

ALS 阻害剤抵抗性イヌホタルイの簡易検定法とその利用による秋田県の発生実態調査

秋田県農業試験場
生産環境部

薄井 雄太

はじめに

イヌホタルイ (*Schoenoplectus juncooides* (Roxb.) Palla) はカヤツリグサ科の多年生雑草であるが、水田では主に種子で繁殖し、水稲作の主要雑草となる。近年は、スルホニルウレア系除草剤 (SU 剤) をはじめとする ALS 阻害剤に対する抵抗性を示すイヌホタルイ (以下、抵抗性イヌホタルイとする) が全国的に確認されており、抵抗性イヌホタルイを適切に防除し、管理していく必要が生じている。秋田県においても抵抗性イヌホタルイの発生が確認されており、これまで地域としてまとまった発生事例は報告されていないものの、全県的に発生があるものと考えられる (三浦 2011)。そのため、県内の抵抗性イヌホタルイの発生実態を把握し、適切な対策を提示することが求められている。

ALS 阻害剤の作用点はアセト乳酸合成酵素 (ALS) であり、その抵抗性は、ALS のアミノ酸置換によって引き起こされる。ALS 阻害剤抵抗性を引き起こすアミノ酸置換部位としては、Ala₁₂₂, Pro₁₉₇, Ala₂₀₅, Asp₃₇₆, Arg₃₇₇, Trp₅₇₄, Ser₆₅₃, Gly₆₅₄ の 8 部位が明らかとなっており (Yu & Powels 2013)、これらのアミノ酸置換部位や置換アミノ酸の種類に応じて多様な交差抵抗性が認められる (Tranel *et al.* 2019)。イヌホタルイでは Pro₁₉₇ 部位でアミノ酸置換した ALS を有する系統 (Pro₁₉₇ 置換系統)

が主に SU 剤にのみ抵抗性を示すのに対し、Trp₅₇₄ 置換系統は SU 剤を含む複数種の ALS 阻害剤に交差抵抗性を示す (Uchino *et al.* 2007)。この特徴は他草種でも同様であり、特に Trp₅₇₄ 置換系統は ALS 阻害剤に広く交差抵抗性を示すため注意が必要となっている (Tranel *et al.* 2019)。これらのことから、抵抗性イヌホタルイの防除や管理に際しては、アミノ酸置換が異なる抵抗性バイオタイプ別の発生実態を把握する必要がある。これまでプロピリスルフロロンやピリミスルファンなど、Pro₁₉₇ 置換系統に効果の高い「新規 ALS 阻害剤」と呼ばれる除草剤成分が開発されているが (Ikeda *et al.* 2011; Asakura *et al.* 2012)、これらも Trp₅₇₄ 置換系統に対しては効果が低いことが想定される。従って、それらの利用を考える上では、抵抗性タイプ別の発生実態の把握が非常に重要となる。

イヌホタルイの抵抗性を簡便かつ迅速に行う診断方法としては、酵素活性法 (内野 2002; 内野ら 2007) や発根法 (Hamamura *et al.* 2003)、地上部再生法 (大野ら 2004) の報告があり、いずれも生育期のイヌホタルイ植物体を用いて行う検定法である。一方、種子を用いる方法としてポット試験があるが、抵抗性の診断に数週間を要し、簡便で迅速な方法ではない。そこで本稿では、薄井ら (2017) の報告を主に引用し、種子を用いた簡便かつ迅速な抵抗性検定である実生検定法について述べる。また、実生検定法による新規 ALS 阻害剤に対する反応も調べ、

その交差抵抗性をもとに抵抗性バイオタイプのアミノ酸置換部位の差異を推定した。さらに秋田県内のイヌホタルイに実生検定法を適用し、アミノ酸置換が異なる抵抗性バイオタイプ別の発生実態を調査した。

1. 実生検定法の検討

(1) 実生検定法の検証

青木・内野 (2008) の報告に従い、イヌホタルイ種子を除草剤水溶液へ浸し、発芽や初期生育に与える除草剤濃度の影響を検討した。供試系統は北海道、東北、九州の感受性 5 系統と抵抗性 5 系統とした (表 -1)。イヌホタルイには ALS1 と ALS2 の 2 種類の ALS があり、例えば秋田県由利本荘市系統は ALS2 において Trp₅₇₄ 部位が Leu にアミノ酸置換している (以下、Trp₅₇₄Leu_ALS2 抵抗性系統と記す) ことが分かっている。除草剤は SU 剤の単剤として市販されているチフェンスルフロロンメチル水和剤 (有効成分含有率 75%) を用いた。イヌホタルイ種子は 25% 水分含量の埴壤土に混入して 5°C に置き、3 ヶ月以上保存して休眠覚醒したものを使用した。14 mL の蓋付きプラスチック製試験管に除草剤水溶液 5 mL (0 または 75 ng a.i./mL チフェンスルフロロンメチル水溶液) を入れてイヌホタルイ種子を 3 粒ずつ 3 反復で浸し、30°C 明条件に設定したインキュベーター内に置床した。置床 5 日後に鞘葉と第 1 葉

