

日本の水田雑草における SU 抵抗性研究の現状について

中央農業総合研究センター 内野彰

はじめに

除草剤抵抗性は現在までに世界で 250 種類以上の雑草に報告されている⁴⁾。中でもアセト乳酸合成酵素 (acetolactatesynthase : ALS) を阻害する除草剤 (ALS inhibitor) については抵抗性の報告が特に多く、90 種類以上の雑草で報告されている⁴⁾。日本では 1980 年代からパラコート抵抗性やシマジン抵抗性が報告されていたが³⁵⁾、1995 年頃から ALS inhibitor の 1 つであるスルホニルウレア系除草剤 (SU 剤) に対する抵抗性が水田雑草に報告されるようになった。報告された水田では、SU 抵抗性個体の出現に気付かず SU 剤に頼った除草を続けていたため、異常に高い密度で SU 抵抗性個体が繁茂して大きな問題となっていた。現在では、SU 抵抗性対策用の除草剤の普及が進み、多くの地域でこれらによる SU 抵抗性対策が取られている。本稿では、水田雑草における SU 抵抗性の発生実態とその対策など、その研究の現状について紹介する。

SU 剤について

SU 剤は、多年生雑草も含めた多くの雑草に非常に高い効果を持つ除草剤成分で、1980 年代後半に登録され、現在では水稲作に広く普及している。この除草剤成分は人畜毒性が低く、作物の選択性にも優れ、さらに残効期間も長いなど、除草剤としては極めて優れた特性を併せ持っている¹⁹⁾。水稲作で使用される一発処理型除草剤 (一発剤) は、通常、複数の成分からなっており、主にヒエに効く成分、主に広葉雑草やカヤツリグサ科雑草に効く成分、薬害軽減剤などが含まれている。SU 剤はそのうちの「主に広葉雑草とカヤツリグサ科雑草に効く成分」として含まれる。

ある雑草が一発剤の SU 剤成分だけによって防除されている場合、つまり一発剤に含まれる「SU 剤以外」の成分の効果がない場合、この雑草の中に SU 剤抵抗性の個体が出現すると、その一発剤を散布しても防除できないことになる。逆に他の雑草が一発剤で防除されると競合相手がなくなり、抵抗性個体にとって非常に有利な環境が出現する。この環境で翌年以降も同じ除草剤処理が続けられると、SU 抵抗性個体だけが選択的に増殖することになる。こうした過程を経て SU 抵抗性個体が水田一面に高い密度で生育したと想像されている。

北海道・東北を中心に全国的に発生

日本における SU 抵抗性は、1995 年に北海道のミズアオイ¹¹⁾で最初に見つかった後、東北地域を中心にアゼトウガラシ属の水田雑草 (アゼトウガラシ、アゼナ、アメリカアゼナ及びタケトアゼナ)^{5,25)}に見つかり、1997 年にはイヌホタルイ¹⁰⁾、2000 年にはコナギ⁹⁾で見つかった。現在では九州地方まで含め全国的に SU 抵抗性がみられ、日本で SU 抵抗性が確認された雑草は 13 種類に及んでいる (表 1)。

図 1 は 1996 年に筆者らが行った山形県遊佐町の調査結果である⁶⁾。当時、山形県遊佐町の水田でアゼトウガラシ属の水田雑草が異常な密度で残草するのが多く見られたため、水田を一筆一筆調査し、その発生密度を記載した。この調査では、地域の水田 671 筆 (約 250ha) を調べ、その

