

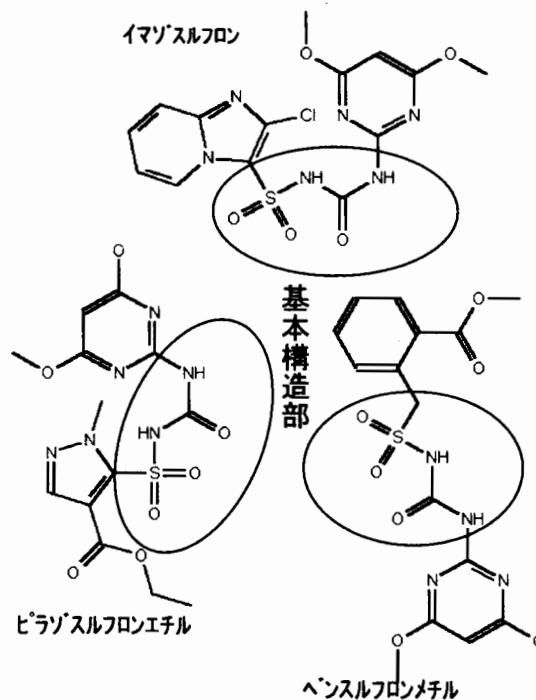
第1章 緒言

1. 研究の背景および目的

水田に発生する雑草は約 450 種とされている (草薙 1996). そのうち北海道において防除の対象となる主要な雑草はタイヌビエ (*Echinochloa crus-galli* Beauv. var. *oryzicola* Ohwi), イヌホタルイ (*Scirpus juncooides* Roxb. var. *ohwianus* T. Koyama), エゾノサヤヌカグサ (*Leersia oryzoides* Sw.), ヘラオモダカ (*Alisma canaliculatum* A. Br. et Bouche), オモダカ (*Sagittaria trifolia* L.), ハイコヌカグサ (*Agrostis stolonifera* L.), ミゾハコベ (*Elatine triandra* Schk.), ミズアオイ (*Monochoria korsakowii* Regel et Macck), タウコギ (*Bidens tripartite* L.), セリ (*Oenanthe javanica* DC.) など十数種である (古原 2002). これらの雑草に対して防除を行わなかった場合, 作物の減収程度は一般に雑草の発生量が増加するほど大きくなること (伊藤 1993) が知られている. 収量に影響しない雑草の発生量, すなわち許容水準は水稻移植後約 1 ヶ月の時点における雑草乾物重で 0.5g/m²とされている (谷川 1981). この許容水準以下に雑草の発生を抑えるために手取り除草あるいは人力除草機を用いた除草作業が行われたが, これは農家に極めて大きな苦痛を与えるものであった (竹松・近内 1985). しかし, 除草剤が普及するにつれ, 水稻作における除草に要する 10a 当たりの労働時間は, 1965 年の 24.4 時間/10a に対して, 1980 年には 5.8 時間となり, 1990 年にはさらに減少して 1.5 時間, 1999 年では実に 0.75 時間にまで減っている (北海道農政部 2001). 除草剤による労働時間の短縮効果を, 1 日 8 時間の手取り除草に置き換えた場合, その経済的効果は日本全国で 1.3 兆円と試算されている (Matsunaka 2001).

雑草との養分競合などによる作物の減収防止あるいは除草労働の軽減のために, 今日までに多くの種類の除草剤が開発され普及している. 1980 年代から 1990 年代に開発された除草剤のうち, ペンスルフロンメチル (武田・湯山 1985), ピラゾスルフロンエチル (Kobayashi and Sugiyama 1991), イマゾスルフロン (Tanaka et al. 1998), アジムスルフロン (Shirakura et al. 1995), シクロスルファミロン (吉田ら 2002) およびエトキシスルフロン (渡辺ら 1998) は, 「A 環-(CH₂, NH)-SO₂NHCONH-B 環」の基本構造をもつスルホニ

ルウレア系除草剤 (以後, SU 剤) に分類される (第 1-1 図). SU 剤は雑草の根部と茎葉部から吸収され雑草体内を移行し, パリン, イソロイシンなどのアミノ酸合成系の初期段階に働く酵素であるアセトラクテートシンターゼ (ALS) の活性を低下させる. この結果, 雑草体内では分枝アミノ酸の欠乏により細胞分裂が阻害され, 生育が停止し, 除草効果が発現する (近内 1994). また, その使用量 (有効成分量) は 5~70g/ha と極めて少なく, タイヌビエを除く水稻作のほとんどの雑草に除草効果を示し, 除草効果は 30 日以上と極めて長く持続し, イネ (*Oryza sativa* L.) に対する薬害発生の心配が少ない特徴を有している (吉田ら 2002, 香月ら 1989). このように SU 剤は高性能であるばかりでなく, さらに日本全国に普及した点で特筆される. 全国的水稻作における使用面積は 1995 年のピーク時には 200 万 ha 以上に達し, 2000 年でも 150 万 ha 弱の水田で使用されている (竹下 2000). この SU 剤の普及にともない, 主要な雑草の一つであるイヌホタルイの発生面積 (一部コホタルイ (*Scirpus komarovii* Roshev.), タイワンヤマイ (*Scirpus wallichii* Nees) を含む) は, 1986 年の 145,794ha (藤村ら 1990) から, 1996 年にはその



第 1-1 図 SU 剤の化学構造式.
基本構造部: A 環-(CH₂, NH)-SO₂NHCONH-B 環.

約 1/5 の 32,062ha (北海道農政部 1997) にまで減少した。このように SU 剤は雑草の防除に欠かせない除草剤の一つとなった。

ところが、1997 年に北海道岩見沢市、中富良野町および栗山町において通常では考えられないほど多量のイヌホタルイが生育している水田を認めた。すなわち残草問題の発生である。一般にこのような残草問題が生じた場合には、要因としてまず除草剤の不適切な使用があげられる。しかし、これらの水田では SU 剤が連用されていたことを除き、使用時期あるいは使用量が少ないなどの不適切な使用は認められなかった。このことは、SU 剤に対して感受性が低下したイヌホタルイの個体群、すなわち SU 剤抵抗性イヌホタルイ (以後、抵抗性イヌホタルイ) が発生している可能性が高いことを示している。これらイヌホタルイの感受性を検討し、もし抵抗性イヌホタルイが発生しているならば、抵抗性イヌホタルイの防除方法の確立が必要となる。

抵抗性イヌホタルイの防除方法を確立するうえで過去の事例を参考にすると、埼玉県の桑園で発見されたパラコート抵抗性ハルジオン (*Erigeron philadelphicus* L.; Watanabe et al. 1982) では、パラコートとは異なる作用点をもつ除草剤に切り替えることで防除が可能であった (埴岡 1998)。そこで、抵抗性イヌホタルイが発生しているのならば、抵抗性ハルジオンと同様に SU 剤とは異なる作用点の除草剤が有効かを検討する必要がある。

ここで注意しておくべき点は、パラコート抵抗性ハルジオンは光合成速度および暗呼吸速度が感受性ハルジオンより劣っていること (坂・千坂 1982)、抵抗性ハルジオンが発生してもパラコートの使用を止めると徐々に減少する事例 (松尾 1998) があることである。このことは抵抗性ハルジオンの方が感受性ハルジオンよりも、生育量が小さい、種子生産量が小さい、あるいは種子の生存期間が短いなど、生存能力において劣ることを示唆している。すなわち、防除方法としては除草剤を切り替えることのみで十分である (埴岡 1998)。これに対して、SU 剤抵抗性雑草が生存競争において劣っていると報告は今のところない。SU 剤に対して抵抗性を示すトゲチシャ (*Lactuca serriola* L.) は発芽が優れ (Alcocer-Ruthling et al. 1992a)、ホウキギ (*Kochia scoparia* Schrad.) は種子中の遊離アミノ酸含量が高く低温下での発芽が速やかであった (Dyer et al. 1993, Curtis et al. 1994a) と報告されている。また、抵抗性イヌカキネガラシと感受性イヌカキネガラシ (*Sisymbrium orientale* L.) の種子

(Boutsalis and Powles 1998) あるいは抵抗性トゲチシャと感受性トゲチシャの種子 (Alcocer-Ruthling et al. 1992b) の生存期間には差がなく、また、抵抗性ホウキギと感受性ホウキギの種子生産力は同じであった (Curtis et al. 1994b) と報告されている。したがって、抵抗性イヌホタルイの防除方法は、単に除草剤を切り替えるだけでは不十分である可能性がある。抵抗性イヌホタルイと感受性イヌホタルイの生存能力が変わらないと仮定すれば、まず、北海道における分布を把握し、発芽が速やかであれば一般的な除草剤の使用時期より早く除草剤を使用することが重要となるので、除草剤の使用時期に関係する発芽特性および防除の継続年数に関係する種子の生存期間について把握しておくことが防除方法を確立するために重要となる。

以上のことから本研究では、まず北海道内の一部地域で残草として問題となっているイヌホタルイが SU 剤に対して抵抗性か感受性であるかの検定を行い、抵抗性イヌホタルイが発生していることを明らかにした (第 2 章)。抵抗性イヌホタルイの発生実態を把握するための調査を北海道全域で行ない、今後、北海道全域で発生する可能性の高いことを明らかにした (第 3 章)。次に、抵抗性イヌホタルイの防除方法を確立するために、SU 剤以外の各種除草剤の除草効果についての検討を行った (第 4 章)。また、抵抗性および感受性イヌホタルイにおける発芽特性 (第 5 章) および種子の生存期間 (第 6 章) を比較し、除草剤の適切な使用時期や年数を明らかにした。最後にこれらの結果を総括し、抵抗性イヌホタルイの防除方法を示すとともに、より広範な複合抵抗性イヌホタルイの発生を未然に防止するための方法を考察した (第 7 章)。

2. 既往の研究成果

本研究を行うにあたって、①これまでにどのような抵抗性雑草が発生しているのか、②それらはどのような機作で抵抗性を示しているのか、③北海道におけるこれまでの除草剤の使用状況が抵抗性雑草の発生に関係していたと考えられるか、④抵抗性雑草に対して世界的にどのような防除方法がとられているのか、⑤イヌホタルイの生理と生態的特性は何かについて、以下に従来の知見を概括した。

1) 除草剤抵抗性雑草の発見

世界的にみると除草剤抵抗性雑草の発見は、2,4-PA 抵抗性のシマツユクサ (*Commelina diffusa* Burm. f.; Hilton 1957) とノラニンジン (*Daucus carota* L.;

Switzer 1957) が最初で、1950 年代に始まっている。1970 年から 1977 年までは年に 1 種の割合で抵抗性雑草が発見されていたが、1978 年以降は年に 9 種の割合へと増加した (Heap 1997)。2003 年 11 月の時点では 284 種に達している。1960 年代から 1990 年代までの主な除草剤抵抗性雑草は第 1-1 表のとおりである。このうち SU 剤などの ALS を阻害する除草剤に抵抗性を示す雑草が 82 種と最も多い(アメリカ雑草学会のホームページ, <http://www.weedscience.org/in.asp>)。

2) 除草剤抵抗性の発現機作

20 世紀末までに多くの除草剤抵抗性雑草が発見されているが、1950 年代において既に Harper (1956) は、同一の除草剤を連用すると、感受性個体群の中から抵抗性の個体群がいずれ発生すると予想していた。現在でも、抵抗性雑草は抵抗性遺伝子を保有していた個体

群に同一の除草剤を長期間連用したことにより顕在化してきたと考えられている (渡辺 1983)。抵抗性雑草が発見されるまでに除草剤が連用された年数は、2,4-PA あるいはパラコートでは 20 年以上 (Maxwell and Mortimer 1994) であり、SU 剤では 5~8 年 (Shanner 1999)、ACCCase (アセチル CoA カルボキラーゼ) 阻害剤では 6~10 年 (Devine 1997) とされ、除草剤毎に異なっている。この連用年数の違いは、除草剤の作用点に関係していると考えられる。

除草剤の作用点と抵抗性の発現機作との関係を知るために、植物生理学および分子生物学の観点から抵抗性雑草および感受性雑草の比較が行われ、抵抗性の発現機作として次の 3 パターンが認められた (Preston and Mallory-Smith 2001)。

パターン 1; 除草剤が雑草の酵素に結合できなくなり抵抗性が発現する。

第 1-1 表 主な除草剤抵抗性雑草の出現年代.

出現年代	対象除草剤名	雑草和名	学名	引用
1950~	2,4-PA	シマツユクサ	<i>Commelina diffusa</i>	Hilton 1957
		ノラニンジン	<i>Daucus carota</i>	Switzer 1957
		ヒデリコ	<i>Fimbristylis miliacea</i>	Itoh 2001より引用
		ナガボノウルシ	<i>Sphenoclea zeylanica</i>	Watanabe et al. 1997
1960~	トリアジン系除草剤 ¹⁾	ノボロギク	<i>Senecio vulgaris</i>	Ryan 1970
		アオゲイトウ	<i>Amaranthus retroflexus</i>	渡辺 1983より引用
		ホナガアオゲイトウ	<i>Amaranthus hybridus</i>	渡辺 1983より引用
		シロザ	<i>Chenopodium album</i>	渡辺 1983より引用
		スズメノカタビラ	<i>Poa annua</i>	小林ら 1985
1970~	ビピリジル系除草剤 ²⁾	ヒメムカシヨモギ	<i>Erigeron canadensis</i>	加藤・奥田 1983
		オオアレチノギク	<i>Conyza sumatrensis</i>	埴岡 1989a
		オニタビラコ	<i>Youngia japonica</i>	埴岡 1989b
		アレチノギク	<i>Erigeron floribundus</i>	松尾 1998より引用
		チチコグサモドキ	<i>Gnaphalium purpureum</i>	大野 1992
1980~	Accasse阻害剤 ³⁾	ポウムギ	<i>Lolium rigidum</i>	Heap 1997
		イヌビエ	<i>Echinochloa crus-galli</i>	Maneeshote 2001
		イヌビエ属雑草(和名なし)	<i>Echinochloa phyllopogon</i>	Itoh 2001より引用
		カモノハシ属雑草(和名なし)	<i>Ischaemum rugosum</i>	Itoh 2001より引用
	ALS阻害剤 ⁴⁾	トゲチシャ	<i>Lactuca serriola</i>	Mallory-Smith et al. 1990
		ミズアオイ	<i>Monochoria korsakowii</i>	古原ら 1996, Wang et al. 1997
		アゼトウガラシ	<i>Limnophila micrantha</i>	Itoh et al. 1999
		タケトアゼナ	<i>Lindernia dubia</i> subsp. <i>dubia</i>	内野ら 2000
		アメリカアゼナ	<i>Lindernia dubia</i> subsp. <i>major</i>	内野ら 2000
		アゼナ	<i>Lindernia procumbens</i>	内野ら 2000
		キクモ	<i>Limnophila sessiliflora</i>	汪ら 1998
		キカシグサ	<i>Rotala indica</i>	伊藤ら 1998
		ミゾハコベ	<i>Elatine triandra</i> var. <i>pedicellata</i>	畑ら 1998
		コナギ	<i>Monochoria vaginalis</i>	小荒井・森田 2002
		キバナオモダカ	<i>Limncharis flava</i>	中山ら 1999
ウキアゼナ	<i>Bacopa rotundifolia</i>	Itoh 2001より引用		

1)トリアジン系除草剤とは化学構造の分類による除草剤の系統名でシメトリン、シマジン、アトラジンなどの除草剤が該当する。雑草の光合成を阻害する作用機作をもち広葉雑草に対する効果が高い(近内 1994)。

2)ビピリジル系除草剤とは化学構造の分類による除草剤の系統名で、ジクワット、パラコートなどの除草剤が該当する。雑草体内で過酸化物を生成し細胞を破壊する。除草効果の発現が遅い特徴を有する(竹松・近内 1987)。

3)ACCCase (アセチル CoA カルボキラーゼ) 阻害剤とはアリルオキシフェノキシプロピオン酸系除草剤およびシクロヘキサジオン系除草剤の総称。ACCCase に結合し脂肪酸合成を阻害し除草効果を示すことから ACCCase 阻害剤と呼ばれる。シハロホップブチル、フェノキサプロップなどの除草剤が該当する (Preston and Mallory-Smith 2001)。

4)ALS (アセトラクテートシンターゼ) 阻害剤とは SU 剤、イミダゾリノン系除草剤、トリアゾピリミジン系除草剤、ピリジニルオキシベンゾアール系除草剤およびスルホニルアミノカルボニルトリアゾリノン系除草剤の総称。アミノ酸合成系の初期段階に働く酵素、ALS を阻害し除草効果を示すことから ALS 阻害剤と呼ばれる。ペンシルフロメチル、ピラソスルフロニエチルなどの除草剤が該当する (Preston and Mallory-Smith 2001)。

パターン2; 解毒作用などにより除草剤が分解され、雑草の酵素に結合する除草剤の量が減少し抵抗性が発現する。

パターン3; 除草剤の作用によって生成された毒物に対して代謝機能を維持する能力が発生し抵抗性が発現する。

パターン1にはトリアジン系除草剤, SU剤などのALS阻害剤およびACCase阻害剤抵抗性雑草が含まれる。SU剤抵抗性ホオキギではALSタンパク質の173番目のプロリンがアラニン, アルギニン, グルタミン, ロイシン, セリンあるいはスレオニンに変化することで, 除草剤が結合できなくなり抵抗性が発現する (Guttieri et al. 1995)。除草剤に曝されることのない場合での抵抗性個体の出現頻度は 10^{-5} から 10^{-6} , すなわち, 10万個体から100万個体に1個体と推定されている (Diggle and Neve 2001)。

パターン2にはピピリジル系除草剤のparaコートとジクワットおよびグリシン系除草剤のグリホサートに抵抗性を示す雑草が含まれる。グルタチオン転移酵素, アリルアシルアミダーゼおよびチトクローム P450 が関与しているとされているが, 分子生物学の観点からの解明は進んでいない。

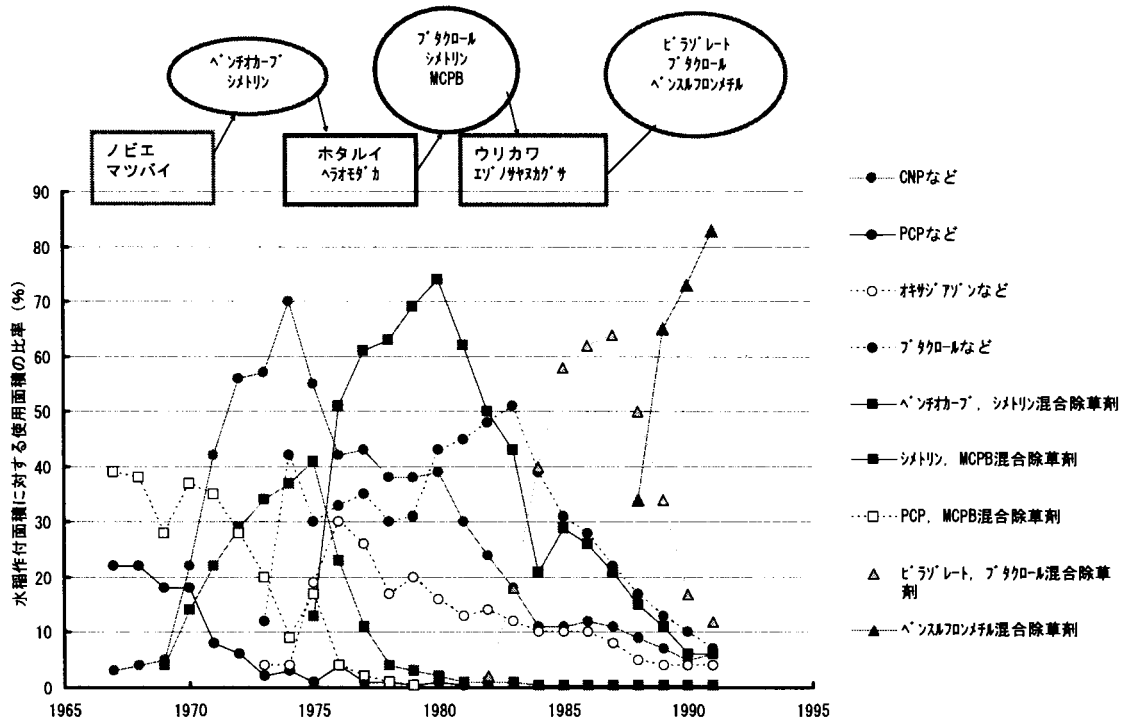
パターン3にはparaコート, ジクワットおよび2,4-PAに抵抗性を示す雑草が含まれる。雑草体内に吸収されたparaコートは, 光合成系の電子により還元さ

れ, 空気中の酸素により再度paraコートに戻る。このときに活性酸素の一種, スーパーオキシドラジカル (O_2^-) が生成され, これから生じる過酸化水素などが生体膜を破壊し雑草を枯死させる。paraコート抵抗性雑草ではスーパーオキシドジスムターゼとカタラーゼパーオキシダーゼの活性が高く, 活性酸素が分解されることで抵抗性が発現する (渡辺 1997) とされているが, 抵抗性の発現機作については明らかでない部分も多い (Preston and Mallory-Smith 2001)。

3) 北海道における除草剤の使用状況

除草剤の連用が抵抗性雑草の発生に関与していること (Harper 1956) から, ここでは北海道における除草剤の使用歴を検討する。除草剤による雑草防除は1953年の2,4-PAの使用から始まる (戸苅 1969, 北海道農業試験場 1973)。その後, SU剤の一種であるベンスルフロンメチルを含む混合除草剤が広く普及し始めた1990年までの各種除草剤の使用面積を第1-2図に示した。

この使用面積の推移を概観すると, 1960年代後半にタイヌビエとマツバイ (*Eleocharis acicularis* Roem. et Schult. var. longiseta Sven.) が主たる防除の対象であったが, これらを防除するために1970年代に入り CNP, ベンチオカーブとシメトリン混合除草剤が使用された。しかし, 防除対象は1970年代前半にはイヌ



第1-2図 北海道の水稲作における防除の対象雑草と使用された除草剤の変遷 (古原 1998)

ホタルイとヘラオモダカへと移り変わり、使用される除草剤も1970年代後半にかけてブタクロール、シメトリンと MCPB の混合除草剤になった。除草剤の変更に対応して次にウリカワ (*Sagittaria pygmaea* Mig.) とエゾノサヤヌカグサが問題となり、1980年代にはピラゾレートとブタクロールの混合除草剤へ、1980年代の後半からはベンスルフロンメチル混合除草剤へ代わった。言い換えると、作物生産現場において生じた雑草防除上の問題、すなわち特定の雑草種に対する除草効果不足に対応した除草剤が開発され、次の段階ではその除草剤で解決できない別の雑草問題が生じている。さらに、その問題に対応する新しい除草剤が開発され使用されているといった、雑草と除草剤の変遷をみる事ができる(北海道農業試験場 1973, 竹松・近内 1985, 日本植物調節剤研究協会北海道支部 1991, 渡邊 1998, 日本植物防疫協会 1998)。このような変遷の中でとくに注目すべき点は、北海道で使用された水稻作用除草剤に占める SU 剤の比率である。1990年代における全国の比率が 40~60% (竹下 2000) であるのに対して、北海道では 50~80% (古原 2002, 第 1-2 表) であり、SU 剤への依存度が高い特徴がある。

4) 抵抗性雑草の防除方法

特定の除草剤が連用された結果として抵抗性雑草が発生したと考えられるので、抵抗性雑草の防除の基本は作用点の異なる除草剤を用いて連用を回避することである。除草剤を切り替えることで防除が成功した事例としては、前述のパラコート抵抗性ハルジオン(埴岡 1998)以外にも、トリアジン系除草剤に抵抗性を示すノボロギク (*Senecio vulgaris* L.) にはビピリジ

ル系除草剤 (Clay 1987) に、また SU 剤に抵抗性を示すアゼトウガラシ (*Limnophila micrantha* Benth.) にはトリアジン系除草剤を含む混合除草剤 (Itoh 1999) に、それぞれ変更することで防除が可能であった。このように特定の除草剤にのみ抵抗性を示す雑草の防除は、作用点の異なる除草剤を使用することによって比較的容易に行えるとされている (Matthews 1994)。しかし、除草剤を切り替えることが困難な場合、例えば異なる作用点をもつ有効な除草剤がない場合や、また、あっても高価なため実用的でない場合が想定される。このような場合には耕種的な防除方法が必要となる。具体的な防除方法としては、作物の播種期あるいは移植期を移動すること、作物の栽植密度を高め雑草との競合能力を高めること、アイガモなどの家畜の利用、収穫後における刈り株の焼却などが挙げられる (Itoh 2001)。

また、耕種的な防除方法と除草剤を組み合わせた防除方法がとられる場合もある。事例としては、フェニルアミド系除草剤のプロパニルに抵抗性のワセビエ (*Echinochloa colonum* Link) の防除がある。水稻の移植時期を遅らせ、遅らせた期間内に発生したワセビエをグリシン系除草剤のグリホサートを使用し防除する方法で、主にコスタリカとコロンビアで行われている (Itoh 2001)。アメリカ、ヨーロッパおよびオーストラリアにおいても抵抗性雑草の防除方法として、除草剤の連用回避、異なる作用点の除草剤への切り替えおよび耕種的防除と除草剤を組み合わせた防除方法が推奨されている (渡辺 1997)。

これら以外に、直接的な防除ではなく予防的な取り組みもある。アメリカでは、販売されている除草剤を作用点から分類し、同じ分類に属する除草剤を連用し

第1-2表 北海道における水稻除草剤使用状況の変化 (古原 2002) .