表-1 供試イヌホタルイ系統における鞘葉と第1葉身長の除草剤反応

採取地	バイオタイプ	アミノ酸置換と遺伝子座	文献	鞘葉 (mm)		第1葉身長 (mm)	
				無処理	75 ng a.i./mL チフェンスルフロンメチル処理	無処理	75 ng a.i./mL チフェンスルフロンメチル処理
北海道岩見沢市	感受性		古原ら1999	16.8 ± 0.2 (100)	14.9 ± 0.7 (89)	11.6 ± 0.3 (100)	3.0 ± 0.2 (26)
宮城県大郷町	感受性		Imaizumi <i>et al.</i> 2013	13.4 ± 0.0 (100)	12.1 ± 0.3 (90)	11.6 ± 0.7 (100)	3.9 ± 0.2 (34)
秋田県大仙市	感受性		Uchino <i>et al.</i> 2007	15.5 ± 0.4 (100)	15.3 ± 0.5 (99)	12.1 ± 0.5 (100)	2.3 ± 0.4 (19)
秋田県由利本荘市	感受性			12.4 ± 0.1 (100)	11.0 ± 0.4 (89)	11.4 ± 0.6 (100)	3.5 ± 0.1 (31)
福岡県宮若市	感受性		Imaizumi <i>et al.</i> 2013	15.6 ± 0.5 (100)	15.1 ± 0.2 (97)	12.3 ± 0.4 (100)	3.7 ± 0.1 (30)
北海道中富良野町	抵抗性	Pro ₁₉₇ Ser_ALS1	Uchino <i>et al.</i> 2007	15.6 ± 1.0 (100)	16.5 ± 0.2 (106)	10.6 ± 0.6 (100)	11.3 ± 0.2 (106)
岩手県紫波町	抵抗性	Pro ₁₉₇ His_ALS2	Uchino <i>et al.</i> 2007	14.9 ± 0.4 (100)	14.4 ± 0.1 (96)	12.1 ± 0.3 (100)	10.8 ± 0.3 (89)
宮城県大崎市	抵抗性	Pro ₁₉₇ Leu_ALS1	Uchino <i>et al.</i> 2007	16.1 ± 0.6 (100)	15.9 ± 0.2 (99)	14.6 ± 0.3 (100)	14.5 ± 0.4 (100)
秋田県由利本荘市	抵抗性	Trp ₅₇₄ Leu_ALS2	Uchino <i>et al.</i> 2007	14.9 ± 0.6 (100)	14.8 ± 0.2 (99)	15.2 ± 0.1 (100)	14.2 ± 0.1 (93)
福岡県宮若市	抵抗性	Pro ₁₉₇ Ser_ALS2	Imaizumi <i>et al.</i> 2013	14.1 ± 0.5 (100)	15.0 ± 0.4 (107)	12.6 ± 0.1 (100)	12.1 ± 0.4 (96)

1) 括弧内の数値は無処理区比(%)を示す。

2) 秋田県由利本荘市の感受性系統は、迅速検定法(内野・渡邊2007)により確認した。

の葉身長を調べた。第1葉の葉身長は、株元から第1葉の先端までの長さとして胚軸の長さとの差を求めて算出した。

いずれの系統においても鞘葉には除草剤処理の影響はなく(表-1)、また種子の発芽率も同様に影響はなかった。一方、第1葉については、感受性系統で除草剤処理により伸長が強く阻害され、無処理区比で葉身長が34%以下となった。抵抗性系統(Pro₁₉₇Ser_ALS1 系統, Pro₁₉₇His_ALS2 系統, Pro₁₉₇Leu_ALS1 系統, Trp₅₇₄Leu_ALS2 系統, Pro₁₉₇Ser_ALS2 系統)では無処理区と同様に旺盛に生育し、やや抑制される系統もあったが、無処理区比で少なくとも89%以上に伸長した(表-1)。このように、いずれの供試系統においても、チフェンスルフロンメチル濃度を75 ng a.i./mLとし、置床5日後に第1葉の伸長量を観察することで、ALS阻害剤抵抗性を識別することが可能であった。

