

## 超音波洗浄によるカイガラムシの防除に関する研究

石黒悦爾・宮里 満・団野皓文

(農業物理学研究室)

昭和53年9月8日 受理

### Control of Hemispherical Scale by Ultrasonic Cleaning

Etsuji ISHIGURO, Mitsuru MIYAZATO and Akibumi DANNO

(Laboratory of Agricultural Physics)

#### 緒 言

超音波洗浄は、洗浄液中に超音波を照射して行なう方法であり、従来の機械的な洗浄と異なり、物理的効果によって微小部分の洗浄や微細な附着物を完全に除去できる。しかし、農業の分野ではまだほとんど利用されておらず、河村氏<sup>1)</sup>や竹内氏等<sup>2)</sup>によって野菜の洗浄やブドウの洗浄に関する研究が報告されているにすぎない。

われわれは、超音波洗浄を病害虫の防除に利用できると考え、本研究を行なった。

カイガラムシは、ロウ物質の堅固な介殻で体表を覆っているため、農薬による防除が困難であり、防除適期がロウ物質を分泌する以前の幼虫期に限られるため、病害虫の中でもとりわけ防除が困難だとされている<sup>3)</sup>。試料として用いたヤマタカカタカイガラムシ (*Saissetia coffeae* Walker) は、ラン等によく寄生するものである。<sup>2)</sup>

防除効果は、超音波洗浄中にカイガラムシが葉面から剝離されて洗浄液中に落ちる除去効果と、剝離されないが洗浄中に殺虫される死亡効果の2つに分けて検討した。

実験に先だって、洗浄槽内の音圧分布を測定し、最適な洗浄位置を決定した。次にカイガラムシ防除の基礎資料を得るために、カイガラムシが附着するソテツ (*Cycas revoluta* Thunb) の小葉を試料板に固定したものを超音波で照射し、照射出力、洗浄時間、洗浄液の種類について実験を行なった。更に、クチナン (*Gardenia jasminoides* Ellis) の鉢に寄生するカイガラムシの防除を行ない、実際の防除効果ならびに、植物が受ける影響について検討した。

本研究の一部は、昭和48年度、昭和50年度の文部省

科学研究費の助成を受けて行なった。

#### 実験材料および方法

##### 1. 材 料

ヤマタカカタカイガラムシは、体形が2~3.5mmの半球形で、体表が淡褐色から黒褐色の堅いロウ物質で覆われ、ラン・ヤシ・ソテツ等によく寄生するものである<sup>2)</sup>。

材料は、鹿児島大学農学部附属農場指宿植物試験場のソテツに寄生しているヤマタカカタカイガラムシを用いた。カイガラムシは大きさが3mm、色が茶褐色と一定のものを用い、また、ピンセットで軽く触れて動くものは、予め除いて実験を行なった。

超音波洗浄によるカイガラムシの防除についての基礎実験を行なうため、面積が280×200mm、5mmメッシュの金網製の試料板を作成して行なった。カイガラムシが附着しているソテツの小葉を、附着位置から上下10mmに切り取り試料板上に固定した。試料板上のカイガラムシは、5mmの等間隔に配置した。

鉢植えの植物に寄生しているカイガラムシの防除実験には、素焼の5号鉢にクチナンを植え、カイガラムシを寄生させたものを用いた。

##### 2. 効果の判定方法

カイガラムシ防除の効果は、次の2つの方法で行なった。

(1) 除去効果：超音波洗浄中に、葉面から剝離されて洗浄液中へ落ちたカイガラムシ数の割合をもつて除去率とした。

(2) 死亡効果：カイガラムシの生死の判定は、外見上からは困難であるので、除去されたものは死亡したとみなした。また、除去されず葉面に附着しているカイガラムシを、洗浄後、ピンセットで葉面からはず

し、顕微鏡で観察し、体内に洗浄液の浸入が認められるものは死亡したとみなし、両者の和の割り合いをもって死亡率とした。

### 3. 植物体へ与える影響

超音波洗浄を行なうことにより、クチナシへ与える影響として、次の2つの現象から検討した。

(1) 浸水現象：超音波洗浄直後、クチナシの葉の一部が透明になった。これは、葉の内部に水が入り込み透明になったもので、時間がたつとこの部分は元の色に戻り、洗浄前と区別がつかなくなる。この現象を浸水現象とよび、この現象を示す葉の生じる割り合いを浸水現象率として示した。

