

徳島果研報

No. 6 2012

Bull.

Tokushima Pref.

FRUIT TREE Res. Ins.

ISSN 1347-2518

BULLETIN OF  
TOKUSHIMA PREFECTURAL  
AGRICULTURE, FORESTRY AND  
FISHERIES TECHNOLOGY SUPPORT CENTER  
FRUIT TREE RESEARCH INSTITUTE

No. 6  
March 2012

徳島県立農林水産総合技術支援センター  
**果樹研究所研究報告**

第6号  
平成24年3月

徳島県立農林水産総合技術支援センター

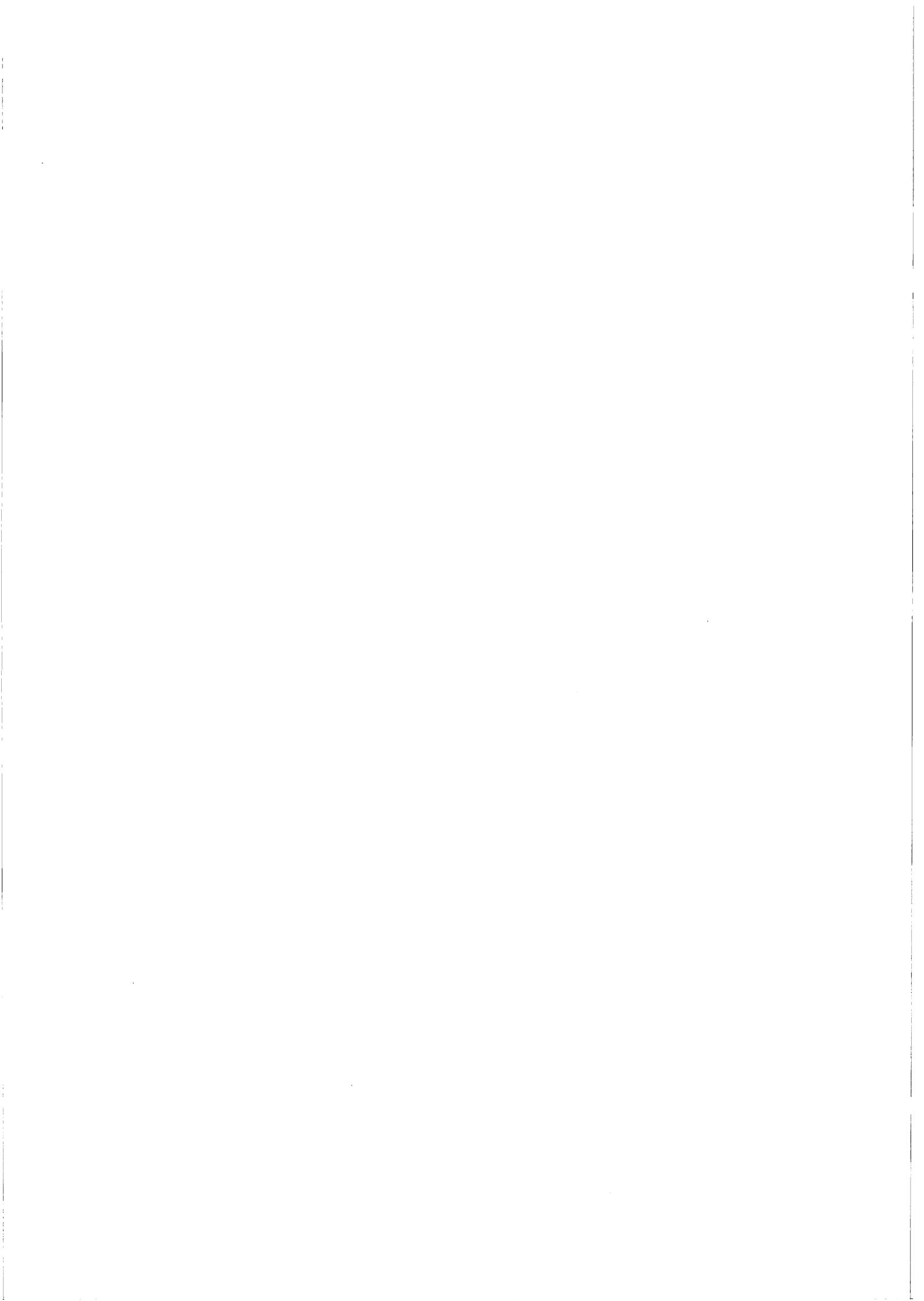
**果樹研究所**

徳島県勝浦郡勝浦町

TOKUSHIMA A. F. F. TECHNOLOGY SUPPORT CENTER

FRUIT TREE RESEARCH INSTITUTE

KATSUURA, TOKUSHIMA, JAPAN



# 徳島県立農林水産総合技術支援センター果樹研究所研究報告 No.6(2012)

## 目 次

|  |    |
|--|----|
| 超音波を利用した果樹のヤガ類被害防止技術の開発<br>小池 明・中西友章.....      | 1  |
| スダチと温州ミカンにおける果皮食害虫による被害程度の差異<br>兼田武典・中西友章..... | 9  |
| ナシ萎縮病発生に関する土壌肥料的要因調査<br>森 聡・福田雅仁・松家義克.....     | 19 |

BULLETIN OF THE  
TOKUSHIMA PREFECTURAL AGRICULTURE, FORESTRY  
AND FISHERIES TECHNOLOGY SUPPORT CENTER  
FRUIT TREE RESEARCH INSTITUTE

Reports No. 6

CONTENTS

|   |    |
|---|----|
| Control of fruit piercing moth in orchard with ultrasonic wave<br>Akira Koike, Tomoaki Nakanishi .....  | 1  |
| Difference about injured degrees of pericarp by pest insects, between citrus sudachi and satsuma orange<br>Takemichi Kaneda and Tomoaki Nakanishi ..... | 9  |
| Investigation of the Infection Factors of Japanese Pear Stunt by Soil Diagnosis<br>Satoshi Mori, Masahito Fukuta and Yoshikatsu Matsuka .....           | 19 |

略 号

徳島果研報 第6号

*Abbreviation*

*Bull. Tokushima Fruit Tree Res. Ins. Rep.*

*Japan, No. 6*

# 超音波を利用した果樹のヤガ類被害防止技術の開発

小池 明<sup>1)</sup>・中西友章

## Control of fruit piercing moth in orchard with ultrasonic wave

Akira Koike, Tomoaki Nakanishi

キーワード：ヤガ，防除，超音波，防蛾灯

### 緒 言

ヤガ類（吸蛾類）とはアケビコノハ，アカエグリバなどの果実を加害するガの総称であり，成熟直前の果樹園へ飛来して果実を吸汁加害し大きな被害を与える。徳島県では7月～9月に被害が多く，この時期に成熟するスモモ，モモ，ナシ，極早生温州などを加害する。ヤガ密度の高い地域では7月下旬～8月に成熟するモモが全滅することもあり，中山間地域の果樹園では最も重要な害虫の一つである。現在，ヤガ対策としては防蛾灯や防虫ネットが利用されているが，効果が不十分であったり，被覆労力が過大であるなど，それぞれ課題をかかえている。

そこで，超音波を利用したヤガ類被害防止法の開発を試み，一定の成果を得たので報告する。なお，この研究は2006年度～08年度に「新たな農林水産施策を推進する実用技術開発事業」の委託により徳島県果樹研究所，山口大学，(独)農業・生物系特定産業研究機構生物系特定産業技術支援センター，ヤンマー農機株式会社による共同研究の一部として実施した。

### 材料および方法

#### 試験用超音波発振装置

プログラミングソフトを用いて任意の周波数の音声を合成しファイルに保存するソフトウェアを作成した。単一波長の音声信号は次の式で表せる。

$$v = \sin(2\pi ft)$$

ここで， $v$ は振幅， $f$ は周波数Hz， $t$ は時間である。この式によりプログラミングソフト Visual Basic を用いて音声ファイルを合成し(図1)，Windowsの wave 形式で保存した。wave 形式はサンプリング周波数と量子化ビット数の組み合わせにより，様々なフォーマットが可能であるが，本研究ではコウモリの発する20～80kHzの周波数を再生するため，サンプリング

```

For j= 1 To PulseNumber
  r = Freq / SamplingFreq
  rr = 0
  For i = 0 To DurationLength - 1
    wave = Math.Sin(2*rr*pi) * 32767
    FilePut(1, wave) '右チャンネル
    FilePut(1, wave) '左チャンネル
    rr = rr + r
  Next i
Next j

```

図1 正弦波音声を wave 形式でファイルに書き込むプログラムコードの一部(Visual Basic 使用)

1) 徳島県立農林水産総合技術支援センター高度技術支援担当

周波数192kHz, 16bitのフォーマットを用いた。作成したソフトウェアは、周波数、パルス長、パルス間隔等を任意に設定可能であり、コウモリ (CF コウモリ, FM コウモリ) のエコーロケーションを模倣した音声ファイルを作成することができる。試験に使用した超音波信号は、周波数約40kHz, パルス長20msec, 頻度約6Hzの長い間隔のパルスとパルス長20msec, 頻度25Hzの短い間隔のパルスを交互に発生させた(図2)。このパターンは、ヤガ類に対して効果が高く慣れの生じにくいとされるパターン(八尾2009)とは多少異なるが、アンプや発振素子の特性等を考慮して設計した。作成した音声ファイルは、パソコンから直接DAコンバーターを経由するか、もしくは音声ファイルをDVDディスクに書き込み、DVDオーディオプレーヤーで再生し、アンプで増幅して超音波発振素子を駆動した。

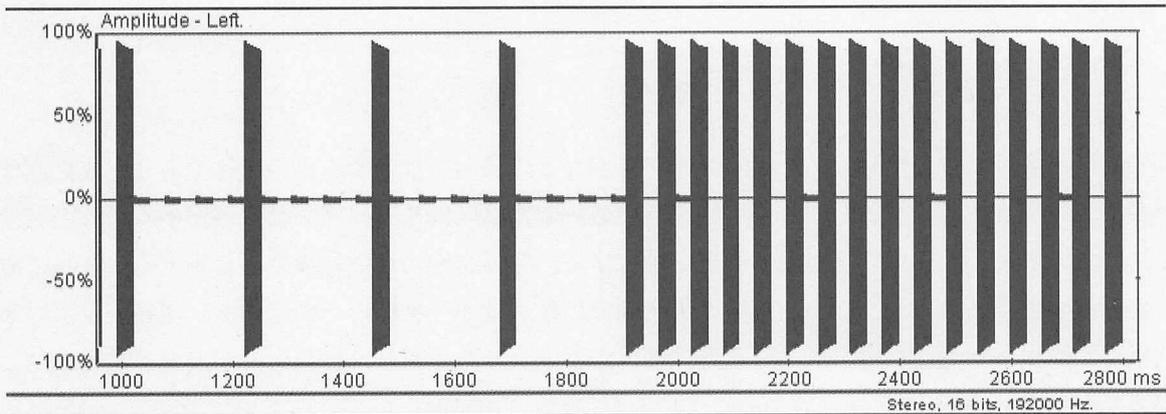


図2 プログラムで合成した超音波パルスパターンのオシログラム (BatSoundpro 使用)

超音波発振素子には、共振周波数40kHzのボルト締めランジュバン型発振子および共振周波数40kHzの磁歪フェライト型発振子を用いた。音波を拡散するためステンレス製ボールを振動板に使い、ランジュバン型発振素子は10mm径のボルトで、磁歪フェライト型発振素子はエポキシ系接着剤で接着し、圃場に設置したボールに固定するためのクランプを振動板側に取り付けた(図3)。

超音波信号を増幅して発振素子を駆動するアンプには、市販のオーディオ用プリアンプを用いた。増幅した信号をメカニカルリレーを用いた切り替え機により4チャンネルに切替え、1台のアンプで4基の発振素子を順次発振させた。

超音波の音圧測定には、計測用マイク Mi1531, プリアンプ MI-3140, マイクアンプ AU-2200 (以上小野測器)を用い、データをメモリーレコーダー FR-2 (フォスター電機)に記録し、Batsound 音声解析ソフトウェア (Pettersson)を用いて周波数、音圧等の解析を行った。なお、測定した音圧は未校正のため相対値である。



図3 圃場に設置した超音波発振素子

### 試験1 超音波が200㎡のモモ園に対するヤガ類飛来に及ぼす影響

研究所内に、互いに影響することを避けるため約400m離れた場所に200㎡(モモ樹6本)のモモ園を2カ所設置した。超音波区には園の外周の高さ2mの位置に超音波発振子を約3.5m間隔に16個設置し、4個を1グループとして順に切り替えて発振した。試験園のモモ樹の果実は全て収穫し、試験には別に購入したモモ果実(あかつき)を用いた。果実は1個ずつネットに入れて超音波区、対照区ともに200個をモモ樹に吊して試験に供した。午後5時頃にモモ果実を設置し、超音波区は午後7時から翌朝の午前5時まで超音波を発振した。1回の試験は2夜連続で実施し、2007年17月30日から9月17日までの間に10回試験を実施した。なお、7月30日および8月7日の試験はランジュバン型発振子を用い、7月9日以後の試験には磁歪フェライト発振子を用いた。ヤガ類の飛来調査は日没後の午後8時00分~30分に実施し、懐中電灯を用いて果樹園内の果実に飛来している個体数をヤガの種類別にカウントした。

2昼夜経過後にモモ果実を回収し、1果当たりのヤガ類による吸汁痕数および被害果率を調査した。なお、小型のヤガによる吸汁痕は外観を見ただけでは確認が難しいため、果実表面を指で押して吸汁痕から果汁がしみ出すことにより判別した。

### 試験2 超音波が800㎡のモモ園に対するヤガ類飛来に及ぼす影響

より広い800㎡の試験圃場を用い、圃場の周囲に磁歪フェライト型発信子を4.5m間隔で24基設置し、400果のモモ果実を吊し、2008年8月20日~29日の間に試験1と同様の試験を3回実施した。なお、対照区には試験2と同じ200㎡の圃場を用いた。

### 試験3 防蛾灯との比較

防蛾灯区は試験1の超音波区と同じ圃場に、高圧ナトリウムランプ(270W)の黄色防蛾灯を圃場の4隅の高さ5mに合計4機設置した。照度計を用いて園の周囲34カ所の水平面の照度を測定した。超音波区は、試験1と同じ設定とし、発信素子には磁歪フェライト型を用いた。モモ果実の設置は試験1と同様とし、防蛾灯区は2007年8月25日~27日に、超音波区は8月29日~31日に試験を行い、ヤガ類飛来数、モモ果実の被害痕数および被害果率を調査した。両区の比較は対照区との比率で行った。

## 結果および考察

### 試験1

対照区におけるヤガ類の飛来は全ての調査で見られ(総数428頭)、8月9日が最も多い一山型の消長であった(図4)。主要種はアケビコノハの205頭、次がヒメエグリバの123頭、アカエグリバの87頭であった。これら主要種は概ね全調査で見られたが、アケビコノハとアカエグリバは8月に多く見られ、ヒメエグリバは8月下旬~9月に多く見られた(図4)。

これに対して、超音波区の飛来数は対照区に比べ少なく、対照区に対する比率はランジュバン型発振子を用いた7月30日および8月7日は12.2~21.9、磁歪フェライト発振子を用いた8月9日以後は0~4.4に減少した(図5)。また、超音波区では対照区に飛来した3種ともに減少した。なお、ランジュバン型発振子と比較して磁歪フェライト発振子の飛来防止効果が高かったが、磁歪フェライト発振子の音圧がランジュバン型発振子に比較して10~15dB大きいことが理由と考えられる。

対照区の被害痕数は、ピーク時には1果当たり約10カ所であったのに対し、超音波区では1果当たり0.4カ所以下であった(図6)。被害果率を比較すると、対象区では飛来数がピーク時には被害果率が100%に達したのに対し、超音波区では最大26%であり、飛来数が少ない場合は数%以下まで減少した(図7)。また、

