

スルホニルウレア系除草剤抵抗性イヌホタルイ

—抵抗性の生理, 分子機構と宮城県における発生, 防除の概要—

吉田修一(宮城県古川農業試験場), 吉岡俊人・佐藤 茂(東北大学大学院農学研究科)

はじめに

1998年, 北海道(古原ら, 1998)に続いて宮城県内の水田でもスルホニルウレア系除草剤(以下SU剤と表記)抵抗性イヌホタルイ(*Scirpus juncoides* Roxb. var. *ohwianus*)が発生していることが確認された(吉田ら, 1999)。イヌホタルイは水稻作における最重要雑草の一つであり, SU剤はイヌホタルイを防除する上で中心となっている除草剤であることは述べるまでもない。この緊急かつ重大な問題に対処し, 的確な防除指針を作成して広報するためには, SU剤抵抗性イヌホタルイの生態や抵抗性機構に関する基礎的な知見を得ておかなければならない。宮城県では, 古川農業試験場と東北大学農学研究科とが協同してそれらの解明に向けた試験研究に取り組んでいる。ここでは, まずイヌホタルイにおけるSU剤抵抗性の生理, 分子機構を概説し, 次いで宮城県における抵抗性イヌホタルイの発生と防除の実態を紹介したい。今後, 全国各地で直面する恐れのあるSU剤抵抗性イヌホタルイ出現の事態に際して参考にしていただければ幸いである。

イヌホタルイのSU剤抵抗性の生理, 分子機構

1970年代後半, “A環-(CH₂, NH)-SO₂NHCONH-B環”を基本構造とする極めて高い殺草活性を持った有機合成化合物群がデュポン社研究

グループによって見出された(Levitt et al., 1981)。スルホニルウレア系除草剤(sulfonylurea herbicide)である。この基本構造中, A環はオルト位にさまざまな置換基を有するフェニルまたは数種のヘテロ環, B環は両メタ位がメチル基かメトキシ基で置換されたピリミジンまたはトリアジンである。1981年にコムギ用土壌処理剤としてクロロスルフロン(chlorsulfuron)が上市されて以降, 現在までに, それらの組み合わせによって20種類を超えるSU剤が主要作物や非農耕地を対象に開発されてきた(レビュー参照; 白倉, 1998)。わが国では, 水稻用としてベンスルフロンメチル(bensulfuron methyl, 図-1-A), ピラゾスルフロンエチル(pyrazosulfuron ethyl, 図-1-B), イマゾスルフロン(imazosulfuron, 図-1-C), azimsulfuron, cyclosulfamuronおよびethoxysulfuronが市販され, いわゆる「一発処理剤」の主要成分となっている。

1980年代前半になると, SU剤の一次作用点が式1を触媒するアセト乳酸合成酵素(aceto-lactate synthaseまたは2-aceto-2-hydroxyacid synthase, 以下ALSと表記)の阻害であることが生化学的手法によって解明された(レビュー参照; 吉岡, 1987)。

pyruvate+2-ketoacid→2-aceto-2-hydroxyacid+CO₂(式1)

ここで、基質である2-ケト酸として2種類の物質、ピルビン酸と2-ケト酪酸、が利用される。2分子のピルビン酸からは2-アセト乳酸が生成し、ピルビン酸と2-ケト酪酸1分子づつが基質である場合は、2-ハイドロキシ酪酸がこの反応産物となる。2-アセト乳酸はバリンとロイシン、2-ハイドロキシ酪酸はイソロイシンの前駆物質である。そのため、SU剤は必須アミノ酸であるバリン、ロイシン、イソロイシンのレベルを低下させることで殺草作用を示すと考えられている。SU剤の登場から数年後、アメリカンサイアナミド社はイミダゾリノン系除草剤 (imidazolinone herbicide, 図-1-D) を発表した。殺草兆候からこの系統の化合物はSU剤類似の作用機作であると考えられ、生化学的研究の結果、ALS阻害が一次作用点であることが証明された (Shaner et al., 1984)。さらに、ALS阻害に基づく殺草作用を有する除草剤として、トリアゾロピリミジン系除草剤 (triazolopyrimidine herbicide, 図-1-F) とピリミジニルカルボキシ系除草剤 (pyrimidinylcarboxy herbicide, 図-1-E) が、それぞれダウ社とクミアイ化学工業によって開発された。これらスルホニルウ

レア系、イミダゾリノン系、トリアゾロピリミジン系およびピリミジニルカルボキシ系に属する除草剤は、作用機作の面からALS阻害型除草剤 (ALS-inhibiting herbicide) として分類されている。

1987年、米国アイダホ州ではじめてSU剤クロロスルフロンに対する抵抗性を持った雑草個体群の出現が報告された (Thill et al., 1991)。その後、ALS阻害型除草剤抵抗性雑草の事例が急増し、2002年1月28日時点でアメリカ雑草学会ホームページに記載された除草剤抵抗性雑草254生物型中70件がこの除草剤に対するものとなっている。これは、ALS阻害型除草剤が世界的に広く使用されるようになったことに加えて、多くの場合3~6年という短期間の連用でこの除草剤に対する抵抗性雑草が現れたこと (Sarri and Maxwell, 1997) を反映していると思われる。実際に、大型の種子を比較的少数生産するので雑草としては埋土種子集団が小さいと考えられるオオオナモミでも、ミシシッピー州のトウモロコシ畑において4年間でイミダゾリノン系除草剤に対する抵抗性が獲得された (Schmitzer et al., 1993)。シロイヌナズナやアルファル