(2) 褐変現象：洗浄後しばらくすると葉の一部が褐色になり、時には落葉する場合がある。この褐色化した葉の生じる割り合いを褐変率で示した。

### 4. 超音波洗浄装置

超音波洗浄装置は、超音波発振器、洗浄槽および高周波電力計からなり、Fig. 1のように配置した。音圧の測定および基礎実験の時は、海上電機製6330型の振

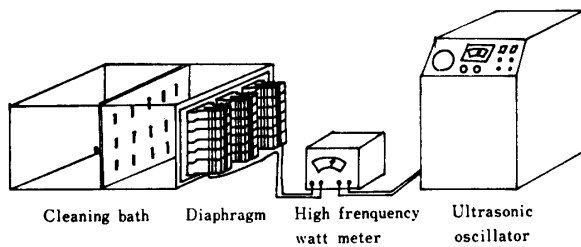


Fig. 1. Block diagram of ultrasonic cleaning.

動板を取り付けたアクリル樹脂製の洗浄槽を用いた。一方、鉢物の洗浄を行なう時には、海上電機製2209型振動板を取り付けた鉄板製の洗浄槽を用いた。これらの洗浄槽は、いずれも振動板が側面に取り付けられ、側方照射で洗浄がなされる。2つの振動板は、発振周波数が29kHzの $\pi$ 型フェライト磁歪振動素子より構成され、照射面積はそれぞれ240×160, 340×330mmである。超音波洗浄装置の仕様は、Table 1に示す。

### 5. 音圧測定法

音圧の測定は、29kHzの $\pi$ 型フェライト磁歪振動素子を用い、これは振動板に取り付けられた振動素子と同じものである。この振動素子は、受音面が40×20mmの大きさで、この面を振動板に平行になるようにした。

振動板からの距離に対する音圧分布は、振動板中心軸上を、2mm 間隔で受音面を移動させて測定した。一方、振動板に平行な面における音圧分布は、上下、左右 2cm の間隔で測定した。

音圧は、振動素子に巻かれたコイルに誘起される電圧を、高周波電圧計で測定して行なった。

### 6. 洗浄液の種類

洗浄液は、水道水の外に界面活性剤として中性洗剤、およびカイガラムン防除剤として農薬を用いた。これらの商品名および濃度は Table 2 に示す。これらの濃度は、各々の使用薬剤の標準使用量に従って決定した。

### 7. 照射出力

超音波発振器より振動板へ供給される電力を高周波電力計で測定し、照射出力とした。

Table 1. Specifications of the ultrasonic cleaning apparatus

Item	Type	Specifications
Ultrasonic oscillator	K.K. Kaijō Denki, Type 6003	10 k—2MHz, 0—500W
High frequency watt meter	K.K. Kaijō Denki, Type TJ6701	0—600W
High frequency volt meter	K.K. Kikusui Denki, Model 183	1mV—100V
Diaphragm	K.K. Kaijō Denki, Type 6330	29kHz, 240×160mm
	Type 2209	29kHz, 340×300mm
Magnetostrictive transducer	$\pi$ -type Ferrite	29kHz
Cleaning bath	Acrylic acid resin made bath	280×360×200mm
	Steel made bath	300×400×700mm

Table 2. Kind of wash liquid and its standard concentration

Chemicals	Selling name	Maker	Standard concentration
Neutral cleanser	Mamalemon (ML)	K.K. Raion-yushi	1.5ml/l
	Bari-Z (Bz)	K.K. Nippon-yushi	1.4g/l
	Fruits cleanser (F)	K.K. Rinlei	2.0ml/l
Agricultural chemicals	Erusan (E)	K.K. Nisan Kagaku Kogyo	1.0ml/l

音圧の測定および基礎実験は、100, 300, 450W の3つの照射出力で行なった。フェライトの音響変換率は90%であり<sup>9)</sup>、使用した振動板の照射面積は384cm<sup>2</sup>であるので、これらの照射出力に対する照射強度は、それぞれ0.23, 0.70, 1.05 W/cm<sup>2</sup>となった。

また、クチナシの鉢の洗浄は500Wの照射出力で行なったので、照射強度は、0.40 W/cm<sup>2</sup>となる。

## 実験結果および考察

### 1. 音圧分布

#### 1) 振動板からの距離に対する音圧分布

洗浄槽内の振動板中心軸上での振動板からの距離に対する音圧の測定結果を Fig. 2 に示す。100, 300, 450W のいずれの照射出力についても、音圧 P V は、振動板からの距離 x cm に対して交番的に変化することが示される。

