

施設栽培における生物的害虫防除*(1)

ワーゲニンゲン農科大学昆虫学教室 教授 J. C. ファン・レンテレン

はじめに

全世界の施設栽培面積は約 15 万 ha と少ないが、この栽培体系では生物的防除(訳者注:主に天敵類による防除を指す)と IPM(Integrated Pest Control—文末注参照)が目覚ましく発達してきた。施設栽培では、狭い面積で高品質の作物を大量に生産することが可能である。オランダを例にとると、施設栽培は 200 万 ha の農耕地のわずか 0.5% に当たる 9,300 ha しかないが、1988 年にはオランダの全農業生産高の 17% (約 4,000 億円) もがここで生産されている。

ほとんどの生物的防除の専門家は、施設という保護された環境下での野菜栽培はコスト高である上に、害虫の被害に対する許容度が低いため、ここに天敵による防除を導入することは難しいと考えていた。特に、観賞植物では、害虫が 1 頭でも残存していると輸出ができないため、“ゼロ・トレランス”(ゼロ許容)が文字どおり要求され、状況はより深刻である。

施設栽培で高い生産量を上げるためには、よく訓練された洞察のきく栽培者であることが要求されるが、彼らは、総合防除が薬剤防除よりは悪影響が少ないであろうというような理想論的な理由のために、害虫による被害を受けるかもしれない危険を冒すようなことはしない。もし薬剤の効果が高ければ、彼らは間違いないそれを使う。トマトを例にとると、害虫防除にかかる費用は全生産コストの 2% 以下であるから、薬剤防除に要するコストが制限要因にはならないのである。

薬剤による防除が非常に簡便で安価であるという厳しい制約にもかかわらず、施設栽培における総合防除の発展と利用は非常に急速であった。生物的防除法が発達した主な理由は、施設内での数種の主要害虫(Key pests)が農業に対して抵抗性を発達させたことである。生物的防除や総合防除にすばやく切り替え、それらの知識を適用するためには、研究者と開発・普及にたずさわる者と栽培者間の緊密な連携プレーがあった。現在までのところ、施設での総合防除は、大部分オランダとイギリスにおいて最初に成功したが、それは単に今から 20 年前に

は、全世界の施設面積の 50% 以上がこの二つの国に存在していたためである。

現在、施設での主要害虫であるオンシツコナジラミ(*Trialeurodes vaporariorum*)とナミハダニ(*Tetranychus urticae*)に対して、施設栽培を行っている 35 か国中 20 か国で生物的防除が行われている。

施設における生物的防除について最近の成果を知りたいければ、HUSSEY and SCOPES (1985) と VAN LENTEREN and WOETS (1988) が参考になるし、この分野の発展の歴史は、「有害動植物の生物的防除のための国際組織による施設内総合防除に関するワーキンググループ記録」(Bulletins of IOBC/WPRS, 1970~1991) に詳しい。

施設栽培という環境

施設と野外という環境条件の差が、施設で生物的防除が成功した理由をある程度説明している。施設内はまわりから隔離された環境であり、特に冬期はなおさらである。通常冬期に始まる作物の植付時には、施設内の害虫を“クリーニング”した状態から始めることができ、しばらくの間、害虫ゼロの状態が保たれる。冬期も後半になると、この隔離によって、害虫の大量の移入が妨げられる。この隔離のためと、施設栽培の行われている国に対象作物の害虫がすべて侵入するわけではないため、施設にはわずかに 2~3 種類の害虫しか存在しないのが普通である。

このため、わずか数種の害虫の天敵を放飼するだけでよいということになり、生物的防除はより容易なものになる。もう一つのポイントとして、近年多くの重要野菜について耐病、耐ウイルス性品種が多く育成された結果、施設内では病気の発生が少なくなってきたこともあげられる (VAN LENTEREN and WOETS, 1988)。

栽培方法と害虫管理プログラムは、単独の施設ごとに組み合わせることができる。というのは、施設では近辺のハウスで行っている害虫管理による干渉がほとんどないため、各種の防除法がハウスごとに独立的に適用できるからである。野外の作物では農業のドリフトによってしばしば天敵に悪影響が出るが、こういう問題は施設内では起こりえない。

一方、施設内での病虫害防除は、周年栽培と連続的暖房を行うため、より複雑な様相を呈している。この条件

* Biozological Pest Control in Greenhouses; An Overview.
By J. C. VAN LENTEREN
Translated by Tethuo WADA and Kazuo NAKAMURA

