

## 목화진딧물과 배추좀나방에 대한 thiamethoxam의 살충효과 및 작용특성

장 철<sup>\*</sup> · 황인천 · 유용만 · 최광렬<sup>1</sup>

(주)경농 중앙연구소, <sup>1</sup>충남대학교 농과대학

**요약** : 신규화합물인 thiamethoxam의 목화진딧물과 배추좀나방에 대한 살충효과를 분석하기 위하여 일반적인 생물검정 방법을 이용하여 접촉 및 섭식독성반응과 속효성, 침투이행성, 잔효성 등을 다른 약제들과 비교·검토했다. Spray법을 이용하여 접촉독성을 조사한 결과 목화진딧물에 대한 반수치사농도(LC<sub>50</sub>)는 유기인계인 acephate 41.9 ppm, 카바메이트인 carbosulfan 5.2 ppm, 니코틴계인 imidacloprid와 thiamethoxam은 각각 1.1, 0.7 ppm을 나타냈다. 배추좀나방을 대상으로 엽침적법으로 처리했을 경우 섭식독성은 2령 유충의 경우 LC<sub>50</sub>값이 imidacloprid 64.9 ppm, thiamethoxam 24.6 ppm, acetamiprid 15.2 ppm, 3령 유충에서는 각각 125.1, 42.7, 27.8 ppm이었고, 4령 유충에서는 각각 241.1, 44.5, 23.9 ppm으로 령기별로 약간의 차이를 보였다. 한편, 목화진딧물을 대상으로 한 약제의 속효성을 측정하는 반수치사시간(LT<sub>50</sub>)은 접촉 후 약제살포시에 imidacloprid 26.6분, thiamethoxam 28.0분, carbosulfan 30.3분, acephate 41.7분의 순이었고, 약제살포 후 접촉하였을 때에는 thiamethoxam 95.5분, imidacloprid 118.0분, carbosulfan 122.9분으로 진딧물에 직접 살포한 것이 살충시간을 단축시켰다. 또한, 잎표면으로부터 이면으로의 약효성분의 이행성을 비교한 결과 LT<sub>50</sub>값은 thiamethoxam 162.2분, imidacloprid 168.9분, carbosulfan 564.1분이었고, 하위 잎으로부터 최상위 잎으로의 이행성에서는 carbosulfan 2.3일, thiamethoxam 2.9일, imidacloprid 3.0일, acephate 8.8일이었다. 뿌리로부터 잎으로의 이행성은 carbosulfan 0.6일, imidacloprid 1.0일, thiamethoxam 1.0일, acephate 13.8일로서 thiamethoxam의 침투이행성이 가장 빠른 것으로 나타났다. Spray법을 이용한 잔효성 시험결과 thiamethoxam과 imidacloprid는 약제처리 후 10일째에도 80% 이상의 높은 살충효과를 나타내어 잔효성이 우수하였다.(1998년 9월 2일 접수, 1998년 12월 1일 수리)

Key words : insecticides, neonicotinoids, thiamethoxam, action properties, *Aphis gossypii*, *Plutella xylostella*.

### 서론

농경문화의 정착과 더불어 시작된 식량증산 욕구에 의한 인류의 노력은 인구증가에 따라 발생이 예상되는 식량난을 극복하기 위하여 현재의 한정된 경지에서 새로운 작물 또는 다수확 품종의 육종, 재배 및 작물보호 기술의 혁신 등의 기술개발이 절실히 요구되고 있다(한국농약개발조합, 1993). 그 중에서 작물 보호 기술은 세계 2차 대전 이후 화학공업의 발달에 따른 유기합성 농약의 개발로 급진전을 이루어 오늘날 병해충에 의한 피해를 최소화하여 농업생산 향상성에 가장 큰 기여를 해오고 있다. 그러나, 해충방제를 위한 유기합성 농약의 광범위한 사용 과 연용은 약제 저항성 해충의 출현을 야기시켜 왔고 이에 대응하여 갈수록 독성이 강하고

약효가 지속적인 새로운 유기합성 농약이 개발되어 왔으나 인축에 대한 독성, 식품 속의 잔류독성, 토양 및 수질오염과 유용생물의 감소 등 인간과 생태계에 미치는 심각한 환경문제를 대두시켰고, 자연스럽게 농약은 그 비판의 중심에 자리하고 있는 실정에 이르고 있다(Carson, 1962; Song 등, 1993). 그러나, 작물 생산에 있어서 농약의 사용은 필요악이며 해충방제를 위해서는 불가피한 실정이다. 일부 연구자들은 농약에 의존하지 않고 환경에 안전한 새로운 방제기술의 개발을 여러 각도로 시도하고 있지만, 작물을 가해하는 병해충이 한 종이 아닌 여러 종이 복합적으로 피해를 주고 있기 때문에 포장에서는 농약이외의 수단으로 고품질의 농산물을 대량으로 공급하는 체계의 확립은 그리 쉬운 일은 아니다. 농약의 연용으로 인한 저항성 해충에 대한 방제대책으로는 작용기작이 서로 다른 살충제의 교호사용과 체계적인 종합적 방제체계의 시행으로 농약의 사용량을

\*연락저자

줄이는 방법이 있다(양 등, 1991; Song 등, 1993). 이러한 문제들에 대한 해결방안으로 특정목적해충에만 작용하는 선택성이 높은 살충제, 저약량으로도 충분히 효과를 발휘할 수 있는 살충제, 자연환경 중에서 쉽게 분해되어 환경오염을 유발하지 않고 인축 및 야생동물에 대해서도 거의 해가 없는 살충제 등 안전성과 저독성을 갖춘 이상적인 농약의 개발이 절실했다(Metcalf, 1980).

