

オウトウシヨウジヨウバエの日本と欧米における生態と防除の研究事例

コーネル大学昆虫学科・ニューヨーク州立農業試験場

三井化学アグロ株式会社農業化学研究所

東京農工大学大学院農学研究院

瀬
きん
な
か
仲

と
じょう
い
井

まさ
ひろ
ま
ど

のり
とし
俊
か

はじめに

オウトウシヨウジヨウバエ (*Drosophila suzukii*) は、オウトウやブルーベリー等の果実に寄生する害虫である。本種は、オス成虫の翅に、特徴的な斑点があり英名では、Spotted Wing *Drosophila* (SWD) と呼ばれる (図-1)。メスの産卵管がギザギザのノコギリ状になっており熟れる前の固い果実に産卵することができる (図-2)。本種に産卵された果実は、黒褐色に腐敗し、果実中に蛆が混入するため、生食用の果実では商品価値がなくなる (図-3)。

本種は、1916年に日本の本州ではじめて記載され、1930年代に山梨県職員だった神沢恒夫によりその生物学の特徴について詳細な研究が行われた (神沢, 1939)。日本国内における本種による被害の報告例としては、徳島県のヤマモモ、福島県のオウトウ、ブルーベリーおよびブドウ等がある。特に2002年には千葉県木更津市で栽培されているブルーベリーが本種の被害にあい問題になった。

また、2008年ごろ、原産地である東アジア (日本、韓国、中国等) より欧州や北米に侵入し、現在もこれらの諸国で甚大な被害を及ぼしている。欧米において急速に重要害虫となった本種の生態・侵入状況と防除に関する最近の研究動向を概説する。詳しい総説として CINI et al. (2012), LEE, et al. (2011 a), WALSH et al. (2011) がよくまとめられているので参照してほしい。

I オウトウシヨウジヨウバエの生態

1 生活史と寄主植物

本種は温暖な気候を好み、約1～2週間で卵から成虫となる (神沢, 1939)。成虫の寿命は3～9週間とされ、メスはその間200～600個の卵を寄主果実に生む。日本では年間10～13世代が確認され、成虫で越冬する。

福島県での本種の寄主植物は、果実の熟期順に、ソメ



図-1 オウトウシヨウジヨウバエ雄成虫

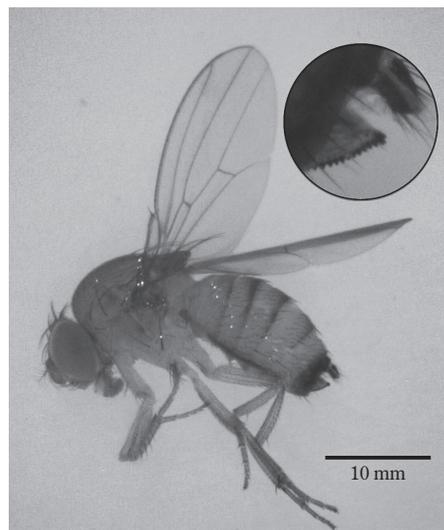


図-2 オウトウシヨウジヨウバエ雌成虫 (円内は産卵管の拡大図)

Ecology and Management of *Drosophila suzukii* in Japan, America and Europe. Masanori SETO, Hirotoishi KINJO and Madoka NAKAI

(キーワード: オウトウシヨウジヨウバエ, 侵入害虫, 果樹害虫)



図-3 オウトウシヨウジョウバエの産卵を受けたブルーベリー

イヨシノ、キイチゴ、ナツグミ、クワ、ブルーベリー、ラズベリー、モモ、イヌザクラ、アメリカヤマゴボウ等を含めた5科12種であった(佐々木, 1998)。このように、本種は果実の熟期が来るたびに寄生植物種を換えて産卵する。米国における本種の被害状況は、寄主植物によって大きく異なる(表-1)。果実種に対する選好性については、次のような研究例がある。米国で実施されたオウトウやブルーベリー等の果実を用いた選好実験の結果、BRIX値(糖度を表す指標)が高いほど産卵数が増加し、より多くの個体が成長した(LEE et al., 2011 b)。日本で栽培されている果実硬度の異なるブルーベリー12品種に対するメス成虫の24時間当たりの産卵数を調査した結果、果実が固い品種では産卵数が少なくなる傾向があった(KINJO et al., 2013)。