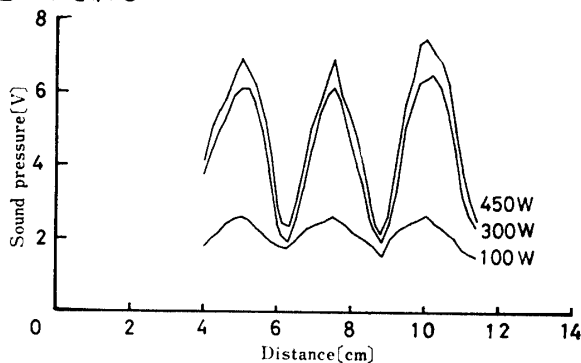


Fig. 2. Distribution of sound pressure along the axis pass through the center of diaphragm.

測定結果は、次の実験式で表わされる。

$$P_{100} = 1.55 + 1.06 \left| \sin \left( \frac{2\pi}{5.00} x + \frac{\pi}{2} \right) \right|$$

$$P_{300} = 1.60 + 4.50 \left| \sin \left( \frac{2\pi}{5.00} x + \frac{\pi}{2} \right) \right|$$

$$P_{450} = 1.80 + 5.10 \left| \sin \left( \frac{2\pi}{5.00} x + \frac{\pi}{2} \right) \right|$$

この結果から、振動板中心軸上の音圧は、振動板からの距離に対して、いずれの照射出力においても、波長が  $\lambda = 5.00$  cm の正弦波の絶対値で変化することが示される。

一方、超音波の波長  $\lambda$  は、音速  $C$  と周波数  $f$  との間、次の関係式が成立する。

$$\lambda = C/f$$

ここで、水中の音速  $C$  は、20°C で、1479.5 m/sec である<sup>9)</sup>。また、周波数  $f$  は、29kHz であるので、この時の波長  $\lambda$  は、 $\lambda = 5.10$  cm となる。

以上より、振動板中心軸上の音圧は、振動板からの距離に対して、正弦波の絶対値で変化し、この時の波

長が超音波の波長と一致することより、洗浄槽内には、定在波が発生していることが明らかとなった。

また、定在波が生じている場合は、音圧の節の位置が洗浄液の粒子変位が最大であるので洗浄物をこの位置に置くと洗浄効果は高くなる。

### 2) 照射出力と音圧

音圧が最大となる位置に受音器を置き、照射出力と音圧との関係を求めた。測定位置は振動板中心軸上で、振動板から7.5cmの距離で、洗浄液は、水道水と中性洗剤 (ML) について行なった。

Fig. 3 に示すように、照射出力が強くなると音圧は増加する。また、中性洗剤の場合は、水道水だけの場合よりも、同一出力での音圧は高くなるという結果を得た。

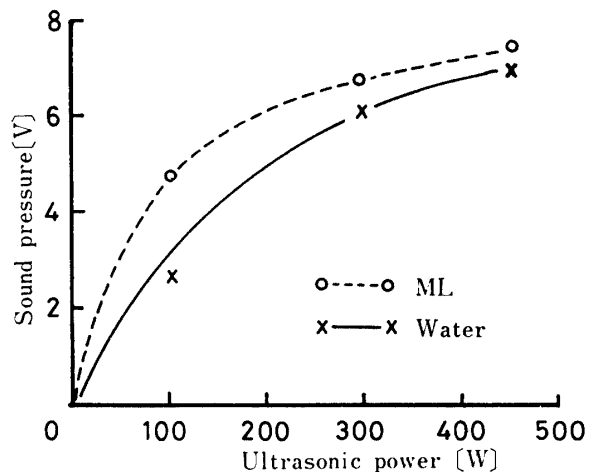


Fig. 3. Relationship between sound pressure and ultrasonic power.