(2) 新規 ALS 阻害剤に対する実生の除草剤濃度反応

次に除草剤として新規 ALS 阻害剤を用いた場合の除草剤濃度条件について検討した。供試系統は、既報(Uchino *et al.* 2007; Imaizumi *et al.* 2013)で報告があった秋田県大仙市産(感受性系統)、福岡県宮若市産(Pro₁₉₇Ser_ALS2 抵抗性系統)、宮城県大崎市産(Pro₁₉₇Leu_ALS1 抵抗性系統)、秋田

県由利本荘市産(Trp₅₇₄Leu_ALS2 抵抗性系統)の4系統を用いた。新規 ALS 阻害剤は市販のプロピリスルフロン懸濁剤(有効成分含有率1.7%)およびピリミスルファン粒剤(同2.7%)を用いた。対照剤としてSU剤のベンスルフロンメチル顆粒水和剤(同60%)も用いた。14 mLの蓋付きプラスチック製試験管に除草剤水溶液5 mL(0, 6, 60, 600, 6000 ng a.i./mLベンスルフロンメチル水溶液, 0, 1.7, 17, 170, 1700 ng a.i./mLプロピリスルフロン水溶液および0, 2.7, 27, 270, 2700 ng a.i./mLピリミスルファン水溶液)を入れて上

記と同様に休眠覚醒したイヌホタルイ種子を3粒ずつ浸し、30°C明条件に設定したインキュベーター内に置床した。試験はそれぞれの除草剤について、3反復で行った。置床5日後に鞘葉と第1葉身長を上記と同様に調べた。

どの系統でも鞘葉については、ベンスルフロンメチル、プロピリスルフロンおよびピリミスルファンによる処理で、除草剤濃度が増加しても影響なく伸長した(図-1)。また種子の発芽率についても除草剤処理の影響はなかった。

ベンスルフロンメチル処理では、感受性系統の第1葉が600 ng a.i./mLで強い生育阻害を受けて伸長しなかつ

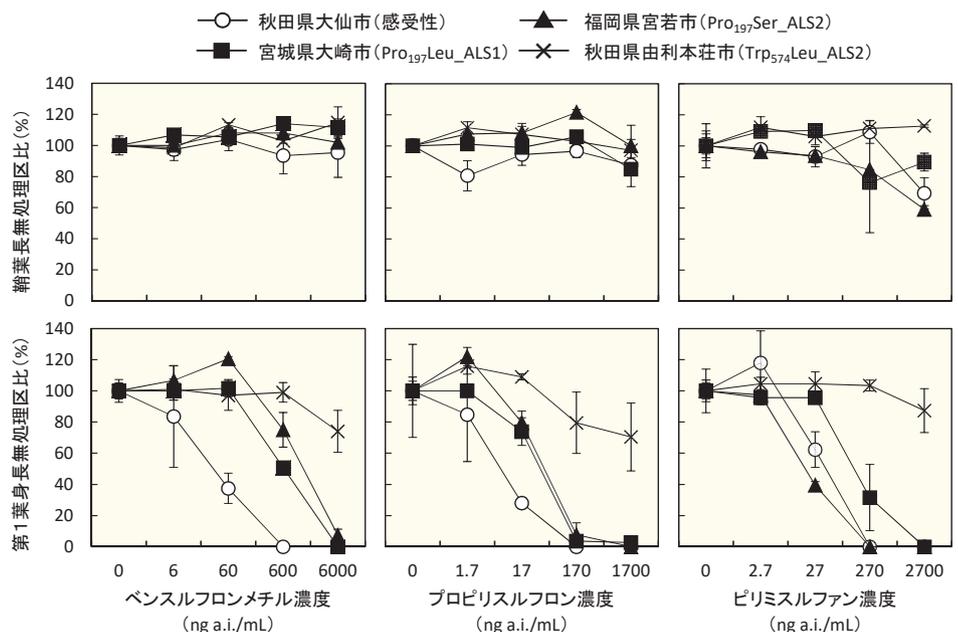


図-1 イヌホタルイ実生の生育における各種除草剤に対する濃度反応
1) 図中のエラーバーは標準誤差を示す。(n=3)