	1985年	1990年	1995年	2000年
水稻作付面積 (ha)	163,900	146,300	161,500	134,900
使用割合 (%)				
初期剤	38	20	19	23
一発処理剤1)				
{ SU系	0 (0)	71 (56)	117 (79)	66 (52)
{ 非SU系	49	20	7	27
中期剤	39	9	5	4
後期剤	0	7	1	7

1) SU系は一発処理剤のうち、SU剤を含有することを、非SU系は含有しないことを示す。
() 内の数値は全使用除草剤に占めるSU剤の比率 (%) .

ないよう農家に呼びかけて、同一の作用点をもつ除草剤の連用を防ぎ、抵抗性雑草の出現を予防する取り組みが行われている（第 1-3 表、アメリカ雑草学会のホームページより作表、<http://plantprotection.org/HRAC>）。

5) イヌホタルイの生理と生態

(1) イヌホタルイの分布および水稲生育と収量におよぼす影響

イヌホタルイはカヤツリグサ科ホタルイ属の植物で

あり（第 1-3 図）、日本を含む東アジアに分布する（岩崎 1983b）。推定発生面積は日本全国で 75 万 ha 以上（田中ら 2001）であり、このうち北海道では 3 万 ha 以上（北海道農政部 1997）と推定されている。

水稲生育に及ぼす影響はイヌホタルイの生育密度との関係で調査されており、水稲移植 80 日後にイヌホタルイが 2200~3400 個体/m²の密度で生育すると、イヌホタルイの生育が無い場合に比べて水稲の茎数は 10~40%低下し、また茎葉部乾物重は 20~40%低下した

第 1-3 表 本研究に記載した除草剤一覧。

除草剤の和名と英名	作用点	化学構造分類	HRAC の分類 ¹⁾
2,4-PA	2,4-PA	インドール酢酸の攪乱	O
アニロス	anilofos	細胞分裂阻害	K ₃
アトラジン	atrazine	光合成阻害	C ₁
アジメスルホン	azimsulfuron	7-セト乳酸合成酵素阻害	B
ベンフルセート	benfuresate	芽部伸長阻害	N
ベンスルフロメチル	bensulfuron-methyl	7-セト乳酸合成酵素阻害	B
ベンチオカーブ	benthiocarb	芽部伸長阻害	N
ベンゾビシクロン	benzobicyclon	葉緑素合成阻害	F ₂
ベンゾフェナップ	benzofenap	葉緑素合成阻害	F ₂
ビフェノクス	bifenox	プロトキミリノゲン酸化酵素阻害	E
ブロブチド	bromobutido	細胞分裂阻害	Z
ブタクロール	butachlor	細胞分裂阻害	K ₃
カフェンストロール	cafenstrole	細胞分裂阻害	K ₃
クロメプロップ	clomeprop	インドール酢酸の攪乱	O
CNP	CNP	細胞破壊	掲載なし
シクロスルファミロン	cyclosulfamuron	7-セト乳酸合成酵素阻害	B
シハロホップブチル	cyhalofop-butyl	脂肪酸合成阻害	A
ジメタメトリン	dimethametryne	光合成阻害	C ₁
ジクワット	diquat	過酸化による細胞破壊	D
ダイムロン	dymron	細胞分裂阻害	Z
エスプロカルブ	esprocarb	芽部伸長阻害	N
エトキシスルフロ	ethoxysulfuron	7-セト乳酸合成酵素阻害	B
フェノキサプロップ	fenoxaprop-P-ethyl	脂肪酸合成阻害	A
フェントラザミド	fentrazamide	細胞分裂阻害	K ₃
グリホサート	glyphosate	フェニルアラニン合成酵素阻害	G
イマゾスルフロ	imazosulfuron	7-セト乳酸合成酵素阻害	B
インダノファン	indanofan	不明	Z
MCPB	MCPB	インドール酢酸の攪乱	O
メフェナセト	mefenacet	細胞分裂阻害	K ₃
モリネート	molinate	芽部伸長阻害	N
ナプロアニリド	naproanilide	細胞分裂阻害	K ₃
オキサディアギル	oxadiargyl	プロトキミリノゲン酸化酵素阻害	E
オキサジクロメホン	oxaziclomefone	不明	Z
パラコート	paraquat	過酸化による細胞破壊	D
PCP	PCP	呼吸阻害	掲載なし
ペントキサゾン	pentoxazone	プロトキミリノゲン酸化酵素阻害	E
プレチラクロール	pretilachlor	細胞分裂阻害	K ₃
プロパニル	propanil	光合成阻害	C ₂
ピラゾレート	pyrazolynate	葉緑素合成阻害	F ₂
ピラゾスルフロエチル	pyrazosulfuron-ethyl	7-セト乳酸合成酵素阻害	B
ピラゾキシフェン	pyrazoxyfen	葉緑素合成阻害	F ₂
ピリブチカルブ	pyributicarb	脂質合成阻害	Z
ピリミノバクメチル	pyriminobac-methyl	7-セト乳酸合成酵素阻害	B
ジマジン	simasine	光合成阻害	C ₁
シメトリン	simetryne	光合成阻害	C ₁
テニルクロール	thenylchlor	細胞分裂阻害	K ₃

1) アメリカ雑草学会のWeb (<http://plantprotection.org/HRAC>) より引用。
HRAC: Herbicide Resistance Action Committee.

(岩崎 1983b). また水稻移植 30 日後にイヌホタルイが 600 個体/m²以上の密度である場合には、穂数の減少によって水稻収量は 15%程度減少した(渡辺ら 1989)と報告されている。

(2) 種子の休眠と発芽

親植物体を離れ発芽能力を持った種子が胚自身あるいは胚乳などの母親由来の部分に存在する特性により、発芽好適環境下に置かれても発芽しない状態は一次休眠と呼ばれるが(伊藤 1993)、イヌホタルイの完熟した種子はこの一次休眠の状態にあるため発芽しない。発芽可能な状態となるには冬の条件下、すなわち一定期間の低温条件下に置かれることが必要である。この過程を休眠の覚醒と呼ぶ。一次休眠の覚醒に要する低温条件下の期間は、同一の個体から得られた種子では成熟時期が遅れた種子ほど長くなり、また生育中の落水による乾燥ストレスによっても長くなること(住吉 1996b)が報告されている。この覚醒に要する期間が長いほど、水稻移植期における発芽率は低くなること(住吉・伊藤 1999)も知られている。さらに、湛水土壌中での休眠の覚醒に要する期間は、5℃で貯蔵された場合に最短となり(住吉 1996a)、湛水条件よりも畑水分条件(土壌含水量 44%の水分条件)で、また暗黒の条件で短くなる(片岡・金 1977, 石倉・曾我 1979)。

(3) 発芽と温度

休眠が覚醒した種子が発芽するためには水分と温度が必要となる。発芽に必要な水分は花床部の発芽孔から受動的に吸水されて、発芽時の種子内部の水ポテンシャルは-1.2MPa 以下となっている(濱村 2002)。発芽の温度に関しては以下のことが報告されている。まず 10℃以下では発芽しない(渡辺・宮原 1988a)。15~35℃の範囲で発芽し適温は 30℃前後である(渡辺 1987)。発芽の温度域は貯蔵温度によって変化し、湛水土壌中での貯蔵時の温度が 5℃では発芽の温度域は 15~30℃であるが、貯蔵温度が高くなると発芽温度域は 20~30℃へ狭まる傾向がある(住吉 1996a)。また、変温(石倉・曾我 1982)および低酸素分圧(片岡・金 1978a)は発芽を促進する。さらに明条件で発芽は促進され、暗黒の条件での発芽には発芽適温域内の高い温度条件(渡辺・宮原 1988a)、あるいは低酸素分圧の条件(片岡・金 1978a)が必要となる。

(4) 出芽

土中で発芽した種子は、最深で地表下 3cm からでも

出芽すること(片岡・金 1978b, 石倉・曾我 1982)ができる。しかし、5cm よりも深い部分からの出芽を報告した事例はない。したがって、水田では土壌中に存在するすべての種子が発芽するわけではなく、土壌中における生存種子数の 4~8%が出芽する(渡辺ら 1991b)と考えられる。また、出芽率および出芽が可能な深度は種子の貯蔵期間中の水分の影響を受け、含水率が高い程、出芽率は高まり、また発芽可能な深度も深くなること(渡辺・宮原 1988b)が報告されている。

出芽と気温の関係については、代かきから出芽の始まりまでに要する平均気温の積算値は 120℃(谷川 1981)から 133℃(岩崎 1983a)と報告されている。また、代かき後 2 葉期に達するまでに要する平均気温の積算値は 100℃(村上ら 1989)から 250℃(谷川 1981)まで地域によって大きく異なる値が報告されており、同一地域でも代かきの時期によって 180~350℃(岩崎 1983b)の幅がある。このような平均気温の積算値の変動を縮小するため、Spline 曲線補完法をもちいて算出した有効気温を使用する方法(森田 1999)が提案されている。

(5) 種子生産および種子の生存期間

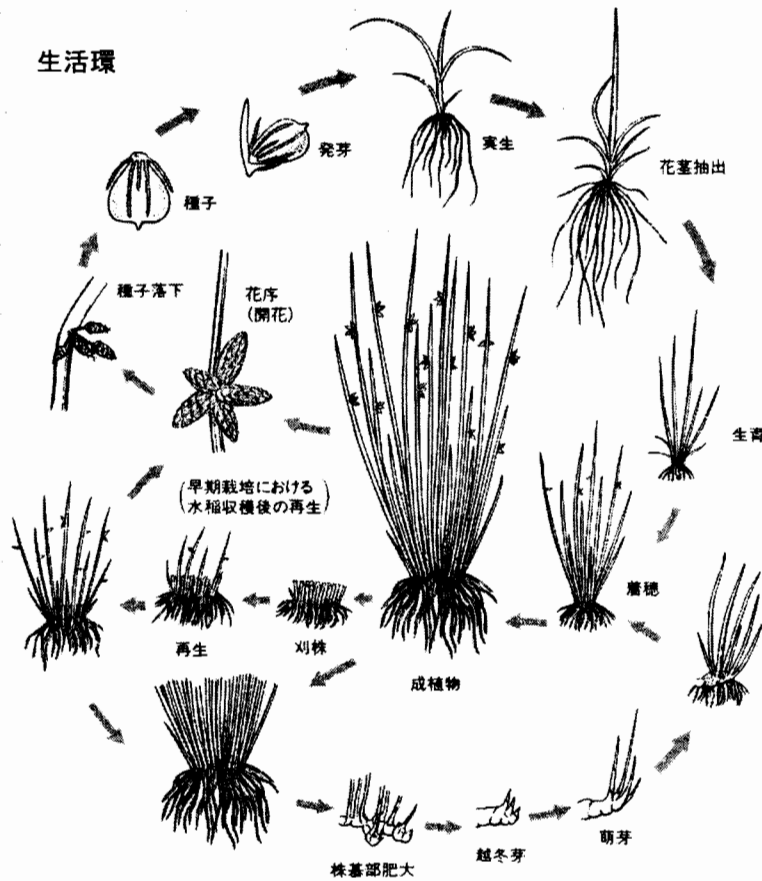
出芽した個体は、3~5 枚の線形葉を展開した後に直立した花茎を抽出する。茎は細い円柱形で、地際で分けつし叢生する。7~8 月に 1~8 個の広卵形の小穂が花茎の先につき、小穂は順次開花する。柱頭は葯よりも先に伸長し、柱頭の受粉能力が低下した後に葯が裂開する、雌性先熟性(protogyny)を示す(伊藤ら 2002)。種子は開花 20~30 日後に成熟し、翌年以降の発生源となる(沼田ら 1983)。株基部に形成された越冬芽によっても繁殖できるが、水田では越冬芽は代かきによって湛水土壌中へ埋没し、出芽しないこと(岩崎 1983a)が多いため、種子繁殖が主体となっている(渡辺 1987)。

遮光率 88%での茎数は遮光をしなかった場合の 0~25%に減少し、草丈、根数、茎葉部および根部乾物重についても同様に減少する傾向がある(岩崎 1983b)。このため、水稻が移植されていない部分で生育した場合には個体当たり 3000~17000 粒の種子が生産されるのに対して、水稻畦間に生育した場合には 100~1000 粒の生産に止まる(渡辺ら 1991a)。このように、種子の生産量は遮光の程度によって大きく異なり、通常の水田条件下では、遮光が無い場合の 10~20%、すなわち個体当たり 1000~3000 粒と推定(岩崎 1983a)されている。この他に、落水による生育期間中の水分ストレスが種子生産量を低下させること(住吉・佐藤

1996c) が知られている.

種子の生存期間は、土壌が攪乱されない場合には 10 年以上 (千坂ら 1985) と報告されている. しかし、攪乱のある場合では水田土壌中の生存種子は毎年、前年

の 70%程度になり、4 年後の生存種子数は 1 年目の約 35%になる (渡辺ら 1991b).



第1-3図 イヌホタルイの生活環 (渡辺 1987)

第2章 スルホニルウレア系除草剤抵抗性イヌホタルイの発見

1997年4月、雑草管理についての相談が北海道立中央農業試験場稲作部（現：岩見沢試験地、以後は中央農試）に持ち込まれた。相談の内容は、通常では考えられないほど多量なイヌホタルイが3年連続して生育しているの、これに対する有効な防除方法が知りたいという岩見沢市の事例であった。使用した除草剤の種類、使用時期、使用量、水田の水管理について聞き取りを行ったところ、除草剤の使用方法は適切であった。つまり、イヌホタルイを防除できない原因としては、除草剤の除草効果を低下させる不適切な使用ではなく、除草剤に対する抵抗性が考えられた。

北海道の各地域では、1993年からSU剤に抵抗性を示すミズアオイ（古原 1996）が発見されていた。このため、イヌホタルイについてもSU剤に抵抗性を示す個体群が発生している可能性があった。もし、抵抗性イヌホタルイが発生しているとすれば、ミズアオイと同じく岩見沢市以外の地域においても発生している可能性がある。各地域の農業改良普及センターへ事例の有無を問い合わせたところ、中富良野町や栗山町などの7町で同様の事例があると報告があった。そこで、これらイヌホタルイのSU剤に対する反応を検討した。

1. 材料および方法

1) 感受性検定

中央農試が岩見沢市、中富良野町および栗山町で採

取したイヌホタルイと農業改良普及センターが穂別町、苫前町、三石町、厚真町および倶知安町で採取したイヌホタルイ、計11集団（第2-1表）を供試した。集団5~7、10、11については第2-2表に示す5つの特徴、すなわち、①除草剤の使用時期、使用量および使用後の水管理等は適正である、②イヌホタルイ以外の草種が生育していない、③イヌホタルイの生育が2ヶ年以上継続している、④イヌホタルイの生育に気付く前の5ヶ年間に多量な生育は確認されていない、⑤SU剤を成分に含む一発処理剤を5年程度もしくはそれ以上連用しているとの特徴があり、第2-3表に示す除草剤の使用経歴が聞き取りによって明らかとなっている。

供試した集団の採種は次のとおり行った。1997年7月、集団5を除き、水田に生育していた花茎抽出前のイヌホタルイを採取した。集団5については同年4月に耕起前の水田土壌表面より種子を採取した。採取した植物体または種子を1/5000aポットへ移植または播種し、天井にのみビニルを張った中央農試の雨よけビニルハウスにおいて栽培した。この際、各集団の花粉が交雑しないよう集団と集団の間はビニルで間仕切りした。同年9月から10月にかけて得られた完熟種子（そう果）は中央農試の水田土壌（殺菌、殺種子処理をしていない埴壤土）とともにポリ瓶に入れ、畑土壌の水分条件（土壌容水量50%の水分条件）で5℃の冷蔵庫内に保管した。

第2-1表 供試イヌホタルイ集団の採取地、採取時期および採取者。

集団番号	採取地	採取時期 (1997年)	採取者
1	穂別町	7月	東胆振地区農業改良普及センター
2	苫前町	7月	中留萌地区農業改良普及センター
3	三石町	7月	日高東部地区農業改良普及センター
4	岩見沢市 上幌向 ¹⁾	7月	中央農試
5	岩見沢市 御茶の水（K氏水田）	4月	中央農試
6	中富良野町	7月	中央農試
7	栗山町 御園（H氏水田）	7月	中央農試
8	厚真町	7月	東胆振地区農業改良普及センター
9	倶知安町	7月	中後志地区農業改良普及センター
10	岩見沢市 御茶の水（A氏水田）	7月	中央農試
11	栗山町 御園（G氏水田）	7月	中央農試

1) 中央農試水稲作除草剤試験圃の除草剤無処理区より採取。

第2-2表 供試イヌホタルイ集団を採取した水田の特徴.

集団番号 ¹⁾	除草剤の適正使用	他草種に関する残草の有無	スルニルピク系除草剤使用の初年目 (A)	残草発生を最初に気付いた年 (B)	残草発生まで年数 (B-A)	これ以前の残草多発生 ²⁾
5	良 ³⁾	なし	1989	1993	5	なし
6	良	なし ⁴⁾	1993	1996	4 ⁵⁾	不明
7	良	なし	1990	1995	6	なし
10	良	なし	1989	1996	8	なし
11	良	なし	1993	1995	3 ⁵⁾	なし

- 1) 集団番号は第2-1表と同じ。5筆ともに残草初年目以降もSU剤が使用され、残草が継続した。
- 2) 残草が始まる前5ヶ年程度における残草多発生の有無。
- 3) 使用時期、使用量および使用後の水管理等が適正であったことを示す。
- 4) 集団10は一部にミズアオイ、集団6は一部にタイヌビエが残草。
- 5) 1992年以前の使用除草剤が不明なため、残草発生まで年数 (B-A) 年数は集団6では5年以上、集団11では4年以上となる可能性がある。

第2-3表 供試イヌホタルイ集団を採取した水田における除草剤の使用歴.