그 결과 지금까지의 살충제의 단점을 보완하여 여러 국가에서 새로운 약제에 대한 개발이 활발하게 이루어지고 있다. 생물을 이용한 방제 등 유기합성농약 이외의 종합방제체계가 도입되고 있고, 농약의 의존도가 과거보다는 낮아진다 할지라도 농업에 있어 해충방제에 대한 농약의 중요성은 필수 불가결한 것이다(Hiroshi, 1996). 그리고, 최근 10년간 농약산업은 큰 변화를 하고 있고, 앞으로는 더욱 더 새로운 활로를 찾을 것으로 예상된다. 농약개발의 추이를 보면, 새로운 형태로 이루어지고 있으며 신경계에 작용하는 농약개발에서 신경전달물질의 수용체와의 작용을 통한 억제하는 측면과 곤충의 생리를 이용한 곤충생장조절제(IGR) 그리고 환경에 안전한 B.t.제의 개발 등이 그 주류를 이루고 있다(Hsu, 1991; Takeda 등, 1991; 신농약개발조합, 1993). 그러나, 이러한 IGR계통(Perng과 Sun, 1987; Perng 등, 1988)뿐만 아니라 BT와 같은 미생물 약제(Talekar와 Shelton, 1993)에 대해서도 저항성에 관한 보고가 점차 증가하고 있는 실정이다. 최근 nicotine의 단점을 보완하여 neonicotinoid계 화합물을 개발하게 되어 처음으로 imidacloprid가 개발되었고, 이후 nitenpyram과 acetamiprid가 개발되었다. 이들 화합물은 주로 노린재목, 매미목, 딱정벌레목 그리고 총채벌레목을 대상으로 하는 것으로 알려져 있고 약제 저항성도 없는 것으로 알려져 있지만(Tomizawa와 Yamamoto, 1993; Tsuboi, 1993; Teague와 Stasi, 1994; Stoltz and Matteson, 1994; 1995a; 1995b; Spomer 등, 1994; 1995; 1996; Yamamoto, 1996a; 1996b), 최근에는 neonicotinoid계에 대한 약제 저항성이 알려지고 있다(최 등, 1997).

따라서, 이와 유사한 화합물인 3-(2-chloro-thiazol-5-ylmethyl)-5-methyl-[1,3,5]oxadiazinan-4-ylidene-N-nitroamine(thiamethoxam) (Anonymous, 1995)의 작용특성과 니코틴계, 유기인계 그리고 카바메이트계 살충제간의 작용특성을 비교하여 해충의 효과적인 방제에 대한 기초자료로 활용

하고자 본 실험을 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 공시충

최근 유리온실 및 비닐하우스 등 시설재배단지에서 문제시되고 있는 해충인 목화진딧물(*Aphis gossypii*)과 채소재배단지에서 난방제 해충으로 알려진 배추좀나방(*Plutella xylostella*)을 공시충으로 사용하였다.

목화진딧물은 아외의 고추재배지역에서 채집하여 유리온실에서 기주식물인 고추를 이용하여 누대사육하면서 3~6세대 내에 실험을 실시하였으며, 배추좀나방은 (주)경농 중앙연구소 곤충사육실(25±2℃)에서 5년간 약제노출 없이 누대사육한 곤충을 실험에 이용하였다.

### 공시화합물

본 실험에 주로 사용한 thiamethoxam은 technical standard(>98%)와 제조한 10%과립수화제로서 (주)경농 중앙연구소 제제연구에서 분양 받아 사용하였다. Thiamethoxam(technical standard)의 약액조제는 먼저 증류수에 Triton X-100을 첨가하여 100 ppm의 stock solution을 준비하였다. 공시약제는 chemical balance로 측정하여 100ml 삼각플라스크에 담아 acetone에 용해시킨 후 stock solution (100ppm)을 acetone의 9배로 첨가하여 소정의 농도별 희석액을 조제하여 사용하였다.

공시약제인 neonicotinoid계통의 imidacloprid 10WP와 acetamiprid 8WP, 침투이행성이 있는 카바메이트계 화합물인 carbosulfan 20WP 그리고 유기인계인 acephate 50WP를 시중에서 구입하여 이용하였으며, 약액의 희석시에 Triton X-100을 첨가하여 사용하였다.

### 생물검정방법

생물검정방법은 포장조건하에서 실제적인 농약살포방법과 유사성이 있고 해충의 식이 습성과 관련하여 합리적이고 재현성이 높은 방법인 스프레이법과 엽침적법을 선정하였다(Collins, 1975; Kalra와 Chawla, 1977; 이 등, 1986; Tabashnik와 Cushing, 1987; 이 등, 1993).

접촉독성은 목화진딧물을 누대사육하면서 순화시킨 후 반복당 20마리 이상 접종되어 있는 고추를 이용하였다. 각각의 약제별 규정농도로 처리하였으며, 희석액 처

리 전에 목화진딧물의 생충수를 조사하였고, 케이지를 씌워 충의 이탈 및 이입을 방지하였다. 생물검정방법은 스프레이법을 이용하였으며, 5반복으로 수행하였다. 약제처리 24시간 후에 생사충수를 조사하여 그 결과를 분석하였다.

섭식독성은 배추좁나방의 유충을 이용하여 실험을 수행하였으며, 검정방법은 양배추잎(지름 5 cm)을 희석액에 10초간 침지하여 음근후 여과지가 깔린 petri-dish(지름 9 cm)에 놓고, 각 단계별 유충을 반복당 10마리씩 접종하였다. 약제처리 48시간 후에 생사충수를 조사하였다. 모든 실험은 실내사육조건인 온도  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ , 상대습도  $50 \pm 10\%$ , 광조건 16L : 8D조건으로 보관하였다. 사충의 판단은 부드러운 붓이나 침으로 충체를 접촉시켜 움직임이 없는 것을 죽은 것으로 하였다. 모든 실험은 5반복으로 하였으며, 생충율로 환산한 후 그 결과를 분석하였다.

직접살포에 의한 속효성검정은 목화진딧물을 누대사육하면서 순화시킨 후 반복당 20마리 이상 접종되어 있는 고추를 이용하였다. 각각의 약제별로 희석액을 처리하였으며, 희석액 처리전에 목화진딧물의 생충수를 조사하였고, 케이지를 씌워 충의 이탈 및 이입을 방지하였다. 생물검정방법은 스프레이법을 이용하였으며, 5반복으로 수행하였다.

예비시험 결과 약제처리 후 2시간 이내에 거의 100%의 살충효과를 보였으므로, 약제처리 후 10분 간격으로 2시간정도 생사충수를 조사하여 그 결과를 분석하였다. 약제살포 후 접종에 의한 속효성 검정은 목화진딧물이 발생하지 않은 온실에서 육묘한 고추에 각각의 약제별로 희석한 약액을 잎에서 흘러내릴 정도로 살포하였다. 약액이 완전히 건조된 후 목화진딧물의 성충을 반복당 20마리씩 접종하였으며, 케이지를 씌워 충의 이탈 및 이입을 방지하였다. 예비시험 결과 6시간 이내에 거의 100%의 살충효과를 보였기에 약제처리 후 20분 간격으로 6시간까지 생충수를 조사하여 생충율로 환산한 후 그 결과를 분석하였다.