表1 日本でSU剤抵抗性が確認された雑草と地域

草種 (学名)	最初の報	報告された地域
ミズアオイ (<i>Monochoria korsakowii</i>)	1996	北海道, 青森, 宮城
アゼトウガラシ (<i>Lindernia micrantha</i>)	1997	秋田, 山形, 福島, 京都
アゼナ (<i>Lindernia procumbens</i>)	1997	青森, 岩手, 宮城, 秋田, 山形, 福島, 新潟
アメリカアゼナ (<i>Lindernia dubia</i> var. <i>major</i>)	1997	青森, 岩手, 宮城, 秋田, 山形, 新潟, 埼玉, 兵庫,
タケトアゼナ (<i>Lindernia dubia</i> var. <i>dubia</i>)	1997	青森, 岩手, 宮城, 山形, 福島, 佐賀, 宮崎
ミゾハコベ (<i>Elatine triandra</i> var. <i>pedicellata</i>)	1998	宮城, 山形, 茨城, 埼玉, 佐賀
キクモ (<i>Limnophila sessiliflora</i>)	1998	秋田
キカシグサ (<i>Rotala indica</i>)	1998	秋田, 佐賀
イヌホタルイ (<i>Scirpus juncooides</i> var. <i>ohwianus</i>)	1998	北海道, 青森, 岩手, 宮城, 秋田, 山形, 福島, 茨
コナギ (<i>Monochoria vaginalis</i>)	2000	青森, 秋田, 福島, 茨城, 長野, 京都, 福岡
タイワンヤマイ (<i>Scirpus wallichii</i>)	2001	宮城
オモダカ (<i>Sagittaria trifolia</i>)	2002	秋田, 宮城
スズメノテッポウ (<i>Alopecurus aequalis</i> var. <i>amurensis</i>)	2005	福岡

(文献 16, 21, 24 より作成)

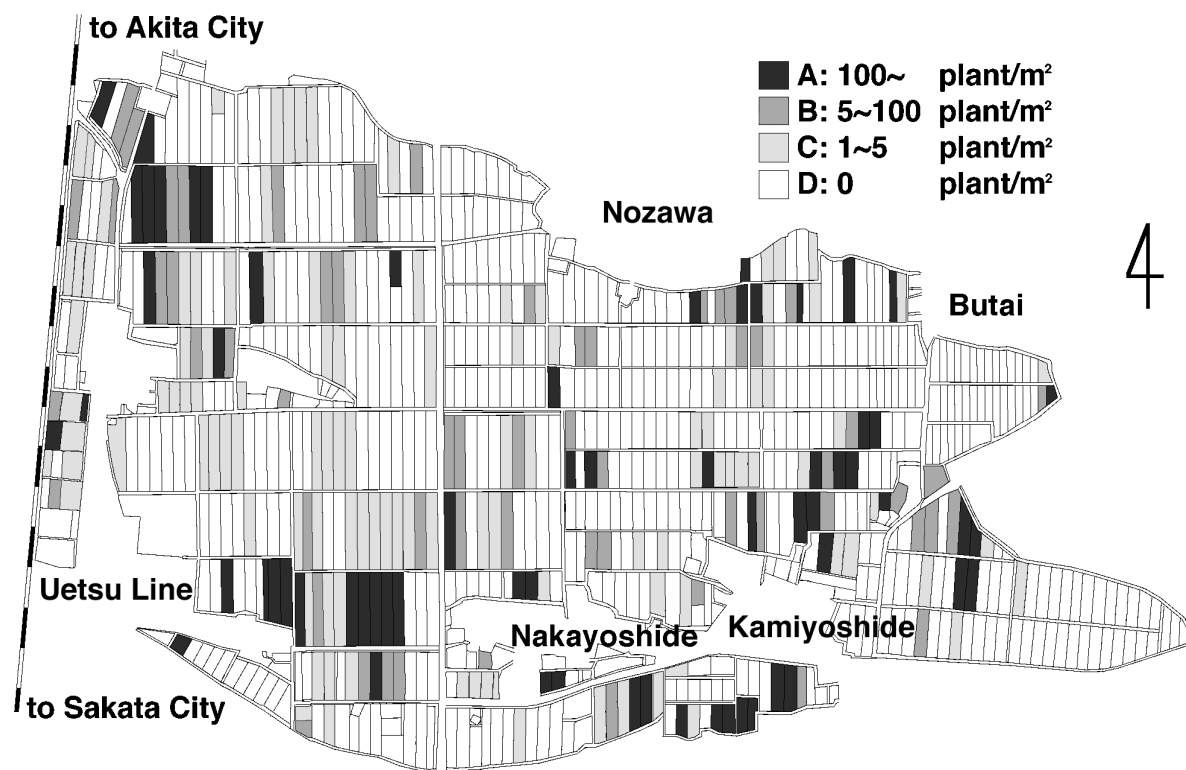


図1 山形県遊佐町におけるアゼトウガラシ属水田雑草の残草水田の分布 (文献 6 より作成)

1996年6月の調査。A, 水田一面に発生がみられた水田; B, 比較的高い密度で発生が見られた水田; C, わずかでも残草が認められた水田; D, 全く残草が認められなかった水田。