キャビテーション発生時点の定義は研究者により異なるが、菊池氏等の報告によると、キャビテーション発生点は、音響輻射抵抗が減少し始める時点であると定義し、その閾値を0.30 W/cm<sup>2</sup>と決定している<sup>9)</sup>。

従って、照射出力100Wは、ここでは照射強度が0.23 W/cm<sup>2</sup>であるのでキャビテーションは発生していないが300W以上ではキャビテーションが発生していることは明らかである。

### 3) 音圧の平面分布

振動板から7.5cmの距離で、振動板中心軸に垂直な平面上の音圧分布を Fig. 4 に示す。洗浄液は中性洗剤 (ML) を用い、450W で照射した。平面の中心で測定した音圧を100とし、その他の点の音圧を相対値で示した。音圧分布は中心が一番強く、中心から遠くなるにつれて減少するという指向性が得られた。一方、中心から同じ距離でも、下方が上方よりも強い音圧を示した。

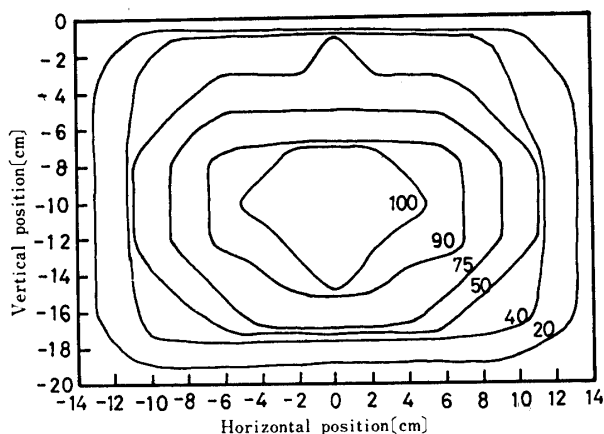


Fig. 4. Distribution of relative sound pressure on the plane located at the loop of standing wave.

## 2. 基礎実験

### 1) 除去効果の平面分布

試料板と、振動板から 6.25cm の距離に置き、洗浄液に中性洗剤 (ML) を用い、450W で 8 分間洗浄した。Fig. 5 は試料板上のカイガラムシの除去率の分布を示す。除去率は中心部が最も高く、また、中心から離れるにつれて減少し、上方よりも下方が高い値を示した。この結果は、Fig. 4 の平面上の音圧分布と全く同じ傾

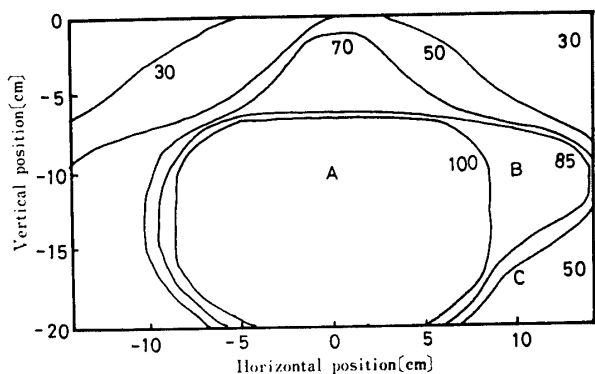


Fig. 5. Distribution of peeling percentage of Hemispherical Scale on the model plate.

向を示し、カイガラムシの除去率は洗浄槽内の音圧にほぼ比例することが明らかとなった。

Fig. 6 は、試料板上の座標 A, B, C におけるカイガラムシの除去率と洗浄時間との関係を示したものである。どの位置における除去率も、洗浄時間が長くなると、同じ傾向で増加することが示される。

### 2) 出力による防除効果

試料板を振動板から 6.25cm の距離に置き、洗浄液として中性洗剤 (ML) を用い、100, 300, 450W

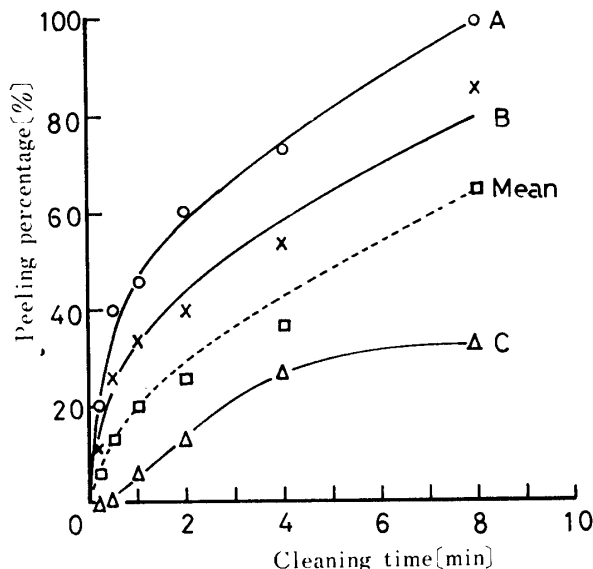


Fig. 6. Relationship between peeling percentage of Hemispherical Scale and cleaning position on the model plate.

