

忌避剤を用いた果実吸蛾類によるモモ果実への被害防止に関する研究

岡山大学資源生物科学研究所 ^{つむき}積木 ^{ひさあき}久明・^{ていあん}田 ^{るいりん}睿林・^{いずみ}泉 ^{ようへい}洋平

はじめに

果実吸蛾類とは、成虫が果汁を吸汁するチョウ目ヤガ科害虫の総称であり、口吻の形態と加害の様子から一次加害種と二次加害種に分けられる(服部, 1962)。果実吸蛾類として農業上問題となるのは、果実に直接口吻を突き刺すアカエグリバ、ヒメエグリバ、アケビコノハといった一次加害種であり、これらの種は収穫直前の果実のみを選好・吸汁し、被害を受けた果実は吸汁部位から急速に腐敗が進行するため全く商品とはならないからである。現在、果実吸蛾類の被害防止に黄色蛍光灯(防蛾灯)や防虫網が使用されており、さらに、最近超音波を利用した新たな被害防止技術の開発が進んでいる(小池, 2008)。我々は、40年前に斎藤・本多(1968)によって発見された果実吸蛾類の忌避物質 *sec-butyl-β-styryl ketone* (図-1) を利用した被害防止技術の開発を進めており、これまでに得られた成果の一部を紹介する。

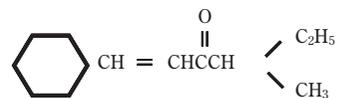
I 果実吸蛾類の被害対策の現状と問題点

果実吸蛾類の被害と対策に関しては、小池(2008)により本誌62巻10号に詳細に解説されていることから、ここでは超音波発生装置を含む現在利用されている被害防止対策がかかえる問題点について述べる。果実吸蛾類成虫は日没後30分～1時間に付近の野山から果樹園に飛来し、明け方には周辺の野山に戻っていく(萩原, 1997)ため、殺虫剤散布による成虫の効果的な防除はほとんど期待できない。幼虫も周囲の野山に普通に見られるアオツヅラフジやアケビに寄生するため、環境保全の面から殺虫剤散布による防除ができない。そのため現在、果実吸蛾類の被害防止に黄色蛍光灯と防虫網が使用され、なかでも黄色蛍光灯が広範囲に使用されている。しかし、黄色蛍光灯の設置費や電気代が高価であることが難点である。特に、被害の多い山間地に存在する果樹園は民家より離れている場合が多く、相対的に設置費が割高となり、経済的な問題から設置したくても設置でき

ない果樹農家も多い。一方、防虫網は果実吸蛾類の被害防止に優れているが、広範囲に開帳するには多大な労力を必要とする。また、台風や大雨が予想される場合にはあらかじめ網を取り外す必要があり、その場合にも多大な労力を必要とする。さらに、網を外している間に果実吸蛾類の被害に遭うことが多い。また、網を設置することで光合成の低下による果実の品質低下や色あせが問題視されることもある。まだ実用化には至っていないが、徳島県立農林水産総合技術支援センター果樹研究所で、天敵であるコウモリが発信する超音波で果実吸蛾類の飛翔行動が阻止されることを利用して、人工的に発生させた超音波で成虫の果樹園内への飛来を防止する試みがなされ、高い被害防止効果を得ている(小池, 2008)。今後、本技術を普及させるためには、より安価な小型の超音波発信器の開発が必要となるであろう。また、超音波発信器を広範囲に設置した場合に、周辺の住民や家畜のみならず野生動物等への影響を精査する必要があるだろう。我々は、数年前からできるだけ簡単かつ安価な装置で果実吸蛾類に対する新たな防除技術として忌避物質 *sec-butyl-β-styryl ketone* (斎藤・本多, 1968) に注目して開発研究を進めており(TIANら, 2007, 2008)、果実香氣成分に対する果実吸蛾類の応答を含めて報告する。