下では、いったん害虫が侵入すると、その害虫の生存と生長にとってはこのうえない最適な条件を提供することになる。ある種の害虫は、施設内の環境に適応して、休眠を誘導する要因に反応しなくなってきている (HELLE, 1962)。しかしながら、これらの条件は、生物的防除にとって大きな問題とはなっていない。むしろ生物的防除のためには、低密度の天敵が長期間にわたって生存可能であるため、再放飼の必要がなくなることにより、好都合となっている。施設内の環境条件は、ある一定の範囲内でコントロールされるから、害虫及び天敵個体群の消長を予測することが野外における個体群よりも容易であり、予測の信頼度も高いのである。

施設栽培における天敵利用の歴史

施設栽培における天敵の利用は、1930年前後より始まった。SPEYER (1927) は、オンシツコナジラミの防除にオンシツツヤコバチ (*Encarsia formosa*) (以下、エンカル

シアと略す) を使用する方法を開発したが、この方法は1945年までにヨーロッパ各国及びその他の国々で適用され、成功を収めた。第二次大戦後、エンカルシアの利用は中断されたが、これは当時新たに導入された殺虫剤が、ほとんどすべての施設栽培の作物に利便で効果の高い防除を可能にしたからであった。しかしながら、数年にしてこれら殺虫剤のナミハダニ (*T. urticae*) に対する感受性低下の徴候が現れた。

その後、BRAVENBOER (1963) は、ナミハダニの捕食性天敵であるチリカブリダニ (*Phytoseiulus persimilis*) が効率的にナミハダニの密度を低下させることを明らかにした。このチリカブリダニが大規模に使用されるためには、なお数年の年数が必要であった。チリカブリダニの使用を促す大きな刺激が、意外にも農業業界よりもたらされた。選択性殺菌剤ミルカーブの出現である。これによって、ナミハダニとうどんこ病の防除のために、ミルカーブとチリカブリダニを共力的に使用することが一般的になった。

このチリカブリダニの成功がエンカルシアの再導入を促す結果となった。というのは、1970年代前半、オンシツコナジラミの大量発生が問題となったからである。エンカルシアが有効な寄生蜂であることが思い起こされ、エンカルシアによる防除プログラムが作成され、いくつかの試験を経て、エンカルシアの大量増殖法と放飼法の技術が開発された。このエンカルシアの再登場以降、施設での生物的害虫防除は確立したといえる (図-1 参照)。

施設における小規模なチリカブリダニの利用は、1968年に始まった。1970年以降、エンカルシアが再登場した。その後、ほかの天敵が次々に選抜され、試験されて、商業ベースの総合防除のプログラムに組み込まれていった (表-1)。表-1中の「使用開始年」というのは、西ヨーロッパにおいて商業的規模で利用されはじめた年を示す。

現在各種の天敵が施設での使用を目指して、試験されている (表-2)。施設内で使用する天敵の生産会社の数は、1968年の1社から1992年の30社にまで増加している (図-2 参照)。

1990年に開催されたIOBC/WPRS主催の施設栽培における総合的害虫防除に関する会議の報告書によれば、ほとんどすべての種類の天敵の使用が増加しているという (IOBC/WPRS, 1990)。エンカルシアとチリカブリダニの使用の増加や、ハモグリバエの寄生蜂 *Bacillus thuringiensis*、アザミウマ類の捕食性天敵 *Amblyseius* spp. の急速な伸長は、施設における天敵利用がまだまだ伸び続けることを示している。表-3は、1970年以降の全世界の施設栽培における天敵利用面積の増加の様子を示したも

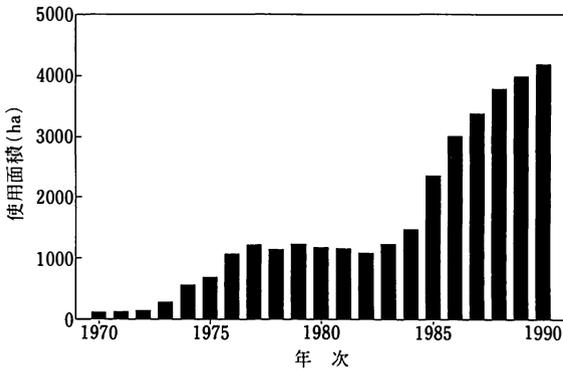


図-1 オンシツツヤコバチの使用面積推移 (VAN LENTEREN, 1992)