2 気温と発生との関係

日本の *Drosophila* 属の温度感受性を地域系統別に調べた研究において、本種は高温により活動が抑制されることが報告されている(KIMURA, 2004)。日本酒と蜂蜜をまぜた誘引トラップにより、東京で本種の野外の発生消長を調査したところ、夏の気温の高い期間には極端に捕獲成虫数が減少した。そこで、生物検定法を確立して発育ステージごとの飼育温度が本種の発育および産卵数とふ化率に及ぼす影響を調査した。その結果、31℃で4日間成虫雄と雌を交尾できる条件で飼育すると、卵のふ化が全く見られなかった。また、産卵数とふ化率、幼虫の蛹化率と羽化率も高温により低下した。このことから、本種は野外気温が高温になる夏期には活動性が低下することが示された(KINJO et al., 2014)。

II 日本におけるオウトウシヨウジョウバエの防除

本種に寄生された果実は、腐敗し経済的な価値をなく

表-1 米国でのオウトウシヨウジョウバエによる作物被害(2013年)

	平均損失割合 (%)	最大損失割合 (%)
ブルーベリー	4.7	100
ブラックベリー	12	100
ラズベリー	16.3	100
イチゴ	3.9	50
オウトウ	3.1	20
ブドウ	2	20

SWD impacts (2013) より。

損失割合 = 被害果実数 / 平均収穫数

してしまうため本種の防除が重要である。日本国内で本種に対する防除は化学的防除と耕種的防除を組合せた方法が一般的である。果実が色づき柔らかくなるころに殺虫剤の散布によって寄生を防ぎ、被害果実や地表に落下した果実を地面へ埋設し、果実の取り残しをなくすることで個体群密度の増加を防ぐことが重要である。

表-2に我が国で本種に対して登録のある殺虫剤のリストを示す。オウトウの栽培場面で主に使われているのはピレスロイド系とネオニコチノイド系の農薬であるが、有機リン系やジアミド系の農薬も登録されている。合成ピレスロイド剤のみでは効果が不十分であるという報告があり、その連用により抵抗性の発達やハダニ類やカイガラムシ類の多発が懸念される(村上ら, 2013)。このため、本種の防除には十分に効果が認められ作用機序の異なる殺虫剤をローテーション使用することが、抵抗性管理の観点から必要がある。

耕種的防除法としては、ブルーベリーの圃場において0.98 mm以下の防虫網を早生種の収穫1か月前から使用すれば被害を大きく低減できるという報告がある(川瀬ら, 2008)。

III オウトウシヨウジョウバエの海外での被害状況

1 世界における分布

本種の世界的な分布の拡大は2008年以降、米国および欧州で同時多発的に確認され始めた。米国本土では、2008年にカリフォルニア州サンタクルーズ郡のラズベリー圃場で観察されたのを皮切りに、2009年にはカリフォルニア州の中部沿岸など、2010年にはユタ州など、2011年にはバージニア州などで確認された(図-4)。2014年現在、ほぼ全州で本種が確認されている(NAPIS, 2014)。

カナダでは2009年にブリティッシュコロンビア州、2010年にアルバータ州、マニトバ州、オンタリオ州とケベック州、メキシコでは2011年に本種の侵入が確認

表-2 オウトウとブルーベリー圃場においてオウトウシヨウジョウバエに対して登録のある主な殺虫剤（2014年12月31日現在）

系統	製品名	有効成分	IRACによる作用機構分類 (グループ：第一作用部位)	登録	
				オウトウ	ブルーベリー
ピレスロイド系	アーデントフロアブル	アクリナトリン	3A：ナトリウムチャンネルモジュレーター	○	
	テルスターフロアブル	ピフェントリン		○	
	スカウトフロアブル	トラロメトリン		○	○
	アディオフロアブル	ベルメトリン		○	○
	アディオン水和剤	ベルメトリン		○	
	アグロスリン水和剤	シベルメトリン		○	
	兼商バイスロイドEW	シフルトリン		○	
ネオニコチノイド系	モスピラン顆粒水溶剤	アセタミプリド	4A：ニコチン性アセチルコリン受容体 (nAChR) アゴニスト	○	○
	モスピラン水溶剤	アセタミプリド		○	○
	バリアード顆粒水和剤	チアクロプリド		○	
	ダントツ水溶剤 (ベニカ水溶剤)	クロチアニジン		○	
	スタークル顆粒水溶剤 (アルバリン顆粒水溶剤)	ジノテフラン		○	
	アクタラ顆粒水溶剤	チアメトキサム		○	
有機リン系	スプラサイド水和剤	DMTP (メチダチオン)	1B：アセチルコリンエステラーゼ (AChE) 阻害剤	○	
スピノシン系	ディアナWDG	スピネトラム	5：ニコチン性アセチルコリン受容体 (nAChR) アロステリックモジュレーター	○	○
ジアミド系	サムコルフロアブル 10	クロラントラニプロール (リナキシピル)	28：リアノジン受容体モジュレーター	○	
	エクシレル SE	シアントラニプロール (サイアジピル)		○	

