

Imidacloprid의 벼멸구 (*Nilaparvata lugens*)에 대한 약효 지속 효과

Residual Effect of Imidacloprid on *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae)

최병렬 · 이시우 · 송유한¹ · 임양빈²

Byeong-Ryeol Choi, Si-Woo Lee, Yoo-Han Song¹ and Yang-Bin Ihm²

Abstract - Residual effect of imidacloprid on brown planthopper (BPH) and residues on rice plant were investigated in pot and field tests. Residual effect (showing 100% mortality) of imidacloprid of granule formulation on the BPH lasted for 40 days at a recommended dose (0.3 kg a.i./ha) and for 30 and 20 days at a half and a quarter of the recommended dose, respectively. In case of liquid formulation of imidacloprid, the residual effect lasted for 40 days at both recommended dose (0.032 kg a.i./ha) and a half of it, and lasted for 30 days at a quarter of it. The next generation formation of BPH was throughly depressed by the imidacloprid application at the former generation. This result supports the residual effect of imidacloprid on BPH. Seed dressing (3 g/kg) showed insecticidal activity (96.7% mortality) for 55 days after treatment. When granule formulation of imidacloprid was applied to soil at a recommended dose, imidacloprid residue in leaves of rice plant increased up to 0.46 ppm for 6 days and then decreased to 0.09 ppm on 40 days after application. Residue of imidacloprid in leaves of rice plant increased up to about 0.23 ppm and about 0.2 ppm for 6 days when applied at a half and a quarter of the recommended dose, respectively and after that they decreased. When liquid formulation of imidacloprid was applied to rice plant at a recommended dose, and a half, and a quarter of it, residues of imidacloprid in leaves of rice plant were 2, 0.6 and 0.2 ppm after treatment, respectively and decreased to 0.05 ppm on 40 days after treatment, despite of the amount of first application. In case of seed dressing, residues of imidacloprid in roots and leaves were 5 ppm and 4 ppm at transplanting stage of young rice plant and decreased sharply for 25 days after treatment and reached 0.03 ppm on 40 days after treatment in both roots and leaves of rice plant. We can conclude from this study that insecticidal effect of imidacloprid on BPH lasts for at least 30 days at the tested doses and imidacloprid content in rice plant at that time is about 0.05 ppm.

Key Words - Imidacloprid, *Nilaparvata lugens*, Residual effect, Residue, Brown Planthopper

초 록 - Imidacloprid의 벼멸구에 대한 약효 지속효과와 벼체내 함유량과의 관계를 구명하기 위해 imidacloprid 입제를 추천량 (0.3 kg a.i./ha), 추천 약량의 1/2 (0.15 kg a.i./ha), 1/4 (0.075 kg a.i./ha) 약량으로 수중 처리하였으며 액제를 추천농도 (0.032 kg a.i./ha), 추천농도의 1/2 (0.016 kg a.i./ha), 1/4 (0.008 kg a.i./ha)의 농도로 벼에 경엽 처리한 후 시기별로 벼멸구를 접종, 사충수를 조사하였고 그 때의 벼체내 약제 함유량을 조사하였다. Imidacloprid 입제의 추천 약량을 처리하였을 경우 약효 (100% 살충률)가 40일까지 지속되었으며, 추천량의 1/2, 1/4약량에서는 접종세대에 대한 치사효

농업과학기술원 작물보호부 농업해충과 (Division of Agricultural Pests, National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon 441-707, Korea)

¹ 경상대학교 농과대학 식물자원환경학부 (Division of Plant Resources and Environment, College of Agriculture, Gyeongsang National University, Chinju, 660-701, Korea)

² 농업과학기술원 작물보호부 농약안전성과 (Division of Pesticide Safety, National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon 441-707, Korea)