集団番号 ¹⁾	除草剤使用歴 ²⁾
4	SU剤含有および非含有各種試験除草剤
5	1988年(ブタクロール・ピラゾレート) 1989~1996年(ベンスルフロンメチル・イスプロカルブ、ベンスルフロンメチル・メフェナセットまたはベンスルフロンメチル・ベンチカブ・メフェナセット) 1997年(ピレチクロール・ベンプレート・ピラゾレート・ジメタメリン)
6	1993~1994年(ベンスルフロンメチル・メフェナセット) 1995~1997年(ベンスルフロンメチル・テニクロールまたはベンスルフロンメチル・ピリパチカルブ)
7	1990年(ベンスルフロンメチル・ピレチクロール) 1991~1994年(ベンスルフロンメチル・イスプロカルブまたはピラゾスルフロンエチル・メフェナセット) 1995年(ベンスルフロンメチル・テニクロールとピラゾスルフロンエチル・イスプロカルブの体系 ³⁾) 1996~1997年(ベンスルフロンメチル・テニクロールとベンスルフロンメチル・イスプロカルブの体系 ³⁾)
10	1993~1994年(ピラゾスルフロンエチル・メフェナセット) 1995年(ベンスルフロンメチル・メフェナセット) 1996~1997年(イマゾスルフロン・ピリパチカルブ・ダィムロン)
11	1988年(ブタクロール・ピラゾレート) 1989~1996年(ベンスルフロンメチル・イスプロカルブまたはベンスルフロンメチル・メフェナセット) 1997年(イマゾスルフロン・カフェンストロール・ダィムロン)

- 1) 集団番号は第2-1表と同じ。
- 2) 表中、SU剤にはアンダーラインを付した。
- 3) 一発処理剤の2回処理を示す。これ以外はすべて一発処理剤の1回処理。

1998年2月6日に、前述の水田土壌を充填し代かきを行った直径3.6cm、深さ5cmのプラスチック製カップの土壌表面に貯蔵種子30粒を播種し、25℃定温かつ12時間明期の条件に設定した恒温器(日本医化器製LPH-300RDSMP、温度精度±0.3℃)内に設置し、湛水深3cmで発芽させた。発芽の始まった2月10日に、2種類のSU剤、すなわちベンスルフロンメチル0.25%粒剤とピラゾスルフロンエチル0.07%粒剤の標準使用量(それぞれ製品量で0.003g/カップ)を処理した。ベンスルフロンメチルについては標準使用量とその4倍量処理区も設けた。また、無処理区も設けた。区制は、2反復とした。除草剤処理後7日目における生存状況(被度)を観察により1(無処理区の被度の0~20%)、

2(同21~40%)、3(同41~60%)、4(同61~80%)、5(同81~100%)の5段階で評点し、評点が高いほどSU剤に対して抵抗性として、各イヌホタルイ集団を評価した。

2) 半数致死薬量の検討

天井にのみビニルを張った中央農試の雨よけビニルハウスにおいて、中央農試の水田土壌(殺菌、殺種子処理をしていない埴壤土)を充填し、代かきを行った1/5000aポットに、集団4、5、6および7につき貯蔵種子30粒を1998年5月8日に、土壌表面に播種し、湛水深3~5cmで発芽させた。播種粒数の約10%が発芽した時点の5月17~20日に、SU剤のベンスルフロ

ンメチル 0.25%粒剤, ピラゾスルフロンエチル 0.07%粒剤およびイマゾスルフロン 0.3%粒剤を処理した。なお、これらの標準使用量は製品量ではいずれも3kg/10aで、有効成分量では各々75g/ha, 21g/ha, 90g/haである。薬量は、半数致死薬量(LD₅₀)を明らかにするため集団4については標準使用量の1/27, 1/9, 1/3, 1, 3倍量の、集団5, 6および7は1, 3, 9, 27, 81倍量のそれぞれ5水準とした。また、無処理区も設けた。区制は2反復とした。処理後22日~25日(6月11日)および除草剤の除草効果が消滅したと考えられる時点の処理後58日~61日(7月17日)に生存個体数を調査した。7月17日の調査結果から処理区毎の対無処理区比(生存個体数/無処理区個体数×100)を求め、各集団毎に分散分析(一元配置; 3SU剤×5薬量の15水準, 2反復)を行いLSDを算出した。3種のSU剤に対する各集団のLD₅₀は、薬量と対無処理区比をプロットしたグラフから、対無処理区比が50%となる薬量を読み取ることにより求めた。

2. 結果

1) 感受性検定

すべての集団において発芽は速やかであり、ほぼ100%の発芽率が示された。また、集団間の形態的な差異は認められなかった。SU剤処理後7日目の生存状況(被度)を第2-4表に示した。なお、集団10および4については第4章の第4-1図にも示した。各集団の生

存あるいは枯死は、観察評点によって明確に区別された。すなわち、集団1~4は標準使用量と4倍量のベンズスルフロンメチル粒剤および標準使用量のピラゾスルフロンエチル粒剤処理によって、全個体が枯死した。一方、集団5~11では、これらSU剤の影響は認められなかった。

第2-5表 SU剤の処理日と無処理区における生存個体数の推移

集団番号 ¹⁾	処理日 ²⁾	無処理区における生存個体数 ^{3, 4)}	
		6月11日調査	7月17日調査
4	5月20日	6 (20%)	13 (43%)
5	5月18日	26 (87%)	29 (97%)
6	5月18日	18 (60%)	23 (77%)
7	5月17日	18 (60%)	25 (83%)
LSD(<0.05)		6 (20%)	14 (28%)

1) 集団番号は第2-1表と同じ。

2) SU剤の処理は、1葉期を超える個体のない段階で行った。

3) 数値はポット当たりの平均生存個体数。()内の数値は生存個体数をもとにした播種30粒に対する発芽率。

4) 試験期間中の平均気温は、12.2°C(5月), 14.8°C(6月), 19.5°C(7月)。

2) 半数致死薬量の検討

LD₅₀の算出に必要な生存個体数の調査結果を除草剤の処理日とともに第2-5表に示した。集団5, 6, 7および4の無処理区では、生育の途中で枯死する個体は観察されず、7月17日の調査における生存個体数は総発生個体数と同一であった。集団5, 6および7の処理日は5月17日あるいは18日で、集団4よりも2~3日早かった。また生存個体数をもとにした発芽率も、

第2-4表 SU剤処理後7日目¹⁾におけるイヌホタルイの生存状況²⁾

集団番号	ベンズスルフロンメチル 0.25%粒剤 標準使用量	ベンズスルフロンメチル 0.25%粒剤 4倍量	ピラゾスルフロンエチル 0.07%粒剤 標準使用量
	1	1	1
2	1	1	1
3	1	1	1
4	1	1	1
5	5	5	5
6	5	5	5
7	5	5	5
8	5	5	5
9	5	-	5
10	5	4	5
11	5	5	5
LSD(<0.05)	0.66	0.50	0.66

1) 1998年2月6日播種, 2月10日SU剤処理。

2) 生存状況(被度)について、無処理区を100%とし5段階で評価。

1=0~20%, 2=21~40%, 3=41~60%,

4=61~80%, 5=81~100%。-は試験無しを示す。

集団5, 6および7では60%以上と高かった。しかし、集団間の形態的な差異は観察されなかった。

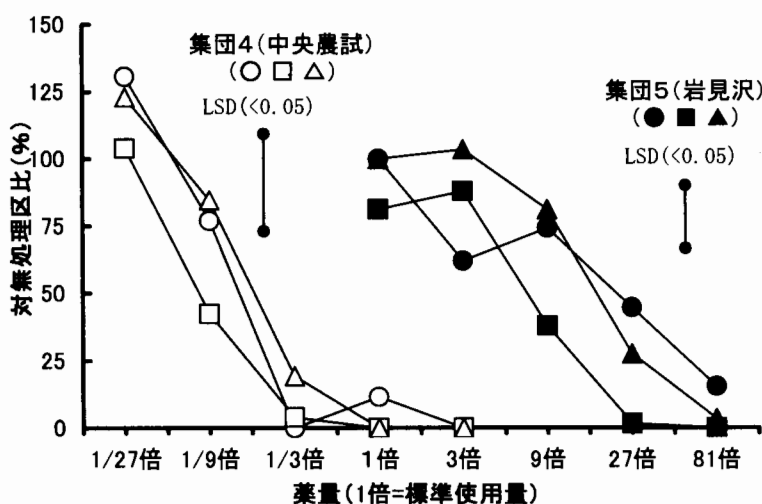
7月17日の調査結果について、SU剤の薬量と集団4と5の対無処理区比（生存個体数/無処理区個体数×100）との関係を第2-1図に示した。集団4では、ベンスルフロンメチル粒剤の標準使用量の1/3倍量以上の処理でほぼ枯死した。一方、集団5では対無処理区比は、上述の除草剤の3倍量でも50%以上であった。両集団間における薬量と対無処理区比との関係の差異は、ピラゾスルフロンエチル粒剤とイマゾスルフロン粒剤に対する関係でも同様に認められ、両集団間にはSU剤に対する感受性に大きな差が存在することが明

らかとなった。

集団5のLD₅₀、すなわち発生した個体の半数が枯死する薬量（有効成分量）は136~1626g/haで、感受性集団4のLD₅₀に対して、60~140倍の値を示した（第2-6表）。また、集団6と7についても、集団5と同様の関係を示し、LD₅₀は集団4の40~120倍であった（第2-6表）。

3. 考察

感受性検定の結果から、供試した11集団はSU剤によって防除が不可能と考えられる集団5~11と、可能と考えられる集団1~4に分類できた（第2-4表）。SU



第2-1図 3種のSU剤に対するイヌホタルイ2集団の反応。

対無処理区比 = 生存個体数 / 無処理区個体数 × 100.

●, ○: ヘミフルロンメチル0.25%粒剤, 標準使用量(有効成分量)=75g/ha.
 ■, □: ピラゾスルフロンエチル0.07%粒剤, 標準使用量(有効成分量)=21g/ha.
 ▲, △: イマゾスルフロン0.3%粒剤, 標準使用量(有効成分量)=90g/ha.

処理時期: 発生始~1葉期.

集団5のLSD(<0.05)=26%.

集団4のLSD(<0.05)=37%.

第2-6表 4集団の3種のSU剤に対する4集団のLD₅₀とR/S¹⁾.

集団番号 ²⁾	LD ₅₀ (g a. i. / ha) ³⁾			R/S ¹⁾		
	ヘミフルロンメチル 0.25%粒剤	ピラゾスルフロンエチル 0.07%粒剤	イマゾスルフロン 0.3%粒剤	ヘミフルロンメチル 0.25%粒剤	ピラゾスルフロンエチル 0.07%粒剤	イマゾスルフロン 0.3%粒剤
5	1625.6	135.9	1523.5	140	65	88
6	1378.6	169.3	1609.5	119	81	93
7	638.9	87.6	1292.0	55	42	75
4	11.6	2.1	17.3			

1) 集団4のLD₅₀に対する各集団の比.

2) 集団番号は第2-1表と同じ.

3) 半数致死薬量 (LD₅₀) は対無処理区比をもとに算出した.

剤の薬量との関係では、抵抗性ミズアオイの GR_{50} (生体重の 50% を阻害する薬量) が感受性ミズアオイの 80 ~ 130 倍 (Wang et al. 1997) であり、抵抗性キクモでは 300 倍以上であった (汪ら 1998) と報告されている。そこで、除草剤の使用経歴の明らかな集団 5~7 と集団 4 について LD_{50} を検討した。集団 5 の標準使用量における対無処理区比は、集団 4 に比べ極めて高かったことから (第 2-1 図)、供試したいずれの SU 剤によっても防除は不可能と考えられた。さらに集団 5 の LD_{50} は集団 4 の 60~140 倍の値を示したことから (第 2-6 表)、集団 5 は抵抗性 (渡辺 1997) と判断される。また、集団 6, 7 についても集団 5 と同様の反応を示し、抵抗性と判断できた。集団 5~7 が抵抗性であったことから、集団 8~11 についても感受性検定の試験結果より抵抗性と判断できた。これらの結果より、抵抗性イヌホタルイの発生が日本ではじめて確認された。

ここで議論しておくべき点は、抵抗性の判断根拠とした LD_{50} の算出方法である。 LD_{50} を算出する場合、一般的には生存率 (= 生存個体数 / 総発生個体数 × 100) が用いられる。しかし、本研究では生存率を用いることはできなかった。理由は次のとおりである。除草剤に対する反応を検討する場合には、除草剤の処理時期を播種後 14 日前後に設定すること (汪 2001) が

適当とされている。このため、本研究では播種後 9~12 日に処理を行った。しかし、第 2-5 表に示すとおり、発生は終了しておらず継続していたため、除草剤の処理時期における処理区毎の総発生個体数を確認できず、したがって生存率を算出することができなかった。そこで、本研究では対無処理区比を生存率の代替として用いた。すなわち、無処理区における生存個体数の推移に着目すると、生育の途中で枯死する個体は観察されなかったことから (第 2-5 表)、7 月 17 日調査での無処理区の生存個体数は総発生本数を示していると考えられる。また、処理区においても無処理区と同程度の個体が発生していると仮定することは可能であることから、無処理区の生存個体数を処理区の総発生個体数へ置き換えることは可能であり、対無処理区比を処理区の生存率として扱うことに大きな問題はないと判断できるためである。

注目すべき点は、抵抗性集団 5~7, 10, 11 は、SU 剤を成分に含む一発処理剤が適正な使用状況で連用されていた水田で見つかっていることである (第 2-2 表, 第 2-3 表)。このことは、多数のイヌホタルイが生育している水田においては、単純に除草剤の不適正な使用法が要因であると先入観を持たずに、抵抗性イヌホタルイの発生を視野に入れた対応をとる必要があることを示している。

第 3 章 北海道の水田におけるイヌホタルイの発生実態

前章において抵抗性イヌホタルイが北海道の複数の水田において発生していることが明らかになった。そこで、抵抗性イヌホタルイが限定された地域での発生に止まるのか、それとも北海道全域に発生が拡大して行く可能性があるのかを明らかにする必要がある。このことは、抵抗性イヌホタルイの防除方法を確立する上で重要である。つまり、発生が限定されるのであれば除草にかかる費用を制限せずに徹底した防除を行い、他地域への拡散を防ぐことを優先する必要がある。逆に広域で発生する可能性が高ければ、防除方法は誰でもが対応できる簡便性、すぐに施せる迅速性および低コストの 3 条件を満たす必要がある。

雑草の分布調査は防除を行う上で重要である（渡辺 1983）。抵抗性雑草の分布調査に関してはパラコート抵抗性ハルジオン（Watanabe et al. 1982, 坂ら 1985, 佐藤ら 1992）の報告があるが、抵抗性ハルジオンの発生分布についての調査に止まっており、未発生地域における発生の可能性については検討されていない。そこで、本章では抵抗性イヌホタルイの北海道における発生分布と過去のイヌホタルイの分布を検討することによって、抵抗性イヌホタルイが広域で発生する可能性があるかを検討した。

1. 材料および方法

農作物の除草に関する実態調査報告書水稲編(1)（日本植物調節剤研究協会 1982）、平成 8 年度北海道市町村別水田雑草発生量調査（北海道農政部 1997）および 1999 年に北海道農政部が実施したイヌホタルイについての北海道市町村別発生量調査（未発表）のデータを利用した。防除を必要とするか否かの判断基準は水田 1 筆面積の 1%以上の部分で発生がみられることとし、該当する水田の全面積を、防除を要する面積とした。農業改良普及センター管轄地域単位で防除を要する面積を集計し、管轄地域の水稲作付け面積で除した値を要防除面積率とした。ただし、アンケート方式で行われた 1982 年の農作物の除草に関する実態調査報告書では、資料中に記載された防除を要する面積の値を使用して要防除面積率を算出した。なお、水稲作付け面積が 1000ha 未満の地域は除外した。

また、1980 年以前のイヌホタルイの発生分布については、水田雑草発生生態調査資料（北海道除草剤協会

1973）を利用した。ただし本資料に関しては、防除を要する面積に関する情報が記載されていないことから、発生の有無のみを示す資料として解析に用いた。

2. 結果

1) 1979 年までの分布

1967 年と 2000 年の北海道の水稲作付地域を第 3-1 図に示した。1967 年から 2000 年にかけて主に網走および十勝地方において作付け面積の減少がみられた。また、1973 年におけるイヌホタルイの分布（第 3-2 図）と 1967 年の水稲作付地域はほぼ一致していた。

2) 1980 年以降の分布

1980 年以降の分布について、実態調査の結果を第 3-3 図に示した。要防除面積率が算出された地域、すなわち防除を要する地域は、1982 年では北海道の中心部だけではなく、網走、渡島および檜山地方も含まれていた。これに対して 1996 年には、防除を要する地域数に変化はなく、各地域の要防除面積率が大きく低下した。1999 年では防除を要する地域数は減少したが、10%以上の要防除面積率を示す地域が再び中心部に現れた。

3. 考察

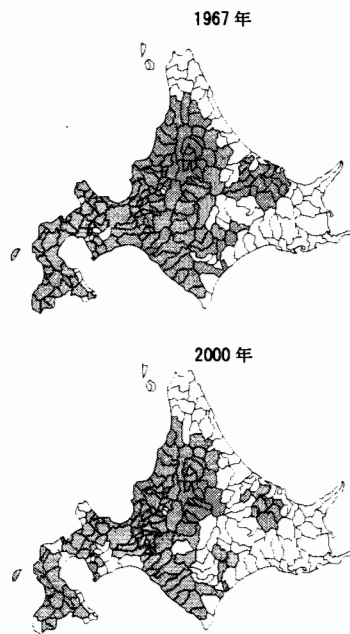
雑草集団中において抵抗性集団が発生するには次の 5 項目（Diggle and Neve 2001）が関与している。すなわち、①除草剤による淘汰圧の強度、②集団内における抵抗性遺伝子の存在頻度、③抵抗性の遺伝様式、④除草剤処理条件あるいは無処理条件下における抵抗性雑草と感受性雑草の相対的な生存能力、⑤集団内および集団間における遺伝子の流動性である。②については、さらに集団の大きさ、とくに種子密度と分布域が関与する。

1973 年のイヌホタルイの分布と 1967 年の水稲作付地域とが一致したことから（第 3-1 図、第 3-2 図）、1970 年代前後の北海道においては、水稲が作付けられた地域のすべてで、イヌホタルイが発生していたと考えられる。1970 年代前半に普及した CNP とベンチオカーブ・シメトリン混合除草剤を組み合わせた防除では、イヌホタルイに対する除草効果が十分ではなかったことから、1970 年代には多量の種子が生産されたと推察される。これらの種子は 1982 年の時点においてもなく

ならず、イヌホタルイは北海道の各地で発生し広く分布していたと考えられる。この状態は、1996年においても防除を要する地域数には変化が無かったこと、イヌホタルイの種子の寿命は長いこと(宮原 1992)から、1982年以降も発生が継続していたと考えられる。つまり、北海道では前述の要因②にあげた抵抗性遺伝子の存在頻度が高い状態にあった可能性が指摘される。

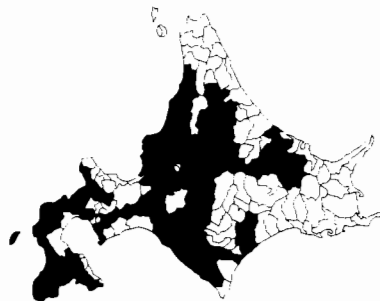
岩見沢市、栗山町、中富良野町、倶知安町および厚真町で抵抗性イヌホタルイが 1998 年に確認されてい

る。第 3-3 図の結果と合わせて考えると、1982 年の時点で高い要防除面積率を示していた地域から抵抗性イヌホタルイが発生したとみることができる。イヌホタルイは過去に北海道全域での多発生が確認されていることから、抵抗性イヌホタルイが発生する可能性は北海道全域にあると考えられる。したがって、抵抗性イヌホタルイの防除は特定の地域を対象とするものではなく、北海道全域を対象とする必要があると結論できる。



第 3-1 図 北海道における水稲作付地域。

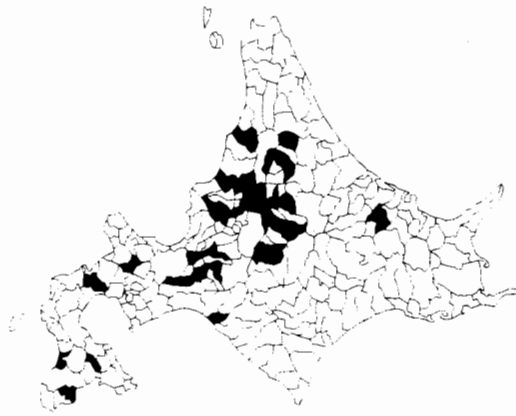
北海道企画部(1968)と北海道農政部(2001)の資料より作図。



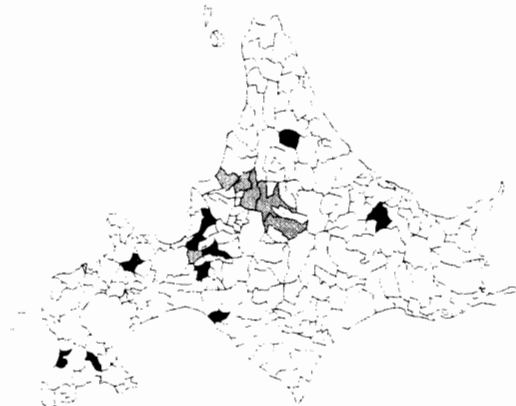
第 3-2 図 1973 年の北海道におけるイヌホタルイの発生分布。

北海道除草剤協会(1973)の資料より作図。

1982 年



1996 年



1999 年



第 3-3 図 イヌホタルイの地域別要防除面積率の変遷.

□ 0%以上～1%未満, ■ 1%以上～5%未満, ■ 5%以上～10%未満, ■ 10%以上.

防除を必要とするか否かの判断基準は水田 1 筆面積の 1% 以上の部分で発生がみられることとし、該当する水田の全面積を防除を要する面積とした。各地区農業改良普及センター管轄地域単位で防除を要する面積を集計し、管轄地域の水稲作付け面積で除した値を要防除面積率として、農業改良普及センター所在市町村に示した。ただし、水稲作付け面積が 1000ha 未満の地域は除外した。

第4章 抵抗性イヌホタルイに対する各種除草剤の除草効果

前章において抵抗性イヌホタルイが北海道全域で発生する可能性のあることが明らかとなったため、北海道全域を対象とする防除方法を確立する必要がある。この場合、誰でもが対応できる簡便性とすぐに施せる迅速性を備え、かつ低コストな防除方法を確立する必要がある。また、防除方法はすべての地域において適用可能で汎用性の高いことが望まれる。このような条件を満たす防除方法の一つとして、除草剤を用いる方法があげられる。

日本の水稲作においては、イヌホタルイに除草効果を有し、かつSU剤とは作用点の異なる、複数の除草剤を使用することができる。そこで本章では、これら除草剤の抵抗性イヌホタルイに対する除草効果を検討し、簡便性と迅速性を備え、かつ低コストで広域に使用可能な汎用性のある防除法を確立しようとした。

1. 材料および方法

1) 異なる作用点をもつ除草剤の除草効果

(1) ポット試験

第2-1表に示した11集団の1997年産種子を供試した。種子の保存などの取り扱い第2章の材料および方法1)に示す試験と同様とした。1998年2月6日に、中央農試の水田土壌（殺菌、殺種子処理をしていない堆肥土）を充填し代かきを行った直径3.6cm、深さ5cm

のプラスチック製カップの土壌表面に貯蔵種子30粒を播種し、25℃定温かつ12時間明期の条件に設定した恒温器（日本医化器製 LPH-300RDSMP、精度±0.3℃）内に設置し、湛水深3cmで発芽させた。発芽の始まった1998年2月10日に、細胞分裂を阻害するなどSU剤とは異なる作用点を有し化学構造の異なる（第1-3表）クロロアセトアミド系のプレチラクロール、チオカーバメート系のベンフレセート、ピラゾール系のピラゾレートおよびトリアジン系のジメタメトリンからなる4種混合粒剤、成分含有率は各々3%、3%、18%、0.6%の標準使用量（製品量で0.001g/カップ）を処理した。またチオカーバメート系のピリプチカルブ、アミド系の一環であるプロモブチドおよびピラゾール系のベンゾフェナップからなる3種混合フロアブル剤、成分含有率は各々5.7%、10%、10%も標準使用量（製品量で0.0005ml/カップ）で処理した。また、無処理区も設けた。区制は2反復とした。除草剤処理後7日目における生存状況（被度）を観察により1（無処理区の被度の0～20%）、2（同21～40%）、3（同41～60%）、4（同61～80%）、5（同81～100%）の5段階で評点し、評点が低いほど抵抗性イヌホタルイに対して有効として、上記の混合除草剤を評価した。

(2) 圃場試験

第4-1表 除草剤処理後7日目におけるイヌホタルイの生存状況^{1)・2)}

集団番号	採取地	標準使用量 ³⁾	
		プレチラクロール・ベンフレセート・ピラゾレート・ジメタメトリン粒剤	ピリプチカルブ・プロモブチド・ベンゾフェナップフロアブル剤
1	穂別町	1	1
2	苫前町	1	1
3	三石町	1	1
4	岩見沢市 上幌向	1	1
5	岩見沢市 御茶の水（K氏水田）	1	1
6	中富良野町	1	1
7	栗山町 御園（H氏水田）	1	1
8	厚真町	1	1
9	倶知安町	1	1
10	岩見沢市 御茶の水（A氏水田）	1	1
11	栗山町 御園（G氏水田）	1	1

1) 1998年2月6日に直径3.56cm、深さ5cmのプラスチック製カップの土壌表面に貯蔵種子30粒を播種し、25℃定温かつ12時間明期、湛水深3cmの条件で2月10日に除草剤を処理。

2) 生存状況（被度）について、無処理区を100%とし5段階で評価。

1=0～20%、2=21～40%、3=41～60%、4=61～80%、5=81～100%。

3) プレチラクロール・ベンフレセート・ピラゾレート・ジメタメトリン粒剤（各3%、3%、18%、0.6%）

4) ピリプチカルブ・プロモブチド・ベンゾフェナップフロアブル剤（各5.7%、10%、10%）

北海道の水稲作で使用されている除草剤の多くは、複数の除草剤を混合した混合除草剤である（北海道農政部 2002）。そこで、混合除草剤を構成する各除草剤について、抵抗性イヌホタルイに対する除草効果を検討した。

1998年に抵抗性イヌホタルイが自然発生する岩見沢市御茶の水の農家水田で試験を実施した。本水田は第2-1表に示す集団5を採取した水田で、土性および土質は埴壤土の泥炭土である。水稲が移植された5月下旬に水田畦畔用の波板（商品名：畦シート）で区を囲むことによって6㎡の試験区を設置した。第4-2表に示す処理時期および薬量（製品量）で、20供試除草

剤を2反復で処理した。除草剤の処理後約40日に試験区内に生育中の全個体を抜き取り、70℃で72時間乾燥して地上部乾物重（以後、残草量）を求めた。各除草剤の除草効果は残草量により評価した。なお、イヌホタルイ以外の雑草についてはわずかにタイヌビエが発生する程度で極めて少なかったことから、除草効果の記載は省略した。

2) 混合除草剤の検討

1998年から2000年に、前項の圃場試験を行った農家水田で試験を実施した。水稲が移植された5月中～下旬に水田畦畔用の波板（商品名：畦シート）で区を



第4-1図 SU剤に対するイヌホタルイ2集団の反応。

左より、1列目 無処理

2列目 ベンスルフロメチル0.25%粒剤、標準使用量

3列目 同上、4倍量

4列目 ピラズスルフロエチル0.07%粒剤、標準使用量

5列目 プレチクロール・ベンフルレート・ピラゾレート・ジメトリン粒剤
(各3%, 3%, 8%, 0.6%), 標準使用量

6列目 ビリヂカルブ・プロモチド・ベンゾフェナップフロアブル剤
(各5.7%, 10%, 10%), 標準使用量

第4-2表 各種除草剤の抵抗性イヌホタルイに対する効果.

