報 文

柑橘園におけるミカンハダニのヘキシチアゾクス による圃場淘汰試験*

山本 敦 司, 米 田 渥**, 波多野連平, 浅田三津男

日本曹達株式会社小田原研究所

**日本曹達株式会社磐梯農場

(平成7年4月24日受理)

Field Selection Experiments with Hexythiazox in the Citrus Red Mite, *Panonychus citri* (McGREGOR)*

Atsushi YAMAMOTO, Hiromi YONEDA,** Renpei HATANO
and Mitsuo ASADA

Odawara Research Center, Nippon Soda Co., Ltd., Takada, Odawara 250-02, Japan

**Bandai Agricultural Research Station, Nippon Soda Co., Ltd.,
Yama-gun, Fukushima 969-33, Japan

As a part of hexythiazox resistance risk assessments in the citrus red mite, *Panonychus citri* (McGREGOR), a field selection experiment was performed in a citrus orchard consisting of 24 trees at Haibara Agricultural Research Station (Nippon Soda Co., Ltd.) in Shizuoka Prefecture, Japan. A high level of hexythiazox resistance developed slowly by 18 successive selections (25 ppm) during 6 years, and LC_{50} reached over 8000 ppm. During the first 4 years, 2-3 times of application a year were sufficient for successful control of the mites, whereas as many as 4 times of treatment a year were needed for the last 2 years of the experiment. Differences were observed not only in population density but also susceptibility to hexythiazox among the mite populations on different trees in the citrus orchard used for the test. In this study, hexythiazox resistance seemed to develop patchily in a specific population of citrus red mite on a tree within the orchard.

(Received March 8, 1995; Accepted April 24, 1995)

結 言

ヘキシチアゾクス (hexythiazox: *trans*-5-(4-chlorophenyl)-*N*-cyclohexyl-4-methyl-2-oxo-3-thiazolidine-carboxamide) は、農業上重要な各種ハダニ類に活性を示し、チリカブリダニ (*Phytoseiulus persimilis* ATHIAS-HENRIOT) やハネカクシの一種 (*Oligota* sp.) のような天敵やミツバチ (*Apis mellifera* LINNE)

のような有益昆虫に影響のない選択的殺ダニ剤である。ヘキシチアゾクスはハダニ類の卵、幼虫および若虫に対して殺ダニ作用を示すだけでなく、処理雌成虫の産下卵に対し孵化抑制作用も示す。また、圃場における残効性も長い¹⁾。

ミカンハダニ (*Panonychus citri* McGREGOR) は柑橘に寄生する重要害虫であり、繁殖力が旺盛で、ライフサイクルが短く年間世代数が多いことから^{2,3)} 大きな被害をもたらす。ミカンハダニを防除するため、これまでも多くの殺ダニ剤が用いられてきたが、ハダニ類の生物学的および生態的特性から薬剤抵抗性発達は比較的速く^{4,5)}、抵抗性回避ができず大きな問題となっていた。

* 植食性ハダニ類のヘキシチアゾクス抵抗性に関する研究 (第1報)。

Studies on Hexythiazox Resistance in Phytophagous Mites (Part 1).

ヘキシチアゾクスは1980年に発明され、1985年に日本で登録になった。本化合物は、総合的害虫管理の一端を担う殺ダニ剤として各種ハダニ類の防除に使用され、作用性が異なるため既存の薬剤とは交差抵抗性を示さないものとして位置づけられている¹⁾。しかしながら、ヘキシチアゾクス抵抗性は、山本ら⁶⁾によってミカンハダニで1987年に初めて確認されて以来、リングハダニ (*Panonychus ulmi* Косн)^{7,8)} やナミハダニ (*Tetranychus urticae* Косн)⁹⁾ でも報告された。

筆者らは、抵抗性によるリスクを予測し対応策を考慮するとともに、抵抗性機構を解明するため¹⁰⁾、事前にできるだけ抵抗性に関する情報を得ることが重要と考え、ヘキシチアゾクスが登録される以前から、ヘキシチアゾクス抵抗性研究に着手した。本研究ではその一環として行なった、野外の柑橘園におけるヘキシチアゾクス連用による淘汰試験の結果について報告する。

