

점박이응애의 Etoxazole저항성 유전과 안전성 및 교차저항성

이소영 · 안기수¹ · 김철수² · 신상철² · 김길하*충북대학교 농과대학 식물외과과, ¹충북농업기술원 농업환경과, ²국립산림과학원 산림병해충과Inheritance and Stability of Etoxazole Resistance in Twospotted Spider Mite, *Tetranychus urticae*, and Its Cross ResistanceSo-Young Lee, Ki-Su Ahn¹ Chul-Su Kim², Sang-Chul Shin² and Gil-Hah Kim*

Dept. of Plant. Medicine, Coll. of Agri. Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Republic of Korea

¹Chungbuk Provincial ARES, Cheongwon, 363-880, Republic of Korea²Division of Forest Insect Pests and Disease, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Republic of Korea

ABSTRACT : Development of 3,700 folds resistance to etoxazole was found in the population of twospotted spider mite, *Tetranychus urticae*, collected from rose greenhouses in Buyo, Chungnam Province in August 2000. This population was selected for 3 yr with etoxazole to get 5,000,000 folds increase in resistance as compared to susceptible (S) strain. The etoxazole resistance was stabilized for 16 months under the condition of no acaricide application. Inheritance and cross resistance in etoxazole to some acaricides of the etoxazole resistance strain (R) were investigated. There were differences of susceptibility in the etoxazole concentration-mortality relationships between F₁, F₂ progenies obtained from reciprocal cross with the S and R strains (R_♀ × S_♂, S_♀ × R_♂). Degrees of dominance were 0.98 and 0.98 in F₁ and F₂ progenies of R_♀ × S_♂, and -0.97 and -0.68 in F₁ and F₂ progenies of S_♀ × R_♂, respectively. Inheritance in F₁ and F₂ progenies of R_♀ × S_♂ were complete dominant. However F₁ and F₂ progenies of S_♀ × R_♂ were incomplete recessive. These results suggest that inheritance of etoxazole resistance is controlled by a complete dominance. The R strain exhibited cross resistance to acequinocyl and emamectin benzoates in adult females, and milbemectin, amitraz and pyridaben in eggs. However they showed negatively correlated cross-resistance to bifenazate, a carbazate acaricide. These results may indicate bifenazate could be useful for the control of etoxazole resistant *T. urticae* population.

KEY WORDS : *Tetranychus urticae*, Inheritance, Stability, Cross resistance

초 록 : 2000년 8월 충남 부여의 장미재배지에서 채집한 점박이응애가 etoxazole에 대해 3,700배의 저항성을 나타내었다. 이 집단을 실내에서 3년 동안 etoxazole로 100회 이상 도태하여 5,000,000배 이상의 저항성계통을 얻었다. 이 계통은 약제처리 없는 조건하에서 1년 이상 경과된 후에도 암컷 성충의 etoxazole에 대한 저항성 수준은 변화가 없었다. 이 저항성계통의 유전과 교차저항성 유무를 조사하였다. 감수성계통 수컷과 저항성계통 암컷을 상호 교배(R_♀ × S_♂)하여 얻은 F₁과 F₂의 우성도는 각각 0.98과 0.98로 완전우성이었으며, S_♀ × R_♂으로 상호 교배하여 얻은 F₁과 F₂의 우성도는 각각 -0.97과 -0.68로 불완전열성이었다. 따라서 etoxazole저항성을 지배하는 유전인자는 수컷보다 암컷성충에 의존하여 완전우성에 의해 지배되는 것으로 나타났다. 이 저항성 성충은 acequinocyl과 emamectin benzoate에 대해 각각 10.4배와 14.0배의 교차저항성을 나타내었고, 알은 milbemectin,

*Corresponding author. E-mail: khkim@trut.chungbuk.ac.kr

amitraz, pyridaben에 대해 각각 52.0배, 14.6배, 9.4배의 교차저항성을 나타내었다. 한편 카바제이트계 살비제인 bifenazate에 대해서는 역상관교차저항성을 나타내었으므로, etoxazole에 저항성을 보이는 농가에서는 bifenazate를 교호살포하면 점박이응애를 효율적으로 방제할 수 있을 것이다.

