北海道におけるスルホニルウレア系除草剤抵抗性イヌホタルイ (*Scirpus juncoides* Roxb. var. *ohwianus* T. Koyama) の生態と 防除に関する実証的研究

古原 洋*

キーワード：スルホニルウレア系除草剤抵抗性、イヌホタルイ、発芽、生存期間、防除

Key words: sulfonylurea-herbicide resistance, *Scirpus juncoides* Roxb. var. *ohwianus* T. Koyama, germination, viability, management

北海道におけるイヌホタルイの発生は、スルホニルウレア系除草剤(SU 剤)によって、1986年の145,794 ha から*¹、1996年にはその約1/5の32,062ha にまで減少した*²。しかし、一方で1995年にはSU 剤を含有する一発処理剤が水稲作付け面積の117%で使用されており³、SU 剤に過度に依存した状況を招く結果となった(第1表)。

SU 剤に依存した雑草防除が行われる背景のもと、1993年から1996年にかけて北海道の岩見沢市、中富良野町および栗山町で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が認められた(第2表)。すなわち残草問題の発生である。これらの水田では除草剤の不適切な使用は認められなかったことから、抵抗性イヌホタルイの発生が考えられた。

ここでは、残草問題が発生した水田で採取したイヌホタルイのSU 剤に対する感受性⁷⁾、北海道におけるイヌホタルイの分布と有効な除草剤の検討¹⁰⁾、種子

の低温発芽性⁹⁾および生存期間¹¹⁾に関する研究をとりまとめ、北海道における抵抗性イヌホタルイの防除対策として報告する。

1. SU 剤に対する感受性

これら3地域で採取されたイヌホタルイのSU 剤(ベンスルフロンメチル、ピラゾスルフロンエチルおよびイマゾスルフロン)に対する薬量反応の検討結果を第1図に示した。北海道立中央農業試験場(中央農試)の水稲除草剤試験水田で採取した感受性の集団では、ベンスルフロンメチル粒剤についてみると標準使用量の1/3倍量以上の薬量でほぼ枯死したが、岩見沢市で採取した集団の対無処理区比(生存個体数/無処理区個体数×100：生存率の代替え指標として使用)は、3倍量でも50%以上であった。両集団の薬量反応にみられる上記の傾向は、ピラゾスル

第1表 北海道の水稲除草剤使用状況^{1),3)}

分類	1990年	1995年	2000年	
初期剤	20%	19%	23%	
一発処理剤 ²⁾	SU 系	71%	117%	66%
	非 SU 系	20%	7%	27%
中期剤	9%	5%	4%	
後期剤	7%	1%	7%	
水稲作付面積(1000ha)	14.6	16.2	13.5	

1) 数値は水稲作付け面積に対する割合(%)。

2) SU 系は一発処理剤のうち、スルホニルウレア系除草剤を含有することを、非 SU 系は含有しないことを示す。

3) ホクレン農業課資料より作成。

*北海道立中央農業試験場

〒069-1395 北海道夕張郡長沼町東6線北15号

E-mail:koharah@agri.pref.hokkaido.jp

Hiroshi Kohara: Practical study for biology and control of *Scirpus juncoides* Roxb. var. *ohwianus* T. Koyama resistant to sulfonylurea herbicides in Hokkaido prefecture, Japan.

Hokkaido Central Agricultural Experiment Station, Higashi6 Kita15 Naganuma-cho, Hokkaido 069-1395, Japan

(2004年4月28日受付, 2004年5月1日受理)

*¹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.

*²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, pp.7.

第 2 表 イヌホタルイの残草問題が発生した水田の特徴

発生市町名 ¹⁾	除草剤の 適正使用	他草種に 関する残草 の有無	スルホニルウレア系除草剤 使用の初年目 (A)	残草発生を 最初に気付いた年 (B)	B-A 年数	残草 多発生の 有無 ⁵⁾
岩見沢市	良 ²⁾	なし	1989	1993	5	なし
中富良野町	良 ²⁾	なし ³⁾	1993	1996	4 ⁴⁾	不明
栗山町	良 ²⁾	なし	1990	1995	6	なし

