농약과학회지 제9권 제4호(2005)
The Korean Journal of Pesticide Science
Vol. 9, No. 4. pp.374~379(2005)

Imidacloprid의 아치사량이 복숭아혹진딧물의 생물적 특성에 미치는 영향

최병렬* · 이시우 · 송유한[1] · 유재기

농업과학기술원 작물보호부 농업해충과, [1]경상대학교 농과대학 농생물학과

요약 : Imidacloprid의 아치사량 처리에 의한 복숭아혹진딧물의 생물적 특성에 미치는 영향을 조사하여 imidacloprid의 사용 약량을 줄일 수 있는 방안을 모색코자 본 시험을 수행하였다. 복숭아혹진딧물에 아치사농도로 처리한 후 4일간 산자수를 조사하였으며, LC_1의 농도로 처리한 후 복숭아혹진딧물의 산자수는 8.8마리로 무처리 12.7마리와 유의성을 보이지 않았으나, LC_{10}, LC_{30}, LC_{50} 등의 처리에서는 산자수가 각각 6.0, 5.1, 3.9마리로 무처리보다 적게 낳았다. 산자억제율도 52.7, 59.8, 69.3%로 농도가 높을수록 높았다. 복숭아혹진딧물에 대한 처리방법별 기피효과는 침지처리가 관주처리보다 높았으며 농도가 높아질수록 더 크게 나타났다. 복숭아혹진딧물의 아치사량 처리 후 배설량은 침지처리에서는 농도가 높아질수록 적어졌다. 무처리 대비 배설억제율은 80~96%이었으며, 관주처리에서는 농도별 배설량 차이는 보이지 않았지만 무처리 대비 배설억제율은 97%이상을 보였다. (2005년 11월 16일 접수, 2005년 12월 20일 수리)

색인어 : 기피효과, 배설량, 복숭아혹진딧물, 아치사량, 이미다크로프리드

서 론

1960년대 이후 유기합성 농약의 사용에 의한 농작물 해충의 방제는 식량 증산에 획기적인 기여를 하였으나 농약 사용 증가에 따른 인축독성, 환경오염, 잔류독성, 해충의 약제저항성 발달, resurgence, 등의 부작용이 야기되었다. 이러한 부작용을 줄이기 위해 imidazolidinr계 농약이 1980년대 중반에 개발이 시작되어 1990년대 초에 상용화되었다 (Yamamoto, 1999). 우리나라에도 imidacloprid가 1992년부터 수입되어 진딧물과 벼멸구 등 흡즙성 해충의 방제에 이용되고 있다 (Anonymous, 1996). Imidacloprid는 imidazolidin계 농약의 하나이며 적은 약량에서 기피효과를 나타내고, 수용성으로 작물체에 흡수 이행되며, 특히 흡즙성 해충(진딧물류, 멸구류)에 대해 방제효과가 높은 것으로 알려져 있다. Imidazolidin계 살충제는 신경전달물질인 acetylcholine 수용체와 결합, 신경전달을 저해하여, 자극전달을 차단함으로써 해충을 치사시키는 작용을 하여, 기존 농약에 저항성을 보이는 해충에 대해서도 방제효과가 우수하다고 보고되어 있으며, nicotine과 비슷한 구조에 같은 살충기작을 갖고 있기 때문에 neonicotinoid로 불리기도 한다(Nauen 과 Elbert, 1994, 1997; Tomizawa, 1994; Tomizawa 등, 1995ab). 특히 imidacloprid는 쥐와 진딧물간 독성비가 7300배로 높은 선택독성을 보여 포유동물에 독성이 낮은 좋은 특성을 갖고 있다(Leicht, 1996).

하지만 아무리 좋은 특성을 가진 농약이라도 사용량이 증가되면 도태압이 높아져 저항성이 발달할 가능성이 높아 농약 사용량이 증가되고, 농약 수명이 단축 될 가능성이 높다. 이의 해결 방안 중 하나로는 저항성 발달에 대한 도태압을 낮추기 위해서 약제 살포량을 줄이는 것이다.

실제 추천량의 농약을 살포하여도 작물의 울폐도에 의해 잎 뒷면까지 도달하는 약량이 아치사량 수준으로 쉽게 낮아질 가능성이 높은 것으로 알려져 있다 (Chelliah 와 Heinrichs, 1980). 따라서 약제 살포 후 차세대를 형성하는 개체 즉 아치사량에 노출되었을 때 살아남은 개체들의 생물학적 특성들을 조사하여 농약이 해충의 차세대 형성에 미치는 영향을 평가하는 것도 농약의 효과를 판단하는데 매우 중요한 기준이 될 수 있다.