材料と方法

1. ミカンハダニ

ヘキシチアゾクスによる淘汰試験は、静岡県榛原郡榛原町の日本曹達株式会社榛原農業研究所内の柑橘園で行なった。この柑橘園は130 m²の面積をもち、北東面と南東面には別の柑橘園が隣接しているほかは雑木林に囲まれていた。ここには、10年生の青島温州24本が植樹されていた(Fig. 1)。試験開始前に、農林水産省果樹試験場興津支場柑橘園(静岡県)、静岡県柑橘試験場柑橘園(静岡県)、静岡県榛原郡、静岡県三方原、奈良県、佐賀県、熊本県の各一般農家柑橘園、日本曹達株式会社生物科学研究所柑橘園(神奈川県)からミカンハダニ(卵から成虫)の寄生葉を分譲していただいた。ミカンハダニが増加途上にある1980年5月17日から6月12日に

わたって、分譲されたミカンハダニ寄生葉を試験に用いた柑橘園に放飼した。ミカンハダニが十分増加した(約500頭/100葉)6月20日に、柑橘園の24樹から均等にミカンハダニ(卵から成虫)の寄生葉を採集し、無淘汰系統としてガラス温室内で鉢植えの柑橘幼木(青島温州)を用いて飼育を続けた。

2. ヘキシチアゾクスによる淘汰およびその他の薬剤散布

ヘキシチアゾクス(10% WP)による淘汰として、25 ppmの濃度で20~90 lの薬液を、動力噴霧器を用いて柑橘園内の24樹に均等に散布した(Table 1)。ヘキシチアゾクスによる淘汰は、ミカンハダニ雌成虫の寄生密度が、要防除密度の1葉当り1匹を超えた場合に行なった。また、一般の病害虫防除は極力減らしたが、必要に応じて適宜殺菌剤(thiophanate-methyl等)と殺虫剤(carbaryl等)を慣行の濃度で散布した。

3. 感受性検定

淘汰に伴うヘキシチアゾクス感受性の変化をモニターするため、ヘキシチアゾクスによる淘汰後ハダニ密度が十分増加した時点に感受性検定を行なった。柑橘園の24樹よりあらかじめ選んだ10本の調査樹(Fig. 1)から均等にミカンハダニの寄生葉を採集し、圃場淘汰系統とした。また薬剤感受性の季節的変動を考慮するため¹¹⁾、無淘汰系統のミカンハダニの感受性も同時に検定した。感受性検定は、殺卵試験で行なった。ミカン葉片にミカンハダニの雌成虫を10~15頭接種し、48時間産卵させた後、成虫を除去した。ミカン葉片は、乾燥を防ぐために濡らした脱脂綿とともに、直径9 cmのガラス製のシャーレに収めた。産下卵に対して、所定濃度に希釈したヘキシチアゾクス10%水和剤を、回転散布塔(みずほ理科(株)、名古屋)を用いて散布処理を行なった(2

Fig. 1 Location of a citrus orchard (a) and trees in the citrus orchard (b) used for the field selection experiment with hexythiazox.

(a) The orchard A, 130 m² in size, was used for the experiment. (b) Circles and ones with number represent citrus trees and trees investigated, respectively.

Table 1 Changes of susceptibility to hexythiazox throughout field selections in the citrus red mite.

Selection ^{a)}			Bioassay		Susceptibility to hexythiazox ^{c)}						Resistance ratio ^{e)}	
Number	Data	Vol. ^{b)} (l)	Date	Selected strain			Unselected strain			LC ₅₀	LC ₉₅	
				Slope ^{d)}	LC ₅₀ (ppm)	LC ₉₅ (ppm)	Slope	LC ₅₀ (ppm)	LC ₉₅ (ppm)			
0			1981 May 12	2.72	9.40	38.2	2.63	12.4	51.2	0.76	0.75	
1	1981 Apr. 21	20	Jul. 7	5.24	8.60	17.7	5.22	8.90	18.3	0.97	0.97	
2	Jul. 16	20	Oct. 16	3.59	12.0	34.4	4.07	9.70	24.5	1.2	1.4	
3	Nov. 10	20	1982 Apr. 1	2.64	87.3	366	2.42	30.9	—	2.8	—	
4	1982 Apr. 11	25	Jun. 24	2.25	29.2	158	2.97	10.3	36.8	2.9	4.3	
5	Jul. 2	60	Nov. 24	4.65	66.1	149	2.84	31.3	—	2.1	—	
6	Nov. 25	40	1983 May 12	2.87	42.7	160	5.42	19.4	39.0	2.2	4.1	
7	1983 May 20	80	Oct. 5	2.78	26.9	105	3.88	11.7	31.2	2.3	3.4	
8	Oct. 17	80	1984 Jun. 20	2.76	43.5	171	4.15	11.3	28.1	3.9	6.1	
9	1984 Jul. 1	40	Aug. 6	3.00	24.6	90.4	3.15	7.9	29.3	3.1	3.1	
10	Aug. 15	80	1985 Apr. 24	3.48	51.6	—	3.38	21.2	65.2	2.4	—	
11	1985 May 15	70	Jun. 14	4.42	26.7	59.4	3.04	6.7	23.2	4.0	2.6	
12	Jun. 14	80	Aug. 12	2.31	27.9	145	3.37	8.0	24.6	3.5	5.9	
13	Aug. 16	80	Oct. 21	3.52	49.8	148	3.39	16.0	48.9	3.1	3.0	
14	Oct. 23	80	1986 Apr. 9	3.09	50.7	180	4.11	27.1	68.1	1.9	2.6	
15	1986 May 1	90	Jul. 1	5.02	17.0	37.0	2.84	7.80	29.0	2.2	0.94	
16	Jun. 26	80	Jul. 30	2.47	22.0	102	4.67	5.40	12.0	4.1	8.1	
17	Aug. 1	80	Aug. 25	4.11	34.0	88.0	2.69	2.70	11.0	13	8.1	
18	Sep. 5	80	1987 Apr. 22	—	>8000	>8000	3.05	19.9	70.6	>400	>120	
19	1987 Apr. 17	80	Oct. 28	—	>8000	>8000	2.13	15.0	88.5	>530	>90	

