

FRAC による農業用殺菌剤の国際分類

Japan FRAC 代表
田辺 憲太郎
Kentaro Tanabe

1. はじめに

殺菌剤耐性菌の発生に備える事前対策として、同系統薬剤を偏って使用しないようにすること、異なる系統の薬剤を輪番使用すること、異なる系統の薬剤を配合している混合剤を使用することが有用である。そのためには、作用機構と交差耐性による信頼の高い殺菌剤の系統分類が不可欠である。欧州の農業化学品製造会社の殺菌剤研究員、専門家を中心に構成する組織 Fungicide Resistance Action Committee (FRAC) は、耐性リスクのある殺菌剤の効果持続と耐性菌による作物被害軽減を目的として、殺菌剤耐性管理ガイドラインを提供している。FRACの活動の主体は、複数の製造会社が高耐性リスクの同系統薬剤を保有する場合に耐性リスク分析、共通使用ガイドラインの作成を目的として設置される作業部会活動である。2012年現在、アニリノピリミジン、アザナフタレン、バナナ、カルボン酸アミド、ステロール生合成阻害剤 (DMI)、コハク酸脱水素酵素阻害剤 (SDHI)、Qo 阻害剤の7部会において、感受性モニタリング結果を共有、結果の概要を公表、推薦使用方法を作成・改訂している。

2. FRAC コードリストにおける殺菌剤の分類

FRACは、世界の主要殺菌剤を網羅したFRACコードリストを作成、配布している。分類は作用機構別となっており、原則として交差耐性のある薬剤系統ごとに固有のFRACコードを指定している。作用点が明確になっているグループには市場導入順に1～46の番号、抵抗性誘導剤にはP、未分類剤にはNC、多作用点接触剤にはM1～9を割り当て

ている。作用点が不明な薬剤にはU番号を一旦割り当て、作用点または交差耐性関係が判明した後に新しいFRACコードが確定する。一度使用したU番号は混乱を避けるためその後重複使用しない。FRACの日本支部であるJapan FRACが作成した日本国内登録殺菌剤を抜粋したコードリストが表1である。最新版はJapan FRACホームページ (<http://www.jfrac.com/>)、国際版はFRACホームページ (<http://www.frac.info/frac/index.htm>) において入手可能である。

3. 殺菌剤の耐性リスク

FRACは過去の耐性菌発生事例を基に、殺菌剤の耐性リスクを表2の基準に従って低～高に分類、FRACコードリストにもそれを掲載している。高リスク薬剤としては作用機構が単一であるものが多いのに対して、低リスク薬剤には多作用点阻害剤が多い。耐性菌発生リスク低減のためには、高リスク薬剤の使用を減らして、有効な低リスク薬剤を多く使用したほうがよい。しかし、高リスク薬剤の中には近年開発されたものが多く含まれており、防除効果、製剤の物理性等使用者が直感できる利点だけでなく、人畜・環境毒性等に対する負荷が低減している等の有用性もあるので、選定にあたってはバランスを考慮する必要がある。FRACのガイドラインにおいては、殺菌剤を多数回散布する作物における1作期あたりの同系統薬剤の使用回数について、殺菌剤総使用回数の33～50%以内にとどめるように推奨しているケースが多い。もちろんこの制限一杯の使用を推奨しているわけではないので、なるべく多くの系統の薬剤を選抜するべきである。

