

特集：DMI 剤耐性菌に関する最近の話題

テンサイ褐斑病菌の DMI 剤耐性

北海道立十勝農業試験場 ^し清 ^{みず}水 ^{もと}基 ^{しげ}滋

はじめに

テンサイ (*Beta vulgaris* var. *saccharifera*) は、アカザ科に属する 2 年生植物で、サトウキビとともに重要な甘味資源作物である。我が国では北海道のみで栽培されているが、その作付面積は 68,000 ha に及び、北海道の畑輪作上なくてはならない作物である。

テンサイの重要病害である褐斑病は *Cercospora beticola* によって引き起こされるが、多発すると茎葉が枯死して甚大な減収被害をもたらす。本病の防除技術は、化学農薬の開発とともに発展したが、耐性菌の発生などにより基幹防除薬剤は時代とともに変遷し (清水, 2007), 現在は治療効果を有する DMI 剤が基幹の薬剤となっている (内野・神沢, 1991; 内野・渡部, 1998)。しかし、DMI 剤は多くの作物病原菌で低感受性菌または耐性菌の出現が問題となっており、テンサイ褐斑病菌においても防除効果の低下が危惧されている。

ここでは、テンサイ褐斑病菌の DMI 剤に対する感受性の実態、低感受性菌発生条件下における薬剤の防除効果、さらには DMI 剤を持続的に利用する薬剤散布法について考えてみたい。

I テンサイ褐斑病菌の DMI 剤に対する感受性

1 感受性と防除効果

テンサイ褐斑病菌の DMI 剤感受性の低下は、ジフェノコナゾール乳剤の試験的な連用圃場からの分離菌で最初に報告された (彦田ら, 1999; 内野ら, 1999)。その後、一般圃場においても感受性の低い菌が分離され (KARAOGLANIDIS et al., 2000; 工藤ら, 2001), 防除効果への影響が危惧されていた。筆者が 2000 年および 02 年に道内の主要畑作地帯から分離した 87 菌株について、ジフェノコナゾールの EC₅₀ を求めた結果、2000 年の分離菌株に対する EC₅₀ は 0.01 ~ 2.34 ppm, 02 年の分離菌株では 0.01 ppm 以下 ~ 1.61 ppm の範囲で、褐斑病菌の本剤に対するベースライン感受性 (彦田ら, 1999) と見

られている 0.01 ~ 0.04 ppm とは明らかに感受性の異なる菌株が存在していた (表-1)。さらに、本病に対して登録のある他の DMI 剤の EC₅₀ を比較した結果、薬剤によって差が認められ、供試した 5 剤の中で最も EC₅₀ が低かったのはジフェノコナゾールであり、ピテルタノールの EC₅₀ は最も高かった。しかし、これらの EC₅₀ のいずれの組み合わせにも高い相関があり、感受性に交差関係が認められた。

次に、感受性の低下した菌株に対する DMI 剤の防除効果を調べるため、ポット栽培したテンサイにテトラコナゾール 15% 乳剤 1,500 倍液またはジフェノコナゾール 25% 乳剤 3,000 倍液を十分量散布し、次の日に感受性の異なる褐斑病菌の分生子懸濁液を噴霧接種した。その結果、両剤の残効期間 (堀田ら, 1996) に近い散布後 24 日目の防除効果は、いずれの菌株に対しても 80 前後の防除価を示した (図-1)。したがって、現在分離される菌株の DMI 剤に対する感受性低下の程度は、圃場レベルで防除効果を極端に低下させるものではないと考えられた。しかし、散布後 34 日目では、ジフェノコナゾールの EC₅₀ が 1.0 ppm を超える菌株で、防除効果が顕著に低下するものが認められた。このため、EC₅₀ が 1.0 ppm を超える菌株が優占する圃場では、薬剤散布間隔を空けすぎたり、本病の発生に好適な気象条件下では防除効果の低下が危惧された。以上のことから、ここではジフェノコナゾールの EC₅₀ が 1.0 ppm を超える菌株を低感受性菌と呼ぶこととした (清水, 2006)。