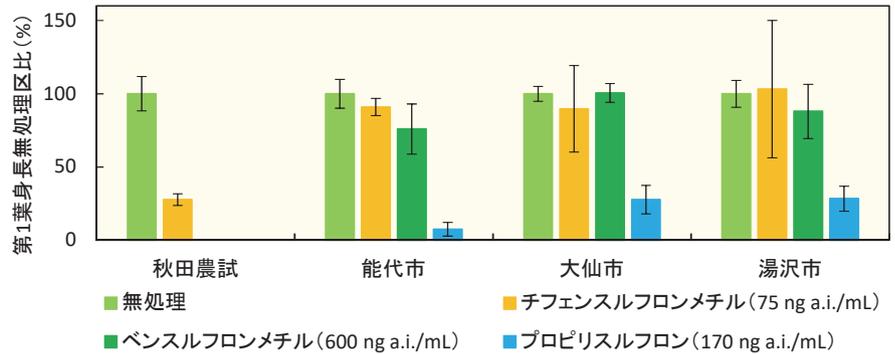


図-2 秋田県内のイヌホタルイ系統における実生検定の除草剤反応
1) 図中のエラーバーは標準誤差を示す。(n=3)

た。一方、Pro₁₉₇置換系統は600 ng a.i./mLではやや生育が抑制されたものの、無処理区比で51～75%にまで伸長し、6000 ng a.i./mLで生育が強く阻害された。Trp₅₇₄置換系統は6000 ng a.i./mLでやや生育が抑制されるものの、いずれの試験濃度でも旺盛に伸長した。このように、ベンスルフロンメチル濃度600 ng a.i./mLの処理であれば、感受性系統と抵抗性系統を明瞭に識別することができた。

プロピリスルフロン処理では、感受性系統及びPro₁₉₇置換系統で170 ng a.i./mL以上の濃度で生育阻害が強く、第1葉はほとんど伸長しなかった(図-1)。一方、Trp₅₇₄置換系統では170 ng a.i./mL以上でやや生育が抑制されたものの、第1葉が旺盛に伸長し、第1葉の伸長と比較すると感受性系統及びPro₁₉₇置換系統の間では生育差が明瞭であった。このように、170 ng a.i./mLのプロピリスルフロン処理で第1葉の伸長を比較することにより、同じ抵抗性系統の中でもPro₁₉₇置換系統とTrp₅₇₄置換系統との識別は可能であった。

ピリミスルファン処理では、感受性系統及びPro₁₉₇Ser_ALS2系統で270 ng a.i./mL以上の濃度で生育阻害が強く、第1葉はほとんど伸長しなかった。Pro₁₉₇Leu_ALS1系統は270 ng a.i./mLで生育が強く阻害されたものの、第1葉は若干伸長し、その伸長が停止したのは2700 ng a.i./mLの濃度であった。Trp₅₇₄置換系統は2700 ng a.i./mLにおいてやや生育が抑制されたが、

試験した濃度ではいずれも旺盛に第1葉が伸長した。このように、ピリミスルファン処理の場合、2700 ng a.i./mLの条件でPro₁₉₇置換系統とTrp₅₇₄置換系統との識別は可能であった。

(3) まとめ

上述の結果から、実生検定法では、チフェンスルフロンメチル75 ng a.i./mLまたはベンスルフロンメチル600 ng a.i./mLの処理により抵抗性系統の判別が可能であった。またプロピリスルフロン170 ng a.i./mLまたはピリミスルファン2700 ng a.i./mLの処理により、Pro₁₉₇置換系統とTrp₅₇₄置換系統との識別が可能であり、交差抵抗性の差異を利用してアミノ酸置換部位を推定できることが示唆された(表-1, 図-1)。

しかし、イヌホタルイのPro₁₉₇置換系統では置換アミノ酸の種類によって抵抗性の強度に相違があることが報告されている(Sada *et al.* 2013a)。また発生頻度が少ないものの、Pro₁₉₇置換系統とTrp₅₇₄置換系統の他にAsp₃₇₆置換系統も報告されており(Sada *et al.* 2013b)、本試験で供試しなかったアミノ酸置換系統がどのように反応するかは、現時点では不明である。一方で、同じ置換アミノ酸であれば、置換のある遺伝子座に関わらず類似の抵抗性強度を示すことも報告されている(Sada *et al.* 2013a; Yamato

et al. 2013)。本試験でもPro₁₉₇Ser系統については遺伝子座に関わらず同様な反応が認められた。今後は、供試系統をさらに増やして検証を進めるとともに、検定に使用する除草剤濃度を複数用いることで、さらに置換アミノ酸の推定精度を高めていく必要がある。