따라서 본 실험에서는 imidacloprid의 아치사량 처리에 의한 복숭아혹진딧물의 배설량, 산란력 및 기피작용 등 생물학적 특성 변화 등을 조사함으로써 약제가 복숭아혹진딧물의 차세대 형성에 미치는 영향을 평가하여 imidacloprid 사용 약량을 줄일 수 있는 가능성을 검토하고자 하였다.

*연락저자

Table 1. Insecticidal activity of imidacloprid to *Myzus persicae* at 48 hrs after treatment

Application method	LD_{50} (ug per ml) or LC_{50} (ppm)	Slope±SE	95% FL[a)]
Topical application	0.4	0.9±0.2	0.2～ 0.8
Leaf dipping	1.9	2.4±0.3	1.6～ 2.3
Watering	13.7	1.7±0.4	9.8～22.7

[a)]Fiducial limit.

Table 2. Effects of sublethal concentrations of imidacloprid on oviposition of *M. persicae*

LC value	Concentration (ppm)	No. offspring (individual/4 days)	Inhibition rate(%) of offspring[a)]
LC_1	0.21	8.8±1.5 a[b)]	30.7
LC_{10}	0.59	6.0±0.9 b	52.7
LC_{30}	1.23	5.1±2.1 b	59.8
LC_{50}	1.95	3.9±3.0 b	69.3
Untreated	-	12.7±4.7 a	-

[a)](Untreated-treated / Untreated)×100

[b)]The same letter in the same column means no significance at α=0.05 level(Scheffe's test).

재료 및 방법

실험곤충 및 약제 : 복숭아혹진딧물(*Myzus persicae* Sulzer, GPA)은 1996년에 한국화학연구소에서 감수성 계통을 분양 받아 배추(*Brassica campestris* Makino)를 기주로 하여 온도 25±1℃, 광주기 16L:8D, 상대습도 40-60%의 조건으로 약제에 노출시키지 않고 누대 사육 하였다. 실험약제는 시중에서 구입한 imidacloprid 수화제(10%)를 사용 전에 소정농도로 희석하였다.

산자력 : 복숭아혹진딧물 감수성계통에 대하여 imidacloprid의 아치사량 효과를 조사하기 위하여 아치사량(LC_1 (0.012 ppm), LC_{10} (0.32 ppm), LC_{30} (1.31 ppm), LC_{50} (1.90 ppm)) 으로 희석된 약액에 지름 6 cm로 자른 배추잎을 30초간 침지처리하여 음건 후 페트리접시에 넣고 복숭아혹진딧물을 접종하였다. 24시간 후 살아 있는 시험충을 약제처리를 하지 않은 배추잎에 옮긴 후 4일간 산자수(産子數)를 조사하였다.

배설량 : 복숭아혹진딧물에 대한 배설량 측정은 관주처리시 정식 20일 되는 배추(삼진) 잎을 가로 6 cm 세로 6 cm 크기로 잘라서 LC_1 (0.25 ppm), LC_{10} (1.35 ppm), LC_{30} (5.66 ppm), LC_{50} (13.7 ppm)으로 희석된 약액에 12시간 동안 관주하였다. 관주처리된 배추잎을 솜으로 말아서 100 ㎖ 비이커에 꽂고, 솜 위에 bromocresol green(Sigma, USA)으로 염색된 필터페이퍼를 깔았으며, 1시간 동안 복숭아혹진딧물 무시 암컷 성충을 10마리씩 접종한 후 24시간 동안 배설하도록 하였다.

침지처리는 소정농도로 희석된 약액에 배추잎을 30초간 침지하고 음건하였으며 배추잎을 꺽꽂이 모양(T자형)으로 잘라 진딧물을 접종하고 24시간 동안 배설하도록 하였다. 시험은 3반복으로 수행하였다.

기피율 : 복숭아혹진딧물에 대한 기피율 조사는 정식 후 20일 된 배추잎을 T자형으로 잘라서 희석된 약액에 각각 침지처리와 관주처리를 한 후 줄기부분을 솜으로 싸고 시험관(100 ㎖)에 꽂았다. 처리된 잎에 복숭아혹진딧물을 20마리씩 접종하고(3반복) 무처리한 잎을 연결시켜 24시간 후 무처리 잎으로 이동한 진딧물 밀도를 조사하여 기피율을 산출하였다.