침투이행성 검정은 잎 윗면으로부터 이면으로의 이행성, 하위 잎으로부터 상위 잎으로의 이행성 그리고 뿌리로부터 잎으로의 이행성을 수행하였다. 잎 윗면으로부터 뒷면으로의 이행성 검정은 목화진딧물이 접종된 고추의 잎 윗면에만 약제별로 희석한 약액을 잎에서 흘러

내릴 정도로 살포하였다. 약액살포 전에 고추유묘에 발생한 목화진딧물의 생충수를 조사하고, 잎 윗면에 붙어 있는 목화진딧물은 인위적으로 제거하였으며, 케이지를 씌워 충의 이탈 및 이입을 방지하였다. 생충수의 조사는 약액을 살포한 후 30분 간격으로 6시간까지 조사하였으며, 24시간 후에 최종적으로 생충수를 조사하여, 그 결과를 분석하였다. 하위 잎으로부터 상위 잎으로의 이행성 검정은 지표로부터 10 cm정도 하위 잎에 발생한 목화진딧물을 인위적으로 제거하고, 10 cm이상의 상위 잎에만 반복당 20마리 이상 접종된 고추를 이용하였다. 각각의 약제별로 희석한 약액을 하위 잎에만 처리하여 상위 잎에 발생한 목화진딧물의 변화를 조사하였다. 약액은 상위 잎에 접촉되지 않도록 상위 잎을 비닐로 밀봉한 후에 잎에서 흘러내릴 정도로 살포하였다. 약액살포 전 상위 잎에 발생한 목화진딧물의 생충수를 조사하였으며, 케이지를 씌워 충의 이탈 및 이입을 방지하였다. 생충수의 조사는 약액살포 후에 6일간 같은 시간에 매일 조사하여 그 결과를 분석하였다. 뿌리로부터의 이행성 검정은 약제를 규정농도로 희석하여 삼각플라스크(500 ml)에 넣은 후 목화진딧물이 20마리 이상 접종된 고추유묘를 삼각플라스크에 담아 약액이 뿌리를 통하여 고추 잎까지 이행되는지 여부를 목화진딧물의 생사충수의 변화로 관찰하였다. 약액에 식물체를 담그기 전에 유묘에 발생한 목화진딧물의 생충수를 조사하였으며, 케이지를 씌워 충의 이탈 및 이입을 방지하였다. 생충수의 조사는 약액살포 후에 6일간 같은 시간에 매일 수행하였으며, 그 결과를 분석하였다.

잔효성 검정은 목화진딧물이 접종되어 있지 않은 고추에 각각의 약제별 규정농도로 희석한 약액을 잎에서 약액이 흘러내릴 정도로 스프레이법을 이용하여 살포한 후 온실에 방치하여 놓고, 약제살포 당일과 1, 3, 5, 7, 10일 후에 목화진딧물을 각각 10마리씩 접종하여 각각 3반복으로 수행하였다. 약액살포 전에 고추유묘에 발생한 진딧물이 있는 경우에는 모두 인위적으로 제거하였으며, 생사충수의 조사는 접종 후 48시간 후에 실시하였으며, 그 결과를 분석하였다.

### 통계분석

모든 실험은 5반복으로 하였으며, 그 결과를 Finney (1971)의 probit 분석법으로 치사농도(LC, lethal concentra-

Table 1. Contact toxicity response of melon aphid, *Aphis gossypii*, to four insecticides determined by spray method

Insecticides	n	LC <sub>50</sub> (95%CL) <sup>a)</sup>	LC <sub>95</sub> (95%CL)	Slope ± SE
Acephate	700	41.9 (14.8~113.5)	1979.6 (446.2~9499.8)	0.98 ± 0.206
Carbosulfan	700	5.2 (2.6~8.3)	108.9 (78.8~173.9)	1.25 ± 0.159
Imidacloprid	700	1.1 (0.5~1.9)	25.6 (18.5~41.3)	1.22 ± 0.162
Thiamethoxam	700	0.7 (0.4~1.1)	13.1 (9.6~20.8)	1.29 ± 0.163

<sup>a)</sup>95% Confidence limits.

Table 2. Stomach toxicity response of the 2nd instar of susceptible diamondback moth, *Plutella xylostella*, to nicotinoids insecticides determined by leaf-dipping method

Insecticides	n	LC <sub>50</sub> (95%CL) <sup>a)</sup>	LC <sub>95</sub> (95%CL)	Slope ± SE
Acetamiprid	350	15.2 (11.9~19.2)	166.6 (109.9~299.5)	1.58 ± 0.155
Imidacloprid	350	64.9 (51.8~84.3)	630.6 (386.7~1279.5)	1.67 ± 0.168
Thiamethoxam	350	24.6 (18.7~33.5)	458.7 (240.0~1238.0)	1.29 ± 0.148

<sup>a)</sup>95% Confidence limits.

tion)와 치사시간(LT, lethal time) 그리고 신뢰한계치를 구하였으며, Duncan multiple range test(Duncan 1955, SAS program 1993)로 통계처리 하였다.

## 결과 및 고찰

### 접촉독성반응

스프레이법을 이용하여 목화진딧물에 대한 공시살충제의 접촉독성반응을 검토한 결과 각각의 약제별 LC<sub>50</sub>값은 유기인계인 acephate(41.9 ppm), 카바메이트인 carbosulfan(5.2 ppm), 니코틴계인 imidacloprid(1.1 ppm)와 thiamethoxam(0.7 ppm)의 순으로 나타났으며, LC<sub>95</sub>값도 같은 순으로 접촉독성반응을 보였다(표 1). 이처럼 신규화합물인 thiamethoxam의 목화진딧물에 대한 접촉독성반응은 LC<sub>50</sub>값과 LC<sub>95</sub>값이 acephate, carbosulfan 그리고 imidacloprid보다 낮은 것으로 나타났다.

Acetamiprid(モスピラン 普及會, 1995)의 목화진딧물 성충에 대한 LC<sub>50</sub>값은 1.0 ppm이었고, 복숭아혹진딧물에 대한 LC<sub>50</sub>값은 3.0 ppm이었던 것과 거의 유사한 값을 보여 imidacloprid나 thiamethoxam은 접촉독성이 강한 것으로 판단되었다. 또한, acephate의 경우 LC<sub>95</sub>값이 1979.6 ppm으로서 농약사용지침서(농약공업협회, 1998)에 있는

사용량인 500 ppm과 상당한 차이가 있으므로 목화진딧물에 저항성이 있는 것으로 나타났으며, 진딧물류의 지역계통별 약제저항성 연구(최 등, 1997)에서도 지역별 저항성비가 수원에서 3.7, 용인에서 1.5로 나타난 것으로 보아 경주지역의 목화진딧물도 저항성이 있는 것으로 판단된다.