対照区と超音波区の被害果率を比較すると、対照区の被害果率が100%の場合には超音波区でも26%の被害果率であったが、対照区の被害果率が90%以下になると、超音波区の被害果率は大幅に減少し4%以下であった(図8)。このことから、あらかじめモモ園のヤガ類被害果率を調査することにより、超音波装置を設置した場合の効果を予測することが可能になるとと思われる。

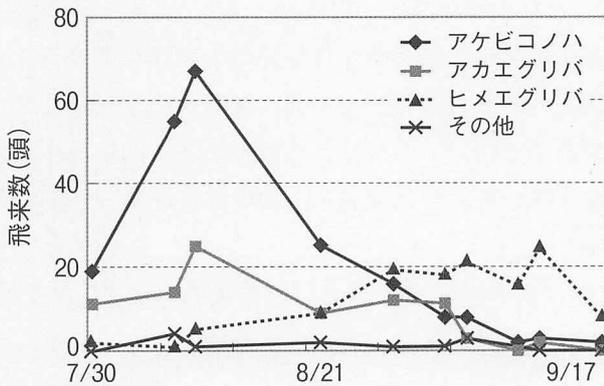


図4 対照区におけるヤガ飛来数(モモ果実200果)

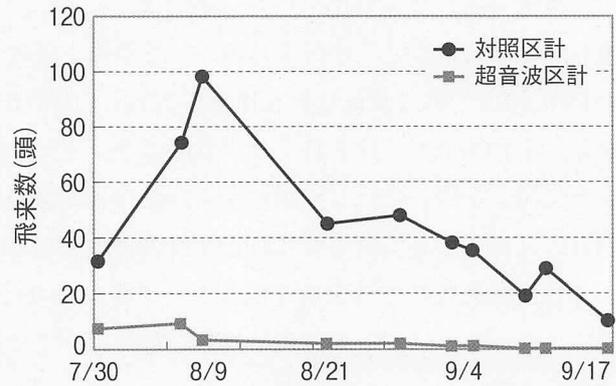


図5 超音波がモモ園へのヤガ飛来数に及ぼす影響(7/30, 8/7はランジュバン発振子, 8/9以後は磁歪フェライト発振子, モモ果実200果当たり)

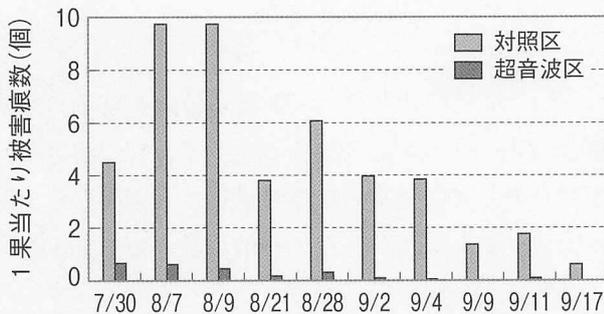


図6 超音波がモモ果実1果当たり被害痕数に及ぼす影響(200㎡, 7/30, 8/7はランジュバン発振子, 8/9以後は磁歪フェライト発振子)

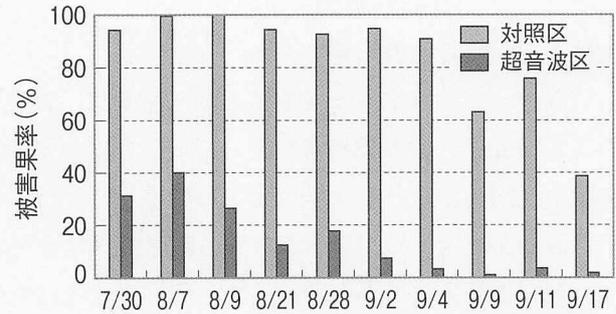


図7 超音波がモモ果実の被害果率に及ぼす影響(200㎡, 7/30, 8/7はランジュバン発振子, 8/9以後は磁歪フェライト発振子)

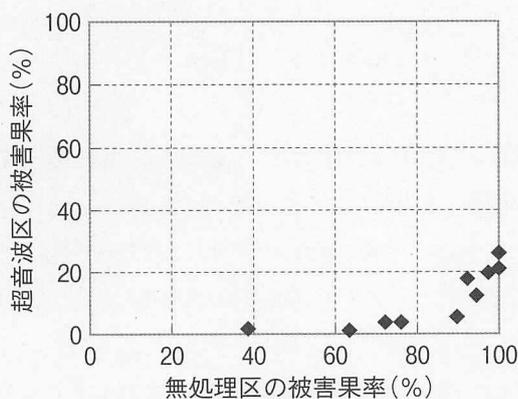


図8 超音波区と無処理区の被害果率の関係(200㎡)

## 試験2

800㎡の試験圃場を用いた試験では、ヤガ類飛来数は対照区に対する比率で2.0~7.7に減少した(図9)。なお、ヤガ飛来数が8/21に比べて8/26では大幅に減少しているが、8/21は晴天で調査時の気温が25.7℃であったのに対し、8/26は小雨で気温24.2℃とヤガ類の活動に不適な気象条件であったためと考えられる。超音波は雨や霧などの条件下では到達距離が可聴音に比べて大きく減少するため、忌避効果の低下が危惧されていたが、雨天時においても忌避効果があることが確認された。1果当たり被害痕数は、対照区が11.6カ所に対して超音波区では0.67カ所とな

り、対照区に比べて17分の1まで減少した(図10)。被害果率では対照区が100%のときに超音波区では33.9%であったが、対照区の被害果率が40%になると超音波区では10分の1の3.9%まで減少した(図11)。このことから、より広い面積の圃場においても超音波発振によってヤガ類の被害を防止する効果があることが確認された。なお、800㎡の試験では200㎡の試験に比べて効果がやや劣った。これは超音波発振子の設置間隔が200㎡区の3.5m間隔に対して4.5mと広くとったためと考えられる。

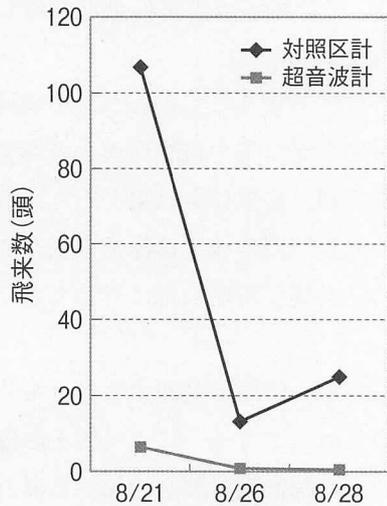


図9 超音波がモモ園へのヤガ飛来数に及ぼす影響(800㎡, モモ果実200果当たり)

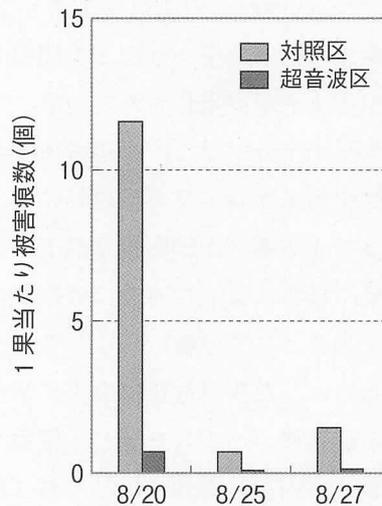


図10 超音波がモモ果実の被害痕数に及ぼす影響(800㎡)

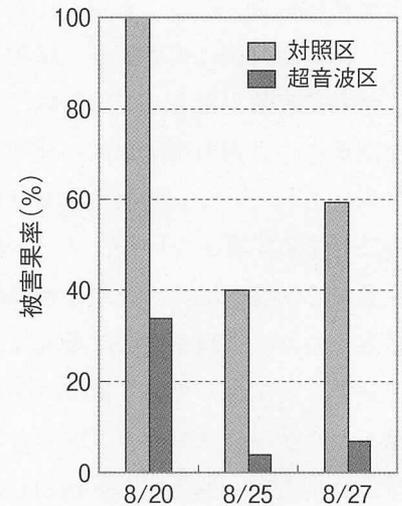


図11 超音波がモモ果実の被害果率に及ぼす影響(800㎡)

### 試験3

防蛾灯区の試験圃場の水平面の平均照度は29.2 lux, 最低でも17.4luxであった。1果当たり被害痕数は、防蛾灯区が対照区の9.2%, 超音波区は対照区の4.8%であり、被害果率は防蛾灯区が対照区の30%, 超音波区は対照区の19%であった(図12)。このことから、超音波区は、防蛾灯区に比べてヤガ類の被害防止効果が高いことが確認された。防ガ灯によるヤガ類の忌避は波長580nm前後の黄色光の効果が高く(野村ら1965, 1967), 黄色蛍光灯や黄色ランプを用いて圃全体を最低1ルクス以上の照度でカバーすれば良いとされている(内田, 1978)。しかし、ヤガ類密度の高い地域や小規模な果樹園では防蛾灯の効果が十分でないことが多い。防ガ灯は、夜行性昆虫は明るい条件下では複眼が明適応化して行動が抑制されるという習性を利用したものであるが、暗適応化した複眼が照明によって明適応化するには20~40分の時間が必要(野村ら1965, 1967)とされており、小規模の果樹園では果実の香気成分に誘引されて飛来したヤガ類が明適応化する間もなく樹幹内の暗部に侵入して加害するものと思われる。

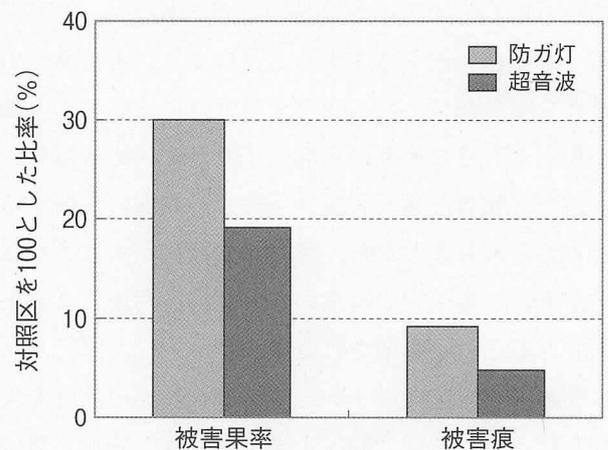


図12 防ガ灯と超音波の被害果率, 被害痕数の比較(無処理区を100とした値)

## 総 合 考 察

果実を加害するヤガ類は、アケビコノハ、アカエグリバ、ヒメエグリバ、オオエグリバ、ウスエグリバ、キマエコノハなどが知られている（森ら1989）。幼虫は雑木林等に自生するアケビ、アオツヅラフジなどのつる性植物を食草とし、成虫になると果樹園へ飛来して収穫直前の果実を加害する。幼虫期や成虫期のほとんどを果樹園以外で過ごすため、発生源をコントロールすることが極めて難しく薬剤防除も困難な、典型的な難防除害虫である（梅谷，1981）。また、収穫直前の果実を加害するため、出荷時に被害果の選別が難しく、市場出荷後に被害痕から腐敗して産地の信用を損なうなどの問題も発生する。

ヤガ被害防止策としては防蛾灯や防虫ネットが実用化されている。防蛾灯は広く普及しているが、小規模な園地やヤガ類の密度が高い地域では効果が十分でなく、周辺の住宅地に対する光の害や自然環境への影響も指摘されている。防虫ネットは被害防止効果が高くヤガ類以外にもカメムシ類、鳥獣にも効果があり、環境に対する影響もないが、ネットによって光透過率が50%程度低下するため、長期間の被覆は作物の生育や品質に悪影響がある。また、台風の強風や積雪によって容易に破損するため、必要な時期以外は外しておく必要があり、被覆や撤去に多大な労力を必要としている。

一方、食虫性コウモリはヤガ類をはじめとした夜行性昆虫を主に補食している。暗闇で飛翔するコウモリはエコロケーションサウンドと呼ばれる超音波のパルスを発し、獲物からの反射（エコー）によってその位置、移動方向、速度などを検知して捕食している。これに対し、ヤガ科の多くの種は超音波を感知する器官（鼓膜）をもっており、コウモリの発する超音波パルスを感知すると、飛行コースを変えたり急旋回、急降下あるいは落下するなどの逃避行動を示すことが知られている（Roeder 1962）。超音波に対するヤガ類の反応に関する研究（村上ら1980，上宮1991，1994）や、超音波を利用したヤガ類の忌避が試みられている（石井ら1980，森ら1994）が、実験室内あるいは屋外での小規模の試験にとどまっている。本研究では、屋外で使用可能な大出力の超音波実験機を開発し、200m<sup>2</sup>あるいは800m<sup>2</sup>という比較的広い面積のモモ園全体をカバーする超音波を発振することにより、果樹園へのヤガ類飛来数が減少し、果実の被害が大幅に軽減されることを明らかにした。また、防ガ灯に比べてヤガ類被害防止効果が優れることも確認した。防ガ灯は果樹園の周囲だけでなく園の内部にまでランプを設置し、果樹園全体を一定の照度でカバーする必要がある。これに対し、超音波発振装置は果樹園の周囲に設置するだけで効果があり、園の内部にまで設置する必要がないと考えられることから、果樹園の面積が大きくなるに従って単位面積当たりの設置台数が少なくなるメリットがある。本研究の結果から、超音波利用による果樹園におけるヤガ類の被害防止は十分実用化が可能な技術であることが証明された。

なお、本研究では1シーズンに複数回の試験を実施する必要性から、購入したモモ果実を樹に吊るして試験を行った。試験期間は1試験当たり2昼夜と短いことから、今後実際のモモ園において、果実の成熟期前から収穫終了までの試験も計画している。しかし、ヤガ類のモモ果実へ加害は熟度と密接な関係があり、収穫盛期の7～10日前から飛来が始まる（森ら，1994）ことから、収穫後に市場を経由した過熟果を用いた今回の試験よりも実際の果樹園では被害程度は少なくなると予想している。

現在、この技術の実用化に向けて（独）農業・生物系特定産業研究機構生物系特定産業技術支援センター、ニューデルタ工業㈱と共同で実用機を開発中であるが、実用化にはいくつかの課題が残されている。実験に用いた超音波発振子は空中での使用を想定していないため、長期間の使用における耐久性については引き続き検討が必要である。また、現状では防蛾灯と比較して価格が割高になると試算されており、普及のために

はコストダウンも必要である。

今後、この技術が実用化され広く普及することにより、ヤガ類被害のためモモ、ナシ、リンゴなどの栽培が困難であった中山間地域においても収益性の高い果樹の栽培が可能となり、地域農業の活性化に貢献するものと思われる。また、超音波によるヤガ類被害防止技術は化学農薬を使用しない技術であり、超音波は空気中では距離の二乗に反比例して減衰するため、周辺環境に対する影響が極めて少ないなど、メリットも多い。さらに、超音波に対して反応を示す昆虫はヨトウガ（渡辺ら、2010）などのヤガ科をはじめ、メイガ科（高梨ら、2007）さらにコオロギ科、キリギリス科、バッタ科、カマキリ目、ハエ目、甲虫目、カゲロウ目（Lee A.Miller, 2001）などでも確認されており、ヤガ類以外の害虫被害防止への応用も期待される。

## 摘 要

- 1 パソコンを用いて超音波音声ファイルを合成するソフトウェアを作成し、周波数約40kHzでパルス長20msec, パルス頻度25Hzのパルスとパルス長20msec, 頻度約6Hzのパルスを交互に発生する超音波ファイルを合成した。
- 2 合成した超音波ファイルを再生し、オーディオアンプで増幅してランジュバン型超音波発振子もしくは磁歪フェライト発振子を駆動する装置を開発した。
- 3 モモ園において超音波を発振することにより、ヤガ類の飛来数が20分の1から30分の1に減少した。
- 4 超音波発振によるモモ果実の被害痕数は20分の1程度、被害果率は4分の1から10分の1に減少した。
- 5 ヤガ類の飛来防止効果ならびに被害防止効果は防蛾灯に比べて超音波が優れた。

