

ミカンハダニのヘキシチアゾクス水和剤抵抗性

口本文孝・村岡 実*

キーワード：ミカンハダニ，薬剤抵抗性，ヘキシチアゾクス

Resistance to Hexythiazox in the Citrus Red Mite, *Panonychus citri* MCGREGOR
(Acarina : Tetranychidae)

Fumitaka KUCHIKI and Minoru MURAOKA

ABSTRACT

Hexythiazox was used for the control of the citrus red mite, *Panonychus citri* (MCGREGOR) in 1986. However, decrease in hexythiazox effect to control the mite after 2 to 4 times chemical applications was admitted in a plastic greenhouse cultivation. Effects of hexythiazox to this mite in the plastic greenhouse cultivation was both low in 1987 and 1988. The control effects of amitraz, dicofol, and fenbutatin oxide were also low. By the reaf disc method, hexythiazox at 400ppm killed only 29.2% of Tarastrain of the mite collected in the greenhouse. The Tarastrain showed high degrees of resistance also to hexythiazox, clofentezine, fenbutatin oxide and amitraz.

To analyze the genetic basis of hexythiazox-resistance, a hexythiazox-resistance strain selected from the Tara population, or other acaricide-resistance strain and a susceptible strain were crossed. The susceptibilities of F₁ and F₂ eggs were compared using log concentration-probit mortality lines. The analyses suggested this hexythiazox-resistance was manifested in an imperfect recessive manner.

key words : citrus red mite, resistance, hexythiazox

緒 言

ヘキシチアゾクス水和剤（商品名：ニッソラン水和剤）は、ハダニ類の卵、幼虫および若虫に対して優れた殺ダニ作用を示す。また、成虫に対する殺ダニ効果は低いものの、薬液に接触した雌成虫が産下した卵に対する孵化抑制効果が高い。さらに、本剤は残効性に優れており、圃場での防除効果は長期間持続する。

ミカンハダニは、多くの薬剤に対して著しく抵抗性を発達させており、その被害はカンキツ栽培上の大きな問題となっている。本剤は、既存の殺ダニ剤に対して抵抗性を発達させたミカンハダニに対しても防除効果が高いことから、佐賀県内では1986年から使用された。しかし、1986年には高い防除効果を示したものの、翌1987年には本剤のミカンハダニに対する防除効果の低下が県内の温州ミカンのハウス栽培で認められた。これらのハウスでは、ミカンハダニに対する防除効果の低下が認められる以前の散布回数は2~4回であり、抵抗性は急速に発達したことが予想された。

そこで、1987年と1988年の2ヵ年間にわたり、防除効果の低下が認められた温州ミカンのハウス栽培園においてヘキシチアゾクスのほか数種薬剤の散布試験を行い防除効果を検討した。さらに、このハウスからミカンハダニ雌成虫を採集し室内で薬剤に対する感受性検定試験を行うとともに、抵抗性の遺伝様式を明らか

*現 佐賀県植物病害虫防除所

にし防除効果が低下した原因について検討したので、その結果を報告する。

報告に先立ち、本文を御校閲いただいた佐賀大学農学部近藤榮造教授、農林水産省果樹試験場安芸津支場刑部正博博士に厚くお礼申し上げる。

材料および方法

1. ヘキシチアゾクスの防除効果が低下したハウスにおける薬剤散布試験

試験は、藤津郡太良町の多良岳山麓（標高100m）の早生温州ミカン栽培ハウス（樹齢：25年、加温栽培5年目）で行った。薬剤散布試験を行ったハウスでは、試験を行う前にヘキシチアゾクス水和剤が3回、酸化フェンブタスズ水和剤およびアミトラズ乳剤が各10回以上、水酸化トリシクロヘキシルスズ水和剤が5回散布されていたが、BPPS水和剤は散布されていなかった。このハウスでは、従来使用していた殺ダニ剤ならびにヘキシチアゾクスのミカンハダニに対する防除効果の低下が認められていた。本剤の散布回数は、1986年に2回、1987年に1回、通算3回であった。