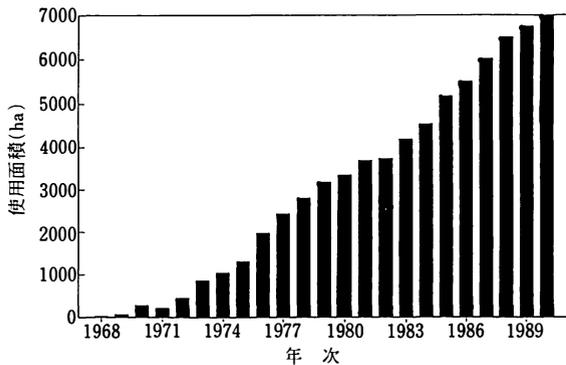


図-2 チリカブリダニの使用面積推移 (VAN LENTEREN, 1992)

表-1 商業的に生産されている施設用天敵(VAN LENTEREN and WOETS, 1988 及び RAVENSBERG, 1991)

天敵名	対象害虫	使用開始年
チリカブリダニ(<i>Phytoseiulus persimilis</i>)	ナミハダニ(<i>Tetranychus urticae</i>)	1968
オンシツツヤコバチ(<i>Encarsia formosa</i>)	オンシツコナジラミ(<i>Trialetrodes vaporariorum</i>)	1970 (初導入 1926)
コマユバチ(<i>Opius pallipes</i>)	タバココナジラミ(<i>Bemisia tabaci</i>)	1988
カブリダニ(<i>Amblyseius barkeri</i>)	ナスハモグリバエ(<i>Liriomyza bryoniae</i>)	1980~1983*
	ネギアザミウマ(<i>Thrips tabaci</i>)	1981~1990*
	ミカンキイロアザミウマ(<i>Frankliniella occidentalis</i>)	1986~1990*
コマユバチ(<i>Dacnusa sibirica</i>)	ナスハモグリバエ(<i>Liriomyza bryoniae</i>)	1981
	マメハモグリバエ(<i>Liriomyza trifolii</i>)	1981
	ハモグリバエ(<i>Liriomyza huidobrensis</i>)	1990
ヒメコバチ(<i>Diglyphus isaea</i>)	ナスハモグリバエ(<i>Liriomyza bryoniae</i>)	1984
	マメハモグリバエ(<i>Liriomyza trifolii</i>)	1984
	ハモグリバエ(<i>Liriomyza huidobrensis</i>)	1990
BT(<i>Bacillus thuringiensis</i>)	りん翅目害虫	1983
昆虫寄生性線虫(<i>Heterorhabditis</i> spp.)	キンケクチフトゾウムシ(<i>Otiorrhynchus sulcatus</i>)	1984
スタイナー線虫(<i>Steinernema</i> spp.)	キノコバエ(<i>Sciaridae</i>)	1984
カブリダニ(<i>Amblyseius cucumeris</i>)	ネギアザミウマ(<i>Thrips tabaci</i>)	1985
	ミカンキイロアザミウマ(<i>Frankliniella occidentalis</i>)	1986
クサカゲロウ(<i>Chrysoperla carnea</i>)	アブラムシ類	1987
ショクガタマバエ(<i>Aphidoletes aphidimyza</i>)	アブラムシ類	1989
アブラバチ(<i>Aphidius matricariae</i>)	モモアカアブラムシ(<i>Myzus persicae</i>)	1990
ハナカメモシ(<i>Orius insidiosus</i>)	ミカンキイロアザミウマ(<i>Frankliniella occidentalis</i>)	1991
アブラバチ(<i>Aphidius colemani</i>)	ワタアブラ, モモアカ(<i>A. gossypii</i> , <i>M. persicae</i>)	1992

*該当天敵の使用中止年。和名のないものは科名で示した。

のである。

現在の生物的防除

以上述べてきた天敵のほとんどは、それぞれの国や作物によって殺虫剤と天敵の使用の度合は異なるにしても、IPM(総合的害虫管理)体系に組み込まれている。IOBC/WPRSのワーキンググループによる農薬が天敵に及ぼす影響についての報告書『農薬と有益節足動物』は、天敵の活動に対する農薬の影響を最小限にするためには、どのような農薬を使うべきかを知るための手助けとなろう(HASSAN et al., 1987 参照)。