II 果実吸蛾類に対する *sec-butyl-β-styryl ketone* の忌避効果

果実吸蛾類の忌避剤に関してはこれまでも多くの研究者が探索をしたが、効果のあるものは見つかっていない(宮下・知久, 1962; 齋藤ら, 1962; 内田ら, 1978)。齋藤・本多(1968)は、*sec-butyl-β-styryl ketone* を散布すると、散布当日の夜は忌避効果を示したが、翌日



Sec-butyl β-styryl ketone
(4-methyl-1-phenylhex-1-en-3-one)

図-1 忌避剤の化学構造

Protection of Peach Fruit Against Fruit-Piercing Moths by Using a Repellent. By Hisaaki Tsumuki, Ruilin Tian and Yohei Izumi

(キーワード: 忌避剤, *sec-butyl-β-styryl ketone*, 果実吸蛾類, モモ, EAG 応答, 香氣成分)

の夜には効果が見られなくなることを報告している。当時彼らは粉剤で散布したことから、散布後短時間で本物質が気散し、また紫外線により異性化することで効果が持続しなかったと考えられる。そこで、フェロモン剤の開発で実績のある信越化学(株)に、紫外線カットの高密度ポリエチレンチューブに本物質を封入したデバイスの作成をお願いすることで、これらの問題点を解消した。

完熟モモ果実を誘引源としたファネルトラップ(ユニトラップ, サンケイ化学)のロート上部の入り口に異なる気散量のデバイスを処理して効果を検証した。気散量が多くなるに従って、トラップに捕獲されるアカエグリバとアケビコノハ成虫数は少なくなった(図-2)。特に、1 mg/日気散するデバイスを処理したトラップに捕獲されるアカエグリバとアケビコノハの成虫数は有意に減少した。トラップに捕獲される雌の数は雄に比べて多かった(表-1)。この結果は、雌は卵巣を発達させるために食物への執着心が強く、食物の匂いに対する誘引性が雄よりも強いことを示していると考えられる。モモ樹に左右上下約 1.5 m 間隔に気散量の異なるデバイスを処理

し、果実吸蛾類による被害軽減効果試験を行ったところ、デバイスからの気散量に比例して被害が低下した(図-3)。無処理の被害率の変異が大きかったことから、5%レベルで有意差は見られなかったものの、気散量 1 mg/日のデバイス処理の被害率は無処理に比べ 1/4 以下に軽減した。別の年に行った気散量 1 mg/日デバイスを処理した‘清水白桃’と‘川中島白桃’とも無処理に比べて被害率は有意に低下した(図-4)。さらに、気散量の多いデバイスを処理することで被害果率をより低下させることができた。これらの結果から、本物質はモモ園での果実吸蛾類の忌避剤として非常に有効と考えられる。

III 果実の香気成分に対する果実吸蛾類の応答に及ぼす *sec-butyl-β-styryl ketone* の影響

果実吸蛾類は主に成熟期のモモやナシ等の果実を加害し、果実の中で完熟モモ果実への被害が最も多い(齋藤, 1959; 齋藤ら, 1962; 宮崎ら, 1972; 内田ら, 1978)。夜間活動性の果実吸蛾類の寄主認識には、果実から気散される香気成分がかかわっていると考えられ、

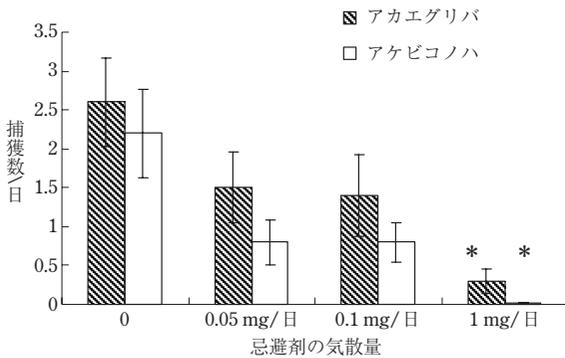


図-2 忌避剤が完熟モモ果実トラップによる果実吸蛾類の捕獲に及ぼす影響

*無処理(気散量 0)との間で有意な差があることを示す(Tukey-Kramer test, * $p < 0.05$).