2. 実生検定法の利用による秋田県の発生実態調査

秋田市の秋田県農業試験場(秋田農試)、能代市、大仙市、湯沢市から採取した4系統のイヌホタルイについて、実生検定法を利用してALS阻害剤抵抗性の検定を行った。またポット試験およびALS遺伝子の解析も行い、検定結果を検証した。イヌホタルイの系統は2014年9月4日および9月5日に各地でイヌホタルイが多く残草していた水田において数個体ずつ採取した。その後、採取した個体を1/5000aワグネルポットで生育させ、種子を採取した。採取した種子は0.5 mmのふるいにかけて埴壤土に混入し、25%の水分状態とした後、5°Cで約3ヶ月保存して休眠覚醒を行った。

(1) 実生検定

上記で検討した条件を用いて、ALS阻害剤抵抗性の実生検定を行った。その結果、秋田農試の系統はチフェンスルフロンメチル、ベンスルフロンメチル

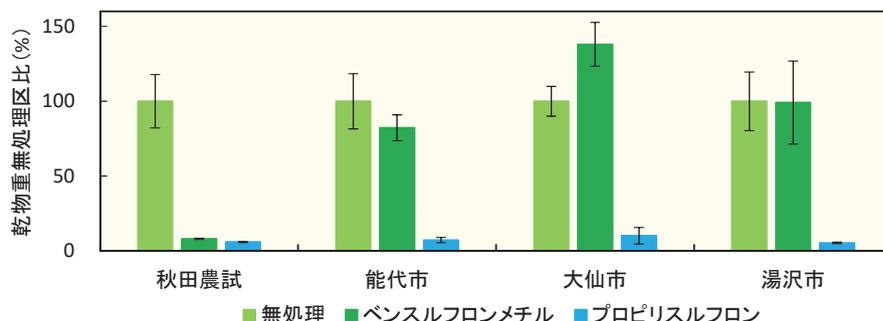


図-3 秋田県内のイヌホタルイにおけるポット試験の除草剤反応
1) 図中のエラーバーは標準誤差を示す。(n=3)

ルおよびプロピリスルフロンの各処理で強い生育阻害を受け、感受性を示した(図-2)。能代市、大仙市、湯沢市の系統は、チフェンスルフロンの処理およびベンスルフロンの処理で生育が阻害されなかったのに対して、プロピリスルフロンの処理では第1葉の伸長が無処理区比で7~28%となり、生育が強く阻害された。この実生検定の結果から、秋田農試系統は感受性系統、能代市、大仙市、湯沢市の系統はPro₁₉₇置換系統と診断された。

(2) ポット試験

休眠覚醒したイヌホタルイ種子を土から洗い出し、14 mLの蓋付きプラスチック製試験管中で5 mL水中に沈め、30°C明条件に3日間置いて催芽した。植壊土を詰めて代かきした1/10000aワグネルポットに催芽種子を3個体/ポットで移植し、30°C明条件14時間、20°C暗条件10時間に設定した人工気象器で生育させた。イ

ヌホタルイの活着を確認した移植3日後に、ベンスルフロンの処理3 kg 粒剤(有効成分含有率0.25%)とプロピリスルフロンの処理1 kg 粒剤(同0.90%)を標準使用量(それぞれ30 mg/ポット, 10 mg/ポット)で処理した。処理時のイヌホタルイ葉齢は初生葉期から線形葉2葉期の間であった。ポットは湛水状態を維持し、試験は各区3反復で行った。除草剤処理18日後に地上部の乾物重を調査した。

秋田農試の系統は、ベンスルフロンの処理およびプロピリスルフロンの処理で生育が阻害された(図-3)。能代市、大仙市、湯沢市の系統はベンスルフロンの処理に抵抗性を示したが、いずれもプロピリスルフロンの処理では無処理区比で10%以下となり、生育が強く阻害された。以上から、ポット試験と実生検定法の結果はよく一致した。

(3) ALS 遺伝子解析

(2)と同一条件で生育させたイヌホタルイの緑色組織からUchino *et al.* (2007)に従ってDNAを単離し、PCRにより各系統のALS遺伝子を増幅させた後、ダイレクトシーケンス法により塩基配列を決定した。

表-2に各供試系統のALS遺伝子解析結果を示した。秋田農試の系統はALSにアミノ酸置換がなかったのに対して、他の3系統にはアミノ酸置換があり、ALS1またはALS2におけるPro₁₉₇Ser置換系統であることが判明した。このように、ALS遺伝子解析と実生検定法による結果は一致した。

