

사과과수원 점박이응애의 약제 저항성 비교 분석

이시우* · 김광호 · 박창규 · 박홍현 · 이관석 · 최병렬¹ · 이상계

농촌진흥청 국립농업과학원, ¹식량과학원

(2010년 9월 1일 접수, 2010년 9월 15일 수리)

Comparison and Analysis of Insecticide Resistance of Two Spotted Spider Mite (*Tetranychus urticae*) among Apple Orchards

Siwoo Lee*, Kwang-Ho Kim, Chang-Gyoo Park, Hong-Hyun Park, Kwan-Suk Lee, Byeong-Ryeol Choi¹ and Sang-Guye Lee

Dept. of Plant Protection, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707, Korea, ¹National Institute of Crop Science

Abstract

Six insecticides, monocrotophos (24%, Lq), milbemectin (1%, Ec), tebufenpyrad (10%, Ec), propargite (30%, Wp), dicofol (42%, Ec), and fenpropathrin (5%, Ec) were studied for their LC₅₀s to local two-spotted spider mite (TSSM) strains collected at apple orchards in Chungju, Kunwi and Sobo in Korea. Monocrotophos and fenpropathrin were not effective due to resistance development, but milbemectin, tebufenpyrad, dicofol and propargite were effective to TSSM. LC₅₀ values to TSSM strains showed the same distribution pattern among apple orchards. However, TSSMs from different apple orchard were clustered into different groups.

Key words Two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae*, Insecticide, Resistance, Cluster

서 론

현재도 농약의 시대라고 해도 과언이 아닐 정도로 농약은 농업 생산에 중요한 역할을 하고 있다. 그러나 농약 사용에 의해 일어나는 부작용을 일찍이 침묵의 봄(Carson, 1962)에서 예견한 바와 같이 해충의 약제에 대한 저항성 발달은 해충에 의한 농작물의 피해를 줄이는 데 큰 어려움을 주고 있다. 우리나라에서 해충방제를 위하여 사용되고 있는 살충제는 매년 사용량이 증가되어 2007년 현재 약 25.4천 톤에 이르고 있다(한국작물보호협회, 2008). 국내에서 사용되는 농약은 합성피레스로이드계, 유기인계, 카바메이트 등 30 여 가지의 계통으로 분류할 수 있으며, 그 중 유기인계와 카바메이트계는 60~70년대부터 사용되어 왔다. 그러나 이러한 기존 농약들

은 저항성해충의 발생과 인축에 대한 독성, 환경오염, 잔류 등의 부작용으로(Brown과 Pal, 1971) 사용이 점차 제한되고 있다. 이 후 해충의 약제 저항성이 문제가 되어 저항성 연구가 활발히 이루어졌다. 이(1968, 1969)와 이와 유(1970, 1971a, 1971b) 등이 지역별 점박이응애의 약제저항성 정도를 조사하였으며, 임 등(1985)은 과수응애류의 propargite, hexacyclotin 등에 대한 저항성 정도를 조사하고 이들의 LC₅₀이 약제살포 권장농도보다 높다고 하였다, 박 등(1986)도 사과응애와 점박이응애의 지역계통별로 저항성 정도를 조사하여 최고 30배 정도의 저항성을 나타냈다고 보고하였다. 송 등(1995)은 6개 지역 계통에 대해 abamectin과 penproximate에 대한 저항성 발달이 없음을 보고하였으나 같은 해 조 등(1995)은 abamectin은 지역에 따라 12배, penproximate는 약 200배, fenpropathrin은 14배, pyridaben은 80배까지의 저항성을 보고하여 연구자마다 그리고 해마다 약간씩 다른 결과를 보고하고 있다. 이