- 1) 3 市町ともに残草初年目以降もスルホニルウレア系除草剤が使用され、残草が継続した。
2) 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。
3) 一部にタイヌビエが残草。
4) 1992年以前の使用除草剤が不明なため、B-A 年数は5年以上となる可能性がある。
5) 残草が始まる前5ヶ年程度における残草多発生の有無。

第 1 図 3 種のスルホニルウレア系除草剤に対するイヌホタルイの反応

- 1) ●, ○; ペンスルフロンメチル0.25%粒剤, 標準使用量=75g a.i./ha.
■, □; ピラゾスルフロンエチル0.07%粒剤, 標準使用量=21g a.i./ha.
▲, △; イマゾスルフロン0.3%粒剤, 標準使用量=90g a.i./ha.
2) 処理時期: 発生始〜1 葉期。
3) 無処理区比=生存個体数/無処理区個体数×100。
4) 図中の垂直線は標準誤差。

フロンエチル粒剤とイマゾスルフロン粒剤に対する反応でも同様であり、両集団の SU 剤に対する感受性に大きな差があった。岩見沢市で採取した集団の各除草剤に対する半数致死量 (LD₅₀) は、感受性の集団に対して60〜140倍の値を示した。また、中富良野

町と栗山町で採取した集団についても、岩見沢市の集団と同様の薬量反応を示し、LD₅₀は40〜120倍であった。この結果から、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は、日本で初めて SU 剤に対して抵抗性であると確認された。

2. 北海道におけるイヌホタルイの分布と抵抗性
イヌホタルイに有効な除草剤

抵抗性イヌホタルイの発生が明らかになったことから、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、それとも広い地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対策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が優先される。逆に広域で発生する可能性が高ければ、防除対策には誰でもが対応できる簡便性、すぐに対策を施せる迅速性および低コストであることが要求される。

まず、過去の北海道における発生状況を見るため、1982年の発生状況を第 2 図に示した*3。水稻作付け面積の10%以上が防除の対象地域となっている地域、すなわち多発生している地域を黒および灰色で示した。また、黒で示した地域では抵抗性イヌホタルイの発生が確認されている (岩見沢市、中富良野町、栗山町)。つまり、1982年の時点で発生の多い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

*3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稻編 (1), pp.5-57.

第2図 北海道のイヌホタルイの発生状況(1982年)

- 1) 黒および灰色の地域は、ともに1982年に水稲作付面積の10%以上が防除の対象面積となっていた地域。また、黒の地域は1998年に抵抗性イヌホタルイの発生が確認されている(岩見沢市, 栗山町, 中富良野町)。

は, 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の集団と感受性の集団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, 以上の5項目が要因とされ, ②については集団の大きさ, とくに種子密度と分布域が関与するとされているので⁵⁾, 抵抗性イヌホタルイが発生する可能性は灰色で示した地域にもあると考えられる。

抵抗性イヌホタルイが北海道の広域で発生する可能性のあることが明らかとなったため, 簡便性, 迅速性および低コストな防除対策の一つとして, 除草剤を用いる対策を検討し, その結果を第3表に示した。SU剤とは異なる作用機作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の残草量は $0.5\text{g}/\text{m}^2$ 以下, 無処理区の残草量に対して10%以下で, 除草効果が認められた。また, これらを含む混合剤の効果も確認された。異なる作用機作を有する除草剤を使

第3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	残草量 ²⁾ (g/m^2) 平均 $\pm$ S.E.	無処理区比(%)
無処理				4.80 ± 1.05	100
ベンスルフロンメチル粒剤	0.25%	1~1.5葉	3kg	8.75 ± 3.99	182
クロメプロップフロアブル剤	10%	発生前~始	450ml	0.00 ± 0.00	0
クロメプロップフロアブル剤	10%	1~1.5葉	450ml	0.34 ± 0.12	7
ベンフレセート粒剤	2%	発生前~始	3kg	0.01 ± 0.00	0
ベンフレセート粒剤	2%	1~1.5葉	3kg	0.21 ± 0.08	4
プロモブチド粒剤	4%	発生前~始	1.5kg	0.01 ± 0.01	0
プロモブチド粒剤	4%	1~1.5葉	1.5kg	0.51 ± 0.11	11
ベンゾピシクロンフロアブル剤	5.7%	1~1.5葉	500ml	0.06 ± 0.06	1
ベンゾピシクロンフロアブル剤	5.7%	発生前~始	500ml	0.13 ± 0.05	3
モリネート粒剤	8%	発生前~始	3kg	0.09 ± 0.09	2
モリネート粒剤	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