除草剤名	成分含有率	処理時期 ¹⁾	10a当たり 処理薬量 (製品)	残草量 ²⁾ (g/m ²)		同左 比率 ³⁾
				平均 ±	S. E.	
無処理				4.80 ±	1.05	100
ベンスルフロメチル 粒剤	0.25%	1~1.5葉	3kg	8.75 ±	3.99	182
クロムプロップ フロアブル剤	10%	発生前~始	450ml	0.00 ±	0.00	0
クロムプロップ フロアブル剤	10%	1~1.5葉	450ml	0.34 ±	0.12	7
ベンソレート 粒剤	2%	発生前~始	3kg	0.01 ±	0.00	0
ベンソレート 粒剤	2%	1~1.5葉	3kg	0.21 ±	0.08	4
ブロムプロップ 粒剤	4%	発生前~始	1.5kg	0.01 ±	0.01	0
ブロムプロップ 粒剤	4%	1~1.5葉	1.5kg	0.51 ±	0.11	11
ベンゾピシロン フロアブル剤	5.7%	1~1.5葉	500ml	0.06 ±	0.06	1
ベンゾピシロン フロアブル剤	5.7%	発生前~始	500ml	0.13 ±	0.05	3
トリネート 粒剤	8%	発生前~始	3kg	0.09 ±	0.09	2
トリネート 粒剤	8%	1~1.5葉	3kg	0.53 ±	0.09	11
ピラゾレート 粒剤	10%	発生前~始	1.8kg	0.15 ±	0.04	3
ピラゾレート 粒剤	10%	1~1.5葉	1.8kg	0.22 ±	0.36	5
ピラゾキシフェン 粒剤	10%	発生前~始	2.4kg	0.33 ±	0.05	7
ピラゾキシフェン 粒剤	10%	1~1.5葉	2.4kg	0.30 ±	0.19	6
MCPB 粒剤	2.4%	1~1.5葉	1kg	0.52 ±	0.21	11
ナプロアニリド 粒剤	10%	発生前~始	2kg	0.65 ±	0.18	14
フェントラザミド 粒剤	2%	発生前~始	1.5kg	1.00 ±	0.06	21
インダノファン フロアブル剤	3%	発生前~始	500ml	1.03 ±	0.04	21
ベンゾフェナップ フロアブル剤	10%	発生前~始	500ml	1.77 ±	0.51	37
カフェンストール 水和剤	50%	発生前~始	60g	2.01 ±	0.10	42
ペントキサゾン フロアブル剤	2.9%	発生前~始	1133ml	2.27 ±	0.38	47
オキサジクロメホン フロアブル剤	1%	発生前~始	800ml	2.47 ±	0.09	51
テニクロール フロアブル剤	4%	発生前~始	250ml	3.70 ±	0.59	77
アニコルス 粒剤	2%	発生前~始	2kg	4.68 ±	1.31	98
オキサジアルギル 粒剤	0.5%	発生前~始	667g	4.78 ±	0.82	100
ビフェノックス 粒剤	16%	発生前~始	33g	6.72 ±	0.32	140

1) イヌホタルイの発生前~始は移植後7日目の1998年5月29日処理.

イヌホタルイの1~1.5葉期は移植後13日目の1998年6月4日処理.

2) 残草量は除草剤処理後約40日における生存イヌホタルイの地上部乾物重.

3) 無処理区の残草量に対する比率.

囲むことによって 3~6 m²の試験区を設置し、第 4-3 表に示す処理時期および処理薬量で、27 供試混合除草剤を 2 反復で処理した。各除草剤の除草効果についての評価方法は、前項の圃場試験と同様とした。

2. 結果

1) 異なる作用点をもつ除草剤の除草効果

(1) ポット試験

すべての集団で速やかな発芽とほぼ 100%の発芽率が観察された。第 4-1 表に除草剤処理後 7 日目の生存状況を示した。SU 剤と異なる作用点の除草剤（プレチラクロール、ベンフレセート、ピラゾレートおよびジメタメトリンの 4 種混合粒剤、ピリプチカルブ、プロモブチドおよびベンゾフェナップの 3 種混合フロアブル剤）を処理することによって、供試したすべての集団が枯死した（第 4-1 図）。

(2) 圃場試験

第 4-2 表に各種除草剤の除草効果を示した。SU 剤とは異なる作用点をもつ除草剤のうち、クロメプロップ、ベンフレセート、プロモブチド、ベンゾビシクロン、モリネート、ピラゾレート、ピラゾキシフェンおよび MCPB の残草量は 0.5g/m²以下であり、また無処理区の残草量に対して 10%以下となり、処理による除草効果が認められた。ナプロアニリドからピフェノックスまでの 11 供試除草剤については、無処理区に対する残草量が 14~140%であったことから、本試験条件の範囲では除草効果は認められなかった。

2) 混合除草剤の検討

1998 年から 2000 年に行った各種混合除草剤についての検討結果を第 4-3 表に示した。いずれの混合除草剤とも無処理区の残草量に対して 10%以下の残草量であった。これら混合除草剤には、前項の圃場試験で除草効果が確認されたクロメプロップ、ベンフレセート、プロモブチド、ベンゾビシクロン、モリネート、ピラゾレート、ピラゾキシフェンおよび MCPB のいずれかの除草剤が含まれていた。

3. 考察

1) 異なる作用点をもつ除草剤の除草効果

ポット試験の結果から、抵抗性イヌホタルイに対して、SU 剤とは作用点の異なる除草剤が除草効果を示す可能性が示された（第 4-1 表）。この結果を検証するために圃場での試験を実施したところ、作用点の異なるクロメプロップなどの 8 除草剤が抵抗性イヌホタルイに有効であることが明らかとなった（第 4-2 表）。異なる作用点をもつ除草剤を使用することによって、単一の除草剤に抵抗性を示す雑草の防除は可能であること（Matthews 1994）が指摘されており、抵抗性イヌホタルイについても同様であることが確認された。したがって、抵抗性イヌホタルイの発生が確認された水田では、使用する除草剤を作用点の異なる除草剤へ切り替えることで防除が可能である。

2) 混合除草剤の検討

除草効果の検討に用いた農家水田では、イヌホタルイ以外の雑草の発生が極めて少なかった（第 2-2 表）。SU 剤を含む除草剤が連用されていたことから（第 2-3 表）、SU 剤に感受性の雑草は毎年防除されており、新たな種子の供給はなかったと考えられる。つまり、種子密度は発生した量に応じて減少し、感受性雑草の発生は SU 剤の連用に伴い減少したと推測される。

SU 剤の連用によって感受性雑草の発生が減少し、抵抗性イヌホタルイだけが発生している農家水田で、2 種の除草剤からなるプロモブチド、ペントキサゾン混合フロアブル剤（KUH-958 フロアブル剤、成分含有率は各々、4%、18%）が高い除草効果を示したことは注目に値する（第 4-3 表）。なぜなら、混合除草剤に含まれる除草剤の種類が少ないほど一般的に価格は低く、経済的なためである。これまでのところ報告事例は少ないが、抵抗性雑草が発生した水田における発生草種の単純化は、本農家水田以外においてもみられている（第 2-2 表）。SU 剤を使用しなければ防除が難しいミズガヤツリあるいはクログワイなどの多年生雑草が北海道の水田では発生しないことも考慮に入れると、北海道では前述の SU 剤を含まない 2 種の混合除草剤でも効果的な雑草防除が期待できる。

第4-3表 各種混合除草剤の抵抗性イヌホタルイに対する効果.

試験年	除草剤名 ¹⁾	処理時期 ²⁾	10a当たり 処理薬量 (製品)	残草量 ³⁾ (g/m ²)			同左 比率 ⁴⁾
				平均	±	S. E.	
1998年	無処理			4.80	± 1.05		100
	TSM-612707 ^ア フル剤	発生前～始	500ml	0.00	± 0.00		0
	CGM-15 粒剤	発生前～始	3kg	0.00	± 0.00		0
	KUH-958707 ^ア フル剤	発生前～始	500ml	0.02	± 0.02		0
	SL-970707 ^ア フル剤	発生前～始	500ml	0.02	± 0.01		0
	NS-177 粒剤	1～1.5葉	1kg	0.07	± 0.04		2
	トリネトSM 粒剤	1～1.5葉	1kg	0.34	± 0.06		7
	NTN-831 粒剤	1～1.5葉	1kg	0.19	± 0.07		4
	HSW-941 粒剤	1～1.5葉	1kg	0.04	± 0.02		1
	DPX-47MN 粒剤	1～1.5葉	1kg	0.33	± 0.07		7
	SL-498(H) 粒剤	1～1.5葉	1kg	0.05	± 0.05		1
1999年	無処理			66.11	± 12.33		100
	KUH-958707 ^ア フル剤	発生前	500ml	0.04	± 0.02		0
	HSW-941 粒剤	1.5葉	1kg	0.11	± 0.09		0
	AGH-975707 ^ア フル剤	1葉	500ml	0.02	± 0.02		0
	HSW-982707 ^ア フル剤	2葉	500ml	1.44	± 0.78		2
	KUH-985707 ^ア フル剤	2葉	500ml	0.80	± 0.27		1
	MY-100DC707 ^ア フル剤	1.5葉	500ml	0.78	± 0.55		1
	MY-100MS707 ^ア フル剤	1葉	500ml	0.07	± 0.03		0
	NH-803707 ^ア フル剤	1葉	500ml	0.07	± 0.05		0
	NTN-831 粒剤	2葉	1kg	3.22	± 0.78		5
	SB-556707 ^ア フル剤	1.5葉	500ml	0.12	± 0.12		0
	SL-970707 ^ア フル剤	1葉	500ml	0.07	± 0.03		0
	SW-965ジャンホ ^ア 剤	1葉	50g/個×10	0.01	± 0.01		0
2000年	無処理			9.52	± 4.24		100
	KUH-958707 ^ア フル剤	発生前	500ml	0.00	± 0.00		0
	HSW-941 粒剤	1.5葉	1kg	0.11	± 0.07		1
	HOK-983707 ^ア フル剤	1葉	500ml	0.01	± 0.01		0
	HSW-001707 ^ア フル剤	2葉	500ml	0.01	± 0.01		0
	MY-100DC707 ^ア フル剤	1.5葉	500ml	0.01	± 0.01		0
	MY-100MS707 ^ア フル剤	1葉	500ml	0.00	± 0.00		0
	MY-100NC顆粒水和剤	2葉	8g	0.02	± 0.00		0
	NC-391(L)ジャンホ ^ア 剤	2葉	30g/個×10	0.01	± 0.01		0
	NH-803707 ^ア フル剤	1葉	500ml	0.00	± 0.00		0
	NTN-831 粒剤	2葉	1kg	0.07	± 0.07		1
	SL-498(H) 粒剤	2葉	1kg	0.35	± 0.34		4
	SL-970707 ^ア フル剤	1葉	500ml	0.00	± 0.00		0
	SW-001(H)ジャンホ ^ア 剤	2葉	40g/個×5	0.45	± 0.45		5
	TH-001707 ^ア フル剤	2.5葉	500ml	0.27	± 0.25		3
	NBA-941S 粒剤	2葉	1kg	0.09	± 0.09		1
	MY-100TSC707 ^ア フル剤	2葉	500ml	0.07	± 0.07		1
	SB-533707 ^ア フル剤	1.5葉	500ml	0.29	± 0.29		3

1) 混合除草剤と含有率.

TSM-612707^アフル剤；ヒリフチカルブ^ア 5.7%・フロモフチド^ア 10%・ベンゾフェナツフ^ア 10%.

CGM-15 粒剤；フレチラクロール^ア 3%・クロメプロップ^ア 3%.

(次ページにつづく)

(つづき)

- KUH-95870アフル剤 ; フロモフチド 18%・ペントキサゾン4%。
 SL-97070アフル剤 ; フロモフチド 10%・ピラゾキシフェン10%・テニクロール2%。
 NS-177 粒剤 ; ベンフラセート6%・シメトリン4.5%・MCPB2.4%。
 モリネートSM 粒剤 ; シメトリン4.5%・MCPB2.4%・モリネート24%。
 NTN-831 粒剤 ; フロモフチド 10%・メフェナセート10%・ナプロアニリド 20%。
 HSW-941 粒剤 ; フレチラクロール3%・ベンフラセート3%・ピラゾレート18%・ジメタメトリン0.6%。
 DPX-47MN 粒剤 ; ベンフラセート4.5%・ベンズルフロメチル0.3%・アジメスルフロメチル0.06%・ジメピレート15%。
 SL-498 (H) 粒剤 ; フレチラクロール4.5%・ピラゾキシフェン24%・シメトリン1.5%。
 AGH-97570アフル剤 ; ペントキサゾン5.3%・フロモフチド 14.2%・ベンゾフェナップ 15.9%。
 HSW-98270アフル剤 ; カフェンストロール5.5%・ベンズルフロメチル1.4%・タムロン10%・フロモフチド 12%。
 KUH-98570アフル剤 ; ピリミノハックメチル0.9%・ペントキサゾン3%・ベンズルフロメチル1.4%・フロモフチド 18%。
 MY-100DC70アフル剤 ; ベンズルフロメチル1.4%・オキサジクロメホン1.2%・クロメブロップ 7%。
 MY-100MS70アフル剤 ; オキサジクロメホン1%・ベンゾフェナップ 12%・フロモフチド 12%。
 NH-80370アフル剤 ; ベンズルフロメチル1.4%・インタノファン3%・クロメブロップ 7%。
 SB-55670アフル剤 ; ベンゾピシクロン3.7%・ベンゾフェナップ 14.7%・フェントラザミド 3.7%。
 SW-965ジャンボ剤 ; カフェンストロール4.2%・ピラゾレート18%・フロモフチド 18%。
 HOK-98370アフル剤 ; フタクロール15%・ベンゾフェナップ 12%・フロモフチド 12%。
 HSW-00170アフル剤 ; ピラゾレート40g/L・フェントラザミド 300g/L・ベンゾピシクロン40g/L。
 MY-100NC顆粒水和剤 ; ピラゾスルフロエチル2.6%・オキサジクロメホン7.5%・クロメブロップ 44%。
 NC-391 (L) ジャンボ剤 ; ピラゾスルフロエチル0.7%・インタノファン4%・クロメブロップ 7%。
 SW-001 (H) ジャンボ剤 ; カフェンストロール10.5%・タムロン22.5%・ベンズルフロメチル3.75%・ベンゾピシクロン10%。
 TH-00170アフル剤 ; イマズスルフロメチル1.7%・カフェンストロール5.7%・ベンゾピシクロン3.8%。
 NBA-941S 粒剤 ; ピラゾスルフロエチル0.3%・メフェナセート7.5%・シハロホップブチル1.5%・フロモフチド 6%。
 MY-100TSC70アフル剤 ; オキサジクロメホン1.7%・イマズスルフロメチル1.2%・クロメブロップ 6.6%・タムロン9.5%。
 SB-53370アフル剤 ; ベンゾピシクロン3.8%・フレチラクロール7.6%。
- 2) 1998年 ; ヌホタルイの発生前～始は移植後7日目の5月29日処理。
 ヌホタルイの1～1.5葉期は移植後13日目の6月4日処理。
 1999年 ; ヌホタルイの発生前は移植後5日目の5月29日処理。
 ヌホタルイの発生始期は移植後7日目の5月31日処理。
 ヌホタルイの1葉期は移植後9日目の1999年6月2日処理。
 ヌホタルイの1.5葉期は移植後11日目の6月4日処理。
 ヌホタルイの2葉期は移植後15日目の6月8日処理。
 2000年 ; ヌホタルイの発生始は移植後3日目の5月28日処理。
 ヌホタルイの1葉期は移植後5日目の5月30日処理。
 ヌホタルイの1.5葉期は移植後7日目の6月1日処理。
 ヌホタルイの2葉期は移植後9日目の6月3日処理。
 ヌホタルイの2.5葉期は移植後11日目の6月5日処理。
- 3) 残草量は除草剤処理後約40日における生存イヌホタルイの地上部乾物重。
 4) 各試験年ごとの無処理区の残草量に対する比率。

第5章 抵抗性イヌホタルイの低温発芽性

第4章では抵抗性イヌホタルイの防除方法として、SU 剤とは作用点の異なる除草剤の使用が有効であることを明らかにした。しかし、それらの除草剤を合理的に使用するには、具体的な使用方法、すなわち使用時期および防除の継続年数を明らかにする必要がある。とくに抵抗性イヌホタルイの低温条件下での発芽特性は、除草剤の使用時期と関連し、冷涼な北海道における防除方法を確立する上で極めて重要な意味を持つ。

イヌホタルイの発芽については、採種時期あるいは温度、光および酸素条件などについての検討がなされており、高知県産に関する石倉・曾我 (1978)、埼玉県鴻巣市産に関する渡辺ら (1991b)、秋田県大曲市産に関する住吉 (1996a)、北海道旭川市産に関する谷川 (1981)、北海道から九州までの25系統を扱った岩崎ら (1983) の報告があるが、これらの材料のSU 剤に対する感受性は検討されていない。したがって、抵抗性

イヌホタルイの生態を感受性イヌホタルイと比較して論じた報告は今までにない。

そこで本章では、抵抗性イヌホタルイの発芽特性を明らかにし、除草剤を合理的に使用するための知見を得るために、北海道の除草剤の使用場面を想定した低温条件下における発芽試験を行った。また、北海道では融雪後から水田への入水が行われるまでの期間、できるだけ土壌の乾燥を促進する水田管理が奨励されている。そこで、乾燥の発芽に及ぼす影響を検討した。さらに、発芽特性の採種年次による変動性についても検討した。

1. 材料および方法

1) 供試材料と感受性の確認

本章では、第5-1表に示した14ヶ所の水田に生育していたイヌホタルイを供試した。集団1~9 (第2-1

第5-1表 供試イヌホタルイの採取地とSU 剤に対する反応。

集団番号 ¹⁾	判定結果	採取地	ピラゾスルフロンエチル標準使用量 ²⁾ に対する反応
1	感受性	北海道穂別町	枯死
2	感受性	北海道苫前町	枯死
3	感受性	北海道三石町	枯死
4	感受性	北海道岩見沢市 上幌向	枯死
5	抵抗性	北海道岩見沢市 御茶の水	生存
6	抵抗性	北海道中富良野町	生存
7	抵抗性	北海道栗山町	生存
8	抵抗性	北海道厚真町	生存
9	抵抗性	北海道倶知安町	生存
12	感受性	秋田県大曲市	枯死
13	感受性	秋田県仙北町	枯死
14	抵抗性	宮城県大和町	生存
15	抵抗性	北海道栗山町 ³⁾	生存
16	抵抗性	北海道中富良野町 ⁴⁾	生存

1) 集団1~9は第2-1表と同一集団。

2) ピラゾスルフロンエチル0.07%粒剤を標準使用量 (製品量で3kg/10a) で播種後3日の1999年3月15日に処理。処理後14日目に観察によって効果の判定を行った。

3) 集団7と15は隣接した水田で採取された集団で、採種栽培を行った場所が異なる。

4) 集団6と16は隣接した水田で採取された集団で、採種栽培を行った場所が異なる。

表に掲載の集団と同一の集団)は中央農試において、集団 12~16 は秋田県大曲市の東北農業試験場水田利用部(現東北農業研究センター、以下、東北農試)において、第 2 章の材料および方法の 1) に示す方法で 1998 年 9 月から 11 月にかけて採種した種子を供試した。なお、集団 6 と 16 は 1997 年に隣接する別水田で各々採取されており遺伝的な背景が同一もしくは近似していると考えられるが、1998 年に異なる試験場において採種されており登熟条件が異なることから、発芽特性を検討する上で集団 6 と 16 は別の集団として扱った。同じ理由で集団 7 と 15 についても別の集団として扱った。採種した集団 1~9 の種子は中央農試の水田土壌(殺菌、殺種子処理をしていない埴壤土)とともにポリ瓶に入れ、畑土壌の水分条件(土壌含水量の 50%の水分条件)で 5℃の冷蔵庫に入れ、1998 年 9 月 17 日より中央農試において貯蔵を開始し、1999 年 1 月 4 日以降は東北農試において貯蔵を行った。集団 12~16 の種子は東北農試の水田土壌(殺菌、殺種子処理をしていない埴壤土)とともにポリ瓶に入れ、集団 1~9 と同じ条件で東北農試において 11 月 4 日より貯蔵を開始した。

なお、供試した全集団の SU 剤に対する感受性は、ピラゾスルフロンエチル 0.07%粒剤の標準使用量(製品量で 3kg/10a)を以下に示す育苗床に処理する検定によって確認した。育苗床は長辺 41cm×短辺 29cm×深さ 6cm のバットで、これに直径 6cm×深さ 1.7cm のシャーレを並べ、バット内のシャーレ内およびシャーレ間の隙間に東北農試の水田土壌(殺菌、殺種子処理をしていない埴壤土)を詰めた。土の深さは、シャーレ内に播種した種子の移動を防ぎ、かつ除草剤は拡散する深さとして、シャーレ内外ともに 1.5cm とした。湛水深は 3cm とした。各集団の種子 20 粒を 1999 年 3 月 12 日に、湛水後の育苗床のシャーレ内に土壌表面播種した。区制は 2 反復とした。播種直後より 30℃定温かつ 12 時間明期の条件に設定した恒温器に育苗床を設置した。除草剤の処理は子葉長が 2~3cm となった 1999 年 3 月 15 日に育苗床全面に均一となるよう行い、処理後 14 日目に各集団の生存状況を観察し、概ね枯死している、あるいは枯死に至っていないが本葉の抽出していない集団を感受性、生育抑制がなく本葉が抽出している集団を抵抗性として判定した。