2 相対生育度による感受性の簡易検定

ジフェノコナゾールの EC₅₀ の対数値と、同剤の 0.1 ppm 添加培地における相対生育度 (RG: 薬剤無添

表-1 北海道内主要畑作地帯で分離されたテンサイ褐斑病菌の DMI 剤に対する感受性

供試薬剤	分離年	EC ₅₀ (ppm)			供試菌株数
		最小値	最大値	平均	
ジフェノコナゾール	2000	0.01	2.34	0.28	39
ジフェノコナゾール	2002	< 0.01	1.61	0.42	40
テブコナゾール	2002	0.02	10.11	1.47	40
シプロコナゾール	2002	0.04	19.56	3.55	40
テトラコナゾール	2002	0.05	20.00	4.54	40
ピテルタノール	2002	0.07	35.60	7.33	40

Decreased Sensitivity to DMI-Fungicides in *Cercospora beticola*, the Causal Fungus of Cercospora Leaf Spot on Sugar Beet. By Motoshige SHIMIZU

(キーワード: テンサイ褐斑病, DMI 剤, 低感受性菌)

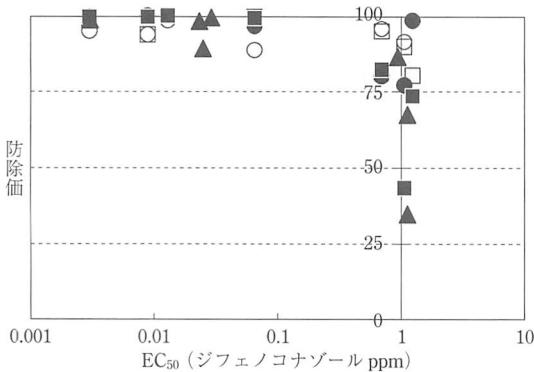


図-1 ジフェノコナゾール感受性の異なるテンサイ褐斑病菌に対するDMI剤の防除効果 (ポット試験)
 □: テトラコナゾール 15% 1,500 倍液散布後 24 日目, ■: テトラコナゾール 15% 1,500 倍液散布後 34 日目, ○: ジフェノコナゾール 25% 3,000 倍液散布後 24 日目 (試験①), ●: ジフェノコナゾール 25% 3,000 倍液散布後 34 日目 (試験①), ▲: ジフェノコナゾール 25% 3,000 倍液散布後 34 日目 (試験②).

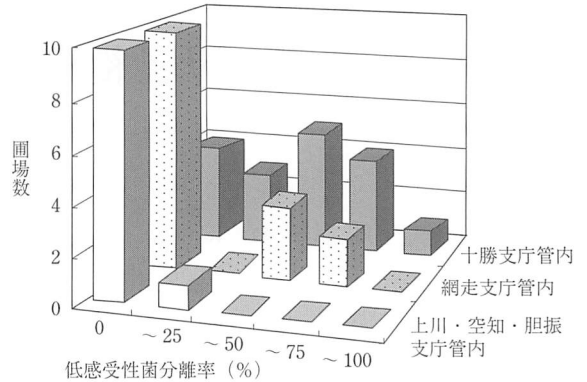


図-2 DMI 剤に対する低感受性菌の分離率が異なる圃場の分布 (2002 ~ 04 年)
 感受性低下菌はジフェノコナゾールの EC₅₀ が 1 ppm 以上の菌株を指す。

加培地における菌糸伸長に対する)との間には高い相関関係が認められる(彦田ら, 1999; 工藤ら, 2001)。

筆者が2000年および02年に全道から分離した計64菌株についても、EC₅₀の対数値とRGは高い相関関係にあり、また分離年と分離場所が異なる菌株でもほぼ同様の傾向が認められた。このとき、ジフェノコナゾールのEC₅₀ 0.01 ~ 0.04 ppmは、RG40以下に相当し、逆にEC₅₀ 1 ppm以上の低感受性菌はRG70以上の値を示した。このためRGは、褐斑病菌のDMI剤に対する感受性検定の簡易で有効な指標となりうると考えられた(清水, 2006)。