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。

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が指摘されており¹²⁾、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機作の異なる除草剤へ切り替えることで防除が可能である。

3. 抵抗性イヌホタルイ種子の発芽特性

抵抗性イヌホタルイの防除対策として、SU 剤とは作用機作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、除草剤の処理時期と関連し、冷涼な北海道に

おける防除対策を確立する上で極めて重要な意味を持つ。SU 剤に対して抵抗性を示す他の雑草の発芽をみると、抵抗性トゲチシャ (*Lactuca serriola*) では発芽が優れ¹⁾、抵抗性ホウキギ (*Kochia scoparia*) で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と報告されている^{4),6)}。そこで、抵抗性 8 集団、感受性 6 集団を供試し、主に北海道の雑草発生初期の平均気温である 15°C での発芽を検討した。また、北海道では融雪から入水までの期間、水田の乾燥が奨励されていることから、乾燥の影響を加味して検討を行った。

その結果、抵抗性イヌホタルイの多くは乾燥処理の有無に関わらず 15°C の低温下において高い発芽率を示し、発芽速度も速い傾向が認められた (第 3 図)。ただし、感受性の集団との差異がみられない抵抗性の集団もあった。このことは一概に抵抗性イヌホタルイが低温発芽性に優れると言い切れないことを示している。しかし、抵抗性イヌホタルイの防除対策を確立する場合には、抵抗性イヌホタルイのすべてが低温発芽性に優れると想定し、使用時期を逸しないように注意を喚起する対応が生産現場では必要と判断される。

4. 抵抗性イヌホタルイ種子の土壌中での生存期間

抵抗性イヌホタルイが発生した水田では、前述の有効な除草剤を用いて何年間、防除を継続する必要があるのかが不明である。言い換えると、除草剤を使用する防除指針を策定するには、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に関する知見が必要となる。SU 剤に対して抵抗性を示す他の雑草をみると、抵抗性および感受性イヌカネガラシ (*Sisymbrium orientale*) の生存期間に差は認められず³⁾、また、抵抗性および感受性トゲチシャ²⁾についても生存期間には同様に差がなかったと報告されている。そこで、抵抗性 3 集団と感受性 1 集団を供試し、攪乱のない水田耕土下層および攪乱のある耕土層に埋土した条件での検討を行った。

水田耕土下層に埋土した種子の生存率について、埋土後 4 ヶ月の生存率を 100% とした相対生存率で第 4 図に示した。感受性の集団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

第 3 図 15°C 湛水土壌条件下の発芽率と発芽速度の関係

1) 直径 6 cm のシャーレに埴壤土を 4 ml、水道水 20 ml を入れ土壌表面に 50 粒播種した状態で試験を行った。乾燥処理は、乾燥処理開始直前の重量に対し 70 ~ 80% に乾燥させた種子を供試した試験。

2) 乾燥処理なしの集団：○：感受性，●：抵抗性。
乾燥処理ありの集団：□：感受性，■：抵抗性。

3) 発芽速度は次式により算出した。

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

(Ni：播種 50 粒のうち、i 日目の発芽種子数)

第4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
中央農試(感受性○)=97%,
岩見沢市(抵抗性●)=87%,
中富良野町(抵抗性■)=97%,
栗山町(抵抗性▲)=93%。
- 3) 図中の垂直線は標準誤差。

れに比較して抵抗性の集団の相対生存率は、やや低い傾向がみられたが80%以上であった。次に水田耕土層に埋土した種子については、埋土3年後の時点における生存率を調査したところ、感受性の集団で69%, 抵抗性の集団では39~62%の値を示し、抵抗性の集団が僅かに低い傾向がみられたが、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%と推定された(第4表)。これらの結果から、北海道の水田において抵抗性イヌホタルイの種子が

第4表 水田耕土層のイヌホタルイ種子の生存状況¹⁾

採取地(感受性)	生存率(%) ²⁾	減少率(%) ³⁾
岩見沢市(抵抗性)	39±6	61
中富良野町(抵抗性)	62±9	38
栗山町(抵抗性)	60±8	40
中央農試(感受性)	69±13	31

