

環動昆

報 文

- 市川俊英・内海与三郎・岡本秀俊・川西良雄・壺井洋一：オリーブ樹根元周辺の状態がオリーブアナアキゾウムシ成虫の存在場所，行動および産卵に及ぼす影響 …… 127
- 木村 広・井上市郎・鶴田 理・桑原雅彦：貯穀害虫に対する炭酸ガスの殺虫効果 …… 136
- 白石基三・堀場正雄・新庄五郎・安部八州男：衣料防虫剤の使用室内におけるエンペントリンの気中濃度の測定（英文） …… 140
- 駒井功一郎・濱田昌之・土屋輝美・皆川文康・小浜卓司：ハマスゲ精油中に含有される数種の昆虫に対する忌避活性物質 …… 148

解 説

- 石井 明：住居の変遷と病気—室内塵ダニによるアレルギー— …… 158
- 木村英二：自然環境の開発によってもたらされる病気—ダニ媒介性疾患について— …… 164
- 大滝倫子：集団生活における健康課題—カイセンとシラミについて— …… 170
- 近藤カ王至・赤尾信明・大山卓昭・高倉吉正・小西喜彦：現代のペット病とその対策—イヌ・ネコからの病気について— …… 175
- 会 報 …… 181
- 会員動静

Vol. 3 | 1991

3

日本環境動物昆虫学会

オリーブ樹根元周辺の状態がオリーブアナアキゾウムシ成虫の存在場所、 行動および産卵に及ぼす影響

市川俊英¹⁾・内海与三郎^{1)*}・岡本秀俊¹⁾・川西良雄^{2)**}・壺井洋一^{2)***}

1) 香川大学農学部

2) 香川県農業試験場小豆分場

(受理: 1991年6月22日)

Influences of the Conditions around the Trunk Base of Olive Trees on the Locations, the Behaviors, and the Oviposition of Adults of the Olive Weevil, *Dyscerus perforatus* (ROELOFS) (Coleoptera: Curculionidae). Toshihide ICHIKAWA, Yosaburo UTUMI, Hidetoshi OKAMOTO (Faculty of Agriculture, Kagawa University, Kagawa 761-07, Japan), Yoshio KAWANISHI and Yoichi TUBOI (Shozu Branch of Kagawa Prefectural Agricultural Experiment Station, Kagawa 761-43, Japan) *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.* **3**: - (1991)

The influences of grass mulch around the trunk base of olive trees on the location, the behaviors, and the oviposition of adults of the olive weevil, *Dyscerus perforatus* (ROELOFS) were examined in two field cages (3×3×3m) from June to August. After removing weeds and fallen leaves on the ground under the two field cages, each surrounding one sound olive tree, the ground was mulched with dry gramineous grasses over a width of about 30cm from the trunk base of the olive tree in one cage (mulched cage), and it was left bare without any grasses in another cage (unmulched cage). Most released adults were active at night and inactive in the daytime in both cages. In the daytime, the adults were generally most abundant under the grass mulch in the mulched cage, but on the tree in the unmulched one. The number of oviposition holes on the trunk in the unmulched cage was significantly fewer than that in the mulched one, and the ratio of oviposition holes near the base in the unmulched one was lower than that in the mulched one. These results suggest that adult *D. perforatus* select places hidden by the grass mulch as living sites in the daytime and as oviposition site and it seems to be effective to remove weeds and fallen leaves on the ground surrounding the trunk base of the olive tree in controlling *D. perforatus*.

Key Words: Curculionidae, *Dyscerus perforatus*, Adult behavior, Olive tree, Mulch

* 現在 アース製薬バイオケミカル事業部
** 現在 内海町オリーブ公園振興公社
*** 現在 香川県小豆郡内海町

オリーブ樹根元周辺に施した敷きわらがオリーブアナアキゾウムシ成虫の存在場所、行動および産卵に及ぼす影響を6月から8月にかけて野外網室(3×3×3 m)で調査した。健全なオリーブ樹1本を囲む野外網室を2つ設置し、網室内の地面を裸地状態にした後、一方は根元の周囲(幅約30cm)にイネ科の枯草を敷き(敷きわら網室)、もう一方はそのまま裸地状態に保った(裸地網室)。両網室とも、放飼成虫の活動はほぼ夜間に限られ、夜間における静止個体はほとんどが触角および脚を伸ばした休止状態であったのに対し、日中はほとんどの個体が触角および脚を縮めた不活動状態であった。また日中は、敷きわら網室では樹の根元近辺(敷きわら下)の地面で大半の個体が発見されたのに対し、裸地網室では樹上で発見される個体が最も多く、次いで根元からかなり離れた地面あるいは網室壁面に多かった。また、裸地網室では敷きわら網室に比べてオリーブ樹幹で発見される産卵孔数はるかに少なく、樹幹の根元近辺に存在する産卵孔の割合も低かった。これらの結果は、日中の生息場所、産卵場所とも高温乾燥にさらされていない敷きわらに隠れた場所が選択されやすいことを示唆しており、オリーブ樹根元周辺の落葉、雑草などの地表被覆物の除去がオリーブアナアキゾウムシの防除に有効であると考えられる。

緒 言

オリーブは中東地中海沿岸地方原産の果樹および油料作物で、特に油料作物としての有用性が高いことから、世界各地で栽培されている。日本で本格的なオリーブ栽培が開始されたのは明治時代で、香川県小豆島における栽培試験の成功がその大きい原動力となった。一方、旧約聖書創世記の故事から、オリーブはハトと共に平和の象徴として親しまれていることもあり、近年街路樹や庭園樹としての需要が香川県はもとより日本各地で増加している。

ところで、日本でオリーブを育成する場合に最大の障壁となる生物的要因はオリーブアナアキゾウムシ *Dyscerus perforatus* (ROELOFS) である(松沢ら, 1957; 尾崎ら, 1959)。本種の本来の寄主植物は日本に自生するモクセイ科のネズミモチやイボタノキであるが、同じモクセイ科のオリーブが日本に導入されると間もなくそれらを加害し始めたことが知られている(尾崎ら, 1959)。本種は生きたオリーブを加害し枯死させるため、オリーブを健全に育成するためには本種の効果的な防除が不可欠となる。このため、現在筆者らは本種について、特に成虫の有効な防除法を確立するための研究を進めている。

オリーブアナアキゾウムシの成虫が非常に長命で(松沢ら, 1959a)、定着場所の詳細は不明ながら加害中のオリーブ樹に対する定着性の高いことが標識再捕法によって確認されている(松沢ら, 1959b)。また、野外網室に

放飼した本種成虫に関する調査によると、成虫は活動期(ほぼ4月から10月まで)を通じてほとんど夜間に限って活発に行動し、日中には大半の成虫がオリーブ樹根元周囲に施した敷きわらの下の地面に潜伏している(市川ら, 1987)。越冬期(ほぼ11月から3月まで)の成虫がほとんど活動を停止し、敷きわらの下の地面に潜伏し続けていることも上記野外網室の調査で明らかにされている。さらに、本種の加害を受けたオリーブ園における調査によると、加害中の生きたオリーブ樹根元周辺に雑草や落葉が存在する場合に限って、それらに覆われた地面で多数の越冬成虫が発見されている(市川ら, 1991)。

以上の調査結果から、オリーブアナアキゾウムシ成虫がオリーブ樹に定着して加害し続けるためには、活動期の日中と越冬期の潜伏場所として雑草や落葉などの地表被覆物の存在が極めて重要であるものと考えられる。このため、本研究ではオリーブ樹根元周辺の敷きわらの有無が本種成虫の存在場所や行動に及ぼす影響を野外網室内で調査した。