과가 각각 30, 20일까지 지속되었다. Imidacloprid 액제는 추천농도와 1/2 농도 처리에서는 접종세대에 대한 약효지속효과가 약제처리 후 40일까지 지속되었으며, 1/4 농도로 처리한 경우에는 처리 후 30일까지 지속되었다. Imidacloprid 입제나 액제 모두 약효 지속기간이 길어 처리 농도에 따라 약간의 차이는 보이나 약 30일 정도 약효가 지속되었다. 파종 전 종자 분의 처리(3g/별씨 1kg)의 경우 약제처리 후 55일까지 약효를 나타냈으며 60일부터는 점차적으로 살충력이 낮아지는 경향을 보였다. Imidacloprid 입제를 약량별로 처리한 후 도체 내 잔류량을 시일 별로 조사한 결과 추천량 처리시 처리 1일 후부터 잔류량이 점차적으로 증가되어 6일차에 0.46 ppm으로 최고치를 나타낸 후 차차 감소되어 처리40일경에는 0.09 ppm이 되었다. 1/2약량, 1/4약량 처리에서도 처리 후 6일경에 잔류량이 각각 0.23 ppm, 0.2 ppm으로 최고 치에 도달한 후 점차적으로 감소되는 경향을 보였다. Imidacloprid 액제를 추천농도와 추천농도의 1/2, 추천농도의 1/4로 처리한 후의 도체 내 잔류량은 처리 직후 각각 2, 0.6, 0.2 ppm의 잔류량을 보였고, 처리 후 10일경에는 1/2, 1/4 농도처리의 잔류량은 추천농도의 잔류량과 각각 7배와 11배의 차이를 보였다. 처리 후 15일 이후에는 3 농도간에 잔류량 차이가 거의 없었으며, 40일경에는 0.05 ppm으로 입제 1/2, 1/4 약량 처리와 비슷한 수준으로 낮아졌다. 종자 분의 처리한 후 도체 내 imidacloprid의 잔류량은 이양 직후 뿌리와 잎에서 각각 5 ppm과 4 ppm이었고, 약제처리 후 25일까지 시간이 지남에 따라 급속하게 감소되어, 잎과 뿌리간에 잔류량 차이가 거의 없어졌으며, 처리 후 40일경의 잔류량은 0.03 ppm 정도였다. Imidacloprid는 벼체내 잔류량이 약 0.05 ppm 될 때까지 약효가 유지되었다.

검색어 - 벼멸구, *Nilaparvata lugens*, Imidacloprid, 약효지속효과, 잔류

오늘날 식품 안전성에 대한 욕구 증대와 환경에 대한 관심이 높아지면서 식량 생산에서 농약 사용은 인류의 건강과 환경을 파괴하고 행복을 빼앗아 가는 행위로 최악시 되어가고 있다. 위와 같은 인식의 확대로 정부에서도 농약의 사용량을 2010년까지 현재 수준의 1/2로 줄이는 방향으로 정책을 유도하고 있다. 그러나 안정적인 농업 생산을 위해서는 무작정 농약의 사용을 억제할 수 없는 실정이며, 적은 사용량으로도 효과가 탁월하고, 환경과 인축에 안전한 농약을 개발하여 이용하는 것이 현재로는 가장 효과적인 대책의 하나일 것이다. 이러한 측면에서 imidacloprid는 최근에 많이 사용되고 있는 농약중의 하나이다(Leicht, 1996). 하지만 아무리 우수한 특성을 가지고 있는 약제라 하더라도 사용량이나 사용횟수가 많아지면 환경과 인축에 악영향을 주게 되고, 또한 해충에 대한 도태압도 높아져 해충의 저항성 발달이 매우 빠르게 된다(Tabashnik, 1990). 따라서 해충방제를 위한 약제의 사용은 살충력과 작용특성 등에 대한 정확한 정보를 토대로 이루어져야 할 것이다.

Imidacloprid는 neonicotinoid계 농약의 하나이며 적은 약량에서 기피효과를 나타내고, 수용성으로 작물체에 흡수 이행되어 약효를 나타내며, 특히 흡즙성 해충(진딧물류, 멸구류)에 대해 방제효과가 높은 것으로 알려져 있다(Minamita *et al.*, 1993). 살충작용도 신경전달 마비에 의한 섭식저해 작용을 일으켜 치사에 이르는 등(Nauen and Elbert, 1994; 1997) 기존의 약제와는 다소 다른 작용기작(아세틸콜린 수용체 저해)으로 살충효과를 나타낸다(Methfessel, 1992; Tomizawa, 1994; Tomizawa *et al.*, 1995 a, b).