うちの 229 筆 (34%) の水田に残草がみられた。残草水田は図 1 に示したように地域全体にパッチ状に広がっており、地域の中に特に蔓延の中心となるような水田を認めることはできなかった。一方、残草水田を耕作者別に集計すると耕作者による違いが明瞭であった。SU 剤に頼った雑草防除を連年行ってきた農家では残草水田が多く見られ、その一方で、除草剤のローテーションに注意し同一除草剤の連用が行われなかった農家では残草水田が全く見られなかった。結果的にパッチ状に広がった残草水田は、耕作者の違い、すなわち除草体系の違いを表したものであった。この結果は、地域の中のある水田に出現した SU 抵抗性個体が、SU 剤に頼った除草体系を連用した水田を選んで増殖・蔓延したことを反映したものと考えられる。

SU 抵抗性個体は外見だけでは従来のもの (感受性個体) と変わらないため、全国的な発生数や発生面積を正確に把握することは難しい。2000 年に都道府県単位で行ったアンケート調査では、12 道府県でイヌホタルイ、アゼトウガラシ属水田雑草およびミゾハコベなどに SU 抵抗性の出現が認められた¹³⁾。2004 年に行われたアンケート調査では 30 道府県以上に SU 抵抗性の出現が認められ、その中ではイヌホタルイとコナギの増加が特に顕著であった¹²⁾。東北では後述する抵抗性検定法によって調査が行われ、その結果、1996 年から 2003 年までの間に東北の 45% の市町村で抵抗性の出現が確認された²⁸⁾。この東北の調査では、イヌホタルイ、アゼトウガラシ属水田雑草、コナギの順に抵抗性事例が多く確認されている。これらの調査はいずれも網羅的なものではないため、実際の発生事例はさらに多いものと考えられる。

数千倍もの高い SU 抵抗性

上記の山形県遊佐町からタケトアゼナやアゼナを採取して感受性個体と比較したところ、外見は全く同じであるが SU 剤に対する反応に数十倍以上の違いがあり、高いものでは数千倍の違いがあった²⁵⁾。感受性個体であれば通常の SU 剤処理で枯死するが、抵抗性個体では 50 倍以上の高い濃度で SU 剤処理を行っても生育できる (図 2)。こうした強い抵抗性は他の草種でも同様に見られ、生育量を 50% 阻害する除草剤濃度 (GR₅₀) の比で比較すると、アゼトウガラシ、イヌホタルイ、コナギなどで数百倍以上の差が確認されている (表 2)。

表 2 日本で報告されている水田雑草のベンスルフロンメチルに対する反応☆

	バイオタイプ	採取地	GR ₅₀ *(g a. i. /10a)	GR ₅₀ R/S 比**	文献
タケトアゼナ	抵抗性	山形県遊佐町	314	5, 110	25
	感受性	岩手県雫石町	0.0614		
アゼナ	抵抗性	山形県遊佐町	67.4	60.7	25
	感受性	秋田県大仙市	1.11		
アメリカアゼナ	抵抗性	宮城県大崎市	532	10, 200	25
	感受性	秋田県大仙市	0.0524		
イヌホタルイ	抵抗性	北海道中富良野町	138	119	10
	感受性	北海道岩見沢市	1.16		
コナギ***	抵抗性	秋田県大仙市	>1000	>100	9
	感受性	秋田県大仙市	9.9		
アゼトウガラシ	抵抗性	山形県川西町	71.9	282	5
	感受性	秋田県大仙市	0.255		
キカングサ	抵抗性	秋田県大仙市	51.8	101	1
	感受性	茨城県つくば市	0.512		
キクモ	抵抗性	秋田県美郷町	132	896	33
	感受性	秋田県大仙市	0.147		

*GR₅₀, 50% の生育阻害を引き起こすベンスルフロンメチル濃度。イヌホタルイ、アゼトウガラシ、キクモについては 50% の致死を引き起こす濃度で表示。市町村合併によって変更された市町村名は、新市町村名で表示し
 R/S 比は 感受性バイオタイプと抵抗性バイオタイプの GR₅₀ 比 *コナギの GR₅₀ の単位は μg a. i. /L
 ☆「雑草と作物の制御」2 巻に掲載された表はバイオタイプの表記が間違っていて逆になっていたため、修正した。