^{a)} Selection with hexythiazox (10% WP) at 25 ppm.^{b)} Sprayed volume (l) of hexythiazox against 24 trees shown in Fig. 1.^{c)} Ovicidal activities were assayed by spraying method.^{d)} Slope of regression equation.^{e)} LC value of selected strain/LC value of unselected strain.

mg/cm², 3 反復)¹²⁾. 処理 7 日後に未孵化卵を調査し, アポットの補正を施した後¹³⁾ プロビット分析を行なった¹⁴⁾.

ヘキシチアゾクス抵抗性の発達が確認された直後に, ミカンハダニのヘキシチアゾクスに対する感受性の寄生樹間における違いを調査した. 樹 No. 1, No. 5, No. 6, No. 7 および No. 9 の各樹に寄生する圃場淘汰系統および無淘汰系統のミカンハダニ雌成虫の産下卵 (0~3 日間) に対して, 上記の方法で散布処理した. 処理 14 日後に生存成虫数を調査し, 次の式で发育阻害力 (産下卵が成虫まで发育できなかった割合) を計算した.

$$\text{发育阻害力} = \frac{[(\text{供試卵数} - \text{生存成虫数}) / \text{供試卵数}] \times 100}{}$$

感受性検定はすべて, 25±1°C, 相対湿度 65±5% および 16 時間日長に設定した恒温室で行なった.

4. 個体群密度調査

ミカンハダニの発生消長を, 1981 年から 1987 年にわたり 3 月から 12 月の間に約 15 日間隔で調査した. 柑橘園の 24 樹よりあらかじめ選んだ 10 本の調査樹 (Fig. 1) から一樹当たり 5 枝 10 葉 (合計 50 葉) を選びそこに寄生している雌成虫数を調査した. データは 100 葉当りの換算値で示した.

結果と考察

1. ヘキシチアゾクス抵抗性発達の経過

ミカンハダニの個体群増加には乾燥 (60~70% R.H.)

Fig. 2 Population fluctuation of citrus red mite in the citrus orchard applied with hexythiazox in 1981-1987.

The census was conducted every 15 days. Data represent average number of adult females of citrus red mite on 10 investigated trees shown in Fig. 1 (b). Arrows (←) with numbered circle indicate selection treatments with hexythiazox.

Table 2 Comparison of susceptibilities to hexythiazox among the citrus red mites collected from different trees in the orchard after 19th selection with hexythiazox.

Strain	Susceptibility to hexythiazox ^{a)}			Resistance ratio ^{c)}	
	Slope ^{b)}	LC ₅₀ (95%CL) (ppm)	LC ₉₅ (95%CL) (ppm)	LC ₅₀	LC ₉₅
Unselected	2.2	1.1 (0.84–1.5)	6.4 (3.4–9.2)	1	1
Tree No. 1	1.3	22 (11–62)	430 (91–880)	20	68
Tree No. 5 ^{d)}	—	>8000 (ND) ^{f)}	>8000 (ND)	>7300	>1300
Tree No. 6	0.6	27 (6.7–190)	>8000 (ND)	25	>1300
Tree No. 7	1.2	42 (16–120)	1000 (72–1800)	38	160
Tree No. 9 (A) ^{e)}	—	>8000 (ND)	>8000 (ND)	>7300	>1300
Tree No. 9 (B)	0.7	520 (83–1600)	>8000 (ND)	470	>1300

^{a)} Control efficacy (Percent of eggs unable to develop to the adult after treatment).