1987年9月18日はヘキシチアゾクス水和剤、酸化フェンブタスズ水和剤、BPPS水和剤、水酸化トリシクロヘキシルスズ水和剤の4剤、1988年9月27日はヘキシチアゾクス水和剤、アミトラズ乳剤、ケルセン乳剤、キノキサリン系水和剤、酸化フェンブタスズ水和剤、BPPS水和剤、フェンプロバトリン乳剤の7剤を動力噴霧器を用いて枝葉から薬液がしたたり落ちる程度散布した。1薬剤につき1987年は1樹、1988年は2樹を供した。

薬剤散布前および散布後約10日毎に、各区とも樹の赤道部から任意に選んだ30葉について、ミカンハダニの雌成虫数を調査し、次式によって防除効率を算出⁹⁾し、各薬剤の防除効果を検討した。

$$\text{防除効率} = \left(1 - \frac{C_b \times \sum T_{ai}}{T_b \times \sum C_{ai}} \right) \times 100$$

Cb：無散布区の処理前密度

Tb：散布区の処理前密度

Cai：無散布間の処理後 i 日後の密度

Tai：散布区の処理後 i 日後の密度

試験を行ったハウスは果実収穫後であり、薬剤散布時にはビニールはすでに除去されていたが、薬剤散布直後の降雨はなく、薬効に及ぼす降雨の影響はなかった。

なお、このハウスでは、防除効果の低下が認められた後はヘキシチアゾクス水和剤は散布されていなかった。

2. 薬剤感受性の検定

1987年10月に前述のハウスの試験区以外の温州ミカンからミカンハダニの雌成虫を採集し、以後佐賀県果樹試験場内のガラス室内の鉢植え温州ミカン上で隔離して累代飼育した個体群（以下：太良系）を用いた。1987年11月、1988年5月および10月、1989年1月に感受性の検定を行った。また、対照として、ヘキシチアゾクス無散布の場内のハウスで採集したミカンハダニ（以下：果試系）を供して比較した。

プラスチックカップに準備した温州ミカンの葉片上に太良系および果試系の雌成虫をそれぞれ5個体ずつ導入して、20～25℃の実験室内に置き、48時間産卵させた後に雌成虫を除去した。その後卵が付着した葉片を所定濃度の薬液に10秒間浸漬し、室内で風乾後プラスチックカップに戻し、実験室内または25℃の恒温器内に保管した。処理後7～10日目に、実態顕微鏡下で卵及び幼虫の生存および死亡個体数を調査した。殺卵率は、Abbottの補正式を用いて補正した¹⁵⁾。

Abbott の補正式：補正殺卵率 = $\frac{q_0 - q}{q_0} \times 100$

q_0 ：無処理区の生存率

q ：処理区の生存率

薬剤散布試験を行った温州ミカンハウスから1988年10月に採集したミカンハダニの雌成虫を採集し、プラスチックカップ上の温州ミカン葉片上で飼育し、その産下した卵に対して、ヘキシチアゾクス、クロフェンテジン、BPPS、酸化フェンブタスズ、アミトラズ、フルバリネートの6剤の殺卵効果を前述の方法で検定した。また、得られた補正死亡率を Bliss によりプロビット変換法にて、対数薬量（濃度）-プロビット死卵率線（以下：プロビット死卵率線）を作成するとともに、50%致死濃度（以下：LC₅₀）と95%致死濃度（以下：LC₉₅）を算出^{2,3)}した。

3. ヘキシチアゾクス抵抗性の遺伝

各地から採集して果樹試験場内の網室で隔離飼育したテデオン、ベンゾメート、ジメトエート、ケルセンおよびアミトラズの各薬剤に対する感受性が低いミカンハダニの個体群5系統、小城郡小城町で1960年に採集して場内の網室で隔離飼育した薬剤感受性系統、場内のガラス室で累代飼育した太良系の計7系統を供した。

雌成虫を系統毎に5個体ずつプラスチックカップ上の葉片上に上に48時間放飼して産卵させた。その後、雌成虫を除去し、産下された卵を飼育した。発育した成虫を系統別に雌若虫5個体と、雄成虫3個体を各温州ミカン葉片上に移した。2日後に雌成虫のみを新しい温州ミカン葉片上に移し、48時間産卵させた後に雌成虫を除去した。得られた卵の一部を親世代（F₀世代）として感受性検定に供し、他の卵はそのまま飼育した。