材料および方法

1. 供試虫

野外網室における実験に供試したオリーブアナアキゾウムシは1983年3月に香川県小豆郡池田町のオリーブ園に植栽されたオリーブ樹の根元周辺で採集した雌雄の成虫である。これらの成虫は採集後、香川大学農学部応用昆虫学研究室に持ち帰り、透明プラスチック容器(25×35×6 cm)に収容し、オリーブ切り枝と含水脱脂綿を与

えて室温、自然日長下で飼育した。なお、実験に供試した成虫は雌雄とも飼育中に交尾を確認した性的成熟個体であった。

2. 野外網室

香川県農業試験場小豆分場（小豆郡池田町）のオリーブ園に植栽されたオリーブ樹の中からオリーブアナアキゾウムシの加害を受けていない健全な11年生のオリーブ樹2本を選んで実験対象樹とし、両対象樹とも網室（3×3×3cm）で覆った（市川ら，1987）。両網室内の地面に存在する雑草、落葉、石などを除去して裸地状態にした後、一方は市川ら（1987）と同様にベチバ *Vetiveria zizanioides* Stapf（イネ科）の枯草を根元を中心にして約30cm幅に敷き詰めて地面を被覆し（敷きわら網室，mulched cage）、もう一方は裸地状態のままにしておいた（裸地網室，unmulched cage）。敷きわら網室と裸地網室のオリーブ樹の根元直径は各々9.3cmと8.6cmで、いずれも樹高3m以上の部分は切除した。

3. 成虫の存在場所、行動および産卵に関する調査

放飼成虫は敷きわら網室、裸地網室とも雌雄各々15個体とし、予め白色の油性ラッカーで背面に個体識別マークを施した。成虫は1983年6月15日に網室に放飼し、同年8月27日までの調査期間の途中に放飼成虫が死亡しても補充はしなかった。

調査は6月25日から8月27日までの間、1-2週間間隔で行った。このうち、7月7日から8日までの一昼夜は約3時間間隔で9回行ったが、その他の調査日は13時から15時までの間に1回だけ行った。各調査時には発見個体の個体番号、存在場所および発見時の行動を市川ら（1987）の方法に準じて記録するとともに、オリーブ樹上で発見された産卵孔の存在部位（地面からの高さ）とその総数も記録した。なお、発見した産卵孔には油性インクでマークし、重複して計数することを避けた。また、夜間の調査は懐中電灯照明下で行った。なお、各調査時における調査は30分以内に限り、その中間時刻を調査時刻とした。

結 果

1. 成虫の存在場所と行動

日中の調査における成虫の発見場所をFig.1に示した。敷きわら網室の場合の特徴は、オリーブ樹根元から約30cm以内の敷きわら下の地面で発見される個体数がほとんどの調査日において過半数を占めていたことであっ

た。また、敷きわら網室ではオリーブ樹上でもかなり多く発見されたが、根元から約30cm以上離れた裸地の地面、木枠あるいは網の上ではほとんど発見されなかった。一方、裸地網室ではオリーブ樹上あるいは根元から30cm以上離れた地面で発見される個体が常に過半数を占めており、根元から30cm以内の地面ではほとんど発見されなかった。また、裸地網室では網あるいは木枠の上で発見される個体が敷きわら網室の場合よりもやや多い傾向がみられた。なお、両網室とも各調査日において少数ながら発見できなかった個体があり、裸地網室では8月20日までに放飼成虫のすべてが死亡していた。

日中の調査において確認された雌成虫の行動を市川ら（1987）の分類に従ってFig.2に示した。両網室とも単独個体はほとんど触角を折りたたみ脚を縮めた不活動状態（inactivity）であったが、触角と脚を伸ばした活動中の静止状態（pause）を示す個体も時折見られた。この他にマウント中の雌雄対（mounting，雄が交尾することなく雌の背面上に乗った状態）あるいは交尾対（copulation）が両網室ともに認められた。両網室とも、マウント対が発見された日は少なく、発見されても3対以下であったが、交尾対は大半の調査日に発見され、最高6対（敷きわら網室）あるいは7対（裸地網室）と多かった。なお、これらのマウント対および交尾対はすべて雌雄ともに不活動状態であった。また、図示しなかったが、単独雄成虫でも7月1日および7月22日に各々1個体が静止状態であったのを除いて、その他の発見個体はすべて不活動状態であった。

一昼夜の断続調査において確認された成虫の存在場所をFig.3に示した。日中の敷きわら網室ではほとんどの成虫が敷きわら下の地面あるいはオリーブ樹上で発見された。また、日中から夕刻にかけて地面に存在していた多数の個体が夜間21時頃までの時間帯に地面からオリーブ樹へ移動し、早朝まで樹上に滞留した後、再び地面へ移動するという行動様式が明瞭に認められた。一方、裸地網室では日中、夜間を通じてオリーブ樹上に滞留し続ける個体が多く、敷きわら網室のような日周的移動は認められなかった。地面で発見された場合も敷きわら網室の敷きわら下の地面に相当する根元から30cm以内の地面ではほとんど発見されず、この範囲外の地面で発見されることが多かった。裸地網室の場合のもう一つの特徴は網あるいは木枠上で発見される個体が多かったことで、この傾向は雌において特に顕著であった。

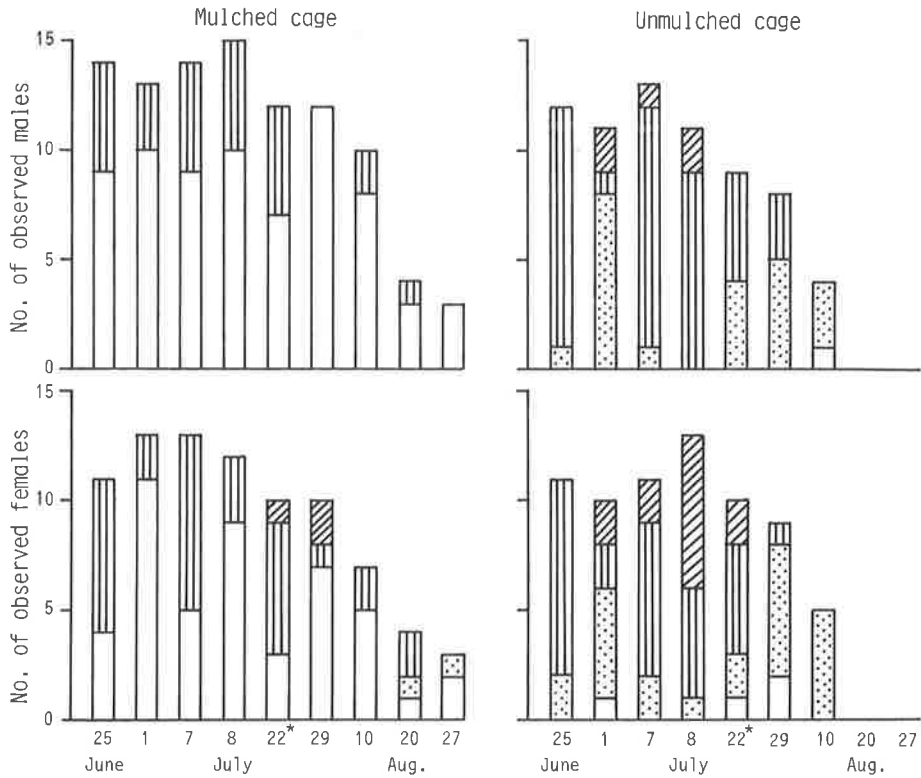


Fig.1 Location of adult olive weevils in the netted cage (3×3×3m) examined in the daytime (13:00-15:00). Mulched cage:the ground within about 30cm from the trunk base of an olive tree was mulched with dry grasses in the cage. Unmulched cage: no part of the ground was mulched in the cage. The days with asterisks were cloudy and those without asterisks were sunny. □: the ground within 30cm from the trunk base of an olive tree, ▨: the ground more than 30cm from the trunk base of an olive tree, |||: olive tree, //: net or frame of the cage.