Carbosulfan(200 ppm)과 imidacloprid(50 ppm)의 LC<sub>95</sub>값이 모두 사용량의 0.5배로 나타났지만, 진딧물류의 지역계통별 약제저항성 연구(최 등, 1997)에서 imidacloprid 10WP에 대해서도 저항성비가 63.4~97.1로 나타난 결과와는 다소 차이가 있었다.

### 섭식독성반응

엽침적법(leaf-dipping method)을 이용하여 배추좀나방에 대한 공시살충제의 섭식독성반응을 유충의 2령부터 4령까지 검토한 결과 각각의 약제별 LC<sub>50</sub>과 LC<sub>95</sub>값은 표 2, 3, 4와 같다.

배추좀나방 2령 유충에 대한 LC<sub>50</sub>값은 imidacloprid(64.9 ppm), thiamethoxam(24.6 ppm), acetamiprid(15.2 ppm)의 순으로 섭식독성반응을 보였다(표 2). 3, 4령 유충에 대한 LC<sub>50</sub>값도 imidacloprid, thiamethoxam 그리고 acetamiprid의 순으로서 2령 유충에서와 유사한 경향을

나타냈다(표 3, 4). 한편, acetamiprid의 LC<sub>50</sub>값(모스피란 普及會, 1995)은 2, 3, 4령 각각 19, 35, 32 ppm과는 약간의 차이는 있지만 경향은 비슷하였다.

이 결과 유충에 대한 imidacloprid의 약효는 실제 사용하는 추천농도(농약공업협회, 1998)가 50 ppm이므로 섭식에 의한 살충효과는 다소 저조한 것으로 나타났으며, acetamiprid(추천농도 40 ppm)의 경우에는 섭식에 의한 살충효과가 우수한 것으로 판단되며, 이와 비교하여 thiamethoxam은 24.5, 42.7, 44.5 ppm으로서 약간의 약효는 인정되지만 배추좀나방 전문약제로는 미흡한 것으로 나타났다. 배추좀나방 유충에 대한 섭식독성은 acetamiprid가 비교적 우수하였으며, thiamethoxam은 다소 많은 약량을 투여해야 되므로 저조한 것으로 판단된다.

#### 속효성검정

고추유묘에 접종된 목화진딧물에 공시약제를 직접 살포하는 방법을 이용하여 살충효과의 변화를 검토한 결과 공시약제의 LT(lethal time)값은 표 5와 같으며, 공시약제를 고추에 직접 살포한 후 목화진딧물을 접종하여 살충효과의 변화를 검토한 결과 공시약제의 LT값은 표 6과 같다. 목화진딧물에 직접 살포한 경우 약제의 초기 활성을 나타내는 LT<sub>10</sub>값은 imidacloprid(15.8분), carbosulfan(16.6분), thiamethoxam(17.1분), acephate(25.0분)의 순

으로 나타났고, LT<sub>50</sub>값과 LT<sub>95</sub>값은 imidacloprid, thiamethoxam, carbosulfan 그리고 acephate의 순으로 나타났으며, 고추유묘에 약제를 살포한 후 목화진딧물을 접종한 경우에는 LT<sub>10</sub>값이 carbosulfan(47.0분), imidacloprid(62.6분), thiamethoxam(67.3분)의 순이었지만, LT<sub>50</sub>값과 LT<sub>95</sub>값은 thiamethoxam, imidacloprid, carbosulfan의 순으로 나타났고, acephate에 대한 LT값은 접종한 목화진딧물이 24시간이 경과한 후에도 생충수의 변화가 없었으므로 측정할 수가 없었다. 이 결과 약제처리후 약제의 활성을 나타내는 초기 발현속도는 각각 imidacloprid와 carbosulfan이 가장 빨랐고, 두 가지 방법으로 각각 약제를 처리하였을 경우 모두 acephate가 가장 느린 것으로 나타났다. 그리고, thiamethoxam은 작물체에 목화진딧물이 발생하였을 경우에 약제를 살포하는 것이 보다 효과적이었으며, 목화진딧물의 존재유무와 관계없이 약제를 살포하더라도 약제에 의한 살충효과가 우수하였다.

#### 침투이행성검정

침투이행성의 검정은 앞 윗면으로부터 이면으로의 이행성과 하위 윗면으로부터 상위 윗면으로의 이행성, 그리고 뿌리로부터 윗면으로의 이행성을 검토한 결과 표 7, 8, 9와 같다.

Table 3. Stomach toxicity response of the 3rd instar of susceptible diamondback moth, *Plutella xylostella*, to nicotinoids insecticides determined by leaf-dipping method

Insecticides	n	LC <sub>50</sub> (95%CL) <sup>a)</sup>	LC <sub>95</sub> (95%CL)	Slope ± SE
Acetamiprid	350	27.8 (21.9 ~ 35.7)	341.3 (209.6 ~ 692.0)	1.51 ± 0.155
Imidacloprid	350	125.1 (92.3 ~ 192.8)	NS <sup>b)</sup>	1.46 ± 0.214
Thiamethoxam	350	42.7 (30.9 ~ 65.1)	NS	1.19 ± 0.154

<sup>a)</sup>95% Confidence limits, <sup>b)</sup>Not significant.

Table 4. Stomach toxicity response of the 4th instar of susceptible diamondback moth, *Plutella xylostella*, to nicotinoids insecticides determined by leaf-dipping method

Insecticides	n	LC <sub>50</sub> (95%CL) <sup>a)</sup>	LC <sub>95</sub> (95%CL)	Slope ± SE
Acetamiprid	350	23.9 (18.8 ~ 30.2)	240.9 (155.7 ~ 451.9)	1.64 ± 0.169
Imidacloprid	350	241.1 (152.3 ~ 557.5)	NS <sup>b)</sup>	1.24 ± 0.227
Thiamethoxam	350	44.5 (31.7 ~ 69.9)	NS	1.14 ± 0.151

<sup>a)</sup>95% Confidence limits, <sup>b)</sup>Not significant.

