

# 除草剤耐性てんさいを用いた 新除草体系

道総研北見農業試験場  
研究部麦類畑作グループ  
池谷 聡

## はじめに

2022（令和4）年3月に、除草剤耐性を持つてんさい品種が初めて北海道優良品種に認定され、対象となる新規除草剤も同時期に農業登録された。これらを用いたてんさいの新除草体系は、現状の除草体系を大幅に省力化できる可能性がある。ここでは、まず現状の除草体系の概要を説明した上で、その問題点を示した。さらに、新除草

体系の概要について説明し、その意義と問題点についてまとめた。

## 1. てんさいの除草体系

てんさいの現状の除草体系は、除草剤処理が中心である。主力の除草剤は、てんさいに適応した選択性を持つ広葉雑草用のフェンメディファム（ベタナール乳剤など）、レナシル・PAC（レナパック水和剤）、メタミトロン（ハーブラックWDGなど）の3剤である（表

-1）。フェンメディファムは茎葉処理剤で、レナシル・PACとメタミトロンは土壌処理効果も併せ持つ茎葉処理剤である（梶山 2009）。なお、それぞれの剤の効果は、雑草種によって異なる。フェンメディファムはシロザへの効果が高く、レナシル・PACはタニソバやイヌタデへの効果が高い。またイガホビユやイヌホオズキの防除にはメタミトロンが不可欠である（石川 2014）。そのため、処理時の殺草スペクトルを拡げるために、生産現場では、

表-1 てんさいの主力広葉雑草用除草剤の特徴

有効成分名	農薬の名称	効果	移植栽培		直播栽培		効果の高い雑草種
			使用時期	10a当たり 使用量	使用時期	10a当たり 使用量	
フェンメディファム	ベタナール乳剤	茎葉処理	活着後 (雑草発生揃期)	500～600mL	本葉2葉展開後 (雑草発生揃期)	500～600mL	シロザ
					子葉展開期～ 本葉抽出期 (雑草発生揃期)	150～200mL	
	ビートアップフロアブル	茎葉処理	活着後 (雑草発生揃期)	400～600mL	本葉2葉展開後 (雑草発生揃期)	400～600mL	
					子葉展開期～ 本葉抽出期 (雑草発生揃期)	200～350mL	
レナシル・PAC	レナパック水和剤	茎葉処理・ 土壌処理	活着後 (雑草発生始期)	200～300g	本葉2葉展開後 (雑草発生始期)	200g	タニソバ, イヌタデ
メタミトロン	ハーブラックWDG	茎葉処理・ 土壌処理	活着後 (雑草発生始期～発生揃期)	400～600g	本葉2葉展開後 (雑草発生始期～ 発生揃期)	250～350g	イガホビユ, イヌホオズキ
					子葉展開期～ 本葉抽出期 (雑草発生始期～ 発生揃期)	250～350g	

注1)「令和4年度 北海道 農作物病害虫・雑草防除ガイド」(北海道農政部)に基づいて作成。使用時期「中耕後」の項目は省略した。

2) 効果の高い雑草種は、(石川 2014)から引用。

表-2 てんさい除草体系の問題点

問題点	内容	作業への影響
① 除草剤の残効期間	短く、複数回処理が必要	作業量多、他作物との作業競合
② 除草剤の混用	2～4剤を現地混用	作業が煩雑
③ 直播栽培	出芽直後からの十分な除草剤処理が不可	適期防除が難しく、労力がかさむ

これらの剤を現地混用で用いることが多い。現地混用する場合は、てんさいへの薬害を防ぐために、経験的に薬量を最大使用量の半量とすることが多い。また、イヌビエなどのイネ科雑草の発生が多い圃場では、イネ科雑草用の除草剤も混用されることがある(石川 2014)。

レナシル・PACやメタミトロンは、土壌処理効果を持つものの、その残効期間はそれほど長くなく数週間程度である。そのため、雑草が生え揃う5月下旬から、てんさいの地上部が圃場表面を覆う7月中旬以降までの期間に、数週間ごとに2～3回程度これらの剤を処理する必要がある。また雑草が大きくなりすぎると効果が劣る(北海道農政部 2022)ので、適期処理が必要とされる。