검색어 : 점박이응애, 유전, 안전성, 교차저항성

점박이응애(*Tetranychus urticae*)는 기주범위가 넓고 약제에 대해 저항성 발달이 빠른 특성을 가지고 있기 때문에 우리나라 뿐 아니라 전 세계적으로 농작물의 중요한 해충으로 알려져 있다(Asada, 1978; Ho, 2000; Takafuji *et al.*, 2000; Lee *et al.*, 2003).

Etoxazole은 옥사졸린계 살비제로서 *Tetranychus*속과 *Panonychus*속 응애류의 성장을 저해하여 독작용을 나타낸다(Tomlin, 2000). 특히 알과 유·약충에 높은 활성을 나타내나, 성충에 대한 살비력이 낮고 약제 저항성 발달이 매우 빠르다(Tomlin, 2000; Kobayashi *et al.*, 2001; Lee *et al.*, 2003). 이 약제가 국내에는 1998년에 Zoom이라는 상품명으로 등록되었으나, 장미 점박이응애약제로는 등록되지 않았다(Anonymous, 2003). 그러나 Lee *et al.* (2003)은 전국 8개 장미재배지의 저항성 발달수준을 조사한 결과, 특히 충남 부여지역에서 채집한 점박이응애가 etoxazole에 대해 3,700배의 높은 저항성을 나타냈다고 보고하였다. 본 실험은 이 저항성계통을 실험실에서 3년간 etoxazole을 100회 이상 도태하면서 etoxazole에 대한 저항성 발달 정도, 저항성 유전, 저항성의 안정성 및 교차저항성의 유무를 조사하고, 역상관교차저항성을 보이는 약제를 탐색하여 점박이응애방제의 기초자료로 제공하고자 수행하였다.

재료 및 방법

시험약제

본 실험에 사용된 살비제는 시판되고 있는 abamectin (1.8% EC), acequinocyl (15% SC), amitraz (20% EC), bifenazate (13.5% SC), emamectin benzoate (2.15% EC), etoxazole (10% SC), milbemectin (1% EC), pyridaben (20% WP), spiroticlofen (22% SC) 등 9종이었다.

시험곤충 및 저항성 선발

시험에 사용된 감수성계통(S)은 한국화학연구소에

Table 1. Etoxazole susceptibility of resistance (R), original Buyo (OB) and susceptible (S) of *T. urticae* strains

Strain	LC ₅₀ (ppm)(95% CL ^a)	Resistance ratio (RR) ^b
R	> 5,000	> 5,000,000
OB ^c	3.7 (1.1-6.3)	3,700
S	0.0011 (0.0008-0.0014)	1

^a) 95% Confidence limits

^b) Resistance ratio = LC₅₀ of R strain or F₁ or F₂/LC₅₀ of S strain

^c) Original Buyo strain

서 분양받아 1998년부터 충북대학교 식물위학과 곤충사육실에서 약제처리없이 누대 사육한 것을 사용하였다. Etoxazole 저항성계통(R) 점박이응애는 장미재배 지역 중 가장 높은 저항성비(3,700배)를 나타낸 부여에서 2000년 8월에 채집한 것을 대상으로 하였다(Lee *et al.*, 2003). 이 R계통을 실내에서 3년 동안 etoxazole을 LC₂₀₋₃₀ 농도로 희석하여 10일 간격으로 분무하였다. 100회 정도 처리하였을 때 저항성비가 5,000,000배 이상되었고, 이를 저항성계통으로 하여 실험에 이용하였다(Table 1). 실내 사육조건은 온도 25-27°C, 광주기 16L:8D, 상대습도 40-60%가 되도록 조절하였다.