表-1 忌避剤が完熟モモ果実トラップによるアカエグリバ成虫の捕獲に及ぼす影響

性	1日あたり平均捕獲数			
	無処理	処理: 忌避剤気散量		
		0.05 mg/日	0.1 mg/日	1 mg/日
雄	0.9 ± 0.27	0.4 ± 0.22	0.6 ± 0.34	0*
雌	1.7 ± 0.49	1.1 ± 0.31	0.8 ± 0.29	0.3 ± 0.15*

平均±標準誤差。

*無処理との間で有意な差があることを示す(Mann-Whitney U-test, * $p < 0.05$).

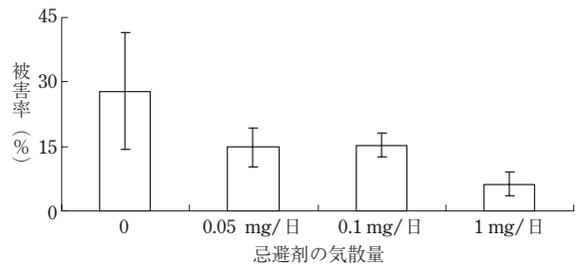


図-3 異なる気散量の忌避剤が果実吸蛾類による‘清水白桃’の被害防止に及ぼす影響

気散量の異なる剤をそれぞれ 10 本/樹処理した。

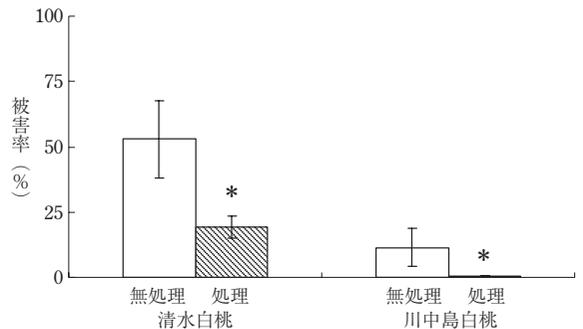


図-4 忌避剤(気散量 1 mg/日 × 10 本/樹)が果実吸蛾類による‘清水白桃’および‘川中島白桃’の被害防止に及ぼす影響

*無処理(気散量 0)との間で有意な差があることを示す(Mann-Whitney U-test, * $p < 0.05$).

齋藤らはモモ果実に含まれる誘引成分の分析を行ったが、同定には至らなかった(齋藤, 1959; 齋藤ら, 1962)。完熟モモ果実に含まれる香気成分は非常に多いことが知られている(HORVAT et al., 1990)ことから、それらのすべての成分を用いて誘引活性を調べるのは非常に難しい。そこで、モモ果実が成熟するに従って増加することが知られている5種類のラクトン(γ -hexalactone, γ -octalactone, γ -decalactone, δ -decalactone, γ -dodecalactone)(JIA et al., 1999)に注目し、単独のラクトンとそれらの混合物を誘引源としたファネルトラップによる誘引活性を調べた。アカエグリバ成虫は完熟モモ果実トラップとラクトン混合物トラップに捕獲された(図-5)。しかし、ラクトン混合物トラップによって捕獲された成虫数はモモ果実トラップに比べて約半分であった。さらに、ラクトン混合物に緑の匂い成分である青葉アルコール(*cis*-3-hexen-1-ol)と青葉アルデヒド(*trans*-2-hexenal)を加えても捕獲数はほとんど変わらなかった。一方、単独のラクントントラップには捕獲されなかった。これらの結果から、5種ラクトンのすべてが必要か否かはわからないが、アカエグリバ