除草剤処理

無処理

1/16 倍量

標準量

16 倍量

64 倍量



上段：SU 抵抗性バイオタイプ（山形県遊佐町）

下段：SU 感受性バイオタイプ（岩手県雫石町）

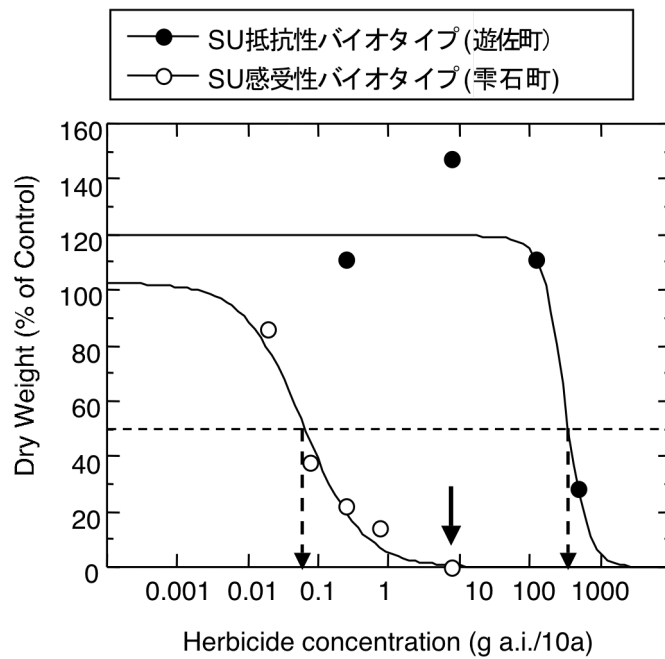


図2 タケトアゼナにベンスルフロンメチル（スルホニルウレア系除草剤）を処理した結果。

上はポット試験の写真。下のグラフは、除草剤濃度を横軸に乾物重を無処理区比%にして縦軸にプロットしたもの。実線の矢印は水田の標準処理量を示し、点線の矢印はそれぞれのバイオタイプのGR₅₀（50%生育阻害濃度）を示す。GR₅₀はログ-ロジスティック曲線に非線形回帰して計算した(文献25より作成)。

SU 剤以外の除草剤で防除する

SU 剤以外にも対象雑草には有効な除草剤成分があり、こうした成分を利用することで SU 抵抗性個体を防除することができる。例えばイヌホタルイの場合にはブロモブチドの効果が高く、ブロモブチドを含む除草剤であれば SU 抵抗性のイヌホタルイに対しても高い効果を示す。またシメトリンと MCPB の混合剤やベンタゾンを含む中期剤、後期剤も高い効果を示す。この他にも、クロメプロップとベンゾビシクロンの効果が高く、ブロモブチドを含めたこれら 3 成分のいずれかを含んだ除草剤については、そのいくつかは「SU 抵抗性対策剤」として広く市販されるようになっている。イヌホタルイにはこの他、プレチラクロール、ブタクロール、クミルロン、ダイムロン、ベンフレセート、ピラゾレートなどの効果もある。

SU 抵抗性のコナギの場合はクロメプロップの効果が高く、シメトリンと MCPB の混合剤やベンタゾンを含む中期剤、後期剤も高い効果を示す。また、ベンゾビシクロン、ブロモブチド、ピラゾレート、メフェナセットの効果も高く、プレチラクロール、ペントキサゾン、ピラクロニル、テニルクロール、ビフェノックス、カフェンストロール、ベンゾフェナップなども有効である。

SU 抵抗性のアゼナ類には有効な成分が数多くあるが、雑草発生後の処理では効果が低下する場合があるため、初期剤散布が有効になる。アゼナ類にもクロメプロップの効果は高く、シメトリンと MCPB の混合剤、ベンタゾンを含む中期剤、後期剤も高い効果を示す。また、プレチラクロール、ビフェノックス、ピラゾレート、ペントキサゾン、ベンゾフェナップ、カフェンストロールなど多くの成分が、発生前の処理で高い効果を示す。

SU 抵抗性のオモダカについては、ベンゾフェナップを含む初期剤と MCPB またはベンタゾンを含む中期剤、後期剤との体系処理が有効である³⁶⁾。ピラゾレートも効果がある。