Table 5. Rapid action response of melon aphid, *Aphis gossypii*, to four insecticides determined by spray method

Insecticides	Concentration (ppm)	n	Lethal time (95%CL) <sup>a)</sup>			Slope ± SE	CT <sup>b)</sup>
			LT <sub>10</sub>	LT <sub>50</sub>	LT <sub>95</sub>		
Acephate	500	169	25.0 (23.3~26.6)	41.7 (40.2~43.2)	80.3 (76.1~85.5)	5.78 ± 0.263	3.46
Carbosulfan	200	169	16.6 (15.2~18.0)	30.3 (28.8~31.7)	65.3 (61.4~70.0)	4.93 ± 0.224	1.10
Imidacloprid	50	170	15.8 (14.4~17.0)	26.6 (25.3~27.8)	52.0 (48.9~55.8)	5.65 ± 0.291	0.22
Thiamethoxam	25	142	17.1 (15.6~18.5)	28.0 (26.6~29.3)	52.5 (49.3~56.6)	6.01 ± 0.343	0.11

<sup>a)</sup>95% Confidence limits, <sup>b)</sup>LT<sub>90</sub> × Concentration %.

Table 6. Rapid action response of melon aphid, *Aphis gossypii*, to four insecticides determined by method of inoculation after spray

Class/Insecticides	Concentration (ppm)	n	Lethal time (95%CL) <sup>a)</sup>			Slope ± SE	CT <sup>b)</sup>
			LT <sub>10</sub>	LT <sub>50</sub>	LT <sub>95</sub>		
Acephate	500	100	-	-	-	-	-
Carbosulfan	200	100	47.0 (34.6~63.2)	122.9 (106.6~142.0)	422.4 (301.4~597.7)	3.07 ± 0.360	6.43
Imidacloprid	50	101	62.6 (50.7~76.8)	118.0 (106.1~131.2)	266.5 (215.0~332.4)	4.65 ± 0.522	1.11
Thiamethoxam	25	98	67.3 (57.9~77.6)	95.5 (87.8~103.7)	149.6 (131.5~171.4)	8.43 ± 0.930	0.34

<sup>a)</sup>95% Confidence limits, <sup>b)</sup>LT<sub>90</sub> × Concentration %.

고추 잎의 뒷면에만 약제를 살포하여 목화진딧물을 잎의 뒷면에 접종한 후 목화진딧물에 대한 초기활성을 나타내는 LT<sub>10</sub>값은 thiamethoxam(53.9분), imidacloprid(56.5분), carbosulfan(92.0분), acephate(766.1분)의 순으로 나타났으며(표 7), 고추유묘의 하위 잎에만 공시살충제를 직접 살포한 후 상위 잎에만 목화진딧물을 접종한 경우 LT<sub>10</sub>값은 carbosulfan(1.1일), thiamethoxam(1.5일), imidacloprid(1.6일) 그리고 acephate (2.9일)의 순으로 나타났다(표 8). LT<sub>50</sub>값과 LT<sub>95</sub>값은 전자의 경우 thiamethoxam, imidacloprid 그리고 carbosulfan의 순이었지만, 후자의 경우에는 carbosulfan, thiamethoxam, imidacloprid, acephate의 순으로 나타났다. 그리고 acephate는 전자의 경우 접종한 목화진딧물의 생충수 변화가 거의 없었으므로 LT값을 측정 할 수가 없었다. 이 결과 약제처리후 잎 뒷면에서 이면으로의 침투이행성은 thiamethoxam이 가장 빠르고, acephate가 가장 느린 것으로 나타났지만, 하위 잎으로부터 상위 잎으로의 이행성은 carbosulfan이 가장 빠른 것으로 나타났다. 고추유묘의 잎 뒷면에만 살충제를 직접 살포한 후에 잎 뒷면에 목화진딧물을 접종하여 살충효과의 변화를 검토한 연구(장, 1998)에서 니코틴계인

imidacloprid와 thiamethoxam, 카바메이트계인 carbosulfan이 빠른 살충반응을 보이는 것으로 나타났고, 유기인계인 acephate는 1.5시간이 경과한 후에 반응을 보이기 시작하였지만, 6시간이 경과된 후에도 살충효과가 5%정도인 것으로 보아 침투이행성보다는 가스독 작용인 것으로 판단된다.

이처럼 니코틴계통인 thiamethoxam과 imidacloprid는 접종 후 6시간 경과 후까지도 거의 유사한 95%의 살충효과를 나타냈으며, carbosulfan도 니코틴계 살충제와 유사하였지만, 니코틴계 살충제보다는 다소 저조한 살충효과를 나타냈다. Acetamiprid의 침투이행성검정(모스피란普及會, 1995)에서는 니코틴계 살충제가 공시충 접종 3시간만에 50%의 살충효과를 나타냈고, 20시간이 경과한 후에 100%의 살충효과를 나타낸 결과와 경향은 거의 일치하며, 유기인계 살충제는 접종 후 20시간이 경과한 후에도 20%정도의 살충효과만 나타냈다. 하위 잎에만 살충제를 직접 살포한 후에 상위 잎에만 목화진딧물을 접종한 연구(장, 1998)에서의 살충활성반응은 카바메이트계가 가장 빠른 반응을 나타냈으며, 니코틴계 그리고 유기인계 순으로 반응을 나타내었다.

Table 7. Systemic action response of melon aphid, *Aphis gossypii*, to four insecticides determined by method of spray abaxial surface of leaves

Insecticides	Concentration (ppm)	n	Lethal time (95%CL) <sup>a)</sup>			Slope ± SE	CT <sup>b)</sup>
			LT <sub>10</sub>	LT <sub>50</sub>	LT <sub>95</sub>		
Acephate	500	193	766.1 (634.2~971.3)	-	-	1.51 ± 0.149	-
Carbosulfan	200	198	92.0 (74.6~113.2)	227.9 (205.0~253.3)	729.5 (547.2~976.9)	3.26 ± 0.321	11.28
Imidacloprid	50	205	56.5 (40.5~78.6)	168.9 (145.5~195.9)	689.2 (480.8~991.0)	2.69 ± 0.307	2.53
Thiamethoxam	25	205	53.9 (39.8~72.8)	162.2 (141.8~185.5)	666.1 (485.5~917.0)	2.68 ± 0.271	1.22

<sup>a)</sup>95% Confidence limits, <sup>b)</sup>LT<sub>90</sub> × Concentration %.