たとえ適当な選択性の高い殺虫剤が利用できないときでも、ほかにいくつかの方法はある。すなわち、

- 1) 天敵が農薬によって影響を受けにくいときに農薬を使用する(時間差散布)。
- 2) 株ごとの害虫の発生密度が最も高い場所だけに散布する(重点スポット散布)。

これらを行うためには、天敵生産会社や指導・普及機関による殺虫剤との組み合わせについての適切なアドバイスが絶対に必要である。

IOBC/WPRSのワーキンググループによる報告『害虫とダニ類抵抗性の育種』は、将来の天敵利用に重要な改

善をもたらすものであろう。食植性昆虫の個体群生長が速すぎて寄生蜂や捕食性天敵がそれに追いつかない作物では、育種家は害虫の個体群生長を遅らせる部分抵抗性品種を探索する。その最初の成果は、オンシツコナジラミとナミハダニのそれぞれに対するトマトとキュウリの部分抵抗性品種である(De PONTI, 1982)。品種の育成によって生じた思いがけない形態学的変化が、天敵による寄主の探索を促進させることもある。キュウリの品種改良の過程で葉の単位面積当たりの繊毛の数が減少していったが、これによってエンカルシアによるコナジラミの寄生率が上昇した(VAN LENTEREN and DE PONTI, 1990)。

天敵の利用の幅を広げるもう一つの方法としては、殺虫剤抵抗性系統の天敵の利用である。実際、有機リン剤抵抗性のチリカブリダニは、施設栽培のIPMにすでに利用されている。さらに施設内の環境条件管理により天敵の効率を向上させたり、病害虫の発生を抑えることも、IPMプログラムの一部となるであろう。

数年前までには、IPMは主に害虫の防除に限られていたが、過去10年の間に線虫と病菌の非農薬防除の研究が始められている。IOBC/WPRS地中海支部の最近の会議では、「施設内作物における総合防除」について次のような報告がなされている。「土壌の太陽光照射の線虫と病菌

表-2 試験中の天敵類(VAN LENTEREN and WOETS, 1988 及び RAVENSBURG, 1991)

天敵名	対象害虫
昆虫病原菌, 捕食性・寄生性天敵	アザミウマ類
寄生性天敵	ワタアブラムシ
昆虫病原菌, 捕食性・寄生性天敵	アブラムシ類
寄生性天敵	ハモグリバエ類
<i>Aschersonia aleyrodis</i> , <i>Verticillium lecanii</i>	コナジラミ類
核多角体病ウイルス	シロイチモジヨトウ
線虫	土壌害虫
<i>Metarhizium anisopliae</i>	キンケクチプトゾウムシ
<i>Bacillus thuringiensis</i> var. <i>israelensis</i>	キノコバエ(Sciaridae)

表-4 トマトにおける IPM で採用されている防除法

対象病虫害	防除方法
オンシツコナジラミ	オンシツツヤコバチ
ナミハダニ	チリカブリダニ, 化学的防除
ナスハモグリバエ	コマユバチ, 自然制御
マメハモグリバエ	ヒメコバチ, 自然制御
ハモグリバエ	ヒメコバチ
アブラムシ類	化学的防除, 自然制御
シロスジヨトウ	<i>Bacillus thuringiensis</i>
イチジクキンウワバの同属種	<i>Bacillus thuringiensis</i>
<i>Botrytis cinerea</i>	殺菌剤
病菌, ウイルス	抵抗性品種, 植物由来物質
土壌線虫	植物由来対抗物質

表-3 1970 年以降の施設での生物的防除の面積

年	対象害虫	天敵	防除面積 (ha)	合計 (ha)
1970	ハダニ	<i>P. persimilis</i>	295	410
	コナジラミ	<i>E. formosa</i>	115	
1980	ハダニ	<i>P. persimilis</i>	3,340	4,570
	コナジラミ	<i>E. formosa</i>	1,180	
	ハモグリ類	<i>D. sibirica</i>	40	
	アブラムシ類	<i>A. aphidimyza</i>	10	
1990	ハダニ	<i>P. persimilis</i>	7,000	13,800
	コナジラミ	<i>E. formosa</i>	4,200	
	アザミウマ	<i>Amblyseius</i> spp.	1,200	
	ハモグリ類	<i>D. isaea</i>	1,000	
	アブラムシ類	<i>A. aphidimyza</i>	350	
	土壌害虫	線虫	50	