親世代の、雄成虫（太良系）3個体と、雌若虫（各系統）5個体を新しい温州ミカン葉片上に移し、前述の方法でF₁世代を得て、一部を感受性検定に供し、他の卵はそのまま飼育した。同様に次世代からF₂世代を得て感受性検定を行った。この様にして得た各世代のヘキシチアゾクスに対する死卵率からLC₅₀とLC₉₅を算出⁴⁾するとともに、次式によって Stone の優性度D²⁾を算出して遺伝様式を検討した。

Stone の優性度D $\frac{X_2 - X_1 - X_3}{X_1 - X_3}$

X_1 ：抵抗性の親のLC₅₀値の対数———RR

X_2 ：F₁のLC₅₀値の対数———RS

X_3 ：感受性の親のLC₅₀値の対数———SS

太良系の親世代のLC₅₀値は算出できなかったため、1988年10月に行った感受性検定の結果を基に、LC₅₀値を2,000ppmと仮定した。

結果および考察

1. ヘキシチアゾクス水和剤の防除効果が低下したハウスにおける各種薬剤の防除効果

1987年の薬剤散布試験では、BPPSのミカンハダニに対する密度抑制は速効的で、防除効率は96で効果は顕著であった。水酸化トリシクロヘキシルスズのみカンハダニに対する密度抑制は速効的で防除効率は89で有効であった。一方、ヘキシチアゾクスおよび酸化フェンブタスズでは薬剤散布後のミカンハダニの密度低下は認められず、防除効率はそれぞれ14および6と低かった（第1表）。

1988年の薬剤散布試験では、キノキサリン、BPPSおよびフェンプロパトリンの防除効果は速効的で、薬

剤散布後27日目までのミカンハダニの密度は低く抑えられ防除効率はいずれも97以上で効果は顕著であった。アミトラズでは、散布後10日目のミカンハダニの密度は散布前と比較してやや低下していたが、その後ミカンハダニの密度は回復し、防除効果は28と低かった。また、ヘキシチアゾクス、ケルセンおよび酸化フェンブタスズでは薬剤散布後に密度の低下は認められなかった（第2表）。

これらの結果から、試験を行った温州ミカンハウスのミカンハダニでヘキシチアゾクスに対する防除効果の低下を県内で最初に確認するとともに、アミトラズ、ケルセンおよび酸化フェンブタスズに対しても感受性が低下していることが示唆された。

また、1年以上ヘキシチアゾクスを散布しなかった後の1988年の試験でも防除効果が低かったことから、本剤の防除効果はいったん低下すると回復しにくいことが示唆された。

第1表 ヘキシチアゾクス水和剤の防除効果が低下したハウスで採集したミカンハダニに対する各種薬剤の防除効果（1987年）

供試薬剤名	成分濃度 (ppm)	雌 成 虫 数					防除効率
		散布前	10日目	20日目	27日目	40日目	
ヘキシチアゾクス水和剤	50	45	45	405	883	823	14
酸化フェンブタスズ水和剤	125	77	152	540	1,935	1,393	6
BPPS 水和剤	400	100	0	38	48	138	96
水酸化トリシクロヘキシルスズ水和剤	250	85	0	50	98	390	89
無散布	—	32	93	278	833	577	—

第2表 ヘキシチアゾクス水和剤の防除効果が低下したハウスで採集したミカンハダニに対する各種薬剤の防除効果（1988年）

供試薬剤名	成分濃度 (ppm)	雌 成 虫 数				防除効率
		散布前	10日目	20日目	27日目	
ヘキシチアゾクス水和剤	50	56.5	53.3	61.3	108.3	28
アミトラズ乳剤	200	28.8	12.0	31.5	70.0	28
ケルセン乳剤	200	23.5	18.0	26.8	44.0	31
キノキサリン系水和剤	250	33.5	1.3	1.5	3.3	97
酸化フェンブタスズ水和剤	125	68.0	57.3	77.3	158.5	21
BPPS 水和剤	400	38.8	1.0	0	1.8	98
フェンプロパトリン乳剤	50	74.0	0.3	1.5	1.5	99
無散布	—	33.8	46.5	53.3	85.5	—