SU 抵抗性のキコモについては、プレチラクロール、ビフェノックス、クロメプロップ、MCPB などが有効であるため、これらを含む除草剤で防除する³⁴⁾。

市販の除草剤には複数の除草剤成分が混合されており、上記の成分を含む除草剤でも濃度や組み合わせによって効果の変動する場合がある。市販の除草剤の効果については、日本植物調節剤研究協会が SU 抵抗性雑草（イヌホタルイ、コナギ、ミズアオイ）に対する効果確認試験を行っており、ホームページ (http://www.japr.or.jp/gi_jyutu/index.html#01) に「SU 抵抗性雑草について実用化可能と判定された除草剤」の一覧が掲載されている。SU 抵抗性個体に有効な除草剤を選択する場合には、このホームページが参考になる。

外見では見分けにくい SU 抵抗性個体

それぞれの水田に生育する雑草が「抵抗性」なのか「感受性」なのかは、外見が全く同じであるため、その判断が容易でない。水田に雑草が多数残っているということだけでは、水管理の失敗などで除草剤がもともと効く環境になかった場合もある。(1) 特定の雑草が異常なくらいの濃い密度で残ってノビエなど他の雑草がきれいに防除されている、(2) 水稻の株間でも大きな個体が濃い密度で生育している、(3) 毎年除草剤処理を行っているにもかかわらず 2、3 年で急激にその雑草が増加した、といった場合には SU 抵抗性個体が蔓延している可能性が高い。(1) は他の雑草に除草剤が効いていることを示しており、ここから除草剤処理の失敗でないことが分かる。(2) は水稻生育のごく初期から対象雑草が生育していたことを示しており、ここから除草剤の効果が無くなった後の後次発生でないことがわかる。(3) は過去 2、3 年の除草剤処理がほとんど効かなかったことを示しており、高い除草剤抵抗性を持つ SU 抵抗性個体の 1 つの特徴ともなっている。

このように水田の状況をよく見ると、抵抗性についてある程度の予測がつく。しかし、抵抗性を判別するために最も確実な方法は直接除草剤に対する反応をみることである。除草剤に対する反応は、ポットに発生させた対象雑草に除草剤処理を行って生育を調査する、いわゆるポット試験（図1）で確認することができる³¹⁾。ただしこの場合、種子が必要になることや結果が判明するまでに1-2ヶ月要することなどから、試験結果をその年の作期の間に得ることが難しい。より早く抵抗性を見極めるためには、生育中の植物体を用いて短期間で検定できる方法を利用することになる。

抵抗性を迅速に検定する

SU抵抗性を短期間で検定する方法として「発根法」^{3,14)}、「地上部再生法」¹⁷⁾、「ALS活性を利用した迅速検定法(酵素活性法)」^{22,27,29)}などが開発されている。「発根法」と「地上部再生法」は、水田から検定個体を採取して根および地上部を株元から数センチ残して切りとり、水耕またはポットに植えて除草剤処理を行い、根または地上部の再生の有無で抵抗性を検定する方法である。この二つの方法は特別な器具を要しないため、農業現場でも容易に利用することができる。どちらの方法も処理後2-3週間経過すると再生の有無が判断でき、再生があれば抵抗性、なければ感受性と診断される。一方、「酵素活性法」はSU剤のターゲットとなる酵素であるALSの活性測定を行い、除草剤処理による活性阻害の有無で抵抗性を検定する方法である。この方法は上の二つの方法と違い、生化学の簡単な実験設備を必要とするため農業現場で簡単に使用することができない。しかし、結果が出るまで最短で2日であること、少量の植物片を用いて試験管で除草剤処理を行うため場所をとらないことなどから、短期間で多量のサンプルを検定できる利点がある。この検定法の詳細はWebサイト(<http://jhrwg.ac.affrc.go.jp/diagnosis/diagnosis.html>)に掲載しているが、酵素活性に依存した赤色の発色の有無で活性阻害を判断し、除草剤処理でも活性があることを示す赤色の発色が得られれば抵抗性と判断される。これらの3つの検定法は、いずれも除草剤を処理しない無処理区を同時につくり、無処理区での再生あるいは活性を確認しておく必要がある。無処理区で再生や活性が認められない場合は、検定がうまく行っていないことになるので、その確認は非常に重要である。