^{b)} Slope of regression equation.

^{c)} LC value of mites from each tree/LC value of unselected mites.

^{d)} Mortalities of mites from Tree No. 5 at 8000 and 2000 ppm were 13 and 2%, respectively.

^{e)} Mortalities of mites from Tree No. 9 (A) at 8000 and 2000 ppm were 41 and 4%, respectively.

^{f)} ND: not determined.

とある程度的高温 (25~26°C) が重要で、この影響を受けて、5~6月頃と10月頃に個体数のピークをもつ年間二山型の発生が基本となる¹⁵⁾。また、ミカンハダニの発育速度は高温期には速くなり、成虫の生存期間は温度が高くなるに従い短くなる^{2,3)}。このようなミカンハダニの生態およびヘキシチアゾクスの殺ダニ特性をふまえると、ヘキシチアゾクスの防除効果は、秋期よりも春~夏期に優れると考えられる。7月中旬の散布で、50~60日間ミカンハダニの発生を抑えた防除効果試験も報告されている¹⁾。

Table 1には、ヘキシチアゾクス淘汰柑橘園におけるミカンハダニの卵のヘキシチアゾクスに対する感受性の変化を、また Fig. 2には、ミカンハダニの発生消長とヘキシチアゾクスの処理時期を示した。

最初の1年間のヘキシチアゾクスの3回散布により、やや感受性が低下する傾向が認められ抵抗性比が約3倍になったが、散布によるミカンハダニの密度低下は観察された。その後1982年から1984年まで合計10回の散布でも抵抗性レベルはほとんど変化せず、散布によるミカンハダニの密度低下も観察された。この2~3倍の感受性低下は、ミカンハダニの一般的な活力の上昇、いわゆる vigor tolerance でヘキシチアゾクスに強くなったことが原因と考えられた。9回目の散布でやや密度回復が速い傾向にあるが、これは散布水量が1984年の基準量の半分 (40 l) であったためと思われた。1985年の11回目の淘汰処理から夏期の散布でも密度抑制期間が短くなり、年間4回の散布頻度になったが、感受性検定の結果では、抵抗性の発達は認められなかった。

1986年にも年間4回の散布が必要となり、ヘキシチアゾクスの密度抑制効果の低下が著しくなった。16回目の散布後では、LC₉₅ 値の抵抗性比が約8倍になり、この頃から抵抗性レベルが徐々に高まった。18回目の淘汰処理では散布による密度低下は認められたものの、後述するように、この散布によって一部の樹に寄生するミカンハダニで、ヘキシチアゾクス抵抗性が発達したことが感受性検定の結果判明した。1987年の19回目の散布では、散布による密度低下は認められなかった。

以上の結果から、本柑橘園におけるミカンハダニのヘキシチアゾクスに対する抵抗性発達は、連続散布という特殊な処理方法にもかかわらず6年間18回散布後に認められ、その速度は遅いものであった。

2. 寄生樹間におけるヘキシチアゾクスに対する感受性の違い

Table 2には、異なる調査樹から採集したミカンハダニのヘキシチアゾクスに対する感受性をまとめた。採集した時期は、ヘキシチアゾクス抵抗性発達が認められた直後の1987年5月22日であった。この調査は、18回目にも予兆が認められたのに加え、19回目のヘキシチアゾクスの淘汰処理による密度抑制効果が樹ごとに異なっていたため、その原因を明らかにする目的で行なったものである。その結果、樹 No. 5に寄生するミカンハダニの感受性をもっとも低く、LC₅₀ 値は8000 ppm以上であった。樹 No. 5におけるミカンハダニの寄生密度は、1986年9月5日の18回目淘汰処理後の10月中旬から増加傾向にあり、19回目の淘汰処理前後でも寄生密度がもっとも高かった (Table 3)。これは、後述

Table 3 Differences of population fluctuation of the citrus red mite among trees in the hexythiazox selected orchard in 1981, 1986 and 1987.