2. 薬剤感受性の検定

太良系ミカンハダニのヘキシチアゾクスに対する感受性は低く、1987年11月の検定では成分濃度12.5~400 ppmでの補正殺卵率は30%以下であった。ガラス室内での飼育期間中も感受性は低いまま推移し、1989年1月の検定でも、成分濃度25~800ppmでの補正殺卵率は45%以下であった（第3表）。

一方、果試系ミカンハダニは飼育期間中の感受性は高いまま推移し、成分濃度0.625~5ppmでの補正殺卵率はほぼ100%であった（第4表）。

前述のハウスで1988年10月に再度採集したミカンハダニでもヘキシチアゾクス感受性は低く、成分濃度25～400ppmでの補正殺卵率は15.4%以下であった（第5表）。

これらのことから、現地のハウスにおけるヘキシチアゾクス水和剤の防除効果の低下はミカンハダニの薬剤感受性の低下によることが確認された。これまで、ヘキシチアゾクスを25ppmの濃度で6年間18回散布後に抵抗性が認められ、抵抗性の発達が遅いことが指摘⁹⁾されていたが、本試験では50ppmの3回散布で感受性の低下が認められた。このような感受性の急激な低下については今回検討できなかった。また、ヘキシチアゾクス水和剤の効果が低下したために本剤を1年以上散布しなかったハウスで採集したミカンハダニにおいても感受性が回復していないことが明らかとなった。

第3表 飼育期間中における太良系ミカンハダニのヘキシチアゾクス感受性の推移

成分濃度 ppm	補正殺卵率 (%)			
	1987年11月	1988年5月	1988年10月	1989年1月
800	—	—	16.2	43.2
400	29.2	26.4	4.2	22.3
200	17.7	17.1	1.2	9.6
100	28.6	18.4	0	13.5
50	5.6	10.5	5.8	6.7
25	2.0	12.5	—	4.4
12.5	15.6	—	—	—

第4表 飼育期間中における果試系ミカンハダニのヘキシチアゾクス感受性の推移

成分濃度 ppm	補正殺卵率 (%)			
	1987年11月	1988年5月	1988年10月	1989年1月
5	100	100	100	100
2.5	100	100	99.0	100
1.25	100	87.4	94.8	95.4
0.625	98.0	46.7	91.8	90.2
0.3125	89.8	39.3	59.8	61.0
0.15625	48.5	—	—	—