## 引 用 文 献

- K.D.Roeder. 1962. The behaviour of free flying moths in the presence of artificial ultrasonic pulses. *Anim. Behav.* 10 : 300-304.
- 野村健一ら. 1965. 電燈照明による吸蛾類の防除 第1報. *応動昆.* 9 (3) : 179-186
- 野村健一. 1967. 電燈照明による吸蛾類の防除 第3報 照明による飛来防止について. *応動昆.* 11(1) : 21-28
- 内田正人・福田博年・宇田川英夫. 1978. ナシを加害する果実吸蛾類の生態と防除に関する研究. *鳥取果試研報.* 8 : 1-29
- 梅谷献二. 1981. 難防除病害虫をめぐる諸問題. *植物防疫.* 35 : 239-245
- 森 介計ら. 1994. 果実吸蛾類の生態と防除法に関する研究. *愛媛県立果樹試験場*
- 松村澄子. 1988. コウモリの生活戦略序論. 東海大学出版会 : 56-57
- 森 介計ら. 1994. 果実吸蛾類の生態と防除法に関する研究. 指定試験第20号. *愛媛県立果樹試験場* : 94-96
- 森 介計・川村 満・川沢哲夫. 1989. 夜蛾百種. 全国農村教育協会
- 上宮健吉. 1994. 応力ひずみ計を用いた昆虫の飛翔行動量測定システム. *応動昆.* 38 (4) : 261-273
- 上宮健吉. 1991. 超音波パルスによる果実吸蛾類の防除の試み. *応動昆発表要旨*
- 石井賢二・岩淵喜久男・高橋次郎・武元清親. 1980. 超音波に対する果実吸蛾類の反応 第1報 ヒメエグリバの行動と飛来防止について. *応動昆発表要旨*
- Lee A.Miller.Annemarie Surkcke. 2001. *A.Biological Science.* 51. 7 : 570-581

高梨琢磨・中野 亮. 2007. 蛾類の聴覚情報戦略. バイオメカニズム学会誌. 31 (3) : 130-133

八尾有起. 2009. ヤガ類回避のための超音波パルスパターン解明に関する研究. 山口大理学部自然情報科学  
科卒論

渡辺雅夫・木村公宣. 2010. ヨトウガの超音波に対する反応特性. 日本動物学会中国四国支部発表要旨 :

# スダチと温州ミカンにおける果皮食害虫による被害程度の差異

兼田武典・中西友章

## Difference about injured degrees of pericarp by pest insects, between citrus sudachi and satsuma orange.

Takemichi Kaneda and Tomoaki Nakanishi

キーワード：スダチ，温州ミカン，カネタタキ，ヨモギエダシヤク，果皮食害

### I 緒 言

果樹栽培において，害虫による果皮の食害は直接的に生産物の商品価値を低下させ農家経営に損害をもたらす。カンキツ栽培においても例外ではない。徳島県特産のスダチ (*Citrus sudachi*) では温州ミカン (*Citrus unshiu* MARC.) に比べ果皮を虫に囓られたような食害 (写真1，以下，果皮食害) を受け易いことが生産現場において経験的に言われており，その主要加害種はシャクトリムシ，カネタタキとされている (徳島果試1996，徳島果研2002)。しかし，両種による被害をスダチと温州ミカンで比較し実証した報告は認められない。これらにおける実際の被害状況を把握することは，防除上の重要な基礎資料となると考えられる。



写真1 スダチの果皮食害

そこで，両品種に加え徳島県で独自に作出された栽培品種である3倍体の無核スダチ「徳島3X1号」(徳永ら2003) (以下3X1号) について，果皮食害の程度の差異を調査した結果，若干の知見が得られたので報告する。

### II 材料および方法

#### 1. 室内試験における各カンキツの果皮食害の確認

各カンキツの果皮を食害することを確認するために，通気孔のある蓋付きのプラスチック製の飼育容器 (底直径9 cm×高さ8 cm) に，薬剤を散布していない温州ミカン，スダチ，3X1号の同程度の大きさの未成熟果実 (表1) を1つずつ静置した。そこへカネタタキ (*Ornebius kanetataki*) の中齢幼虫あるいは成虫を合計で2頭ずつ入れ，5反復を設けた。同様にヨモギエダシヤク (*Ascotis selenaria*) の中齢幼虫を5頭ずつ入れ，5反復を設けた。これらの飼育容器を，25℃・明期16時間・暗期8時間条件に設定したインキュベーター内に入れ，7日後に食害有無を調査し，食害された果実と食害されていない果実について区間に差

があるかをクラスカル・ウォリス検定 ( $\alpha=0.05$ ) によって調べた。

## 2. 室内試験におけるカンキツ種類による果皮食害程度の差異

前述と同様な方法で行ったが、プラスチック製の飼育容器内にはカネタタキは中齢幼虫あるいは成虫を合計で6頭ずつ入れ、ヨモギエダシヤクは中齢幼虫を6匹ずつ入れ、それぞれ5反復を設けた。これらの飼育容器を、25℃・明期16時間・暗期8時間条件に設定したインキュベーター内に入れ、7日後に各果実の果皮食害程度を調査した。食害程度はA：果実全体が食害されているものまたは、穿孔食害のあるもの、B：果実の1/2～1/4が食害されているもの、C：果実の1/4以下が食害されているもの、D：果実に食害跡が散見されるもの、E：食害無しとの5段階に設定し、食害程度別の果実数について区間に差があるかをクラスカル・ウォリス検定 ( $\alpha=0.05$ ) によって調べた。

## 3. カンキツ種類による果皮食害程度の差異

### 1) 2008年

2008年6月19日に徳島県勝浦郡勝浦町沼江の果樹研究所内にある雑木林付近のイヌマキ垣前に、垣根より1m程度の間隔を持たせ垣根に沿うように、20L 黒色ビニルポット栽植の5年生の温州ミカンおよびスダチを交互に約30cm 間隔で1列に配置した。なお、温州ミカン、スダチともに5樹を供試した。概ね10日間隔で9月22日まで、全果実の果皮食害の有無と食害程度を調査し、調査日毎の食害された果実と食害されていない果実について区間に差があるかをマン・ホイットニーのU検定 ( $\alpha=0.05$ ) によって調べた。また、全調査期間の食害された果実と食害されていない果実について区間に差があるかを統計フリーソフト「R」のバージョン2.12.1を使用して2項分布を想定した一般化線形混合モデル (パッケージ名:lme4) によりポットと調査年月日を誤差項に指定し、果皮食害の有無はカンキツ種類で説明できるかという式立ての下で解析をした。加えて、食害程度別の果実数について区間に差があるかをマン・ホイットニーのU検定 ( $\alpha=0.05$ ) によって調べた。食害程度はII-2に準じた。一方で、食害度を算出することでカンキツの種類による果皮食害程度を把握した。なお、6月18日にミカンハダニの防除としてビフェナゼート水和剤1000倍を散布した。食害度は次式で算出した。

$$\text{式：食害度} = (7A + 5B + 3C + D) \div (7 \times \text{調査果数}) \times 100$$

### 2) 2009年

2009年7月23日に徳島県勝浦郡勝浦町沼江の果樹研究所内にある雑木林付近のイヌマキ垣前に、垣根より1m程度の間隔を持たせ垣根に沿うように、20L 黒色ビニルポット栽植の6年生の温州ミカン、スダチおよび3X1号を種類の重複がないよう約30cm 間隔で1列に5樹ずつ配置した。概ね20日間隔で9月3日まで、寄生する果皮食害虫と結実した果実の果皮食害の有無と食害程度を調査し、調査日毎の食害された果実と食害されていない果実について区間に差があるかをスティール・ドゥワス検定 ( $\alpha=0.05$ ) によって調べた。また、全調査期間の食害された果実と食害されていない果実について区間に差があるかを統計フリーソフト「R」のバージョン2.12.1を使用して2項分布を想定した一般化線形混合モデル (パッケージ名:lme4) によりポットと調査年月日をランダム項に指定し、果皮食害の有無はカンキツ種類で説明できるかという式立ての下で解析をした。加えて、食害程度別の果実数について区間に差があるかをスティール・ドゥワス検定 ( $\alpha=0.05$ ) によって調べた。食害程度はII-2に準じた。一方で、食害度を算出することでカンキツの種類による果皮食害程度を把握した。食害度の算出法はII-3-1) に準じた。

#### 4. スダチの慣行薬剤散布による果皮食害虫の密度抑制

2009年4月に12年生の360L 黒色プラスチックポット植栽のスダチについて、スダチの虫害防除で慣行使用される薬剤を散布した区（慣行区）と無処理区を設定し、それぞれ4樹ずつランダムに配置した。慣行薬剤散布体系区（以下、慣行区）では、平成21年度露地すだち栽培暦（徳島県農業技術普及連絡協議会2009）に準じて殺虫剤を（表1）に散布し、7月23日、8月14日、8月20日に寄生する果皮食害虫を調査した。一方で、8月20日から21日にかけて収穫した全果実について8月24日から26日にかけて果実の果皮食害の有無と食害程度を調査し、その結果について区間の差があるかをマン・ホイットニーのU検定( $\alpha=0.05$ )によって調べた。食害程度はII-2に準じた。

表1 慣行区における薬剤散布履歴

| 処理年月日     | 処理薬剤          | 希釈倍率 (倍) |
|-----------|---------------|----------|
| 2009/4/24 | イミダクロプリド水和剤   | 4,000    |
| 2009/5/18 | チアメトキサム水溶剤    | 2,000    |
| 2009/6/15 | クロルフェナピル水和剤   | 4,000    |
| 2009/7/7  | フェンプロパトリン乳剤   | 2,000    |
| 2009/7/23 | トルフェンピラドフロアブル | 2,000    |

### III 結 果

#### 1. 各カンキツの果皮食害の確認

代表的な果皮食害虫であるカネタタキおよびヨモギエダシャクの両種とも、温州ミカン、スダチおよび3X1号のそれぞれのカンキツにおいて、果皮食害を確認し、その有無については有意な差は認められなかった（表2）。

表2 害虫種とカンキツ品種による果皮食害の有無

| 害虫種      | カンキツ品種 | 果数   |      | クラスカル・ウォリス検定 <sup>1)</sup><br>( $\alpha=0.05$ ) |
|----------|--------|------|------|---|
|          |        | 食害あり | 食害なし |   |
| カネタタキ    | 温州ミカン  | 5    | 0    | N.S.  |
|          | スダチ    | 5    | 0    |   |
|          | 3x1号   | 5    | 0    |   |
| ヨモギエダシャク | 温州ミカン  | 5    | 0    | N.S.  |
|          | スダチ    | 5    | 0    |   |
|          | 3x1号   | 4    | 1    |   |

1) N.S.はカンキツ品種によって果実の食害の有無に有意な差が認められないことを示す。

#### 2. 室内試験におけるカンキツ品種による果皮食害程度の差異

カネタタキとヨモギエダシャクは供試したカンキツ種類による有意な果皮食害程度の差異は認められなかったが、両種とも温州ミカンに対する食害がスダチ、3X1号に比べて少ない傾向が見られた（表3）。

表3 害虫種とカンキツ品種による果皮食害の有無

| 害虫種      | カンキツ品種 | 果皮食害程度別果数 |   |   |   |   | クラスカル・ウォリス検定 <sup>1)</sup><br>( $\alpha=0.05$ ) |
|----------|--------|-----------|---|---|---|---|---|
|          |        | E         | D | C | B | A |   |
| カネタタキ    | 温州ミカン  | 0         | 2 | 1 | 0 | 2 | N.S.  |
|          | スダチ    | 0         | 1 | 0 | 0 | 4 |   |
|          | 3x1号   | 0         | 0 | 0 | 1 | 4 |   |
| ヨモギエダシャク | 温州ミカン  | 1         | 1 | 0 | 0 | 3 | N.S.  |
|          | スダチ    | 0         | 0 | 0 | 1 | 4 |   |
|          | 3x1号   | 1         | 0 | 0 | 0 | 4 |   |

1) N.S.はカンキツ品種による被害果実数に差が認められないことを示す。

### 3. カンキツ品種による果皮食害程度の差異

#### 1) 2008年

果皮食害程度（食害度）についてはスダチでは重度であり，温州ミカンでは軽い傾向が認められた。このことは7月10日以降有意な差として現れた（図1，表4）。調査日による果皮食害の有無（食害果率）については有意な差がある時点と無い時点（表5）が認められ，調査期間全体を通じた果皮食害の有無については有意な差は認められなかったが，全体として温州ミカンの方がスダチより食害されにくい傾向が認められた。

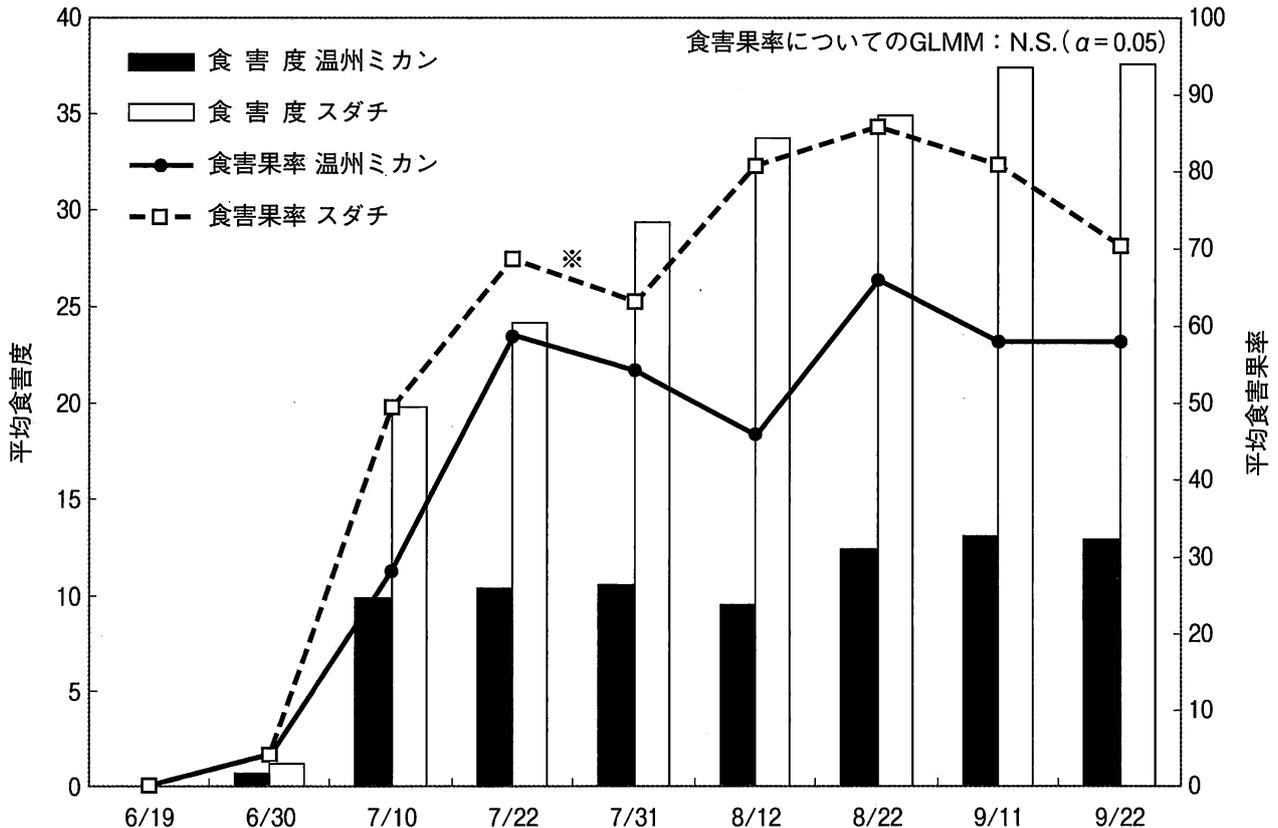


図1 2008年におけるカンキツ種類による食害度と食害率の推移  
 ※被害果率の低下は生理落果による。

表4 2008年における調査時点での温州ミカンとスダチにおける果皮食害程度の差異

| 調査年月日     | カンキツ品種 | 5樹あたりの果皮食害程度別果実数 |    |    |    |    | マン・ホイットニーのU検定<br>( $\alpha=0.05$ ) |
|-----------|--------|------------------|----|----|----|----|------------------------------------|
|           |        | E                | D  | C  | B  | A  |                                    |
| 2008/6/19 | 温州ミカン  | 58               | 0  | 0  | 0  | 0  | N.S. <sup>1)</sup>                 |
|           | スダチ    | 114              | 0  | 0  | 0  | 0  |                                    |
| 2008/6/30 | 温州ミカン  | 44               | 2  | 0  | 0  | 0  | N.S.                               |
|           | スダチ    | 95               | 2  | 2  | 0  | 0  |                                    |
| 2008/7/10 | 温州ミカン  | 31               | 8  | 1  | 1  | 2  | p<0.05                             |
|           | スダチ    | 48               | 25 | 8  | 5  | 8  |                                    |
| 2008/7/22 | 温州ミカン  | 17               | 23 | 0  | 0  | 1  | p<0.05                             |
|           | スダチ    | 26               | 32 | 14 | 8  | 4  |                                    |
| 2008/7/31 | 温州ミカン  | 18               | 19 | 1  | 0  | 1  | p<0.05                             |
|           | スダチ    | 33               | 23 | 11 | 11 | 10 |                                    |
| 2008/8/12 | 温州ミカン  | 21               | 16 | 1  | 0  | 1  | p<0.001                            |
|           | スダチ    | 17               | 37 | 13 | 10 | 12 |                                    |
| 2008/8/22 | 温州ミカン  | 13               | 23 | 1  | 0  | 1  | p<0.001                            |
|           | スダチ    | 13               | 43 | 16 | 12 | 12 |                                    |
| 2008/9/11 | 温州ミカン  | 15               | 17 | 3  | 0  | 1  | p<0.001                            |
|           | スダチ    | 15               | 27 | 11 | 13 | 11 |                                    |
| 2008/9/22 | 温州ミカン  | 13               | 15 | 2  | 0  | 1  | p<0.01                             |
|           | スダチ    | 22               | 12 | 18 | 10 | 11 |                                    |