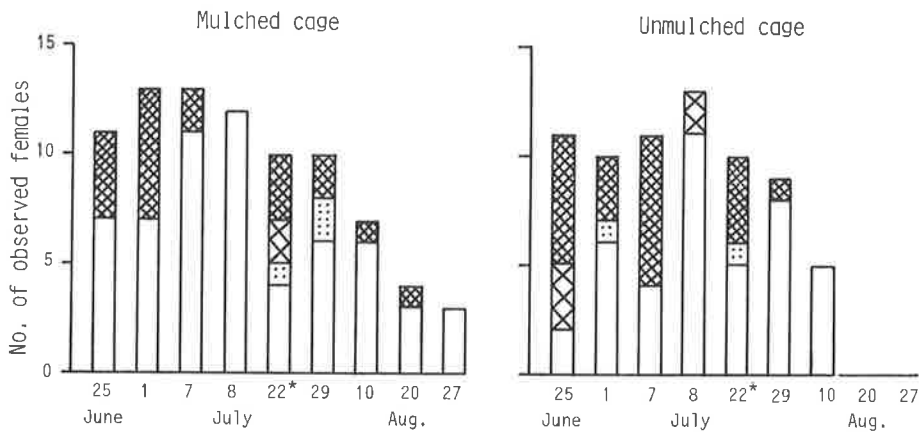


Fig.2 Behavior of female olive weevils in the cage in the daytime (13:00-15:00). See Fig.1 for asterisks. □: inactivity, ▨: pause, //: mounting, ⊠: copulation.

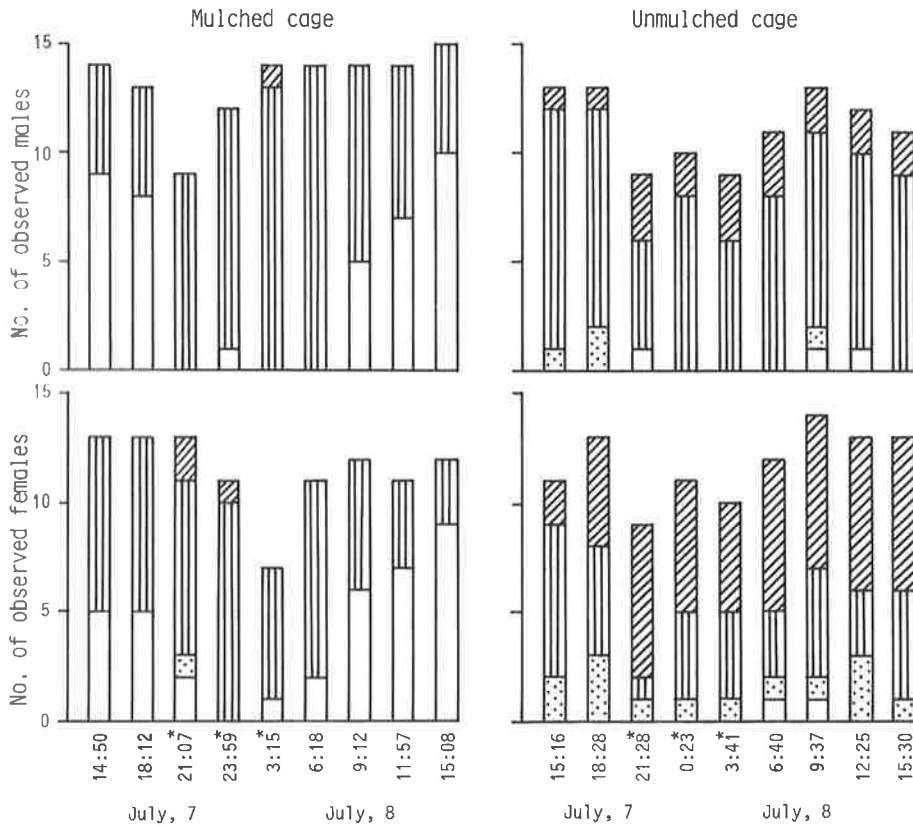


Fig.3 Diurnal changes of the location of adult olive weevils in the cages (July 7-8). Sunset on July 7 was 19:19 and sunrise on July 8 was 4:59. Each time with an asterisk was cloudy and those without asterisks were sunny. See Fig.1 for symbols.

一昼夜の断続調査において確認された成虫の行動を Fig. 4 に示した。敷きわら網室、裸地網室ともに夜間に発見された個体のほとんどが活動中（歩行 walking, オリーブ葉の摂食 feeding, オリーブ樹幹への産卵 ovipositionあるいは静止の状態）であったのに対して、日中には両網室ともに大半の個体が不活動の状態で見られた。また、マウント対あるいは交尾対は両網室とも、日中、夜間を通じて観察された。なお、日中に発見された雌雄対は、雌雄ともに触角と脚を伸ばしていた敷きわら網室の2例を除いて、すべて雌雄ともに不活動状態であったが、夜間に発見された雌雄対の中に不活動状態のものはなかった。

2. 産卵孔数および産卵孔存在部位

市川ら (1987) が記載した通り、本種雌成虫はオリーブ樹幹の樹皮をかじって産卵孔をあけ、その中に1卵産

下した後、糞状物とかじり取った樹皮の細片で産卵孔を塞ぐ。このため、Fig. 5 に示したように産卵孔は褐色楕円状物（長径約2-3mm, 短径約1.5-2mm）として認められ、孔内の卵は見えない。

オリーブ樹幹で確認された累積産卵孔数を Fig. 6 に示した。敷きわら網室では実験期間を通じて産卵孔数が多く、総産卵孔数は216個であった。一方、裸地網室における産卵孔数は敷きわら網室に比べて常に少なく、総産卵孔数は60個であった。少なくとも成虫放飼日から8月10日まで両網室内で確認された生存雌成虫数には最大2個体の差しかなかったため、両網室間の雌成虫数の差が産卵孔数に大差をもたらした原因ではなかった。なお、7月8日には裸地網室において網面に産まれていた1卵が見つかった。