これらの方法は検定の目的によって様々な場面で使われるが、適用する草種が限定されることには注意する。発根法と酵素活性法はアゼトウガラシ属水田雑草、イヌホタルイ、コナギ、スズメノテッポウに適用可能であることが確認されているが、他の草種には確認されておらず、うまく検定できない場合がある。例えばオモダカで発根法を行うと感受性バイオタイプでも根が再生し、バイオタイプによって根の再生に差が認められないことが分かっている。また、オモダカやキカシグサで酵素活性法を行うと、きれいな発色がみられず抵抗性の検定ができない。再生法もアゼトウガラシ属水田雑草、イヌホタルイ、コナギで適用が確認されているが、他の草種への適用の可能性は今のところ不明である。検定法の適用が確認されていない他の草種については、ポット試験を行うのが今のところ最も確実な方法である。

遺伝子の一箇所の変異により抵抗性が出現する

SU剤のターゲットとなるALSの遺伝子については、モデル植物による研究が進み、ALSタンパク質のPro197と呼ばれる部位でプロリンが他のアミノ酸に置換されるような変異がALSのSU剤感受性を低下させることが分かっている²⁰⁾。この変異は、遺伝子のDNA塩基配列が一箇所変わっ

表3 アゼトウガラシ属水田雑草の ALS 遺伝子の Pro197 部位の比較^{23, 26)}

雑草名	バイオタイプ	採取地	Pro197 部位	
			DNA 配列	コードされるアミノ酸
タケトアゼナ	感受性	雫石町	CCA	Pro
	抵抗性	遊佐町	GCA	Ala
アメリカアゼナ	感受性	大仙市	CCA	Pro
	抵抗性	大崎市	TCA	Ser
	抵抗性	大仙市	TCA	Ser
アゼトウガラシ	感受性	大仙市	CCA	Pro
	抵抗性	川西町	CAA	Gln
	抵抗性	大仙市	TCA	Ser
アゼナ	感受性	大曲市	CCA	Pro
	抵抗性	阿賀野市	CAA	Gln
	抵抗性	遊佐町	TCA	Ser

市町村合併によって変更された市町村名は、新市町村名で表示した。

ただけで起こり得る。表3は筆者らが4種類のアゼトウガラシ属水田雑草についてALS遺伝子を調べた結果である。抵抗性および感受性個体でALS遺伝子のPro197部位の塩基配列を決定したところ、すべての抵抗性個体ではALS遺伝子の塩基配列が一箇所だけ変わり、プロリンが他のアミノ酸に置換されるのが認められた。こうした変異ALS遺伝子はイヌホタルイやコナギ、オモダカなど他の草種でも抵抗性個体で確認されており^{18, 30, 32)}、これらではPro197部位における変異が抵抗性を引き起こしていると考えられている。

抵抗性を引き起こす変異はPro197部位以外にもあることが判明している。ALS遺伝子のTrp574やAsp376などがそれで、イヌホタルイやコナギなどで見つかった^{7, 30)}。Trp574が変異した抵抗性個体は、SU剤だけでなく他のALS inhibitorにも広く抵抗性を示すため、他のALS inhibitorが対策剤として使えない場合がある。今のところ、この事例は多くないが、SU抵抗性対策では注意する必要がある。

通常、遺伝子の変異は自然状態でも連続的に起こると考えられており、一つの遺伝子に自然に起こる変異の確率は $1/10^6$ 程度とされ、DNA一塩基あたりで計算すると $1/10^9$ 程度になると推定されている¹⁵⁾。仮にこのような自然状態の変異だけが起こったとしても、単純計算で 10^9 個の雑草個体があれば、Pro197部位のDNA塩基が1つ変異した個体、すなわちSU抵抗性個体が現れることになる。アゼトウガラシ属水田雑草は生産種子数が非常に多く、もともと中干し後には水田畦畔際に発生して多数の種子を生産する雑草であった。また、コナギ、イヌホタルイも生産種子の数が非常に多い。数多くの種子から発生する個体に対してSU剤による選択圧をかけたことが、これらの雑草で広くSU抵抗性個体があらわれた理由と推察される。

同じ除草剤の連用を避ける

SU抵抗性個体の出現は確率の問題であり、ある意味では、SU剤だけに頼った除草を続ければいつかは必ず出現するともいえる。アゼトウガラシ属雑草を始めイヌホタルイやコナギなどの土中での種子の寿命は10年以上と非常に長く^{2, 8)}、これらの抵抗性個体一旦水田に入るとそれに