Table 8. Systemic action response of melon aphid, *Aphis gossypii*, to four insecticides determined by method of spray at lower leaves

Insecticides	Concentration (ppm)	n	Lethal time <sup>a)</sup> (days)			Slope ± SE	CT <sup>b)</sup>
			LT <sub>10</sub>	LT <sub>50</sub>	LT <sub>95</sub>		
Acephate	500	193	2.9 (2.4~3.3)	8.8 (7.3~12.1)	36.7 (22.6~85.9)	2.7 ± 0.37	1.34
Carbosulfan	200	198	1.1 (0.7~1.7)	2.3 (1.8~2.9)	6.1 (4.1~9.1)	3.9 ± 0.60	0.10
Imidacloprid	50	205	1.6 (1.0~2.5)	3.0 (2.4~3.8)	6.8 (4.5~10.6)	4.6 ± 0.86	0.03
Thiamethoxam	25	205	1.5 (1.1~2.2)	2.9 (2.4~3.5)	6.6 (4.8~9.3)	4.6 ± 0.67	0.01

<sup>a)</sup>95% Confidence limits, <sup>b)</sup>LT<sub>90</sub> × Concentration %.

그리고, 초기의 살충효과는 carbosulfan이 니코틴계보다 다소 높았지만, 후기에는 니코틴계 살충제가 카바메이트계보다 다소 높은 살충효과를 나타냈다. Acetamiprid의 침투이행성검정(모스피란普及會, 1995)에서도 니코틴계 살충제가 공시충 접종 5일만에 100%의 살충반응을 나타낸 것과 같은 결과를 보였지만, 유기인계 살충제의 경우에는 다소 차이가 있었다.

공시살충제를 희석하여 삼각플라스크에 넣은 후 목화진딧물이 접종되어 있는 고추유묘를 삼각플라스크에 넣어 뿌리로부터 잎으로의 침투이행성을 검토한 결과 목화진딧물에 대한 약제의 LT<sub>10</sub>값은 carbosulfan, imidacloprid, thiamethoxam 그리고 acephate의 순으로 나타났고, LT<sub>50</sub>값과 LT<sub>95</sub>값도 같은 경향을 보였다(표 9). 뿌리로부터의 이행성은 약제처리후 초기 발현속도뿐만 아니라 후기의 발현속도도 carbosulfan이 가장 빨랐고, acephate가 가장 느린 것으로 나타났지만, 살충효과에서는 acephate를 제외한 약제간에 유의차가 거의 없는 것으로 나타났다(표 10).

### 잔효성검정

목화진딧물이 발생되지 않은 고추유묘에 스프레이법을 이용하여 공시살충제를 직접 살포한 후에 고추에 목화진딧물을 접종하여 48시간 후에 조사한 결과 살충효과의 변화는 그림 1과 같다.

목화진딧물에 대한 살충활성반응은 약제처리 당일과 1일 후에 진딧물을 접종하였을 때에는 공시살충제 모두 100%의 살충효과를 나타내었고, 3일 후에 접종하였을 때에는 acephate를 제외한 공시살충제가 100%의 살충효과를 보였으며, 5일 후에 접종하였을 때에는 니코틴계통인 imidacloprid와 thiamethoxam만이 100%의 살충효과를 나타내었다. Acephate의 경우에는 약제처리후 3일째부터 살충효과가 감소하기 시작하여 약제처리후 10일째에는 25%정도의 살충효과만을 보여 잔효성이 다소 떨어지는 것으로 나타났다.

카바메이트계인 carbosulfan은 furathiocarb와 acetamiprid보다 다소 높은 살충효과를 나타냈다. 니코틴계인 thiamethoxam과 imidacloprid는 약제처리후 10일째에 진딧물을 접종한 경우에도 80%이상의 높은 살충효과를 나타

**Table 9. Systemic action response of melon aphid, *Aphis gossypii*, to four insecticides determined by method of application at roots**

Insecticides	Concentration (ppm)	n	Lethal time <sup>a)</sup> (days)			Slope ± SE	CT <sup>b)</sup>
			LT <sub>10</sub>	LT <sub>50</sub>	LT <sub>95</sub>		
Acephate	500	118	2.9 (2.4~3.4)	13.8 (9.8~26.3)	100.0 (44.2~498.9)	1.9 ± 0.32	3.23
Carbosulfan	200	122	0.2 (0.1~0.3)	0.6 (0.4~0.8)	3.2 (2.7~4.0)	2.4 ± 0.30	0.05
Imidacloprid	50	116	0.4 (0.2~0.5)	1.0 (0.8~1.1)	3.5 (3.0~4.3)	2.9 ± 0.30	0.02
Thiamethoxam	25	109	0.4 (0.3~0.5)	1.0 (0.8~1.2)	3.6 (3.1~4.4)	3.0 ± 0.30	0.01

<sup>a)</sup>95% Confidence limits, <sup>b)</sup>LT<sub>90</sub> × Concentration %.

낸 것으로 보아 잔효성이 우수한 살충제임으로 알 수 있었다. Acetamiprid의 잔효성검정결과(모스피란普及會, 1995)에서는 acetamiprid가 처리 14일 후에도 100%의 살충효과를 보였고, 유기인계 살충제 두종류도 7일째까지 100%의 살충효과를 나타낸 것과는 다소 차이가 있었지만, 살충효과의 경향은 거의 일치하였다. 이처럼 니코틴계 살충제가 잔효성 면에서도 우수한 것으로 나타났다.

이상의 결과로 보아 니코틴계인 thiamethoxam은 목화진딧물에 대하여 유기인계인 acephate나 카바메이트계인 carbosulfan 보다 우수한 살충효과를 보였다. 그러나, 최근에 니코틴계인 imidacloprid에 대한 복숭아혹진딧물의 야외계통이 감수성계통에 비하여 63.4~97.1배의 높은 저항성을 나타내었으며(최 등, 1997), 지역간에도 수원에

서는 3.7, 용인에서는 1.5배의 저항성비를 나타내고 있으므로 전국적으로 확산될 가능성이 크다. 이처럼 약제에 대한 지역간 저항성비가 다른 것은 지역간의 선호하는 살충제의 종류와 살충제의 사용량에 대한 차이인 것으로 생각되므로, 추후에 지역별 약제에 대한 저항성 정도에 관한 규명이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