オリーブ樹幹で確認された産卵孔数を10cm間隔で地

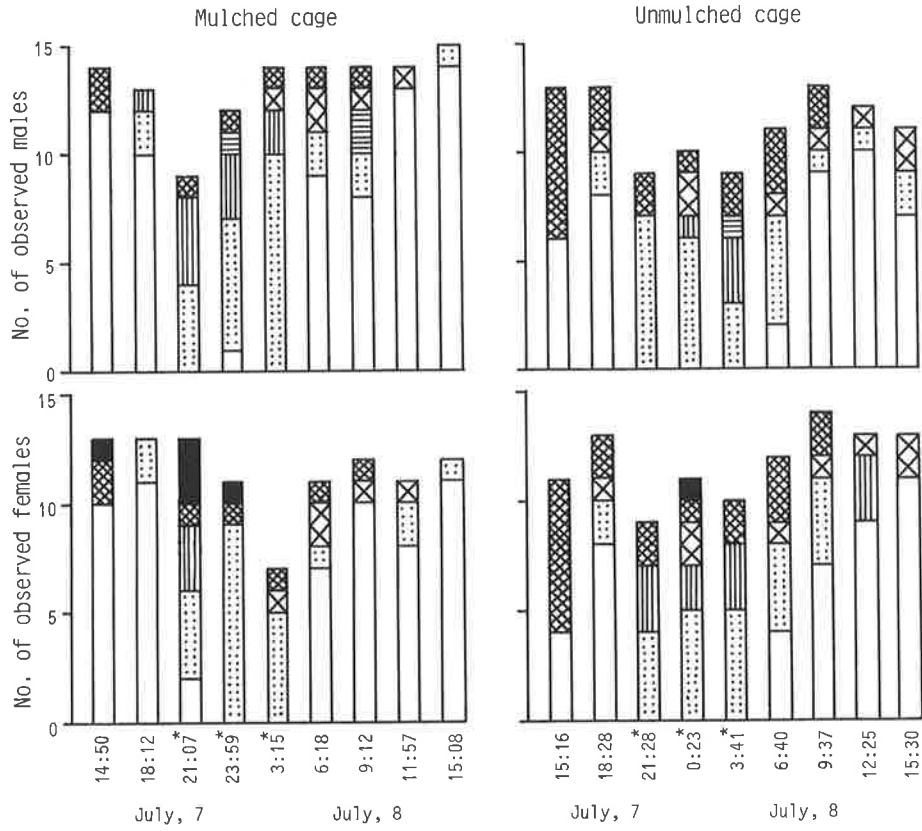


Fig.4 Diurnal changes of the behavior of adult olive weevils in the cages (July 7-8). See Fig.3 for sunset, sunrise, and asterisks. □: inactivity, ◻: pause, ▨: walking, ▩: feeding, ▤: mounting, ▦: copulation, ▧: oviposition.

面からの高さ別にまとめてFig. 7に示した。敷きわら網室では1 cm以下から158cmの高さまで産卵孔が分布していたが、91.7% (198個) は地面から20cm以下の根元に近い部位に集中していた。1 cm以下から190cmの高さまで産卵孔が分布していた裸地網室でも、地面から20cm以下の部位で発見された数が多かった。しかし、この部位で発見された割合は全体の55% (33個) であったため、敷きわら網室に比べてこの部位への集中度合いは低かった。

オリーブ樹幹で確認された産卵孔の地面からの高さを産卵時期別にまとめてTable 1に示した。敷きわら網室では各時期における産卵孔部位のばらつきが裸地網室に比べて小さく、狭い範囲に集中して産卵する傾向が常に認められた。また、敷きわら網室では成虫放飼後日数が経過するにつれて産卵孔はオリーブ樹幹の根元に近い部位から徐々に高い部位へと移行したが、裸地網室ではそのような傾向が認められなかった。

考 察

網室で囲んだ健全なオリーブ樹の根元周辺 (根元から約30cmの範囲の地面) に枯草を敷いて調査を行った市川ら (1987) の結果によると、オリーブアナアキゾウムシ成虫はほぼ4月から10月までの活動期を通じて、日中はほとんどの個体が活動を完全に停止した不活動の状態に静止し続け、夜間オリーブ樹上で活発な行動を展開する。市川ら (1987) と同様の網室 (敷きわら網室) と全面裸地状態の網室 (裸地網室) を設定した本研究でも、7月に行った調査において同様な行動の日周性が両網室への放飼成虫に共通して認められた。

しかし、敷きわら網室と裸地網室の間で成虫の存在場所を比較すると、とくに日中において顕著な違いが認められた。すなわち、日中の敷きわら網室では市川ら (1987) の結果と同様で全般に地面に存在する個体が多く、それ

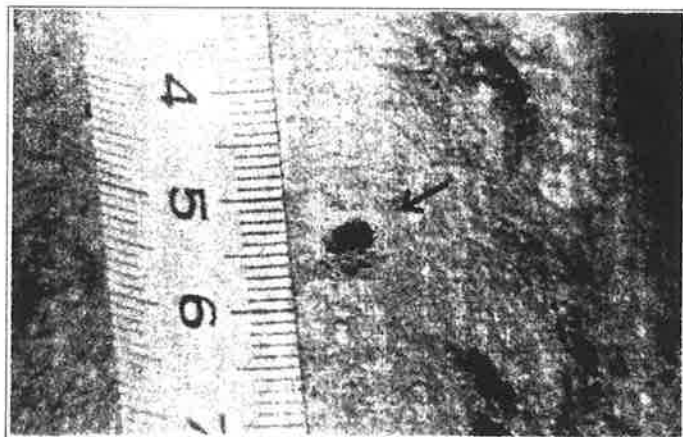


Fig.5 An oviposition hole made by the olive weevil on the trunk of an olive tree. The egg laid in the hole can not be seen because the female adult covers the egg with excrement-like material and small pieces of bark bitten off from the bark surrounding the hole. Minimum unit of the scale is 1 mm.

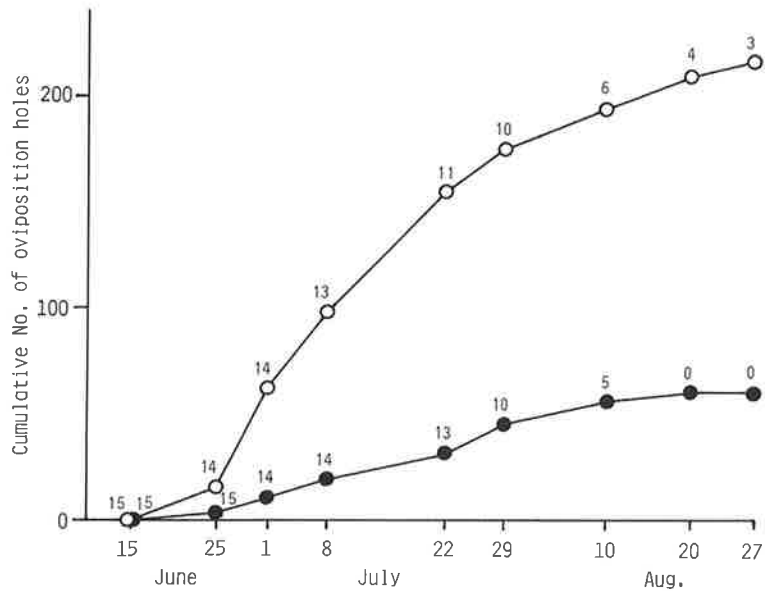


Fig.6 Cumulative number of oviposition holes made by the olive weevils on the trunk of olive trees. ○ : mulched cage. ● : unmulched cage. Figure above each circle indicates the number of living females ascertained in each cage.

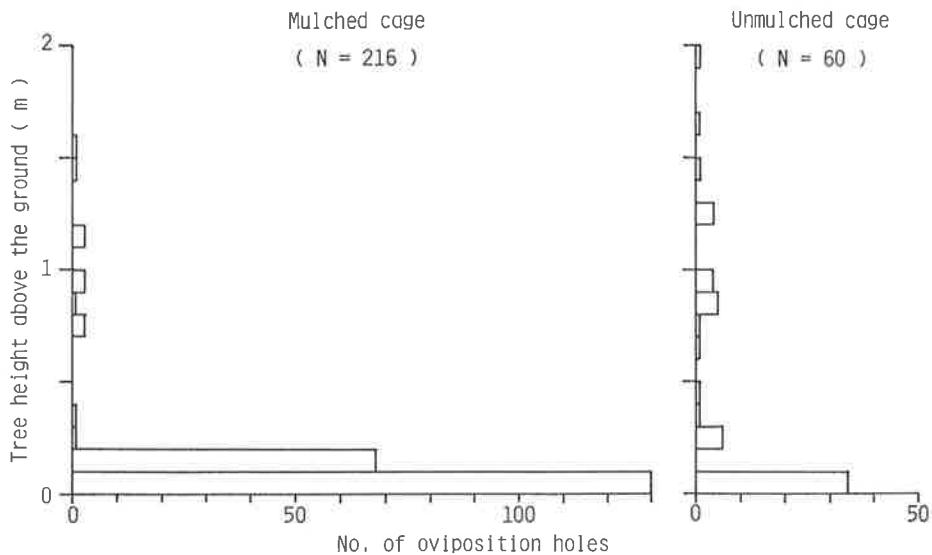


Fig.7 Relationship between the olive tree height above the ground and the number of oviposition holes made by the olive weevils on the trunk. N indicates the total number of oviposition holes found on the trunk of an olive tree surrounded by each cage.