対応した防除体系を長期間に渡って行う必要が生ずる。SU 抵抗性個体は、SU 剤と異なる作用機作をもつ除草剤で防除できるが、その一方で SU 剤による防除が必要な水田も数多くあり、そうした水田では長期間に渡って多種類の除草剤を散布する必要が生ずる。その場合除草コストが上昇し、減農薬栽培なども困難となる。

こうしたことから SU 抵抗性対策としては、その出現を未然に防ぐような管理が重要となる。抵抗性個体の蔓延を未然に防ぐために最も重要なのは、「同じ除草剤の連用を避けること」である。同じ作用機作の除草剤の連用は、その除草剤に対する抵抗性をもつ雑草個体の繁茂にとって好適条件となるため、次年度には別の作用機作の除草剤を使い、その雑草個体を早期に防除することが重要となる。未だ出現の見られない水田でも、作用機作の異なる除草剤をローテーションで使用するなど、出現を未然に防ぐ防除対策を行っていくことが重要である。

引用文献

- 1) Blancaver, M. E. A., K. Itoh and K. Usui (2001) Resistance of *Rotala indica* Koehne var. *uliginosa* Koehne to sulfonylurea herbicides. *Weed Biology and Management* 1, 209-215.
- 2) 千坂英雄, 伊藤一幸, 児 児嶋清, 古谷勝司, 片岡孝義, 宮原益次 (1985) 数種水田雑草の埋土種子の寿命. *雑草研究* 30(別), 133-134.
- 3) Hamamura, K., T. Muraoka, J. Hashimoto, A. Tsuruya, H. Takahashi, T. Takeshita and K. Noritake (2003) Identification of sulfonylurea-resistant biotypes of paddy field weeds using a novel method based on their rooting responses. *Weed Biology and Management* 3, 242-246.
- 4) Heap, I. (2007) The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. <http://www.weedscience.org/in.asp>.
- 5) Itoh, K., G-X. Wang and S. Ohba (1999) Sulfonylurea resistance in *Lindernia micrantha*, an annual paddy weed in Japan. *Weed Res.* 39, 413-423.
- 6) 伊藤一幸, 内野彰, 汪光熙, 山河重弥 (1997) 山形県遊佐町におけるスルホニルウレア系除草剤抵抗性アゼナ類の分布. *雑草研究* 42(別), 22-23.
- 7) 角康一郎, 大野修二, 小川安則, 清水力 (2006) ALS ドメイン A のプロリン変異と薬剤抵抗性の関係及び SU 抵抗性雑草の ALS 遺伝子解析. *雑草研究* 51(別), 140-141.
- 8) 小荒井晃, 森田弘彦, 李度鎮, 伊藤一幸, 渡邊寛明, 芝山秀次郎, 宮原益次 (1998) 22 年間耕土下層に埋土した水田雑草種子の発芽率. *雑草研究* 43(別), 224-225.
- 9) 小荒井晃, 森田弘彦 (2002) 秋田県および茨城県におけるスルホニルウレア系除草剤抵抗性生物型コナギの出現. *雑草研究* 47, 20-28.
- 10) 古原洋, 今野一男, 竹川昌和 (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, 228-235.
- 11) 古原洋, 山下英雄, 山崎信弘 (1996) 北海道における水田雑草ミズアオイのスルホニルウレア系除草剤抵抗性. *雑草研究* 41(別 1), 236-237.
- 12) 児嶋清 (2005) 稲作雑草の発生状況の変化と防除対策. 「今月の農業 3 月号 (2005)」, 化学工業日報, pp. 17-23.
- 13) 森田弘彦 (2001) 水田雑草の除草剤抵抗性雑草変異発生動向に関するアンケート調査. *植調* 35, 3-10.
- 14) 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, 67-71.