3 テンサイ褐斑病菌のDMI剤に対する感受性実態

筆者は2002年から04年にかけて、全道の主要畑作地帯の45圃場から分離した524菌株のRGを測定し、圃場ごとの低感受性菌の分離率を調べた。その結果、上川・空知・胆振支庁管内では、感受性菌のみ分離される圃場が大部分であり、低感受性菌が分離された圃場もわずかに認められたが、その分離率は低かった。これに対し十勝および網走支庁管内では、低感受性菌の分離率が50%を超える圃場が散見された(図-2)。

II DMI 剤の散布が低感受性菌の分離率に及ぼす影響

1 DMI 剤連用と低感受性菌の分離率および防除効果

DMI剤の連用が低感受性菌の分離率に及ぼす影響と防除効果について調べた。図-3および表-2には、ジフェノコナゾール25%乳剤で行った試験例を示す。本試

験では、薬剤の散布開始を本病初発前とする予防散布と、発病株率が50%になった段階で薬剤散布を開始するモニタリング散布(堀田ら, 1996)の2処理を設けた。接種源は、前年秋の低感受性菌分離率が約30%であった罹病葉を砕いたものを用いた。この接種源を7月中旬に畦間にばらまいて接種し、各処理区について最終散布後の罹病葉からの低感受性菌の分離率を調べた。その結果、薬剤無処理区およびマンゼブ75%水和剤の連用区からはジフェノコナゾール低感受性菌は分離されなかった。これに対して、ジフェノコナゾール乳剤の連用区における低感受性菌の分離率は30~40%となり、接種源とした前年採取罹病葉中の比率より明らかに高くなった。しかしながら、このときのジフェノコナゾール乳剤連用の褐斑病に対する防除効果は、DMI剤としてはやや見劣りするものの、マンゼブ水和剤と同等もしくは優る防除効果を示した。同様の傾向は褐斑病に登録のある他のDMI剤(テブコナゾール40%フロアブル、テトラコナゾール15%乳剤、ビテルタノール25%水和剤)でも認められている(清水, 2006)。DMI剤の使用により低感受性菌の割合は高まるものの、現在の感受性低下のレベルでは、一定の防除効果は得られるものと考えられる。

2 体系散布による低感受性菌の分離率と防除効果

DMI剤とマンゼブ水和剤との体系散布が低感受性菌の分離率に及ぼす影響と防除効果について調べた。3か年の試験のうち2003年の結果を示す(図-4, 表-3)。2003年の試験では、DMI剤はジフェノコナゾール乳剤を用い、散布間隔は各薬剤の残効期間の目安に基づいた。その結果、予防体系散布区は4回の交互散布、DMI剤の連用区は3回散布となった。一方、褐斑病のモニタリングによる体系散布区は2回散布となった。接

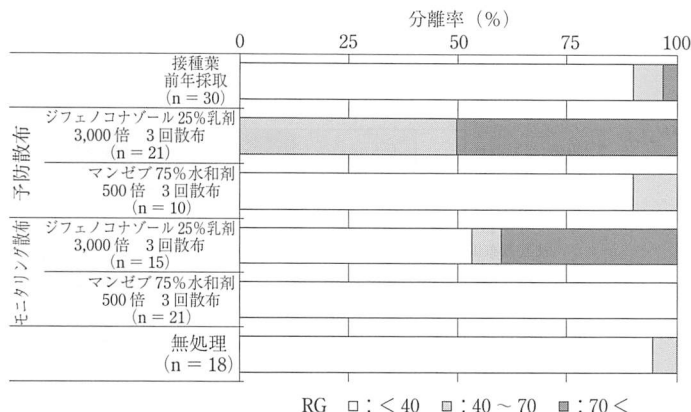


図-3 DMI 剤の連用が低感受性菌の分離率に及ぼす影響 (2002 年)