결과 및 고찰

표 1은 이미다클로프리드의 처리 방법에 따라 복숭아혹진딧물에 대해 살충력이 다르게 나타남을 보여주고 있다. 이 결과를 토대로 처리 방법별로 LC_1, LC_{10}, LC_{30} 등의 아치사약량을 구하여 실험에 이용하였다.

표 2는 복숭아혹진딧물에 아치사농도를 처리한 후 4일간 산자수를 조사한 결과로서 약제의 농도가 높아질수록 산자수가 적어 산자(産子)억제율이 높아지는 경향을 보였다.

기존약제 중에 일부가 아치사량 및 포장추천농도로 처리시 복숭아혹진딧물의 차세대 밀도가 증가되는 resurgence 현상 등이 보고되었는데, Gordon 과 McEwen (1984)은 azinphos-methyl액에 토마토잎을 침지한 후 복숭아혹진딧물을 접종하였을 경우 무처리와 비교하여 성충수명이 감소되지 않았으며, F_1세대에서

는 약제처리 후 초기 3일경에 산자 peak를 보여, 개체군 형성이 무처리 보다 빨리 이루어졌다고 하였으며, 이는 접종세대에서 산자 관련호르몬이 F_1에 전달되어 이루어지는 것으로 추측하였다. Lowery 와 Sears (1986)은 복숭아혹진딧물에 대하여 azinpos-methyl을 직접 살포하였을 경우에 차세대의 산자수는 20~30%가 증가된다고 하였다. 이와 같이 살충제 살포 후 해충의 밀도가 증가하는 것은 약제에 의한 천적이나 경쟁종의 감소뿐만 아니라, 약제가 식물체의 잎 표면을 생리적으로 변화시켜 진딧물의 clone형성에 더 적합하기 때문이며(DeBach, 1946; Van Emdenl, 1966), 살충제가 저항성계통을 유전적으로 도태시켜 더 빠르게 밀도를 형성시키며(Hardy, 1979; Eggers-Schumacher, 1983), 또한 복숭아혹진딧물의 경우 직접적으로 생리적인 자극을 주어 산자력이 증가되어 일어난다고 하였다(Parry와 Ford, 1972; Gordon와 McEwen, 1984). 반면, Nauen (1995)은 imidacloprid의 아치사량 처리는 복숭아혹진딧물의 산자력을 감소시키며, Tatchell (1992)은 *R. padi*의 산자력이 imidacloprid를 처리한 식물체에서 많이 감소하였는데, 이는 흡즙저해에 의한 아사로 치사율이 높아 산자할 충수가 적은 것에 기인한다고 추측하였다. Knaust 와Poehling (1994)은 독일에서 귀리와 겨울보리에 imidacloprid을 종자분의 하였을 때 보리수염진딧물의 수명과 감로배설량 및 산자수 등이 감소되었다고 하였다. 또한 cereal aphid에 대하여도 imidacloprid를 종자분의처리를 하였을 경우에 성충수명, 배설량 및 산자수도 감소되었다고 보고하여 imidacloprid를 사용하여도 해충의 격발 현상이 일어나지 않음을 예측할 수 있다. Imidacloprid는 저약량이나, 저농도로 사용할 경우에도 처리된 세대와 F_1세대의 생물학적인 특성에 불리한 영향을 미치므로 resurgence현상을 보이지 않기 때문에, 앞으로 조기에 완전한 방제효과를 기대하고 약량을 과다하게 투입하기보다는 약량을 줄여서 사용함으로써 방제효과와 아울러 도태압 감소에 의한 해충의 저항성발달 지연과 천적에 미치는 영향을 감소시키는 것이 좋으리라 생각된다.