살비제 처리방법

약제를 아세톤에 녹여 농도별로 희석한 후 9배의 Triton X-100 100 ppm 수용액과 혼합하여 처리약액을 조제하였다. 직경 5.5 cm의 페트리디쉬 내에 물을 충분히 적신 탈지면을 깔고 그 위에 직경 2.5 cm로 자른 강남콩 잎 절편을 올려 놓고, 부드러운 붓으로 점박이응애 성충을 30마리씩 접종하였다. 후드 내에서 소형 분무기로 응애와 함께 강남콩잎이 충분히 젖도록 처리약액을 살포한 후 음건시켰다. 약제 처리 후 온도 25-27°C, 광주기 16L:8D, 상대습도 40-60% 항온기 조건에 보관하면서 처리는 24, 48시간 후의 살비율을 조사하였다. 실험은 3반복으로 수행하였다.

산란효과는 직경 5.5 cm의 강남콩 잎 절편으로 암컷성충 40-50마리를 접종하여 5시간 동안 산란받은 후 성충을 제거하였다. 알이 산란되어 있는 잎 절편을

약액에 10초 동안 침지하여 후드 내에서 음건시켰다. 처리 후 온도 25-27°C, 광주기 16L:8D, 상대습도 40-60% 조건에 보관하면서 7일 동안 부화율을 조사하였다. 성충의 살비율과 알의 살란율조사 결과는 Finney (1971)의 probit계산법으로 LC₅₀값을 구하였다.

저항성의 안정성시험

부여에서 채집한 점박이응애를 2000년 8월부터 실내에서 etoxazole을 처리하여 저항성 수준을 높여오다가 2002년 4월부터(이때 알에 대한 살비율이 2,000 ppm에서 5-10%임) 2003년 9월까지 1년 4개월 동안 5회에 걸쳐 etoxazole 1,000 ppm과 2,000 ppm으로 알의 감수성 변화를 조사하였다.

교배시험

R_♀ × S_♂과 R_♂ × S_♀으로 상호교배하여 F₁을 얻었다. 제2약충기(deutonymph)에 처녀암컷을 분리하고, 우화한 암컷 100개체에 수컷 50마리를 접종하여 상호 교배방법으로 집단교미시켜 얻은 1, 2세대의 알을 이용하였다. 미수정난(수컷출현)을 방지하기 위하여 수컷을 많이 접종하였다.

저항성 유전시험

실내감수성계통과 etoxazole저항성계통 및 상호교배로 얻은 F₁과 F₂에 대한 etoxazole 저항성 유전시험은 살비제 처리방법과 같은 방법으로 처리, 분석하였다. 살비제 저항성의 차세대 유전의 우·열성 정도를 나타내는 우성도(degree of dominance, D)는 Stone (1968)의 방법을 이용하였다.

즉, $D = (2\text{Log}X_2 - \text{Log}X_1 - \text{Log}X_3) / (\text{Log}X_1 - \text{Log}X_3)$ 의 식을 이용하였다. 여기서 X₁ = 저항성 LC₅₀값, X₂ = 교잡종계통(F₁, F₂)의 LC₅₀값, X₃ = 감수성 LC₅₀값이다. 계산된 값에 따라 저항성의 우성 및 열성유전은, D = 1 완전우성, 1 > D > 0 불완전우성, D = 0 중간성, 0 > D > -1 불완전열성, D = -1 완전열성으로 구분하였다 (Georghiou, 1969).

교차저항성 시험

교차저항성 검정은 살비제 처리 방법과 동일한 방법으로 실시하였다. Abamectin 등 8종에 대한 etoxazole저항성계통의 LC₅₀ (ppm)을 구하여 살비제 종류

별 교차저항성 정도를 검토하였다.

결과 및 고찰

안정성

Etoxazole 저항성계통에 대해 약제처리가 없는 즉, 역도태조건에서 1년 4개월 동안 알의 감수성변화를 조사하였다(Fig. 1). 역도태를 시작하기 직전(2002년 4월 21일)에 1,000 ppm과 2,000 ppm 처리에 의한 부화 억제율은 각각 3.0%와 7.5%이었으며, 역도태를 시작한지 1년 4개월 후(2003년 9월 4일)에도 각각 9.3%와 16.3%로 감수성변화가 거의 없었다. 따라서 이 계통을 etoxazole 저항성이 안정화하였다고 판단되었기 때문에, 이 계통을 이용하여 저항성유전 양식과 교차저항성 실험을 수행하였다. 이 계통이 감수성으로 복원되기까지 어느 정도 시간이 소요될 것인가에 대해서는 정확하게 판단할 수 없지만 지금까지 다른 약제들의 보고된 결과를 참고해 본다면 5-6년의 기간이 필요할 것으로 보인다(Overmeer et al., 1975; Kim et al., 1995; Song et al., 1999).