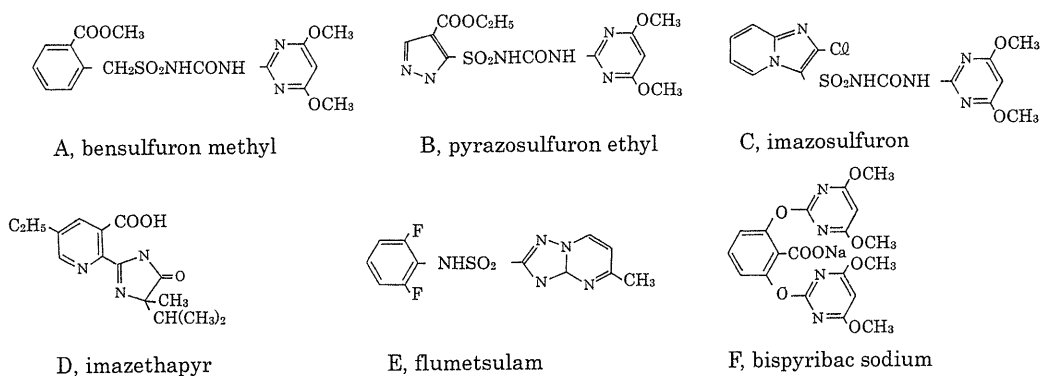


図-1 アセトラクテート合成酵素 (ALS) 阻害型除草剤。ALS阻害を作用機構とする除草剤として4種類の基本構造に属する化合物が知られている。それぞれの系統の除草剤を例示する。スルホニルウレア系除草剤: A, bensulfuron methyl; B, pyrazosulfuron ethyl; C, imazosulfuron。イミダゾリノン系除草剤: D, imazethapyr。トリアゾロピリミジン系除草剤: E, flumetsulam。ピリミジニルカルボキシ系除草剤: F, bispyribac sodium。

	1	122	197	205	591	653	670
ALS阻害剤系統		Ala	Pro	Ala	Trp	Ser	
スルホニルウレア		S	R* ²	R	R	S* ¹	
イミダゾリノン		R* ³	S* ¹	R	R	R	
トリアゾロピリミジン		S	R		R		
ピリミジニルカルボキシ		S	S	R	R	R* ⁴	

図-2 植物アセトラクテート合成酵素 (ALS) 遺伝子の変異部位と各系統のALS阻害除草剤に対する抵抗性発現との関係。Wrightら (1998), 内野 (1998), 清水ら (2001) のとりまとめ等を参考に作成した。カラム内のアルファベットは, 抵抗性にかかわる塩基変異が報告されている推定アミノ酸を三文字表記で表している。各アミノ酸の番号はシロイヌナズナの推定アミノ酸配列に則している。これらが他のアミノ酸に置換した植物では, 各系統のALS阻害剤に対し抵抗性 (R) または感受性 (S) を示す。

*¹ 変異アミノ酸の種類によっては弱い抵抗性となる場合がある (Leeら, 1999)。

*² Ala122とPro197の二重変異でPro197のみの変異に比べて4.3倍スルホニルウレア系除草剤に対する抵抗性程度が増大する (Wrightら, 1998)。

*³ Ala122とPro197の二重変異でPro197のみの変異に比べて25倍以上イミダゾリノン系除草剤に対する抵抗性程度が増大する (Wrightら, 1998)。

*⁴ Trp591とSer653の二重変異でピリミジニルカルボキシ系除草剤に対する抵抗性が発現する (清水ら, 2001)。

ファ種子についての報告によれば, ALS阻害型除草剤抵抗性への突然変異率は $10^{-7} \sim 10^{-9}$ である (Sarri and Maxwell, 1997)。いささか乱暴だが, この地域のオオオナモミ実生の発生密度が毎年100個体/m²であったとし, 抵抗性個体の選抜から個体群中でその生物型が優占するまでの確率を 10^{-1} と仮定して上記の突然変異率に掛ければ, 4年間のALS阻害型除草剤の連用によって25~2,500haに1ヵ所の割合で抵抗性個体群が出現した計算になる。イヌホタルイの場合, 実生発生密度をオオオナモミの10倍とすると, 4年間では2.5~250haの水田地帯のどこかで一発処理剤に対する抵抗性が現れる可能性があるわけで, 後述するように宮城県内各地で同時多発的に残草が問題となり始めたことが納得できるのである。

クロロスルフロン抵抗性雑草出現の同年, 植物のALSをコードする遺伝子がシロイヌナズナとタバコより単離され, その塩基配列が報告された (Mazur et al., 1987)。これを契機に, ALS

阻害剤で選抜された作物やシロイヌナズナあるいは抵抗性を獲得した雑草のALS遺伝子の解析が進んだ。その結果, ALS阻害型除草剤では, 雑草と作物間の選択性が主として代謝に基づいていることと対照的に (レビュー参照; 吉岡, 1987), その抵抗性は, 少数の例外を除いて, ALS遺伝子上の特定部位における点突然変異によって生じることが明らかになってきた。図-2にALS遺伝子変異部位と各系統のALS阻害型除草剤に対する抵抗性発現との関係を示す。変異部位5サイトのうち, シロイヌナズナの推定アミノ酸配列に換算して197位プロリン, 205位アラニンおよび591位トリプトファンは, 他種類のアミノ酸で置換されることによってSU剤に対する抵抗性を与える。一方, 122位アラニンと653位セリンの置換は, イミダゾリノン系除草剤に対する抵抗性を発現するが, SU剤抵抗性には関与しない。