*연락처 : Tel. +82-31-290-8479, Fax. +82-31-290-8543

E-mail: siwlee@korea.kr

는 이미 해충의 약제에 대한 저항성이 전국적으로 발달하고 있음을 시사한다. 김(1997)과 이 등(2004)도 abamectin, milbemectin에 대해 약제저항성 발달을 보고하였다. 최근 연구로 김 등(2007)이 acequinocyl 약제에 대한 저항성 유전과 교차저항성 약제를 선발하였으며, Koh *et al.*(2009)은 거창 지역의 점박이응애가 다른 지역에 비해 bifenthrin과 mitochondrial electron transportation inhibition(METI)계 살충제에 대해 높은 저항성을, 그 외의 지역은 실험 약제에 대해 대체로 감수성 대조 계통과 큰 차이가 없음을 보고하였다. 해충의 약제 방제에서 이렇게 중요한 저항성이지만 우리나라의 해충의 약제에 대한 저항성 연구는 소수의 몇몇 연구자들에 의해 이루어 졌으며, 대개는 실제 저항성 해충 관리에 필수적 연구인 저항성 모니터링과 교차저항성에 관한 연구에 그치고 있다. 해충의 약제에 대한 저항성 관리는 해충이 약제에 대한 저항성의 발달 속도를 어떻게 조절할 수 있는지에 따라 성패가 좌우되며, 해충의 저항성이 지역적으로, 과수원내에서 공간적으로 어떻게 분포되어 있으며, 또한 여러 약제에 대한 그들 사이의 저항성 정도는 어느 정도 인지를 파악하여야 비로소 해충의 저항성 관리가 가능해진다.

따라서 본 연구는 해충의 약제에 대한 저항성을 과수원 간, 지역 간 공간적 거리를 고려하여 기주 범위가 넓고 상대적으로 스스로의 이동성이 낮은 점박이응애를 대상으로 지역에 따른 약제 저항성 패턴을 분석하여 해충의 저항성 관리의 토대를 마련코자 실시하였다.

재료 및 방법

살충제

시험에 이용된 살충제는 살충제의 작용기구, 사용년도, 화학적 구조 등을 고려해 선발하였으며, 선발 이용된 살충제는 monocrotophos(24%, Lq), milbemectin(1%, Ec), tebufenpyrad(10%, Ec), propargite(57%, Ec), dicofol(42%, Ec), fenpropathrin(5%, Ec) 이었다. 살충제는 시중에서 구입, 사용하였다.

점박이응애

점박이응애는 지역별, 과수원별로 거리를 고려하여 채집하였으며, 채집은 성충을 채집, 실내에서 3-4세대 증식하여 충분한 개체수를 확보 후 시험에 사용하였다. 성충은 실내(25°C, RH 70±20%) 실험실에서 재배된 강낭콩 유묘에서 사육하였다. 점박이응애는 충주 사과원(충주1:N36°58'42.44"E127°54'58.18",

충주2:N36°58'42.26"E127°54'58.14")에서는 한 과수원내에서 서로 약 20미터 정도 떨어진 곳에서 채집하였으며, 군위 지역 과수원(군위1:N36°17'51.35"E128°34'26.11", 군위2:N36°17'52.46"E128°34'26.40")에서도 같은 과수원에서 약 30미터 떨어진 곳에서 채집하였다. 소보면(소보1:N36°15'59.32"E128°25'44.32", 소보2:N36°16'02.16"E128°25'37.15")에서는 약 300미터 정도 떨어진 다른 과수원에서 점박이응애를 채집하였다.

약효 검정 시험

점박이응애의 생물검정은 플라스틱 Petri-dish(직경 55 mm x 높이10 mm)에 탈지면을 깔고 증류수를 충분히 적셔 응애가 도망을 가지 못하도록 한 후 그 위에 직경 3cm의 콩잎 절편을 만들어 올린 다음 각 지역 과수원에서 채집하여 사육중인 점박이응애를 30마리씩 콩잎 절편에 작은 빛을 이용하여 이식, 약제를 2배 씩 희석, 6개 농도의 희석된 농약을 전동분무기(Solo spraystar 460, Solo, USA)로 점박이응애가 접촉된 콩잎 절편이 충분히 적시도록 3초 간 살포하였다. 살포된 Petri-dish는 흡 후드 안에 놓아 건조 시켰으며, 건조된 콩잎 Petri-dish는 조사실(25°C, RH 60±10%)에 보관, 24시간 후에 사충수를 조사하였다. 약제에 따라 48시간 후에도 조사하였으며 조사는 실제 현미경하에서 이루어졌다. 실험은 한 농도 당 3반복으로 90마리에 약제를 살포, 한 약제 실험에 540마리의 점박이응애가 이용되었다.