Kim et al. (1995)은 dicofol저항성계통 점박이응애(저항성비 23.0배)는 약제도태가 없는 조건하에서 저항성 수준이 1년이 경과된 후에도 변화가 없었고, 3년이 지난 후에도 10.7배로 서서히 감수성 쪽으로 기울어 안정하다고 하였다. 또 Overmeer et al. (1975)은 온실 장미에 서식하는 dicofol 저항성계통 점박이응애는 약제를 7년간 사용하지 않아도 감수성이 거의 복원되지 않았다고 하였다. 반대로 약제에 대한 열성유전을 갖는 저항성 점박이응애는 감수성으로의 복원이 빠르다는 보고도 있다(Inoue, 1979, 1980; Denney, 1988).

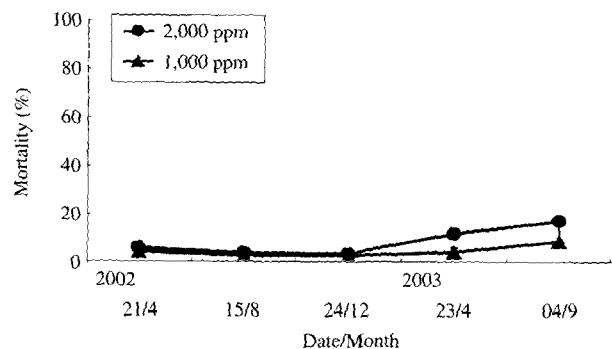


Fig. 1. Change in etoxazole susceptibility of eggs in reverse selection of etoxazole resistant strain of *T. urticae*.

Table 2. Inheritance of etoxazole resistance in *T. urticae* eggs

Strain & Cross	n	LC ₅₀ (ppm)	Slope ±SE	RR ^{a)}	DD ^{b)}
S strain	943	0.0011	1.2 ± 0.12	1	-
R strain	2061	> 5,000	-	> 5,000,000	-
F ₁ (S♀ × R♂)	997	0.0014	0.8 ± 5.30	1.3	-0.97
F ₁ (R♀ × S♂)	1869	4447	0.3 ± 5.40	4,042,727	0.98
F ₂ (S♀ × R♂)	1912	0.013	0.6 ± 4.83	11.8	-0.68
F ₂ (R♀ × S♂)	998	4297	0.5 ± 0.11	3,906,363	0.98

^{a)} Resistance ratio = LC₅₀ of R strain or F₁ or F₂/LC₅₀ of S strain
^{b)} Degree of dominance

Etoxazole 저항성의 유전양식

감수성계통에 대한 etoxazole의 LC₅₀ (ppm)값은 알에 대해서 0.0011 ppm이었지만 저항성계통은 충남 부여에서 2000년 8월 채집할 당시에 3.7 ppm으로서 저항성비가 3,700배이었고, 이것을 실내에서 3년 동안 etoxazole로 선발한 후에는 > 5,000 ppm으로 저항성비는 5,000,000배 이상 발달하였고(Table 1), 저항성도 유전적으로 안정되었다(Fig. 1). 이러한 계통을 사용하여 etoxazole 저항성의 유전양식을 검토한 결과는 Table 2 및 Fig. 2와 같다.