Table 1 Relationship between the oviposition period and the sites of oviposition holes of the olive weevil on the trunks of olive trees

Oviposition Period	Site of oviposition holes expressed by tree height(cm)	
	Mulched cage $\bar{x} \pm S. E.$	Unmulched cage $\bar{x} \pm S. E.$
June, 15-July, 1	3.7 \pm 0.4 a	31.0 \pm 16.0 ab
July, 1-July, 8	11.2 \pm 4.4 b	12.3 \pm 10.7 a
July, 8-July, 22	14.6 \pm 2.8 b	76.1 \pm 15.5 b
July, 22-July, 29	24.9 \pm 8.6 bc	27.1 \pm 13.7 ac
July, 29-Aug., 27	32.2 \pm 6.1 c	42.9 \pm 12.1 ab

Mean values followed by the same letter are not significantly different at the 5% level (*t*-test).

らのほとんどが根元から約30cm以内の敷きわらに覆われた地面で発見された。これに対して、日中の裸地網室ではオリーブ樹上あるいは根元から30cm以上離れた地面に存在する個体が多かった。また、裸地網室の地面で発見された個体はほとんど土塊の陰とか小さい穴の中あるいは日射の当たらない網室木枠近辺に存在していた。これらの結果から、日中の不活発なオリーブアナアキゾウムシ成虫は少なくとも日射の当たらない場所を選択するものと推察される。また市川ら(1987)の調査では、日射が当らず空中湿度も高かったはずの曇天あるいは雨天の日中には、晴天時と比べて敷きわら下の地面に潜伏

する個体が少なく、裸地やオリーブ樹上に存在する個体が多かった。このような調査結果も考慮すると、敷きわらは太陽光線をさえぎって地温上昇を抑制し土壌水分もよく保持する(村上, 1964, 1969)ため、敷きわらに覆われた地面が日中の好適な生息場所として選択されたものと考えられる。

裸地網室では日中、夜間とも網室の壁面で発見される個体の割合が敷きわら網室に比べて多かった。このような調査結果は、裸地網室の成虫がオリーブ樹から離脱する傾向を強く持っていたことを示している。前段の考察から明らかのように、晴天の日中に生息場所として好適

な微気象環境を満足する場所が敷きわら網室に比べて極端に少ない裸地網室では、健全なオリーブ樹があるにもかかわらず、網室からの離脱傾向が強くなったものと考えられる。また、調査地の降水量は7月の114.1mmに対して8月はわずか8.7mmで、敷きわら網室では8月20日に調査開始後初めて敷きわら下の地面が完全に乾燥していた。このことから、7月29日から8月20日にかけて両網室において多数の個体が死亡したのは、8月に入り長期間続いた晴天が網室内全体を極度に乾燥させ、生息環境が劣悪化したためではないかと考えられる。最終調査日に6個体生存が確認された敷きわら網室に比べて、全供試成虫が死亡した裸地網室は、潜伏可能場所がほとんどないため、生息環境劣悪化の影響をより強く受けた可能性が高い。

オリーブ樹に対する産卵孔数は裸地網室に比べて敷きわら網室の方がはるかに多かった。裸地網室において全供試成虫が死亡していた8月10日以後を除き、確認された生存雌成虫数と各調査日に観察された交尾対数は両網室の間で大差なかったため、裸地網室において産卵孔数が少なかった原因は生存雌成虫数や交尾頻度の差に関連したものではないと考えられる。また、敷きわら網室では産卵が樹幹の根元近くに極端に集中する傾向が明らかであった。この事実は、日中の生息場所と同様に、雌成虫が直射日光や高温乾燥から保護される部位を産卵場所として選択することを示唆している。裸地網室では敷きわらが無いことによる好適な産卵場所の欠如も網室からの雌成虫の離脱傾向を強め、網面への産卵という異常行動さえ生じたものと考えられる。なお、敷きわら網室における産卵部位が初期の極めて低い位置から時間経過と共に次第に高い位置へと移行した事実は、産卵最適部位がオリーブ樹幹の根元で、その部位への優先的産卵による産卵可能箇所の欠如が次第に劣位部位への産卵を引き起こしたことを示唆していた。

本研究の結果、オリーブアナアキゾウムシ成虫のとくに日中における生息場所がオリーブ樹根元周辺の敷きわらの有無によって大きく異なり、敷きわらに覆われた地面が日中の好適な生息場所として選択されると同時に敷きわらの存在が産卵を助長して被害を増大させることも分かった。さらに、敷きわらがオリーブ樹に対する本種

成虫の定着性を高めることも明らかである。実際の野外条件下では、すでに市川ら(1987)が考察したように、オリーブ樹根元周辺の雑草や落葉が敷きわらと同じ役割を果たして被害を増大させるものと思われる。このため、オリーブ樹根元周辺を裸地状態に保つことがオリーブアナアキゾウムシの加害を軽減することに大きく寄与するものと考えられる。

謝 辞

本研究の遂行に当たって多大の後援助を賜った前香川県知事故前川忠夫博士、前香川県農業試験場長森岡恒三氏および元香川県農業試験場小豆分場長森川忠夫氏および佐藤義昌氏に厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 市川俊英・岡本秀俊・藤本能弘・川西良雄・壺井洋一(1987)オリーブアナアキゾウムシ成虫の存在場所および行動の日周的・季節的变化。応動昆 31: 6-16。
- 市川俊英・内海与三郎・岡本秀俊・川西良雄・壺井洋一(1991)オリーブアナアキゾウムシ成虫の越冬場所。応動昆 35: 181-187。
- 松沢寛・宮本裕三・岡本秀俊・川原幸夫(1957)オリーブアナアキゾウムシの防除に関する研究 I 被害実態調査 II 一般形態並びに経過習性。香大農学報 8: 172-188。
- 松沢寛・宮本裕三・岡本秀俊・川原幸夫(1959a)オリーブアナアキゾウムシの防除に関する研究 IV 成虫の寿命並びに産卵能力。香大農学報 10: 36-39。
- 松沢寛・宮本裕三・岡本秀俊・川原幸夫(1959b)オリーブアナアキゾウムシの防除に関する研究 V 圃場における動態。香大農学報 11: 187-195。
- 村上律雄(1964)敷藁の土壤水分保持効果(1)敷藁量と効果との関係について。農業気象 20: 61-64。
- 村上律雄(1969)敷藁の熱収支効果。農業気象 25: 93-99。
- 尾崎元扶ら(1959)オリーブ栽培の主要障害に関する作物学的研究。香川県農試研報 第6号: 1-127。

貯穀害虫に対する炭酸ガスの殺虫効果

木村 広¹⁾・井上市郎¹⁾・鶴田 理²⁾・桑原雅彦³⁾

1) 液化炭酸開発研究センター

2) 東京農業大学総合研究所

3) 農林水産省食品総合研究所

(受理 : 1991年6月5日)