表1. 農業用殺菌剤の作用機構による分類1 FRAC コードリストより日本国既登録殺菌剤を抜粋・改変

作用機構	作用点とコード	グループ名	化学グループ	有効成分名	耐性リスク	FRAC CODE
A：核酸合成	A1：RNAポリメラーゼ I	PA殺菌剤(フェニルアミド)	アシルアラニン	メタラキシル メタラキシルM	高	4
	A3：DNA / RNA 生合成 (提案中)	芳香族ヘテロ環	イソキサゾール	ヒドロキシイソキサゾール	耐性菌未発生	32
	A4：DNAトポイソメラーゼ タイプ II (ジャイレース)	カルボン酸	カルボン酸	オキシリニック酸	不明	31
B：有糸核分裂と細胞分裂	B1：β-チューブリン重合阻害	MBC殺菌剤 (メチルベンゾイミダゾールカーバメート)	ベンゾイミダゾール	ベノミル チオファネート メチル	高	1
	B2：β-チューブリン重合阻害	N-フェニルカーバメート	N-フェニルカーバメート	ジエトフェンカルブ	高	10
	B4：細胞分裂(提案中)	フェニルウレア	フェニルウレア	ペンシクロン	耐性菌未発生	20
	B5：スペクトリン様蛋白質の非局在化	ベンズアミド	ピリジニルメチルベンズアミド	フルオピコリド	耐性菌未発生	43
C：呼吸	C1：複合体 I NADH酸化還元酵素	ピリミジンアミン	ピリミジンアミド	ジフルメトリム	耐性菌未発生	39
		ピラゾールカルボキサミド	ピラゾールカルボキサミド	トルフェンピラド	耐性菌未発生	
	C2：複合体 II コハク酸脱水素酵素	SDHI (コハク酸脱水素酵素阻害剤)	フェニルベンズアミド	フルトラニル メブロニル	中～高	7
			チアゾールカルボキサミド	チフルザミド		
			ピラゾールカルボキサミド	フラメビル ペンチオピラド		
			ピリジンカルボキサミド	ボスカリド		
	C3：複合体 III ユビキノール還元酵素 Qo部位	Qol-殺菌剤 (Qo阻害剤)	メキシアクリレート	アゾキシストロビン ピラクロストロビン	高	11
			オキシイミノ酢酸	クレソキシムメチル トリフロキシストロビン		
			オキシイミノアセトアミド	メミノストロビン オリサストロビン		
			オキサゾリジン-ジオン	ファモキサドン		
			イミダゾリノン	フェンアミドン		
			ベンジルカーバメート	ピリベンカルブ		
	C4：複合体 III ユビキノール還元酵素 Qi部位	Qil-殺菌剤 (Qi阻害剤)	シアノイミダゾール	シアゾファミド	中～高と推定	21
			スルファモイルトリアゾール	アミスルプロム		
	C5：酸化的リン酸化の脱共役		2,6-ジニトロアニリン	フルアジナム	低	29
D：アミノ酸および蛋白質合成	D1：メチオニン生合成(提案中)	AP殺菌剤(アニリノピリミジン)	アニリノピリミジン	シプロジニル メバニピリム	中	9
	D3：蛋白質合成	ヘキシピラノシル抗生物質	ヘキシピラノシル抗生物質	カスガマイシン	中	24
	D4：蛋白質合成	グルコピラノシル抗生物質	グルコピラノシル抗生物質	ストレプトマイシン	高	25
	D5：蛋白質合成	テトラサイクリン抗生物質	テトラサイクリン抗生物質	オキシテトラサイクリン	高	41
E：シグナル伝達	E2：浸透圧シグナル伝達における MAP・ヒスチジンキナーゼ (os-2, HOG1)	PP殺菌剤(フェニルピロール)	フェニルピロール	フルジオキソニル	低～中	12
	E3：浸透圧シグナル伝達における MAP・ヒスチジンキナーゼ (os-1, Daf1)	ジカルボキシイミド	ジカルボキシイミド	イプロジオン プロシミドン	中～高	2