直播栽培においては、子葉展開期から本葉抽出期には薬害による生育遅延等が発生する恐れがあるので、雑草発生が早い場合には、フェンメディファムあるいはメタミトロンを、薬害が発生しにくい通常より低い濃度で処理することになる。本葉2葉期以降は、移植栽培とほぼ同様に主力3剤を処理できるが、メタミトロンについては、薬害が発生しやすいため、使用量が移植栽培よりも低く設定されている(表-1)。

その他に、カルチベーターを使った中耕作業も、除草目的として除草剤処理と組み合わせて行われることが多い。また、残草の量に応じて手取り除草が行われる。

## 2. てんさいの除草体系の問題点

以上のようなことから、現状の除草体系には、いくつか問題点が存在する(表-2)。**①**主力3剤は残効期間が短く、複数回の処理が必要となり、作業量が多くなる一方で、他作物との作業競合等もあって適期処理が難しい。また、**②**てんさいの除草剤には混合剤も一部存在するものの、除草剤処理作業において、2から4剤が現地混用されることが多く、作業が煩雑となる。混用しても殺草スペクトルは完全ではなく、ツユクサやイチビなどの難防除雑草は残りやすい。さらに、**③**直播栽培では、初期生育量が少なく、出芽直後から十分な除草剤処理ができないので、雑草と競合しやすく、移植栽培より適期処理が難しい。そのため、処理が遅れ気味となり、最終的には手取り除草の回数や時間が移植栽培よりも多くなる傾向があり、労力がかさむ。

もし、現状の除草体系に以下のような改善がなされれば、上記の問題点を解消できると考えられる。**①**除草剤に2か月程度の長さの残効期間があれば、雑草発生期からてんさいの地上部が地面を被覆する7月中旬以降までに、除草剤処理を1回のみで終わらせることができる。また、**②**主力3剤を超える幅広い殺草スペクトルを1剤で実現できれば、除草剤処理作業時に現地混用する必要がなくなる。さらに**③**直播栽培において、てんさいの出

芽直後の処理でも薬害が発生しないような除草体系が実現できればよい。

## 3. 新品種「KWS 8K879」を用いた新除草体系について

2022(令和4)年3月に、てんさい「KWS 8K879」が北海道優良品種に認定された。この品種は除草効果の極めて高い新規除草剤に耐性を持つ。この除草剤耐性品種と新規剤を組み合わせた除草体系は、現状の除草体系の問題点を解消できる可能性があると考えられる。以下は、この新除草体系について説明する。

### (1) 「KWS 8K879」の育成経過と対象除草剤について

「KWS 8K879」は、ドイツのKWS種子株式会社(以下KWS)が育成し、日本甜菜製糖株式会社(以下日甜)が輸入したてんさい品種で、ドイツのバイエルクロップサイエンス株式会社(以下バイエル)が開発した新ALS(アセト乳酸合成酵素)阻害型除草剤「チエンカルバゾンメチル・ホラムスルフロン水和剤(農薬名:コンビソ OD)」(以下コンビソ OD)に耐性を持つ。

除草剤「コンビソ OD」の有効成分のうち「ホラムスルフロン」は主に茎葉処理効果を持ち、「チエンカルバゾンメチル」は茎葉処理効果と土壌処理効果を併せ持つ。この2成分を混合することにより、ヨーロッパで行われた試験では、「コンビソ OD」はす