されている。南米では2013年にブラジル南部において確認されている (DEPRÁ et al., 2014)。

欧州では、2008年にスペインとイタリアで本種が最初に観察された。2009年にはフランス南部、2010年にはスロベニアとクロアチア、2011年にはスイス、オーストリア、ドイツ、そしてベルギーで確認された。2012年までには、オランダ、イギリス、ハンガリー等でも見つかリ、欧州のほとんどの国で本種が確認されている。

2 各地域での被害状況

北米では、本種が広範囲に確認されているが、その被害の包括的な研究はまだまだない。経済的被害の推定もしくは推測研究によると、西海岸のイチゴ、ブルーベリー、ラズベリー、ブラックベリー、オウトウに関して、本種が寄主植物の果実に20%程度（年間計5.1億米ドル）の

被害をもたらすと推定されている (BOLDA et al., 2010)。SWD impacts は、米国における本種のもたらす被害に関する最新かつ包括的な情報を提供している (<http://swd.ces.ncsu.edu>)。

欧州での具体的な被害状況の報告としては、2010年に南フランスでイチゴに最大80%の損失が確認され、イタリアではブルーベリー、ブラックベリー、ラズベリーに30～40%の被害の報告がある (LEE et al. 2011 a)。

本種による経済被害は収量の損失だけでなく、モニタリングと管理のための労働時間の増加、農薬や防虫網等の資材の購入によるコスト増加、輸出禁止になった際の経済的損失があげられる。カリフォルニア州のイチゴとラズベリーにおける経済分析では、本種の防除によって、防除コストをはるかに上回る利益が得られると結論

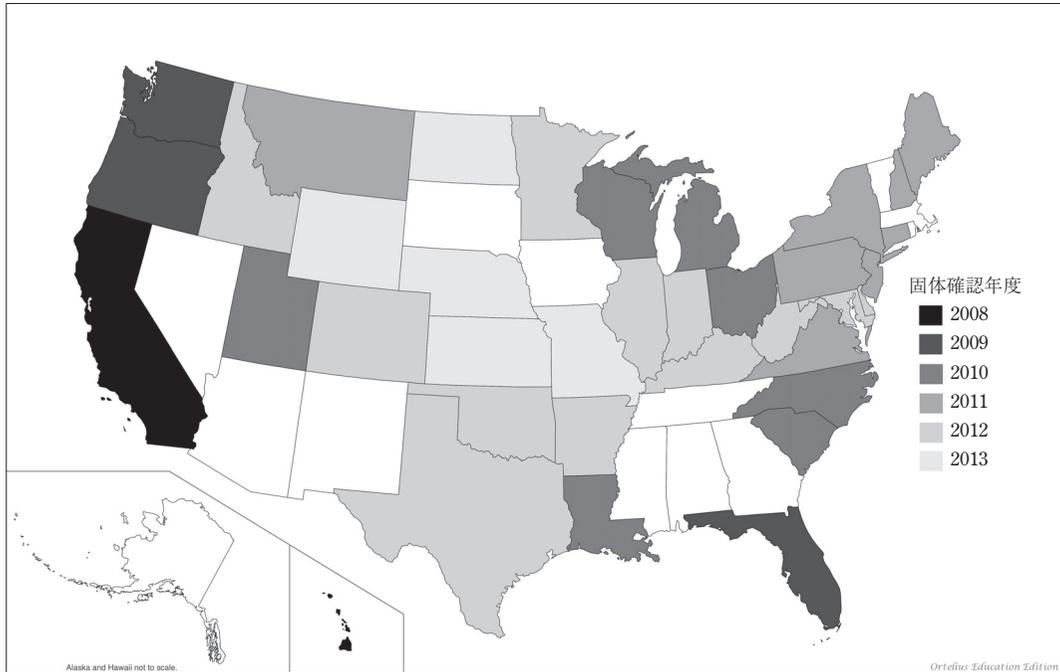


図-4 米国におけるオウトウショウジョウバエの分布 (NAPIS, 2014 による)