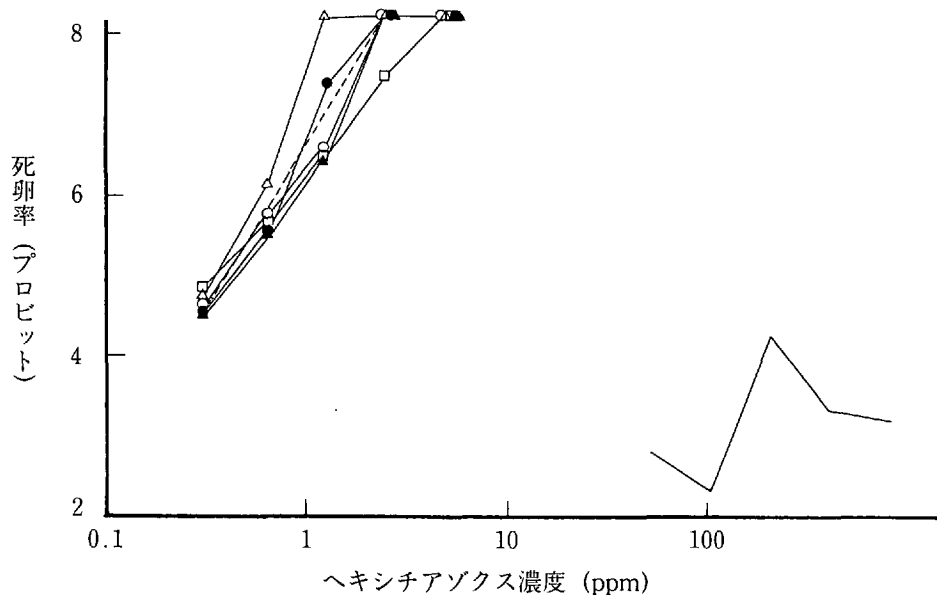
第5表 ミカンハダニのヘキシチアゾクスに対する感受性¹⁾

成分濃度 (ppm)	補正殺卵率 (%)
400	5.0
200	15.3
100	13.0
50	15.0
25	15.4

1) 1988年10月に太良町の現地ハウスで採集したミカンハダニを供試した。

第6表 太良系ミカンハダニの各種薬剤に対する感受性

薬 剤 名	LC ₅₀ (ppm)	LC ₉₅ (ppm)
ヘキシチアゾクス	2000<	2000<
クロフェンテジン	1000<	1000<
B P P	42.1	166.1
酸化フェンブタスズ	333<	333<
アミトラズ	51.9	400<
フルバリネート	32.9	58.6



第1図 各種薬剤に対する感受性の異なる系統のミカンハダニ雌成虫(親世代)のヘキシチアゾクス感受性
感受性系統, ——太良系, ○——○テデオ抵抗性系統, △——△ケルセン抵抗性系統, □——□ジメトエート抵抗性系統, ●——●ベンゾメート抵抗性系統, ▲——▲アミトラズ抵抗性系統

太良系ミカンハダニに対する LC₉₅の値は、BPPSで166.1ppm、フルバリネートで58.6ppmであった。一方、LC₅₀の値がヘキシチアゾクス2,000ppm以上、クロフェンテジン1,000ppm以上、酸化フェンブタスズ333ppm以上、アミトラズ400ppm以上であり、これらの薬剤に対して太良系の感受性は低かった(第6表)。このことと薬剤散布試験の結果から、現地ハウスのミカンハダニは、すでに複数の殺ダニ剤に対して抵抗性を獲得していることが明らかとなった。

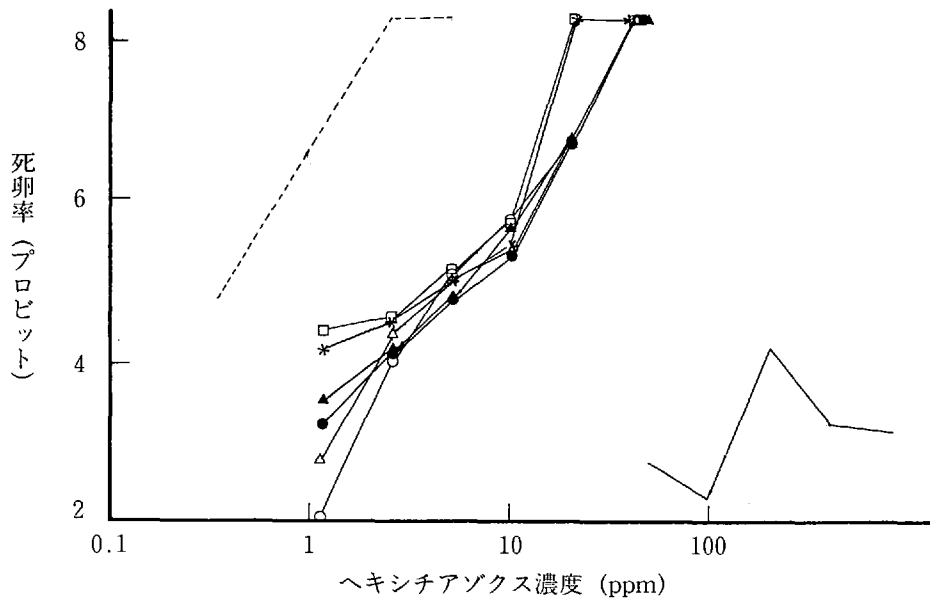
3. ヘキシチアゾクス抵抗性の遺伝

太良系ミカンハダニの親世代に対するヘキシチアゾクスの殺卵効果は低く、試験濃度の範囲では明確なプロビット死卵率線を示さなかった。他の系統のミカンハダニの死卵率はすべて高く、薬剤感受性系統と同様のプロビット死卵率線を示した(第1図)。

F₁世代の感受性検定では、プロビット死卵率線はどの組み合わせでも太良系の親世代より、感受性系統の親世代に近似していた(第2図)。親世代の LC₅₀値(第7表)と F₁世代の LC₅₀値(第8表)を用いてヘキシチアゾクスに対する Stoneの優性度Dを算出したところ、優性度Dの値は各抵抗性系統との F₁世代で