Date of sampling	No. adult females/100 leaves on each tree ^{a)}											Date of selection
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	Ave.	
1981												
Mar. 16	86	52	32	6	14	46	0	84	14	18	35	Apr. 21 (1st)
Apr. 2	88	28	30	2	80	74	8	58	64	6	44	
15	152	110	36	10	280	270	26	204	304	74	147	
30	44	78	86	54	174	158	30	158	180	54	102	
May 15	0	24	2	0	0	2	0	0	8	0	4	
Jun. 1	0	10	0	0	0	0	2	0	0	0	1	Jul. 16 (2nd)
16	2	40	4	4	12	2	2	2	8	6	8	
Jul. 1	6	218	44	58	180	18	30	110	78	152	89	
16	120	1274	540	358	762	172	390	824	728	872	604	
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Aug. 14	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	Nov. 10 (3rd)
31	6	0	0	0	0	4	2	0	0	6	2	
Sep. 14	4	0	0	0	0	12	4	8	0	0	3	
29	44	0	2	0	8	28	52	80	12	0	23	
Oct. 16	190	2	0	10	98	152	176	184	24	20	86	
Nov. 9	398	14	106	12	314	574	388	680	238	64	279	Nov. 10 (3rd)
16	398	38	112	14	396	568	386	838	298	64	311	
Dec. 1	200	18	138	22	402	688	520	1104	442	160	369	
15	144	4	44	10	196	326	452	776	298	114	236	
1986												
Mar. 15	6	8	68	12	26	34	16	26	124	52	37	May 1 (15th)
Apr. 1	10	22	14	6	10	10	8	26	110	76	29	
15	6	10	32	16	4	8	20	30	22	24	17	
30	86	52	138	28	44	130	90	122	534	196	142	
May 14	46	26	106	30	46	170	124	102	266	180	110	
Jun. 2	14	12	28	2	34	72	4	50	20	26	26	Jun. 26 (16th)
16	86	34	120	32	114	210	132	162	202	128	122	
Jul. 2	354	224	700	212	196	836	380	300	512	474	419	
16	82	62	136	36	16	132	100	72	78	44	76	
Aug. 1	44	218	206	102	40	424	260	130	198	170	179	
15	10	26	44	16	8	62	48	34	50	20	32	Aug. 1 (17th)
Sep. 2	50	98	324	102	68	174	102	72	32	36	106	Sep. 5 (18th)
18	6	8	50	2	6	10	0	2	8	6	10	
Oct. 2	2	6	6	2	8	0	0	2	4	2	3	
15	4	0	14	0	2	2	0	2	0	0	2	
31	0	2	4	2	54	2	0	0	6	4	7	
Nov. 14	0	2	64	2	86	6	0	0	10	0	17	
Dec. 3	0	0	46	0	120	32	0	20	68	0	29	
1987												
Mar. 2	34	4	188	4	296	90	48	32	44	6	75	Apr. 17 (19th)
16	16	14	302	14	434	96	124	8	134	26	107	
Apr. 1	26	2	326	8	536	48	16	44	100	82	119	
15	46	56	170	26	844	134	120	34	124	94	165	
30	8	38	54	14	1132	74	48	44	206	114	173	
May 15	38	64	48	28	1316	30	62	254	330	40	221	

^{a)} Location of numbered trees are shown in Fig. 1 (b).

するような環境的な要因よりも、ヘキシチアゾクスに抵抗性を発現したミカンハダニの増殖によって、淘汰処理後に密度が増加したものと考えられた。

興味深いことに、樹 No. 9 の樹 No. 5 に隣接する枝から採集したミカンハダニ (樹 No. 9-A) の感受性もきわめて低く (LC_{50} 値は 8000 ppm 以上)、樹 No. 5 と同程度であった。それに比べ、同じ樹 No. 9 でも樹 No. 5 と反対側の枝から採集したハダニ (樹 No. 9-B) の感受性は、樹 No. 9-A のミカンハダニよりも高かった (LC_{50} 値は 8000 ppm 以上、Table 2)。樹 No. 9 での寄生部位による感受性の差異は、樹 No. 5 からのミカンハダニの移動分散の影響によるものと考えられた。ミカンハダニの個体群密度が低かった樹 No. 1、樹 No. 6 および樹 No. 7 から採集したミカンハダニでは、ヘキシチアゾクス抵抗性レベルは高いものではなかったものの、抵抗性に関して不均質な状態であることが窺われた。それは、これらの調査樹のミカンハダニの抵抗性比が、 LC_{50} 値では 20~40 であるものの LC_{95} 値では 68~1300 以上と大きく、しかも回帰直線の傾き (slope) も小さい傾向にあるからである。

以上の結果から、同一の柑橘園内でも寄生樹ごとにミカンハダニのヘキシチアゾクスに対する感受性が異なっていることが明らかとなった。

3. 寄生樹によるミカンハダニの発生活長の違い

一般にハダニ類の生息場所内での空間分布は一様ではなく^{15,16)}、寄生植物間でも寄生植物内でも分布が異なる場合が多い。ミカンハダニでは⁹⁾、園内における樹間分布は集中分布であり、分布集中度は発生初期に高く、密度が高くなると集中度が低下すること、また薬剤散布後も集中度が高くなることが報告されている。さらに、樹間分布の集中度が、樹内分布に比較して著しく高い傾向にあるが、これは殺ダニ剤を用いた防除における局所的な生き残りに起因するとされている。