○—○ A : Center, X—X B : Side, △—△ C : Corner, □—□ Mean: Average value of 15 positions on the plate

の照射出力で超音波洗浄を行なった結果を Fig. 7 に示す。

除去率、死亡率はいずれも照射出力が強くなるにつれて高い値を示し、照射出力 300, 450W で 8 分間洗浄を行なうと、除去率は各々 40%, 65% になった。

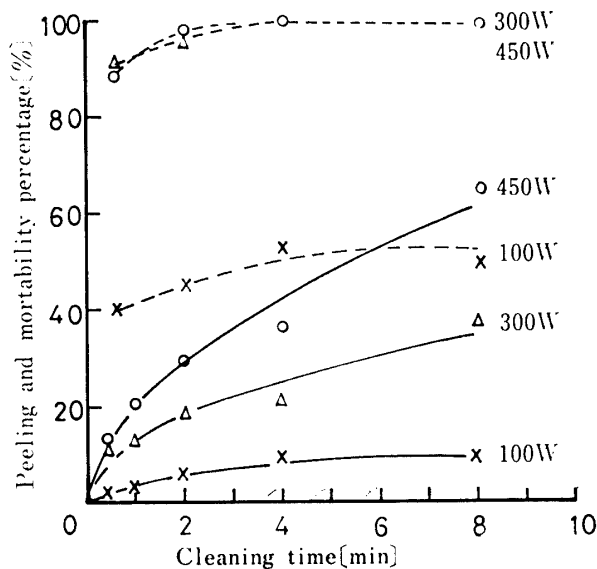


Fig. 7. Relationship between peeling and mortality percentage and ultrasonic power.

○—○, △—△, X—X : Peeling percentage at 450 W, 300 W, and 100W, ○……○, △……△, X……X : Mortality percentage at 450 W, 300W, and 100W.

また、死亡率は30秒という短時間の洗浄で、どちらも90%という高い値を示した。

一方、照射出力 100W で洗浄を行なうと、洗浄時間の増加に伴う除去率、死亡率の上昇はみられず、各々10%、50%であった。

このように、防除効果が照射出力によって異なるのは、次の理由によると思われる。

100, 300, 450W の照射出力で洗浄した場合の照射強度は各々、0.23, 0.70, および 1.05 W/cm<sup>2</sup> である。この値をキャビテーション閾値と比較すると 100W ではキャビテーションは発生していない。

超音波洗浄は、主としてキャビテーション効果によるといわれているので<sup>7,10)</sup>、キャビテーションが発生しない 100W の照射出力で洗浄を行なった場合は、除去率、死亡率は低くなる。また、300, 450W の照射出力で洗浄した場合は、キャビテーションが発生しているので除去率は著しく高くなり、また、洗浄時間が長くなると除去率は上昇する。一方、死亡率は短時間で非常に高い値となる。

### 3) 洗浄液の種類

450W の照射出力で、洗浄液として、水道水、中性洗剤 (ML, および BZ) および、農薬 (E) を用いた時の除去率と死亡率を Fig. 8 に示す。洗浄液の濃度は、Table 2 に示す各々の標準使用量で行なった。中

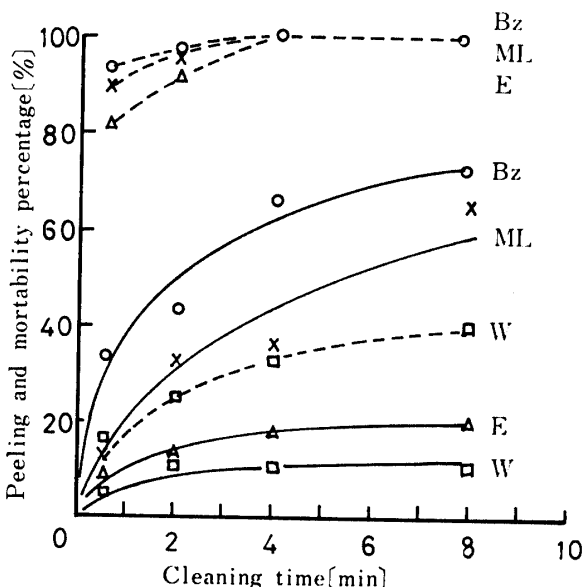


Fig. 8. Relationship between peeling and mortality percentage and cleaning time. Wash liquids Neutral cleanser (ML, Bz), Agricultural chemicals (E), Water (W)  
 ○—○, X—X, △—△, □—□ : Peeling percentage  
 ○……○, X……X, △……△, □……□ : Mortality percentage