1) N.S.はカンキツの品種による果皮食害程度に有意な差が認められないことを示す。

表5 2008年における調査時点での温州ミカンとスダチにおける果皮食害のありなし

| 調査年月日     | カンキツ品種 | 5樹あたり果皮食害果実数 |    | マン・ホイットニーのU検定<br>( $\alpha=0.05$ ) |
|-----------|--------|--------------|----|------------------------------------|
|           |        | なし           | あり |                                    |
| 2008/6/19 | 温州ミカン  | 58           | 0  | —                                  |
|           | スダチ    | 114          | 0  |                                    |
| 2008/6/30 | 温州ミカン  | 44           | 2  | N.S. <sup>1)</sup>                 |
|           | スダチ    | 95           | 4  |                                    |
| 2008/7/10 | 温州ミカン  | 31           | 12 | p<0.05                             |
|           | スダチ    | 48           | 46 |                                    |
| 2008/7/22 | 温州ミカン  | 17           | 24 | N.S.                               |
|           | スダチ    | 26           | 58 |                                    |
| 2008/7/31 | 温州ミカン  | 18           | 21 | N.S.                               |
|           | スダチ    | 33           | 55 |                                    |
| 2008/8/12 | 温州ミカン  | 21           | 18 | p<0.001                            |
|           | スダチ    | 17           | 72 |                                    |
| 2008/8/22 | 温州ミカン  | 13           | 25 | p<0.01                             |
|           | スダチ    | 13           | 83 |                                    |
| 2008/9/11 | 温州ミカン  | 15           | 21 | p<0.05                             |
|           | スダチ    | 15           | 62 |                                    |
| 2008/9/22 | 温州ミカン  | 13           | 18 | N.S.                               |
|           | スダチ    | 22           | 51 |                                    |

1) N.S.はカンキツの品種による果皮食害果率に有意な差が認められないことを示す。

2) 2009年

食害度については、調査期間を通じて温州ミカンおよび3X1号はスダチと比較して軽く、有意な差も認められ、果皮食害の有無についても、温州ミカンおよび3X1号はスダチと比較して少なく、各調査時点で有意な差も認められた(図2, 表6)。また、調査期間全体を通じた果皮食害の有無については2項分布を想定した一般化線形混合モデル(GLMM)による解析(ポットと調査年月日をランダム項に指定し、果皮食害の有無はカンキツ種類で説明できるかという式立てをした)の結果、温州ミカンとスダチ間、スダチと3X1号間に有意な差が認められた。また、果皮食害虫については、各品種とも寄生が見られたが、温州ミカン、3X1号ではカネタタキが主であったが、スダチではカネタタキ、ヨモギエダシャクに加えハマキムシ類やミノガ類も見られた。時期的には寄生は7月下旬ではスダチに多く認められたが、8月中旬、9月上旬では品種間の寄生の差は判然としなかった(表7)。

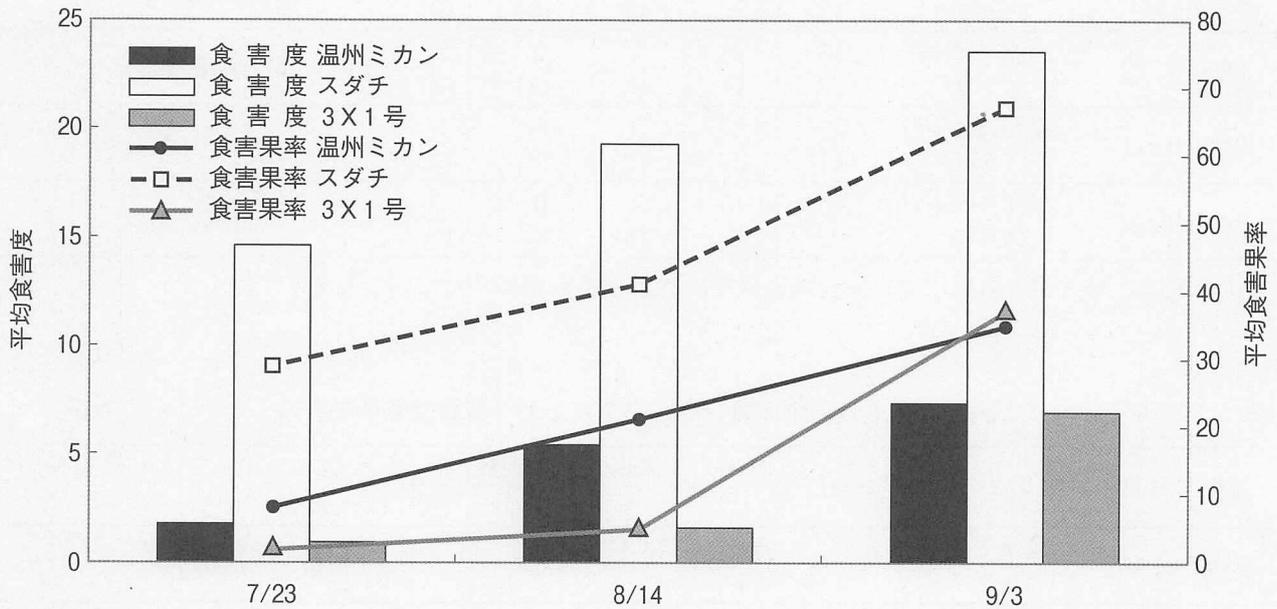


図2 2009年におけるカンキツ品種による食害度と食害率の推移

表6 2009年の調査時点でのカンキツ品種による果皮食害果の有無と果皮食害程度別果数

| 調査月年日     | カンキツ品種 | 5樹あたりの果皮食害果数 |    | 5樹あたりの果皮食害程度別果数 |    |    |    |   | ステイール・ドゥワース検定 ( $\alpha=0.05$ ) <sup>1)</sup> |           |
|-----------|--------|--------------|----|-----------------|----|----|----|---|---|-----------|
|           |        | なし           | あり | E               | D  | C  | B  | A | 5樹あたりの果皮食害果数                                  | 果皮食害程度別果数 |
| 2009/7/23 | 温州ミカン  | 50           | 3  | 50              | 2  | 1  | 0  | 0 | a   | a         |
|           | スダチ    | 85           | 31 | 85              | 12 | 9  | 4  | 6 | b   | b         |
|           | 3x1号   | 121          | 2  | 121             | 1  | 0  | 0  | 1 | a   | a         |
| 2009/8/14 | 温州ミカン  | 42           | 10 | 42              | 7  | 2  | 1  | 0 | a   | a         |
|           | スダチ    | 64           | 47 | 64              | 22 | 13 | 6  | 6 | b   | b         |
|           | 3x1号   | 103          | 6  | 103             | 4  | 1  | 1  | 0 | c   | a         |
| 2009/9/3  | 温州ミカン  | 34           | 15 | 34              | 12 | 2  | 1  | 0 | a   | a         |
|           | スダチ    | 25           | 86 | 25              | 46 | 23 | 13 | 4 | b   | b         |
|           | 3x1号   | 65           | 39 | 65              | 35 | 2  | 2  | 0 | a   | a         |

1) 異なるアルファベットの区間において有意差が認められる。

表7 2009年における調査時点での果皮食害虫種

| 調査月日 | カンキツ品種 | 5樹あたりの寄生虫数 |          |                   |
|------|--------|------------|----------|-------------------|
|      |        | カネタタキ      | ヨモギエダシャク | その他 <sup>1)</sup> |
| 7/23 | 温州ミカン  | 0          | 0        | 1                 |
|      | スダチ    | 2          | 1        | 3                 |
|      | 3x1号   | 0          | 0        | 1                 |
| 8/14 | 温州ミカン  | 1          | 0        | 0                 |
|      | スダチ    | 0          | 0        | 0                 |
|      | 3x1号   | 0          | 0        | 0                 |
| 9/3  | 温州ミカン  | 4          | 0        | 0                 |
|      | スダチ    | 2          | 1        | 1                 |
|      | 3x1号   | 3          | 0        | 0                 |

1) ハマキムシおよびミノガ

## 4. スダチの慣行薬剤散布による果皮食害虫の密度抑制

慣行区は無処理区と比較して、食害程度は有意に軽く、食害率も有意に低かった(表8)。また、果皮食害虫の寄生調査ではヨモギエダシャクについては両区とも数も少なかったが、カネタタキやハマキムシ類、ミノガ類は慣行区が無処理区に比べ少ない傾向が認められた(表9)。

表8 慣行区と無処理区における果皮食害程度

| 区   | 4樹あたりの調査果数 |        | 4樹あたりの果皮食害程度別果数 |     |     |     |    | マン・ホイットニーのU検定( $\alpha=0.05$ ) |           |
|-----|------------|--------|-----------------|-----|-----|-----|----|--------------------------------|-----------|
|     | 果皮食害なし     | 果皮食害あり | E               | D   | C   | B   | A  | 食害の有無                          | 果皮食害程度別果数 |
| 慣行  | 2352       | 77     | 2352            | 13  | 37  | 21  | 6  | p<0.001                        | p<0.001   |
| 無処理 | 814        | 1755   | 814             | 828 | 590 | 251 | 86 |                                |           |

表9 調査樹に寄生した果皮食害虫の種類と数

| 調査年月日     | 区   | 4樹あたりの寄生種数 |          |                   |
|-----------|-----|------------|----------|-------------------|
|           |     | カネタタキ      | ヨモギエダシャク | その他 <sup>1)</sup> |
| 2009/7/23 | 慣行  | 0          | 1        | 0                 |
| 2009/8/14 |     | 0          | 1        | 0                 |
| 2009/8/20 |     | 1          | 0        | 0                 |
| 2009/7/23 | 無処理 | 0          | 0        | 4                 |
| 2009/8/14 |     | 1          | 0        | 2                 |
| 2009/8/20 |     | 8          | 2        | 5                 |

1) ハマキムシおよびミノガ

#### IV 考 察

スダチにおいては濃い緑色の未熟果実が商品体であり、果実表面のコルク化した食害痕は目立つため、出荷上の大きな問題となる（佐金1999）。

カンキツ類の果皮を加害する害虫のうち、果皮を嚙る虫としてチョウ目のヨモギエダシャク、ミノガ、ハマキムシ類、バッタ目のカネタタキ、アオマツムシ、軟体動物類のマイマイ、ナメクジが知られている。このうちカネタタキでは、カンキツ栽培の防風垣に利用されるイヌマキ (*Podocarpus acrophyllus*) などにも多く見られ、カンキツ園周辺の防風林や雑木林からの侵入が多いと推察している（加藤1990）。本研究内では、イヌマキ、ビワ、ヤマモモ、ツゲなどに多く見られ、これらが主な発生源と思われる。また、ヨモギエダシャクの寄主範囲はカンキツ類のほか、リンゴ、チャ、マメ類など非常に広く（氏家1992）カンキツ園の周囲にも普通に生息していると考えられる。また、過去の調査等においてもカネタタキ、ヨモギエダシャクが、カンキツにおける主要な果皮食害虫として考えられ、スダチにおいてもこれらの種は主要加害種とされている（徳島果試1996、徳島果研2002）。

スダチは温州ミカンと比べて果皮食害を受けやすいと経験的に言われてきた。これを実証するために、まず、食害を確認するために、主要な果皮食害虫とされるカネタタキとヨモギエダシャクを用いて室内において、温州ミカンとスダチおよび3X1号への果皮食害の有無を調査したところ、各カンキツ種類への果皮食害が認められ、同様にして食害の程度を調査したところ、温州ミカンとスダチの食害程度の差は判然としなかったが、温州ミカンはスダチおよび3Xと比較して食害程度が軽いような傾向は認められた。

野外において果皮食害虫による加害の差の傾向をさらに追求すべく、2008年に温州ミカンとスダチのポット苗を果皮食害が期待できる場所へ設置し、それぞれの果実における食害程度と食害率を調査した。結果、食害程度は温州ミカンではスダチと比較して有意に軽い場合が多かった。また、食害率についても温州ミカンは有意に低い場合が認められた。翌年3X1号を追加し、同様の試験を寄生虫数調査も加え実施したところ、食害程度は試験期間を通して温州ミカンおよび3X1号はスダチと比較して有意に軽く、食害率も有意に低かった。また、各品種とも果皮食害虫が見られたが、7月にはスダチは他品種に比べ寄生虫数が多く見られ、被害も多かったことからスダチは他品種に比べて早くから果皮食害虫に加害されると考えられる。なお、寄生調査では虫種については温州ミカン、3X1号はカネタタキが主で、スダチではこれに加えヨモギエダシャク、ハマキムシ類、ミノガ類も見られていることから、スダチはカネタタキ、ヨモギエダシャク以外のハマキムシ類、ミノガ類などに食害を受けやすいのかもしれないが、これらの虫種についてはより詳しい調査が必要と思われる。

これらのことから、温州ミカンはスダチよりも果皮食害されにくいという経験則が試験的に再現され、経験則を実証する結果となった。

これが、スダチが果皮食害虫に対して食害を誘発する物質や形状を持つためなのか、あるいは温州ミカンや3X1号が食害を忌避する何かを持つのかは不明であるが、その解明には果皮成分の分析、比較などのより詳しい調査が必要と思われる。

防除については、主要な果皮食害虫と考えられるカネタタキとヨモギエダシャクにおいては、登録されている殺虫剤は少ない。ヨモギエダシャクに対してはフェンプロパトリン、クロルフェナピルフロアブルが農薬の適用害虫として登録されており、慣行の薬剤防除体系では6月中旬と7月上旬に使用されていることから、防除効果は期待できる（中西ら2002）ものの、カネタタキには登録のある薬剤は慣行の防除体系では使

用されていない。いずれにせよ慣行の薬剤散布体系が果皮食害虫の被害をどの程度抑えているかどうかはこれまで不明であることから慣行薬剤の被害抑制効果について調査した。結果、慣行薬剤散布によって、果皮食害の程度および食害果率がともに低レベルに抑制できた。