RG は薬剤無添加 PDA 上における菌糸伸長に対する、ジフェノコナゾール 0.1 ppm 添加 PDA 上における菌糸伸長の相対生育度を示す。

表-2 DMI 剤の連用によるテンサイ褐斑病の防除効果 (2002 年)

散布方法	供試薬剤	希釈倍率	9月9日		根重 (t/10 a)	根中糖分 (%)
			発病度	防除価		
予防散布 ^{a)}	ジフェノコナゾール 25%乳剤	3,000	24.5	58	5.72	18.66
	マンゼブ 75%水和剤	500	25.1	57	5.81	18.61
モニタリング散布 ^{b)}	ジフェノコナゾール 25%乳剤	3,000	20.4	65	5.64	18.97
	マンゼブ 75%水和剤	500	33.7	42	5.93	17.82
無処理			57.8		5.08	16.48
L. S. D. (5%)			9.28		0.823	0.750

^{a)} 初発前から散布開始 (散布月日: 7月16日, 8月16日, 9月9日)。

^{b)} 発病株率が50%の日から散布開始 (散布月日: 7月31日, 8月16日, 9月9日)。

種源は前年秋の低感受性菌分離率が約30%であった罹病葉を砕いたものを用いた。これを7月中旬に畦間にばらまいて接種し、各処理区における最終散布後の罹病葉からの低感受性菌分離率を調べた。その結果、ジフェノコナゾールを3回連用した後の低感受性菌の分離率は60%以上に増加した。これに対して、体系散布では、予防交互散布およびモニタリング体系散布ともに低感受性菌の分離率は薬剤無処理とほぼ同程度で、接種源とした前年の罹病葉からの分離率を上回ることはなかった。

次に各処理区の防除効果を比較した。発病調査は、各処理区最終散布日から、そのときに用いた薬剤の残効期間を経た日に当たる9月16日に行った。その結果、予防交互散布はジフェノコナゾール乳剤の3回連用散布とほぼ同等からやや優る高い防除効果が認められた。これらと比較するとモニタリング体系散布は防除価がやや劣る傾向にあったが、被害許容水準 (神沢, 1967) 以下に発病を抑えており、2回散布で十分な防除効果が認め

られた。さらに、収穫時期の10月27日の発病調査では、DMI 剤連用区の防除価が69と大きく低下し、モニタリング体系散布と同程度となった。これに対し予防体系散布は防除価80以上を維持していた。

以上のように、体系散布特に予防体系散布はDMI 剤に対する低感受性菌の密度抑制と防除効果の双方の面から優れており、テンサイ褐斑病菌の防除にDMI 剤を持続的に活用していくために有効な手段であると考えられる。

3 作用機構の異なる薬剤とのタンクミックスによる低感受性菌の分離率と防除効果

DMI 剤とマンゼブ水和剤とのタンクミックスが低感受性菌の分離率に及ぼす影響と防除効果について調べた。3か年の試験のうち2004年の結果を示す (図-5, 表-4)。DMI 剤はテトラコナゾール15%乳剤を用いた。初発直後の低感受性菌の分離率は約10%であったが、タンクミックスの最終散布後における低感受性菌の分離率は、初発時と比較して明らかに高く、テトラコナゾー