점박이응애의 etoxazole 선발계통(R)과 감수성계통(S) 및 F₁ (S♀ × R♂, R♀ × S♂), F₂ (S♀ × R♂, R♀ × S♂) 알의 etoxazole에 대한 LC₅₀ (ppm), 저항성비, 우성도를 표 2에 나타내었다. S♀ × R♂의 교배에서 얻어진 F₁, F₂의 저항성비는 각각 1.3배와 11.8배이었고, 우성도는 각각 -0.97과 -0.68로 불완전열성이었다. 그러나 R♀ × S♂의 교배에서 얻어진 F₁과 F₂의 저항성비는 각각 > 4,042,727배와 > 3,906,363배이었고, 우성도는 각각 0.98과 0.98로 완전우성이었다. S계통과 R계통 및 상호교배에 의한 F₁세대와 F₂세대의 알의 etoxazole에 대한 log농도-사망률관계에서(Fig. 1), S♀ × R♂의 F₁과 F₂의 회귀직선이 감수성쪽으로 기울어져 있어 열성이었고, R♀ × S♂의 F₁, F₂의 회귀직선은 저항성쪽으로 치우쳐 있어 우성임을 알 수 있었다. Etoxazole저항성 점박이응애의 유전양식은 교배방식에 따라 약제 감수성에 큰 차이를 보이고, 지배유전인자는 수컷보다는 암컷성충에 의존적으로 유전되며 완전우성임을 알 수 있었다. 그러나 Kobayashi *et al.* (2001)은 etoxazole에 대한 점박이응애의 저항성이 완전열성 유전하는 단일유전자에 의해서 지배된다고 하여, 본 실험의 결과와 차이가 있었다. 이러한 상반된 결과는, 응애집단의 저항성 발달수준과 저항성 유전인자의 빈

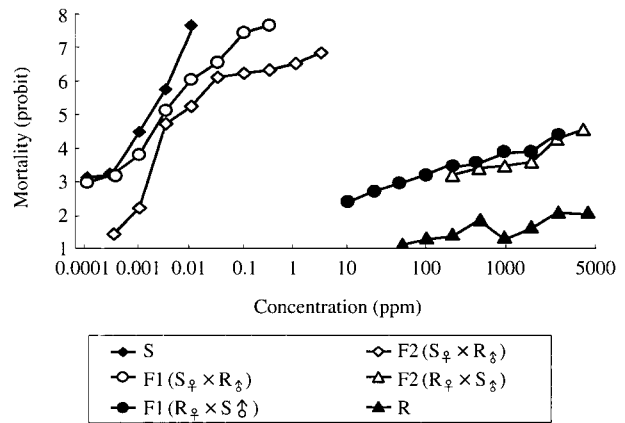


Fig. 2. Concentration mortality lines to etoxazole in F₁ and F₂ eggs from the crosses between the resistance and susceptible strains of *T. urticae*.

도 및 저항성의 안정성 등의 차이에서 오는 결과라고 추측되나 정확한 원인은 알 수 없다. 이와 유사한 결과에 관해서 Martinson *et al.* (1991)은 dicofol 저항성이 야외조건에서는 불완전우성인 반면에 실내 점검에서는 열성유전이라 하였다.

약제 저항성의 유전양식은 저항성의 발달속도를 조정하는 중요한 요인의 하나이다. 지금까지 많은 살비제에 대해 저항성의 유전양식이 검토되었으며, chlordimeform (Kuwahara, 1977), benzomate, amitraz (Inoue, 1984), binapacryl (Cranham, 1982), tetradifon (Cranham, 1982; Park *et al.*, 1996), dicofol (Overmeer and Van Zon, 1973; Kim *et al.*, 1995), hexythiazox (Yamamoto *et al.*, 1995), tebufenpyrad, fenpyroximate, pyridaben (Goka, 1998) 등이 보고되었다.

Georghiou and Talyor (1976)는 일반적으로 저항성 발달속도가 우성이 열성보다 빠르고, 저항성 집단이 커지기 쉽다고 하였다. 본 실험에서 상호교배만으로 유전양식을 분석하였으나, 좀더 명확히 구명하기 위하여 역교배, 연속교배 및 적응도를 통한 종합적인 검토가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

교차저항성

Table 3과 같이 감수성계통에 대한 etoxazole저항성 계통의 저항성비가 5,000,000배 이상인 이 계통에 대한 8종 살비제의 교차저항성 유무를 검토한 결과는 Table 3과 같다. 교차저항성 관계는 저항성비에서 어느 정도 값으로 할 것인가에 대한 명확한 기준은 없