づけられている (GOODHUE et al., 2011)。

IV オウトウショウジョウバエの防除に関する研究

本種の防除に関する研究動向について、モニタリング、モデリング、管理の三つのアプローチにわけて概説する (CINI et al., 2012)。

1 モニタリング

本種の最適な総合的害虫管理 (IPM) には、信頼性の高い方法で個体群サイズ、季節的移動、季節的個体群動態をモニタリングできることが前提となる。本種のモニタリングには、一般に他の害虫や他種のショウジョウバエに使われている方法が利用されている。野外トラップの誘引剤として、りんご酢とワインを組合せると、酢酸やワインを単独で用いた場合に比べてより多く本種成虫が捕獲される (LANDOLT et al., 2012)。酢とワインの混合液から、触角電図を用いて、オウトウショウジョウバエの触角が反応する 13 種類の物質が特定され、そのうち誘引に不可欠な 4 種の化学物質 (酢酸, エタノール, アセトイン, メチオノール) が特定された。また、この 4 種の混合物が、本種の野外トラップの誘引剤として最適であることが示された (CHA et al., 2013 a)。また、トラップの色や形状も本種成虫の捕獲に影響を与える。黄色のトラップは、無色や黒色に比べて本種の成虫を多く誘

引する (LEE et al., 2013)。

カリフォルニア州の異なる寄主植物が混植された果樹園では、本種の成虫は春と秋に多く捕獲される。冬期は、柑橘樹や人家で多く捕獲されることから、これらの場所で越冬している可能性がある (HARRIS et al. 2014)。一方、カリフォルニア州のラズベリー畑で、様々な誘引トラップによる成虫捕獲数と果実中の幼虫密度をもとに本種の季節的な個体群動態が調査された。その結果、トラップによる成虫捕獲数と幼虫密度には全体に相関が見られるものの、成虫数が少ない場合にも幼虫密度が高くなることもあり、その原因として誘引剤の種類などがかわることが懸念された (HAMBY et al., 2014)。このように、本種の個体群動態の把握に最適なトラップの条件については、さらに研究が必要である。

2 モデリング

本種の個体群動態を予測する Degree-day model が、米国西海岸およびカナダにおいて研究された。本種の季節移動や発育速度等は、地形や代替寄主植物の有無に影響されるため、景観生態学の研究法が重要である。さらに本種は広食性であるため、寄主する植物種により摂食量や生殖活動が影響される。Wiman ら (2014) は米国及びイタリヤでの野外試験により、オウトウショウジョウバエの成長が植生や気候、作物に大きな影響を受け

るため、単純な Degree-day model では予測が不十分であると示し、温度に依存した生命表を統合したマトリックスモデルを提唱した。本モデルは個体群サイズや年齢構成をより明確に予測できるために管理の際の意思決定に役立つとしているが、野外実験による妥当性の確認が必要である。

3 管理

本種は、欧米の広範囲に分布しており、その広食性を考慮すると根絶は困難であると考えられる。しかし、個体数を管理可能なレベルに維持するためには新たな侵入や定着を回避すべきであり、本種の侵入経路を明らかにする必要がある。

侵入時期やミトコンドリア DNA の類似性によると、米国と欧州への侵入には関連があるという報告がある (CALABRIA et al. 2010)。しかし、X-染色体にコードされている塩基配列の解析によると、米国と欧州への侵入は独立の経路の可能性が高いとされている (ADRION et al., 2014)。欧州では、本種の最初の侵入がスペインとイタリアで確認されたが、Geographic profiling という犯罪捜査の手法を応用した解析結果とアジアからの作物の輸入経路を合わせて考えると、南フランスが本種の侵入の中心地と思われる (CINI et al. 2014)。

欧米でも現在のところ、本種の防除は殺虫剤の使用に依存している。ミシガン州のブルーベリー畑で行った試験では、有機リン剤、ピレスロイド剤、スピノシン剤に高い殺虫活性が認められた。ネオニコチノイド系殺虫剤は散布 5 日まで残効が認められた (Van TIMMEREN and ISAACS, 2013)。