本研究では、ヘキシチアゾクスによる淘汰試験を行なった柑橘園において 10 本の調査樹を抽出し、樹ごとのミカンハダニの個体群密度を実験当初の 1981 年 3 月から調査した。ここでは、淘汰試験を開始した当初でありヘキシチアゾクスの感受性低下が認められていない 1981 年と、ヘキシチアゾクスの散布頻度が高くなった 1986 年からヘキシチアゾクス感受性低下が認められた 1987 年までを例として、寄生樹ごとのミカンハダニ雌成虫の個体群密度の変化を Table 3 にまとめた。その結果、柑橘園内のすべての調査樹に対して、一般防除も含め薬剤処理と同じ栽培管理がされているにもかかわらず、どの調査時でも樹ごとにミカンハダニの個体群密度

の差が観察された。また、ミカンハダニの寄生密度の高い樹が特定されることもなかった。

このようにミカンハダニの発生活長が同一園内でも寄生樹によって異なる理由は、淘汰薬剤に対する感受性差や散布むらによる生き残り個体数の差に加え、移動・分散を引き起こす要因が、寄生樹ごとに空間的にも時間的にも異なっているためと思われる。一般的にいわれるように、樹を取り巻く微気象等の環境条件、季節やハダニの加害状態によって左右される食物としての樹の栄養生理状態^{17,18)}や樹勢などは、同一園内でも樹ごとに異なっていると考えられる。さらに天敵の分布や種類¹⁶⁾もミカンハダニの園内分布に影響すると思われる。本淘汰圃場ではミカンハダニの天敵として少なくとも、ハダニアザミウマ (*Scolothrips takahashii* PRIESNER)、ヒメハダニカブリケシハネカクシ (*Oligota kashmirica benefica* NAOMI)、ハダニカブリケシハネカクシ (*Oligota yasumatsui* KISTNER)、およびハモリダニ (*Anystis baccarum* LINNAEU) が確認された。

ハダニ類の個体群密度の変異が樹 (植物) 内よりも樹 (植物) 間で大きいことはこれまでに報告されており^{16,19)}、野外の柑橘園ではミカンハダニにとっての生息場所の環境の異質性が常に存在することが示唆された。これは、ミカンハダニのヘキシチアゾクス抵抗性発達にも影響する生物的/生態的要因の一つとも考えられる。したがって、同一柑橘園内でもミカンハダニの発育によって好適な樹や個体群密度の高い樹から、最初に抵抗性が発達してくる可能性も否定できない。よって、ミカンハダニのヘキシチアゾクス抵抗性対策の一環として感受性をモニタリングする際には、ミカンハダニの樹ごとの個体群密度と感受性との関係にも留意する必要があると思われる。

4. 淘汰柑橘園におけるヘキシチアゾクス抵抗性発達の特徴

淘汰試験を行なった柑橘園でのヘキシチアゾクス抵抗性発達の様相の特徴として、次の 2 点が挙げられる。第 1 点は、抵抗性発達速度が遅かったことである。第 2 点は、抵抗性集団が柑橘園内で一斉に出現したのではなく、局所的に一部の集団で高い抵抗性が発達したことである。

殺虫剤殺ダニ剤抵抗性発達は、薬剤に対する適応現象であり避けられないものと考えられている。そしてそれは、遺伝的、生物学的および防除的要因の影響を受ける^{20,21)}。ハダニ類はとくに、他の生物に比べ抵抗性発達に関与する生物学的および生態的要因を多くもっていると考えられる^{4,5)}。たとえば、産雄単為生殖を行なうこと、