それでは, イヌホタルイのSU剤抵抗性はALS遺伝子におけるいずれの部位の変異に起因する

のだろうか。われわれは、クミアイ化学工業株式会社生物科学研究所東北研究センターの協力により宮城県松山町五輪崎地区の水田から採取されたSU剤抵抗性イヌホタルイを用いて、ALS遺伝子の解析を行ってみた。この解析に使用したイヌホタルイ生物型（松山2系統）は、花茎長を50%抑制するベンスルフロンメチル薬量を指標としたR/S値（抵抗性程度の特感受性生物型比）が53.4であり（表-1）、およそ標準的な強さのSU剤抵抗性生物型であると考えられる（渡邊，1999）。まず、この生物型の植物体より全RNAを抽出し、RT-PCRによってALS遺伝子の中間領域285塩基を決定した。次に、この塩基配列を基に3' RACE，5' RACEを行ない、SU剤抵抗性に関与する変異部位5サイトのアミノ酸を推定した。その結果、SU剤感受性シロイヌナズナと比較して変異が認められたのは、197位プロリンのみであり、他の4部位の推定アミノ酸は全て保存されていた。197位プロリンはドメインAと呼ばれる植物種間で高度に保存されている遺伝子領域に含まれる。イヌホタルイのSU剤抵抗性生物型（松山2系統）では、ドメインAの第20番シトシンがチミンに変異していた（図-3）。この塩基変異により197位プロリンがロイシンに置換していると推定される。ALSタンパク質のドメインAにおけるプロリンは、SU剤抵抗性植物に最も広く見られる変異部位であり、

表-1 ベンスルフロンメチル処理によるイヌホタルイの成長抑制における生物型間差異。宮城県小牛田町および松山町内の水田より採取したイヌホタルイ4生物型の種子を1/10,000aポットに播種し、湛水条件に保った。発芽個体が2.0葉に成長した時点でベンスルフロンメチル0.25%粒剤を処理し、温室内で20日間栽培した後、花茎長を計測した。成長抑制程度の指標として花茎長を50%阻害する薬量を回帰曲線より求めた。Sは感受性，Rは抵抗性を表す。

生物型	花茎長50%阻害薬量	
	g a. i./10a	R/S
小牛田A(S)	1.28	1.0
小牛田B(R)	45.0	35.2
松山2 (R)	68.3	53.4
松山5 (R)	2470	1930

水田雑草においてもアゼナ類やアゼトウガラシ（内野，渡邊，1999）のSU剤抵抗性生物型ではこのプロリンが様々なアミノ酸で置換されている。したがって、イヌホタルイ生物型（松山2系統）は、このALS遺伝子の変異によりSU剤抵抗性を獲得したと推察される。

宮城県松山町五輪崎地区からは別のSU剤抵抗性イヌホタルイ生物型（松山5系統）が採取された。この生物型は、花茎長50%抑制薬量のR/S値が1,930と極めて高く、標準的な抵抗性程度である生物型（松山2系統）よりもさらに約40倍も強いSU剤抵抗性を示した（表-1，図-4）。その抵抗性機構については今後の解析が必要であるが、あるいはイヌホタルイ生物型（松山2系統）とは異なるALS遺伝子の変異が生じているのかもしれない。122位アラニンと197位プロリンの二重変異のようにALS遺伝子中の複数サ

図-3 スルホニルウレア系除草剤抵抗性イヌホタルイのALS遺伝子ドメインAにおける変異。変異した塩基と推定アミノ酸を白抜きで示す。

生物型	塩基配列（上段）と推定アミノ酸配列（下段）
小牛田A（感受性）	GCA ATC ACT GGA CAG GTT CCT CGT CGC ATG ATT GGT ACT A I T G Q V P R R M I G T
松山2（抵抗性）	GCA ATC ACT GGA CAG GTT CTT CGT CGC ATG ATT GGT ACT A I T G Q V L R R M I G T