表-3 新除草体系の実証試験結果<sup>1),2)</sup>

試験地	系統, 品種名	処理区 <sup>5)</sup>	除草剤 処理 回数	残草量 <sup>6)</sup>		手取除草 時間 (分/10m <sup>2</sup> )	無除草区の 主な雑草種	収量 <sup>7)</sup>	
				残草重量 (kg/m <sup>2</sup> )	無除草 区比(%)			糖量 (kg/10a)	糖量慣行 除草体系比 (%)
A市	KWS 8K879	「コンビソOD」区 <sup>3)</sup>	1回	0	0	0		-	-
	カーベ2K314	慣行区 <sup>4)</sup>	3回	0.57	16	25	イネ科, シロザ, タデ科, イヌガラシ, イヌホオズキ	-	-
		無除草区	なし	3.63	100	なし		-	-
B市	KWS 8K879	「コンビソOD」区 <sup>3)</sup>	1回	0	0	0	イネ科, シロザ, タデ科, スカシタゴボウ, イヌホオ ズキ	842	97
	カーベ2K314	慣行区 <sup>4)</sup>	3回	0.05	1	10		867	100
		無除草区	なし	6.03	100	なし		-	-
北見農試	KWS 8K879	「コンビソOD」区 <sup>3)</sup>	1回	0	0	0	イネ科, シロザ, タデ科, ハコベ, スカシタゴボウ, イヌホオズキ, イガホビユ	1,099	90
	カーベ2K314	慣行区 <sup>4)</sup>	2回	0.03	1	4		1,217	100
		無除草区	なし	2.69	100	なし		195	16

注1) 令和3年実施。直播栽培3反復乱塊法。カルチ無施工。A市, B市は日甜の普及見込み地域の雑草多発生圃場。北見農試を含めて雑草の種子を播種し試験。

注2) 播種期は, 5月上旬から中旬。収穫期は9月中旬から10月上旬。

注3) 「コンビソOD」区の除草剤使用量: 100ml/10a 水量50L/10a。

注4) 慣行区の除草剤使用量: A市, B市 1回目 フェンメディファム+メタミトロン+クレトジム (10a当たり300mL+200g+75mL 水量80L) 2,3回目 フェンメディファム+メタミトロン+レナシルPAC (10a当たり300mL+200g+150g 水量80L)。北見農試 1回目 フェンメディファム+レナシルPAC+キザロホップエチル (10a当たり300mL+150g+200mL 水量100L) 2回目 フェンメディファム+メタミトロン+セトキシジム (10a当たり300mL+300g+150mL 水量100L) (フェンメディファムはすべてベタナール乳剤)

注5) 除草剤処理時期は, 「コンビソOD」および慣行1回目が5月下旬から6月初め(てんさい本葉2葉期), 2回目6月下旬, 3回目7月上旬。

注6) 残草調査は, 7月下旬。また, 慣行除草体系の残草重量は, 残草調査前後に4回行った手取り除草時の合計。

注7) A市は苗立ち枯れ病が多発し, 欠株が多かったため, 収量データは省略した。

すべてのイネ科と広葉の雑草種に極めて高い除草効果を持つことが示された(Hain and Holtschulte 2014)。なお「コンビソOD」は, 本邦では令和4年3月に, 同剤耐性てんさいを対象に農業登録された。

また, 「KWS 8K879」の除草剤耐性は, 遺伝子組換えではなく, 細胞培養技術によって作出されたもので, バイエルとKWSの共同研究によって開発された。育成方法は, 以下の通りである(Hain and Holtschulte 2014)。まず, てんさい植物体の組織から, 脱分化した細胞を誘導し, 対象除草剤の有効成分を含んだ培地で培養する。すると, 極めて低い確率ではあるものの, 除草剤に耐性を持つ細胞が選抜される。その細胞から植物体を再生させると, 除草剤耐性遺伝子を持ったてんさいが得られる。この間の過程が細胞培

養技術である。今回のALS阻害型除草剤耐性てんさいの場合は, 約15億個の細胞から1細胞が選抜された。

このようにして作出されたてんさいのALS阻害型除草剤耐性遺伝子は, てんさいのALS遺伝子が自然突然変異を起こしたものである。ALS遺伝子は, 必須アミノ酸であるロイシンやバリン等の分岐鎖アミノ酸の元となるアセト乳酸を合成するALS酵素をコードしており, ALS阻害型除草剤は, その有効成分がこのALS酵素に結合して酵素機能を阻害することによって機能している。しかし, ALS遺伝子塩基配列の一部が変化することで, ALS酵素が, 除草剤の有効成分が結合できない形状に変化し, その結果, 除草剤耐性を獲得する。この突然変異は, ALS遺伝子塩基配列のうち1か所のみで生じており, その他はも