移動性が低く殺ダニ剤を処理した生息場所に留まりやすいこと、および繁殖速度が速いことなどである。

しかし、淘汰試験を行なった柑橘園のミカンハダニではヘキシチアゾクス抵抗性発達速度が遅かった。その原因として次のことが考えられる。まず第一に、淘汰試験を開始した1981年当時では、それまでにヘキシチアゾクスのような新規な脱皮阻害剤が用いられたことがなかったため、ヘキシチアゾクス抵抗性遺伝子の初期頻度が、おそらく非常に低かったのであろう。第2に、ヘキシチアゾクスのみの連続散布を基本として他の殺ダニ剤は使用せず、病害虫防除を極力減らした淘汰方法にも原因があるのかもしれない。第3に、遺伝的な側面からも次のように考えられる。ミカンハダニのヘキシチアゾクス抵抗性は、不完全劣性の遺伝をする⁹⁾ため、抵抗性のヘテロ接合体をもつ個体（以下、ヘテロ個体）のヘキシチアゾクスに対する感受性は、感受性系統に近い。たとえば、卵から成虫に至るまでの发育阻害力の LC_{95} 値は、感受性系統と抵抗性系統でそれぞれ0.4 ppmと8000 ppm以上であり、一方、ヘテロ個体では4~16 ppmであった。淘汰試験を行なった柑橘園のミカンハダニの集団にとって、25 ppmのヘキシチアゾクスの散布は高い淘汰圧であり、感受性個体とともに淘汰過程で生じるヘテロ個体をかなり殺すことができたとも考えられる。第4に、淘汰試験を行なった柑橘園は野外にあるため、ヘキシチアゾクスを散布していない隣接した柑橘園から、ヘキシチアゾクス感受性ミカンハダニが淘汰試験を行なった柑橘園へ飛び込むことも可能であった。したがって、感受性個体がヘテロ個体や抵抗性個体と自由に交配したため、抵抗性のホモ個体がなかなか出現できなかった可能性もある。少なくとも以上の原因から、ミカンハダニの集団中に抵抗性遺伝子がなかなか蓄積されず、結果として抵抗性発達が遅かったと推察された。理論的にも、Tabashnik & Croft²²⁾が、コンピュータシミュレーションによって、抵抗性遺伝子の初期頻度が低い場合や、感受性個体群の移入がある場合、さらに散布濃度が高くヘテロ個体群も感受性個体群も殺してしまうような場合には、抵抗性発達が遅いと予測している。

淘汰試験を行なった柑橘園において、ヘキシチアゾクス抵抗性集団が柑橘園内で一斉に出現したのではなく、局所的に一部の集団で高い抵抗性が発達したが、この原因は次のように推察される。一般に、ハダニ類は、世代の分離が明瞭でなく、移動性も小さく、近親交配も比較的自由に行なわれるため^{4,9)}、狭い生息場所で血縁度の高い集団を形成しやすい。さらに、ハダニ類は産雄単為生殖で繁殖し、この繁殖システムは両性生殖と比べ、薬

剤抵抗性をより速く発達させると予測されている²³⁾。また、産雄単為生殖を行なうハダニ類では、遺伝的変異が集団間では大きく集団内では小さいと考えられている^{4,23)}。したがって、ヘキシチアゾクスの淘汰処理に伴い、いったん血縁度の高いごく小さな集団でヘキシチアゾクスに対する抵抗性遺伝子が蓄積され始めると、産雄単為生殖によってその頻度が急速に高まり、抵抗性個体が出現したのであろう。その結果、局所的な抵抗性発達が観察されたものと推察された。他の殺ダニ剤抵抗性発達においても同様の現象が生じているものと思われるが、これまでに本報告のような調査例は報告されていない。

5. 抵抗性対策

ミカンハダニの殺ダニ抵抗性発達速度には、さまざまな要因^{20,21)}が関与しているため、一概に予測するのは困難であり地域差や柑橘園による差があるのが普通である¹⁰⁾。たとえば、露地の柑橘園とハウスの柑橘園とでは、ミカンハダニの発生活長が大きく異なるし、ヘキシチアゾクスの残効力も異なるであろう。また、柑橘の栽培地域ごとに薬剤の散布歴が異なっているため、ミカンハダニの殺ダニ剤に対する抵抗性スペクトラムや代謝能力も異なるものと考えられる。さらに、ヘキシチアゾクス抵抗性遺伝子の初期頻度にも地域差があると思われる。このように、抵抗性発達に関与する生物学的、遺伝的要因および防除的要因の一部は、使用者による制御が不可能である。本淘汰試験でも明らかになったように、抵抗性の発達は同一園内でも局所的に発現することが予想されるため、ミカンハダニの寄生密度が高い樹をあらかじめ知り対処しておくことは、抵抗性対策の一助になるであろう。また、本研究ではヘキシチアゾクスの連用散布という特殊な条件下でありながら抵抗性発達は遅かった。しかし一般的に抵抗性発達を回避および遅延させるためには、ヘキシチアゾクスの連続散布は極力避け、ヘキシチアゾクスの防除効果をもっとも期待される初夏から夏期の年1回使用を行なうことが基本的に薦められる。そのためには、それぞれの栽培地での有効薬剤をあらかじめ知り、ヘキシチアゾクスと作用機構の異なる薬剤とのローテーション散布や混合による散布を行なうことが、現実的で有効な抵抗性対策であると思われる。また、柑橘園の各種病害虫防除には、天敵類に影響の少ない薬剤を使用することも重要であると考えられる。