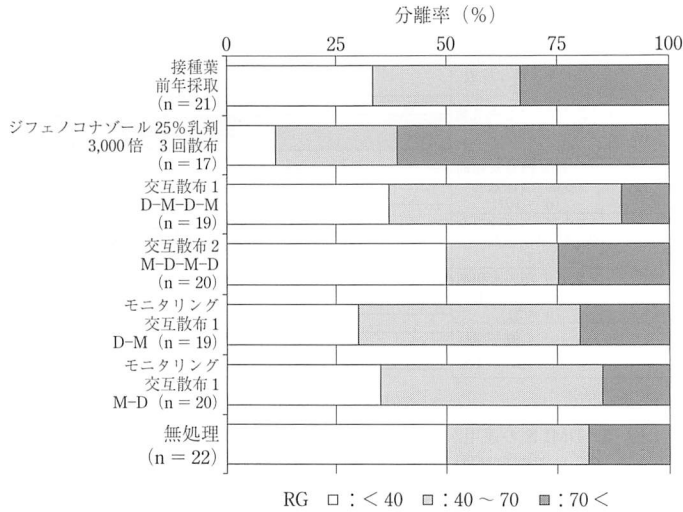


図-4 体系散布がDMI剤に対する低感受性菌の分離率に及ぼす影響 (2003年)

交互散布のDはジフェノコナゾール25%乳剤3,000倍、Mはマンゼブ75%水和剤500倍散布を示す。各区の処理は表-3参照、RGは図-3と同じ。

表-3 体系散布の散布薬剤、散布月日とテンサイ褐斑病の防除効果 (2003年)

散布方法	供試薬剤 ^{a)}	散布回数	薬剤散布月日	発病度 (防除値)		根重 (t/10 a)	根中糖分 (%)
				9月16日	10月27日		
予防DMI連用	D-D-D	3	7/18 ~ 8/7 ~ 8/27	3.6 (91)	24.7 (69)	5.57	18.51
予防交互散布	D-M-D-M	4	7/18 ~ 8/7 ~ 8/18 ~ 9/6	1.6 (96)	10.0 (88)	5.77	18.51
	M-D-M-D	4	7/18 ~ 7/28 ~ 8/18 ~ 8/27	1.3 (97)	15.3 (81)	5.48	18.42
モニタリング体系散布 ^{b)}	D-M	2	8/18 ~ 9/6	8.6 (78)	26.7 (67)	5.68	18.27
	M-D	2	8/18 ~ 8/27	7.3 (81)	20.0 (75)	5.94	18.46
	無処理			38.4	80.7	5.76	17.70
			L. S. D. (5%)	7.04	11.79	n. s.	n. s.

^{a)} Dはジフェノコナゾール25%乳剤3,000倍、Mはマンゼブ75%水和剤500倍を示す。

^{b)} 発病株率が50%の日から薬剤散布開始。

ル乳剤単剤の連用と変わらなかった。しかし防除効果を見ると、2004年は褐斑病の激発年でテトラコナゾール乳剤の連用区は防除効果が低かったのに対し、タンクミックス区では被害許容水準を超えたものの防除効果は明らかに優った。

このように、DMI剤と作用機構の異なる薬剤とのタンクミックスの連続散布は、低感受性菌の割合を増加させるが、防除効果はDMI剤の連用と比較すると高いことから、圃場に残存する全体の菌量は低下させることになる。さらに、耐性菌対策の目的は妥当なレベルの防除効果を得ることであり、必ずしも耐性菌の分離率を低く

保つことではないという観点からすると、タンクミックスの連続施用も有効かもしれない。しかし、このような施用方法は薬剤成分の多投入となるため、タンクミックス(または混合剤)は、体系散布の一部に組み込むことが現実的と思われる。

おわりに

テンサイ褐斑病菌で認められるDMI剤に対する耐性程度は、通常のDMI剤の使用場面では防除効果を極端に低下させるレベルではないと考えられる。しかし、高温年では褐斑病の感染サイクルが早まり薬剤の残効期間