통계분석

얻어진 점박이응애의 사충율로 Probit 분석을 하였으며 선발된 6개의 약제(monocrotophos(24%, Lq), milbemectin(1%, Ec), tebufenpyrad(10%, Ec), propargite(57%, Ec), dicofol(42%, Ec), fenpropathrin(5%, Ec))의 반수치사농도를 표준화하여 각 지역에서 채집된 점박이응애 계통의 군집 분석을 실시, 지역 간 유사성을 비교하였다. 군집 분석은 통계프로그램 Minitab 15(Minitab, Inc.)를 이용하였다.

결과 및 고찰

점박이응애의 각 약제에 대한 반응은 표 1에서 표 6과 같다. 표에서 보듯이 약제에 대한 점박이응애의 반응은 propargite를 제외하면 제일 낮은 지역의 2-4배 정도의 저항성 비를 보이고 있어 저항성 발달이 더디거나, 과수원에서의 살충제 사용 패턴과 사용량이 전국적으로 거의 비슷함에 기인된 것

으로 생각된다. 그러나 propargite는 지역에 따라서 약 16배 정도의 저항성 비를 보이고 있어 앞으로 저항성이 발달할 가능성이 높아 저항성이 제일 높은 군위 2지역에서는 약제 방제 효과를 약 70-80% 정도 밖에 기대할 수 없을 것으로 사료된다.

또한 같은 지역의 과수원이라고 저항성 비가 차이가 나는 것은 과수원에 쓰이는 약제의 선호도, 즉 약종과 약량의 차이에 의한 것을 생각된다. 사과원에서의 점박이응애 방제에 쓰이는 약제에 대한 저항성은 유기인계인 monocrotophos, 피

레스계인 fenpropathrin, METI 계인 tebufenpyrad는 저항성의 발달로 만족할 만한 방제 효과를 기대하기 어렵다. 그러나 점박이응애는 milbemectin과 dicofol에 대해서는 아직도 감수성을 유지하고 있어 점박이응애의 방제에 어려움이 없을 것으로 생각된다. 문 등(1999)이 점박이응애 약제저항성을 보고할 당시에는 tebufenpyrad의 반수치사농도가 109-148 ppm으로 현재 보다 5배 이상의 저항성을 보였는데 본 연구 결과와 비교하면 이는 오히려 감수성 회복이 일어나고 있는 과정에 있다고 볼 수 있다. 점박이응애에 대한 저항성 발달에

Table 1. Toxicity of milbemectin to TSSM collected in apple orchards

Apple orchards	Milbemectin (Recommend Conc.: 10 ppm)					
	n ^{a)}	LC ₅₀ ^{b)}	95%FL ^{c)}	Slope ^{d)}	X ^{2e)}	P ^{f)}
Kunwi 1	540	0.12	0.080-0.170	1.25	9.15	0.103
Kunwi 2	540	0.18	0.147-0.211	1.41	5.13	0.400
Sobo 1	540	0.69	0.050-0.907	1.77	9.06	0.107
Sobo 2	540	0.12	0.074-0.182	1.02	9.01	0.108
Chungju 1	540	0.15	0.091-0.260	1.45	21.81	0.001
Chungju 2	540	0.20	0.147-0.273	1.49	8.64	0.124

a) No. of TSSMs used for bioassay

b) Median lethal concentration

c) 95% fiducial limit

d) Slope of estimated regression line

e) χ^2 value of estimated data

f) Probability at $\alpha=0.05$

Table 2. Toxicity of tebufenpyrad to TSSM collected in apple orchards

Apple orchards	Tebufenpyrad (Recommend Conc.: 50 ppm)					
	n	LC ₅₀	95%FL	Slope	X ²	P
Kunwi 1	540	24.2	20.3-28.9	1.51	0.68	0.016
Kunwi 2	540	26.3	21.6-32.0	1.31	6.69	0.755
Sobo 1	540	21.1	17.0-26.1	1.22	1.74	0.117
Sobo 2	540	12.9	10.6-15.5	1.44	2.20	0.179
Chungju 1	540	14.7	12.1-17.8	1.44	1.92	0.140
Chungju 2	540	22.1	18.6-25.9	1.80	4.52	0.523