もとの塩基配列と同じである。

このようにして得られたALS阻害型除草剤耐性遺伝子を, 農業形質の優れた親系統に, 一般的な育種方法である戻し交配育種によって導入していくことで, 「KWS 8K879」が育成された。

海外では, 除草剤耐性てんさいとして, 「グリホサート(農薬名「ラウンドアップ」)耐性てんさいが広く栽培されている。これは, 細菌由来の「グリホサート」耐性遺伝子を導入した遺伝子組み換え作物である(OECD Environment Directorate 1999)。現在, 遺伝子組み換え作物は, 農林水産省等において, 「カルタヘナ法」等に基づき生物多様性への影響や食品としての安全性等を評価した上で, 問題のないものが承認され, 国段階では一般栽培可能となる(農林水産省2022)。さらに, 北海道で観賞用等以外の遺伝





「コンビソOD」区(除草剤1回処理 品種「KWS8K879」)



慣行区(除草剤3回処理 品種「カーベ2K314」)



無除草区(品種「カーベ2K314」)

図-1 実証試験圃場の様子 (A市 令和3年7月12日)

子組み換え作物を一般栽培するためには、国での承認後に、「北海道遺伝子組み換え作物の栽培等による交雑等の防止に関する条例」(北海道 2005(第4次改正(2022)))に基づいた知事の許可が必要となる。また許可申請に当たっては、交雑混入防止処置等の提出と栽培内容の説明会が必要とされ、知事の許可に当たっては、北海道食の安全・安心委員会の意見聴取が必要とされている。一方で、「KWS 8K879」のような細胞培養技術を用いて育成された品種は、一般栽培する上で、遺伝子組み換え作物のような法律上の規定はなく、一般的な交雑育種法で育成された作物と同様に栽培できる。

## (2) 北海道における新除草体系の実証試験

「コンビソ OD」は、上述のような優れた除草効果が海外で示されているが、その他に、これまでの国内での除草剤試験の知見から、土壌処理効果の残効が極めて長く、処理条件さえ良好であれば、1回処理のみで十分な効果を上げることが可能になると推測された。そこで、「コンビソ OD」の優れた除草効果と長い残効期間を実証するために、全道3カ所の雑草多発圃場において、移植栽培よりも雑草管理の難しい直播栽培で、新除草体系での残草および手取り除草時間を調査した。「コンビソ OD」の処理回数は1回と

し、処理時期および使用量は、植物調節剤協会(以下植調)の除草剤試験において最も効果が安定していた、広葉雑草1,2葉期(てんさい本葉2葉期)および10aあたり薬量100mL水量50Lとした。また土壌の乾燥条件での処理を避けた(「コンビソ OD」区)。さらに比較として、現状の除草体系についても同様に調査した。試験区の条件(薬剤の組み合わせや使用量、処理回数等)は、それぞれの地域での慣行法とし、品種は、日甜の主力品種である「カーベ2K314」とした(慣行区)。その他に除草剤処理を行わない無除草区を設けた。残草調査は、てんさいの地上部が地面を覆う7月下旬に行った。

結果を表-3、試験地の1つであるA市圃場での7月中旬の様子を図-1に示す。各試験地の無除草区では、イヌビエ等のイネ科雑草、シロザ、タデ類、スカシタゴボウ、イヌホオズキ、ハコベ、イガホビユ等の広葉雑草が1㎡あたり約2.6kg~6kg発生した。「コンビソ OD」区では、すべての試験地で7月下旬の残草調査において残草は認められず、その後の手取り除草も必要なかった。一方、慣行区では、除草剤を2~3回処理した後でも1㎡あたり約30g~570gの残草が認められ、手取り除草もすべての試験地で必要であった。このように、「コンビソ OD」は高い除草効果を持つだけでなく、7月下旬までの約2か月の長い残