(4) まとめ

実生検定法とポット試験による検定結果はよく一致し、実生検定法による抵抗性検定の適用性が確認された。ま

表-2 秋田県内のイヌホタルイ系統におけるALS遺伝子の変異とコードされるアミノ酸

系統	アミノ酸部位(ALS1)															
	Ala ₁₂₂		Pro ₁₉₇		Ala ₂₀₅		Asp ₃₇₆		Arg ₃₇₇		Trp ₅₇₄		Ser ₆₅₃		Gly ₆₅₄	
	DNA配列	アミノ酸	DNA配列	アミノ酸	DNA配列	アミノ酸	DNA配列	アミノ酸	DNA配列	アミノ酸	DNA配列	アミノ酸	DNA配列	アミノ酸	DNA配列	アミノ酸
秋田農試	GCC	Ala	CCT	Pro	GCC	Ala	GAT	Asp	CGG	Arg	TGG	Trp	AGT	Ser	GGA	Gly
能代市	GCC	Ala	<u>ICT</u>	<u>Ser</u>	GCC	Ala	GAT	Asp	CGG	Arg	TGG	Trp	AGT	Ser	GGA	Gly
大仙市	GCC	Ala	CCT	Pro	GCC	Ala	GAT	Asp	CGG	Arg	TGG	Trp	AGT	Ser	GGA	Gly
湯沢市	GCC	Ala	CCT	Pro	GCC	Ala	GAT	Asp	CGG	Arg	TGG	Trp	AGT	Ser	GGA	Gly

系統	アミノ酸部位(ALS2)															
	Ala ₁₂₂		Pro ₁₉₇		Ala ₂₀₅		Asp ₃₇₆		Arg ₃₇₇		Trp ₅₇₄		Ser ₆₅₃		Gly ₆₅₄	
	DNA配列	アミノ酸	DNA配列	アミノ酸	DNA配列	アミノ酸	DNA配列	アミノ酸	DNA配列	アミノ酸	DNA配列	アミノ酸	DNA配列	アミノ酸	DNA配列	アミノ酸
秋田農試	GCC	Ala	CCT	Pro	GCC	Ala	GAT	Asp	CGG	Arg	TGG	Trp	AGT	Ser	GGA	Gly
能代市	GCC	Ala	CCT	Pro	GCC	Ala	GAT	Asp	CGG	Arg	TGG	Trp	AGT	Ser	GGA	Gly
大仙市	GCC	Ala	<u>ICT</u>	<u>Ser</u>	GCC	Ala	GAT	Asp	CGG	Arg	TGG	Trp	AGT	Ser	GGA	Gly
湯沢市	GCC	Ala	<u>ICT</u>	<u>Ser</u>	GCC	Ala	GAT	Asp	CGG	Arg	TGG	Trp	AGT	Ser	GGA	Gly

1)表中の下線部はアミノ酸置換部位であることを示す。

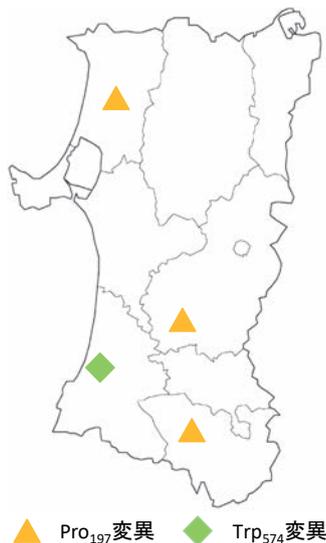


図-4 秋田県内の ALS 阻害剤抵抗性イヌホタルイの発生実態

1) 図中の Trp₅₇₄ 変異は既報 (Uchino *et al.* 2007) より引用。

た、実生検定法から能代市、大仙市、湯沢市の3系統が Pro₁₉₇ 置換系統であることが推定され、実際に ALS 遺伝子を解析したところ、3系統ともに Pro₁₉₇Ser 置換系統であったことから、実生検定法の推定と一致した。これらの結果から、実生検定法は ALS 阻害剤抵抗性の検定方法として有効であり、また、交差抵抗性の差異を利用してアミノ酸置換部位の推定も可能であった。

本試験で供試した秋田県内の系統および既報 (Uchino *et al.* 2007) における秋田県内の系統の採取地点を図-4に示した。これまで秋田県における SU 抵抗性雑草の発生状況は、県中部と県南部で多く、県北部では比較的少ないとされていた。これは県北部では県内でも特に気温や水温が低く、雑草が長期にわたって発生することから、SU 剤のみに頼らず、初期剤と中期剤による体系処理が従来から行われてきたためと考えられていた (田口 2003)。しかし、本試験の結果、県北部においても抵抗性イヌホタルイが存在することが明らかとなった。秋田県の SU 抵抗性雑草の対策としてはピラクロニルやプロモブチド、ペンゾビ