복숭아혹진딧물에 대한 처리방법별 기피효과는 침지처리가 관주처리보다 높았으며, 농도가 높아질수록 기피효과는 더 크게 나타났다(그림 1). Imidacloprid와 화학구조와 작용기작이 같은 nicotine이 뿌리에서 도관을 통하여 이동한다(Guthrie 등, 1962)고 알려져 있는데, imidacloprid도 nicotine과 같이 침지처리에서 약액이 직접 표피를 통하여 침투이행이 빠르게 일어나는 것으로 추측되며, 이는 엽맥을 통하여 식물체 전체로 이동되는 것보다 더 빨리 일어난다고 생각된다. Nauen (1995)은 약액을 처리하지 않은 잎보다 처리된 잎에 복숭아혹진딧물을 접종하였을 경우에 진딧물의 이동이 많아지고 흡즙하기 위하여 구침을 자주 잎에 찔러보는 습성을 보였다고 하였으며, 농도가 낮을 때보다 높을 경우에 기피효과가 높은 것으로 보고하여 본 연구의 결과와 같이 저 약량으로도 해충에 불리한 생리 현상을 유발할 수 있음을 보였다.

LC_1의 농도로 처리한 후 복숭아혹진딧물의 산자수는 8.8마리로 무처리 12.7마리와 유의성을 보이지 않았으나, LC_{10}, LC_{30}, LC_{50} 등의 처리에서는 산자수가 각각 6.0, 5.1, 3.9마리로 무처리보다 적게 낳았다. 산자억제율도 52.7, 59.8, 69.3%로 농도가 높을수록 높았다. 복숭아혹진딧물에 대한 처리방법별 기피효과는 침지처리가 관주처리보다 높았으며 농도가 높아질수록 더 크게 나타났다(그림 1).

복숭아혹진딧물의 아치사량 처리 후 배설량은 침지처리에서는 농도가 높아질수록 적어졌다. 무처리 대비 배설억제율은 80~96%이었으며, 관주처리에서는 농도별 배설량 차이는 보이지 않았지만 무처리 대비 배설억제율은 97%이상을 보였다(표 3).

침지처리보다 관주처리에서 배설량이 적었는데 이는 imidacloprid가 수용성으로 식물체에 흡수되어 도관을 통하여 이동, 흡즙된 후 섭식저해 작용을 일으키기 때문인 것으로 생각 된다 (Knaust 와Poehling, 1994). 저농도의 imidacloprid에서 해충의 행동 변화에 대한 연구가 많이 수행되었는데, 복숭아혹진딧물에 대한 섭식저해작용에 관하여 Nauen (1995)은 약제처리 후 24시간 내에 배설량의 95%가 억제되었으며, 전기침투그래프(EPG)로 복숭아혹진딧물의 섭식행동을 분석하여보면 imidacloprid를 처리한 잎에서는 처리하

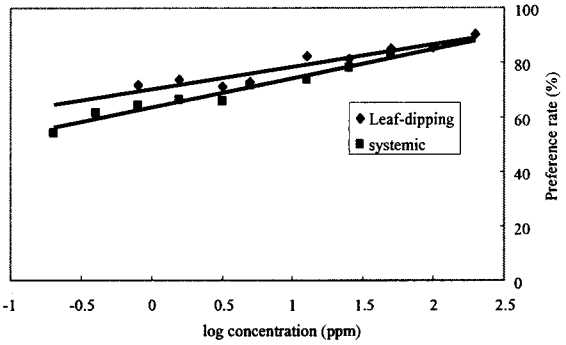

Fig. 1. Preference rate of *M. persicae.* to sublethal concentrations of imidacloprid

Table 3. Honeydew excretion of *M. persicae* treated with sublethal concentrations of imidacloprid at 24 hrs after treatment

Application method	Dose (Conc.)	Excretion amount (mm^2/우)	Suppression rate (%)[a]	
Watering	LC_1	3.6 ± 0.2 b[b]	79.3	
	LC_{10}	1.3 ± 0.1 c		92.5
	LC_{30}	1.2 ± 0.4 c		93.1
	LC_{50}	0.7 ± 0.3 d	96.0	
	Untreated	17.4 ± 1.1 a	-	
Dipping	LC_1	0.5 ± 0.3 b	97.1	
	LC_{10}	0.5 ± 0.2 b		97.1
	LC_{30}	0.5 ± 0.1 b		97.1
	LC_{50}	0.5 ± 0.3 b	98.3	
	Untreated	110.2 ± 16.0a	-	

[a](Untreated-treated / Untreated)×100

[b]The same letter in the same column means no significance at α=0.05 level (Scheffe's test).