-0.14~-0.36, 感受性系統とのF₁世代で-0.14となり, 供試した各抵抗性系統と感受性系統の間に差は認められなかった。Stoneの優性度Dの値は, D=1で完全優性, 1>D>0で不完全優性, D=0で中間型, 0>D>-1で不完全劣性, D=-1で完全劣性を示す。これらのことから, ヘキシチアゾクス抵抗性の遺伝は不完全劣性であることが示唆された(第9表)。このことは, ヘキシチアゾクスに対する抵抗性の遺伝は, ヘキシチアゾクスで室内淘汰を繰り返したミカンハダニの抵抗性は不完全劣性の単一主導遺伝子に支配されていると推定されたという報告¹⁰⁾と一致した。

F₂世代のヘキシチアゾクスに対する感受性検定では, プロビット死卵率線は, どの組み合わせでも成分濃度



第2図 各種薬剤に対する感受性の異なる系統のミカンハダニ雌成虫と太良系の交雑で得たF₁世代のヘキシチアゾクス感受性

*——*感受性系統×太良系, ○——○テデオ抵抗性系統×太良系, △——△ケルセン抵抗性系統×太良系, ▲——▲アミトラズ抵抗性系統×太良系, - - -感受性系統, ——太良系感受性系統, 太良系は親世代のデータ。

第7表 各種薬剤に抵抗性のミカンハダニ系統の親世代のヘキシチアゾクスに対する感受性

系 統 名	LC ₅₀ (ppm)	LC ₉₅ (ppm)
テデオ抵抗性系統	0.11	0.44
ジメトエート抵抗性系統	0.17	0.54
ケルセン抵抗性系統	0.05	0.30
ベンゾメート抵抗性系統	0.10	0.46
アミトラズ抵抗性系統	0.09	0.62
感受性系統	0.06	0.52
太良系 ¹⁾	800 >	800 >

1) 成分濃度で800ppmまで試験を行ったが, 太良系のLC₅₀およびLC₉₅は算出できなかった。

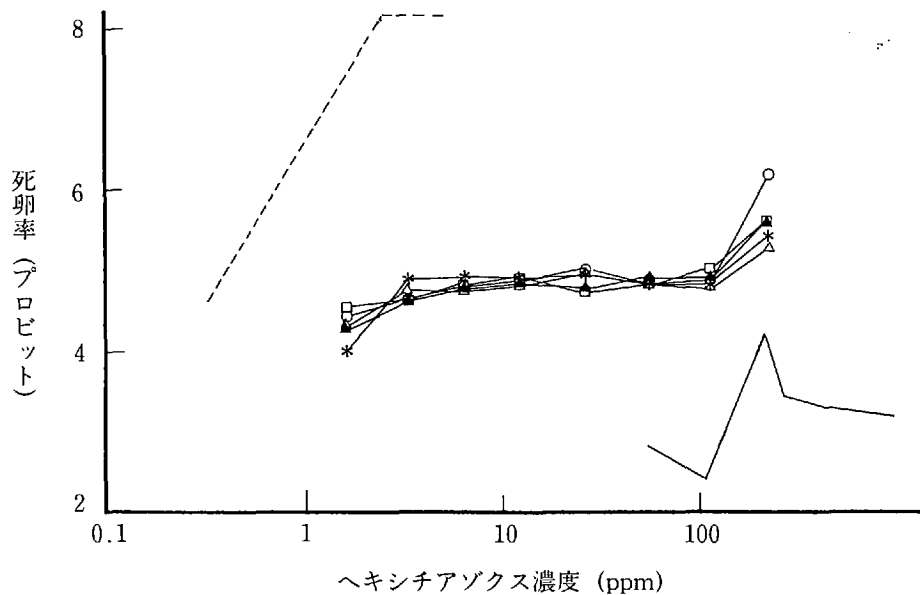
第8表 各種薬剤に抵抗性のミカンハダニ系統の雌と太良系の雄との交配で得たF1世代のヘキシチアゾクスに対する感受性