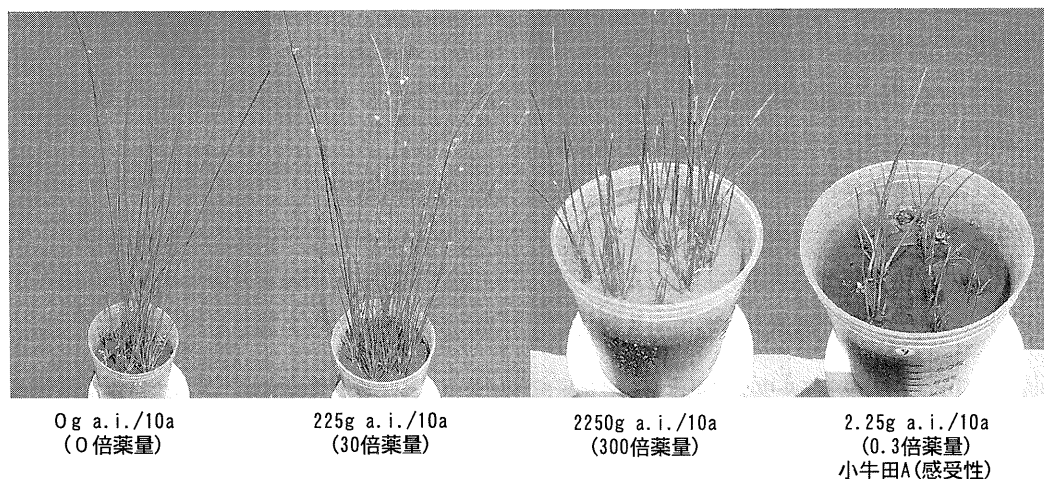


図-4 スルホニルウレア系除草剤に対して極めて強い抵抗性を示すイヌホタルイ生物型のベンスルフロンメチル処理ポット中での成長の様相。イヌホタルイSU剤抵抗性生物型(松山5系統)を1/10,000aポットに播種して湛水状態に保った。発芽個体が2.0葉になった時点でベンスルフロンメチル0.25%粒剤を散布し、温室で20日間育成した。右端は対照として用いた感受性生物型(小牛田A系統)で、通常薬量の0.3倍のベンスルフロンメチル処理で顕著な成長抑制が認められる。

イトの変異によって非常に強い抵抗性が獲得される可能性があるからである(図-2説明文の*2と*3を参照)。図-2の例はSU剤とイミダゾリノン系除草剤による2段階の選抜によって得られたサトウダイコン培養細胞変異株の結果であって、今のところ、野外でALS阻害型除草剤に対する抵抗性を獲得した雑草においてALS遺伝子の二重変異が見つかったという報告はない。しかし、ALSタンパク質の653位セリンをフェニルアラニンに置換した形質転換シロイヌナズナは弱いSU剤抵抗性(ALS阻害定数のR/S値:5.7)を示す(Leeら, 1999)。もし、圃場においてこのように通常の薬量ではかろうじて生き残る弱いSU剤抵抗性生物型が出現して埋土種子集団を形成した場合に、同じ除草剤の薬量を上げるかさらに除草効果の高い他のSU剤を使用するなどの方法でこれを防除しようとするならば、その生物型の中からALS遺伝子が二重に変異して非常に強い抵抗性を獲得した生物型を選抜してしまう恐れが考えられるのである。

米国ウィスコンシン州で行なわれた聞き取り

調査によると、1984年から1989年の間に44%の農家がキャリーオーバー(土壤中に残留した除草剤によって次作の作物が薬害を生じること)を理由にアトラジンの使用面積を減らしていた。ところが、このキャリーオーバーの主な原因は、抵抗性の獲得によってアトラジンが効かなくなった雑草を防除しようとしてアトラジンそのものの面積当たりの使用薬量を増やしたことであったという(Shaner, 1997)。イヌホタルイの残草に気がついた日本の農家でもこのような心理が働くかもしれない。SU剤抵抗性が疑われる残草があった場合、まず、後期剤や人力による除草を行ってその生物型の埋土種子集団を大きくさせないことが重要となる。翌年はSU剤を用いないで発生個体を防除するのだが、その際、SU剤の薬量を増したり、他のSU剤に切り替えることで対処することのないように注意を促す必要があるだろう。

宮城県におけるSU剤抵抗性イヌホタルイの発生と防除

1. SU剤抵抗性雑草の発生

1996年に東北農試において、宮城県産アメリカアゼナ(白石市、遠田郡田尻町)、タケトアゼナ(遠田郡小牛田町)のSU剤抵抗性生物型の発生を確認したことが報告された。1997年には、古川農試においてもアゼナ類で確認したが、調査の過程で、複数地域でイヌホタルイ、及び一部地域のミゾハコベにSU剤抵抗性の発生を確認し

た。その後、SU剤抵抗性の検定等を繰り返してきた。今回は、これまでに実施してきたSU剤抵抗性イヌホタルイ関連の試験概要を報告する。

2. 試験の経過

1) イヌホタルイのSU剤抵抗性検定(1998)