作用機構	作用点とコード	グループ名	化学グループ	有効成分名	耐性リスク	FRAC CODE
F：脂質および細胞膜合成	F2：リン脂質生成、メチルトランスフェラーゼ阻害	ホスホロチオレート系	ホスホロチオレート系	EDDP (エディフェンホス)	低～中	6
				IBP (イプロベンホス)		
		ジチオラン	ジチオラン	イソプロチオラン		
	F3：脂質の過酸化(提案中)	AH殺菌剤(芳香族炭化水素)	芳香族炭化水素	クロロネブ	低～中	14
		複素芳香族	1,2,4-チアジアゾール	トルクロホスメチル		
	F4：細胞膜透過性、脂肪酸(提案中)	カーバメート	カーバメート	エクロメゾール	低～中	28
	F6：病原菌細胞膜の微生物攪乱	微生物(Bacillus sp.)	Bacillus subtilis	バチルス・ズブチリス QST713株	低	44
G：細胞膜のステロール合成	G1：ステロール生成におけるC14位の脱メチル化阻害	DMI-殺菌剤(脱メチル化阻害剤)(SBI：クラス I)	ピペラジン	トリホリン	中	3
			ピリミジン	フェナリモル		
			イミダゾール	オキシボコナゾールフマル酸塩		
				ペフラゾエート		
				プロクロラズ		
				トリフルミゾール		
			トリアゾール	ビテルタノール		
				シプロコナゾール		
				ジフェノコナゾール		
				フェンブコナゾール		
				ヘキサコナゾール		
				イミベンコナゾール		
				イブコナゾール		
				メコナゾール		
				ミクロブタニル		
				プロピコナゾール		
				シメコナゾール		
				テブコナゾール		
				テトラコナゾール		
				トリアジメホン		
	G3：ステロール生成系のC4位脱メチル化における3-ケト還元酵素	ヒドロキシアニリド(SBI：クラス III)	ヒドロキシアニリド	フェンヘキサミド	低～中	17
	G4：ステロール生成系のスクワレンエポキシダーゼ	SBI クラス IV	チオカーバメート	ピリブチカルブ	耐性菌未発生	18
H：細胞壁生成	H3：トレハロース、イノシトール生成	グルコピラノシル抗生物質	グルコピラノシル抗生物質	バリダマイシン	耐性菌未発生	26
	H4：キチン合成酵素	ポリオキシシン	ヘブチジルピリジンヌクレオシド	ポリオキシシン	中	19
	H5：セルロース合成酵素	CAA 殺菌剤(カルボン酸アミド)	桂皮酸アミド	ジメトモルフ	低～中	40
			パリンアミドカーバメート	ベンチアバリカルブイソプロピル		
I：細胞壁のメラニン合成	I1：メラニン生成の還元酵素	MBI-R	イソベンゾフラノン	フサライド	耐性菌未発生	16.1
			ピロキノリノン	ピロキノン		
			トリアプロベンゾチアゾール	トリシクラゾール		
	I2：メラニン生成の脱水酵素	MBI-D	シクロプロパン-カルボキサミド	カルプロバミド	中	16.2
			カルボキサミド	ジクロシメット		
			プロピオンアミド	フェノキサニル		

作用機構	作用点とコード	グループ名	化学グループ	有効成分名	耐性リスク	FRAC CODE
P: 宿主植物の抵抗性誘導	P2	ベンゾイソチアゾール	ベンゾイソチアゾール	プロベナゾール	耐性菌未発生	P
	P3	チアジアゾールカルボキサミド	チアジアゾールカルボキサミド	チアジニル		
				イソチアニル		
U: 不明	不明	シアノアセトアミド-オキシム	シアノアセトアミド-オキシム	シモキサニル	低～中	27
	不明	ホスホナート	エチルホスホナート	ホセチル	低	33
	不明	ベンゼン-スルホン酸	ベンゼン-スルホン酸	フルスルファミド	耐性菌未発生	36
	不明	フェニルアセトアミド	フェニルアセトアミド	シフルフェナミド	うどんこ病耐性菌発生。耐性菌対策が必要。	U6
	不明	ピリミジノンヒドラゾン	ピリミジノンヒドラゾン	フェリムゾン	耐性菌未発生	U14
未分類	不明	種々	種々	マシン油、有機油、炭酸水素ナトリウム天然物起源	耐性菌未発生	NC
M: 多作用点接触活性	多作用点接触活性	無機化合物	無機化合物	銅	低	M1
		無機化合物	無機化合物	硫黄		M2
		ジチオカーバメート	ジチオカーバメート	マンゼブ		M3
				マンネブ		
				プロピネブ		
				チウラム		
		フタルイミド	フタルイミド	ジラム		M4
				キャプタン		
		クロロニトリル(フタロニトリル)	クロロニトリル(フタロニトリル)	TPN		M5
		グアニジン	グアニジン	イミノクタジン酢酸塩 イミノクタジンアルベシル酸塩		M7
		キノン(アントラキノン)	キノン(アントラキノン)	ジチアノン		M9