効期間を持ち、1回処理のみで十分な効果を上げることが実証された。なお、「KWS 8K879」に対する「コンビソ OD」の葉害は、確認されなかった。

## (3) 「KWS 8K879」を用いた新除草体系の意義

上記の実証試験のように、「KWS 8K879」を用いた新除草体系は、「コンビソ OD」の高い除草効果と長い残効期間により、1回処理のみで十分な効果を上げることが可能であることが示された。そのため、現状の除草体系のような複数回の処理が不要となる。その上に、雑草が多発する圃場においても、手取り除草を省略できる可能性が高い。また、植調の除草剤試験では、直播栽培のてんさい子葉展開直後処理で葉害発生が観察しないことが確認されており、本剤の直播栽培での使用時期は、「(てんさい)子葉期以降」で登録されている(表-4)。そのため、直播栽培においても子葉展開直後から通常の濃度で処理することが可能で、現状の除草体系における直播栽培での問題点が解消される。さらに、この除草剤のみで十分な殺草スペクトルを持つことから、現地混用の煩雑さも省くことができる。その上に、ツククサやイチビのような難防除雑草についても、日甜などの知見では十分な効果が得られている。これらのことから、「KWS 8K879」を用いた新除草体系を導入

表-4 「コンビソ OD」の適用表

作物名	適用雑草名	使用時期	薬量	希釈水量	本剤の使用回数	使用方法	チエンカルバ	ホラムスルフ
							ゾンメチルを 含む農薬の総 使用回数	ロンを含む農 薬の総使用回 数
てんさい (ALS阻害剤耐性) (移植栽培)	1年生雑草	移植後 (雑草発生始期～ 広葉雑草4葉期) ただし、収穫90日前まで	50～100mL/10a	50L/10a	1回	雑草茎葉散布 または 全面散布	1回	1回
てんさい (ALS阻害剤耐性) (直播栽培)	1年生雑草	子葉期以降 (雑草発生始期～ 広葉雑草4葉期) ただし、収穫90日前まで	50～100mL/10a	50L/10a	1回	雑草茎葉散布 または 全面散布	1回	1回

注)「農薬登録情報提供システム」(農林水産省) (<https://pesticide.maff.go.jp/agricultural-chemicals/details/24624>) より作成

表-5 「KWS 8K879」の収量性

品種名	根重 (t/10a)	根中糖分 (%)	糖量 (kg/10a)	「カーベ2K314」対比(%)		
				根重	根中糖分	糖量
KWS 8K879	6.85	15.98	1,095	88	99	87
カーベ2K314	7.80	16.14	1,260	100	100	100

注1) 全北海道の3か年(平成30年～令和2年)、延べ14か所平均。

注2) 除草作業は現状の除草体系。

することによって、現状の除草体系を大幅に省力化できる可能性があると考えられる。直播栽培は、育苗や移植作業が不必要で大幅な省力化となるため、近年増加してきているが、除草作業においては、移植栽培よりも労力がかさむ傾向にある。そのため、新除草体系は、特に直播栽培で有意義であると考えられる。

#### (4) 問題点

以上のように、「KWS 8K879」と「コンビソ OD」による新除草体系は、除草作業を大幅に省力化できるが、現状では「KWS 8K879」の収量性に問題を抱えている。全道で行われた現状の除草体系における収量試験では、「カーベ2K314」よりも糖量が13%低かった(表-5)。しかし、3-(2)の表-3にあげた、直播栽培の雑草多発圃場における実証試験の収量調査では、慣行区の「カーベ2K314」との糖量差が、北見農試では10%、さらに雑草量の

多いB市では3%に縮小していた。また、この実証試験に基づいた経済性試算では、北見農試の雑草発生レベル以上の直播栽培圃場であれば、収穫物1tあたりの「KWS 8K879」の生産費が、慣行区の「カーベ2K314」の同水準以下となった(データ省略)。このように、「KWS 8K879」は収量性が低いものの、雑草の発生量がある程度多い直播栽培圃場であれば、十分な導入効果があると考えられる。そのため、新除草体系の普及にあたっては、雑草が多発して管理が困難な直播栽培地域を中心に導入されていく見込みである。今後は、除草剤耐性てんさいの品種改良が収量面でも進んでいくと考えられるので、収量の問題は徐々に改善されていき、それに伴って導入が可能となる場面も増えてくると予想される。