Table 3. Cross resistance of etoxazole resistant (R) and susceptible (S) strains of *T. urticae* to acaricides

Acaricide	Stage tested	LC ₅₀ (ppm) (95% CL ^{a)})		RR ^{b)}
		R strain	S strain	
Abamectin	E ^{c)}	11.0 (8.7-13.5)	10.7 (9.3-12.1)	1.0
	A ^{d)}	0.10 (0.09-0.12)	0.07 (0.06-0.08)	1.4
Acequinocyl	E	4.0 (3.4-4.4)	1.9 (1.6-2.3)	2.1
	A	29.1 (27.8-30.7)	2.8 (2.5-3.1)	10.4
Amitraz	E	11.6 (9.4-14.0)	0.79 (0.66-0.93)	14.6
	A	—	26.7 (22.4-31.4)	—
Bifenazate	E	4.5 (2.9-5.4)	6.9 (5.4-8.6)	0.65
	A	0.12 (0.01-0.15)	1.2 (1.0-1.3)	0.1
Emamectin benzoate	E	0.50 (0.38-0.64)	6.1 (4.9-7.6)	0.08
	A	0.56 (0.51-0.62)	0.04 (0.02-0.06)	14.0
Milbectin	E	0.52 (0.45-0.64)	0.01 (0.008-0.014)	52.0
	A	0.15 (0.11-0.18)	0.14 (0.12-0.18)	1.1
Pyridaben	E	1.7 (1.4-2.0)	0.18 (0.12-0.26)	9.4
	A	>2,000	>2,000	—
Spirodiclofen	E	0.43 (0.35-0.52)	0.09 (0.07-0.13)	4.8
	A	35.5 (29.3-42.7)	42.0 (34.9-49.8)	0.85

^{a)} 95% Confidence limits; ^{b)} Resistance ratio=LC₅₀ of R strain/LC₅₀ of S strain; ^{c)} Eggs; ^{d)} Adult females

지만, 여기에서는 5 이상의 값을 나타낸 것을 etoxazole과 교차저항성이 있는 약제로 하였다. 한편 역상관교차저항성은 0.5 이하의 값으로 하였으며, 비교차저항성은 0.6-4.9사이의 값으로 하였다(Takahashi, 1979). Etoxazole 저항성계통의 성충에 대한 acequinocyl과 emamectin benzoate의 저항성비는 각각 10.4배와 14.0배이고, 알에 대한 amitraz, pyridaben의 저항성비는 각각 14.6배와 9.4배의 교차저항성을 나타내었다. Milbectin은 알에 대해서 52배로 가장 높은 교차저항성을 나타내었으나, 성충에 대해서 1.1배로 비교차저항성을 나타내었다. 본 실험에 사용된 etoxazole 저항성계통의 유래가 야외 개체군이기 때문에 채집 이전의 포장 상태에서 이미 교차저항성을 나타낸 약제에 대해서 저항성이 발현되었을 수도 있었다는 것을 배제할 수는 없지만 etoxazole 저항성계통에 대해서는 이들 약제의 살포를 지양해야 할 것이다. Abamectin과 spirodiclofen은 비교차저항성을 나타내었고, amitraz는 성충에 대해서 심한 기피현상을 나타내어 교차저항성 유무를 조사할 수 없었다. 살비제 저항성 점박이응애의 교차저항성에 관한 연구로, Kim and Lee (1989)는 carbophenothion 저항성계통이 ethion에, ethion 저항성계통이 carbophenothion에, cyhexatin저항성계통이 ethion과 carbophenothion에 교차저항성을 나타내었다고 하였으며, dicofol 저항성계통이 amitraz와 acrinathrin 및 bifenthrin에(Kim *et al.*, 1995),

tetradifon 저항성계통이 clofentezine과 benzoximate 및 chlorfenson에(Park *et al.*, 1996) 대해서 높은 교차저항성을 나타내었다고 하였다.