1997年にアゼナ類とともにイヌホタルイが大量に残草したことを確認した水田2筆(古川市清

表-2 スルホニルウレア系水田除草剤抵抗性イヌホタルイの既登録薬剤による防除効果

試験 番号	除草剤名	成分及び含有量	処理時期 (雑草葉令及び 移植後日数)	薬量 (ml.g/a)	観察調査 (移植後)		残草量		除草効果の大小	水稲への影響	
					15日	30日	8/1調査	移植後70日		程度	回復性
							比率% (草丈×株)	比率% (乾物重g)			
1	KPP-314(L)	フロアブル	ベントキサリン 2.9%	ホタルイ発生前(+1)	50	☉ □	47(34.4×25)	52(6.8)	小(中) ※()内は処理後 30日での評価	無	—
2	KUH-958	フロアブル	ブ'ロモ'チド 18% ベントキサリン 4%	ホタルイ発生始期(+5)	50	● ●	0	0	極大	無	—
3	DPX-84T-1kg	粒	ベ'ンスル'フロンメチル メフェナセト 0.75% 10%	ホタルイ1.5L(+9)	100	□ △	85(39.3×40)	139(18.1)	—	無	—
4	NTN-831-1kg	粒	ナ'ロ'ア'リド 20% ブ'ロモ'チド 10% メフェナセト 10%	ホタルイ1.5L(+9)	100	● ●	0	0	極大	無	—
5	SW-965	ジャンボ	カ'フェ'ニ'ス'ト'ロール 4.2% ビ'ラ'ジ'レート 18% ブ'ロモ'チド 18%	ホタルイ1.5L(+9)	50	● ●	0	0	極大	無	—
6	KPP-2008	乳(EW)	ブ'タ'ク'ロール 12% ベントキサリン 4%	ホタルイ発生前(+1) ホタルイ発生始期(+5)	50 50	● ☉ ☉ ☉	1(14.1×1) 56(41.7×25)	t 113(14.6)	極大 小(大)	無 無	— —
7	SB-528	フロアブル	ダ'イ'ロン 28% ベントキサリン 7.2%	ホタルイ発生前(+1) ホタルイ発生始期(+5)	50 50	● ● ● ●	0 0	0 0	極大 極大	無 無	— —
8	ブ'タ'ク'ロール-1kg	粒	ブ'タ'ク'ロール 10%	ホタルイ発生前(+1) ホタルイ発生始期(+5)	100 100	☉ ☉ ☉ ☉	2(32.0×1) 35(43.1×15)	1(0.1) 51(6.7)	極大 中(大)	無 無	— —
9	ブ'タ'ク'ロール	ジャンボ	ブ'タ'ク'ロール 20%	ホタルイ発生前(+1) ホタルイ発生始期(+5)	50 50	☉ ☉ ☉ ☉	40(52.2×14) 53(42.3×23)	84(11.0) 44(5.6)	中(極大) 小(大)	無 無	— —
10	SB-533	フロアブル	ベン'ジ'ビ'シ'クロン 3.8% ブ'レ'チ'ア'ロール 7.6%	ホタルイ発生前(+1) ホタルイ1.5L(+9)	50 50	● ● ● ●	0 0	0 0	極大 極大	無 無	— —
11	SB-556	フロアブル	フェ'ニ'ラ'ミ'ド 3.7% ベン'ジ'ビ'シ'クロン 3.7% ベン'ジ'フェ'ナ'ツ'ブ 14.7%	ホタルイ1L(+7) ホタルイ2.5L(+13)	50 50	● ● ☉ ●	0 0	0 0	極大 極大	無 無	— —
12	SL-498-1kg	粒	シ'メ'トリ'ン 1.5% ビ'ラ'ジ'キ'フェン 18% ブ'レ'チ'ア'ロール 4.5%	ホタルイ発生前(+1) ホタルイ1L(+7) ホタルイ2L(+11)	100 100 100	● ● ☉ ☉ ☉ ●	0 t 0	0 0 0	極大 極大 極大	無 無 無	— — —
13	SL-970	フロアブル	テ'ニ'ル'ロール 2% ビ'ラ'ジ'キ'フェン 15% ブ'ロモ'チド 10%	ホタルイ発生前(+1) ホタルイ発生始期(+5)	30 50	● ☉ ● ☉	t t	t t	極大 極大	無 無	— —
14	KPP-932	フロアブル	(イ'マ'ジ'ス'ル'フ'ロ'ン 1.7% ベントキサリン 7.3% ダ'イ'ロン 28%)	ホタルイ発生前(+1) ホタルイ発生始期(+5)	50 50	● ● ● ☉	0 t	0 t	極大 極大	無 無	— —
15	Mon-923-1kg	粒	ブ'タ'ク'ロール 10% ベ'ンスル'フロンメチル 0.75% ブ'ロモ'チド 7.5%	ホタルイ発生前(+1) ホタルイ1.5L(+9)	100 100	● ● ● ●	0 0	0 0	極大 極大	無 無	— —
16	TH-005	フロアブル	(イ'マ'ジ'ス'ル'フ'ロ'ン 1.8% ブ'レ'チ'ア'ロール 12%)	ホタルイ発生前(+1) ホタルイ発生始期(+5)	50 50	● ● ☉ ☉	0 3(11.7×4)	0 1(0.1)	極大 極大	無 無	— —
17	NH-003-1kg	粒	ベ'ンスル'フロンメチル 0.75% イン'ダ'ノ'ファン 1.4% カ'ロ'メ'ト'ロ'ップ 3.5%	ホタルイ発生始期(+5) ホタルイ1L(+7) ホタルイ1.5L(+9)	100 100 100	● ● ☉ ☉ ☉ ☉	0 t 2(22.6×2)	0 t 1(0.2)	極大 極大 極大	無 無 無	— — —
18	SW-012(H)-1kg	粒	ベ'ンスル'フロンメチル 0.75% カ'フェ'ニ'ス'ト'ロール 3% ダ'イ'ロン 6% ブ'ロモ'チド 6%	ホタルイ発生始期(+5) ホタルイ1L(+7) ホタルイ2L(+11)	100 100 100	● ● ☉ ☉ ☉ ☉	0 0 6(18.1×6)	0 0 1(0.1)	極大 極大 極大	無 無 無	— — —
無処理							100(47.0×40)	100(13.0)	—	—	—

古川農業試験場内に設定したわく試験での結果である。

水沢・黒川郡大和町鶴巣：共に洪積台地，SU剤成分を含む一発処理剤を7年以上連用）から作土を採取し，1/5,000 aポットを用いて翌1998年，古川農試のパイプハウス内でイヌホタルイを発生させた。その後，イヌホタルイの1.5～2.0葉期に，ベンスルフロンメチル，ピラゾスルフロンエチル，イマゾスルフロン各粒剤を通常使用量の2倍から64倍量まで5段階2反復で処理した。