性洗剤 (ML) および (BZ) を用いた場合が、除去率は最も高くなり、次いで、農薬 (E)、水道水の順となった。一方、中性洗剤、農薬を用いた場合、短時間の15秒洗浄で、死亡率はともに80%以上の高い値を示したが、水道水の場合は8分間の洗浄でも40%となった。

このように防除効果が洗浄液によって異なるのは、次の理由によるものと思われる。

中性洗剤と農薬との除去率に差を生じたのは、濃度の違いというよりは、農薬と中性洗剤との界面活性作用の違いによるものと思われる。また、死亡率がほぼ同じになるのは、洗浄液が体内に侵入すると、農薬と中性洗剤とは同じ殺虫効果を有するためによるものであると思われる。

Fig. 9 は洗浄液の濃度と除去率との関係を示す、洗浄液は、中性洗剤 (ML), (BZ) で行なった。標準使用量の2倍までは、除去率は変化しないが、4倍の濃度になると除去率は増加するという傾向がみられた。

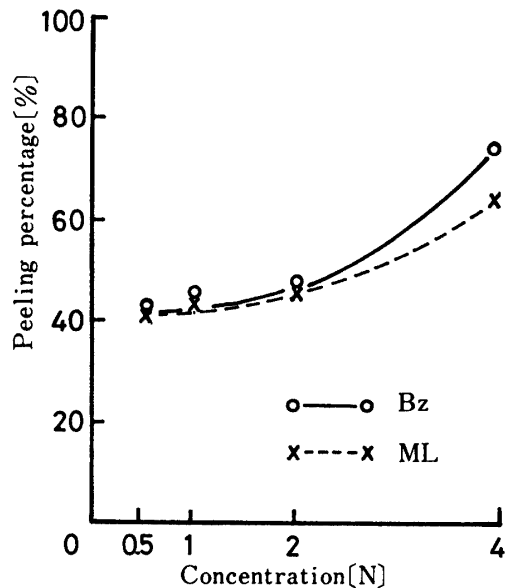


Fig. 9. Relationship between peeling percentage and concentration of neutral cleanser. N: Standard concentration of ML and Bz

### 3. 実用試験

#### 1) 死亡率

実用試験として、鉢植えのクチナンに寄生しているカイガラムシを 500W の照射出力で超音波洗浄を行ない、死亡率と照射時間との関係を求めた。

Fig. 10 に示すように、葉に寄生するカイガラムシは、茎に寄生するカイガラムシよりも死亡率は高くなった。中性洗剤 (F) を用いた方が水道水だけの場合よりも高い死亡率が得られた。50分間洗浄における死

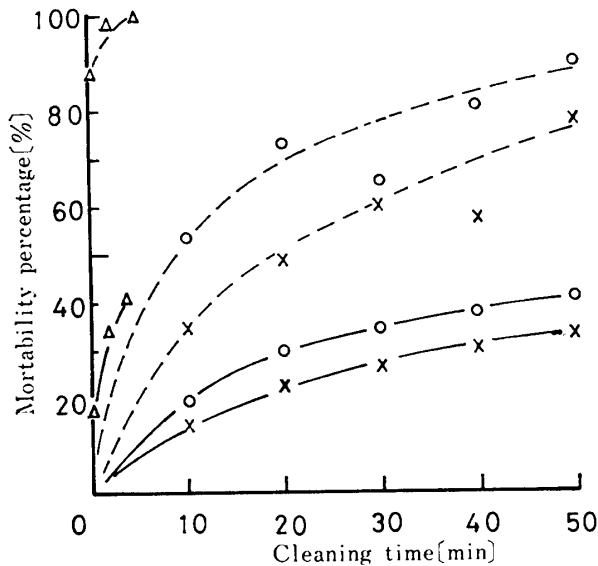


Fig. 10. Relationship between mortality percentage and cleaning time in the practical case.