学名は表-1 参照。

に対する効果」, 「病菌を減少させる可能性のある抑止土壌の役割」, 「拮抗菌の使用による地上病害の防除の可能性」など (IOBC/WPRS 1991)。

IPM プログラムの一つの具体的例を以下に示す。総合防除に使用できる農薬は、その剤の登録や開発状況によって国ごとに異なるので、具体的な薬剤名は示さないが、それらは前述の IOBC の報告書中にみられる。

1 トマトにおける IPM

トマトで生物的防除が成功した理由は、その比較的単純な病虫害相によるものである。定植前の土壌の蒸気消毒により、トマトモザイクウイルス (TMV)、フザリウム、バーティシリウムのような土壌病菌、ナスハモグリバエ、マメハモグリバエ、シロスジヨトウ等の害虫を除去することができる。さらに西ヨーロッパの多くのトマトの品種は、TMV、クラドスポリウム、フザリウムに対し抵抗性を持つものが多い。TMV に耐性でない品種は幼苗期に TMV の弱毒ウイルスが接種され、TMV に対

する感受性を低下させている。この処理は、生物的防除の一つと考えることができる。また、いくつかの品種はバーティシリウムとネコブセンチュウにも抵抗性が認められる。このため、葉面につく害虫と灰色カビ病だけが、直接防除が必要なのである。

施設内で“越冬”し、土壌消毒にも生きのびる害虫は、ナミハダニと *Chrysodeixis chalcites* (イチジクキンウワバと同属の種) である。施設内に持ち込む幼苗がほかの病虫害におかされているかどうかは、病虫害の初期増殖を抑えるために重要である。過去5年の間にハウストマトの大部分はロックウール栽培に切り替えられてきており、土壌消毒の必要もなくなってきた (記者注: 日本ではまだ数パーセントの普及率である)。この結果、ナスハモグリバエとその天敵やシロスジヨトウなどの多くの生物が“越冬”できるようになってきている。マメハモグリバエは、温帯の施設内では、冬期間生存できない。表-4 にトマトにおける IPM プログラムを示した。

2 他の作物における IPM

キュウリ、ナス、ピーマンなどの重要な施設作物についても、IPM は確立されつつある (VAN LENTEREN and WOETS, 1988)。しかしながら、キュウリなどの作物では IPM の継続を脅かす問題害虫が存在する。このうち最も重要な害虫はアブラムシとスリップスである。ワタアブラムシはキュウリでしばしば発生するが、天敵に影響の少ない有機リン剤であるピリマーでは効果が低い。カブリダニ (*Amblyseius* 属) によるアザミウマ類の防除は数年にわたって実用に供されたが、その効果が低いことが判明し、現在ではほとんど使用されていない (記者注: *A. barkeri* のことである)。このため、現在新しい天敵の評価が行われているところである。

最近西ヨーロッパに侵入してきたミカンキイロアザミウマ (*Frankniella occidentalis*) は、キュウリ農家に危

機的状況を引き起こしている。化学農薬も天敵による防除も全く効果がない。現在、新しい天敵の探索が開始されたところであるが、実際に防除プログラムに組み入れるまでにはまだ数年はかかると考えられる。タバココナジラミ (*Bemisia tabaci*) はもう一つのヨーロッパへの侵入害虫であるが、これまでのところそれほど問題にはなっていないし、エンカルシアの定期的な放飼によって低密度に抑えることが可能である (IOBC/WPRS, 1990)。

IPM プログラムは、菊やガーベラなどいくつかの花卉類で採用されているが、非常に限られた規模で、国内向けの花のみで行われているだけである。これは花卉類では害虫の許容水準が極端に低いためである。

訳者注：本稿は1991年にエジプトで開催された「国際生物的防除会議」用に執筆されたものだが、本誌が出版物としては初出となる。

著者は、IPM (総合的害虫管理—本文中では“総合防除”とも言い換えている) に対して、次のような定義を与えている。

害虫、病気、雑草によって生じる被害を防ぐのに、これらの生物の個体群生長を抑える自然要因を用い、必要なら適切な防除手段を用いるシステムで、環境にも経済的にも容認できる持続可能なものをいう。また、著者は、pests という言葉は、害虫以外に病菌、雑草も含めると断わっている。ここでは、病菌、雑草と明示されているときを除いて、「害虫」と訳した。

〔翻訳：(株) トーメン生物産業部 和田哲夫〕
〔監訳：農水省農業研究センター 中村和雄〕

(20ページより続く)