詳細については、<http://www.frac.info/frac/index.htm>の'Publications'内'FRAC Code List'を参照してください。
本リストの最新版はJapan FRAC ホームページ (<http://www.jfrac.com/>)に掲載しています。

表2. 殺菌剤の耐性リスクと系統例

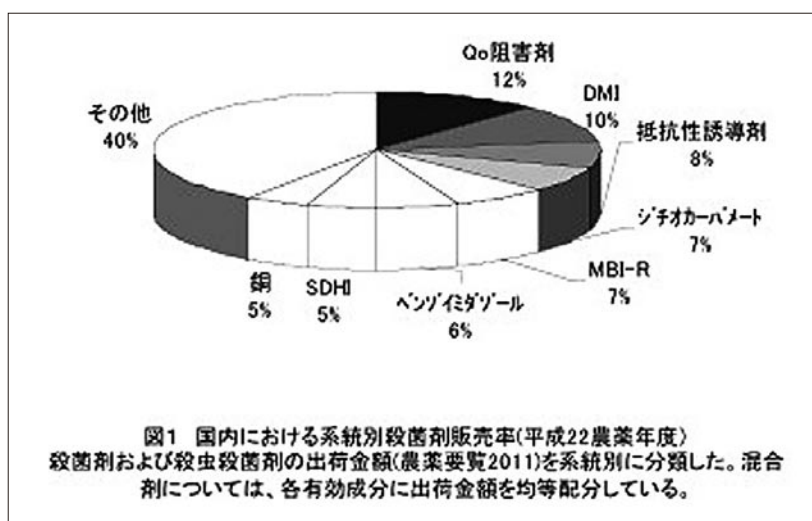
耐性リスク	定 義	系統・有効成分（例）
高	上市後数年で、一定の地域において、1 以上の病原菌に対する耐性が広範囲に発生、防除効果が大幅に低下した。	ベンゾイミダゾール、ジカルボキシイミド、フェミニルアミド、Qo 阻害剤
中	一部の条件で防除効果が低下した。または、限定的に防除効果が低下した。または、圃場から耐性菌を分離した事例がある。	アニリノピリミジン、カルボン酸アミド、DMI、アザナフタレン
低	長期間の使用において、耐性菌が発生していない、または極めてまれにしか出現しない。	TPN、銅、ジチオカーバメート、ホセチル、ピロキロン、プロベナゾール、硫黄、トリシクラゾール

FRAC Monoqraph 2 より要約。

4. 国内における系統別殺菌剤出荷状況

FRACコードにより国内殺菌剤の出荷金額（農薬要覧2011 参照）を系統別に分類、出荷率を図1に示した。最大のグループはストロビルリンを含むQo阻害剤であり、トリアゾール系を主とするDMIが第2位となっており、両者で22%を占める。一方、2009年の世界の系統別販売はDMIが第1位（32%）、Qo阻害剤が第2位（22%）となっており、この2系

統で約54%と占有率が高い（Kuck）。これはこの2系統が、国際的な主要作物である麦類、ブドウ等に広く使用されているためと推定している。日本においてはイネいもち病防除剤として普及している抵抗性誘導剤、MBI-R（メラニン生合成の還元酵素阻害剤）が上位となっているのが特徴である。ジチオカーバメート、銅、その他に含まれる多作用点阻害剤の出荷率は合計すると約20%となり、多様な系統の殺菌剤を含んではいるが最大のグループとなる。



5. おわりに

以上のとおりFRACコードリストは体系防除における殺菌剤の選抜検討にあたり有用である。ただし、同系統であっても、各薬剤の耐性度、防除効果に大差がある場合もある。特定の系統に属する薬剤で耐性菌が発生、防除効果が低減しても、その系統に属する他の薬剤が有効な場合もあるので、詳細については製造、販売会社に確認頂きたい。

参考文献

Kuck, K., Leadbeater, A., and Gisi, U. (2012)

FRAC Mode of Action Classification and Resistance Risk of Fungicides. Modern Crop Protection Compounds, Second Edition.

FRACホームページ

農薬要覧2011