加藤(1990)はカネタタキの薬剤防除の適期を7月下旬から8月上旬とし、高橋(1980)は静岡県掛川市ではヨモギエダシヤクは3回発生し、第1世代の防除適期は6月上中旬としている。これに対し慣行区では6月中旬にクロルフエナピルスロアブル、7月上旬にフェンプロパトリン乳剤、7月下旬にトルフェンピラドフロアブルが散布されている。ヨモギエダシヤクの防除適期の6月中旬に防除効果が期待できるクロルフエナピルスロアブルが散布されている。カネタタキの防除適期の7月下旬にトルフェンピラドフロアブルが散布されている。寄生虫数調査ではヨモギエダシヤクの数は慣行区、無処理区ともに少ないことから、その効果は判然としないが、カネタタキについては無処理区に比べ慣行区では少なく、ハマキムシ類やミノガ類についても無処理区に比べ慣行区では少なくことから、これらには効果があったと判断される。

また、無処理区では7割近い果実が果皮食害を受けることがわかり、慣行の薬剤防除の重要性が示された。

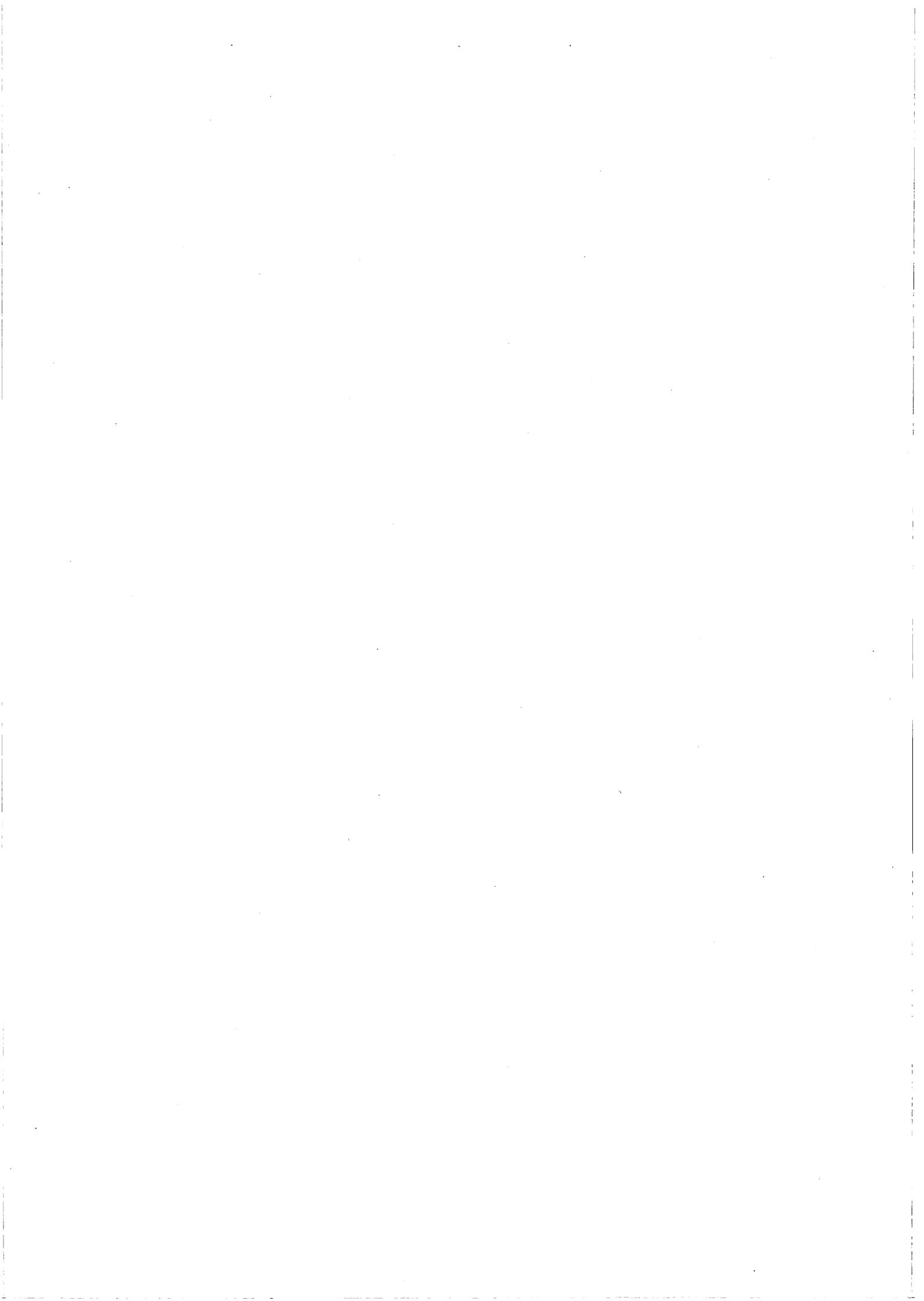
以上より、スダチは温州ミカンや3X1号と比較して果皮食害を受けやすくその程度も重い。また、慣行薬剤散布で果皮食害虫を有効に密度抑制できると考えられる。

## V 摘 要

スダチと温州ミカンおよび3X1号についてカンキツの果皮食害虫であるカネタタキとヨモギエダシヤクによる果皮食害状況を調査した結果、3品種とも果皮食害が認められたが、スダチは温州ミカンや3X1号よりも果皮が食害され易く、また、その程度も重かった。なお、スダチにおいて慣行薬剤防除による果皮食害虫の密度抑制効果を調査した。慣行の薬剤散布によってこれら果皮食害虫の密度を低く抑え、食害の程度も軽減できた。

## VI 引 用 文 献

- 加藤 勉. 1990. カネタタキ. 原色図鑑 土壌害虫(第2版) 気賀澤和男編. 全国農村教育協会. 東京: 18-21.
- 中西友章・貞野光弘・河野由希. 2002. スダチの果面食害虫による被害の発生と簡易スプリンクラーによる防除. 徳島果研報 2: 13-21.
- 高橋浅夫. 1980. 茶園で多発しているヨモギエダシヤクの生態と防除. 植物防疫. 34: 263-267.
- 徳永忠士・新居美香・津村哲宏・山尾正実. 2003. 3倍体無核スダチ新品種‘徳島3X1号’について. 徳島果研報. 2: 1-5.
- 徳島県果樹試験場. 1996. 平成5年度果樹試験成績書. 徳島県果樹試験場: 145-146.
- 徳島県農業技術普及連絡協議会. 2009. 平成21年度露地すだち栽培暦. 1.
- 徳島県立農林水産総合技術センター果樹研究所. 2002. スダチにおける果面食害虫の被害と防除対策. 徳果研実用化レポート No. 7: 1-2.
- 佐金信治. 1999. スダチの貯蔵に関する研究. 徳島果試特報. 6: 57-58.
- 氏家 武. 1992. ひと目でわかる果樹の病虫害 第一巻(初版) 是永龍二・小泉銘册・牛山欽司・古橋嘉一編. 社団法人日本植物防疫協会. 東京: 64.



## ナシ萎縮病発生に関する土壌肥料的要因調査

森 聡<sup>1)</sup>・福田雅仁<sup>1)</sup>・松家義克<sup>2)</sup>

### Investigation of the Infection Factors of Japanese Pear Stunt by Soil Diagnosis

Satoshi Mori, Masahito Fukuta and Yoshikatsu Matsuka

#### 要 旨

近年増加しているナシ萎縮病について、土壌肥料面から発生に関与する要因を明らかにするために、萎縮病発生の著しいA園および発生がわずかのC園を含む‘幸水’園6園の土壌理化学性、樹体栄養および土壌水分・地下水位について比較調査した。C園は有効土層、根域が最も深かった(80cm)が、A園は有効土層、根域が最も浅かった(30cm)。全園において、中・下層土壌のpH、塩基含量が高く、根の障害が懸念された。A園は、この傾向が最も顕著であった。これはA園に塩基成分の下方への移動を遮る粘土質の不透水層が中・下層にあり、その不透水層が最も浅いためであると考えられた。また、A園は葉中窒素含量が他の園に比べて少なかった。これは、A園は有効土層が浅く、根域が浅いため、養分吸収量が少ないことによると考えられた。C園は土壌水分の変動が少なく、適湿の期間が長かった。一方、他の園は土壌水分の変動が大きく、また過湿の期間が長かった。以上より、ナシ萎縮病の発生は、有効土層が浅く根域が限られていること、土壌の乾湿変動が大きいこと、土壌の透水性が不良で塩類集積が起りやすいことによるナシ樹の樹勢低下と関係があると考えられた。

キーワード：ナシ、ナシ萎縮病、有効土層、根域、土壌水分

#### Abstract

In order to clarify the infection factors of Japanese pear stunt which has increased in recent years, the comparison investigation of six ‘Kosui’ gardens including remarkable diseased garden A and rarely diseased garden C by soil diagnosis was done. Effective soil layer and rooting zone of garden C were the most deep (80 cm), however effective soil layer and rooting zone of garden A were the most shallow (30cm). In all gardens, soil pH, content of base and electric conductivity of the medium and lower soil layer were high, so the damage of the root was feared. Garden A was the most remarkable trend in all gardens. In garden A, impermeable clay layer which blocked the downward movement of the base was located in the medium and lower soil layer, and this clay layer located in the shallowest in all gardens. This impermeable soil layer in garden A might be

1) 徳島県立農林水産総合技術支援センター果樹研究所

2) 徳島県立農林水産総合技術支援センター高度専門技術支援担当

本研究は、「根の研究」(20巻, 3号, p115-123)に公表済である。

responsible for the remarkable trend. In addition, nitrogen content of the tree leaves in garden A was less than the other gardens. The low nutrient uptake of the tree in garden A might be due to the shallow effective soil layer and the shallow rooting zone. The soil moisture in garden C showed less fluctuation, and garden C kept appropriate soil moisture in long duration. The soil moisture in other gardens showed more fluctuation, and these gardens were under excess soil moisture condition in longer periods.

It was suggested that the occurrence of the disease of pear trees could be related to the damaged tree vigor caused by the shallow effective soil layer, the shallow rooting zone, the large fluctuation of wet and dry soil, and the base accumulation in the impermeable soil layer.

**Keywords :** japanese pear, japanese pear stunt, effective soil layer, rooting zone, soil moisture

本研究の一部は平成17年度園芸学会中四国支部大会において発表した。

## 緒 言

近年、徳島県のナシ産地においてナシ萎縮病が増加し問題となっている。平成13年度に徳島普及センター鳴門藍住営農室（現鳴門藍住農業支援センター）が実施したアンケート調査によると、多くの生産者が萎縮病を重要病害と考えており、対策を要望している。平成16年度に徳島県果樹研究所と徳島普及センター鳴門藍住営農室が共同実施した現地調査結果では、本病は県下のナシ産地全域に発生し、中には発病樹が栽植樹の半数以上を占める多発園のあること等が明らかとなった。

本病の病徴は春季の発芽遅延、葉や花の奇形、黒変などである（写真1、写真2）。重症になると、主枝が枯死し、甚だしい場合には樹全体が枯死するため経済的被害が大きい。発生は老齢樹に多く、発生部は主枝の分岐部を中心に主枝や主幹に多い。本病には木材腐朽菌の関与が指摘されており、これらの症状は枝幹内部の材部腐朽（写真3）に起因すると考えられる。本病の病原糸状菌は *Fomitiporia* sp. であることが明らかにされた（塩田ら、2010、金子ら2011）が、発生生態や防除対策は未だ明らかになっていない。

本研究は、ナシ萎縮病の発生に、ナシ樹の樹勢低下が関係していると推測し、樹勢低下の原因を土壌肥料面から検討したものである。



写真1 ナシ萎縮病発病樹における発芽の遅延

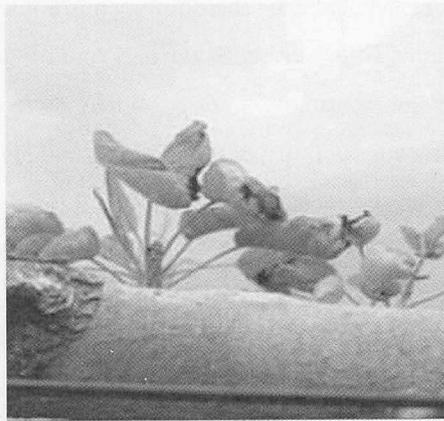


写真2 ナシ萎縮病発病樹における葉の黒変



写真3 ナシ萎縮病被害樹の木質部腐朽

## 材料および方法

徳島県のナシ栽培は鳴門市、板野郡松茂町、藍住町など徳島平野東部の水田転換園が主体となっている。このうち、ナシ萎縮病被害の最も多い松茂町を調査対象とし、同町内の‘幸水’栽培園6園（いずれも樹齢約30年）を選定した（第1表）。A園は6園中最も萎縮病の発病程度が著しく、C園は最も発病程度が低く、健全に近い状態であった。各園ごとに発病程度別に代表的な樹を4樹選定し、調査樹とした。なお、栽培管理状況は各園ともほぼ同様で、年間施肥基準は10a当たり窒素30kg、リン酸18kg、カリ24kgであり、土壌分析に基づき石灰質資材を投入している。また、有機質資材の投入はほとんどなく、清耕栽培である。

2002年から2005年にかけて、土壌理化学性、樹体栄養および土壌水分・地下水位を調査した。

試坑調査は、2004年の果実収穫終了後の冬季に、各園の調査樹近傍2カ所で実施した。試坑はパワーショベルを用いて行った。土壌断面構造、根群分布を調査するとともに、土壌硬度、三相分布および透水性については常法（土壌環境分析法, 1997）、土性については常法（新版図解土壌検定と肥料試験, 1973）により調査・分析した。

土壌化学性は、2002年あるいは2003年6月に各園調査樹近傍（樹冠より約1m内側）より採取した土壌（上層0～25cm、中層25～50cm、下層50～80cm）を常法（土壌養分分析法, 1997）により分析した。

樹体栄養は、各園の調査樹について生育中庸の不着果短果枝葉を2003年7月に1樹ごとに30枚採取し、常法（栄養診断のための栽培植物分析測定法, 1975）により分析した。

土壌水分は、各園の調査樹それぞれの近傍（樹冠より約1m内側）にテンシオメーターを設置し、毎年6月から10月にかけて地表下20cmのpFを測定した。地下水位は、各園の調査樹それぞれ近傍（テンシオメーターから約30cm離れた）の地表下80cmまで塩ビ管（内径10cm、長さ90cm）を埋め込み、土壌水分同様に、毎年6月から10月にかけて調査した。なお、各園とも灌水は実施しなかった。

第1表 調査園のナシ萎縮病発生状況および調査樹（樹齢約30年）

| 園名 | 総発生樹率<br>% | 重症樹率<br>% | 中症樹率<br>% | 軽症樹率<br>% | 調査樹                 |
|----|------------|-----------|-----------|-----------|---------------------|
| A  | 67.7       | 4.6       | 20.0      | 43.1      | 軽症樹2樹, 重症樹2樹        |
| B  | 35.5       | 3.8       | 12.9      | 18.8      | 軽症樹2樹, 重症樹2樹        |
| C  | 5.9        | 0         | 0         | 5.9       | 無症樹2樹, 軽症樹2樹        |
| D  | 29.3       | 3.4       | 5.2       | 20.7      | 軽症樹2樹, 重症樹2樹        |
| E  | 25.7       | 2.4       | 9.3       | 14.0      | 無症樹1樹, 軽症樹1樹, 中症樹2樹 |
| F  | 23.6       | 0.8       | 10.2      | 12.6      | 無症樹1樹, 軽症樹1樹, 中症樹2樹 |

萎縮病発生調査 2003年4月

軽症：1主枝に軽い症状, 中症：1主枝に激しい症状または2主枝以上に軽い症状,

重症：2主枝以上に激しい症状

軽い症状は、春季に葉の黒変などが観察されるが、その後生育はほぼ回復する。

激しい症状は、春季の症状がその後も回復せず、衰弱、枯死する。

## 結果および考察

### 1. 試坑調査および土壌物理性

試坑調査の結果を第1図に示した。萎縮病発病樹率の最も高いA園は、有効土層および根群分布が最も浅く、約30cmであった。発病樹率の最も低いC園は有効土層および根群分布が最も深く、約80cmに達していた。発病樹率が中庸のB園、D園、E園およびF園の根群分布はA園より深く、C園より浅かった。また、C園は他園に比べて土壌中の砂の割合が高かった。このため、透水性が優れたと考えられた。