シクロン等の抵抗性対策成分の入った除草剤の使用や適期散布が指導されている。実際の除草剤散布においても抵抗性対策成分の入った除草剤が使用されてきたが、本試験の結果からは、県内での抵抗性バイオタイプの発生が全県的に拡大している可能性が考えられる。本試験で明らかとなった抵抗性バイオタイプはいずれも Pro₁₉₇Ser 置換系統であり、新規 ALS 阻害剤が有効であったが、ALS 阻害剤抵抗性雑草の発生状況については、防除に影響するアミノ酸置換部位の推定も含めて今後も継続的にモニタリングを行うことが重要と考えられる。

おわりに

実生検定法は、除草剤反応による交差抵抗性の差異を利用して、高度な実験設備を必要とせずに、ある程度のアミノ酸置換の推定が可能であり、本試験結果のように ALS 阻害剤抵抗性バイオタイプの実態把握に一定の有効性があると考えられる。また簡便な実生検定法の活用により、高度な実験設備と手法を必要とする ALS 遺伝子の解析の効率化につながることを期待される。さらに、農耕地の雑草管理手法としても有効成分の有用な情報が得られ、適切な除草剤の選択の一助となる。今後は、多様な変異系統について実生検定法の適用性を確認するとともに、他草種への適用も検討し、検定可能なアミノ酸置換部位の確認や置換アミノ酸の推定方法の検討、雑草種の適用範

囲の拡大を通じて実生検定法を更に改善していく必要がある。

引用文献

- 青木政晴・内野彰 2008. 実生の生育を利用したイヌホタルイの抵抗性簡易検定法. 雑草研究 53(別),162.
- Asakura, S. *et al.* 2012. Properties of controlled-release formulation of pyrimisulfan as a one-shot herbicide in a paddy field. *J.Pestic.Sci.* 37, 62-68.
- Hamamura, K. *et al.* 2003. Identification of sulfonylurea-resistant biotypes of paddy field weeds using a novel method based on their rooting responses. *Weed Biol.Manag.* 3, 242-246.
- Ikeda, H. *et al.* 2011. Evaluation of novel sulfonylurea derivatives with a fused heterocyclic moiety as paddy herbicides that control sulfonylurea-resistant weeds. *Weed Biol.Manag.* 11, 167-174.
- Imaizumi, T. *et al.* 2013. Genetic diversity within and between sulfonylurea-resistant and susceptible populations of *Schoenoplectus juncooides* in Japan. *Weed Res.* 53, 290-298.
- 古原洋ら 1999. 北海道におけるスルホニルウレア系除草剤抵抗性イヌホタルイ (*Scirpus juncooides* Roxb. var. *ohwianus*. T. Koyama) の出現. 雑草研究 44, 228-235.
- 三浦恒子 2011. 秋田県における SU 剤抵抗性雑草発生実態と対応策. 日本植物調節剤研究協会東北支部会報 46, 19-20.
- 大野修二ら 2004. スルホニルウレア系除草剤抵抗性簡易検定法としての地上部再生法の確立. 雑草研究 49, 277-283.
- Sada, Y. *et al.* 2013a. Resistance levels of sulfonylurea-resistant *Schoenoplectus juncooides* [Roxb.] Palla having various Pro₁₉₇ mutations in acetolactate synthase to imazosulfuron, bensulfuron-methyl, metsulfuronmethyl and imazaquin-ammonium. *Weed Biol. Manag.* 13, 53-61.

Sada, Y. et al. 2013b. Characterization of sulfonylurea-resistant *Schoenoplectus juncooides* having a target-site Asp (376) Glu mutation in the acetolactate synthase. Pestic.Biochem.Physiol. 107, 106-111.

田口奈穂子 2003. 秋田県における水田雑草の発生状況と防除対策. 今月の農業 2月号, 17-20.

Tranel, P.J. et al. 2019. Mutations in herbicide-resistant weeds to ALS inhibitors. <http://www.weedscience.com> (2019年12月1日アクセス確認)

薄井雄太ら 2017. イヌホタルイ (*Schoenoplectus juncooides*) 実生の除草剤反応を利用したアセ

ト乳酸合成酵素 (ALS) 阻害剤交差抵抗性の簡易検定法とその利用による秋田県の発生実態調査. 雑草研究 62, 126-133.

内野彰 2002. スルホニルウレア系除草剤抵抗性水田雑草の ALS 活性を用いた迅速検定法の確立. 雑草研究 47, 197-201.