成虫は餌となる完熟モモ果実の認識に複数のラクトンを利用していると思われる。しかし、ラクトン以外の他の香気成分も利用していることが明らかとなった。ただし、葉から気散される緑の匂いは関与していないようであった。そこで、未熟、完熟、過熟モモ果実の表面から気散される香気成分をヘッドスペース法で捕集し、GC-MSで分析したところ、これらの果実から80成分が同定できた。先のラクトン類を除いて、未熟から完熟過程で増加する成分としては主に酢酸エチルと酪酸エチルであり、特に酢酸エチルは香気成分の約60%を占めていた。これら2成分と5種ラクトンの混合物をモモ香気成分としてファネルトラップで誘引性を調べた。完熟モモ果実よりもモモ香気成分のほうが2倍以上多くのアカエグリバ成虫が捕獲された(図-5)。しかし、酢酸エチル単独と酪酸エチル単独への捕獲数は少なかった。これらの結果から、アカエグリバ成虫のモモ果実の誘引には、ラクトン以外に酢酸エチル、酪酸エチル等複数成分がかかわっていることが明らかとなった。しかし、アケビコノハはモモ香気成分やラクトン混合物には捕獲されず、ラクトンが本虫の誘引を阻害することが明らかとなった。果実吸蛾類でありながら、同一成分が種の違いによって誘引に作用する場合と忌避に作用する場合があり、昆虫の匂いに対する応答の複雑さを垣間見ることができた。

昆虫では、種々のおいを感じ取る器官は触角であり、触角に多数分布するおいに対する受容細胞の活動電位は、触角電図(EAG)によって観察できる。そこで、モモ果実香気成分に対するEAG応答に及ぼす*sec*-butyl- β -styryl ketoneの影響を調べた。EAG応答の測定は、アカエグリバ成虫から切り取った触角を用いて、モモ果実香気成分の刺激によって生じた電気信号を記録することで行った。さらに、切り取った触角全体に連続的に空気を送る連続気流の途中に、異なる気散量の*sec*-butyl- β -styryl ketone デバイスを入れ、モモ香気成分、5種ラクトン混合物、5種ラクトンの中でEAG応答が最も高かった γ -ヘキサラクトンに対するEAG応答に及ぼす影響を調べた。気散量1mg/日のデバイス存在下では無処理に比べていずれも有意に応答が抑制された(図-6)。この応答の抑制は主にラクトン混合物に対する抑制に起因しているようにも見える。なお、抑制効果が見られた気散量1mg/日はモモトラップとモモ園での忌避効果を有意に引き起こす量と一致していた。本物質がなぜ果実吸蛾類に対して忌避効果をもつのかはいまだ不明であるが、これらの結果から、モモ果実香気成分に対する触角での受容細胞の応答を抑制することによ

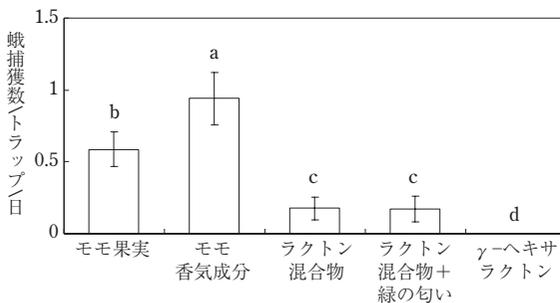


図-5 モモ果実とモモ香気成分を誘引源としたファネルトラップによるアカエグリバ成虫の捕獲数

モモ香気成分は酢酸エチル：酪酸エチル： γ -ヘキサラクトン： γ -オクタラクトン： γ -デカラクトン： δ -デカラクトン： γ -ドデカラクトン：パラフィン(59.6：0.2：0.6：0.1：1.7：0.3：0.1：37.4 v/v)を混合したものである。混合割合は‘白桃’の香気成分の分析値をもとに調整した。ラクトン混合物(γ -hexalactone： γ -octalactone： γ -decalactone： δ -decalactone： γ -dodecalactone = 142：7：145：70：28, v/v)の混合割合は、JIA et al. (1999)が‘白鳳’の完熟果実を分析して得られた結果に基づいて調整した。緑の匂い成分として青葉アルコール(*cis*-3-hexen-1-ol)と青葉アルデヒド(*trans*-2-hexenal)(14：29, v/v)を添加した。異なる英文字を付けた平均値間には有意差があることを示す(Bonferroni test, $p < 0.05$)。