各園とも中層あるいは下層に粘土質の不透水層が観察された。この不透水層はA園で最も浅く、C園で最も深かった。また、A園は還元層が最も浅かった。

これらのことから、A園では他園に比べて有効土層および根群分布の浅いことが樹勢を低下させたと考えられた。

ナシ園の土壌硬度と根の伸長について、土壌硬度計示度20mm以下ではよく伸長するが、20mmを超えると伸長が抑制されはじめ、25mm以上ではほとんど伸長はみられないことが報告されている(浦木松寿, 1983)。本調査において土壌硬度は、B園、D園およびF園の中・下層でわずかに20mmを超えているが、根の伸長には問題はないものと考えられた。

三相分布については、全園で固相率が高く、気相率が極めて低かった。これは有機物の投入がほとんど行われないため、土壌の団粒構造が発達しなかったためであると考えられた。

### 2. 土壌化学性

第2表に土壌化学性の調査結果を示した。ナシの好適土壌pH(H<sub>2</sub>O)は、5.5から6.5であり(安田典夫, 1984)、7を越えることは微量要素欠乏の発生などナシ樹に生育障害を起こすことが懸念される。上層(0~25cm)の土壌pH(H<sub>2</sub>O)は適正範囲の園が多かったが、A園の重症樹およびE園の中症樹では7を越えていた。また、下層ほどpHが上昇し、高pHとなる園・地点が多かった。

電気伝導度(EC)は、上層より中・下層で高い園・地点が多かった。

K含量は上層で高い園・地点が多かったが、CaおよびMg含量は上層より中層(25~50cm)および下層(50~80cm)で高い園・地点が多くみられた。K含量がCaおよびMgと同様の傾向を示さなかったのは、KはCaおよびMgと異なり、肥料として施用され、施用頻度が高いことが原因の一つではないかと推測された。

塩基置換容量(CEC)は、どの園も低く、上層の塩基飽和度はA園およびE園の一部で100%を超えていた。塩基置換容量は、上層より中・下層で低い園・地点が多く、このことと中・下層でCaおよびMg含量が高いことから、塩基飽和度は上層よりも中・下層で高くなる園・地点が多く、200%近くを示す園・地点が多くみられた。

塩基置換容量が低いのは、土壌本来の特性に加えて、清耕栽培および有機物無施用によることが原因であると考えられた。これは全窒素含量(T-N)が低いことから推測される。

pHが下層ほど高くなる原因は、中・下層で塩基含量が高くなっていることによると考えられた。ECが中・下層で高いのもこのことが原因の一つであると推測された。

中・下層での塩基含量が高い傾向にある理由(特にA園)は、上層土壌の塩基置換容量が小さいため、施用された肥料等の塩基成分は多くが降雨により下方に移動するが、中・下層にある粘土質の不透水層あるいは透水性の低い層によりそれ以下の移動が遮られるためと考えられた。このため、上層に施用された塩基

徳島県果樹研究所研究報告 第6号(2011)

第1図 試坑調査(2004年)

A 園 地点① (軽症樹1近傍)

| 深さ<br>cm | 層位  | 硬度<br>mm | 固相<br>率% | 液相<br>率% | 気相<br>率% | 土性 | 透水性<br>cm/秒          | 透水<br>程度 | 根の分布        | 備考          |
|----------|-----|----------|----------|----------|----------|----|----------------------|----------|-------------|-------------|
| 10       | 上層  | 13.5     | 53.2     | 43.0     | 3.8      | CL | $1.6 \times 10^{-4}$ | 良        | 30cm までに90% | 有機物含        |
| 20       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |             |
| 30       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |             |
| 40       | 中層  | 19.8     | 51.7     | 46.7     | 1.5      | C  | $6.3 \times 10^{-6}$ | 不良       | 50cm まで有    | 粘土層         |
| 50       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |             |
| 60       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |             |
| 70       | 下層  | 14.8     | 46.2     | 53.7     | 0.2      | C  | $2.7 \times 10^{-6}$ | 不良       | 無           | 粘土質の<br>還元層 |
| 80       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |             |
| 90       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |             |
| 100      | 最下層 |          |          |          |          |    |                      |          | 無           | 褐色の<br>粘土層  |
| 110      |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |             |
| 120      |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |             |

A 園 地点② (重症樹1近傍)

| 深さ<br>cm | 層位  | 硬度<br>mm | 固相<br>率% | 液相<br>率% | 気相<br>率% | 土性 | 透水性<br>cm/秒          | 透水<br>程度 | 根の分布        | 備考          |
|----------|-----|----------|----------|----------|----------|----|----------------------|----------|-------------|-------------|
| 10       | 上層  | 19.0     | 53.2     | 46.5     | 0.3      | CL | $5.4 \times 10^{-4}$ | 良        | 20cm までに90% | 有機物含        |
| 20       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |             |
| 30       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |             |
| 40       | 中層  | 18.7     | 45.8     | 54.1     | 0.1      | C  | $7.6 \times 10^{-6}$ | 不良       | 無           | 粘土質の<br>還元層 |
| 50       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |             |
| 60       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |             |
| 70       | 下層  |          |          |          |          | C  |                      |          | 無           | 粘土質の<br>還元層 |
| 80       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |             |
| 90       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |             |
| 100      | 最下層 |          |          |          |          |    |                      |          | 無           | 褐色の<br>粘土層  |
| 110      |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |             |

B 園 地点① (軽症樹2近傍)

| 深さ<br>cm | 層位  | 硬度<br>mm | 固相<br>率% | 液相<br>率% | 気相<br>率% | 土性 | 透水性<br>cm/秒          | 透水<br>程度 | 根の分布        | 備考   |
|----------|-----|----------|----------|----------|----------|----|----------------------|----------|-------------|--|
| 10       | 上層  | 13.8     | 51.5     | 40.5     | 8.1      | CL | $4.2 \times 10^{-5}$ | やや良      | 20cm までに70% | 便宜上, 上層,<br>中層, 下層に分けたが,<br>90cm までは層のない土壌 |
| 20       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |  |
| 30       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |  |
| 40       | 中層  | 18.0     | 51.3     | 42.2     | 6.5      | CL | $7.9 \times 10^{-6}$ | 不良       | 80cm まで有    |  |
| 50       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |  |
| 60       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |  |
| 70       | 下層  | 22.3     | 55.3     | 39.6     | 5.1      | CL | $7.0 \times 10^{-6}$ | 不良       | 80cm まで有    |  |
| 80       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |  |
| 90       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |  |
| 100      | 最下層 |          |          |          |          |    |                      |          | 無           | レキ層  |

B 園 地点② (重症樹2近傍)

| 深さ<br>cm | 層位  | 硬度<br>mm | 固相<br>率% | 液相<br>率% | 気相<br>率% | 土性 | 透水性<br>cm/秒          | 透水<br>程度 | 根の分布        | 備考   |
|----------|-----|----------|----------|----------|----------|----|----------------------|----------|-------------|--|
| 10       | 上層  | 16.2     | 51.4     | 46.9     | 1.7      | CL | $1.5 \times 10^{-6}$ | 不良       | 40cm までに70% | 便宜上, 上層, 中層,<br>下層に分けたが, 90cm<br>までは層のない土壌 |
| 20       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |  |
| 30       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |  |
| 40       | 中層  | 21.0     | 54.3     | 45.5     | 0.2      | CL | $3.3 \times 10^{-6}$ | 不良       | 60cm まで有    |  |
| 50       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |  |
| 60       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |  |
| 70       | 下層  | 20.3     | 55.0     | 44.9     | 0.1      | CL | $4.6 \times 10^{-6}$ | 不良       | 無           |  |
| 80       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |  |
| 90       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |  |
| 100      | 最下層 |          |          |          |          |    |                      |          | 無           | レキ層  |

C 園 地点① (無症樹2近傍)

| 深さ<br>cm | 層位  | 硬度<br>mm | 固相<br>率% | 液相<br>率% | 気相<br>率% | 土性 | 透水性<br>cm/秒          | 透水<br>程度 | 根の分布        | 備考  |
|----------|-----|----------|----------|----------|----------|----|----------------------|----------|-------------|---|
| 10       | 上層  | 17.7     | 54.8     | 36.1     | 9.1      | L  | $5.4 \times 10^{-5}$ | やや良      | 60cm までに80% | 便宜上, 上層,<br>中層, 下層に分けたが,<br>120cm までは層のない土壌 |
| 20       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |   |
| 30       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |   |
| 40       | 中層  | 16.7     | 54.6     | 44.8     | 0.6      | SL | $8.5 \times 10^{-5}$ | やや良      | 80cm まで有    |   |
| 50       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |   |
| 60       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |   |
| 70       | 下層  | 17.0     | 51.9     | 47.1     | 1.0      | L  | $8.3 \times 10^{-6}$ | 不良       | 無           |   |
| 80       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |   |
| 90       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |   |
| 100      | 最下層 |          |          |          |          |    |                      |          | 無           | レキ層   |
| 110      |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |   |
| 120      |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |   |

C 園 地点② (軽症樹2近傍)

| 深さ<br>cm | 層位  | 硬度<br>mm | 固相<br>率% | 液相<br>率% | 気相<br>率% | 土性 | 透水性<br>cm/秒          | 透水<br>程度 | 根の分布        | 備考  |
|----------|-----|----------|----------|----------|----------|----|----------------------|----------|-------------|---|
| 10       | 上層  | 15.5     | 55.5     | 39.0     | 5.5      | L  | $7.8 \times 10^{-5}$ | やや良      | 60cm までに70% | 便宜上, 上層, 中層,<br>下層に分けたが, 120cm<br>までは層のない土壌 |
| 20       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |   |
| 30       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |   |
| 40       | 中層  | 17.7     | 57.9     | 40.8     | 1.3      | SL | $1.1 \times 10^{-5}$ | やや良      | 80cm まで有    |   |
| 50       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |   |
| 60       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |   |
| 70       | 下層  | 12.3     | 54.1     | 43.5     | 2.3      | L  | $2.0 \times 10^{-6}$ | 不良       | 無           |   |
| 80       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |   |
| 90       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |   |
| 100      | 最下層 |          |          |          |          |    |                      |          | 無           | レキ層   |
| 110      |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |   |
| 120      |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |   |

D 園 地点① (軽症樹1近傍)

| 深さ<br>cm | 層位  | 硬度<br>mm | 固相<br>率% | 液相<br>率% | 気相<br>率% | 土性 | 透水性<br>cm/秒          | 透水<br>程度 | 根の分布        | 備考                                     |
|----------|-----|----------|----------|----------|----------|----|----------------------|----------|-------------|--|
| 10       | 上層  | 17.9     | 56.6     | 39.4     | 4.0      | L  | $1.7 \times 10^{-5}$ | 不良       | 20cm までに70% | 便宜上, 上層,<br>中層に分けたが,<br>60cm までは層のない土壌 |
| 20       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |  |
| 30       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |  |
| 40       | 中層  | 19.3     | 60.2     | 38.8     | 1.0      | L  | $1.4 \times 10^{-5}$ | やや良      | 60cm まで有    |  |
| 50       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |  |
| 60       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |  |
| 70       | 下層  | 20.9     | 60.3     | 39.7     | 0        | CL | $2.5 \times 10^{-6}$ | 不良       | 無           |  |
| 80       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |  |
| 90       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |  |
| 100      | 最下層 | 22.1     | 53.3     | 44.5     | 2.2      | C  | $1.7 \times 10^{-6}$ | 不良       | 無           | 還元層                                    |

D 園 地点② (重症樹1近傍)

| 深さ<br>cm | 層位  | 硬度<br>mm | 固相<br>率% | 液相<br>率% | 気相<br>率% | 土性 | 透水性<br>cm/秒          | 透水<br>程度 | 根の分布        | 備考                                     |
|----------|-----|----------|----------|----------|----------|----|----------------------|----------|-------------|--|
| 10       | 上層  | 17.4     | 54.5     | 37.8     | 8.3      | L  | $3.1 \times 10^{-5}$ | やや良      | 20cm までに70% | 便宜上, 上層,<br>中層に分けたが,<br>60cm までは層のない土壌 |
| 20       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |  |
| 30       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |  |
| 40       | 中層  | 20.9     | 57.3     | 40.3     | 2.3      | L  | $8.8 \times 10^{-5}$ | やや良      | 60cm まで有    |  |
| 50       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |  |
| 60       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |  |
| 70       | 下層  | 20.4     | 58.7     | 30.3     | 11.0     | CL | $1.1 \times 10^{-4}$ | 良        | 無           | 砂を含む                                   |
| 80       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |  |
| 90       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |  |
| 100      | 最下層 | 21.4     | 56.1     | 41.9     | 2.1      | C  | $9.2 \times 10^{-6}$ | 不良       | 無           | 還元層                                    |

E 園 地点① (無症樹近傍)

| 深さ<br>cm | 層位  | 硬度<br>mm | 固相<br>率% | 液相<br>率% | 気相<br>率% | 土性 | 透水性<br>cm/秒          | 透水<br>程度 | 根の分布        | 備考   |
|----------|-----|----------|----------|----------|----------|----|----------------------|----------|-------------|------|
| 10       | 上層  | 14.8     | 54.7     | 42.8     | 2.5      | CL | $5.5 \times 10^{-6}$ | 不良       | 40cm までに90% | 山土客土 |
| 20       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |      |
| 30       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |      |
| 40       | 中層  | 17.3     | 54.6     | 44.9     | 0.4      | CL | $6.2 \times 10^{-6}$ | 不良       | 70cm まで有    | 粘土層  |
| 50       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |      |
| 60       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |      |
| 70       | 下層  | 16.5     | 57.2     | 40.7     | 2.1      | C  | $6.4 \times 10^{-6}$ | 不良       | 無           | 粘土層  |
| 80       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |      |
| 90       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |      |
| 100      | 最下層 | 14.0     | 55.6     | 43.6     | 0.8      | C  | $2.3 \times 10^{-4}$ | 良        | 無           | 還元層  |
| 110      |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |      |
| 120      |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |      |

E 園 地点② (中症樹2近傍)

| 深さ<br>cm | 層位  | 硬度<br>mm | 固相<br>率% | 液相<br>率% | 気相<br>率% | 土性 | 透水性<br>cm/秒          | 透水<br>程度 | 根の分布        | 備考   |
|----------|-----|----------|----------|----------|----------|----|----------------------|----------|-------------|------|
| 10       | 上層  | 13.2     | 63.2     | 31.4     | 5.4      | CL | $7.7 \times 10^{-6}$ | 不良       | 20cm までに80% | 山土客土 |
| 20       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |      |
| 30       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |      |
| 40       | 中層  | 16.3     | 49.7     | 47.7     | 2.6      | CL | $1.4 \times 10^{-6}$ | 不良       | 40cm まで有    | 粘土層  |
| 50       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |      |
| 60       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |      |
| 70       | 下層  | 17.0     | 54.9     | 44.9     | 0.2      | CL | $2.3 \times 10^{-6}$ | 不良       | 無           | 粘土層  |
| 80       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |      |
| 90       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |      |
| 100      | 最下層 | 12.8     | 55.3     | 44.4     | 0.3      | C  | $2.5 \times 10^{-4}$ | 良        | 無           | 還元層  |
| 110      |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |      |
| 120      |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |      |