역상관교차저항성을 나타내는 약제들은 카바제이트계인 bifenthrin이 성충에 대해서 0.1배이고, emamectin benzoate는 알에 대해서 0.08배를 나타내었다. 그러므로 etoxazole에 저항성을 보인 농가에서는 이들 약제를 교호로 살포한다면 효율적으로 점박이응애를 방제할 수 있을 것이다. Dicofol 저항성 점박이응애에 대해서는 azocyclotin과 fenbutatin oxide (Kim *et al.*, 1994) 및 chlorpyrifos (Linda *et al.*, 1991)이 역상관교차저항성을 나타내었다고 하였다. Park *et al.* (1996)은 tetradifon에 저항성인 점박이응애의 알에 대해서는 fenazaquin, pyridaben, flufenoxuron, tebufenpyrad, fenothiocarb 등이, Kim and Lee (1989)은 biphenthrin 저항성계통에 대해서 cyhexatin과 dicofol이 비교차저항성임을 보고하였다. 또한 Kono (1985)는 dicofol 저항성계통에 대해서 효과있는 살비제는 prothiophos, binapacryl, BPMC이며, 이들 약제들은 dicofol 저항성 점박이응애의 방제를 위한 대체약제로서의 가능성을 시사하였다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때, 점박이응애에 대한 etoxazole의 저항성 발달은 빨랐으며, 저항성의 안정성도 1년 4개월간 거의 변화가 없었다. 또한 etoxazole 저항성 지배유전인자는 수컷보다는 암컷성충에 의존

적으로 유전되는 완전우성이었다. 앞으로 계속 늘어날 etoxazole 저항성을 가진 점박이응애를 효율적으로 방제하고 저항성의 본질을 밝히기 위해서는 단기간에 저항성비가 5,000,000배 이상이라는 아주 높은 저항성비를 보이게 된 원인을 밝히는 연구가 수행되어야 할 것이라고 생각된다.

사 사

본 연구는 농림부 농림기술관리센터의 지원으로 수행한 결과이다.