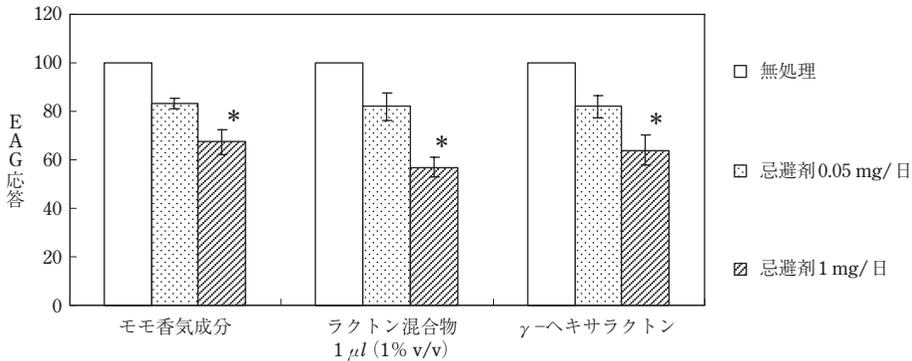


図-6 忌避剤が完熟モモ果実香気成分に対するアカエグリバ成虫のEAG応答に及ぼす影響
無処理のEAG応答を100とした時のそれぞれ気散量の忌避剤を混入した状態におけるEAG
応答を示す。*無処理との間で有意な差があることを示す(Mann-Whitney U test, * $p < 0.05$)。

りもたらされる可能性が示唆された。しかし、その詳細は今後の研究による。

IV 忌避剤の利用場面

忌避剤は黄色蛍光灯や超音波のように電源を必要としないために、電源のない人里離れた果樹園でも簡便に使用可能である。また、展張に多くの人手を要する防虫網と異なって、忌避剤は枝に巻きつけるだけで簡単に設置できる。そのため、被害状況を見ながら迅速に対応できる。さらに、現在使用されている防除法の欠陥を補完する目的での使用も考えられる。黄色蛍光灯を点灯しても光の陰にある果実は果実吸蛾類の被害を受けやすい(内田ら, 1978)が、そのような個所にスポット的に設置することで被害を防ぐことが可能であろう。また、防虫網を外したときに設置すれば被害を防ぐことも可能であろう。

V 今後の課題

Sec-butyl-β-styryl ketone には2つの幾何異性体、*trans*体と*cis*体があり、そのうち忌避効果を有するのは*trans*体であった。さらに、*trans*体には、メチル基とエチル基が付く不斉炭素部分に光学異性があり、現在供試している*trans*体は*S*体と*R*体が等分に含まれるラセミ体であることが最近明らかとなった。昆虫は光学異性体を識別する能力をもっていることから、両異性体を分離し、今後どちらの異性体がより効果の高い忌避作用を有しているのかを解明する。さらに、本忌避剤が適用できる果樹の種類を特定することで、使用場面を増やす必要がある。