F 園 地点① (中症樹1近傍)

| 深さ<br>cm | 層位 | 硬度<br>mm | 固相<br>率% | 液相<br>率% | 気相<br>率% | 土性 | 透水性<br>cm/秒          | 透水<br>程度 | 根の分布        | 備考 |
|----------|----|----------|----------|----------|----------|----|----------------------|----------|-------------|----|
| 10       | 上層 | 17.5     | 52.7     | 36.5     | 10.8     | CL | $9.5 \times 10^{-6}$ | 不良       | 20cm までに80% |    |
| 20       |    |          |          |          |          |    |                      |          |             |    |
| 30       |    |          |          |          |          |    |                      |          |             |    |
| 40       | 中層 | 20.8     | 52.1     | 43.6     | 4.3      | CL | $8.6 \times 10^{-6}$ | 不良       | 40cm まで有    |    |
| 50       |    |          |          |          |          |    |                      |          |             |    |
| 60       |    |          |          |          |          |    |                      |          |             |    |
| 70       | 下層 |          |          |          |          |    |                      |          | 無           |    |
| 80       |    |          |          |          |          |    |                      |          |             |    |
| 90       |    |          |          |          |          |    |                      |          |             |    |

F 園 地点② (無症樹近傍)

| 深さ<br>cm | 層位  | 硬度<br>mm | 固相<br>率% | 液相<br>率% | 気相<br>率% | 土性 | 透水性<br>cm/秒          | 透水<br>程度 | 根の分布        | 備考  |
|----------|-----|----------|----------|----------|----------|----|----------------------|----------|-------------|-----|
| 10       | 上層  | 14.5     | 54.7     | 34.9     | 10.4     | CL | $7.2 \times 10^{-5}$ | やや良      | 40cm までに80% |     |
| 20       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |     |
| 30       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |     |
| 40       | 中層  | 18.3     | 54.9     | 41.9     | 3.2      | CL | $1.8 \times 10^{-5}$ | やや良      | 70cm まで有    |     |
| 50       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |     |
| 60       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |     |
| 70       | 下層  | 20.3     | 55.3     | 41.3     | 3.5      | CL | $4.4 \times 10^{-6}$ | 不良       | 無           |     |
| 80       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |     |
| 90       |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |     |
| 100      | 最下層 |          |          |          |          |    |                      |          | 無           | レキ層 |
| 110      |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |     |
| 120      |     |          |          |          |          |    |                      |          |             |     |

第2表 調査園における土壌化学性

| 園名 | 調査樹   | 層位 | pH<br>(H <sub>2</sub> O) | EC<br>(mS) | K   | Ca<br>(me/100g 土) | Mg  | CEC  | 塩基飽和度<br>(%) | T-N<br>(%) |
|----|-------|----|--------------------------|------------|-----|-------------------|-----|------|--------------|------------|
| A  | 軽症1*  | 上  | 6.00                     | 0.856      | 0.6 | 9.3               | 4.2 | 10.2 | 138.2        | 0.182      |
|    |       | 中  | 6.33                     | 1.525      | 0.7 | 22.5              | 4.0 | 6.6  | 412.1        | 0.077      |
|    |       | 下  | 6.61                     | 0.571      | 0.7 | 12.6              | 3.4 | 12.6 | 132.5        | 0.077      |
|    | 軽症2*  | 上  | 6.18                     | 0.567      | 1.0 | 14.1              | 5.0 | 12.2 | 164.8        | 0.273      |
|    |       | 中  | 6.35                     | 0.789      | 0.6 | 11.1              | 3.7 | 7.8  | 197.4        | 0.112      |
|    |       | 下  | 6.07                     | 0.821      | 0.3 | 8.0               | 1.9 | 7.6  | 134.2        | 0.133      |
|    | 重症1** | 上  | 7.40                     | 0.485      | 0.9 | 10.5              | 3.9 | 9.0  | 170.0        | 0.126      |
|    |       | 中  | 7.93                     | 0.624      | 0.7 | 9.2               | 3.9 | 7.4  | 186.4        | 0.077      |
|    |       | 下  | 7.18                     | 0.530      | 0.4 | 8.2               | 2.7 | 7.6  | 148.6        | 0.112      |
|    | 重症2** | 上  | 7.11                     | 0.443      | 1.3 | 9.8               | 3.3 | 8.4  | 171.4        | 0.140      |
|    |       | 中  | 7.31                     | 0.425      | 0.8 | 7.3               | 2.6 | 6.8  | 157.4        | 0.077      |
|    |       | 下  | 7.30                     | 0.354      | 0.9 | 10.9              | 3.5 | 11.4 | 134.2        | 0.084      |
| B  | 軽症1*  | 上  | 5.22                     | 0.288      | 1.8 | 4.8               | 1.5 | 10.0 | 81.0         | 0.189      |
|    |       | 中  | 5.41                     | 0.270      | 1.4 | 5.0               | 1.4 | 7.0  | 111.4        | 0.112      |
|    |       | 下  | 5.87                     | 0.459      | 1.3 | 7.9               | 2.7 | 7.6  | 156.6        | 0.119      |
|    | 軽症2*  | 上  | 5.12                     | 0.330      | 1.4 | 3.9               | 1.8 | 9.8  | 72.4         | 0.182      |
|    |       | 中  | 5.73                     | 0.156      | 1.3 | 5.1               | 1.8 | 5.8  | 141.4        | 0.098      |
|    |       | 下  | 5.87                     | 0.403      | 1.0 | 6.8               | 2.0 | 6.2  | 158.1        | 0.099      |
|    | 重症1** | 上  | 5.62                     | 0.094      | 1.4 | 4.7               | 1.9 | 9.4  | 85.1         | 0.154      |
|    |       | 中  | 6.80                     | 0.539      | 1.0 | 8.6               | 1.9 | 5.8  | 198.2        | 0.070      |
|    |       | 下  | 7.14                     | 0.723      | 0.8 | 10.0              | 2.6 | 6.8  | 197.0        | 0.091      |
|    | 重症2** | 上  | 4.84                     | 0.214      | 1.1 | 4.2               | 1.7 | 9.6  | 72.9         | 0.126      |
|    |       | 中  | 6.69                     | 0.106      | 1.3 | 6.0               | 2.1 | 8.0  | 117.5        | 0.112      |
|    |       | 下  | 6.97                     | 0.440      | 1.1 | 8.5               | 2.4 | 7.8  | 153.8        | 0.098      |
| C  | 無症1*  | 上  | 5.76                     | 0.246      | 0.7 | 3.7               | 0.8 | 7.8  | 66.7         | 0.133      |
|    |       | 中  | 6.21                     | 0.375      | 0.9 | 4.1               | 1.1 | 4.0  | 152.5        | 0.063      |
|    |       | 下  | 6.42                     | 0.378      | 0.5 | 5.8               | 1.1 | 4.8  | 154.2        | 0.070      |
|    | 無症2*  | 上  | 5.82                     | 0.207      | 0.9 | 3.7               | 0.9 | 6.6  | 83.3         | 0.112      |
|    |       | 中  | 6.60                     | 0.580      | 0.5 | 9.4               | 2.3 | 6.2  | 196.8        | 0.084      |
|    |       | 下  | 6.80                     | 0.477      | 0.3 | 6.2               | 1.5 | 5.2  | 153.8        | 0.063      |
|    | 軽症1** | 上  | 5.92                     | 0.380      | 0.9 | 5.0               | 1.7 | 6.8  | 111.8        | 0.091      |
|    |       | 中  | 7.73                     | 0.369      | 0.8 | 5.2               | 1.7 | 4.2  | 183.3        | 0.056      |
|    |       | 下  | 7.97                     | 0.463      | 0.8 | 5.5               | 1.9 | 4.2  | 195.2        | 0.042      |
|    | 軽症2** | 上  | 5.57                     | 0.113      | 1.0 | 3.5               | 1.1 | 6.6  | 84.8         | 0.091      |
|    |       | 中  | 7.13                     | 0.169      | 0.7 | 4.3               | 1.7 | 4.8  | 139.6        | 0.056      |
|    |       | 下  | 7.59                     | 0.403      | 0.5 | 5.3               | 1.9 | 4.4  | 175.0        | 0.056      |
| D  | 軽症1*  | 上  | 5.56                     | 0.189      | 1.2 | 3.4               | 0.8 | 11.8 | 45.8         | 0.196      |
|    |       | 中  | 5.70                     | 0.199      | 0.9 | 3.4               | 1.1 | 5.6  | 96.4         | 0.070      |
|    |       | 下  | 4.82                     | 0.243      | 0.7 | 1.9               | 0.6 | 6.2  | 51.6         | 0.077      |
|    | 軽症2*  | 上  | 5.07                     | 0.203      | 1.3 | 4.0               | 1.6 | 7.5  | 95.6         | 0.116      |
|    |       | 中  | 5.56                     | 0.108      | 1.2 | 2.8               | 1.0 | 6.2  | 78.6         | 0.067      |
|    |       | 下  | 5.40                     | 0.146      | 0.9 | 3.2               | 1.2 | 6.3  | 82.7         | 0.067      |
|    | 重症1** | 上  | 5.40                     | 0.104      | 0.9 | 3.9               | 1.3 | 8.6  | 70.9         | 0.098      |
|    |       | 中  | 6.49                     | 0.205      | 1.3 | 5.6               | 2.3 | 7.6  | 121.1        | 0.063      |
|    |       | 下  | 6.77                     | 0.451      | 1.0 | 6.2               | 2.6 | 8.0  | 122.5        | 0.077      |
|    | 重症2** | 上  | 5.08                     | 0.191      | 1.3 | 3.7               | 1.6 | 8.6  | 76.7         | 0.112      |
|    |       | 中  | 6.49                     | 0.149      | 1.4 | 4.8               | 1.9 | 7.0  | 115.7        | 0.070      |
|    |       | 下  | 7.77                     | 0.356      | 1.5 | 21.2              | 1.8 | 7.0  | 350.0        | 0.091      |
| E  | 無症*   | 上  | 5.51                     | 0.223      | 1.3 | 7.9               | 1.4 | 14.8 | 71.6         | 0.273      |
|    |       | 中  | 6.43                     | 0.380      | 0.3 | 6.9               | 1.7 | 7.4  | 120.3        | 0.084      |
|    |       | 下  | 6.76                     | 0.191      | 0.4 | 5.3               | 1.6 | 6.6  | 110.6        | 0.063      |
|    | 軽症*   | 上  | 5.80                     | 0.308      | 1.4 | 6.4               | 1.6 | 12.8 | 73.4         | 0.147      |
|    |       | 中  | 6.57                     | 0.379      | 0.4 | 7.9               | 1.9 | 7.6  | 134.2        | 0.063      |
|    |       | 下  | 6.71                     | 0.274      | 0.4 | 6.3               | 1.7 | 6.6  | 127.3        | 0.063      |
|    | 中症1** | 上  | 7.15                     | 0.279      | 1.2 | 10.5              | 3.1 | 10.8 | 137.0        | 0.154      |
|    |       | 中  | 7.89                     | 0.487      | 0.4 | 8.4               | 3.0 | 7.4  | 159.5        | 0.084      |
|    |       | 下  | 7.73                     | 0.449      | 0.4 | 6.9               | 2.6 | 8.0  | 123.8        | 0.063      |
|    | 中症2** | 上  | 7.79                     | 0.278      | 1.9 | 13.0              | 3.4 | 10.4 | 176.0        | 0.161      |
|    |       | 中  | 7.89                     | 0.434      | 0.7 | 8.8               | 2.4 | 6.6  | 180.3        | 0.063      |
|    |       | 下  | 7.67                     | 0.267      | 0.7 | 6.6               | 2.0 | 6.8  | 136.8        | 0.070      |
| F  | 無症*   | 上  | 6.20                     | 0.304      | 2.3 | 5.5               | 1.6 | 10.2 | 92.2         | 0.098      |
|    |       | 中  | 6.29                     | 0.221      | 0.9 | 3.8               | 1.0 | 6.6  | 86.4         | 0.063      |
|    |       | 下  | 5.16                     | 0.632      | 0.6 | 5.1               | 1.5 | 5.8  | 124.1        | 0.063      |
|    | 軽症*   | 上  | 4.79                     | 0.211      | 2.1 | 4.7               | 1.7 | 12.8 | 66.4         | 0.182      |
|    |       | 中  | 6.10                     | 0.281      | 1.7 | 6.2               | 2.2 | 8.0  | 126.3        | 0.028      |
|    |       | 下  | 6.57                     | 0.424      | 1.1 | 6.7               | 2.1 | 7.2  | 137.5        | 0.098      |
|    | 中症1** | 上  | 5.47                     | 0.117      | 1.7 | 4.9               | 2.6 | 11.2 | 82.1         | 0.133      |
|    |       | 中  | 6.20                     | 0.207      | 1.5 | 5.9               | 2.5 | 8.0  | 123.8        | 0.077      |
|    |       | 下  | 4.23                     | 1.218      | 0.9 | 8.3               | 2.7 | 7.4  | 160.8        | 0.091      |
|    | 中症2** | 上  | 4.63                     | 0.402      | 2.8 | 4.9               | 2.2 | 13.4 | 73.9         | 0.203      |
|    |       | 中  | 5.92                     | 0.640      | 1.9 | 6.8               | 2.8 | 8.6  | 133.7        | 0.105      |
|    |       | 下  | 7.08                     | 0.907      | 1.9 | 12.8              | 3.7 | 9.4  | 195.7        | 0.119      |

\*2002年6月採取, \*\*2003年6月採取 層位 上: 0~25cm 中: 25~50cm 下: 50~80cm

成分の多くは、中・下層にとどまり、塩類集積の傾向を示した。このような園では、1回当たりの施肥量を減らして、施肥回数を多くする等の対策が必要である。

### 3. 樹体栄養

樹体栄養の調査結果を第3表に示した。同一園内での比較では萎縮病の症状の程度と各元素含量との間に明らかな関係はみられなかった。

萎縮病発生の多いA園の樹は他園に比べて窒素濃度が低い傾向を示した。また、微量元素ではFeおよびMn含量が低い傾向であった。これは、A園はpHが高めであることに加えて、有効土層が浅く、根域が限られるため、他園の樹に比べ養分吸収量が少なくなったためであると考えられた。このことが樹勢の低下を引き起こしたものと推測された。

第3表 調査園における樹体の栄養状態（葉分析）

2003年7月8日 短果枝葉採取

| 園名 | 調査樹 | N    | P     | %    |      |      | ppm  |       |      |      |      |
|----|-----|------|-------|------|------|------|------|-------|------|------|------|
|    |     |      |       | K    | Ca   | Mg   | Fe   | Mn    | Cu   | Zn   | B    |
| A  | 軽症1 | 2.38 | 0.178 | 2.21 | 1.70 | 0.47 | 55.1 | 33.5  | 7.1  | 19.5 | 30.7 |
|    | 軽症2 | 2.18 | 0.158 | 2.20 | 1.69 | 0.43 | 52.6 | 13.6  | 6.2  | 16.1 | 31.5 |
|    | 重症1 | 2.55 | 0.167 | 2.20 | 1.55 | 0.43 | 51.3 | 27.7  | 3.8  | 21.6 | 31.0 |
|    | 重症2 | 2.41 | 0.174 | 2.00 | 1.39 | 0.42 | 52.9 | 13.3  | 3.8  | 19.4 | 27.5 |
| B  | 軽症1 | 2.58 | 0.179 | 2.12 | 1.44 | 0.47 | 66.3 | 60.2  | 17.8 | 27.4 | 26.5 |
|    | 軽症2 | 2.55 | 0.171 | 2.33 | 1.33 | 0.39 | 67.0 | 47.7  | 15.2 | 24.8 | 26.4 |
|    | 重症1 | 2.49 | 0.184 | 2.16 | 1.14 | 0.38 | 63.7 | 57.9  | 13.6 | 27.3 | 25.0 |
|    | 重症2 | 2.49 | 0.205 | 2.22 | 1.17 | 0.41 | 59.9 | 49.3  | 18.1 | 33.1 | 30.6 |
| C  | 無症1 | 2.74 | 0.184 | 2.49 | 1.39 | 0.38 | 65.7 | 47.6  | 8.6  | 16.7 | 37.4 |
|    | 無症2 | 2.49 | 0.226 | 2.55 | 1.44 | 0.42 | 70.5 | 82.7  | 8.1  | 26.2 | 39.2 |
|    | 軽症1 | 2.63 | 0.177 | 2.45 | 1.61 | 0.42 | 61.1 | 66.7  | 10.0 | 20.8 | 40.9 |
|    | 軽症2 | 2.46 | 0.213 | 2.72 | 1.73 | 0.46 | 58.6 | 64.2  | 8.2  | 23.1 | 36.5 |
| D  | 軽症1 | 2.52 | 0.199 | 2.39 | 1.14 | 0.39 | 54.5 | 72.2  | 6.5  | 19.6 | 33.6 |
|    | 軽症2 | 2.91 | 0.207 | 2.78 | 1.28 | 0.35 | 67.4 | 94.5  | 6.1  | 30.5 | 35.7 |
|    | 重症1 | 2.63 | 0.214 | 2.27 | 1.02 | 0.39 | 68.6 | 85.2  | 6.4  | 33.3 | 36.6 |
|    | 重症2 | 2.38 | 0.192 | 2.37 | 2.03 | 0.41 | 65.6 | 65.6  | 7.1  | 24.5 | 32.1 |
| E  | 無症  | 2.46 | 0.146 | 1.78 | 1.45 | 0.45 | 65.0 | 29.1  | 5.4  | 14.5 | 25.0 |
|    | 軽症  | 2.52 | 0.197 | 2.56 | 1.91 | 0.40 | 67.2 | 37.2  | 6.2  | 19.2 | 28.7 |
|    | 中症1 | 2.52 | 0.162 | 1.75 | 1.40 | 0.40 | 65.2 | 28.0  | 5.7  | 12.8 | 23.4 |
|    | 中症2 | 2.60 | 0.162 | 1.91 | 1.89 | 0.55 | 67.3 | 39.1  | 7.7  | 21.4 | 30.1 |
| F  | 無症  | 2.60 | 0.195 | 2.13 | 1.26 | 0.47 | 65.7 | 53.5  | 5.9  | 24.5 | 32.8 |
|    | 軽症  | 2.77 | 0.277 | 2.85 | 1.65 | 0.61 | 86.8 | 100.3 | 7.0  | 36.2 | 47.6 |
|    | 中症1 | 2.21 | 0.159 | 2.27 | 0.99 | 0.33 | 61.0 | 40.1  | 6.5  | 24.9 | 26.5 |
|    | 中症2 | 2.72 | 0.201 | 2.33 | 0.90 | 0.27 | 72.7 | 61.8  | 4.6  | 21.8 | 29.3 |