Effects of CO₂ Gas for Controlling Stored-grain Insects. Hiroshi KIMURA, Ichiro INOUE (Research and Development Center, Ekika Carbon Dioxide Co. Ltd., Kuki, Saitama 346, Japan), Osamu TSURUTA (NODAI Research Institute, Tokyo University of Agriculture, Tokyo 156, Japan) and Masahiko KUWAHARA (National Food Research Institute Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan) *Jpn. J. Environ. Entomol Zool.* **3** ; - (1991)

Various gaseous fumigants have been used to control insects that infest cereal grain and the effects of CO₂ gas on stored-grain insects have been reported, but we have as yet little information about the insecticidal effects of CO₂ gas. In this study, the insecticidal effects of CO₂ gas were investigated with three major stored-grain insects (*Sitophilus zeamais* MOTCHULSKY, *Rhyzopertha dominica* FABRICIUS and *Tribolium confusum* JACQUELIN DU VAL) and the following results were obtained. 1) The sensitivity of the three insects to CO₂ gas was different. 2) The sensitivity of pupae and eggs were almost the same as or slightly higher than that of adults. Larvae apparently had lower sensitivity to CO₂ gas. 3) The CO₂ gas concentration in the atmosphere must be kept at 50~60% for more than 5 days to kill stored-grain insects.

Key Words: CO₂ Gas, Stored-grain insects, Fumigant

国内での貯蔵穀類を加害する害虫の防除には、14℃以下に調整した低温倉庫を利用するか、さまざまな気化性の薬剤による「くん蒸」によってきた。しかし、近年にいたり、貯蔵の国内産米麦を加害する害虫駆除には従来の薬剤を避けて、炭酸ガスによる気運が高まってきている。そこで、貯蔵穀類を加害する主要な害虫 (*Sitophilus zeamais* MOTCHULSKY, *Rhyzopertha dominica* FABRICIUS, *Tribolium confusum* JACQUELIN DU VAL) 3種類の令別について炭酸ガスの殺虫効果を調べ、次の結果を得た。1) 供試した3種類の害虫で殺虫効果を得たが、炭酸ガスに対する感受性には種間差が明らかに認められた。令別の感受性の差は、蛹と卵では成虫と同程度か若干高い程度であったが、幼虫では明らかに低く他の令との間に判然とした差が認められた。2) 炭酸ガスによって貯蔵穀類を加害する害虫を完全に駆除するには、炭酸ガス50~60%濃度の貯蔵環境を5日以上保持する必要があることを認めた。

緒 言

炭酸ガスは炭酸飲料水や食品の保存用として、広く食品分野で使用されており、残留毒性の恐れがないことから食品添加物としても認められている。また、炭酸ガスには殺虫効果や拮菌作用のあることから古くより貯蔵穀類を加害する害虫への適用も試みられ、国外ではさまざまな種式で実用されており、こうした炭酸ガスによる貯蔵穀類の害虫防除に関する歴史的経過については吉田(1972, 1981)、三井(1980)によって詳細に取りまとめられている。

しかし、国内の穀類倉庫で炭酸ガスを害虫駆除剤として用いることは、倉庫の構造より実用性に難のあることや使用が容易で有効な薬剤のあったことなどから実用されなかった。それが近年、貯蔵穀類を加害するカビ、害虫を防除する臭化メチルや害虫駆除のリン化水素製剤によったときの極めて僅か残留する成分に目が向けられるにつれ、炭酸ガスを用いて害虫を駆除することが志向されている。

こうした背景から、貯蔵穀類に関する3種類の主要害虫を対象に、各令別(成虫・卵・幼虫・蛹)の炭酸ガスに対する感受性を調べ、知見を得たので報告する。

実験方法

各供試虫は径6cm・高さ3.5cmの円形プラスチックの試験容器(内容量80ml)に入れ、中央に通気のため、径2cmの円い穴をあけてナイロンゴースを貼った径7cmの蓋を試験容器の淵にはめこんだ。この試験容器をガス透過性の少ない2軸延伸ビニロンフィルム袋(35×45cm)内に入れて脱気後、所定濃度に調整したガス約8ℓを直ちに注入して膨らませ、シーラで密閉した。

対照区としては上記の試験容器を個別に上記ビニロンフィルム袋に入れ、各区3反復した。ガス処理した各試料は、25℃のもとに置き所定日数、CO₂濃度を測定したのち開封して効果を判定した。

(1) 供試ガス組成

- i) CO₂ 60% + 空気40%
- ii) CO₂ 50% + 空気50%
- iii) CO₂ 40% + 空気60%
- iv) CO₂ 30% + 空気70%

(2) 供試虫

コクゾウ(*Sitophilus zeamais* MOTCHULSKY)の成

虫・蛹・幼虫・卵、コナナガシクイ(*Rhyzopertha dominica* FABRICIUS)の成虫・幼虫、ヒラタコクヌストモドキ(*Tribolium confusum* JACQUELIN DU VAL)の成虫・蛹・幼虫・卵をそれぞれ供試した。

(3) 各試験容器内に入れた供試虫の状態

i) 成虫……累代飼育した各成虫を用い、コクゾウは成虫20頭、コナナガシクイは成虫50頭をそれぞれ10gの玄米と共に試験容器内に入れ、ヒラタコクヌストモドキは成虫50頭をふすま5gに混ぜて試験容器内に入れた。

ii) 蛹……コクゾウは、玄米粒(10g)内で蛹化後3~4日経過したものを、ヒラタコクヌストモドキは、飼育の蛹40頭をふすま5gと共に、それぞれ試験容器内に入れた。

iii) 幼虫……コクゾウとコナナガシクイはそれぞれ玄米に産卵させ、産卵後14日目の玄米粒10g(玄米粒で大部分の幼虫が3令)を試験容器内に入れた。ヒラタコクヌストモドキは飼育した5~7令の幼虫40頭をふすま5gに混ぜて試験容器内に入れた。

iv) 卵……コクゾウは玄米上で成虫を2日間飼育し産卵させ、成虫を除去した玄米粒10gを試験容器内に入れた。ヒラタコクヌストモドキは小麦粉で成虫を2日間飼育して産卵させた後、卵を篩わけて250個を取出し、ふすま5gに混ぜて試験容器内に入れた。

(4) 供試虫の生死の判定と死亡率の推定

i) 成虫……所定日数ガス処理した試料を開封して25℃に2日間放置した後、生死を判定した。

ii) 幼虫・蛹……ガス処理した試料を開封して25℃のもとに置き、コクゾウの幼虫への効果は24日後、蛹の供試試料は10日間置いて羽化する成虫数によった。コナナガシクイの幼虫への効果は、処理後30日を経過して羽化する成虫数によった。ヒラタコクヌストモドキの幼虫・蛹では処理後25℃のもとに置き、死亡虫が黒化する4~5日後に生死を判定した。

iii) 卵……ガス処理した試料を開封して25℃の飼育状態に戻し、コクゾウは35日後に羽化した成虫数、ヒラタコクヌストモドキは21日後までに孵化した幼虫数によって生死を判定した。上記の各処理区の死亡率は対照区における生存虫数から算出した。