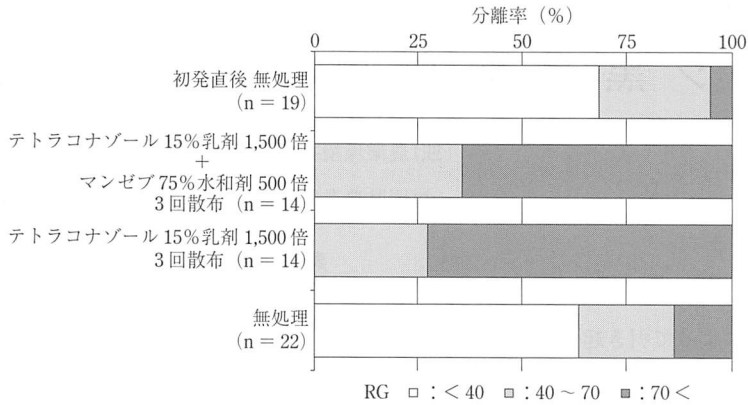


図-5 DMI 剤と作用機構の異なる薬剤とのタンクミックスが低感受性菌の分離率におよぼす影響 (2004 年)
RG は図-3 と同じ。

表-4 DMI 剤と作用機構の異なる薬剤とのタンクミックスによるテンサイ褐斑病の防除効果 (2004 年)

散布方法	供試薬剤	希釈倍率	薬剤回数	発病度 (防除価)	根重 (t/10 a)	根中糖分 (%)
タンクミックス	テトラコナゾール 15%乳剤	1,500	3	48.8 (48)	6.18	16.54
	+ マンゼブ 75%水和剤	500				
DMI 連用	テトラコナゾール 15%乳剤	1,500	3	73.6 (22)	5.29	15.81
	無処理			94.5	5.04	14.36
L. S. D. (5%)				7.04	n. s.	0.685

散布月日：7月22日，8月11日，9月1日，発病調査：9月23日。

が短くなる事例 (有田ら, 2001) もあり，低感受性菌の優占圃場でこのような発病好適条件が重なると防除効果の低下が危惧される。したがって，DMI 剤を持続的に活用していくためには，DMI 剤を使用しながらも低感受性菌の密度を低いレベルに抑制する薬剤散布体系が必要である。

DMI 剤では使用回数制限により，耐性菌や低感受性菌の密度を本剤の実用可能なレベルに制御できる事例が多い (武田, 2001)。この理由として，これらの菌株の環境への適応度が感受性菌と比較して低いことが一因とされ，テンサイ褐斑病菌についても耐性菌の胞子形成能力や病原性が劣るとした報告 (KARAOGLANIDIS et al, 2001) がある。筆者が行った試験でも，低感受性菌の分離率は DMI 剤を連用すると高まり，逆に本剤を使用しない，または作用機構の異なる薬剤との体系散布では低いレベ

ルに抑制される傾向が認められている。特に後者の体系散布は，防除効果の面からも優れており，テンサイ褐斑病菌の防除に DMI 剤を持続的に活用していくために有効な手段であると考えられる。

引用文献

- 1) 有田敬俊ら (2001) : てん菜研報 43 : 64 ~ 70.
- 2) 彦田岳士ら (1999) : 日植病報 65 : 403 (講要).
- 3) 堀田治邦ら (1996) : 北農 63 : 78 ~ 85.
- 4) 神沢克一 (1967) : 日甜農事研報 3 : 1 ~ 162.
- 5) KARAOGLANIDIS, G. S. et al. (2000) : Plant Pathol. 49 : 567 ~ 572.
- 6) ——— et al. (2001) : Eur. J. Plant Pathol. 107 : 337 ~ 347.
- 7) 工藤祐子ら (2001) : てん菜研報 43 : 71 ~ 77.
- 8) 清水基滋 (2006) : 北日本病虫研報 57 : 22 ~ 25.
- 9) ——— (2007) : 第 16 回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム講要集 : 1 ~ 10.
- 10) 武田敏幸 (2001) : 第 11 回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム講要集 : 41 ~ 50.
- 11) 内野浩克・神沢克一 (1991) : てん菜研報 33 : 88 ~ 96.
- 12) ———・渡部英樹 (1998) : 同上 40 : 80 ~ 84.
- 13) ———ら (1999) : 日植病報 65 : 403 (講要).