#### 4. 土壌水分

ナシは土壌水分が比較的豊富な条件を好むため（安藤茂市ら，1937，廣田隆一郎，1983）， $pF1.5\sim 2.5$ が好適土壌水分（適湿）と考えられる。

2004年6月下旬から10月下旬にかけて土壌水分を調査した結果を第2図に示した。A園，B園，D園およびF園では，干天時に土壌が乾燥していた（ $pF2.5$ 以上）が，降雨後は逆に過湿となり（ $pF1.5$ 以下），乾湿の変動が大きかった。E園では，干天時でも土壌乾燥程度は低く，過湿の期間が長かった。C園は，他園に比べて土壌水分の変動が少なく，適湿（ $pF1.5\sim 2.5$ ）の期間が長かった。これにはC園土壌の砂の割合が高いことも一因であると考えられた。同一園内の比較では，発病程度と土壌の乾湿との関係は判然としなかった。これらの結果は他の年度の調査においても同様の傾向であった（データ省略）。

ナシの根にとって，土壌の乾燥や過湿が続くこと，乾湿の変動が大きいことは生育に適した条件ではないが，適湿であるC園は生育に適した条件であると考えられた。

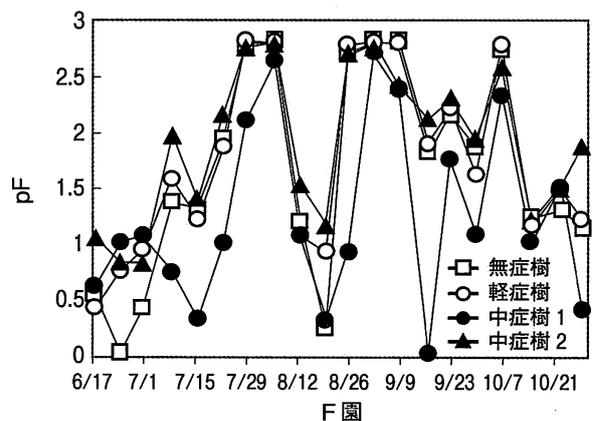
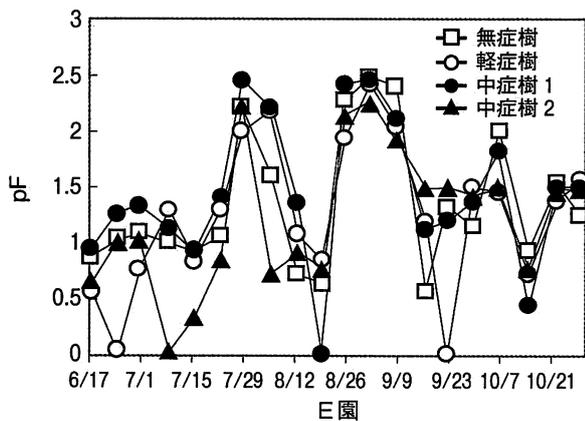
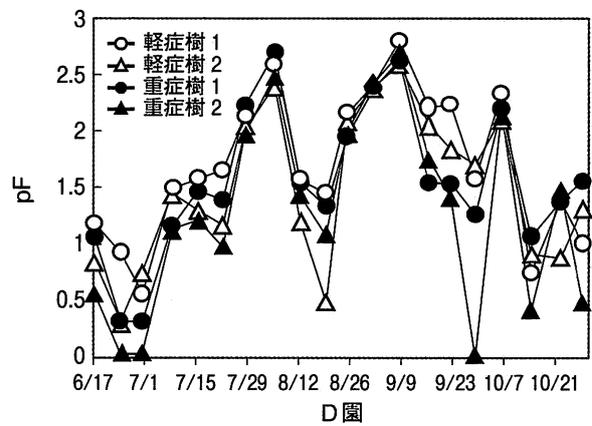
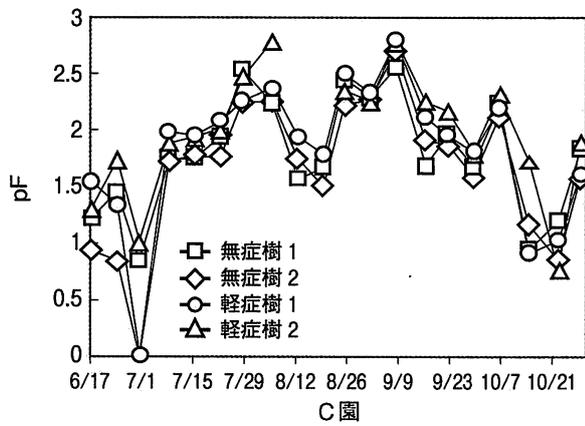
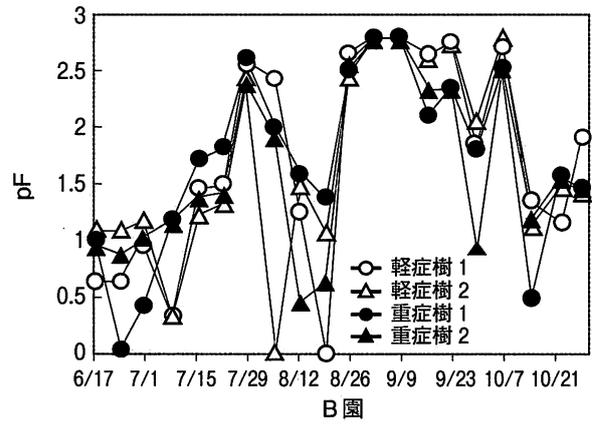
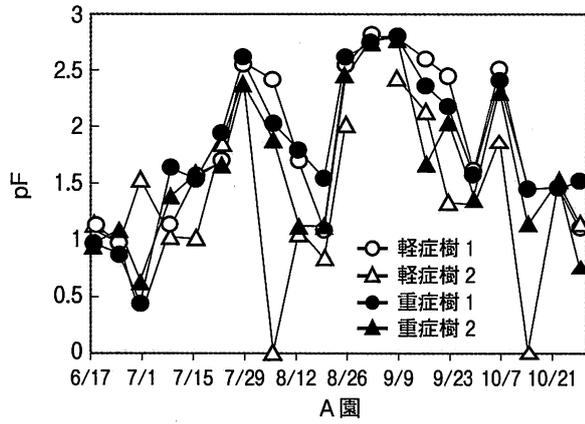
地下水位（第3図）については，A園，D園，E園およびF園で変動が大きかった。A園は全期間において地下水位が高い地点が半数を占めた。E園は全期間において地下水位が高い傾向であった。B園およびC園は全期間において地下水位が低かった。地下水位が低く，変動が少ないB園およびC園は有効土層が深く，これに対し，地下水位の高いA園，D園，E園およびF園は有効土層が浅い傾向であった。このことから，地下水位が高く，有効土層が浅いことがナシ樹の樹勢低下を通して萎縮病発生に関与したと考えられた。B園はC園同様，地下水位が低く有効土層が深いにもかかわらず，C園に比べて萎縮病の発症が多い理由は，B園は土壌水分の変動が大きかったためであると推測された。これらの結果は，他の年度の調査においても同様の傾向であった（データ省略）。

地下水位の高さがナシの生育に及ぼす影響について，地表下20cmでは，地表下50cmおよび80cmに比べて新梢伸長および新梢肥大が劣り，異常根および枯死した根が多いことが報告されている（西元直行ら，1972）。このことから，総じて地下水位の高いA園，D園，E園およびF園は根が過湿状態になる期間が長く，生育に適した条件とはいえない。

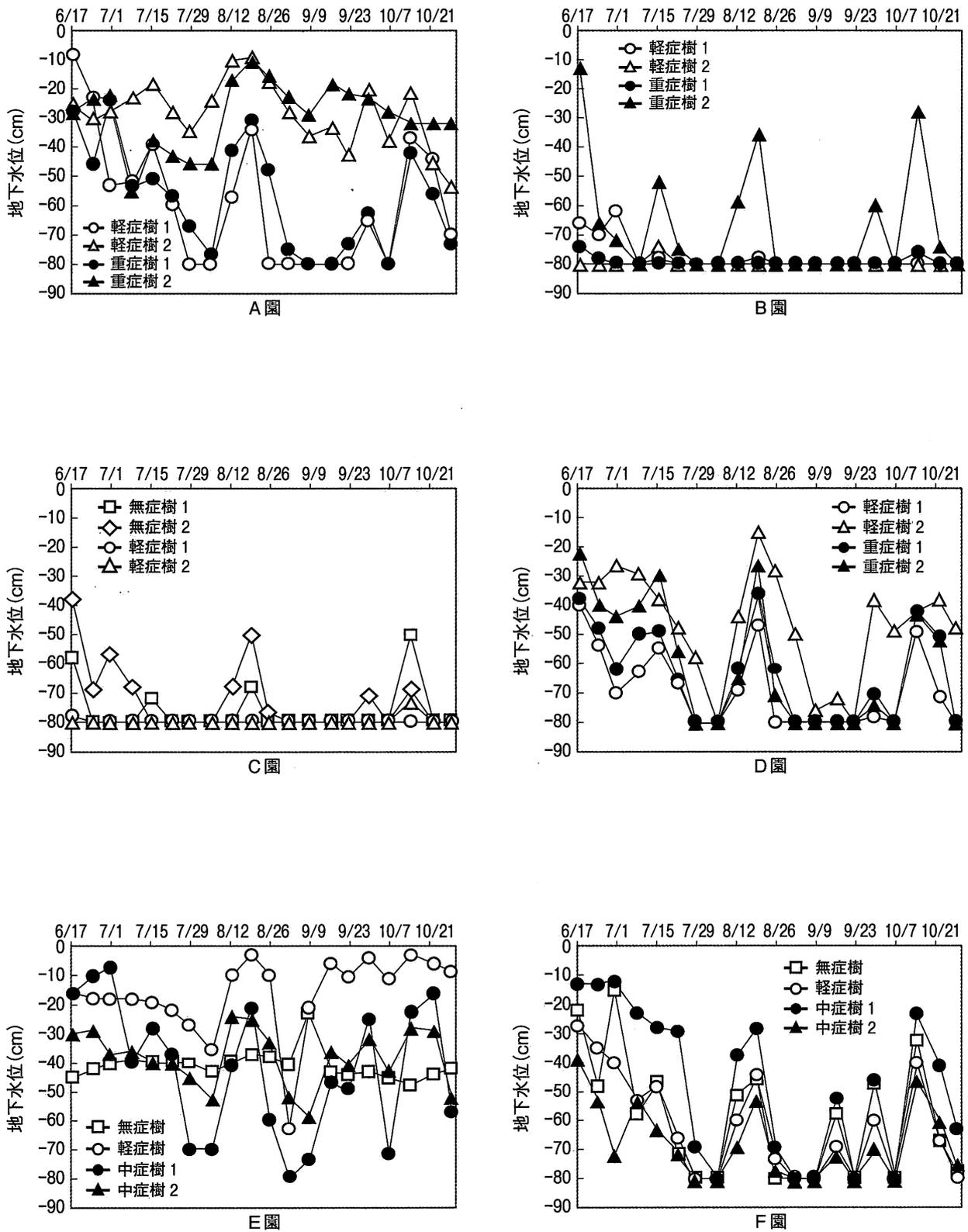
以上より，萎縮病発病樹率の高いA園は他園に比べ不透水層が浅いため根域が限られ，干天時には過乾燥，降雨時には過湿となりやすく，根が障害を受けやすい。また降雨後は地下水位が高くなり，湿害，塩類集積の害を受けやすい。これらにより樹勢低下が引き起こされ，この樹勢低下が萎縮病発生に関与したのではないかと推測された。

一方，萎縮病発病樹率の低いC園は根域が深く，適湿の状態が維持されるため，ナシ樹が土壌から受けるストレスが比較的少ないと考えられた。

本調査の結果を受けて，生産現場では有効土層の深さや排水性の良さが重要であることに気づき，新植園では，客土や暗渠排水の徹底等に取り組んでいる。今後は，土壌改良資材の投入等による塩基置換容量の向上が課題である。



第2図 土壤水分の推移 (2004年)



第3図 地下水位の推移 (2004年)

## 引用文献

- 安藤茂市・岩垣駛夫. 1937. 園藝學會雜誌 8 (2): 252-267.
- 土壤環境分析法編集委員会. 1997. 土壤環境分析法. 博友社. 東京.
- 土壤養分測定法委員会. 1997. 土壤養分分析法. 養賢堂. 東京.
- 廣田隆一郎. 1983. 農業技術体系果樹編 3. 農山漁村文化協会. 東京: 技114の4 -114の6.
- 金子洋平・中村 仁・塩田あづさ・鈴木 健・服部 力・太田祐子・安田文俊・幸由利香・牛尾進吾. 2011. 日植病報. 77 (3).
- 西元直行・小柳津朝子・永沢勝雄. 1972. 千葉大学園芸学部学術報告. 20: 9-17.
- 作物分析法委員会. 1975. 栄養診断のための栽培植物分析測定法. 養賢堂. 東京.
- 塩田あづさ・金子洋平・鈴木 健・中村 仁・服部 力. 2010. 日植病報. 76 (3): 156.
- 浦木松寿. 1983. 農業技術体系果樹編 3. 農山漁村文化協会. 東京: 技133-143.
- 矢木 博. 1973. 新版図解土壤検定と肥料試験. 博友社. 東京.
- 安田典夫. 1984. 農業技術体系土壤肥料編 4. 農山漁村文化協会. 東京: 基107-109.

徳島県立農林水産総合技術支援センター  
No. 6 果樹研究所研究報告書

平成24年3月発行 非売品

編集兼発行者 徳島県勝浦郡勝浦町大字沼江字中筋  
果樹研究所  
〒771-4301 ☎0885-42-2545  
県北分場  
徳島県板野郡上板町神宅  
〒771-1320 ☎088-694-2712

印刷所 徳島市川内町平石流通団地27  
株式会社教育出版センター  
〒771-0138 ☎088-665-6060