要 約

柑橘園におけるミカンハダニのヘキシチアゾクス抵抗性発達の様相を把握し、抵抗性対策を考えるため、静岡県榛原郡の日本曹達株式会社榛原農業研究所内の24樹

からなる柑橘園において淘汰試験を行なった。6年間で18回のヘキシチアゾクス連用散布(25 ppm)で、 LC_{50} 値が8000 ppm以上の高いレベルに抵抗性が発達した。連続散布という特殊な処理体系でありながら抵抗性発達速度は遅かった。最初の4年間は年2~3回の散布でミカンハダニの密度抑制が可能であったが、次の2年間で効果は低下し年4回もの散布を必要とした。また、同一園内でも樹ごとにミカンハダニの発生密度が異なるだけでなく、ヘキシチアゾクスに対する感受性も異なり、ヘキシチアゾクス抵抗性は、特定の樹に寄生するミカンハダニの集団で局所的に発達したと考えられた。

本研究の実施にあたり、ミカンハダニを分譲していたいた農林水産省果樹試験場の是永龍二博士および静岡県柑橘試験場の古橋嘉一博士に厚くお礼申し上げる。また有益な助言、ご教示ならびに本稿の校閲をいただいた名古屋大学農学部教授 宮田 正博士、日本曹達株式会社小田原研究所生物研究所および榛原農業研究所の所員一同に感謝の意を表する。

引用文献

- 1) 山田富夫・帰山 稔・松井宣夫・米田 渥: 農薬誌 **12**, 327 (1987)
- 2) 安田 誠: 応動昆 **26**, 52 (1982)
- 3) 古橋嘉一: 静岡県柑橘試験場特別報告第4号 56 pp., 1980
- 4) 浅田三津男: 農薬誌 **3**, 61 (1978)
- 5) B. A. Croft & H. E. Van De Baan: *Exp. Appl. Acarol.* **4**, 277 (1988)
- 6) 山本敦司・米田 渥・芳村綾子: 日本農薬学会第13回大会講演要旨集, p. 73, 1988
- 7) W. H. Reissig & L. A. Hull: *J. Econ. Entomol.* **84**, 727 (1991)
- 8) W. G. Thwaite: *Exp. Appl. Acarol.* **11**, 73 (1991)
- 9) G. A. Herron, V. Edge & J. Rophail: *Exp. Appl. Acarol.* **17**, 433 (1993)
- 10) J. Keiding: "Pesticide Resistance: Strategies and Tactics for Management," ed. by Committee on Strategies for the Management of Pesticide Resistant Pest Population, Nat. Acad. Press, Washington, D.C., pp. 279-297, 1986.
- 11) 真梶徳純: 植物防疫 **20**, 57 (1966)
- 12) 菅原寛夫・真梶徳純・斎藤哲夫・田中 学: 果樹ハダニ類の薬剤抵抗性に関する研究, 日本植物防疫協会, pp. 11-24, 1973
- 13) W. S. Abbott: *J. Econ. Entomol.* **18**, 265 (1925)
- 14) D. J. Finney: "Probit Analysis," Cambridge Univ. Press, London, 383 pp., 1971
- 15) 中尾舜一: ダニ学の進歩 その医学・農学・獣医学・生物学にわたる展望, 佐々 学・青木淳一編, 北隆館, pp. 251-278, 1977
- 16) M. W. Sabelis: "Spider Mites. Their Biology, Natural Enemies and Control. Volume 1A," ed. by W. Helle & M. W. Sabelis, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, pp. 337-350, 1985
- 17) A. Crooker: "Spider Mites. Their Biology, Natural Enemies and Control. Volume 1A," ed. by W. Helle & M. W. Sabelis, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, pp. 149-163, 1985
- 18) A. Tomczyk & D. Kropczynska: "Spider Mites. Their Biology, Natural Enemies and Control. Volume 1A," ed. by W. Helle & M. W. Sabelis, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, pp. 317-329, 1985
- 19) V. P. Jones & M. P. Parrella: *J. Econ. Entomol.* **77**, 75 (1984)
- 20) G. P. Georgiou & C. E. Taylor: *J. Econ. Entomol.* **70**, 319 (1977)
- 21) G. P. Georgiou & C. E. Taylor: *J. Econ. Entomol.* **70**, 653 (1977)
- 22) B. E. Tabashnik & B. A. Croft: *Environ. Entomol.* **11**, 1137 (1982)
- 23) R. H. Crozier: "Spider Mites. Their Biology, Natural Enemies and Control. Volume 1A," ed. by W. Helle & M. W. Sabelis, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, pp. 201-222, 1985