2) 1998 年産種子を用いた発芽試験

前項の全集団の貯蔵種子を、東北農試において 1999 年 1 月 13 日、2 月 15 日および 3 月 12 日に播種し発芽

試験を行った。発芽床は 15℃湛水土壌、30℃湛水土壌および 15℃密栓水中の 3 種類とした。試験区は定温かつ 12 時間明期の条件に設定した恒温器内に設置した。15℃湛水土壌は北海道の除草剤の実際的な使用場面を想定して設定した。一方、30℃湛水土壌は発芽に好適な温度条件下において、また密栓水中は湛水土壌よりもさらに好適な条件(渡辺ら 1991b)において、抵抗性および感受性イヌホタルイの発芽特性の差異を検討するために設定した。湛水土壌は直径 6cm のシャーレに東北農試の水田土壌(殺菌、殺種子処理をしていない埴壤土)を 4ml と水道水 20ml を入れ土壌表面に播種した。密栓水中は 14ml の試験管に播種後水道水を満たしゴム栓で密封した。播種粒数は 50 粒/区で、区制は 3 反復とした。発芽調査は播種日の翌日から 14 日間、毎日の発芽粒数を記録した。

乾燥が発芽に及ぼす影響をみるために、1999 年 3 月 1 日に前述の貯蔵種子約 450 粒を洗い出し、濾紙で表面の水分を取り除き、直径 6cm のシャーレに入れ 15℃の恒温器内で播種直前まで乾燥処理を行った。乾燥処理の間中は毎 9 時に、種子重量の測定を行うとともに過乾燥を防ぐために 5ml の水道水をシャーレに加えることによって、処理開始直前の種子重量の 70~80%に維持し、発芽試験を行った。播種は 1999 年 3 月 11 日(集団 1~9 は貯蔵後 175 日目、集団 12~16 は貯蔵後 127 日目)に行ない、前項の発芽試験と同様の方法で調査した。なお両試験とも、集団の発芽率(%)は次式により算出した。

$$\frac{14}{\sum_{i=1}^{14} N_i} / 50 \times 100$$

(N_i : 播種 50 粒のうち、 i 日目の発芽種子数)。

また、それぞれの種子の発芽速度は発芽までに要した日数(i)の逆数($1/i$)と定義し、その平均値を集団の発芽速度(1/日)として、次式により算出した(Dyer et al. 1993)。

$$\frac{14}{\sum_{i=1}^{14} N_i/i} / \frac{14}{\sum_{i=1}^{14} N_i}$$

(N_i : 播種 50 粒のうち、 i 日目の発芽種子数)。

3) 1999 年産種子を用いた発芽試験

1998 年の試験で用いた集団のうち感受性集団 4 および抵抗性集団 5, 6 および 7 について、1999 年産種子を用いて前年と同様の試験を行い、発芽特性の採種年次による変動性を検討した。中央農試において、第 2 章の材料および方法の 1) に示す方法で集団 4~7 の採

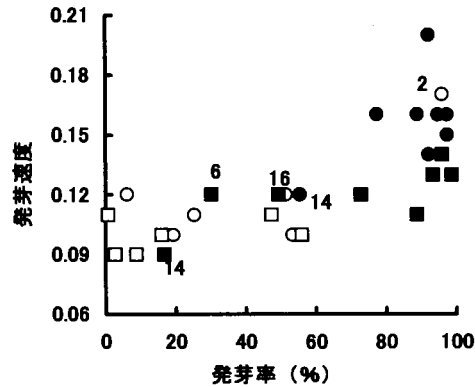
種を1999年8月19日に行った。採種にあたっては、種子の熟度を揃えるために採種5日前にそれまでに完熟していた種子をいったん払い落とし、1999年8月15日から8月19日にかけて完熟した種子を得た。採種直後より畑土壌の水分条件（土壌容水量の50%の水分条件）で5℃の冷蔵庫において貯蔵を開始した。採種を行った8月19日と貯蔵中の9月30日、11月10日、12月15日および2000年1月24日に貯蔵種子を播種し、発芽試験を行った。

発芽試験は1998年と同一の方法で行い、発芽床は密栓水中と湛水土壌とし、温度は2水準（15℃、30℃）とした。播種粒数は50粒/区で、3反復とした。発芽調査は播種日の翌日から14日間、毎日の発芽粒数を記録した。発芽率、発芽速度は1998年と同様の方法で算出した。

2. 結果

1) 1998年産種子を用いた発芽試験

各発芽条件における14供試集団の発芽率を第5-2表に示した。いずれの調査時期においても、感受性6集団（集団1~4, 12, 13）では発芽条件によって発芽率が異なった。すなわち、1~3月の発芽率は15℃密栓水中が最も高く平均で98%、30℃湛水土壌では77%、



第5-1図 15℃湛水土壌条件下におけるイヌホタルイ集団の発芽率と発芽速度の関係（1999年3月）。

- 1) 図中の数字は集団の番号を示す。
- 2) ○：感受性、●：抵抗性の集団を示す（乾燥処理なし）
□：感受性、■：抵抗性の集団を示す（乾燥処理あり）

15℃湛水土壌が最も低く53%であった。これに対して抵抗性集団の大部分ではいずれの発芽条件においても発芽率が高く、15℃湛水土壌でも平均で88%であり、15℃密栓水中を除き両集団の平均値間には統計的に有意な差が認められた。

次に乾燥処理の影響をみると、15℃および30℃湛水土壌における感受性集団の発芽率は平均で25%であつ

第5-2表 3種の発芽条件下におけるイヌホタルイ各集団の発芽率（1998年産種子）¹⁾。

発芽条件 ²⁾	感受性集団 (S)						抵抗性集団 (R)								平均 ³⁾		
	1	2	3	4	12	13	5	6	7	8	9	14	15	16	S	R	
15℃密栓水中																	
1999年1月	99	99	100	98	97	93	98	98	99	100	99	100	99	95	98	99	n. s.
1999年2月	97	99	100	97	99	90	98	99	99	100	97	100	99	99	97	99	n. s.
1999年3月	97	99	99	99	97	97	99	97	98	99	99	99	95	93	98	98	n. s.
1~3月平均	98	99	100	98	98	93	98	98	99	100	98	100	98	96	98	98	n. s.
乾燥処理	99	99	100	98	97	95	98	98	99	100	99	99	99	97	98	99	n. s.
30℃湛水土壌																	
1999年1月	99	97	97	76	80	87	91	99	100	98	98	67	100	87	89	93	n. s.
1999年2月	88	95	93	77	91	74	96	99	99	99	99	74	99	98	86	95	n. s.
1999年3月	70	55	30	61	73	52	81	95	100	97	99	40	99	91	57	88	**
1~3月平均	86	82	73	71	82	71	89	98	100	98	99	60	99	92	77	92	*
乾燥処理	68	21	3	7	43	19	31	56	96	99	97	22	97	85	27	73	*
15℃湛水土壌																	
1999年1月	61	89	50	40	65	19	94	80	87	77	85	75	88	75	54	83	**
1999年2月	83	95	58	50	76	9	95	92	95	98	92	95	97	91	62	94	*
1999年3月	53	96	25	19	51	6	89	77	97	95	92	55	97	92	42	87	**
1~3月平均	66	94	44	36	64	12	93	83	93	90	90	75	94	86	53	88	**
乾燥処理	56	47	9	3	16	1	73	30	96	99	89	17	93	49	22	68	*

1) 発芽率 (%) は次式により算出した。

$$\frac{14}{\sum_{i=1}^{14} N_i} \times 100 \quad (N_i: \text{播種50粒のうち、} i \text{日目の発芽種子数})$$

2) 密栓水中は、14mlの試験管に播種後水道水を満たしゴム栓で密封した状態での発芽試験。

湛水土壌は、直径6cmのシャーレに埴壤土を4ml、水道水20mlを入れ土壌表面に播種した状態での発芽試験。

乾燥処理は、乾燥処理開始直前の重量に対して70~80%に乾燥させた種子を供試した1999年3月の発芽試験。

3) S: 感受性6集団の平均値、R: 抵抗性8集団の平均値。

*および**は、両集団の平均値間に各々5%および1%水準で有意差があることを示す (t検定)。

第5-3表 3種の発芽条件におけるイヌホタルイ各集団の発芽速度 (1998年産種子) ¹⁾

発芽条件 ²⁾	感受性集団 (S)						抵抗性集団 (R)								平均 ³⁾	
	1	2	3	4	12	13	5	6	7	8	9	14	15	16	S	R
15°C密栓水中																
1999年1月	0.14	0.18	0.13	0.13	0.15	0.13	0.15	0.20	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.18	0.14	0.17 *
1999年2月	0.15	0.21	0.16	0.18	0.16	0.15	0.21	0.25	0.22	0.22	0.20	0.18	0.18	0.23	0.17	0.21 **
1999年3月	0.16	0.22	0.17	0.17	0.21	0.17	0.23	0.26	0.22	0.23	0.20	0.19	0.21	0.30	0.18	0.23 *
1~3月平均	0.15	0.20	0.15	0.16	0.17	0.15	0.20	0.24	0.20	0.20	0.18	0.17	0.18	0.24	0.17	0.20 **
乾燥処理	0.13	0.16	0.13	0.13	0.15	0.12	0.17	0.17	0.16	0.17	0.15	0.15	0.17	0.18	0.13	0.16 **
30°C湛水土壌																
1999年1月	0.35	0.40	0.40	0.33	0.40	0.41	0.42	0.41	0.38	0.41	0.39	0.38	0.43	0.43	0.38	0.41 n. s.
1999年2月	0.33	0.47	0.44	0.39	0.47	0.41	0.52	0.58	0.47	0.49	0.47	0.42	0.46	0.50	0.42	0.49 *
1999年3月	0.31	0.43	0.40	0.38	0.43	0.41	0.44	0.53	0.44	0.43	0.48	0.41	0.53	0.77	0.39	0.50 *
1~3月平均	0.33	0.43	0.42	0.37	0.43	0.41	0.46	0.51	0.43	0.44	0.45	0.40	0.47	0.47	0.40	0.47 *
乾燥処理	0.29	0.29	0.26	0.29	0.28	0.39	0.37	0.40	0.39	0.37	0.38	0.33	0.45	0.56	0.30	0.40 **
15°C湛水土壌																
1999年1月	0.12	0.15	0.12	0.12	0.14	0.13	0.15	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13	0.14	0.17	0.13	0.15 *
1999年2月	0.13	0.18	0.11	0.11	0.13	0.12	0.18	0.20	0.16	0.20	0.16	0.14	0.15	0.18	0.13	0.17 *
1999年3月	0.10	0.17	0.11	0.10	0.12	0.12	0.16	0.16	0.15	0.16	0.14	0.12	0.16	0.20	0.12	0.16 **
1~3月平均	0.11	0.17	0.11	0.11	0.13	0.12	0.16	0.17	0.16	0.17	0.15	0.13	0.15	0.18	0.13	0.16 *
乾燥処理	0.10	0.11	0.09	0.09	0.10	0.11	0.12	0.12	0.14	0.13	0.11	0.09	0.13	0.12	0.10	0.12 **

1) 発芽速度 (1/日) は次式により算出した。

$$\frac{\sum_{i=1}^{14} Ni / i}{\sum_{i=1}^{14} Ni} \quad (Ni : \text{播種50粒のうち, } i \text{ 日目の発芽種子数 })$$

2) 密栓水中は、14mlの試験管に播種後水道水を満たしゴム栓で密封した状態での発芽試験。

湛水土壌は、直径6cmのシャーレに埴壤土を4ml、水道水20mlを入れ土壌表面に播種した状態での発芽試験。

乾燥処理は、乾燥処理開始直前の重量に対して70~80%に乾燥させた種子を供試した1999年3月の発芽試験。

3) S: 感受性6集団の平均値, R: 抵抗性8集団の平均値。

*および**は、両集団の平均値間に各々5%および1%水準で有意差があること示す (t 検定) 。

た (第5-2表)。これに対して、抵抗性集団ではその多くが70%前後の発芽率を示し、乾燥処理による発芽率の低下は少なかった。

発芽速度を第5-3表に示した。30°C湛水土壌における1月の発芽試験を除き、感受性集団よりも抵抗性集団の発芽速度は有意に速く、両集団の差は0.02~0.11で、発芽に要する日数としては約0.5~1.5日の違いであった (第5-3表)。この傾向は、乾燥処理をした場合でも同じであった。ただし、各集団の中には抵抗性集団6, 14および16あるいは感受性集団2のように、感受性あるいは抵抗性集団との差異がみられない集団もあった (第5-1図, 第5-2表, 第5-3表)。

2) 1999年産種子を用いた発芽試験

各発芽条件における発芽率を第5-4表に示した。15°C密栓水中における抵抗性集団5および7の2000年1月における発芽率は、感受性集団4に比べて高く、抵抗性集団6の発芽率は感受性集団4と同程度であった。この傾向は、15°C密栓水中以外の発芽条件においても同様に認められた。

次に発芽速度の結果を第5-5表に示した。15°C密栓水中における抵抗性集団5, 6および7の発芽速度は、いずれの発芽試験においても感受性集団4に比べて同等か速かった。抵抗性集団5, 6および7の発芽速度が感受性集団4よりも速くなることはあっても遅くなる

ことはないという傾向は発芽率と同様で、かつ15°C密栓水中以外の発芽条件においても認められた。とくに、北海道の水田状態に最も近い15°C湛水土壌では、抵抗性集団5, 6および7の発芽速度は感受性集団4よりも有意に速かった。

3. 考察

1) 抵抗性イヌホタルイ種子の発芽特性

SU剤抵抗性雑草の発芽について、抵抗性トゲチシャでは感受性トゲチシャよりも発芽が速やかである (Alcocer-Ruthling et al 1992a) と報告されている。

また、抵抗性ホウキギでは、抵抗性3集団および感受性2集団で比較検討され、感受性ホウキギよりも種子中の遊離アミノ酸含量が高く、低温条件下における発芽率が高く、発芽が速やかである (Dyer et al 1993) とする報告がある。一方、抵抗性ボウムギでは、抵抗性および感受性各6集団以上で比較検討され、感受性ボウムギと比較して休眠性および出芽率に差がなかった (Gurjeet et al. 1996) とする報告もある。

そこで、抵抗性イヌホタルイについても発芽特性が優れるかを、1998年産種子を供試し検討した。その結果、本研究で供試した抵抗性集団の多くは低温条件下での発芽率が高く、発芽は感受性集団よりも速やかで、乾燥処理後も高い発芽率を維持することが示された (第5-2表, 第5-3表, 第5-1図)。次にこの結果が年次に

第5-4表 4種の発芽条件におけるイヌホタルイの各集団の発芽率²⁾
(%) (1999年産種子)

発芽条件 ¹⁾	集団番号			
	4	5	6	7
30°C密栓水中				
1999年 8月	0	0 n. s.	19 **	46 **
1999年 9月	7	22 *	92 **	95 **
1999年11月	65	88 **	95 **	95 **
1999年12月	70	85 **	88 **	99 **
2000年 1月	85	77 n. s.	88 n. s.	99 *
15°C密栓水中				
1999年 8月	0	0 n. s.	0 n. s.	0 n. s.
1999年 9月	0	1 n. s.	1 n. s.	9 **
1999年11月	3	17 *	1 n. s.	31 **
1999年12月	38	83 **	21 n. s.	99 **
2000年 1月	30	65 **	34 n. s.	95 **
30°C湛水土壌				
1999年 8月	0	0 n. s.	0 n. s.	3 *
1999年 9月	0	0 n. s.	27 **	46 **
1999年11月	15	51 **	31 n. s.	55 **
1999年12月	16	32 n. s.	25 n. s.	62 **
2000年 1月	33	49 *	38 n. s.	82 **
15°C湛水土壌				
1999年 8月	0	0 n. s.	0 n. s.	0 n. s.
1999年 9月	0	0 n. s.	0 n. s.	0 n. s.
1999年11月	0	0 n. s.	0 n. s.	0 n. s.
1999年12月	0	11 n. s.	0 n. s.	11 n. s.
2000年 1月	3	29 **	1 n. s.	37 **

- 1) 密栓水中は、14mlの試験管に播種後水道水を満たしゴム栓で密封した状態での発芽試験。
湛水土壌は、直径6cmのシャーレに埴壤土を4ml、水道水20mlを入れ土壌表面に播種した状態での発芽試験。
- 2) *および**は、集団4の平均値に対して各々5%および1%水準で有意差があることを示す (Dunnettの検定)。

第5-5表 4種の発芽条件におけるイヌホタルイ各集団の発芽速度²⁾
(1/日) (1999年産種子)

発芽条件 ¹⁾	集団番号			
	4	5	6	7
30°C密栓水中				
1999年11月	0.40	0.47 **	0.56 **	0.47 **
1999年12月	0.48	0.66 **	0.72 **	0.60 **
2000年 1月	0.48	0.50 n. s.	0.65 **	0.54 n. s.
15°C密栓水中				
1999年11月	0.11	0.12 n. s.	0.14 **	0.13 *
1999年12月	0.10	0.13 **	0.13 **	0.14 **
2000年 1月	0.15	0.16 n. s.	0.16 n. s.	0.18 *
30°C湛水土壌				
1999年11月	0.33	0.44 **	0.46 **	0.40 **
1999年12月	0.41	0.44 n. s.	0.44 n. s.	0.45 n. s.
2000年 1月	0.43	0.44 n. s.	0.44 n. s.	0.44 n. s.
15°C湛水土壌				
1999年11月	-	-	-	-
1999年12月	-	0.09	-	0.10
2000年 1月	0.11	0.12 **	0.17 **	0.14 **

- 1) 密栓水中は、14mlの試験管に播種後水道水を満たしゴム栓で密封した状態での発芽試験。
湛水土壌は、直径6cmのシャーレに埴壤土を4ml、水道水20mlを入れ土壌表面に播種した状態での発芽試験。
- 2) *および**は、集団4の平均値に対して各々5%および1%水準で有意差があることを示す (Dunnettの検定)。

よらず一定であるかを検討した。北海道の水田状態に最も近い 15℃湛水土壤の条件において 1999 年産種子を供試した結果は、ほぼ 1998 年産種子での結果と同様であった(第 5-4 表, 第 5-5 表)。本研究の結果は前述の抵抗性トゲチシャおよび抵抗性ハウキギの報告を支持しており、草種が異なっても抵抗性雑草の種子は低温下での発芽が速やかであるという傾向がみられる。

ここで本研究の結果に対して注意すべき点が二つある。一つは、低温下で発芽率の低い抵抗性集団 14, 乾燥処理によって発芽率が低下した抵抗性集団 6, 14 および 16 が認められたことである。もう一つは、抵抗性集団 6 の発芽率が 1998 年産種子を供試した場合には感受性集団 4 よりも高い値を示したのに対して、1999 年産種子を供試した場合には同程度であったこと、すなわち、低温下で発芽率の低い抵抗性集団が認められていることである。これらのことから、一概に抵抗性イヌホタルイは低温発芽性が年次によらず優れるとは言いきれない。しかし、抵抗性イヌホタルイの防除方法を確立する観点から現場では、抵抗性集団すべてが低温発芽性に優れると想定して防除を行うべきである。なぜなら、水田に発生した抵抗性集団が低温発芽性は調査しなければ判らないため、発芽が速やかであると想定した除草剤の使用が除草効果を確実にすると考えられるからである。

種子の発芽に対して生育期間中あるいは種子が生産される時期の環境条件が発芽に影響を及ぼすこと(住吉 1996b)が知られていることから、今後、低温発芽性に劣る抵抗性集団や逆に優れる感受性集団について、その発芽特性を解析する場合には、発芽を制御している生化学的機構が環境条件によってどのような影響を受けているかについての詳細な研究が必要であ

り、また遺伝的背景に関する検討も行う必要がある。

2) 低温発芽性を考慮した抵抗性イヌホタルイの防除

本章で明らかにした抵抗性イヌホタルイの低温発芽性に関する結果から、抵抗性イヌホタルイの発生が、感受性イヌホタルイより速やかであると予想して防除を行う必要がある。ここでは防除方法の確立にあたっての具体的な注意事項について考察する。

現在、北海道の水稲作で使用されている除草剤のうち 90%以上の除草剤は、除草効果を確保するためにイヌホタルイの 2 葉期までに使用する必要がある(北海道農政部 2002)。発生が速やかであればあるほど 2 葉期に達するまでの期間は短くなるので、抵抗性イヌホタルイが発生する水田では、除草剤の使用時期を逸しないように、すなわち、イヌホタルイが 2 葉期を超えてから使用することのないように、移植後より注意深く発生を観察することが重要と考えられる。また、感受性および抵抗性イヌホタルイが混生する水田では、結果として発生期間が長くなることが想定される。つまり、抵抗性イヌホタルイを防除するために使用時期を早めた結果、発生の遅い感受性イヌホタルイが発生を終える前に除草剤の除草効果が無くなってしまいう危険があると指摘できる。しかし、現在、使用されている除草剤の多くが、40~50 日の除草効果の持続期間を有していること、北海道における発生期間はおおよそ移植後 30 日までであることから、除草効果の持続期間が不足する問題ないと考えられる。このことから、イヌホタルイが 2 葉期を超えてから使用することのないように、移植後より注意深く発生を観察することが重要と考えられる。

第6章 抵抗性イヌホタルイの種子の生存期間

第5章では抵抗性イヌホタルイの低温発芽性を明らかにし、SU剤とは作用点の異なる除草剤の使用時期について検討した。しかし、抵抗性イヌホタルイが発生した水田では、これらの除草剤を用いた防除を何年間継続する必要があるのかは不明である。言い換えると、除草剤を使用する防除方法を確立するには、さらに除草剤の使用年数を明らかにする必要がある。このためには、種子の土壌中の生存期間や生存期間に影響する条件についての知見が必要である。

これに関係する知見として、積雪期間のない関東地域におけるイヌホタルイの土壌中における種子の生存期間(渡辺ら 1991b)の報告があるが、北海道地域におけるイヌホタルイについての報告はない。そこで本章では、耕起や代かきで土壌が攪乱されない水田耕土下層と攪乱される水田耕土層に種子が埋設された場合における生存年数を検討し、さらに抵抗性イヌホタルイを採取した農家水田における3年間の発生調査から、抵抗性イヌホタルイの種子の生存期間を明らかにし、除草剤の必要年数に関する知見を得ようとした。

1. 材料および方法

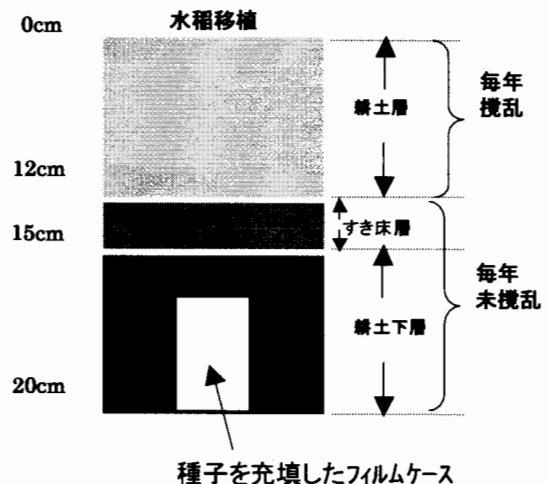
1) 水田耕土下層に埋設した種子の生存期間

供試した集団は、抵抗性の3集団および感受性の1集団である(第6-1表)。これらの採種は中央農試において、第2章の材料および方法1)に示す方法で1997年9月から10月にかけて行った。種子は中央農試の水田土壌(殺菌、殺種子処理をしていない埴壤土)とともにポリ瓶に入れ、畑土壌の水分条件(土壌含水量50%の水分条件)で5℃の冷蔵庫に貯蔵した。