○—○, X—X : Mortality percentage on leaf and stem in water,  
 ○.....○, X.....X : Mortality percentage on leaf and stem in neutral cleanser,  
 △—△, △.....△ : Water and neutral cleanser in the model case

死亡率は、水道水で40%、中性洗剤(F)で90%となった。一方、基礎実験で450Wで洗浄した場合の死亡率は、5分間の洗浄で水道水で40%、中性洗剤(ML)で95%であった。この結果、実用試験の場合は基礎実験に比べてかなり効率が低いことが示される。

このように、効率が低い原因について検討すると、第1は照射強度が考えられる。照射出力500Wのとき、照射強度は $0.4 \text{ W/cm}^2$ となるので、キャビテーションは発生している。従って、照射強度の差によるものではないと考えられる。

第2は、立体的な配置が考えられる。基礎実験の場合、カイガラムシは定在波の音圧の節の位置に置かれた。従って、この位置では粒子変位が大きく、洗浄による防除効果は高くなった。しかし、実用試験においては、カイガラムシはクチナシの葉や茎に立体的に寄生しているため、粒子変位が最大の効果的な洗浄位置にすべてのカイガラムシを置くことはできなかった。さらに洗浄槽内の超音波の指向性によって、中心から離れるにつれて防除効果は減少するため、全体としての死亡効果は低下した。

第3は、超音波が物体により散乱・吸収され減衰することが考えられる。実用試験においては、葉や茎によって超音波は減衰され、照射強度が減少するので、

カイガラムシの死亡効果は低下する。

## 2) 植物体へ与える影響

500Wの照射出力で超音波洗浄を行なった場合の浸水現象と褐変現象の発生率と洗浄時間との関係をFig. 11に示す。浸水現象は洗浄液が中性洗剤(F)および水道水の場合に発生した。発生率は、水道水の場合で10分間の洗浄で50%、60分間の洗浄では80%と洗浄時間が長くなるにつれて増加した。また、中性洗剤(F)では、濃度が濃くなると増加した。一方、褐変現象は水道水の場合には発生しなかった。中性洗剤の場合には、10分間の洗浄で、標準濃度で2%、2倍の濃度で5%の褐変発生率であったが、洗浄時間が60分と長くなると、27%、80%と急激に褐変発生率は増加した。

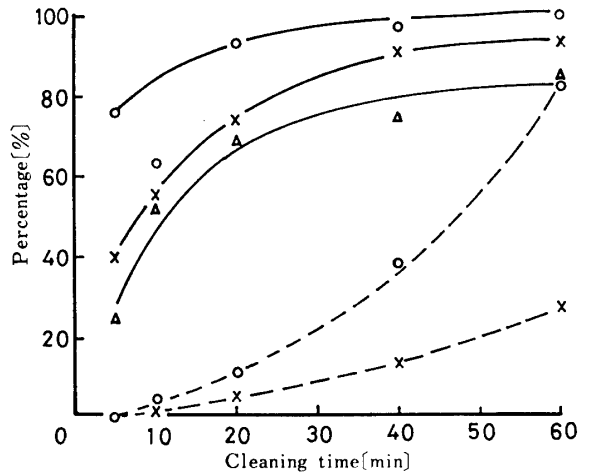


Fig. 11. Relationship between percentage of watered and browning phenomenon and cleaning time.  
 △—△, X—X, ○—○ : Watered phenomenon in water, 1N, and 2N concentration of neutral cleanser,  
 X.....X, ○.....○ : Browning phenomenon in 1N, and 2N concentration of neutral cleanser

以上の結果より、体表が堅いロウ物質で覆われているカイガラムシの防除を、超音波洗浄で行なうことが可能である。また、洗浄はキャビテーション閾値以上の照射強度で行なう必要があり、界面活性剤を用いると更に防除効果は高くなる。一方、超音波洗浄を長時間行なうと、植物の葉に浸水現象や褐変現象を起こすことが認められた。従って、実用にあたっては、鉢を回転させながら超音波洗浄を行なう等、植物に影響を与えない短時間にしかも防除効果を高めるような照射方法の改善が必要である。

## 要 約

農業における超音波洗浄は、野菜やブドウの洗浄についての報告がなされているだけである。一般に、農薬によるカイガラムシの防除は、幼虫期を除いては困難であるので、ロウ物質の堅固な殻を有する時期における超音波洗浄法による防除の可能性について検討した。防除効果は、カイガラムシを葉面から剝離させる除去効果と殺虫する死亡効果の2つに分けて検討した。

カイガラムシが附着しているソテツの葉について基礎実験を行ない以下の結論を得た。

① キャビテーション閾値以上の450, 300Wの照射出力で8分間洗浄すると、65%, 40%の除去率を得た。一方、死亡率はいずれの出力においても、30秒という短時間の洗浄で90%という高い値を得た。