1998年にSU剤抵抗性イヌホタルイの発生を確認した大和町鶴巣地区(50ha)，及び松山町五輪崎地区(300ha)の一部圃場について，圃場一筆当たり水口，中央，水尻部からそれぞれ10㍓づつ合計30㍓の作土を採取し，1/5,000 aポットを用いて，古川農試のパイプハウス内で発生させた。イヌホタルイの1.5葉期にベンスルフロンメチル粒剤を通常使用量の4倍量2反復で処理した。

2) SU剤抵抗性イヌホタルイの分布調査 (1999, 2001)

松山町五輪崎地区(300ha)について，その残草状況を観察により調査し，一部前記と同様の方法でSU剤抵抗性検定試験を実施した。

1998年冬に県内各地から採取した水田土を用いて，前期と同様の方法で1999年SU剤抵抗性検定試験を実施し，分布図を作成した。

2001年には，県内各地から6月に採取したイヌホタルイを用いて迅速検定法(Uchino et al., 1999)によりSU剤抵抗性検定試験を実施し分布図を作成した。

3) 現地防除試験(1999, 2000)

1999年に松山町五輪崎地区，1999年と2000年に松山町同地区及び石越町北郷地区のSU剤抵抗性イヌホタルイ発生田(10～110 a)において，既登録のプロモブチド含有水田除草剤を中心に，

生産者の慣行使用による防除試験を実施した。

4) 場内防除試験(2001)

日本植物調節剤研究協会との共同試験である。古川農業試験場内に水尻をふさいで排水が圃場外に流れないようにした隔離圃場(5a)を準備した。1区を3.6㎡(1.2m×3m)2反復とし，「こころまち」を5月23日に機械移植した。イヌホタルイは，SU剤抵抗性検定済みの松山町，大和町産のものを2000年に増殖し採種して供試した。採種後約一ヶ月風乾し，管瓶水中に入れた。10日間室温で吸水させ，恒温器に移し，一旦0℃で管瓶内の水を凍結させた後，4℃で1月以上保存し休眠覚醒を行った。発芽を斉一にするため，播種前日から30℃明条件で24時間浸漬した。園芸用ジフィーポット(7.1cm×7.1cm)に，オー

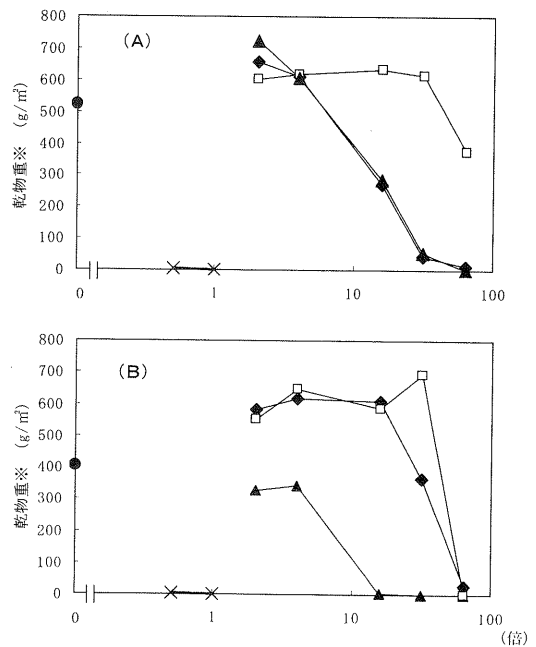


図-5 スルホニルウレア系除草剤に対する大和産(A)，古川市産(B)イヌホタルイの抵抗性程度
処理(イヌホタルイ1.5葉期)後60日地上部乾物重を示した。横軸は各剤の通常使用量(ベンスルフロンメチル:7.5g a.i./10a, ピラゾスルフロンエチル:2.1g a.i./10a, イマゾスルフロン:9.0g a.i./10a)を1としたときの倍数で示した。感受性生物型は古川市塚目産。
—◆— ベンスルフロン —▲— ピラゾスルフロン —□— イマゾスルフロン —×— 感受性 —●— 無処理区

トクレーブ処理(121℃, 15分)をした水田土壌を充填し, 前記種子を20粒ずつ播種し, 覆土0.5~1.0cmとした。各試験区とも2ポットずつ2カ所, 計4ポットをほ場田面とポット土壌面が同じ高さになるように移植当日に埋め込んだ。

3. 試験結果

1) 供試したイヌホタルイは, SU剤感受性イヌホタルイ(古川市塚目産)がSU剤の通常使用量の0.5倍量で枯殺できたのに対し, 大和町産ではベンスルフロンメチル, ピラゾスルフロンエチル粒剤で32倍量, イマゾスルフロン粒剤で64倍量でも枯殺されず, 古川市産では, ピラゾスルフロンエチル粒剤で4倍量, ベンスルフロンメチル・イマゾスルフロン粒剤で32倍量でも枯殺されないSU剤抵抗性生物型であった(図-5)。また, 渡邊(1999)によれば, 大和町産SU剤抵抗性生物型は北海道産抵抗性生物型と抵抗性の程度が同等であり, 発芽後から花茎抽出に至る日数は北海道産で短いことが示されている。