結果および考察

各令の供試虫を、炭酸ガス濃度の異なる条件のもとに所定日数置いて殺虫率を調べFig. 1の結果を得た。

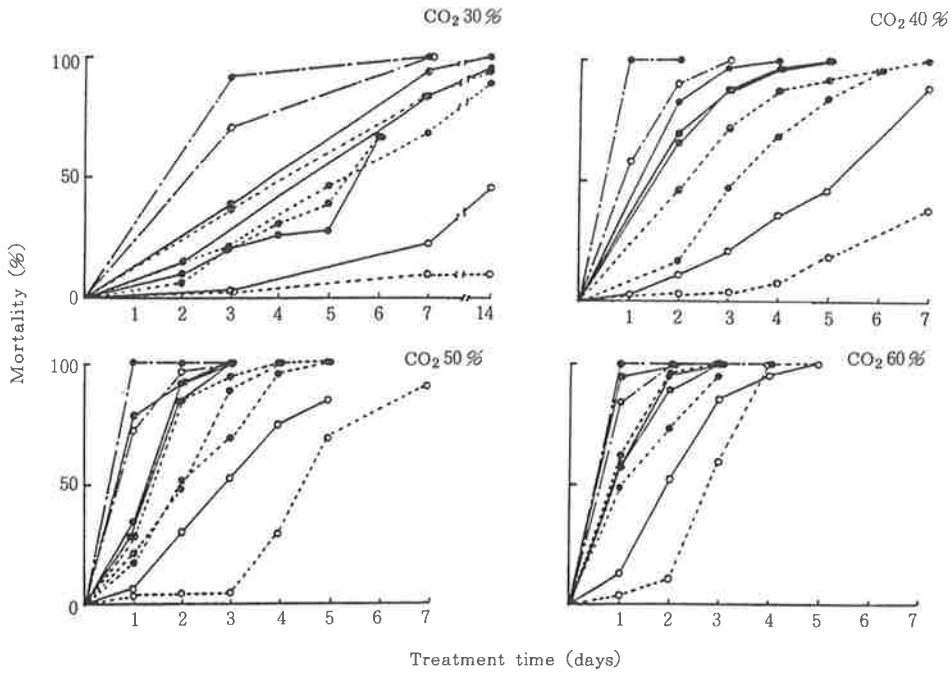


Fig. 1 Percent mortality of three major stored-grain insects in CO_2 Atmospheres at 25°C

— *S. zeamais* --- *R. dominica* *I. confusum*
 ⊙ : Egg ○ : Larva ● : Pupa ● : Adult

供試した3種類の害虫のうち、炭酸ガスに対する感受性が最も高かったのはコナガシクイで、コクゾウがこれにつぎ、ヒラタコクヌストモドキの感受性がもっとも低かった。また、供試虫の令別の感受性の差は、蛹と卵は成虫と同程度か若干高い程度であったが、幼虫は明らかに低く、判然とした差が認められた。

コナガシクイ……成虫・幼虫ともに供試虫の中では炭酸ガスに対する感受性がもっとも高く、とくに成虫では炭酸ガス濃度30%で7日、同じく40%以上の濃度になると1日で100%死亡し、幼虫も炭酸ガス濃度40~50%のときは3日、同じく60%になると2日で100%死亡した。

コクゾウ……成虫・蛹・卵に対する実用的な効果は炭酸ガスの濃度が40%のとき5日、50~60%では3日のスケジュールが考えられるが、幼虫は感受性が低く炭酸ガス濃度60%のもとで5日を経過をしたときに100%の殺虫効果が認められた。

ヒラタコクヌストモドキ……成虫・蛹・卵は、炭酸ガス濃度40%のもとで7日を経過するとほぼ100%近い殺

虫効果が得られ、炭酸ガス濃度が50%になると5日で完全な殺虫効果が得られた。ところが幼虫での感受性は明らかに低く、炭酸ガス濃度を60%に上げた4日の暴露スケジュールで他の令とともに100%の殺虫効果が得られた。

貯蔵穀類を加害する害虫の防除には、殺虫性をもつ気化性の薬剤によるくん蒸が効果的とされてきたが、酸素・窒素・炭酸ガスといった空気組成の配合比を変えた効果についても、古くから検討されてきている。そして、炭酸ガスによる殺虫効果は、空気中の酸素濃度の高低と関連があり、仮に穀物を密封貯蔵して、当初空气中に含まれた21%の酸素濃度が呼吸によって消費されたとしても、これにより生産される炭酸ガス濃度が18%程度では害虫の致死効果はない。こうしたときの害虫の致死効果は酸素濃度が3~4%以下になったときに現われる酸素欠乏による(吉田, 1972)。また、酸素が空气中の濃度と同等のときにコクゾウの成虫を死亡させるには、炭酸ガス濃度を36~40%以上にしないと効果を期待できないこと、感受性の低い害虫ではより高濃度でないといふ効果の得

られないことも示唆されている (BAILEY, 1955 ; 1956 ; 1957)。

本試験では、こうしたことを踏まえたうえで、実用の際に不足している基礎的な、炭酸ガスによる殺虫効果に関する知見を個別の主要害虫より得るため試験を行い、炭酸ガスによって貯蔵穀類の害虫を駆除するには、炭酸ガス濃度50～60%の気体環境を5日以上保持する必要があることを知った。

引用文献

BAILEY, S. W. (1955) Air-tight storage of grain; its effects on in insect pests, I. *Calandra granaria* L., (Coleoptera, Curculionidae). *Aust. J. Agr. Res.* 6: 33-51.

BAILEY, S. W. (1956) Air-tight storage of grain;

its effects on in insect pests, II. *Calandra oryzae* (small strain). *Aust. J. Agr. Res.* 7: 7-19.

BAILEY, S. W. (1957) Air-tight storage of grain; its effects on in insect pests, III. *Calandra oryzae* (large strain). *Aust. J. Agr. Res.* 8: 595-603.

三井英三 (1980) 長期貯蔵穀類等の変質防止法. 飼料用穀類等の備蓄に関する研究, 農林水産技術会議事務局版, 東京. 92-106.

吉田敏治 (1972) 穀物の密閉貯蔵. 植物防疫 26(2): 80-84.

吉田敏治 (1981) 貯蔵物昆虫学最近の進歩. 昆虫学最近の進歩(石井象二郎編), 東京大学出版会, 東京. 384-401.

Measurement of Aerial Concentration of Empenthrin during the Use of Empenthrin Mothproofers

Motomitsu SHIRAIISHI¹⁾, Masao HORIBA¹⁾, Goro SHINJO²⁾,
and Yasuo ABE¹⁾

1) *Agricultural Science Research Laboratory, Takarazuka Research Center, Sumitomo Chemical Co. Ltd., Takarazuka, Hyogo 665, Japan*

2) *Environmental Health Division, Sumitomo Chemical Co. Ltd., Kitahama, Osaka 541, Japan*

(Received: June 19, 1991)

衣料防虫剤の使用室内におけるエンペントリンの気中濃度の測定 白石基三¹⁾・堀場正雄¹⁾・新庄五朗²⁾・安部八洲男¹⁾ 1) 住友化学工業株式会社宝塚総合研究所農業科学研究所 2) 住友科学工業株式会社生活環境事業部

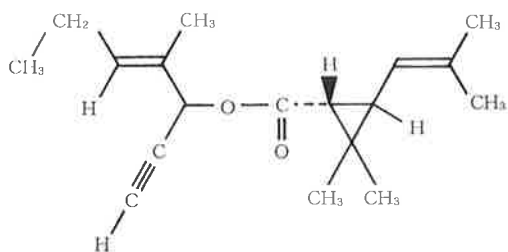
洋服を収納した洋ダンスにエンペントリン含有衣料防虫剤を入れ、室内に設置した。朝夕各2分間ずつ洋ダンス扉を開放する条件で、室内におけるエンペントリン気中濃度を200日間経時的に測定したところ、気中濃度は終始0.01mg/m³ (検出下限) 以下であった。洋ダンスの扉を開放した時の、その正面における気中濃度を測定した場合、0.01-0.05mg/m³のエンペントリンが検出されたが、洋ダンスの扉を閉じて、10分後には気中濃度は0.01mg/m³ (検出下限) 以下となった。衣料防虫剤中のエンペントリンは徐々に洋ダンス内に揮散し、ダンスの扉を開放する毎に、室内へ流出するが、長期間の使用によっても、室内のエンペントリン気中濃度は上昇することはない。自然換気によりエンペントリンは速やかに室外へ排出されるものと推測された。