- 1) 数値は埋土後3年目(2001年)の値。
- 2) 生存率は平均値±標準誤差。
分散分析の結果、集団間に統計的な有意差なし。
- 3) 減少率=100-生存率 で算出した推定値。

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、つまり、毎年、平均で10~20%で減少すると仮定すれば、水田耕土層から生存個体が消滅するには5~10年の期間が必要になると推察される。北海道では、抵抗性イヌホタルイに対して短期的な対応では不十分であり、感受性の集団と同様に5年以上の中・長期的な対応が必要と考えられる。

以上、SU剤に対する抵抗性イヌホタルイを日本で最初に発見するとともに、作用機作の異なる除草剤によって防除が可能であることを明らかにした。さらにその発生と生存能力に関する生態的特性を明らかにした。これらの知見は、①水稻移植直後からイヌホタルイの発生を観察し、除草剤の処理時期を逸しないように注意して使用する、②5年以上の中・長期的な対策が必要である、といった現場での普及指導に利用できる有益な情報である。今後、新たに抵抗性雑草が発生した地域で効果的な防除方法を検討する際に、本研究が役立つことを期待する。

謝 辞

本研究を実施するにあたって、北海道立中央農業試験場、北海道農業改良普及センター、東北農業研究センター、日本植物調節剤協会およびメーカーなどの多くの方々からご指導とご協力を賜りました。この場をお借りして深くお礼を申し上げます。

発表論文および引用文献

- 1) Alcocer-Ruthling, M., D. C. Thill and B. Shafii 1992. Differential competitiveness of Sulfonylurea resistant and susceptible Prickly Lettuce (*Lactuca serriola*). *Weed Technology* **6**, 303-309.
- 2) Alcocer-Ruthling, M., D. C. Thill and B. Shafii 1992. Seed biology of Sulfonylurea-resistant and susceptible biotypes of Prickly Lettuce (*Lactuca serriola*). *Weed Technology* **6**, 858-864.
- 3) Boutsalis, P. and S. B. Powles 1998. Seedbank characteristics of herbicide-resistant and susceptible *Sisymbrium orientale*. *Weed Research* **38**, 389-395.
- 4) Curtis, R. T., D. C. Thill and B. Shafii 1994. Germination characteristics of sulfonylurea -

- resistant and -susceptible *Kochia* (*Kochia scoparia*). Weed Science 42, 50-56.
- 5) Diggle, A. J. and P. Neve 2001. The Population Dynamics and Genetics of Herbicide Resistance- A modeling approach. In "Herbicide resistance and world Grains. First editon." ed. by Powles S. B. and D. L. Shaner, CRC PRESS, Boca Raton, pp. 61-99.
- 6) Dyer, W. E., P. W. Chee and P. K. Fay 1993. Rapid germination of Sulfonyleurea-resistant *Kochia scoparia* L. accessions is associated with elevated seed levels of branched chain amino acid. Weed Science 41, 18-22.
- 7) 古原 洋・今野一男・竹川昌和 1999. 北海道におけるスルホニルウレア系除草剤抵抗性イヌホタルイ (*Scirpus juncoides* Roxb. var. *ohwianus*. T. Koyama) の出現. 雑草研究 44, 228-235.
- 8) 古原 洋・内野 彰・渡邊寛明 2001. スルホニルウレア系除草剤抵抗性イヌホタルイ (*Scirpus juncoides* Roxb. var. *ohwianus*. T. Koyama) の低温条件下での発芽. 雑草研究 46, 175-184.
- 9) 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. pp.42-44.
- 10) 古原 洋・山崎信弘 2003. 北海道の水田における難防除雑草ミズアオイ及びイヌホタルイの分布実態と除草剤による防除の検討. 日本作物学会紀事 72, 100-103.
- 11) 古原 洋・渡邊寛明・伊藤一幸 2003. 北海道産スルホニルウレア系除草剤抵抗性イヌホタルイ (*Scirpus juncoides* Roxb. var. *ohwianus* T. Koyama) 3集団の埋土後3年までの種子の生存状況. 雑草研究 48, 1-8.
- 12) Matthews, J. M. 1994. Management of herbicide resistant weed populations. In "Herbicide resistance in plants. First editon." ed. by Powles S. B. and J. A. M. Holtum, CRC PRESS, Boca Raton. pp.317-335.