지 않은 잎에서 보다 섭식전 탐침횟수가 많았으며, 타액분비시간이 짧고, 섭식시간이 짧으며, 탐침을 할 때마다 먹는 시간이 짧아지고 휴식시간이 길어진다고 하였다. Lowery와 Boiteau (1988)는 행동적인 반응으로 복숭아혹진딧물이 imidacloprid가 처리된 토마토잎에서는 탐침 시간이 감소되었다고 하였으며, 저약량 처리시 복숭아혹진딧물은 감로배설의 감소와 체중 감소, 휴식 없는 배회, 처리된 잎에서 무처리 잎으로의 이동 등이 섭식저해작용의 증거라고 하였다. 본 실험의 결과도 imidacloprid의 저 약량 처리에서 배설량이 97%이상 줄어듦으로써 심한 흡즙 저해 작용을 하고 있음을 보여주고 있다. 저해요인으로는 식물체의 아미노산 배열을 변경시켜 체관즙액의 질을 바꾸는 역할을 하여 진딧물이 구침을 찔러 흡즙하면 화학수용체의 인식혼동에 의하여 흡즙을 저해한다고 하였다. 또한 저약량에서의 섭식저해반응은 nicotinic acetylcholine 수용체의 저해로 인하여, 외부자극에 대해 마비증세가 일어나기 때문이라고 하였다 (Nauen, 1995). Dewar와 Read (1990)는 imidacloprid에 대하여 복숭아혹진딧물은 2가지 형태의 약량에 의존한 작용이 일어나는 것으로 추측하였는데, 1) 포장 추천량으로 살포시 명백하게 육안으로 관찰할 수 있는 작용으로 마비, 전율, 움직움의 둔화이며, 2) 저농도로 처리시에는 신경의 무질서로 인한 섭식저해작용으로 아사시키는 것이라고 하였다.

위와 같이 imidacloprid는 흡즙성 해충에 대하여 아치사량 처리로 1) 방충작용, 2) 섭식의 감소 및 정지, 3) 개체군 증식의 정지 및 감소, 4) 활동의 감소, 5)생물적 방제를 위한 감수성 증가 등의 효과를 보였다. 따라서 imidacloprid의 아치사량의 사용은 대상해충에 대하여는 낮은 치사작용을 보이지만 해충의 밀도를 낮게 유지시킬 수 있으며, 저약량 투입으로 환경과 인축에 대한 해를 줄일 수 있고, 상대적으로 천적에 안전하여 해충의 종합적 방제를 위한 방제수단으로 응용 가능성이 클 것으로 생각된다.

인용문헌

Anonymous (1996) Pesticide Handbook (Eleventh edition), 148p, KACIA, Korea.

Chelliah, S. and E. A. Heinrichs (1980) Factors affecting insecticides-induced resurgence of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, on rice. Environ. Entomol. 9:772~777.Debach, P. (1946) An insecticidal check method for measuring the efficacy of entomophagous insects, J. Econ. Entomol. 39:695~697.

Dewar, A. M. and L. A. Read (1990) Evaluation of an insecticidal seed treatment, imidacloprid, for controlling aphids on sugar beet, Proc. Brighton Crop Protect. Conf.-Pests and Diseases. pp.731~736.

Eggers-Schumacher, H. A. (1983) A comparison of the reproductive performance of insecticide-resistant and susceptible clones of *Myzus persicae*. Entomol. Exp. Appl. 34:301~307.

Gordon, P. L. and F. L. McEwen (1984) Insecticide-stimulated reproduction of *Myzus persicae*, the green peach aphid(Homoptera: Aphididae), Can. Entomol. 116:783~784.

Guthrie, F. E., W. V. Capbell and R. L. Baron (1962) Feeding sites of the green peach aphid with respect

to its adaptation to tobacco, Ann. Ent. Soc. Am. 55: 42~46.

Hardy, I. (1979) Insecticide resistance in aphids, *in* , Proc., IX. International Congress plant protection (ed. T. Kommendahl), Vol. I, plant protection and fundamental aspects, Entomological Society of America. College Park, U.S.A.

Knaust, H. J. and H. M. Poehling (1994) Studies on the action of imidacloprid on cereal aphids and their efficiency to transmit the BYD-virus, Bulletin OILB-SROP. 17:89~100.

Leicht, W. (1996) Imidacloprid-a choronicotinyl insecticide biological activity and agricultrual significance, Pflanzenschutz Nachrichten Bayer. 49:71~84.