Trials have been done to measure the aerial concentrations of empenthrin, (RS)-(E)-1-ethynyl-2-methyl-2-pentenyl (1R)-cis, trans-chrysanthemate, in rooms where empenthrin mothproofers are placed in wardrobes under normal conditions and at double dosage. Samples of air were taken at regular intervals for 200 days, and were analyzed for empenthrin by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The aerial concentrations of empenthrin in the rooms did not exceed 0.01mg/m³ (the limit of detection) throughout the experiment. When the wardrobe doors were experimentally opened, a small amount (0.01-0.05mg/m³) of empenthrin was detected in the air. However, these went below the limit of detection within 10 minutes after the wardrobes were closed, and the evaporated empenthrin did not accumulate in the air during long-term use. The results indicate that most of the leaked empenthrin was exhausted from the testing room by natural ventilation.

Key Words: Empenthrin, Aerial concentration, Mothproofers

Introduction

Empenthrin (Fig. 1) is a synthetic pyrethroid which was introduced by KITAMURA *et al.* (1974). Compared with other pyrethroids, it has significant characteristic such as high vapor pressure and remarkable efficacy against fabric insects (TSUDA *et al.*, 1982; YOSHIDA *et al.*, 1984). Currently, empenthrin has been increasingly used for mothproofing instead of paradichlorobenzene, naphthalene, or dichlorvos (BOLES *et al.*, 1974) because of the advantages of less odor and long lasting efficacy. These trials were done to measure the aerial concentrations of empenthrin in the air when empenthrin strips were used under normal conditions and at double dosage.



Materials and Methods

1. Chemicals

Empenthrin (purity: 95.2%) was produced by Sumitomo Chemical Co., Ltd. Acetone and *n*-octyl alcohol (residue analysis grade) were purchased from Wako Pure Chemical Industries, Ltd. and silica gel (for chromatographic use, 60/80 mesh) was from Kanto Chemical Co., Ltd.

2. Empenthrin Strips

Five hundred mg of empenthrin as an active ingredient was impregnated into filter paper (size :10×15cm, Toyo filter paper No.2). Two strips of the impregnated paper in a 0.7m² wardrobe are considered sufficient for protecting clothes from damage by clothes moths for at

least 18 weeks (OKUNO *et al.*, 1983).

3. Wardrobes

Wooden wardrobes (0.72×0.56×1.74m, 0.7m³) were used.

4. Test Rooms

Three model rooms in the Takarazuka Research Center, Sumitomo Chemical Co., Ltd. were used.

length width height

- 1) Room A (7.46×3.14×3.50m, 82m³)
- 2) Room B (7.40×3.80×2.81m, 79m³)
- 3) Room C (4.00×2.40×2.40m, 23m³)

5. Analytical Methods

5. 1 Air sampling

Five grams of silica gel were packed in a glass column (18mm i.d. ×18cm long) and both ends were plugged with absorbent cotton. It was connected to an air sampler (Yuasa model D-60 PG, with a gas meter model DK-5cf-T2, Shinagawa Seiki Co., Ltd.) as shown in Fig. 2. One hundred liters of air in the room was drawn through the silica gel column at a rate of 20 l/min.

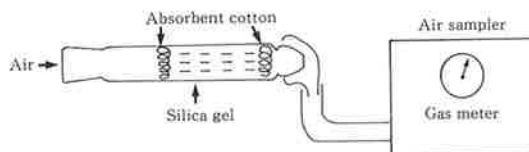


Fig.2 Diagram of apparatus for air sampling.

5. 2 Analysis of Aerial Concentration of Empenthrin

Each sampling column was extracted with four 25ml portions of acetone. Two drops of *n*-octyl alcohol were added to the extract with a Pasteur pipet, and the solvent was evaporated under reduced pressure by a rotary evaporator. The residue was dissolved in one ml of acetone to make a sample solution. Four ml of the sample solution was injected into a gas chromatography-mass spectrometer to obtain a mass fragmentgram monitored at *m/z*: 168 under the conditions shown in Table 1. The amount of

empenthrin in the sample was calculated as follows;

Amount of empenthrin (μg) = $H_s \times F \times V$ where, "Hs" is the peak height of sample, "F" is a calibration factor and "V" is the volume of the sample solution in $\text{m}\ell$.

Table 1 Gas chromatography-mass spectrometry, analytical conditions

Apparatus: GC-9A gas chromatography and QP-1000 mass spectrometer (Shimadzu Corporation)

Column: A glass column (3 mm i.d. \times 3m) packed with 5% silicone OV-17 on Gas chrom Q (60-80mesh)

Column temp.: 260°C

Injection port temp.: 270°C

Carrier gas and flow rate: He at 35 ml/min.

Ionization method: Electron impact (EI)

Ion source and separator temp.: 270°C

Ionization voltage: 70 eV

m/z setting: 168

5. 3 Analysis of Empenthrin Remaining in the Strip

The strips were cut into pieces of appropriate size and the remaining empenthrin was extracted with three 25ml portions of acetone by application of ultrasonic waves for 10 minutes. The extracted solutions were combined and made up to 100ml with acetone. A portion of the solution was pipetted and analyzed by gas chromatography after the addition of dimethyl phthalate as an internal standard under the conditions shown in Table 2.

6. Test Procedures

6.1 Arrangements of the Wardrobes

Two wardrobes were placed in each of Rooms A, B and C. Twelve pieces of clothing were hung in each wardrobe.

6. 2 Aerial Concentration of Empenthrin

Two empenthrin strips were set in each wardrobe (normal dosage) in Room A and four strips were set in each wardrobe (double dosage) in Room

Table 2 Analytical conditions for remaining empenthrin in the mothproofers

Apparatus: GC-15A gas chromatography (Shimadzu Corporation)

Column: A glass column (3 mm i.d. \times 3m) packed with 2% DEGS on Chromosorb W (AW, DMCS 100-120 mesh)

Column temp.: 140°C

Injection port and detector temp.: 200°C

Carrier gas and flow rate: N_2 at 50 ml /min.

H_2 : 0.7 kg/m², Air: 0.7 kg/m²

Internal standard: Dimethyl phthalate

B. The doors of each wardrobe were opened for two minutes twice a day, in the morning and in the evening, for five continuous days a week. The air was periodically collected at 6 sampling points (2 different heights at 3 different places) in Rooms A and B (Fig. 3) in the afternoon (1:00-2: 00PM). The higher position (1.4 m) and the lower position (0.3 m) are supposed to be the breathing zone of adults and infants, respectively. Two empenthrin strips were set in Wardrobe I in Room C, and Wardrobe I was opened and closed twice a day in the same manner as those in Rooms A and B. On sampling days between 1 and 2 o'clock, the door of Wardrobe I was opened and the air in front of Wardrobe I was collected (Fig. 4). After the air sampling, the door of Wardrobe I was closed.

An additional test was done to confirm the change of the aerial concentration of empenthrin when the wardrobes were opened and then closed. One hundred liters of air was sampled at 2 positions in front of the open wardrobes (Rooms A and B) and Wardrobe I (Room C) in the morning 100 days after the beginning of this test. After air sampling, the wardrobes were closed. In the afternoon the doors of wardrobes (Rooms A and B) and Wardrobe I (Room C) were opened again for two minute and then closed. After 10 minutes, one hundred liters of the air was