ポストハーベスト処理については、イチゴでの臭化メチル施用が試験されており、本種の防除に効果があった (WALSE et al. 2012)。X 線の照射も本種に対して防除効果があり作物の市場価値を落とさない方法として有望である (FOLLETT et al. 2014)。

本種の神経ペプチドは、その大部分が同属であるキイロシヨウジョウバエ (*D. melanogaster*) と同一である。そのため、キイロシヨウジョウバエの神経ペプチドやその受容体の機能について既知の情報を基盤に研究を行うことにより、本種に対する新たな殺虫剤の開発や防除法の発見が期待される (AUDSLEY et al. 2014)。

化学合成殺虫剤を多用すると抵抗性の発達を助長する可能性があるため、本種の防除にも生物的防除等を組合せた IPM を取り入れることが望ましい。筆者らは、東京農工大学の圃場で本種幼虫に対する寄生性天敵として *Asobara tabida* (コマユバチ科) を観察した。その他の寄生性天敵として、*Ganaspis* (コマユバチ科)、*Leptopilina*

japonica (コマユバチ科)、*Asobara rufescens* (コマユバチ科)、*Trichopria* (ハエヤドリクロバチ科) 等が報告されている。フランス在来の寄生バチ 5 種を用いた寄生実験の結果、幼虫寄生蜂である 3 種は寄生しなかったが、蛹寄生バチ 2 種 (*Trichopria drosophilae*, *Pachycrepoides vindemmiae*) は本種の蛹に寄生をした (CHABERT et al., 2012)。本種は、キイロシヨウジョウバエよりもはるかに寄生蜂に対して抵抗性が高い。その理由として、本種の血球生産がキイロシヨウジョウバエのそれよりも 5 倍高いことが考えられる (KACSOH and SCHLENKE, 2012)。

天敵微生物はまだ見つかってない。本種の微生物天敵については、記載された文献はないが原産国である日本になんらかの天敵微生物が存在する可能性がある。

内部共生微生物の利用も生物的防除の一つとして考えられる。*Wolbachia* 属は偏性細胞内寄生性微生物で、大半の昆虫に感染しており寄主に細胞質不適合性 (CI) をひきおこすことがある。CI は *Wolbachia* 感染オスが、非感染メスと交配した場合に次世代の卵が発生しなくなる現象であり、CI を応用した不妊虫放飼法について近年関心が高まっている。しかし、北米およびハワイに分布する本種の *Wolbachia* 感染率は 20% 未満であり、CI の発生は見られなかった (HAMM et al, 2014)。

おわりに

本種は、日本を含む東アジアから欧米各地に侵入し、2008 年以降に急速に重要害虫となった。近年、本種の防除に関する研究が欧米を中心に多数行われている一方で、原産地である日本、中国、韓国では研究例が近年、極めて少ない。本種に有効なウイルス殺虫剤、昆虫病原菌、その他の生物的防除資材などの研究が急務であり、我が国の研究者が欧米の研究者との国際共同研究に参加することが望まれる。

引用文献

- 1) ADRION, J. R. et al. (2014): Mol. Biol. Evol. doi: 10.1093/molbev/msu246.
- 2) AUDSLEY, N. et al. (2014): Peptides. In press
- 3) BOLDA, M. P. et al. (2010): Agricul. Resource Econ. 13: 5 ~ 8.
- 4) CALABRIA, G. et al. (2012): J. Appl. Entomol. 136: 139 ~ 147.
- 5) CHA, D. H. et al. (2013 a): Pest Manag. Sci. 70: 324 ~ 331.
- 6) CHABERT, S. et al. (2012): Biol. Contr. 63: 40 ~ 47.
- 7) CINI, A. et al. (2012): Bull. Insectol. 65: 149 ~ 160.
- 8) ——— et al. (2014): J. Pest Sci. 87: 559 ~ 566.
- 9) DEPRÀ, M. et al. (2014): J. Pest Sci. 87: 379 ~ 383.
- 10) FOLLETT, P. A. et al. (2014): J. Econ. Entomol. 107: 964 ~ 969.
- 11) GOODHUE, R. E. et al. (2011): Pest Manag. Sci. 67: 1396 ~ 1402.
- 12) HAMBY, K. A. et al. (2014): Environ. Entomol. 43: 1008 ~ 1018.
- 13) HAMM, C. A. et al. (2014): Mol. Ecol. 23: 4871 ~ 4885.
- 14) HARRIS, D. W. et al. (2014): J. Asia-Pacific Entomol. 17: 857 ~ 864.
- 15) KACSOH, B. Z. and T. a. SCHLENKE (2012): PloS one 7, e34721.
- 16) 神沢恒夫 (1939): 山梨県立農業試験場業務年報, 1 ~ 63.