エトフェンブロックス・オキシソリニック酸・トリシクラゾール粉剤

エトフェンブロックス 0.50%, オキシソリニック酸 1.0%,
トリシクラゾール 0.50%

ビームトレスターナ粉剤 5 DL (5.4.26)

18301 (クミアイ化学)

稲：いもち病・ツマグロヨコバイ・ウンカ類・イネツトムシ・カメムシ類・もみ枯細菌病：穂ばらみ初期～乳熟期 (収穫 31 日前まで)：2 回以内：散布

MEP・フサライド粉剤

MEP 2.0%, フサライド 2.5%

ラブサイドスミチオン粉剤 DL (5.4.26)

18302 (アグロス)

稲：ウンカ類・ニカメイチュウ・いもち病：21 日 4 回

MEP・MTMC・フサライド粉剤

MEP 2.0%, MTMC 1.5%, フサライド 2.5%

ラブサイドツマシ粉剤 (5.4.26)

18303 (アグロス)

稲：ニカメイチュウ・ツマグロヨコバイ・ウンカ類・いもち病：21 日 4 回

MTMC・フサライド粉剤

MTMC 2.0%, フサライド 2.5%

ラブサイドツマサイド粉剤 (5.4.26)

18304 (アグロス)

稲：ツマグロヨコバイ・ウンカ類・いもち病：収穫 21 日前まで：5 回以内ただし穂ばらみ期以降は 4 回以内：散布

〔除草剤〕

ピアラホスエアゾル

ピアラホス 2.5%

ねらいうち (5.4.26)

18298 (明治製菓), 18299 (フマキラー)

公園・庭園・提とう・道路・駐車場・宅地・運動場・のり面等：一年生及び多年生雑草：雑草生育期 (草丈 30 cm 以下)：雑草茎葉噴射

イマザピル液剤

イマザピル 1.0%

チョッパー液剤 (5.4.26)

18300 (日本サイアナミッド)

鉄道・道路：ススキ・ヨシ・チガヤ・トールフェスク・トグシバ・オーチャードグラス・コヌカグサ・ギシギシ・セイタカアワダチソウ・クズ・雑草生育期 (草丈

50 cm 以下)：1 回：雑草茎葉散布

ピリデート水和剤 [NY-712 水和剤]

ピリデート 40.0%

ヒログラス水和剤 (5.4.28)

18307 (日本農薬), 18308 (八洲化学)

小麦：畑地一年生広葉雑草：小麦 2～3 葉期：1 回：雑草茎葉散布：東北・北陸, 小麦：畑地一年生広葉雑草：

広葉雑草 2～3 葉期 (但し収穫 60 日前まで)：1 回：雑草茎葉散布：関東以西, たまねぎ：畑地一年生広葉雑草：

広葉雑草 2～3 葉期 (但したまねぎ 5 葉期まで)：1 回：雑草茎葉散布：北海道, たまねぎ：畑地一年生広葉雑草：

広葉雑草 2～3 葉期 (但したまねぎ 5 葉期まで)：1 回：雑草茎葉散布：東北・北陸以南, アスパラガス：畑地一年生広葉雑草：

広葉雑草 2～3 葉期 (但し収穫 3 日前まで)：1 回：雑草茎葉散布：全域

アトランジン・ピリデート水和剤 [NY-843 水和剤]

アトランジン 20.0%, ピリデート 25.0%

ジャスパール水和剤 (5.4.28)

18309 (日本農薬), 18310 (八洲化学)

日本芝：畑地一年生雑草：春期雑草発生初期：2 回以内：散布, 日本芝：畑地一年生雑草：秋期雑草発生初期：2 回以内：散布

イマゾスルフロン粒剤 [TH-913 粒剤]

イマゾスルフロン 0.30%

テイクオフ粒剤 (5.4.28)

18323 (武田薬品)

移植水稻：水田一年生雑草 (イネ科を除く) 及びマツバ

イ・ホタルイ・ウリカワ・ミズガヤツリ・ヘラオモダカ (北海道)・クログワイ (北海道・北陸・九州を除く)・

ヒルムシロ (北海道)・セリ (北海道)・アオミドロ・藻類による表層剝離 (北海道)：移植後 10～15 日 (移植前後の初期除草剤による土壌処理との体系で使用)：壤土～埴土 (減水深 2.0 cm/日以下)：2 回以内：湛水散布：北海道・東北・北陸, 水田一年生雑草 (イネ科を除く) 及びマツバ

イ・ホタルイ・ウリカワ・

(31ページに続く)