2) 大和町鶴巣地区で採取し, 検定を実施したイヌホタルイすべてからSU剤抵抗性生物型が確認された。また, 同一圃場の土壌から発生したアゼナ類についてもSU剤抵抗性生物型を確認した。抵抗性確認圃場の経年観察では, イヌホタルイが激発する数年前から, アゼナ類の残草が目立っており, 今後のSU剤抵抗性雑草の出現の予測と防除に示唆を与えるものと考えられる。

1998年に特にイヌホタルイの残草が多いことから, 過半数の生産者が手取り除草を実施した松山町五輪崎地区は, 大区画圃場整備後5年目で, 圃場整備前には, 特にイヌホタルイの発生が多い地域ではなかった。この地域で広域的に発生が見られた原因については, 除草剤の使用履歴ばかりでなく, 雑草種子の伝播等の観点か

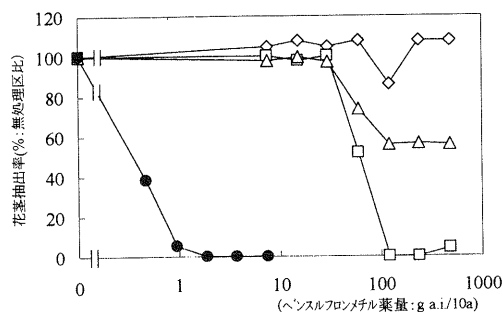


図-6 宮城県松山町5輪崎区から採取されたイヌホタルイのスルホニルウレア系除草剤に対する成長反応

—○— イヌホタルイA —□— イヌホタルイB
—△— イヌホタルイC —●— イヌホタルイD



図-7 石越町北郷地区(1999)

水田除草剤散布後効果が無くイヌホタルイが水稻畦畔間に密生している状況が見られた。

ら検討していく必要があると考える。SU剤感受性イヌホタルイ(小牛田町産)がSU剤の通常使用量で枯殺できたのに対し, 採取し検定に供したイヌホタルイは, ベンスルフロンメチル, ピラゾスルフロンエチル, イマゾスルフロン粒剤とも16倍から32倍量でも枯殺されなかった。この松山町のSU剤抵抗性イヌホタルイについては, 同じSU剤に対して異なった反応を示す生物型を確認した(図-6)。そのALS遺伝子の解析結果については前章で述べた。

また, もともとイヌホタルイの発生量の多い地帯であった石越町北郷地区(1999, 図-7)でも, 迅速検定法によりSU剤抵抗性を確認した。

3) プロモブチドを成分として含む剤のSU剤抵抗性イヌホタルイ除草効果は極めて高かった。一

方、非SU剤系の剤では、クログワイ等の多年生雑草が残草した圃場もみられた。

4) 本試験は、イヌホタルイの種子を0.5～1cmに播種し、斉一に発生させており、変動が小さく自然発生と異なる。主要な結果は、表-2のとおりであり概要は以下に示す。

ア；供試イヌホタルイは、DPX-84T-1kg粒剤では、除草効果が認められず、KPP-314Lフロアブルでは無処理区対比52%の残草が認められた。

イ；ブタクロール含有剤(6, 8, 9)については、処理濃度・時期によるが処理後15～20日程度で後次発生が見られた。このため、効果的な後処理剤との体系処理が必要であると考えられた。

ウ；ダイムロン含有剤(7, 14)については、14 g a. i. /aの濃度で、高い効果が認められた。

エ；ベンゾピシクロン含有剤(10, 11)については、いずれの剤も高い効果が認められた。

オ；プロモブチド含有剤(13, 15, 18)については、いずれの剤も高い効果が認められた。

カ；プレチラクロール含有剤(10, 12, 16)については、一部再生も見られたが、ベンゾピシクロン、シメトリン、ピラゾキシフェンとの混合剤で効果が高かった。

キ；クロメプロップ剤は、1剤のみ供試した。

1.5葉処理で再生が見られたものの、概ね効果は高かった

各剤とも早い時期の処理効果が高く、現地指導にあたって留意する必要がある。

4. これまでのまとめと今後の対応

宮城県では、主要水田雑草の発生割合はマツバの減少傾向を除くと変化は小さく、クログワイ等の多年生雑草も依然として重要な防除対

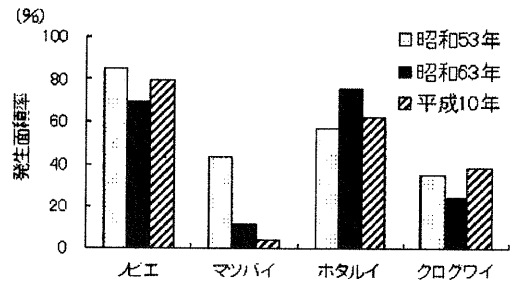


図-8 宮城県における主要水田雑草の発生面積割合の変化(宮城県調)



図-9 スルホニルウレア系水田除草剤抵抗性草種確認地点(2001)

内野らの迅速検定法により確認した。

象である(図-8)。このため、多年生雑草も含めた雑草防除の中で、SU剤の果たす役割は今後とも重要である。

SU剤抵抗性イヌホタルイは、仙台市及び三陸沿岸地帯では今後調査を進める必要があるが、県内水田地帯(北部平坦・南部平坦)を中心に既に広い範囲に発生していることを確認した。SU剤連用圃場、もともと発生量が多かった地帯以外でも確認し、SU剤抵抗性アゼナ類との混合発生圃場もみられた。既に抵抗性雑草が発生している圃場では、有効成分による単年度防除は可能であるが、埋土種子までの制御は困難である。しかし、既存薬剤による単年度防除の繰り返し