- 17) 川瀬信三ら (2008): 千葉農総研研報, **7**: 9 ~ 15.
 18) KIMURA, M. T. (2004): *Oecologia* **140**: 442 ~ 449.
 19) KINJO, H. et al. (2013): *J. Econ. Entomol.* **106**: 1767 ~ 1771.
 20) ——— et al. (2014): *Appl. Entomol. Zool.* **49**: 297 ~ 304.
 21) LANDOLT, P. J. et al. (2012): *Florida Entomol.* **95**: 326 ~ 332.
 22) LEE, J. C. et al. (2011 a): *Pest Manag. Sci.* **67**: 1349 ~ 1351.
 23) ——— et al. (2011 b): *Pest Manag. Sci.* **67**: 1358 ~ 1367.
 24) ——— et al. (2013): *Environ. Entomol.* **42**: 1348 ~ 1355.
 25) 村上芳照ら (2013): 山梨県農政部果樹試験場 平成 25 年研究
 成果情報.
 26) National Agricultural Pest Information System (NAPIS). (2014):
 27) 佐々木正剛 (1998): 植物防疫, **52**: 328 ~ 332.
 28) Van TIMMEREN, S. and R. ISAACS (2013): *Crop Protection* **54**: 126
 ~ 133.
 29) WALSH, S. S. et al. (2012): *J. Asia-Pacific Entomol.* **15**: 451 ~
 456.
 30) WALSH, D. B. et al. (2011): *J. Integ. Pest Manag.* **2**: 1 ~ 7.
 31) WIMAN, N. G. et al. (2014): *PLoS one* **9**, e106909.

登録が失効した農薬 (26.12.1 ~ 12.31)

掲載は、種類名、登録番号：商品名（製造者又は輸入者）登録失効年月日。

〔殺虫剤〕

- DMTP・NAC 水和剤
- 14049：スプラナック水和剤（クマアイ化学工業）14/12/25
- PAP 粉剤
- 14842：ホクコーエルサン粉剤 3DL（北興化学工業）14/12/2
- ブプロフェジン粒剤
- 15776：アブロード粒剤（日本農薬）14/12/11
- テブフェンピラド水和剤
- 19476：ヤシマピラニカ水和剤（協友アグリ）14/12/25

〔殺虫殺菌剤〕

- ブプロフェジン・フルトラニル粒剤
- 17516：アブロードモンカット粒剤（日本農薬）14/12/11
- イミダクロプリド・カルプロパミド・チフルザミド・ダイムロン粒剤
- 20293：ウィンアドマイヤーグレータム箱粒剤（バイエル クロップサイエンス）14/12/10

〔殺菌剤〕

- ストレプトマイシン水和剤
- 5924：ホクコーマイシン水和剤（北興化学工業）14/12/25
- マンネブ水和剤
- 10574：東北グリーンエムダイファー水和剤（北興化学工業）14/12/13
- トリフルミゾール乳剤

- 19470：ヤシマトリフミン乳剤（協友アグリ）14/12/25
- シプロジニル・フルジオキシニル水和剤
- 20314：スイッチ顆粒水和剤（シンジェンタジャパン）14/12/27
- シメコナゾール水和剤
- 21603：サンリット DF（三井化学アグロ）14/12/14
- 銅水和剤
- 22308：グリーンドクター（丸和バイオケミカル）14/12/3

〔除草剤〕

- イマゾスルフロン・ジメタメトリン・ダイムロン・プレチラクロール粒剤
- 18585：明治ハヤテ粒剤（Meiji Seika フェルマ）14/12/24
- テニルクロール・ベンスルフロンメチル水和剤
- 18596：ホクコークサメッツ Lフロアブル（北興化学工業）14/12/24
- イマゾスルフロン・カフェンストロール・ベンゾビシクロン粒剤
- 21601：協友イッテツジャンボ（協友アグリ）14/12/14
- グリホサートイソプロピルアミン塩液剤
- 21611：三共クサトリキング（ホクサン）14/12/27

〔殺虫植調剤〕

- NAC 水和剤
- 4491：ホクコーデナボン水和剤 50（北興化学工業）14/12/3