Lowery, D. T., and M. K. Sears (1986) Stimulation of reproduction of the green peach aphid (Homoptera: Aphididae) by azinphosmethyl applied to potatoes, J. Econ. Entomol. 79:1530~1533.

Lowery, D. T. and G. Boiteau (1988) Effects of five insecticides on the probing, walking, and settling behaviour of the green peach aphid and the buckthorn aphid (Homoptera: Aphididae) on potato, J. Econ. Entomol. 81:208~14.

Nauen, R. and A. Elbert (1994) Effect of imidacloprid on aphids after seed treatment of cotton in laboratory and greenhouse experiments, Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer. 47:177~210.

Nauen, R. (1995) Behaviour modifying effects of low systemic concentrations of imidacloprid on *Myzus persicae* with special reference to an antifeeding response, Pesti. Sci. 44:145~153

Nauen, R. and A. Elbert (1997) Apparent tolerance of a field-collected strain of *Myzus nicotiance* to imidacloprid due to strong antifeeding responses, Pesti. Sci. 49:252~258.

Parry, W. H. and J. B. Ford (1972) The artificial feeding of phosphamidon to *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae). III. Effects of phosphamidon on the longevity, fecundity and liquid-uptake, Entomol. Exp. Appl. 14:389~398.

Tatchell, G. M. (1992) Influence of imidacloprid on the behavior and mortality of aphids: vectors of barley yellow dwarf virus, Pflanzenschutz- Nachrichten Bayer 45:409~422.

Tomizawa, M. (1994) Structure-activity relationships of nicotinoids and the related compounds, J. Pestic.. Sci. 19:335~336.

Tomizawa, M., H. Otsuka, T. Miyamoto and I. Yamamoto (1995a) Pharmacological effects of imidacloprid and its related compounds on the nicotinic acetylcholine receptor with its ion channel from the torpedo electric organ, J. Pestic. Sci. 20:49~56.

Tomizawa, M., H. Otsuka, T. Miyamoto, M. E. Eldefrawi and I. Yamamoto (1995b) Pharmacological characteristics of insect nicotinic acetylchloline receptor with its ion channel and the comparison of the effect of nicotinoids and neonicotinoids, J. Pestic. Sci. 20:57~64.

Van Emdenl, H. F. (1966) Studies on the relations of insect and host plant. III. A comparison of the reproduction of *Brevicoryne brassicae* and Myzus *persicae* (Hemiptera: Aphididae) on brussels sprout plants supplied with different rates of nitrogen and potassium, Entomol. Exp. Appl. 9:444~460.

Yamamoto, I. (1999) Nicotine to nicotinoids: 1962 to 1997. pp.3~27, *In* Nicotinoid Insecticides and the Nicotinic Acetylcholine Receptor (ed. I. Yamamoto and J.E. Casida), Springer-Verlag, Japan.

Effect of Sublethal Doses of Imidacloprid on the Green Peach Aphid, *Myzus persicae*

Byeong-Ryeol Choi*, Si-Woo Lee, Yoo-Han Song[1], and Jai-Ki Yoo (*Division of Entomology National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, 441-707, Korea, [1]Department of Agricultural Biology, Gyeongsang National University*)

Abstract : Sublethal dose effect of imidacloprid on green peach aphid (*Myzus persicae*) was investigated. Nymphs of green peach aphid newly produced were counted on 4 days after sub-lethal dose treatment of imidacloprid. Numbers of nymph were not significantly different between LC_1 treatment and untreated control. Their numbers of nymph were 8.8 and 12.7 at LC_1 and untreated control, respectively. When they were treated at LC_{10}, LC_{30} and LC_{50}, their numbers of newly produced nymph were 6.0, 5.1 and 3.9 and reduction rates were 52.7%, 59.8% and 69.3% at each treatment compare to untreated control. Reduction rates of newly laid nymph were proportional to the concentrations of imidacloprid treated. Repellent effect of aphid to imidacloprid was bigger in dipping than in watering method. Secretion amount had negative correlation with imidacloprid concentration in dipping method and suppression of secretion went up to 96% . In watering method, amount of secretion did not show any difference between insecticide concentration, but suppression, compared to untreated control, was over 97%.

Key words : dose, excretion, imidacloprid, *Myzus persicae*, preference, sub lethal

*Corresponding Author (Fax : +82-31-290-0407, E-mail : brchoi@rda.go.kr)