② キャビテーション閾値以下の100Wの照射出力で8分間洗浄を行なっても10%の除去率、および、50%の死亡率という低い値となった。

③ 閾値以上の出力で洗浄を行なうと、洗浄時間が長くなると防除効果は高くなるが、閾値以下の出力の場合は、洗浄時間の増加に伴う防除効果の増加はみられない。

④ 洗浄液は、中性洗剤を用いた場合が、一番防除効果は高く次いで農薬、水道水の順であった。

クチナシの鉢に超音波洗浄を行なうと、カイガラムシの死亡率は基礎実験で得られた死亡率よりも低くなった。

植物体が受ける超音波の影響は、5分間の洗浄から浸水現象を生じ始める。また、中性洗剤を用いた場合は、褐変現象も起こりこの発生率は洗浄時間が長くなると急激に増加する。しかし、水道水の場合には褐変現象は生じない。

## 謝 辞

本研究を行なうにあたり、適切な助言をいただきました鹿児島大学農学部附属農場指宿植物試験場の石畑清武主任に厚く御礼申し上げます。

また、試料鉢の作成ならびに管理に御協力いただきました同試験場の有田重信、川畑久雄両技官に深く感謝致します。

さらには、本研究遂行に協力していただいた当研究室の萩原耕技官、上野正実、岡崎哲夫、山畑稔泰、大浦正伸、新地博明、落合正臣、西嶋公仁孝の諸氏に謝意を表します。

## 文 献

- 1) 河合省三：カイガラムシの生活史，植物防疫，21，8，p.319～323（1967）
- 2) 河田党：作物病虫害辞典，p.1492～1493 養賢堂（1975）
- 3) 河村広己：超音波による野菜の洗浄法，農業技術，27，7，p.316～318（1972）
- 4) 竹内竜三，石井征亜，神田信行：ブドウの超音波洗浄とその要因効果，岐阜大農研報，31，251～258（1971）
- 5) 実吉純一，菊池善充，能本乙彦：超音波技術便覧，p.277～287，日刊工業新聞社（1960）
- 6) 同上 p.398
- 7) 同上 p.1115～1131
- 8) 同上 p.1386
- 9) 島田正憲：超音波工学—理論と実際—，p.19～21，工業調査会，（1975）
- 10) 同上 p.441～479

## Summary

The ultrasonic cleaning has not been applied to agriculture. Up to the present, only a few works on the ultrasonic cleaning of grapes carried out to remove agricultural chemicals were reported. The possibility of control of Hemispherical Scale (*Saissetia coffeae* Walker) covered with hard wax by use of the ultrasonic cleaning was investigated, because the control of the insect was effective only when it was carried out at its larval stage, with the use of agricultural chemicals.

The control effect of the ultrasonic cleaning was estimated from the following two points. The first is the peeling of Hemispherical Scale by mechanical action of ultrasonic waves, and the second is the mortality of the insect by biological action of its.

The control of Hemispherical Scale sticking on the leaflet of cycad was studied as functions of ultrasonic power, cleaning time, and the content of additives.

1) When the ultrasonic cleaning was made for 8 min with a power beyond the cavitation-thresh-hold, the peeling percentage was measured to be 65% and 50% at the power of 450W and 300W, respectively. While, the mortality percentage was to be 90% for only 30 sec under both the powers.

2) When the ultrasonic cleaning was made for 8 min with the power below the cavitation-thresh-hold, the peeling percentage was measured to be 10%, and the mortality percentage was obtained to be 50%.

3) At the power beyond the cavitation-thresh-hold, the control percentage increased with the increasing of

cleaning time. On the other hand, at the power below the thresh-hold, the percentage did not so increase with the increasing of cleaning time.

4) When neutral cleanser (M.L., 0.14%) added to the wash-liquid (water), the control percentage was obtained to be higher than that in case of the wash-liquid only, or than that in case of the agricultural chemicals added.

In order to observe the practical efficiency, the ultrasonic cleaning was made to control Hemispherical Scale sticking on Gardenia (*Gardenia jasminoides* Ellis) planted in pot. The mortality percentage in the practical case decreased considerably in comparison with the ideal case. Moreover, some effects caused by biological action of ultrasonic on the plant were observed. The one was the watered phenomenon which was occurred beyond 5 min of cleaning time. The other was the browning phenomenon which was observed only in the wash-liquid added with neutral cleanser.