「コンビソ OD」が属するALS阻害型除草剤では、抵抗性雑草が発生しやすいことが知られている。北海道の畑作では、ALS阻害型除草剤は種類

が少なく、抵抗性雑草もほとんど知られていないが、稲作では、イヌホタルイ、コナギなどいくつかの抵抗性雑草の発生が問題となっている(内田・岩上2014)。稲作で抵抗性雑草が問題となっている原因として、水稲は連作されるため、ALS阻害型除草剤が同一圃場に毎年処理されることによって、発生した抵抗性雑草が残りやすいと推測される。しかし畑作では、稲作のように連作が行われることは少なく、小麦、てんさい、ばれいしょの3輪作か、これに豆類を加えた4輪作が基本的に行われている。そのため、もしもてんさいの「コンビソ OD」処理で抵抗性雑草が発生したとしても、その他の輪作物での別成分の除草剤の処理によって、抵抗性雑草が淘汰される可能性が高いと考えられる。このように稲作よりも耐性雑草のリスクは低いと考えられるものの、できる限り発生を抑えなければならないので、「コンビソ OD」の使用回数は、1回に制

限されている（表-4）。今後長く効果を保ちながら、新除草体系を使用していくためには、この使用回数を厳守することが重要である。

その他に、「コンビソ OD」には、使用上でいくつか注意点がある。まず、土壌処理効果が大きいのが、土壌が乾燥している状態で処理すると、上記のような高い除草効果を発揮できない。また、雑草の葉齢が進んだ条件で処理しても（特にシロザ 5 葉期以降）、残草が目立つようになる。そのため、使用時期は、広葉雑草 4 葉期までとなっている（表-4）。さらに、除草剤耐性を持っていない一般のてんさい品種には薬害が強く、少量でも薬液が付着すると、枯死する。また、日甜による試験では、他の作物に対しても、薬液の飛散で激しい薬害が発生することが確認されている。そのため、処理時にはドリフトに十分に注意する必要がある。

## まとめ

除草剤耐性てんさいと「コンビソ OD」を用いた新除草体系は、現状の

てんさい除草体系の問題点を解消し、除草作業を大幅に省力化できる可能性がある。一方で、「コンビソ OD」は、使用する上で多くの注意点があり、特定の品種と除草剤を必ず組み合わせて使用するという、今までにない体系であることから、除草剤の販売も含めて、慎重に少しずつ普及されていく見込みである。

北海道の畑作は、ますます効率化が求められていく。そのような中で、今後この新体系が必要とされる機会も増えていくと考えられるので、これまでにない高い効果を十分に生かしながら、末長く北海道農業へ貢献していくことを期待している。

## 引用文献

- 石川枝津子 2014. 十勝地域のテンサイ栽培における雑草管理. てん菜研究会報 55, 9-15.
- Hain, R. and B. Holtschulte 2014. Novel weed control system in herbicide tolerant sugar beet. Workshop “Herbicide Tolerant Varieties”, European Weed Research Society.
- 北海道 2005 (第4次改正 (2022)). 北海道遺伝子組み換え作物の栽培等による交雑

等の防止に関する条例.

北海道農政部 2022. 令和4年度 北海道農作物病害虫・雑草防除ガイド.

梶山努 2009. 主要作物別の雑草防除法 てん菜, 柳沢朗・古原洋・越智弘明監修, 北海道の耕地雑草. ニューカントリー 2009 秋季臨時増刊号. 北海道協同組合通信社, 札幌市 136-143.

農林水産省 2022. カルタヘナ法とは, 農林水産省ホームページ. (<https://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/carta/about/index.html>)

農林水産省 2022. コンビソ OD, 農薬登録情報提供システム.

(<https://pesticide.maff.go.jp/agricultural-chemicals/details/24624>)

OECD Environment Directorate 1999. Consensus document on general information concerning the genes and their enzymes that confer tolerance to glyphosate herbicide, Series on Harmonization of Regulatory Oversight in Biotechnology No.10.

内野彰・岩上哲史 2014. 水田雑草におけるスルホニルウレア系除草剤抵抗性の出現とその生態. 日本農薬学会誌 39 (1), 58-62.