Uchino, A. et al. 2007. Molecular basis of diverse responses to acetolactate synthase-inhibiting herbicides in sulfonylurea-resistant biotypes of *Schoenoplectus juncooides*. Weed Biol. Manag. 7, 89-96.

内野彰ら 2007. 数種水田雑草におけるスルホニルウレア系除草剤抵抗性迅速検定法の

改良. 東北の雑草 7, 27-31.

内野彰・渡邊寛明 2007. アゼトウガラシ属水田雑草 (*Lindernia* spp.) 及びイヌホタルイ (*Scirpus juncooides* var. *ohwianus*) におけるアゼト乳酸合成酵素活性の生育ステージ及び部位による差異. 雑草研究 52, 11-16.

Yamato, S. et al. 2013. Characterization of acetolactate synthase from sulfonylurea herbicide-resistant *Schoenoplectus juncooides*. Weed Biol. Manag. 13, 104-113.

Yu, Q. and S.B. Powels 2013. Resistance to AHAS inhibitor herbicides: current understanding. Pest. Manag. Sci. 70, 1340-1350.

統計データから

水田作経営における作付面積規模別の経営費

2019年12月6日、農業経営統計調査による平成30年の個別経営の経営収支が公表された。そのなかから、水田作経営における延べ作付面積規模別の経営費を抜き出して、表に示した。

経営費のなかで各費目の占める割合をみると、どの規模においても、「農機具」の比率が最も高く、約25%を占めている。「肥料」の占めるは8～13%であるが、2～3ha以上規模では10%を超え、15～20ha規模で最も高く13%となっている。「農業薬剤」は6～9%で「肥料」を下回り、0.5未満～1haの小規模では6%であるが、それ以上の作付面積では8%とほぼ一定の割合となっている。

0.5ha未満～1ha規模では、「農機具」に次いで「農用自動車」、「作業委託料」の占める割合が高い。

一方、7ha以上の規模になると、「支払地代」の占める割合が8%になり、30ha以上では12%と大きな比重占めている。また、「農業雇用労賃」も20ha規模で6%、30ha以上の大規模では11%を占めるようになる。

なお、表では省いたが、「その他」の費目（動物、飼料、諸材料、包装荷造・運搬料金等）があり、各規模とも15%の割合となっている。(K.O)

平成30年 水田作経営における延べ作付面積規模別の経営費（単位：千円、()内は計に対する%）

規模	計	農機具	農用自動車	作業委託料	農用建物	肥料	種苗・苗木	光熱動力	農業薬剤
0.5ha未満 (147経営体※)	679	170 (25)	78 (11)	56 (8)	53 (8)	51 (8)	45 (7)	42 (6)	38 (6)
0.5～1.0ha (184経営体※)	1,052	281 (27)	96 (9)	86 (8)	85 (8)	72 (7)	67 (6)	62 (6)	61 (6)
1.0～2.0ha (219経営体※)	1,716	471 (27)	160 (9)	129 (8)	118 (7)	116 (7)	100 (6)	99 (6)	98 (6)
2.0～3.0ha (116経営体※)	2,551	665 (26)	254 (11)	213 (8)	201 (8)	166 (7)	146 (6)	123 (5)	117 (5)
3.0～5.0ha (117経営体※)	4,138	1,126 (27)	448 (11)	347 (8)	309 (7)	280 (7)	254 (6)	189 (5)	179 (4)
5.0～7.0ha (72経営体※)	6,223	1,455 (23)	654 (11)	516 (8)	494 (8)	453 (7)	400 (6)	229 (4)	212 (3)
7.0～10.0ha (103経営体※)	9,691	2,608 (27)	1,019 (11)	797 (8)	784 (8)	607 (6)	517 (5)	486 (5)	414 (4)
10.0～15.0ha (98経営体※)	12,236	3,236 (26)	1,274 (10)	1,032 (8)	985 (8)	894 (7)	739 (6)	555 (5)	525 (4)
15.0～20.0ha (61経営体※)	13,937	2,727 (20)	1,745 (13)	1,493 (11)	1,233 (9)	1,176 (8)	822 (6)	591 (4)	533 (4)
20.0～30.0ha (86経営体※)	22,232	5,046 (23)	2,356 (11)	1,992 (9)	1,776 (8)	1,585 (7)	1,367 (6)	1,310 (6)	915 (4)
30.0ha以上 (93経営体※)	40,095	8,329 (21)	4,759 (12)	4,246 (11)	4,018 (10)	3,245 (8)	2,738 (7)	1,951 (5)	1,499 (4)

※は調査対象経営体数