Literature Cited

- Anonymous, 2003. Agrochemical year book. Korea Crop Protection Association. Seoul. 683 pp.
- Asada, M. 1978. Genetics and biochemical mechanisms of acaricide resistance in phytophagous mites. J. Pestic. Sci. 3: 61-68.
- Cranham, J.E. 1982. Resistance to binapacryl and tetradifon, and the genetic background, in fruit tree red spider mite, *Panonychus ulmi*, from English apple orchards. Ann. Appl. Biol. 100: 25-38.
- Dennehy, T.J., J.P. Nyprop, W.H. Reissing and R.W. Weires. 1988. Characterization of resistance to dicofol in spider mite (Acari: Tetranychidae) from New York apple orchards. J. Econ. Entomol. 81: 1511-1561.
- Finney, D.J. 1971. Probit analysis. 3rd ed. 333pp. Cambridge University Press, Cambridge.
- Georghiou, G.P. 1969. Genetics of resistance to insecticides in houseflies and mosquitoes. Exp. Parasitol. 26: 224-225.
- Georghiou, G.P. and C.E. Taylor. 1976. Genetic and biological influence in the evolution of insecticide resistance. J. Econ. Entomol. 70: 319-323.
- Goka, K. 1998. Mode of inheritance of resistance to three new acaricides in the kanzawa spider mite, *Tetranychus kanzawai* Kishida (Acari: Tetranychidae). Exp. Appl. Acarol. 22: 699-708.
- Ho, C.C. 2000. Spider mite problems and control in Taiwan. Exp. Appl. Acarol. 24: 453-462.
- Inoue, K. 1979. The change of susceptibility of mite population to dicofol and genetic analysis of dicofol-resistance in the citrus red mite, *Panonychus citri* (McG.). J. Pesticide. Sci. 4: 337-344.
- Inoue, K. 1980. Relationship between dicofol resistance and fitness in the citrus red mite, *Panonychus citri* (McG.). J. Pestic. Sci. 5: 165-175.
- Inoue, K. 1984. Resistance to amitraz in the citrus red mite, *Panonychus citri* (McGregor) in relation to population genetics. Jpn. J. Appl. Ent. Zool. 28: 260-268.
- Kim, S.S. and S.C. Lee. 1989. Development of acaricide resistance and cross-resistance in *Tetranychus urticae* (Acarina: Tetranychidae). Korean J. Appl. Entomol. 28: 146-153.
- Kim, G.H., C. Song, N.J. Park and K.Y. Cho. 1994. Inheritance of resistance in dicofol-selected strain of the twospotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acarina: Tetranychidae), and its cross resistance. Korean J. Appl. Entomol. 33: 230-236.
- Kim, G.H., C. Song, B.Y. Chung, N.J. Park and K.Y. Cho. 1995. Stability of dicofol resistance of the twospotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acarina: Tetranychidae). Korean J. Appl. Entomol. 34: 61-64.
- Kobayashi, M., S. Kobayashi and T. Nishimori. 2001. Occurrence of etoxazole resistance individuals of the two spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch from a limited region. Jpn. J. Appl. Entomol. Zool. 45: 83-88.
- Kono, S. 1985. Susceptibility of dicofol resistant two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch against various pesticides and their control effects. Jpn. J. Appl. Entomol. Zool. 29: 150-157.
- Kuwahara, M. 1977. The development and inheritance of resistance in the kanzawa spider mite, *Tetranychus kanzawai* Kishida, selected with chlordimeform, dicofol and phenthoate. Jpn. J. appl. Ent. Zool. 21: 163-168.
- Lee, Y.S., M.H. Song, K.S. Ahn, K.Y. Lee, J.W. Kim and G.H. Kim. 2003. Monitoring of acaricide resistance in two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*) populations from rose greenhouses in Korea. J. Asia-Pacific Entomol. 6: 91-96.
- Linda, A.F.K., H.G. Scott and T.J. Dennehy. 1991. Dicofol resistance in *Tetranychus urticae* (Acarina: Tetranychidae): cross-resistance and pharmacokinetics. J. Econ. Entomol. 84: 41-48.
- Martison, T.E., T.J. Dennehy, J.P. Nyprop and W.H. Reissing. 1991. Field measurements of selection for two-spotted spider mite (Acari: Tetranychidae) resistance to dicofol in apple orchards. J. Econ. Entomol. 84: 7-16.
- Overmeer, W.P.J. and A.Q. van Zon. 1973. Genetic of dicofol resistance in *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). Z. Angew. Entomol. 73: 225-230.
- Overmeer, W.P.J., A.Q. van Zon and W. Helle. 1975. The stability of acaricide resistance in spider mite *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) populations from rose houses. Entomol. Exp. Appl. 18: 68-74.
- Park, C.G., S.G. Lee, B.R. Choi, J.K. Yoo and J.O. Lee. 1996. Inheritance of tetradifon resistance in twospotted spider mite (Acarina: Tetranychidae). Korean J. Appl. Entomol. 35: 260-265.
- Song, C., J.H. Park, G.H. Kim, O.U. Kwon and K.Y. Cho. 1999. Monitoring of genetic variability in dicofol-susceptible, dicofol-resistant, and its reverse-selected strains of *Tetranychus urticae* by RAPD-PCR. Korean J. Life Science 9: 14-16.
- Stone, B.F. 1968. A formula for determining degree of dominance in case of monofactorial resistance to chemicals. Bull. Wld. Hlth. Organ. 38: 325-326.
- Takafuji, A., A. Ozawa, H. Nemoto and T. Gotoh. 2000. Spider mites of Japan: their biology and control. Exp. Appl. Acarol. 24: 319-335.
- Takahashi, Y. 1979. Pesticide design: strategy and tactics (ed by Yamamoto, I and J. Fukami). Soft Science, INC. 663-692.
- Tomlin, C. 2000. The pesticide manual. British crop protection council Twelfth Edition. 803 pp.
- Yamamoto, A., H. Yoneda, R. Hatano and M. Asada. 1995. Genetic analysis of hexythiazox resistance in the citrus red mite, *Panonychus citri* McGregor. J. Pestic. Sci. 20: 513-519.

(Received for publication 19 January 2004;
accepted 23 February 2004)