おわりに

これまで述べたように、モモ園では*sec-butyl-β-styryl ketone*を処理することで、果実吸蛾類の被害を効率的に防止することができた。しかし、ナシ園で同様に処理しても忌避効果が見られず、さらに、気散量を10倍に増やしても観察場所の違いで被害防止効果が有意に見られたり見られなかったりした(図-7)。また、本年、気量散量を30倍に増やしても、愛媛県立農林水産研究所果樹研究センターの‘幸水’では全く効果が見られなかった。しかし、徳島県立農林水産総合技術支援センター果樹研究所の‘幸水’では有意に被害の軽減が見られた。果実吸蛾類の飛来が少ない園で、忌避効果が得られる傾向が見られるものの、ナシ園で本物質が忌避剤として使用できるか否かはまだ結論は得られていない。なお、モモとナシ果実に被害を及ぼす一次加害種は観察場所の違い、年の違いで種構成は異なるものの同じ種(主にアカエグリバ、ヒメエグリバ、アケビコノハの3種；ただし、ここ数年はヒメエグリバの発生が少ない)であった。忌避剤とは不快な臭気や味によって作物に害虫を寄せ付けないようにするための薬剤であり、もし、*sec-butyl-β-styryl ketone*が果実吸蛾類にとって不快な臭気成分であるとするならば、本物質を処理した場合、より誘引活性の低いナシの方がモモよりも低量で忌避効果が得られるはずである。なぜナシ園で予想外の結果が得られたのか、その要因に関しては、本物質が忌避物質であるかを含め検討する。

本研究は平成16～20年農水省生物機能プロジェクト研究の一環として、また財団法人ウエスコ学術振興財団学術研究費助成費、大原奨農会一般助成費で行われたも

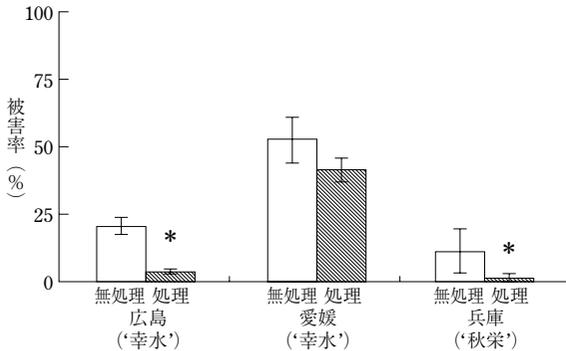


図-7 忌避剤(気散量 10 mg/日×10 本/樹)が果実吸蛾類によるナシの被害防止に及ぼす影響(2007年) 広島: 広島県農業技術センター, 愛媛: 愛媛県果樹研究センター, 兵庫: 兵庫県立農林水産技術総合センター北部農業技術センター. *: 無処理(気散量 0)との間で有意な差があることを示す(Mann-Whitney U test, * $p < 0.05$).

のである。本研究の遂行に当たっては、本忌避剤を供給していただいた信越化学工業(株), 触角電図(EAG)の測定方法を教授いただいた森林総合研究所, モモとナシ果実の香気成分を分析いただいた三栄源エフ・エフ・

アイ(株), 実験のために果樹園を提供並びに観察等のご協力をいただいた岡山県農業総合センター農業試験場, 福島県農業総合センター果樹研究所, 愛媛県立農林水産研究所果樹研究センター, 鳥取県立園芸試験場, 広島県立総合技術研究所農業技術センター, 徳島県立農林水産総合技術支援センター果樹研究所, 兵庫県立農林水産技術総合センター北部農業技術センターの関係各位に, また終始有益なご助言をいただいた齋藤哲夫名古屋大学名誉教授に感謝する。

引用文献

- 1) 服部伊楚子(1962): 果実吸蛾類の防除に関する研究, 日本植物防疫教会編, 東京, p.1~17.
- 2) HORVAT, R. J. et al. (1990): J. Agric. Food Chem. 38: 234~237.
- 3) JIA, H. J. et al. (1999): J. Jpn. Soc. Hort. Sci. 68: 487~493.
- 4) 小池 明(2008): 植物防疫 62: 549~552.
- 5) 宮下忠博・知久武彦(1962): 果実吸蛾類の防除に関する研究, 日本植物防疫教会編, 東京, p.37~52.
- 6) 宮崎昭雄ら(1972): 応動昆 16: 40~43.
- 7) 荻原洋晶(1997): 愛媛果試研報 12: 1~143.
- 8) 齋藤哲夫(1959): 植物防疫 13: 385~388.
- 9) ———・本多八郎(1968): 応動昆(講要): 27.
- 10) ———ら(1962): 果実吸蛾類の防除に関する研究, 日本植物防疫教会編, 東京, p.91~99.
- 11) TIAN, R. et al. (2007): Appl. Entomol. Zool. 42: 433~437.
- 12) ——— et al. (2008): Appl. Entomol. Zool. 43: 265~269.
- 13) 内田正人ら(1978): 鳥取果試研報 8: 1~29.