새로운 화합물인 thiamethoxam의 경우에도 기존의 살충제와 같이 무분별하게 사용한다면 저항성이 우려되지만 계통이 서로 다른 약제를 교호 살포하면 진딧물의 방제에 도움을 줄 것이다. 또한, 약제에 대한 작용특성 비교를 접촉독성, 섭식독성, 속효성, 침투이행성 그리고 잔효성 검정 등을 생물검정법으로 실시하였지만, 최근에는 약제에만 의존한 화학적 방제방법에서 탈피하여 종합적인 방제체계를 구축하려는 많은 연구가 진행되고

**Table 10. Survival rate of melon aphid, *Aphis gossypii*, to four insecticides determined by method of application at roots**

Type/insecticides	Con. (ppm)	No. of aphids observed	Means survival rate (%)					
			1 DAT	2 DAT	3 DAT	4 DAT	5 DAT	6 DAT <sup>b)</sup>
Acephate	500	23.6a	97.5a	95.8a	90.7a	86.4a	78.0a	74.6a
Carbosulfan	200	24.4a	27.9a	18.0b	5.7b	2.5b	0.0b	0.0b
Thiamethoxam	25	21.8a	46.8a	24.8b	9.2b	2.8b	0.0b	0.0b
Imidacloprid	50	23.2a	44.0a	23.3b	8.6b	2.6b	0.0b	0.0b
Statistical								
F value		0.13	106.47	121.38	165.72	316.16	940.44	553.14
Pr > F		0.3677	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
CV <sup>a)</sup>		9.85	12.34	18.86	25.42	22.43	14.58	19.02

In a column, means followed by the same letters are not significantly different at the 5% level of Duncan's multiple range test(SAS Institute, 1993).

<sup>a)</sup>Coefficient of variation, <sup>b)</sup>Days after treatment.



있다. 그러므로, 이러한 종합방제 체계 하에서도 사용할 수 있는 살충제의 연구, 즉 천적에 안전한 살충제의 개발이 병행되어야 할 것이며, 온도변화에 따른 속효성이나 침투이행성, 그리고 강우에 의한 영향, 지역별 약제 저항성 수준조사를 지속적으로 실시함과 동시에 타약제와 혼합하였을 경우 나타날 수 있는 약효의 상승작용이나 연합독작용에 대한 연구를 수행함으로써 효과적인 방제대책에 있어 중요한 자료가 될 것으로 생각된다.

**감사의 글**

본 논문에 대해 아낌없는 충고와 교정을 하여준 충남대학교 농과대학 윤영남 박사님과 충북대학교 농과대학 김길하 박사님께 깊은 감사를 드립니다.

**인용문헌**

Anonymous (1995) CGA293343 Product Profile. -confidential  
 Carson, R. L. (1962) *Silent Spring*. Houghton Mifflin, Boston. U.S.A.  
 Collins, W. J. (1975) A comparative study of insecticide resistance assays with the german cockroach. *Pesticide*

*Sci.* 6:83~95.  
 Finney, D. J. (1971) *Probit analysis, estimation of the median effective dose*. pp.19-47. Cambridge, England.  
 Hiroshi H. (1996) Characteristics of newly developed insecticides and problems on their use. *Plant Protection*. 50(11):446~450.  
 Hsu, A. C. T. (1991) 1,2-diacyl-1-alkylhydrazines : A new class of insect growth regulator, in synthesis and chemistry of agrochemicals II (eds. D. R. Baker, J. G. Fenyes and W. K. Moderg). American Chemical Society. Washington. 478~490.  
 Kalra, R. L. and R. P. Chawla (1977) Evaluation of bioassay techniques for the detection of insecticide resistance in *Plutella xylostella*. *FAO Plant Protection Bull.* 25:85~87.  
 Metcalf, R. E. (1980) Changing role of insecticides in crop protection. *Ann. Rev. Entomol.* 25:219~256.  
 모스비란普及會 (1995) 모스비란(acetamiprid, NI-25). p.52.  
 Perng, F. S., M. C. Yao, C. F. Hung and C. N. Sun (1988) Teflubenzuron resistance in diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *J. Econ. Entomol.* 81:277~282.  
 Perng, F. S. and C. N. Sun (1987) Susceptibility of

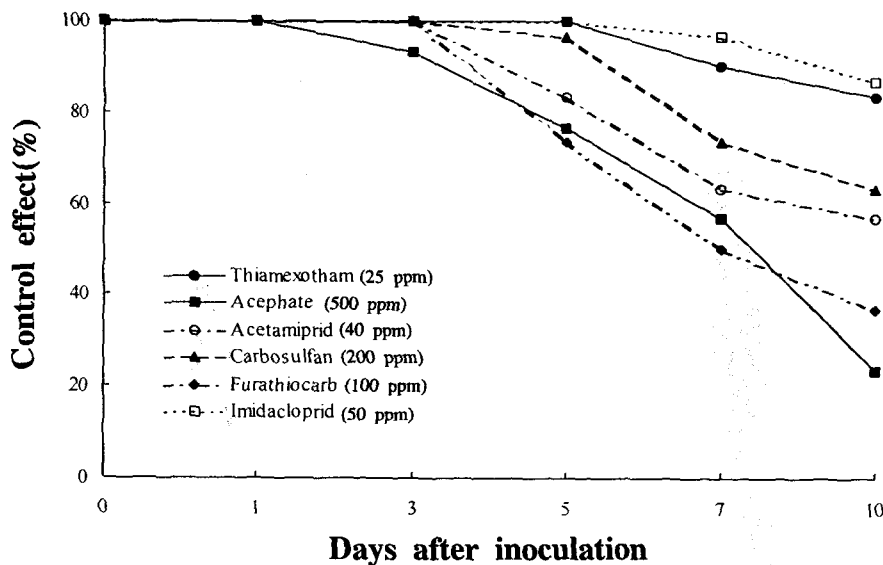


Fig 1. Change in residual activity for the melon aphid, *Aphis gossypii*, to four insecticides determined by method of inoculation after spray.

- diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) resistant to conventional insecticides to chitin synthesis inhibitors. J. Econ. Entomol. 80:29~31.
- Song, S. S., H. K. Oh, N. Motoyama (1993) Insecticide susceptibility of field-collected populations of the spiraea aphids, *Aphis citricola* (van der Goot) (Homoptera : Aphididae) in apple orchards. Korean J. Appl. Entomol. 32(3):259~264.
- Spomer, S. M., L. G. Higley, F. J. Haile and J. E. Foster (1996) Alfalfa insect control, 1995. Arthropod Management Tests. 21:198~200.
- Spomer, S. M., L. G. Higley and J. E. Foster (1995) Alfalfa, insect control, 1994. Arthropod Management Tests. 20:152~153.
- Spomer S. M., L. G. Higley and J. E. Foster (1994) Alfalfa insect control, 1993. Arthropod Management Tests. 19:176~177.
- Stoltz, R. L. and N. A. Matteson (1994) Colorado potato beetle control with admire (imidacloprid), 1993. Arthropod Management Tests. 19:139~140.
- Stoltz, R. L. and N. A. Matteson (1995a) Alfalfa weevil and aphid control in alfalfa, 1994. Arthropod Management Tests. 20:268~269.
- Stoltz, R. L. and N. A. Matteson (1995b) Colorado potato beetle control with admire (imidacloprid), 1994. Arthropod Management Tests. 20:143~144.
- Tabashnik, B. E. and N. L. Cushing (1987) Leaf residue vs. topical bioassays for assessing insecticide resistance in the diamondback moth, *Plutella xylostella* L.. FAO Plant Protection Bull. 35(1):11~14.
- Takeda, S., K. Tateishi. M. Kiuchi (1991) Effects of nonsteroidal ecdysone mimics RH5849 on the development of lepidopterous insects. Plant Protection. 45(4):21~24.
- Talekar, N. S. and A. M. Shelton (1993) Biology, ecology, and management of the diamondback moth. Annu. Rev. Entomol. 38:275~301.
- Teague, T. G. and C. Stasi (1994) Melon aphid control with confidor, 1993. Arthropod Management Tests. 19:143.
- Tomizawa, M. and I. Yamamoto (1993) Structure-activity relationships of nicotinoids and imidacloprid analogs. J. Pesticide Sci. 18:91~98.
- Tsuboi, S. (1993) Insecticidal activities of chlornicotinyl insecticide "Imida- cloprid". Plant Protection. 47(5):199~202.
- Yamamoto, I. (1996a) Neonicotinoid-mode of action and biorational design. Plant Protection. 50(6):240~245.
- Yamamoto, I. (1996b) Neonicotinoids mode of action and selectivity. Agrochemical Japan. Japan Plant Protection Association. 68:14~15.
- 농약공업협회 (1998) 98농약사용지침서. 삼정인쇄공사. p.823.
- 양환승, 이두형, 이승찬 (1991) 삼정신농약. 향문사. p.420.
- 이승찬, 김운영, 김상수 (1986) 점박이용애의 약제 저항성 수준결정방법 비교와 Benzomate, Cyhexatin 및 Dicofol 저항성 조사연구. 한식보지 25(3):133~138.
- 이승찬, 조영식, 김도익 (1993) 배추좀나방(*Plutella xylostella* L.)의 독성시험 방법 비교와 지역별 약제 저항성에 관한 연구. 한응곤지 32:323~329.
- 장 철 (1998) Thiamethoxam의 진딧물류에 대한 작용특성과 방제효과. 충남대학교 박사학위논문.
- 최병렬, 유재기, 이정운, 이시우, 이상계, 송유한 (1997) 복숭아혹진딧물 지역계통의 약제저항성. 1997년도 곤충학 특별강연 및 학술발표회요지. p.65
- 한국신농약개발연구조합. 1993. 신농약 개발연구의 현황 및 발전전략. p.343.

---

**Action properties and insecticidal effects of thiamethoxam to the melon aphid, *Aphis gossypii*, and diamondback moth, *Plutella xylostella***

Cheol Jang\*, In-Cheon Hwang, Yong-Man Yu and Kwang-Ryul Choe<sup>1</sup>(Central Research Institute, Kyungnong Co., 226 Kuhwang-dong, Kyungju, Kyungbuk 780-110, Korea.<sup>1</sup>College of Agriculture, Chungnam National University, 220 Kung-dong, Yuseong-gu, Taejon 305-764, Korea.)

**Abstract :** For the purpose of effective control strategy of the melon aphid, *Aphis gossypii*, and the diamondback moth, *Plutella xylostella*, thiamethoxam and 3 other insecticides in different classes were used with bioassay test methods in laboratory and greenhouse. They were examined to evaluated and compared with contact toxicity, stomach toxicity, rapid action, systemic action, and residual effect of imidacloprid, thiamethoxam (nicotinoids), acephate (organophosphorates), and carbosulfan (carbamates). As results of contact toxicity responses of *A. gossypii* against 4 insecticides using a spray application method, LC<sub>50</sub> values of acephate, carbosulfan, imidacloprid and thiamethoxam were 41.9, 5.2, 1.1, and 0.7 ppm, respectively. In the evaluation of stomach toxicity response of *P. xylostella* using a leaf-dipping method, with the 2nd instar larva LC<sub>50</sub> values of imidacloprid, thiamethoxam and acetamiprid were 64.9, 24.6 and 15.2 ppm, with the 3rd instar larva were 125.2, 42.7 and 27.8 ppm, and with the 4th instar larva were 241.1, 44.5 and 23.9 ppm, respectively. In the case of rapid action to *A. gossypii* using a spray application method after inoculation, LT<sub>50</sub> values of imidacloprid, thiamethoxam, carbosulfan, and acephate were 26.6, 28.0, 30.3, and 41.7 min. respectively. Otherwise, in the inoculation after applying compounds, LT<sub>50</sub> values of thiamethoxam, imidacloprid, and carbosulfan were 95.5, 118.0, and 122.9 min. respectively. Evaluating to systemic action from the abaxial surface to the adaxial surface of red pepper leaf with spray method, LT<sub>50</sub> values of thiamethoxam, imidacloprid, and carbosulfan were 162.2, 168.9, and 564.1 min. respectively. For the systemic action from the lower leaves to the upper leaves on red pepper, LT<sub>50</sub> values of carbosulfan, thiamethoxam, imidacloprid, and acephate were 2.3, 2.9, 3.0, and 8.8 days, respectively. In red pepper plant, LT<sub>50</sub> values of carbosulfan, imidacloprid, thiamethoxam, and acephate on the systemic action from the roots to the upper leaf were 0.6, 1.0, 1.0, and 13.8 days, respectively. As these results, it might be that thiamethoxam was excellent on systemic effect in red pepper. For the evaluation of residual effect on red pepper with *A. gossypii*, thiamethoxam and imidacloprid maintained high control effects as over 80% upto 10 days after treating compounds.

---

\*Corresponding author (Fax : +82-561-773-4288, E-mail : knrcnd@chollian.net)