 21) 三浦恒子ら 1998. スルホニルウレア系除草剤抵抗性雑草の発生と防除方法. 東北農業研究, 51, 57-58.
- 22) 村岡哲郎 2000. イヌホタルイの発根への影響を利用したスルホニルウレア抵抗性の簡易検定法. 植調, 34(2), 67-71.
- 23) Nakayama, S. et al. 1999. *Limnorcharis flava* (L.) Buchenau resistant to 2,4-D and bensulfuron-methyl. In "The management of biotic agents in direct seeded rice culture in Malaysia" ed. by MARDI, MADA and JIRCAS, pp. 129-140.
- 24) 大場伸一 1997. 山形県川西町におけるスルホニルウレア系除草剤抵抗性雑草の発生実態. 日作紀東北支部報, 40, 65-67.
- 25) 佐藤徹 2000. 新潟県におけるSU剤抵抗性アメリカアゼナについて. 植調, 34(1), 13-21.
- 26) 清藤文仁ら 1997. 青森県津軽一部地域におけるアメリカアゼナの残草実態と除草剤使用前歴. 雑草研究, 42(別), 166-167.
- 27) Shibaike, H. et al. 1999. Genetic variation and relationships of herbicide-

- resistant and susceptible biotypes of *Lindernia micrantha*. In Proceedings of Brighton Congress - Weeds, 197-202.
- 28) 渋谷健市ら 1999. 宮城県で採取されたスルホニルウレア系除草剤抵抗性イヌホタルイのアセト乳酸合成酵素遺伝子の解析. 雑草研究, 44(別), 72-73.
- 29) 白倉伸一ら 1999. 水稻作でのスルホニルウレア系除草剤抵抗性雑草をも対象としたベンスルフロンメチル含有一発処理剤の開発 1. スルホニルウレア系除草剤抵抗性アゼナ類に対する各種ベンスルフロンメチル混合剤の除草効果. 雑草研究, 44(別), 88-89.
- 30) 杉浦健司ら 1998. スルホニルウレア抵抗性イヌホタルイに対するエトキシスルフロン(Hoe-404)・ピラゾレート(SW-751)・プレチラクロール(CG-113)混合剤の除草効果, 雑草研究, 44(別), 86-87.
- 31) 杉本充 1999. 京都府におけるスルホニルウレア系除草剤抵抗性水田雑草の出現と数種除草剤の効果. 近畿作物育種研究, 44, 43-48.
- 32) 内田萬二 1955. コナギの自花交合受粉. 採集と飼育, 17, 34-37.
- 33) 内野彰ら 1999. スルホニルウレア系除草剤抵抗性アゼトウガラシ属水田雑草のアセト乳酸合成酵素遺伝子の変異. 雑草研究, 44(別), 80-81.
- 34) 内野彰 1999. スルホニルウレア抵抗性水田雑草の迅速検定法. 植調, 33(9), 354-360.
- 35) 内野彰ら 2000. 東北地方におけるスルホニルウレア系除草剤抵抗性アゼナ類2種1変種の出現と各種除草剤に対する反応. 雑草研究, 45(1), 13-20.
- 36) 内野彰ら 2000. アゼトウガラシ属雑草の葉齢・葉位によるアセト乳酸合成酵素活性の差異. 東北雑草研究会2000要旨, 16.
- 37) 植田拓也ら 1999. スルホニルウレア系除草剤抵抗性雑草に対するベントキサゾン(KPP-314)の作用. 雑草研究, 44(別), 304-305.
- 38) 汪光熙ら 1997. ミズアオイ *Monochoria korsakowii*の数種スルホニルウレア系除草剤に対する反応. 雑草研究, 42(別), 14-15.
- 39) 汪光熙ら 1998. スルホニルウレア系除草剤抵抗性生物型のキクモの出現. 雑草研究, 43(別), 38-39.
- 40) Wang, G. et al. 1998. Outcrossing rate as affected by pollinators and the heterozygote advantage of *Monochoria korsakowii*. Aquatic Botany, 62, 135-143.
- 41) 汪光熙 2000. 除草剤抵抗性およびその遺伝様式. 植調, 34(1), 3-10.
- 42) 渡邊寛明ら 1998. スルホニルウレア系除草剤抵抗性広葉雑草(アゼナ類, キクモ, ミズアオイ)に対する数種除草剤の除草効果. 雑草研究, 43(別), 46-47.
- 43) 渡辺賢ら 1998. スルホニルウレア抵抗性雑草に対するエトキシスルフロン(Hoe-404)・ピラゾレート(SW-751)・プレチラクロール(CG-113)混合剤の除草効果, 雑草研究, 43(別), 26-27.
- 44) 吉田修一ら 1999. 宮城県におけるスルホニルウレア系除草剤抵抗性イヌホタルイの確認. 雑草研究, 44(別), 70-71.