であっても、年次を越えた組み合わせなど防除体系を確立することで雑草防除は技術的には十分可能と考えられる。しかしながら、水稻の生産現場においては減農薬を単に農薬成分で捉えたり、農薬コスト等から除草剤の選定、使用が制限され、不十分な防除となる場合もあると考えられる。

本県では、SU剤抵抗性イヌホタルイに効果の高い剤を選定し、県除草剤使用基準、県稲作指導指針に盛り込むとともに、農業試験場ばかりでなく、地域農業改良普及センター、各JAにおいても技術情報を発信しているが、2001年調査から、県内の要防除面積は8,000ha(図-6)と推察され、SU剤抵抗性イヌホタルイの発生面積が拡大している。SU剤抵抗性雑草を、これ以上発生させないための取り組みも必要と考える。

2001年には、古川農試でも内野らの迅速検定法による抵抗性検定を実施できる体制を整備し、生産者の除草剤選定の支援に取り組んでいる。SU剤抵抗性の草種が増えたとしても、草種に応じて効果的な成分主体の剤を使用することで十分な防除が可能であるからであり、広域的に一律に成分数を増やすことよりも、個々の生産者が圃場の発生草種に即した長期的な防除対策をとることが最終的な目的と考えるからである。

参考文献

- 古原洋, 今野一男, 竹川昌和(1998) 北海道岩見沢市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出現, 雑草研究44(別): 36-37.
- Lee, Y-T., Chang, A.K. and Duggleby, R.G. (1999) FEBS Let., 452: 341-345.
- Levitt, G., Ploeg, H.L., Wergel, R.C. and Fitzgerald, D.J. (1981) J. Agric. Food Chem., 29: 416-418.
- Mazur, B.J., Chui, C.F. and Smith, J.K. (1987) Plant Physiol., 85: 1110-1117.
- Sarri, L.L. and Maxwell, C.A. (1997) in "Weed and Crop Resistance to Herbicides" R. De Prado, J. Jorrín and L. García-Torres eds., p.81-88, Kluwer Academic Pub., Dordrecht.
- Schmitzer, P.R., Eilers, R.J. and Cseke, C. (1993) Plant Physiol., 103: 281-283.
- Shaner, D.L., Anderson, P.C. and Stidham, M.A. (1984) Plant Physiol., 76: 545-546.
- Shaner, D.L. (1997) in "Weed and Crop Resistance to Herbicides" R. De Prado, J. Jorrín and L. García-Torres eds., p.29-38, Kluwer Academic Pub., Dordrecht.
- 清水 力, 角康一郎, 高橋 智, 永山孝三 (2001) 雑草研究, 46(別): 32-33.
- 白倉伸一 (1998) 日本雑草学会第14回講演要旨集, p.47-60.
- Thill, D.C., Mallory-Smith, C.A., Saari, L.L., Cotterman, J.C. and Primiani, M.M. (1991) in "Herbicide Resistance in Weeds and Crops" J.C. Caseley, G.W. Cussans and R.K. Atkin, eds., p.115-129, Butterworth Heinemann, Oxford.
- Uchino, A., Watanabe, H., Wang, G-X. and Itoh, K. (1999) Weed Technol. 13(4): 680-684.
- 内野 彰 (1998) 第2回植生管理研究会資料, p.63-69.
- 内野 彰, 渡邊寛明 (1999) 雑草研究, 44(別): 80-81.
- 渡邊寛明 (1999) 農薬春秋, 79: 2-9.
- Wright T.R., Bascomb N.E. and Penner, D.

(1998) Weed Sci., 46: 12-23.

吉岡俊人 (1987) 「新農薬の開発と市場展望」,
安田 康, 中田 明, 高橋英光, 吉岡俊人,
永江祐治著, p.122-171, シーエムシー, 東

京.

吉田修一, 小野寺和英, 添田哲男, 武田良和,
佐々木捷二, 星 信幸, 渡邊寛明 (1999) 雑
草研究, 44(別): 70-71.

MP-100 (イネサジクロメホロン含有)
JAグループ推奨ヒエ剤。初年度10万ヘクタール達成

水稻用初・中期一発処理除草剤

6

長く、よく効くホームランシリーズ!!



ミスターホームラン
フロアブル/Lフロアブル

① ノビエ25葉期まで効果がある。
② ノビエに対する効果がながく持続する。
③ 稲への安全性が高い。



ホームラン
A1キロ粒剤36/1キロ粒剤51

JAグループ
農協 全農 経済連

北興化学工業株式会社
〒103-8341 東京都中央区日本橋本石町4-4-20
<http://www.hokkochem.co.jp/>

◎は登録商標

— 防除指導手帳 —

企画・編集/JA全農肥料農薬部
B6判(ポケット判) 350頁 3,500円(税込)

主要作物(稲、麦、豆類、芋類、野菜、果樹)の病気・害虫・
雑草をカラー写真で掲載し、病徴と診断。害虫の形態・生態
と被害、雑草の形態及び防除のポイントと適用薬剤を解説。

全国農村教育協会

〒110-0016 東京都台東区台東1-26-6
Tel.03-3833-1821 Fax.03-3833-1665