この貯蔵種子を1998年5月19日に、以下の条件で土壌に埋設した。埋設場所は中央農試の水稲移植直後の水田(減水深は0.5cm/日以下、耕起深は12cmですき床層は約3cmの厚さ)で、埋設にあたっては種子を取り出す際の簡便性を考え、フィルムケース(直径3cm、高さ5cm)を使用した。これに、中央農試の水田の粒径が1mm未満の殺菌、殺種子処理をしていない埴壤土とともに種子100粒を充填し、フィルムケースの上部が地表下15cm、底部が同じく20cmになるようにして、各集団につき14個のフィルムケースを埋設した。また、土壌水分がフィルムケースの中と外で異なることをさけるため、フィルムケースの上面、底面および側面に

直径1mmの穴を合計46ヶ所あけた。埋設後における水田の耕土層の管理については、毎年、耕起、代かきを行い、水稲を5月中旬に移植して、通常の栽培管理を行なったが、耕土下層部分は未攪乱の状態とした(第6-1図)。

生存期間は以下に示す手順で調査した。すなわち、発芽試験を、毎年4月と9月に各集団につきフィルムケース2個を掘り出して種子を、直径3.6cm、深さ5cmのプラスチック製カップに入れ、湛水深5cm、密栓水中30℃定温、12時間明期の条件で2週間行った。フィルムケース1個から得られた種子を1反復として2反復で行なった。発芽試験において各集団の種子を発芽、休眠、死滅および不完全種子に分類し、発芽種子数と休眠種子数の和を生存種子数として、生存期間を検討した。分類の基準は発芽種子については子葉が1mm以上抽出したものとした。休眠種子については、2000年までの調査では白色の胚乳が残存しているもの、2001年の調査ではTTC(2,3,5-triphenyltetrazolium chloraide)の1%溶液に切断した種子を1昼夜浸漬し、胚が赤褐色に呈色したものとした。死滅種子については、2000年までの調査では胚乳が変色しているものとし、2001年の調査では休眠種子の判別と同様にTTC試薬を用い呈色しなかったものとした。不完全種子は渡辺ら(1991b)と同様に、外見は正常であるが胚および胚乳の残存がなく果皮の内部が空洞となっているもの



第6-1図 水田耕土下層への種子の埋土状況。

とした。結果の解析にあたってはフィルムケースに播種した種子 100 粒に対する発芽種子数、休眠種子数、死滅種子数、不完全種子数および生存種子数の割合を発芽率、休眠率、死滅率、不完全種子率および生存率とした。また、2001 年については地表下 1cm および 20cm の地温を自記温度計（株式会社ティアンドディ製 TR-71S；精度±0.3℃）により 1 時間間隔で測定した。

2) 水田耕土層における発生個体数の経年変化と種子の生存率

供試した集団、採種方法および貯蔵方法は前項と同一で、採種については中央農試において 1998 年 9～10 月に行った。擬似水田として容量 100 l の容器（大日本プラスチック（株）製、全高 550×直径 640mm）に中央農試水田の殺菌、殺種子処理をしていない埴壤土を、イヌホタルイの発生する部分の面積（充填した土壌を円筒としてみた場合の上底面の面積）が 0.26 m²となるように、土壌は容器の高さ 55cm に対して約 80% の 45cm にまで充填し、屋外に設置した。さらに直射日光による容器内の急激な温度変化を避けるために容器の側面を厚さ約 20cm の土壌で覆った。1999 年 5 月 6 日に容器を湛水し、5 月 10 日に代かきを行った。5 月 14 日に貯蔵種子を播種し、土壌表面より 15cm の深さに種子が均一に分布するよう再度代かきを行った。各集団の播種種子数は第 6-2 表のとおりである。

擬似水田の水管理については、入水後の水深は各年とも 2～5cm で、落水は一般水田と同様に 1999 年 9 月 9 日に行った。2000 年は 4 月 24 日に入水、5 月 2 日に代かきを行い、9 月 14 日に落水した。2001 年は 4 月 24 日に入水、5 月 2 日に代かきを行い、9 月 20 日に落水した。

生存期間を検討するために発生個体数の調査を行った。1999 年は 6 月上旬～9 月下旬までの 6 回、2000 年は 5 月下旬～9 月中旬までの 6 回、2001 年は 5 月中旬～7 月中旬までの 6 回、各集団の試験区の全面積、すなわち 0.26 m²について発生個体数を抜き取りにより調査した。なお、試験区には各年とも水稲は移植しなかった。

発生個体数の調査が終了した後の土壌中における種子の生存率を明らかにするために、2001 年 7 月 13 日および 8 月 13 日に試験区内の地表下 0～11cm の土壌を 400ml 採取して種子を洗い出し、直径 3.6cm、深さ 5cm のプラスチック製カップに入れ、湛水深 5cm、密栓水中 30℃定温、12 時間明期の条件で発芽試験を 2 週間、反復なしで行った。結果については発芽試験の時期を

反復として解析した。各集団の種子の発芽、休眠、死滅および不完全種子への分類は、前項と同一の方法で行った。発芽種子数と休眠種子数の和を生存種子数とし、播種種子数に対する生存種子数の割合を生存率とした。また、2001 年については地表下 5cm の地温を自記温度計（株式会社ティアンドディ製 TR-71S；精度±0.3℃）により 1 時間間隔で測定した。

3) 農家水田における発生個体数の経年変化

抵抗性集団 5 を採取した北海道岩見沢市御茶の水の農家水田に、除草剤の無処理区を水田畦畔用の波板（商品名：アゼシート）で区を囲むことによって、1999 年は 1 区 4.5 m² を 5 反復で、2000 年は 1 区 3 m² を 6 反復で、2001 年は 1 区 1 m² を 5 反復で設けた。各年とも水稲の移植 40 日前後に各区の全面積について発生したイヌホタルイの全個体を抜き取って個体数を調査した。水田の代かきと水稲移植はそれぞれ 1999 年が 5 月 18 日と 5 月 24 日、2000 年が 5 月 15 日と 5 月 25 日、2001 年が 5 月 19 日と 5 月 22 日であった。

本水田における除草剤の使用歴は、試験開始前の 1998 年がクロメプロップ、ベンスルフロンメチルおよびインダノファン の 3 種混合フロアブル剤（成分含有率は各々、6%、1.4%、3%）をイヌホタルイの 1.5 葉期に 500ml/10a で、1999 年および 2001 年がプレチラクロール、ベンフレセート、ピラプレートおよびジメタメトリンの 4 種混合フロアブル剤（成分含有率は各々 3%、3%、18%、0.6%）を 1 葉期に 1000ml/10a で、2000 年がペントキサゾンおよびプロモブチドの 2 種混合フロアブル剤（成分含有率は各々、4%、18%）を 1 葉期に 500ml/10a で使用しており、1998 年 7 月の調査においてに 37 個体/m² の残草を確認した以外に、残草はなかった。

発生個体の SU 剤に対する感受性については次のとおり検定した。1999 年は、6 月 8 日に除草剤の無処理区より 1～1.5 葉期のイヌホタルイ 74 個体を傷付けないように注意して抜き取り、水稲育苗用人工床土を 2cm 充填した 15×20cm のバットへ移植した。移植直後にベンスルフロンメチル 0.25% 粒剤を 6kg/10a 相当で、水深 3cm で処理し室内においた。移植 2 週間後に各移植個体の生存または死滅を明瞭に判別することができたので、生存個体を抵抗性個体、死滅個体を感受性個体とし、全発生個体数に対する抵抗性個体の発生割合を算出した。2000 年は、除草剤の無処理区内に設けた 25cm×25cm のコドラートに発生した子葉期から本葉 1 葉期のイヌホタルイを水稲移植後 4, 11, 19 および

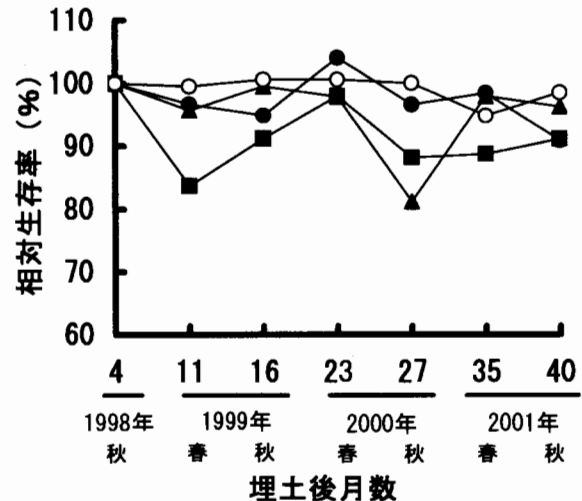
26日に、傷付けないように注意して、合計70個体を抜き取り、直ちに中央農試の水田土壌（殺菌、殺種子処理をしていない埴壤土）を充填した1/5000aのポットへ移植した。移植翌日にベンスルフロンメチル0.25%粒剤を6kg/10aの割合で湛水深3cmで処理し、第2章の材料および方法1)に示した雨よけビニルハウスにおいて、処理後30日目には各移植個体の生存または死滅を明瞭に判別することができたので、1999年と同様にして抵抗性個体の発生割合を算出した。2001年は7月3日に、除草剤の無処理区から花茎が抽出した個体を合計480個体抜き取り、草丈15cm以上の200個体をランダムに選び、SU剤の水溶液に浸漬したイヌホタルイの発根の有無により感受性を検定する村岡ら(2000)の方法によって、抵抗性個体の発生割合を求めた。

2. 結果

1) 水田耕土下層に埋設した種子の生存期間

2001年の地表下20cmの7~8月における平均地温は19.5℃で、20℃を超えた期間は7月中旬~8月下旬のおよそ50日間であり、25℃を超える期間はなかった。第6-1表に埋土後35および40ヶ月の発芽率、休眠率、死滅率および不完全種子率を示した。感受性集団4の発芽率は92~94%であった。抵抗性集団5、6および7の発芽率は76~90%で、感受性集団4との間に統計的に有意な差はなかった。また、休眠率、死滅率および不完全種子率は各集団とも低い値であった。

発芽率と休眠率の和である生存率について、埋土後4ヶ月の生存率を100%とし相対生存率を算出し、この推移を第6-2図に示した。感受性集団4の相対生存率は埋土後4~40ヶ月の期間、一定してほぼ100%であった。これに比較して抵抗性集団5、6および7の相対生存率は、やや低い傾向がみられたが80%以上であった。



第6-2図 水田耕土下層に埋土したイヌホタルイ種子の埋土後40ヶ月までの相対生存率。

- 1) 埋土後4ヶ月の生存率を100%として表示。
- 2) 埋土後4ヶ月の生存率は感受性集団4 (○)=97%、抵抗性集団5 (●)=87%、集団6 (■)=97%、集団7 (▲)=93%。

なお、埋土後4ヶ月の生存率は集団4、5、6および7で各々97、87、97および93%であった。

2) 水田耕土層における発生個体数の経年変化と種子の生存率

2001年の地表下5cmの7~8月における平均地温は21.3℃で、20℃を超えた期間は6月中旬~8月下旬のおよそ70日間で、7月中旬と下旬の22.4℃が最も高い旬平均地温であった。年次毎の発生個体数を第6-2表に示した。いずれの年次においても各集団は播種種子数に対して0.2~10.6%の発生を示した。また、抵抗性集団5を除き、1999年の発生率が最も高い傾向を示し、播種後3年までにおける合計の発生率は、感受性集団4で5%、抵抗性集団5、6および7では8~21%であり、

第6-1表 水田耕土下層に埋土したイヌホタルイ種子の埋土後35および40ヶ月の生存状況¹⁾。

集団 ²⁾	性質	発芽率(%)		休眠率(%)		死滅率(%)		生存率(%) ³⁾	
		35ヶ月	40ヶ月	35ヶ月	40ヶ月	35ヶ月	40ヶ月	35ヶ月	40ヶ月
5	抵抗性	84±6	95±1	2±1	4±0	14±7	2±1	86±10	99±2
6	抵抗性	93±4	95±1	0±0	3±2	8±4	2±1	93±6	98±2
7	抵抗性	93±2	96±4	1±0	4±4	6±2	1±1	95±2	100±3
4	感受性	99±2	97±1	0±0	2±1	2±2	2±1	99±2	99±0
分散分析結果		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

1) 数値は平均値±標準誤差。

2) 集団5~7および集団4は第2-1表に掲載の集団と同一集団。

3) 生存率=発芽率+休眠率。

4) 埋土後4ヶ月の生存率は抵抗性集団5~7が各々87%、97%、93%、感受性集団4が97%。

第6-2表 水田耕土層に播種したイヌホタルイ種子の年次別発生と埋土後3年の時点における種子の生存状況および生存種子の減少状況.

集団 ¹⁾	播種種子数 ²⁾	発生率(%) ³⁾				生存状況(埋土後3年)		減少状況(埋土後3年)	
		1999年	2000年	2001年	合計	生存率 ⁴⁾ (%)	生存種子数 ⁵⁾	減少率 ⁶⁾ (%)	発生以外の要因による減少率(%) ⁷⁾
5 抵抗性	121452	3.9	1.7	3.5	9.1	39 (6)	47580 (7410)	61	52
6 抵抗性	22633	6.3	1.3	0.3	7.9	62 (9)	14089 (2096)	38	30
7 抵抗性	21908	10.6	5.1	5.7	21.4	60 (8)	13065 (1853)	40	19
4 感受性	56049	3.9	0.4	0.2	4.5	69 (13)	38708 (7118)	31	26

- 1) 集団5~7および集団4は第2-3表に掲載の集団と同一集団.
 - 2) 供試した1998年産種子の1試験区(0.26㎡×0.15m=0.039m³)に播種した総種子数.
 - 3) 1試験区(0.26㎡×0.15m=0.039m³)に発生した個体数の播種種子数に対する比率を発生率とした.
 - 4) 発生個体数調査終了後における土壌中種子を供試した発芽試験より、1試験区(0.26㎡×0.15m=0.039m³)の発芽個体数と休眠個体数を算出し、これらの播種種子数に対する比率の和を生存率とした。()内の数値は標準誤差.
 - 5) 1試験区(0.26㎡×0.15m=0.039m³)に存在する生存種子数。()内の数値は標準誤差.
 - 6) 減少率=100-生存率 で算出した推定値.
 - 7) 発生以外の要因による減少=100-生存率-発生率 で算出した推定値.
- 生存率に統計的有意差がないので減少率、発生以外の要因による減少率も同様に有意差はない.

抵抗性集団の方がやや高い傾向を示したが、各年度の発生個体数については集団間に統計的な有意差は認められなかった.

2001年7月および8月(発生がほぼ収束した時期)に耕土層にある未発芽種子の生存率を調査したところ、感受性集団4で69%、抵抗性集団5、6および7では39~62%の値を示し、抵抗性集団の方が僅かに低い傾向が認められたが、集団間に統計的な有意差はなかった. 生存率から逆算した埋土後3年の時点における減少率(100%-生存率)は30~60%と推定され、また、このうちの発生以外の要因による減少率(100%-生存率-発生率)は20~50%と推定された(第6-2表).

1972)が報告されている. ヒメイヌビエでも10℃前後での休眠覚醒種子の死滅(渡辺・広川1974)が同様にみられる. イヌホタルイに関しては湿度との関係を示す報告(渡辺ら1991b)があり、秋耕を施した乾田条件の場合で生存種子数の減少率は毎年、前年の30%程度で、生存期間はタイヌビエより長いと述べている.

そこで本研究における試験条件を整理すると、まず地温条件は、水田耕土下層および耕土層に埋設した場合のいずれもが20℃前後であった. 北海道でも土壌凍結のない道央地帯で実施された試験であることから、水田耕土下層および耕土層における年間の地温はほぼ0~20℃の狭い範囲にあったと考えられる. 次に湿度条

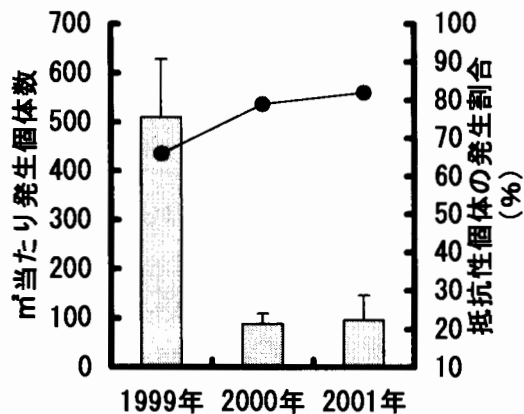
3) 農家水田における発生個体数の経年変化

農家水田における1999~2001年までの発生個体数と発生個体に対する抵抗性個体の割合を第6-3図に示した. 発生個体数は1999年から2000年にかけて大きく減少し、2000年から2001年にかけてはほぼ一定の推移を示した. 1999年からの3年間における抵抗性個体の発生割合は66~82%とほぼ一定であった.

3. 考察

1) 抵抗性イヌホタルイ種子の生存期間

雑草種子の生存期間の短縮に影響する要因は、高温で多湿な条件あるいは極端な乾燥条件が一般的である(伊藤1993). 例えば、タイヌビエでは5~10℃の温度域における休眠覚醒種子の死滅により、湿田条件よりも乾田条件で生存期間は1年半短くなること(宮原



第6-3図 抵抗性集団5を採用した水田でのイヌホタルイの年次別発生個体数と抵抗性個体の発生割合.

- 1) ; m²当たり発生個体数, 垂直線は標準誤差を示す.
- 2) ● ; 抵抗性個体の発生割合.

件に関しては、春から秋にかけては水田状態であることから極めて湿潤な条件にあり、また冬期間も積雪下にあることから、埋土した種子が長期間の乾燥条件におかれることはなかったと考えられる。したがって、本研究の試験条件は種子の生存には地温や湿度の変動が少なく好適な条件であったと考えられる。また、この条件は、北海道の水田土壌に関する環境条件としてはごく一般的で、特異な条件ではない。

本研究の結果、抵抗性集団と感受性集団の生存率には差が認められなかった(第6-1表, 第6-2図, 第6-2表)。種子の生存に好適な条件での検討結果であるが、これは北海道の多くの水田で認められることなので、抵抗性集団の種子が2~3年の短期間で死滅する可能性は低いと考えられる。また、埋土後3年の時点における減少率が埋土後4年以降も維持されると仮定すれば、生存種子が完全に死滅するには5~10年の期間が必要になると推察される。これらの結果から、北海道における抵抗性集団の防除は短期的な対応では不十分であり、感受性集団と同様に5年以上の中・長期的な対応が必要と考えられる。

残された検討課題としては、減少率のうち発生以外の要因による減少が20~50%あったことである(第6-2表)。発生以外の要因として暗黒条件での発芽があるが、これには30℃前後の温度(渡辺 1988a)が必要であり、本研究での温度条件は前述のとおり、30℃よりもかなり低かったことから、暗黒条件での発芽はなかったと考えられる。暗黒条件での発芽を除く発生以外の要因については明らかにすることができず、今後の検討が必要な課題である。また、種子の生存に不適當な条件における生存期間の検討も残された課題の一つである。

2) 抵抗性イヌホタルイの発生個体数の経年変化

渡辺ら(1991b)は、水田耕土層の生存種子数に対する発生個体数の比率は7~15%であることを報告している。また、ヒメイヌビエ(*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. var. *pratensis* Ohwi)、ツユクサ(*Commelina communis* L.)およびオオイヌタデ(*Polygonum lapathifolium* L.)では、新たな種子の

供給が無い条件において、発生個体数は初年目に多く、2年目以降激減、指数関数的減少を示すこと(渡辺・広川 1975)が報告されている。抵抗性集団が感受性集団と同様な発生個体数の経年変化を示すのか、それともヒメイヌビエなどと同様に指数関数的な減少を示すのかを明らかにすることは、抵抗性集団が発生した場合に、初期の防除がとくに重要となるのか、それとも5~10年の期間に対して継続した防除が必要となるのかを判断するために必要であり、防除方法を確立する場合に重要な知見となる。

本研究における発生個体数の経年変化についてみると、水田耕土層の種子数に対する発生個体数の比率は埋設1年目が4~11%で、渡辺ら(1991b)の報告とほぼ同様の結果であった(第6-2表)。また、埋設1年目から2年目にかけて発生個体数が大きく減少し、2年目から3年目にかけての減少は小さい傾向が認められたが、抵抗性集団と感受性集団には統計的な有意差は認められなかった(第6-2表)。発生個体数が埋設1年目から2年目にかけて大きく減少したことについては、異なる年次における検討、すなわち、試験期間中の気温などの影響あるいは登熟期間の気象条件などの影響を検討する必要がある。本研究での結果だけでは、抵抗性集団の発生個体数の経年変化が指数関数的な減少を示すとは結論できない。さらに農家水田において抵抗性個体の発生割合が一定であったことは(第6-3図)、発生個体数の経年変化について抵抗性集団と感受性集団とに差がないことを示していると考えられる。したがって、抵抗性集団の発生個体数の経年変化は感受性集団と差異がなく、このため5~10年の期間、継続して防除が必要になると推察する。

以上のように、抵抗性イヌホタルイが多発した水田では、感受性イヌホタルイと同様に少なくとも5年以上の中・長期的な対応が必要であると考えられる。このため、特定の除草剤の連用をさけることを目的として、SU剤とは作用点の異なる除草剤、例えばA剤、B剤およびC剤を、初年目にはA剤を使用し、2年目にはB剤を、3年目にはC剤を使用し、4年目は再度A剤を使用するという、異なる除草剤のローテーション使用法の確立が必要であると考えられる。

第 7 章 総合考察

1. スルホニルウレア系除草剤(SU 剤)と作用点の異なる除草剤による防除方法

本研究では北海道岩見沢市、中富良野町、栗山町などのイヌホタルイについて SU 剤に対する感受性を検討し、日本で最初に抵抗性イヌホタルイを発見し、次に抵抗性イヌホタルイを防除するために数種除草剤の効果を検討した。その結果、具体的にはクロメプロップなどの除草剤が有効であった。本研究の内容は、「スルホニルウレア系除草剤抵抗性水田雑草イヌホタルイおよびミズアオイ出現圃場における緊急対応」(北海道農業試験会議平成 10 年度指導参考事項) および「スルホニルウレア系除草剤抵抗性イヌホタルイに対する有効除草剤とその使用法」(北海道農業試験会議平成 12 年度指導参考事項)として北海道農業改良普及センターを通し、農家へ普及指導されている(第 7-1 表)。普及指導の場面では、一般に市販されている水稲用除草剤は単剤ではなく複数の除草剤が一つに組み合わせられた混合除草剤であることから、「クロメプロップを含む除草剤」などとして、いくつかのグループで提示している。このように SU 剤とは異なる作用点の除草剤で防除が可能であることを示したが、この点はイヌホタルイ以外の抵抗性雑草(Mattews 1994)においても認められている。

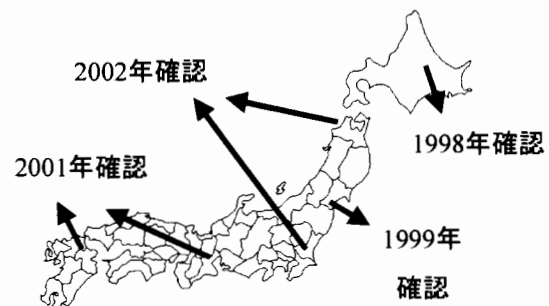
本研究が従来の研究と異なっている点は、第 5 および 6 章で示したように、生存能力において抵抗性イヌホタルイと感受性イヌホタルイに差異があるのかを検討したことである。すなわち、抵抗性イヌホタルイが感受性イヌホタルイに比べて低温発芽性に優れることから、従来にも増して除草剤の処理適期を逸さないよう注意することが重要であり、また種子の生存期間が感受性イヌホタルイと同様に長いことから、感受性イヌホタルイと同じく中・長期的に防除を継続する必要があることを示した点である。これまでの研究は抵抗性雑草の防除方法として代替え除草剤の提示(渡辺 1983)に概して止まっていた。また、第 5 および 6 章で明らかにした発芽と生存期間についての知見は有効な除草剤を使用する上での注意点として普及指導されている(第 7-1 表)。

一般的に、雑草は生育する地域に適応した日長反応などの特性を有している。このため、抵抗性雑草の特性を比較検討する場合には、生育地に適応した遺伝子型や集団単位で研究する必要がある(小林・植木 1983)と指摘されている。したがって、前述した抵抗性イヌホタル

イの低温発芽性および種子の生存期間に関しては、主として北海道という限られた地域に適応して分布するイヌホタルイの遺伝子集団についての結果として考える必要がある。北海道で抵抗性イヌホタルイが発見された後に、青森県(三浦・境谷 2002)、宮城県(吉田ら 1999)、茨城県(寺沼 2002)、三重県(神田ら 2002)及び福岡県(内川ら 2002)でも抵抗性イヌホタルイが発見された(第 7-1 図)、日本全域において抵抗性イヌホタルイが発生する可能性が示されている。このため、本研究によって示された除草剤を利用した防除の有用性が高まっている。しかし、今後、全国の抵抗性イヌホタルイの防除方法として本研究で示した除草剤を利用する場合には、発芽性および種子の生存期間を当該地域の生育条件に基づいて明らかにし、使用時期などの具体的な使用方法について必要な修正を行うことが求められる。

なお、北海道におけるイヌホタルイの発生実態に関して、10%以上の要防除面積率を示す地域は 1982 年から 1996 年にかけて減少し、1996 年から 1999 年には増加していた(第 3-3 図)。これらの地域は 1980 年代後半からの SU 剤の普及にともない減少し、また抵抗性イヌホタルイの発生によって増加したと考えられるが、各地域における抵抗性イヌホタルイの発生状況を今後、検討する必要がある。

さらに、本研究ではこれまでの報告ではふれられていない、混合する除草剤の種類数についての指摘を行った。もし、高価な除草剤を中・長期にわたって使用するとすれば、コスト面での問題が生じる。本研究では抵抗性イヌホタルイが発見された水田では他の雑草の発生が少ない傾向があることに注目し、2 種の除草剤を混合した



第 7-1 図 日本における SU 剤抵抗性イヌホタルイの出現状況。

第7-1表 抵抗性イヌホタルイに有効な除草剤.