Table 3. Toxicity of dicofol to TSSM collected in apple orchards

Apple orchards	Dicofol (Recommend Conc.: 420 ppm)					
	n	LC ₅₀	95%FL	Slope	X ²	P
Kunwi 1	540	19.2	16.1-22.8	1.62	0.922	0.031
Kunwi 2	540	29.7	24.4-36.2	1.42	4.85	0.566
Sobo 1	540	17.8	15.6-20.1	2.73	7.39	0.883
Sobo 2	540	11.9	10.4-13.5	2.49	8.45	0.923
Chungju 1	540	14.9	13.3-16.7	3.54	5.90	0.883
Chungju 2	540	16.1	13.9-18.6	2.12	1.97	0.147

Table 4. Toxicity of monocrotophos to TSSM collected in apple orchards

Apple orchards	Monocrotophos (Recommend Conc.: 240 ppm)					
	n	LC ₅₀	95%FL	Slope	X ²	P
Kunwi 1	540	388	304-470	1.87	1.73	0.369
Kunwi 2	540	442	356-528	2.01	2.88	0.422
Sobo 1	540	390	292-490	1.53	7.62	0.89
Sobo 2	540	311	225-394	1.62	6.92	0.925
Chungju 1	540	318	233-404	1.56	4.92	0.705
Chungju 2	540	645	349-2130	0.67	1.94	0.253

Table 5. Toxicity of fenpropathrin to TSSM collected in apple orchards

Apple orchards	Fenpropathrin (Recommend Conc.: 50 ppm)					
	n	LC ₅₀	95%FL	Slope	X ²	P
Kunwi 1	540	48.3	38.2-60.7	1.12	4.93	0.575
Kunwi 2	540	37.2	26.7-60.3	0.81	1.82	0.126
Sobo 1	540	15.9	12.6-19.5	1.52	7.63	0.822
Sobo 2	540	65.1	52.5-81.1	1.22	11.06	0.950
Chungju 1	540	25.2	21.5-29.3	2.02	3.03	0.447
Chungju 2	540	21.5	18.0-25.3	1.91	6.17	0.710

Table 6. Toxicity of propargite to TSSM collected in apple orchards

Apple orchards	Propargite (Recommend Conc.: 570 ppm)					
	n	LC ₅₀	95%FL	Slope	X ²	P
Kunwi 1	540	89.6	58.9-164.6	0.70	5.05	0.590
Kunwi 2	540	159	123-222	1.14	1.37	0.287
Sobo 1	540	12.5	6.04-19.44	1.13	5.12	0.597
Sobo 2	540	45.1	34.8-55.8	1.57	15.28	0.991
Chungju 1	540	10.6	4.4-17.8	1.03	5.25	0.737
Chungju 2	540	120	93.9-150	1.14	2.62	0.242

대에 많은 연구자의 보고가 있었다. 이(1968, 1969), 이와 유(1970, 1971a, 1971b) 등은 1968년부터 1971년까지 4년간 각 지역 계통 점박이응애의 4종 살비제에 대한 감수성 차이를 검정하였다. 그 결과 parathion에 대해서는 감수성인 Lincoln 계통에 비해 지역에 따라 20-233배의 저항성을 보였으며 oxydemeton-methyl에 대해서는 18-117배, dicofol에 대해서는 5-48배의 저항성을 나타냈고 C-8514에 대해서는 대구와 충주계통이 21배정도의 차이를 보였을 뿐 기타 지역계통에서는 큰 차이가 없었다고 보고하였다. 이는 본 논문과는 달리 dicofol에 대한 점박이응애의 약제저항성이 이미 보고된 매우 흥미있는 일이다. 임 등(1985)은 과수응애류의 propargite, hexacyclotin 등에 대한 저항성 정도를 조사하고 이들의 LC₅₀이 약제살포 권장농도보다 높다고 하였으며, 박 등