(新しく登録された農業 25 ページからの続き)

シプロコナゾール: 2.0%

いちご(温室, ビニールハウス等密閉できる場所): うどんこ病: 収穫前日まで

きく(温室, ビニールハウス等密閉できる場所): 白さび病: 発病初期

「除草剤」

●フルミオキサジン水和剤

22283: ダイロードWDG(グリーン&ガーデン) 08/11/05

フルミオキサジン: 50.0%

樹木等(公園, 庭園, 堤とう, 駐車場, 道路, 運動場, 宅地, のり面, 鉄道等): 一年生広葉雑草, 多年生広葉雑草(キク科を除く)

●ピラゾレート・フェントラザミド・ベンフレセート水和剤

22284: チャンスタイムフロアブル(北海三共) 08/11/05

ピラゾレート: 26.0%, フェントラザミド: 5.5%, ベンフレセート: 7.0%

移植水稻: 水田一年生雑草, マツバイ, ホタルイ, ウリカワ, ヘラオモダカ, ヒルムシロ

●グリホサートイソプロピルアミン塩・ピラフルフェンエチル水和剤

22286: ネコソギクイックプロシャワー(日本農業) 08/11/19

グリホサートイソプロピルアミン塩: 0.30%, ピラフルフェンエチル: 0.0016%

樹木等(公園, 庭園, 堤とう, 道路, 運動場, 宅地, 鉄道, のり面等): 一年生及び多年生雑草(スギナを除く)

●イマズスルフロン・ピラクロニル・プロモブチド粒剤

22287: パッチリジャンボ(協友アグリ) 08/11/19

イマズスルフロン: 2.25%, ピラクロニル: 5.0%, プロモブチド: 22.5%

移植水稻: 水田一年生雑草, マツバイ, ホタルイ, ヘラオモダカ(北海道, 東北), ミズガヤツリ(北海道を除く), ウリカワ, ヒルムシロ, セリ(北陸を除く)

●グリホサートイソプロピルアミン塩・MCPA イソプロピルアミン塩液剤

22291: 草退治シャワーワイド(住友化学園芸) 08/11/19

グリホサートイソプロピルアミン塩: 1.3%, MCPA イソプロピルアミン塩: 0.25%

樹木等(公園, 庭園, 堤とう, 駐車場, 道路, 運動場, 宅地, のり面, 鉄道等): 一年生及び多年生雑草

22292: 草退治ワイド液剤(住友化学園芸) 08/11/19

グリホサートイソプロピルアミン塩: 33.2%, MCPA イソプロピルアミン塩: 6.2%

樹木等(公園, 庭園, 堤とう, 駐車場, 道路, 運動場, 宅地, のり面, 鉄道等): 一年生及び多年生雑草

●ナプロパミド水和剤

22294: クサレス顆粒水和剤(ユービーエル) 08/11/19

22295: 日農クサレス顆粒水和剤(日本農業) 08/11/19

ナプロパミド: 51.0%

日本芝: 一年生イネ科雑草

●オリザリン・ベスロジン粒剤

22296: ビバテル粒剤(ユービーエル) 08/11/19

オリザリン: 1.1%, ベスロジン: 1.1%

日本芝(生産圃場, ゴルフ場): 畑地一年生雑草, 畑地一年生イネ科雑草

●DCMU 水和剤

22298: サンケイ カーメックスD(琉球産経) 08/11/19

(35 ページに続く)