除草剤名	処理時期	有効成分量(g/10a)			
		クロメプロップ	プロモブチド	ベンゾビシクロン	ピラゾレート その他
○ クロメプロップを含む除草剤					
CGM-15 3kg粒	発生始まで	45			
MY-100DC フロアブル	1.5葉期まで	35			
NH-803 フロアブル	1葉期まで	35			
MY-100NC 顆粒水和	2葉期まで	35			
MY-100TSC フロアブル	2葉期まで	33			
○ ヘンフレート、モリネットまたはMCPBを含む除草剤					
NS-177 1kg粒	体系処理の後処理(1.5葉期まで)				ヘンフレートが60 MCPBが24
モリネットSM 1kg粒	体系処理の後処理(1.5葉期まで)				モリネットが240 MCPBが24
○ プロモブチドを含む除草剤					
TSM-612 フロアブル	発生始まで	50			
KUH-958フロアブル	発生始まで	90			
AGH-975 フロアブル	1葉期まで	71			
HSW-982 フロアブル	2葉期まで	60			
KUH-985 フロアブル	2葉期まで	90			
MY-100MS フロアブル	1葉期まで	60			
NTN-831 1kg粒	2葉期まで	100			
SL-970 フロアブル	1葉期まで	50			ピラゾキシフェンが120
SW-965 ジャンボ	1葉期まで	90			
HOK-983 フロアブル	1葉期まで	60			
NC-391(L) ジャンボ	2葉期まで	60			
NBA-941S 1kg粒	2葉期まで	60			
○ ベンゾビシクロンを含む除草剤					
SB-556 フロアブル	1.5葉期まで			19	
SW-001(H) ジャンボ	2葉期まで			20	
TH-001 フロアブル	2.5葉期まで			19	
SB-533 フロアブル	1.5葉期まで			19	
○ ピラゾレートまたはピラゾキシフェンを含む除草剤					
HSW-941 1kg粒	1.5葉期まで				180
HSW-001 フロアブル	2葉期まで			20	200
SL-498(H) 1kg粒	2葉期まで				ピラゾキシフェンが240

有効除草剤の使用上の注意点

- 1) 抵抗性イヌホタルイの発生は感受性より早いことが多いので水田での発生を注意深く観察し、処理時期を逸しないよう注意する。
- 2) 抵抗性イヌホタルイ種子の生存率から、有効除草剤の使用は継続して5年以上が必要である。

プロモブチド、ペントキサゾン混合フロアブル剤 (KUH-958 フロアブル剤) の使用によって抵抗性イヌホタルイを含む雑草防除が可能であることを示した。しかし、同じ除草剤を連年使用することは、後述する複合抵抗性を発達させる可能性があることから、将来的にはSU剤とは作用点の異なる複数の除草剤をどのような順序で使用すべきか、例えば、クロメプロップを使用した

次の年にはプロモブチドを使用し、また次の年にはベンゾビシクロンを使用するなど、いわゆるローテーション使用法の確立が必要になると考えられる。この場合に、除草剤をどのような基準で選択し、かつ何年のサイクルで使用するのが合理的かを検討する必要がある。この検討に当たっては、まずローテーション使用を行った場合の雑草発生量や土壌中種子の生存率の経年変化を把握

することが重要になる。この際に、第 6 章で述べた種子の生存率についての調査方法が参考になるものと考えられる。

2. 複数の除草剤に抵抗性を示すイヌホタルイの防除方法

SU 剤に抵抗性を示す雑草種が異なる作用点の他の除草剤にも同時に抵抗性を示す場合、複合抵抗性と呼ばれる (Heap and LeBaron 2001)。抵抗性イヌホタルイの種子の生存期間が長いことは、除草剤コストの問題のみならず複合抵抗性の問題にも関係する。抵抗性イヌホタルイを防除するために特定の異なる作用点の除草剤が長期間連用されると、イヌホタルイが複合抵抗性を発達させる可能性があるためである。つまり、防除手段として単に特定の除草剤へ切り替えるだけでは対応できない事態が、将来は発生するであろうことに留意する必要がある。

Preston and Mallory-Smith (2001)は、複合抵抗性の発生には次の 3 パターンがあると整理している。第 1 のパターンはハウキギの場合で認められている。まずトリアジン系除草剤の連用によりトリアジン系除草剤抵抗性ハウキギが発生し、つぎにこれを防除するために SU 剤が連用された結果、トリアジン系除草剤および SU 剤の両除草剤に抵抗性を示す、複合抵抗性ハウキギが発生した。ヒユ属雑草 (*Amaranthus rudis* 和名なし) についても同様のパターンで複合抵抗性が発生したことが確認されている。第 2 のパターンはボウムギで報告されている。A 地域で選択された SU 剤抵抗性ボウムギと B 地域で選択された ACCase 阻害剤抵抗性ボウムギが交雑し、後代が複合抵抗性を示した。最後の第 3 のパターンは、一つの除草剤に対して 2 種類以上の発現機作により抵抗性を示すパターンである。このパターンもボウムギで認められている。点突然変異によって生じた SU 剤抵抗性ボウムギが、さらに除草剤の代謝能力を向上させて複合抵抗性を示すようになった。ヤマカモジグサ (*Brachypodium distachyon* P. Beauv.) ではトリアジン系除草剤について、カラスムギ属雑草 (*Avena sterilis* L. 和名なし) では ACCase を阻害する除草剤と同様の事例が知られている。

特定の除草剤の使用が継続されれば、すなわち連用されれば、いずれは抵抗性雑草が発生すると言われていた。このような複合抵抗性の発達を避ける、あるいは遅らせるには、前述したローテーション使用を行い、特定除草剤の連用を避けることが重要である。

さらに、除草剤を使わない防除方法と組み合わせる

こと (Matthews 1994, 渡辺 1997) が大切である。本研究で供試した抵抗性イヌホタルイ集団の多くが低温発芽性に優れる特性に着目すると、抵抗性イヌホタルイについて除草剤を使わない防除方法として、出芽したイヌホタルイを代かきによって土壤中に埋め込む方法を提案できる。すなわち、低温発芽性に優れるということは、感受性イヌホタルイよりも抵抗性イヌホタルイの方が水田での発芽が早く、短期間で発生が終了する可能性のあることを示唆している。この特性を利用して抵抗性イヌホタルイの発生が終了した時点で代かきを行い、その後に水稻の移植を行うという耕種的な対応によって、除草剤のみに頼らないで防除できる可能性がある。この防除方法の他にも、動力除草機の利用 (Powles et al. 1992, Stephenson et al. 1990)、雑草との競合に勝る水稻の密植栽培、田畑輪換による防除方法の検討などを行い、複合抵抗性雑草の発生に対して備えることが重要である。

3. 抵抗性イヌホタルイの拡散防止方法

これまでに、抵抗性イヌホタルイの除草剤による防除ならびにイヌホタルイの複合抵抗性発達に対する予防法について考察を行ったが、これらは既に抵抗性イヌホタルイが発生した水田での防除に関する検討であった。次に、発生していない水田で、いかに防除を行うかが問題となる。特定の除草剤の連用を避けることはもちろんであるが、これ以外にも他の水田から種子が流入することによっても抵抗性イヌホタルイの防除が必要になる。したがって、抵抗性イヌホタルイの種子あるいは花粉の拡散をどのように防ぐかが問題となる。

抵抗性雑草の拡散について、抵抗性雑草の遺伝子が花粉を介して拡散する事例としては SU 剤抵抗性ハウキギの花粉が 29m の距離を飛散すること、ACCase 阻害剤抵抗性ネズミムギでは媒介昆虫により 100m 以上の距離を花粉が移動していること (Diggle and Neve 2001) が報告されている。また、抵抗性雑草の種子の拡散については、コンバイン収穫作業により種子が圃場から圃場へ移動する比率が 3%であったこと (Matthews 1994) が報告されている。

しかし、残念ながら、イヌホタルイのみならず多くの雑草の拡散メカニズムについては未だ明らかでない点が多い。このため、拡散を効率的に防止するには、抵抗性の簡易検定法 (Uchino et al. 1999, 村岡ら 2000) などを手段として、まず拡散のメカニズムを解明することが必要である。

摘 要

スルホニルウレア系除草剤 (SU 剤) の開発により、水稲作における雑草防除の問題はすべて解決されたと考えられてきた。しかし、SU 剤が適正に使用されたにもかかわらず、主要な雑草の一つであるイヌホタルイに除草効果が不足する問題、すなわち残草問題が 1995 年前後より北海道各地で発生した。そこで、問題となったイヌホタルイの SU 剤に対する感受性の検定と発生実態の把握を行うとともに、SU 剤抵抗性イヌホタルイ (抵抗性イヌホタルイ) に有効な除草剤を探索し、これら除草剤を使用する時期と防除の継続年数に関する発芽および種子の生存期間について検討を加え、生態的特性に基づく合理的な防除方法の確立を目的に本研究を実施した。

1. 抵抗性イヌホタルイの発見

- 1) 残草問題が発生した北海道岩見沢市 (2 集団)、中富良野町、栗山町 (2 集団)、穂別町、苫前町、三石町、厚真町、倶知安町および北海道立中央農業試験場の水田において採取したイヌホタルイ 11 集団について SU 剤に対する感受性を検定した。
- 2) SU 剤の処理後 7 日目に各集団の生存あるいは枯死は観察によって明確に区分され、枯死しなかった岩見沢市、中富良野町、栗山町、厚真町および倶知安町の集団は抵抗性と判断され、半数致死量は感受性イヌホタルイの 40~140 倍であった。これらの結果から、抵抗性イヌホタルイの発生を日本で初めて確認した。

2. 北海道の水田におけるイヌホタルイの発生実態

- 1) 1973 年~1999 年までの発生実態調査から、抵抗性イヌホタルイの発生が確認された岩見沢市、中富良野町、栗山町、厚真町および倶知安町は過去にイヌホタルイが高密度で発生していた地域であることが示された。
- 2) 1970 年代よりイヌホタルイの種子密度が高く、分布域も広がったことから、北海道では抵抗性遺伝子の存在頻度が高い状態にあったと推察される。このため、北海道の全域で抵抗性イヌホタルイが発生すると考えられる。

3. 抵抗性イヌホタルイに対する各種除草剤の除草効果

- 1) 供試した 11 集団のイヌホタルイは、SU 剤とは作用点の異なるプレチラクロール、ベンフレセート、ピラゾレートおよびジメタメトリンからなる 4 種混合粒剤

(成分含有率は各々 3%, 3%, 18%, 0.6%) の標準使用量 (製品で 1kg/10a) の処理によって、すべて枯死した。また、ピリプチカルブ、プロモブチドおよびベンゾフェナップからなる 3 種混合フロアブル剤 (成分含有率は各々 5.7%, 10%, 10%) の標準使用量 (製品で 500ml/10a) の処理によってもすべての集団が枯死した。

- 2) 混合除草剤を構成する除草剤の除草効果を検討するため、SU 剤とは作用点の異なる 20 種の除草剤を検討したところ、クロメプロップ、ベンフレセート、プロモブチド、ベンゾピシクロン、モリネート、ピラゾレート、ピラゾキシフェンおよび MCPB の 8 剤は、標準処理薬量でイヌホタルイの発生前から本葉 2.5 葉期の処理時期に処理することで、処理後約 40 日後における残草量 (雑草の地上部乾物重) が 0.5g/m²以下 (無処理区の残草量に対して 10%以下) となり、除草効果が認められた。

- 3) 27 種の混合除草剤の除草効果について検討した結果、上記 8 剤のいずれかを含む混合除草剤の残草量は無処理区の 10%以下であったことから、これらの混合除草剤により抵抗性イヌホタルイの防除が可能であることを明らかにした。また、抵抗性イヌホタルイが発生する水田では他の雑草がほとんど発生しないことから、プロモブチド、ペントキサゾン 2 種混合フロアブル剤でも防除が可能と考えられる。

4. 抵抗性イヌホタルイの低温発芽性

- 1) 北海道岩見沢市、中富良野町、栗山町、穂別町、苫前町、三石町、厚真町、倶知安町、秋田県大曲市、仙北町および宮城県大和町で採取されたイヌホタルイ 14 集団の 1998 年産種子を供試し発芽に関する検討を行った。また、一部の集団については 1999 年産種子を供試した検討も行った。
- 2) 1998 年産種子では、感受性イヌホタルイの 15℃の湛水土壤条件における発芽率は平均で 53%であったのに対して、抵抗性イヌホタルイは平均で 88%であった。
- 3) 発芽速度は感受性イヌホタルイよりも抵抗性イヌホタルイが 0.02~0.11 速い結果であった。これらの傾向は乾燥処理を行った場合でも同じで、抵抗性イヌホタルイの多くは発芽率が高く発芽速度も速やかであった。
- 4) 1999 年産種子を供試し、発芽特性の採種年次による変動性を検討した結果は、1998 年産種子を供試した場

合と同じで、抵抗性イヌホタルイが低温発芽性に優れることが示された。

- 5) 抵抗性イヌホタルイが発生する水田では、除草剤の使用時期を逸しないように、移植後より注意深く発生を観察することが重要と考えられる。

5. 抵抗性イヌホタルイの種子の生存期間

- 1) 1998 年 5 月に土壌が攪乱されない水田耕土下層に埋設した感受性イヌホタルイの種子について、埋土後 4 ヶ月の生存率を 100%とした相対生存率は埋土後 4~40 ヶ月の期間、一定してほぼ 100%であった。これに比較して抵抗性イヌホタルイでは、やや低い傾向がみられたが 80%以上であった。なお、埋土後 4 ヶ月の生存率は集団 4, 5, 6 および 7 で各々 97, 87, 97 および 93%であった。
- 2) 1999 年 5 月に土壌が攪乱される水田耕土層に埋設した感受性イヌホタルイの種子の埋土後 3 年の時点における生存率は 69%であった。これに比較して抵抗性イヌホタルイでは 39~62%と、抵抗性イヌホタルイの方が僅かに低い傾向が認められたが、統計的な有意差はなかった。生存率から逆算した埋土後 3 年の時点における減少率(100%-生存率)は 30~60%と推定された。

- 3) 抵抗性イヌホタルイが発生する農家水田での 1999 年から 3 年間における抵抗性個体の発生割合は 66~82%とほぼ一定であった。

- 4) 抵抗性イヌホタルイの種子が 2~3 年の短期間で死滅する可能性は低く、また、埋土後 3 年の時点における減少率が埋土後 4 年以降も維持されると仮定すれば、生存種子が完全に死滅するには 5~10 年の期間が必要になると推察されるので、北海道における抵抗性イヌホタルイの防除は感受性イヌホタルイと同様に 5 年以上の中・長期的な対応が必要と考えられる。

以上のように、本研究では抵抗性イヌホタルイを日本で最初に発見し、これに対する有効な除草剤を提示した。さらに、その使用上の留意点を生態的特性から指摘した。現在、北海道以外にも抵抗性イヌホタルイが発生しており、国内全地域で発生する可能性がある。今後、新たに抵抗性イヌホタルイが発生した地域における効果的な防除方法の検討に際して、本研究で得られた知見は大いに役立つと考えられる。また、低温発芽性および種子の生存期間に関する知見は、今後、発生が予想されている複合抵抗性雑草に対する耕種的な防除方法の確立に寄与すると期待される。

謝 辞

本論文は、主として北海道立中央農業試験場稲作部栽培第一科（現、生産システム部水田農業科）において、一部を農林水産省東北農業試験場水田利用部雑草制御研究室（現、独立行政法人農業・生物系特定産業技術研究機構東北農業研究センター）において実施した研究をとりまとめた。

本論文をとりまとめるにあたり、北海道大学大学院農学研究科教授岩間和人博士には懇切なご指導とご校閲をいただいた。また、同教授内藤繁男博士、幸田泰則博士、同助教授近藤哲也博士、および森田弘彦博士（独立行政法人農業技術研究機構中央農業総合研究センター北陸研究センター北陸水田利用部長）には懇切なご校閲をいただいた。心から感謝申し上げます。

研究の開始に際して、竹川昌和氏（前北海道立道南農業試験場長）、今野一男博士（現北海道立中央農業試験場農業環境部部長）、故仲野博之博士（前日本植物調節剤研究協会北海道支部長）、田中和吉氏（同協会北海道支部事務局長）および同協会の各位には多大なるご尽力をいただいた。また、山崎信弘氏（前北海道立中央農業試験場技術普及部長）、谷川晃一氏（北海道立北見農業試験場研究部長）、森脇良三郎氏（前日本植物調節剤研究協会北海道試験地主任）の諸先輩には雑草研究における基礎理論と基本姿勢をご教示いただいた。心から感謝申し上げます。

研究を進めるにあたり、農林水産省東北農業試験場（現、独立行政法人農業・生物系特定産業技術研究機構東北農業研究センター、研究調整官）の伊藤一幸博士には除草剤抵抗性雑草に関する研究の実施についてのご教示とご指導をいただいた。渡邊寛明氏（同総合研究チーム長）には研修生としての受け入れを快諾していただき、イヌホタルイの休眠・発芽などの雑草生物学に関するご教示と研究実施のご助言をいただいた。さらに、宮原益次博士（元日本雑草学会会長）、千坂英雄氏（元日本雑草学会会長）、渡辺泰博士（元農林水産省農業研究センター総合研究官）にはデータの解釈について多大なるご助言をいただいた。心から感謝申し

上げる。

研究のとりまとめに坂倉博士（東京大学大学院農学生命科学科元教授）、北海道立中央農業試験場の稲津脩博士（生産システム部長）、前田博氏（作物開発部副部長）、田中英彦氏（生産システム部主任研究員）、および丹野久博士（北海道立上川農業試験場主任専門技術員）、藤村稔彦氏（日本植物調節剤研究協会北海道支部長）にはご指導とご助言をいただいた。北海道立中央農業試験場の安積大治氏（水田農業科研究職員）および竹内晴信氏（環境基盤科長）、渡辺祐志氏（北海道立根釧農業試験場専門技術員）、笛木伸彦氏（北海道立十勝農業試験場栽培環境科研究職員）には同じ研究科の同僚としてご助言、ご指導、ご助力をいただいた。また、農林水産省東北農業試験場（現、独立行政法人農業技術研究機構東北農業研究センター）での研修時には内野彰博士（同雑草制御研究室主任研究官）および橘雅明氏（同主任研究官）よりご助言、ご指導、ご助力をいただいた。心から感謝申し上げます。

北海道立中央農業試験場総務部技術、事務担当職員、臨時職員各位には様々な局面において研究を支えていただいた。心から感謝申し上げます。

北海三共株式会社、デュポン株式会社をはじめとする各除草剤メーカー各社の開発担当各位には、除草剤を快く提供していただき、種々の情報交換をさせていただいた。心から感謝申し上げます。