(1986)도 사과응애와 점박이응애의 지역계통별로 propargite, benzomate, dicofol 등에 대한 저항성 정도를 조사하여 최고 30배 정도의 저항성을 나타냈다고 하였다. 그러나 본 연구에서는 위의 결과와는 달리 dicofol의 경우 추천 농도보다 반수 치사농도가 매우 낮아 점박이응애의 방제에 사용될 수 있을 것으로 판단되며 예전에 비해 약제 저항성이 저하되고 있음을 알 수 있었다. 송 등(1995)은 6개 지역 계통에 대해 abamectin과 penproxymate에 대한 저항성 발달이 없음을 보고하였으나 같은 해 조 등(1995)은 abamectin은 지역에 따라 12배, penproxymate는 약 200배, fenpropathrin은 14배, pyridaben은 80배까지의 저항성을 보여, 이미 저항성이 발달하고 있음을 보고하였다. 김(1997)은 abamectin에 대해 야외계통이 1-40배, fenpropathrin에 대해서도 지역에 따라 4-37배의 저

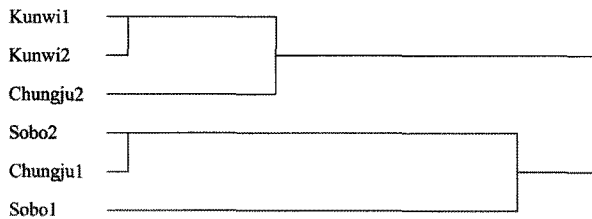


Fig. 1. Cluster analysis of two spotted spider mites in apple orchard.

항성을 보인다고 보고하여 이 들 약제에 대해 저항성이 발달하였음을 증명하였다. 본 연구에서도 피레스제인 penprothrin에 대해 저항성을 보여 반수치사농도가 추천농도와 같아 이 약제로 점박이응애의 방제는 불가능함을 보이고 있다. 이 등 (2004)은 점박이응애의 야외 계통의 저항성 모니터링에서 칠곡 계통과 부여 계통이 abamectin에 대해 약 20배 정도의 저항성을 보이고 있다고 보고하였고, milbemectin은 강진에서 약 15배(지역에 따라 1.8-15배)의 저항성을 보이고 있다고 보고하였으나 본 실험에서 milbemectin의 경우 지역에 따라 약간의 차이가 있으나 반수치사농도와 추천농도를 비교해보면 저항성 발달로 방제 효과가 떨어진다고는 생각할 수 없다. 최근 연구로 Koh et al. (2009)은 거창 지역의 점박이응애가 다른 지역에 비해 bifenthrin과 METI계 살충제에 대해 높은 저항성을, 그 외의 지역은 실험 약제에 대해 대체로 감수성 대조 계통과 큰 차이가 없음을 보고하였다. 이상의 여러 보고와 같이 점박이응애의 약제 저항성은 약제에 따라, 지역에 따라 그리고 조사 년도에 따라 서로 다른 전과를 보여주고 있어 해충의 약제 저항성은 항상 변화하고 있음을 알 수 있다. 약제의 점박이응애에 대한 반수치사농도로 지역 간 약제 반응 특성을 군집 분석한 결과는 그림 1과 같다.

그림 1에서 보듯이 채집 지역과 관계없이 사과원에서의 거리와 위치에 따른 약제저항성 발달 군집 패턴을 보이지 않고 있다. 이러한 결과는 아마도 살충제 특히 살비제의 사용이 사과원에서 과수원마다 매우 복잡하게 사용되었음을 시사하고 있다. 따라서 사과원에서의 살비제에 대한 점박이응애의 저항성 모니터링은 사과원에서 채집 위치 및 채집 수가 많아야 함을 암시하고 있다. 그리고 약제 방제에 있어서 보다 계획적인 살충제 사용이 요구되며, 같은 지역의 과수원이라도 과수원마다 살충제의 효과가 다르게 나타날 수 있음을 시사한다. 이에 대한 연구는 처음 시도된 연구로 앞으로 더욱 많은 연구자료의 축적이 필요하리라 사료된다.