交配組合わせ		LC ₅₀ (ppm)	LC ₉₅ (ppm)
雌	雄		
テデオンの抵抗性系統	×太良系	4.49	28.71
ジメトエートの抵抗性系統	×太良系	3.48	27.14
ケルセンの抵抗性系統	×太良系	4.95	18.84
ベンゾメートの抵抗性系統	×太良系	5.21	22.08
アミトラスの抵抗性系統	×太良系	5.42	22.84
感受性系統	×太良系	5.55	18.35

第9表 各種薬剤に抵抗性のミカンハダニ系統におけるヘキシチアゾクス抵抗性のStoneの優性度D

交配組合わせ		優性度D
雌	雄	
テデオンの抵抗性系統	×太良系 ¹⁾	-0.24
ジメトエートの抵抗性系統	×太良系	-0.36
ケルセンの抵抗性系統	×太良系	-0.14
ベンゾメートの抵抗性系統	×太良系	-0.20
アミトラスの抵抗性系統	×太良系	-0.18
感受性系統	×太良系	-0.14

1) 太良系の親世代のLC₅₀を2,000ppmと仮定して算出した。



第3図 各種薬剤に対する感受性の異なる系統のミカンハダニ雌成虫と太良系の交雑で得たF₂世代のヘキシチアゾクス感受性

—— 感受性系統×太良系, ○——○ テデオンの抵抗性系統×太良系, △——△ ケルセンの抵抗性系統×太良系, □——□ ジメトエートの抵抗性系統×太良系, ▲——▲ アミトラスの抵抗性系統×太良系, 感受性系統, —— 太良系感受性系統, 太良系は親世代のデータ。

1.5ppm~200ppm でプロビット値がほぼ5 (死卵率50%) となった (第3図)。

供試した薬剤抵抗性系統と感受性系統は、太良系と交配して得た F₁ 世代および F₂ 世代において、プロビット死卵率線に全く差が認められなかったことから、供試したミカンハダニの薬剤抵抗性とヘキシチアゾクス抵抗性との間には交差関係がないと推察された。

また、ヘキシチアゾクスの最後の散布から1年以上経過したハウスから採集したミカンハダニの感受性が低いこと、1年以上隔離飼育した場合でも感受性が回復せず、感受性は長期間回復しないことが示唆された。

摘 要

1. 1986年から使用され始めたヘキシチアゾクス水和剤は、3~4回散布後に早くも防除効果が低下する事例が県内各地のハウス栽培で認められ、その後、露地栽培でも防除効果の低下が認められた。
2. 現地ハウスにおけるヘキシチアゾクスの防除効率は1987年は14、1988年は28と低かった。また、アミトラズ、ケルセンおよび酸化フェンブタスズの防除効率は31以下と低かった。
3. ヘキシチアゾクス施用ハウスで採集したミカンハダニの本剤に対する感受性は低く、補正死卵率は400ppmでも29.2%であった。
4. ヘキシチアゾクス抵抗性の遺伝様式は不完全劣性であったが、本剤に1年以上接触させなかった場合でも感受性は回復しなかった。

引 用 文 献

- 1) Abott, W, S(1925). Journal of Economic Entomology 18 : 265.
- 2) Bliss, C, I(1935). Journal of Economic Entomology 22 : 134.
- 3) 深見順一・上杉康彦・石塚皓造・富沢長次郎編 (1981). 農薬実験法 I. 殺虫剤編. ソフトサイエンス社
- 4) 深見順一・上杉康彦・石塚皓造編 (1983). 薬剤抵抗性—新しい農薬開発と総合防除の指針—. ソフトサイエンス社
- 5) 桑原雅彦 (1984). 植物防疫38(7) : 23-29.
- 6) 農林水産省果樹試験場興津支場編 (1987). カンキツの調査法.
- 7) Stone, B, F(1968). Bull, W. H. O 38 : 325.
- 8) 塚本増久 (1963). 遺伝17 : 24-27.
- 9) 山本敦司・米田握・波多野連平・浅田三津男 (1995). 日本農薬学会誌20(3) : 307-315.
- 10) YAMAMOTO Atsushi, Hiromi YONEDA, Renpei HATANO and Mitsuo ASADA (1995) Journal of Pesticide Sciences 20(4) : 513-519.