このほかにも多くの方々のご協力とご指導により、本研究をとりまとめることができたことを衷心よりお礼申し上げます。

最後に、家庭において研究を支えてくれた妻ひとみ、まゆ、幸樹、りほの子供たちに心から感謝する。

引用文献

- Alcocer-Ruthling, M., D. C. Thill and B. Shafii 1992a. Differential competitiveness of sulfonylurea resistant and susceptible Prickly Lettuce (*Lactuca serriola*). Weed Technology 6: 303—309.
- Alcocer-Ruthling, M., D. C. Thill and B. Shafii 1992b. Seed biology of sulfonylurea-resistant and susceptible biotypes of Prickly lettuce (*Lactuca serriola*). Weed Technology 6: 858—864.
- Boutsalis, P. and S. B. Powles 1998. Seedbank characteristics of herbicide-resistant and susceptible *Sisymbrium orientale*. Weed Research 38: 389—395.
- 千坂英雄・伊藤一幸・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: 133—134.
- Clay, D. V. 1987. The response of simazine-resistant and susceptible biotypes of *Chamomilla suaveolens*, *Epilobium ciliatum* and *Senecio vulgaris* to other herbicides. Proceedings 1987 British Crop Protection Conference, Weeds 3: 925—932.
- Curtis, R. T., D. C. Thill and B. Shafii 1994a. Germination characteristics of sulfonylurea-resistant and -susceptible *Kochia* (*Kochia scoparia*). Weed Sci. 42: 50—56.
- Curtis, R. T., D. C. Thill and B. Shafii 1994b. Growth and competitiveness of sulfonylurea-resistant and -susceptible *Kochia* (*Kochia scoparia*). Weed Science 42: 172—179.
- Devine, M. D. 1997. Mechanisms of resistance to acetyl-coenzyme A carboxylase inhibitors: a review. Pestic. Sci. 51: 259—264.
- Diggle, A. J. and P. Neve 2001. The Population Dynamics and Genetics of Herbicide Resistance - A modeling approach. Herbicide resistance and world Grains. First editon. Powles S.B. and D.L. Shaner eds., CRC PRESS, Boca Raton. 61—99.
- Dyer, W. E., P. W. Chee and P. K. Fay 1993. Rapid germination of sulfonylurea-resistant *Kochia scoparia* L. accessions is associated with elevated seed levels of branched chain amino acid. Weed Science 41: 18—22.
- 藤村稔彦・岩崎忠男・中西敏雄・長谷川栄一 1990. 水田の雑草防除に関するアンケート調査について. 北海道改良普及員資料 20: 78—89.
- 深見順一・宍戸孝 1983. 除草剤抵抗性の現況. 薬剤抵抗性 第1版. 深見順一・上杉康彦・石塚皓造編集, ソフトサイエンス社, 東京. 3—8.
- Gurjeet, S. G., R. D. Cousens, and M. R. Allan 1996. Germination, growth, and development of herbicide resistant and susceptible populations of Rigid Ryegrass (*Lolium rigidum*). Weed Science 44: 252—256.
- Guttieri, M. J., C. V. Eberlein and D. C. Thill 1995. Diverse mutations in the acetolactate synthase gene confer chlorsulfuron resistance in *Kochia* (*Kochia scoparia*) biotypes. Weed Sci. 43: 175.
- 濱村謙史朗 2002. イヌホタルイ (*Scirpus juncooides* Roxb. var. *ohwianus* T. Koyama) 種子の吸水特性. 雑草研究 47: 161—167.
- 埴岡靖男 1989a. 埼玉県の桑園におけるパラコート抵抗性のオオオアレチノギクについて. 雑草研究 34: 210—214.
- 埴岡靖男 1989b. 埼玉県の桑園におけるパラコート抵抗性のオニタピラコについて. 雑草研究 34: 163—168.
- 埴岡靖男 1998. 桑園における雑草群落の変遷と除草剤使用—パラコート抵抗性雑草を中心として—. 第2回植生管理研究会. 15—23.
- Harper, J. L. 1956. The evolution of weeds in relation to resistance to herbicides Proc. Brit. Weed Cont. Conf. 3: 179.
- 畑克利・大塚一雄・青木美里・倉持仁志 1998. スルホニルウレア系除草剤抵抗性ミゾハコベ (*Elatine triandra* Schk.) の発現. 雑草研究 43 (別): 28—29.
- Heap, I. M. 1997. The occurrence of

- herbicide-resistant weeds worldwide. *Pestic. Sci.* 51:235-243.
- Heap, I. and H. LeBaron 2001. Introduction and overview of resistance. *Herbicide resistance and world greins*. First editon. Powles S. B. and D. L. Shaner eds., CRC PRESS, Boca Raton. 1—22.
- Hilton, H. W. 1957. Herbicide tolerant strains of weeds. *Hawaiian Suger Plant. Assoc. Ann. Rep.* 69.
- 北海道除草剤協会 1973. 水田雑草発生生態調査資料. 45.
- 北海道企画部 1968. 昭和 42 年版 北海道の農業. 120—131.
- 北海道農政部 1997. 平成 8 年度北海道市町村別水田雑草発生量調査.
- 北海道農政部 2001. 米に関する資料.
- 北海道農政部 2002. 平成 14 年度農作物病害虫防除基準・除草剤使用基準.
- 北海道農業試験場 1973. 北海道における除草剤に関する調査資料.
- 石倉教光・曾我義雄. 1978. ホタルイ属雑草の生態と防除に関する研究 第 1 報 イヌホタルイ種子の稔実経過と発芽性. *雑草研究* 23: 19—23.
- 石倉教光・曾我義雄. 1979. ホタルイ属雑草の生態と防除に関する研究 第 2 報 イヌホタルイ種子の休眠覚醒に及ぼす温度と光の影響. *雑草研究* 24: 28—32.
- 石倉教光・曾我義雄. 1982. ホタルイ属雑草の生態と防除に関する研究 第 3 報 イヌホタルイ種子の発芽ならびに出芽. *雑草研究* 27: 278—282.
- Itoh K. 2001. World rice and herbicide resistance. *Herbicide resistance and world greins*. First editon. Powles S. B. and D. L. Shaner eds., CRC PRESS, Boca Raton. 196—249.
- 伊藤一幸・内野彰・渡邊寛明 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.
- Itoh, K., G. X. Wang and S. Ohba 1999. Sulfonylurea resistance in *Lindernia micrantha*, an annual paddy weed in Japan. *Weed Res.* 39: 413.
- 伊藤一幸・吉田修一・相田美喜 2002. イヌホタルイにおけるスルホニルウレア系除草剤の遺伝. *雑草研究* 47(別): 62—63.
- 伊藤操子 1993. 雑草学総論 第 1 版. 養賢堂, 東京. 1—362.
- 伊藤誠哉 1921. 農作物病害虫並びに雑草に関する調査及び試験成績 第 I 編 水田雑草マツパイ並びにアオミドロ累の予防に関する調査及び試験成績. 北海道農業試験場報告 第 11 号. 1-38.
- 岩崎桂三 1983a. ホタルイ類の生態と防除. *雑草研究* 28: 163—171.
- 岩崎桂三 1983b. ホタルイ属水田雑草の防除に関する生理生態学的研究. 京都大学学位論文 1—140.
- 岩崎桂三・出野衆太郎・萩本宏 1983. 日本各地で採集されたイヌホタルイの変異について. *雑草研究* 28: 35—42.
- 片岡孝義・金昭年 1977. 数種雑草種子の休眠覚醒の貯蔵条件による差異. *雑草研究* 22: 156—158.
- 片岡孝義・金昭年 1978a. 数種雑草種子の発芽時の酸素要求度. *雑草研究* 23: 9—12.
- 片岡孝義・金昭年 1978b. 数種雑草種子の出芽深度. *雑草研究* 23: 13—19.
- 加藤彰宏・奥田義二 1983. パラコート抵抗性のヒメムカシヨモギについて. *雑草研究* 28: 54—56.
- 神田幸英・中山幸則・青久 2002. 三重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発生. *雑草研究* 47 (別): 58—59.
- 小荒井昇・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.
- 小荒井昇・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.
- 小林央往・植木邦和 1983. 除草剤抵抗性の遺伝・育種とその生態的側面. 薬剤抵抗性 第 1 版. 深見順一・上杉康彦・石塚皓造編集, ソフトサイエンス社, 東京. 327—341.
- 小林央往・中川博・植木邦和 1985. ゴルフ場スズメノカタビラ集団のシマジン抵抗性について. *雑草研究* 30(別): 123-124.
- Kobayashi, K. and H. Sugiyama 1991. Selective action of pyrazosulfuron-ethyl on growth and acetolactate synthase activity between rice and *Cyperus serotinus*. *Weed Res, Japan* 36: 251—256.
- 古原洋 1998. 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について. *北農* 65:155—159.
- 古原洋 2002. 雑草防除. 北海道農業技術研究史 1981—

2000. 北海道農業研究センター・北海道立中央農業試験場. 42—44.
- 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): 236—237.
- 近内誠登 1994. 除草剤利用技術の基礎. 雑草管理ハンドブック 第 1 版. 草薙得一・近内誠登・芝山秀次郎編集, 朝倉書店, 東京. 70—111.
- 香月繁孝・飯塚慶久・数賀山靖・後藤宗玄 1989. 農薬便覧 第 7 版. 農山漁村文化協会, 東京. 824.
- 草薙得一 1996. 雑草の種類・分類・生態. 雑草科学の基礎. 日本雑草学会. 154.
- 草薙得一 1994. 除草剤抵抗性生物型の出現. 雑草管理ハンドブック 第 1 版. 草薙得一・近内誠登・芝山秀次郎編集, 朝倉書店, 東京. 65—66.
- Mallory-Smith, C. A., D. C. Thill and M. J. Dial. 1990. Identification of sulfonylurea herbicide-resistance Prickly lettuce (*Lactuca serriola*). Weed technol. 4: 163—168.
- Maneechote, C. 2001. Herbicide resistance in Thailand. Japan-Australia seminar. 17.
- Matthews, J. M. 1994. Management of herbicide resistant weed populations. Herbicide resistance in plants. First editon. Powles S. B. and J. A. M. Holtum eds., CRC PRESS, Boca Raton. 317—335.
- Matsunaka, S. 2001. Historical review of rice herbicides in Japan. Weed Biology and Management 1:10—14.
- 松尾和人 1998. パラコート抵抗性キク科雑草の分布と生活史. 第 2 回植生管理研究会. 24—27.
- Maxwell, B. D. and A. M. Mortimer 1994. Selection for herbicide. Herbicide resistance in plants. First editon. Powles S. B. and J. A. M. Holtum eds., CRC PRESS, Boca Raton. 1—25.
- 三浦嘉浩・境谷栄二 2002. 青森県におけるスルホニルウレア抵抗性雑草の発生について (第 2 報) イヌホタルイの確認. 第 4 回東北雑草研究会.
- 宮原益次 1968. 水田雑草群落の耕種操作による変化. 雑草研究 7:22—28.
- 宮原益次 1972. 水田雑草タイヌビエ種子の休眠性に関する生理生態学的研究. 農事試験場研究報告第 16 号. 1—62.
- 宮原益次 1992. 水田雑草の生態とその防除 第 1 版. 全国農村教育協会, 東京. 1—274.
- 森田弘彦 1999. 1 時間気温値の加重型有効積算気温を用いた野生ヒエとイヌホタルイの葉齢進展. 雑草研究 44 : 218—227.
- 村上士明・阪上和久・與語靖洋・中村明功 1989. イヌホタルイの発生消長と葉齢進展—タイヌビエとの比較—. 雑草研究 34(別) : 101—102.
- 村岡哲郎・濱村謙史朗・竹下孝史・則武晃二 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簡易検定法. 雑草研究 45 (別) : 40—41.
- 中村拓・柁木信幸・佐藤陽一・今野善一郎 1982. 秋田県及びその周辺におけるホタルイ類の分布と種子の休眠. 雑草研究 27(別) : 1—2.
- 中山壮一・Azmi Man・Ruslan Abd・Ghani 1999. 2,4-D および bensulfuron-methyl に対する複合抵抗性を有するマレーシア産キバナオモダカ. 雑草研究 44 (別) : 84—85.
- 中沢秋雄 1969. 畑地雑草群落の耕種操作による変化. 雑草研究 8:1—9.
- 日本植物防疫協会 1998. 農薬ハンドブック. 347—507.
- 日本植物調節剤研究協会 1982. 農作物の除草に関する実態調査報告書水稲編(1) 5—57.
- 日本植物調節剤研究協会北海道支部 1991. 北海道における除草剤・生育調節剤の指導参考事項(No. 2).
- 沼田真・奥田重俊・桑原義晴・浅野貞夫・岩瀬徹 1983. 日本原色雑草図鑑 新版(改訂) 第 5 刷. 沼田真・吉沢長人編集. 全国農村教育協会, 東京. 333.
- 岡本弘・上杉康彦 1983. 除草剤抵抗性の現況. 薬剤抵抗性 第 1 版. 深見順一・上杉康彦・石塚皓造編集, ソフトサイエンス社, 東京. 297—316.
- 大野秀夫 1992. 桑園雑草, チチコグサモドキの除草剤抵抗性について. 神奈川蚕セ報 21: 21—25.
- Powles, S. B., E. S. Tucker and T. R. Morgan 1992. Eradication of paraquat-resistant *Hordeum glaucum* Steud. By prevention of seed production for 3 years. Weed Research 32: 389—395.
- Preston, C. and C. A. Mallory-Smith 2001. Biochemical mechanisms, inheritance, and molecular genetics of herbicide resistance in weeds. Herbicide resistance and world Grains. First editon. Powles S. B. and D. L. Shaner eds., CRC PRESS, Boca Raton. 23—60.
- Ryan, G. F. 1970. Resistance of common groundsel to simazine and atrazine. Weed Sci 18: 614—

- 616.
- 斉藤栄賢・近藤晃 1964. 低毒性除草剤 NIP に関する研究. 雑草研究 3: 50—52.
- 坂斉・千坂英雄 1982. 酵素電極による除草剤の検定. 雑草研究 27 (別): 63—64.
- 坂斉・宇佐美洋三・佐藤光政 1985. 茨城県南地方におけるパラコート抵抗性ハルジオンの分布と特性. 雑草研究 30 (別): 131—132.
- 佐藤光政・宇佐美洋三・小泉博・市川裕章・唐艶鴻 1992. ハルジオンのパラコート抵抗性バイオタイプの光合成特性と東北および北海道南部における出現. 雑草研究 37: 167—168.
- Shaner, D. L. 1999. Resistance to acetolactate synthase (ALS) inhibitors in the United State: history, occurrence, detection, and management. J. Weed Sci. Tech. 44: 405—411.
- Sirakura, S., K. Itoh, H. Aizawa, K. Gee Stephen and A. C. Barefoot 1995. Activity of sulfonylurea herbicide azimsulfuron in combination with bensulfuron methyl and effects of environmental factors. Weed Res, Japan 40: 29—38.
- Stephenson, G. R., M. D. Dykstra, R. D. McLaren, and A. S. Hamill 1990. Agronomic practices influencing triazine-resistant weed distribution in Ontario. Weed Technology 4: 199—207.
- 住吉正 1996a. イヌホタルイおよびタイワンヤマイの種子の休眠と発芽に及ぼす貯蔵条件の影響. 雑草研究 41: 9—23.
- 住吉正 1996b. イヌホタルイ種子の一時休眠に及ぼす成熟時期の影響. 雑草研究 41: 302—309.
- 住吉正・伊藤一幸 1999. 水田土壌中におけるタイワンヤマイ (*Scirpus wallichii* Nees) とイヌホタルイ (*Scirpus juncooides* Roxb. var. *ohwianus* T. Koyama) の種子の休眠状態の季節変化と年次間差異. 雑草研究 44: 125—131.
- 住吉正・佐藤陽一 1996c. 寒冷地におけるホタルイ類雑草の種子生産量に及ぼす播種時期, 遮光程度および落水処理の影響. 雑草研究 41: 225—233.
- Switzer, C. M. 1957. The existence of 2,4-D resistant strains of wild carrot. Proc. North eastern Weed Control Conf. 11: 315—318.
- 武田俊司・湯山猛・R. C. Ackerson・R. F. Sauers・L. W. Neal・D. G. Gibian・P. K. Tseng・R. C. Weigel 1985. 新水稻用除草剤 DPX-84F5384 の作用特性. 雑草研究 30: 284—289.
- 竹松哲夫・近内誠登 1985. 水田除草の理論と実際 増補版 第 2 版. 博友社, 東京. 1—382.
- 竹松哲夫・近内誠登 1987. 畑作除草の理論と実際 第 1 版. 博友社, 東京. 89—171.
- 竹下孝史 2000. 除草剤開発の現状と今後の方向. 植物防疫の半世紀. 日本植物防疫協会. 131—137.
- Tanaka, Y., Yamawaki T. and Yoshikawa H. 1998. Factors affecting herbicidal activity of imazosulfuron against weeds in paddy fields. J. Weed Sci. Tech. 43: 195—202.
- 田中十城・金久保秀輝・濱村謙史朗・高橋宏和・竹下孝史 2001. 主要水田雑草の発生面積推定の試み. 植調 35: 175—183.
- 谷川晃一 1981. 北海道稲作における除草剤の合理的使用. 雑草研究 26: 215—220.
- 寺沼直美 2002. 茨城県におけるスルホニルウレア系除草剤抵抗性水田雑草の発生と対策試験. 関東雑草研究会第 14 回研究会講演要旨集: 3—8.
- 戸川義次 1969. わが国雑草防除研究の発展. 雑草研究 9: 1—4.
- 内川修・福島裕助・永尾宏臣・大段秀記 2002. 福岡県におけるスルホニルウレア系除草剤抵抗性雑草の発生と各種除草剤の効果. 雑草研究 47 (別): 60—61.
- 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: 13—20.
- Uchino, A., H. Watanabe, G. X. Wang and K. Itoh 1999. Light requirement in rapid diagnosis of sulfonylurea-resistant weeds of *Lindernia* spp. (Socophulariaceae). Weed Tech. 13: 680—684.
- Wang, G. X., H. Kohara and K. Itoh 1997. Sulfonylurea resistance in a biotype of *Monochoria korsakowii*. Proceedings of Brighton crop protection conference, Weeds. 311—318.
- 汪光熙・渡邊寛明・内野彰・伊藤一幸 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.
- 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. 362—363.
- Watanabe, T., T. Honma, K. Ito and M. Miyahara 1982.

- Paraquat resistance in *Erigeron philadelphicus* L. Weed Res. Japan 27:49—54.
- Watanabe, H., Mohd. Zuki Ismail and Nai Kin Ho 1997. Response of 2,4-D resistant biotype of *Fimbristylis milacea* (L.) Vahl. to 2,4-D dimethylamine and its distribution in Muda plain, Peninsular Malaysia. J. Weed Sci. Tech. 42: 240—249.
- 渡辺寛明 1987. ホタルイ類 (イヌホタルイ). 水田多年生雑草の生態. 宮原益次監修, デュボンジャパンリミテッド, 東京. 8-12.
- 渡辺寛明・宮原益次 1988a. イヌホタルイ種子の発芽に及ぼす種子の貯蔵条件及び発芽時の温度と光の影響. 雑草研究 33 (別): 155—156.
- 渡辺寛明・宮原益次 1988b. イヌホタルイ種子の出芽に及ぼす種子の貯蔵条件の影響. 雑草研究 33 (別): 153—154.
- 渡辺寛明・芝山秀次郎・宮原益次 1989. イヌホタルイの発生量が稚苗移植水稻の生育・収量に及ぼす影響. 雑草研究 34 (別): 81—82.
- 渡邊寛明・宮原益次・芝山秀次郎 1991a. 水田におけるイヌホタルイの生育と種子生産量. 雑草研究 36: 153—161.
- 渡邊寛明・宮原益次・芝山秀次郎 1991b. 水田土壌中におけるイヌホタルイ種子の生存状態と発生. 雑草研究 36: 362—371.
- 渡邊寛明 1998. スルホニルウレア抵抗性雑草の出現と水田の植生管理. 第 2 回植生管理研究会. 40—47.
- 渡辺賢・杉浦健司・朴待成・G, シュレーゲル 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 (CG113) 混合剤の除草効果. 雑草研究
43 (別): 26—27.
- 渡辺泰 1983. 除草剤抵抗性の現況. 薬剤抵抗性 第 1 版. 深見順一・上杉康彦・石塚皓造編集, ソフトサイエンス社, 東京. 327—341.
- 渡辺泰 1997. 除草剤. 植物保護の探求 第 1 版. 浅田三津男・荒木隆男・本間保男・嶺昭彦編集, 日本植物防疫協会. 91—110.
- 渡辺泰・広川文彦 1974. 一年生畑雑草の発生生態に関する研究 2. オオイヌタデ, シロザ, ヒメイヌビエ種子の圃場における一次休眠覚醒時期並びに覚醒過程における死滅現象について. 雑草研究 17: 29—32.
- 渡辺泰・広川文彦. 1975. 一年生畑雑草の発生生態に関する研究 3. 攪乱および非攪乱土壌における発生と地中活性種子密度の変化. 雑草研究 19: 14—19.
- 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. 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.
- 吉田修一・吉岡俊人・佐藤茂 2002. 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—. 植調 36: 11—21.

Summary

Scirpus juncooides Roxb. var. *ohwianus*. T. Koyama (*S. juncooides*), a perennial sedge, was one of the most serious paddy weeds since 1960 until the advent of modern herbicides in the 1980's. *S. juncooides* was easily controlled by sulfonylurea (SU) in the 1990's in Japan. Since around 1995, however, this sedge has been observed in various parts of Hokkaido, Japan in spite of the usage of SU. This study was conducted first to determine the possible reasons for the survival of *S. juncooides* after SU treatment, then to find how herbicide-resistant *S. juncooides* appeared, and finally to establish a new method for their control.

The first chapter of this thesis is a review of the history of SU usage in Hokkaido, and studies on the biological characters of herbicide-resistant weeds and their control. In chapters 2 – 6, results of the studies on the response of *S. juncooides* to SU are described. For establishment of the control method, I surveyed the geographical distribution and level of infestation of *S. juncooides*, and examined the effects of several kinds of herbicides having different sites of action on the SU-resistant *S. juncooides*. In addition, to determine the effective time and duration of herbicide application, I examined the germinability and surviving period of *S. juncooides* seed.

The results are summarized as follows.

- 1) Using the seeds of SU-resistant *S. juncooides* collected from paddy fields in the Hokkaido and Tohoku regions, the northern part of Japan, the seed germinability and survivability were examined at the Hokkaido Central Agricultural Experiment Station and National Agricultural Research Center for the Tohoku region. *S. juncooides* sampled at Iwamizawa city, Nakafurano-cho and Kuriyama-cho in Hokkaido was SU-resistant, and showed cross-resistance to other herbicides. The lethal dose (LD₅₀) of SU to the resistant biotype was 40 to 140 times higher than that to the susceptible biotype. This is the first confirmation of the occurrence of SU-resistant *S. juncooides* in Japan. The geographical distribution and level of infestation of SU-resistant *S. juncooides* were surveyed. The SU-resistant biotype was distributed in paddy fields in Iwamizawa city and other districts, where *S. juncooides* occurred at a high density before 1980. Since all paddy fields in Hokkaido had been infested with *S. juncooides* in the 1970's, SU-resistant *S. juncooides* has a potential to occur all over Hokkaido.
- 2) The effects of various herbicides on SU-resistant *S. juncooides* were examined in the paddy field in Iwamizawa City, where the SU-resistant biotype was collected. I found that it is possible to control the resistant biotypes by applying combined herbicides including either one of the following eight herbicides whose sites of action were different from that of SU; clomeprop, benfuresate, bromobutido, benzobicyclon, molinate, pyrazolynate, pyrazoxyfen and MCPB. Since the number of paddy weeds other than *S. juncooides* was only a few in the paddy field infested with *S. juncooides*, such paddy field would be weeded by applying limited kinds of low-priced herbicides.
- 3) Under low-temperature conditions, at 15 °C, the SU-resistant biotype of *S. juncooides* germinated at a higher rate and grew more rapidly than the sensitive biotype. There was no significant difference between resistant and sensitive biotypes in the survival rate for 30 to 40

months, and the ratio of resistant to sensitive biotype was kept at 70 – 80% for three years. In Hokkaido, air and water temperatures are very low during the weed emergence period after rice transplanting, and it is important to select the time of herbicide application, observing the weed emergence from the time of rice transplanting. It is also important to apply the effective herbicides for longer than five years because the seed of a resistant biotype survives for a long period.

At present, SU-resistant *S. juncoides* has been identified in Miyagi (1999), Mie and Fukuoka (2001) and Aomori and Ibaraki Prefectures (2002) in addition to Hokkaido. In the future, the spread of the SU-resistant biotype all over the country is anticipated, and it is necessary to establish an effective controlling method suitable for each district. For its effective control, the results of this study may be useful. Furthermore, knowledge of germinability at a low temperature and long survivability of the SU-resistant biotype may contribute to the establishment of an effective controlling method for multiple herbicide-resistant weeds.