>> 인 / 용 / 문 / 헌

- Brown, A. W. A. and R. Pal. 1971. Insecticide resistance in arthropods. World Health Organ. Monograph, Ser. 38. 491 p.
- Carson, R. 1962. Silent spring. Boston, Houghton Mifflin Co. 368 p.
- Koh, S. H., J. Ahn, J. S. Kim, C. Jung, S. H. Lee and J. H. Lee. 2009. Monitoring of acaricide resistance of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) from Korean apple orchards. *J. Asia-Pacific Entomol.* 12:15~21.
- 김영준 1997. 사과원 점박이응애의 약제저항성 관리. 서울대학교 대학원 석사학위논문. 93 p.
- 김은희, 양정오, 윤창만, 안기수, 김길하. 2007. Acequinocyl 저항성 점박이응애의 유전과 교차저항성. *농약과학회지.* 11(2):125~130.
- 문형철, 김주희, 정성수, 류정. 1999. 점박이응애 약제저항성 정도 구명. *전북농기원 보고서.* 409~413.
- 박형만, 최승윤, 유재기, 나승룡, 이경휘. 1986. 과수응애류 약제저항성 및 방제에 관한 연구. *농시논문집.* 28(2):65~71.
- 송철, 김길하, 안수정, 박노중, 조광연. 1995. 사과원에서 채집된 점박이응애(*Tetranychus urticae*)의 지역별 살비제 감수성. *한국응용곤충학회지.* 34(4):328~333.
- 이승찬. 1968. 응애류의 약제저항성에 관한 시험. *식환시연보.* 6:159~178.
- 이승찬. 1969. 응애류의 약제저항성에 관한 연구. I. 한국에서의 Parathion 과 Kelthane에 대한 응애류의 저항성. *농시연보* 12(3):91~96.
- 이승찬, 유재기. 1970. 응애류에 대한 약제저항성시험. *식환시연보.* 6:993~999.
- 이승찬, 유재기. 1971a. 과수응애류에 대한 약제저항성시험. *식환시연보.* 6:1520~1552.
- 이승찬, 유재기. 1971b. 응애류의 약제 저항성에 관한 연구 II. Metasystox, Folidol 및 C-8514에 대한 과수응애류의 저항성과 방제시험. *식물보호.* 10(2):109~116.
- 이시우, 최병렬, 유재기, 박형만, 정부근, 김선근. 2004. 주요 해충에 대한 약제저항성 모니터링. *농촌진흥청 농업과학기술원 농업생물연구.* 157~188.
- 임명순, 김성봉, 장한익. 1985. 과수응애류 약제저항성 시험. *원시시연보(과수분야).* 9:3~96.
- 조점래, 김영준, 안용준, 유재기, 이정운. 1995. 점박이응애 야외 개체군의 살비제 저항성 모니터링. *한국응용곤충학회지.* 34(1):40~45.
- 한국작물보호협회. 2008. 농약연감. 서울, 문선기획. 547 p.

사과과수원 점박이응애의 약제 저항성 비교 분석

이시우* · 김광호 · 박창규 · 박홍현 · 이관석 · 최병렬¹ · 이상계

농촌진흥청 국립농업과학원, ¹식량과학원

요 약 6종류의 살충제(유기인계인 monocrotophos, 항생물질계인 milbemectin, 피라졸계인 tebufenpyrad, 아유산에스텔계인 propargite, 유기염소계인 dicofol, 피레스계인 fenpropathrin)를 선발하여 사과원의 점박이응애에 대한 반수치사농도를 조사하였다. 점박이응애는 충주, 군위, 소보 지역 과수원에서 채집하였다. Monocrotophos과 fenpropathrin은 저항성 발달로 인하여 효과가 없었으며, milbemectin, tebufenpyrad, dicofol, propargite는 점박이응애에 대해 효과를 보이고 있었다. 과수원 간 약제저항성 분포패턴은 같은 경향을 보이나 각 과수원 계통의 점박이응애는 서로 다른 군집에 속하였다.

색인어 점박이응애, *Tetranychus urticae*, 살충제, 저항성, 군집분석