- 15) 根井正利 1990. 分子進化遺伝学. 培風館.
- 16) 大段秀記, 住吉正, 小荒井晃, 内川修(2005)福岡県に発生した除草剤低感受性スズメノテッポウのトリフルラリンおよび各種土壌処理除草剤に対する反応. 雑草研究 50(別), 70-71.
- 17) 大野修二, 柳沢克忠, 花井涼, 村岡哲郎(2004)スルホニルウレア系除草剤抵抗性簡易検定法としての地上部再生法の確立. 雑草研究 49, 277-293.
- 18) 大迫敬義, 杉浦良, 藤本香織, 富永達(2005)コナギのスルホニルウレア系除草剤抵抗性生物型の遺伝的変異. 雑草研究 50(別), 196-197.
- 19) Saari L. L., J. C. Cotterman and D. C. Thill (1994) Resistance to acetolactate synthase inhibiting herbicides. In: *Herbicide Resistance in Plants: Biology and Biochemistry*, eds. Powles S. B. and Holtum J. A. M. Lewis Publishers, Boca Raton, 83-139.
- 20) Tranel, P. J., and T. R. Wright (2002) Resistance of weeds to ALS-inhibiting herbicides: What have we learned? *Weed Science* 50:700-712.
- 21) 内川修, 宮崎真行, 田中浩平, 大段秀記(2005)福岡県における除草剤低感受性スズメノテッポウの発生と各種除草剤の効果. 雑草研究 50(別), 68-69.
- 22) 内野彰(2001)アセト乳酸合成酵素(ALS)阻害型除草剤抵抗性検定法 3. 作用点感受性試験法. 日本雑草学会編「雑草科学実験法」, 日本雑草学会, 東京, pp. 363-367.
- 23) 内野彰(2002)アゼトウガラシ属水田雑草におけるスルホニルウレア系除草剤抵抗性バイオタイプとそのアセト乳酸合成酵素遺伝子の変異部位. 植調 36(2), 45-51.
- 24) 内野彰(2003)雑草のALS阻害剤抵抗性とその機構. 日本農薬学会誌 28, 479-483.
- 25) 内野彰, 伊藤一幸, 汪光熙, 橘雅明(2000)東北地方におけるスルホニルウレア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, 13-20.
- 26) Uchino, A. and H. Watanabe(2002) Mutations in the acetolactate synthase genes of sulfonylurea-resistant biotypes of *Lindernia* spp. *Weed Biology and Management* 2, 104-109.
- 27) 内野彰, 渡邊寛明(2003)SU 剤抵抗性迅速検定法の改良と数種水田雑草への適用. 雑草研究 48(別), 30-31.
- 28) 内野彰, 渡邊寛明, 菊池晴志, 三浦嘉浩, 尾形茂, 臼井智彦, 吉田修一, 谷なつ子, 三浦恒子, 田口奈穂子, 矢野真二, 伊藤博樹, 新田靖晃(2005)東北6県における2003年までのスルホニルウレア系除草剤抵抗性水田雑草の確認状況. 東北の雑草 5, 24-28.
- 29) Uchino, A., H. Watanabe, G-X. Wang and K. Itoh(1999)Light requirement in rapid diagnosis of sulfonylurea-resistant weeds of *Lindernia* spp. (Scrophulariaceae). *Weed Technol.* 13, 680-684.
- 30) 内野彰, 渡邊寛明, 古原洋, 大段秀記, 伊藤一幸(2004)イヌホタルイおよびオモダカのアセト乳酸合成酵素遺伝子の構造とスルホニルウレア系除草剤抵抗性バイオタイプにおけるその変異. 雑草研究 49(別), 58-59.
- 31) 汪光熙(2001)アセト乳酸合成酵素(ALS)阻害型除草剤抵抗性検定法 2. ポット試験法. 日本雑草学会編「雑草科学実験法」, 日本雑草学会, 東京, pp. 362-363.
- 32) Wang, G.-X., Y. Li, W. Li, M. Ito and K. Itoh(2004)A mutation confers *Monochoria vaginalis* resistance to sulfonylureas that target acetolactate synthase. *Pest. Biochem. Physiol.* 80, 43-46.
- 33) Wang, G-X., H. Watanabe, A. Uchino and K. Itoh(2000)Response of a sulfonylurea (SU)-resistant biotype of *Limnophila sessiliflora* to selected SU and alternative

herbicides. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 68, 59-66.

- 34) 渡邊寛明, 汪光熙, 内野彰, 伊藤一幸(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防除効果 . 雑草研究 43(別), 46-47.
- 35) Y. Yogo(2002) Development of herbicide-resistant upland weeds in Japan. In *Agrochemical resistance, extent, mechanism, and detection*, eds. J.M. Clark and I. Yamaguchi, The American Chemical Society, Washington, DC., pp.181-197..
- 36) 吉田修一, 伊藤健二, 内野彰(2006) スルホニルウレア抵抗性オモダカ多発水田における効果的防除法. 雑草研究 51(別), 90-91.