흡즙 저해에 의한 살충효과는 해충이 굶어 죽는 것

으로 나타나 기존의 약제보다 시간이 많이 걸려 약효가 과소 평가될 가능성이 높고, 약효가 과소 평가될 경우 약제의 추천량이 필요 이상으로 높게 책정되어 실제 필요한 약량보다 많은 약량이 사용될 가능성이 있을 것으로 생각된다. 실제 Choi(1998)는 imidacloprid를 추천약량의 1/4로도 충분한 효과를 거둘 수 있다고 하였다. 위와 같은 가정을 바탕으로 농약의 추천량이 해충의 방제에 적절한 양인지를 약량에 따른 약효 지속 기간과 그 때의 잔류량 등을 조사하고 평가하여, 해충방제에 적당한 살포량을 결정함으로써 약제 전체의 사용량을 줄일 수 있으리라는 가정에서 이 실험을 실시하였다.

재료 및 방법

Imidacloprid의 제형별 벼멸구에 대한 약효 지속기간을 조사하기 위하여 온실에서 포트실험을 하였다. 육묘상에서 키운 추청벼 10일묘를 와그너 포트(1/5,000a)에 이양 한 후 20일 경에 액제는 추천량(2,000배)과 추천량의 1/2약량(4,000배) 및 1/4약량(8,000배)의 농도로 10a당 160 l를 살포하는 것으로 환산하여 포트 당 7 ml씩 분무하였고, 입제는 추천량(1.5 kg/10a)과 추천량의 1/2약량(0.75 kg/10a) 및 1/4약량(0.375 kg/10a)의 약량을 주수로 환산하여 처리하였다. 이때 투입된 약량은 액제가 각각 0.032 kg a.i./ha, 0.016 kg a.i./ha, 0.008 kg a.i./ha이었으며, 입제는 각각 0.3 kg a.i./ha, 0.15 kg a.i./ha, 0.075 kg a.i./ha이었다. 처리 후 10, 20, 30, 40, 50, 60일 경에 각 포트에 우화 후 3일된 벼멸구 성충 20쌍을 접종하고 각 포트마다 접종 후 5일과 30일에 벼멸구의 수를 조사하여 5일 후

조사로는 약효를, 30일 후 조사로는 차세대 밀도 형성에 대한 영향을 평가하였다. 또한 Imidacloprid 70% WS 3g을 벼씨 1kg에 분의 처리한 후 파종, 발아 10일된 묘를 포트(1/5,000a)에 이양하였고, 사육실에서 누대 사육한 3~4령 약충을 각 포트 당 20마리씩 5일 간격으로 접종하였다. 접종 후 10일에 살아있는 성충수를 조사하였고, 약제처리 30일 후에 발생하는 개체를 접종한 벼멸구의 다음세대로 간주하여 약충 수를 육안으로 조사하였다. 실험기간 중 공시충의 이탈을 방지하기 위하여 포트에 망사자루를 씌웠다. 포장에서 살포 약량(Pot 시험과 동일한 수준)에 따른 약효 평가는 난괴법 4 반복(1구당 165 m²)으로 하여 벼멸구를 구당 20쌍씩 접종한 다음 한 세대(약 30일) 지난 후 약제를 살포하였다.

벼 체내 imidacloprid의 잔류량은 액제, 입제 각각 약효 지속 시험과 같은 처리 후 1, 3, 6, 10, 15, 20, 30, 40일에 벼의 지상부(shoots)을 채취하였으며, 70% 중자 분의 처리제는 중자 분의 처리 묘를 기계 이양한 포장에서 이양 후 40일까지 5일 간격으로 벼를 뿌리 및 지상부를 나누어서 채취한 후, 각각 -70°C의 deep freezer에 보관한 후 분석하였다. 분석은 HPLC(μ bon-dapak C18 Radial-pak 8 mm I.D. \times 10 cm L., UV 270 nm)를 이용하여 Takeda(1995)의 방법에 따라 실시하였다. 뿌리 및 지상부 시료 각 20 g에 80% acetonitrile을 넣어 30분간 진탕한 후 4분간 homogenizing하여 감압 여과하였다. 용매를 제거한 후 20% NaCl과 cyclohexane으로 2회 분배 추출한 후, dichloromethane으로 2회 분배하고 0.05 M K₂CO₃로 씻어낸 다음 dichloromethane층을 농축하여 ethyl acetate : hexane (1 : 1, v/v) 혼합용매에 녹였다. 이를 silica gel 유리칼럼(2.5 cm I.D. \times 30 cm L.)에 로딩하여 ethyl acetate : hexane (1 : 1, v/v) 혼합액으로 imidacloprid를 용출하여 분석하였다.

결 과

약제의 살포량에 따라서 약효가 어느 정도 지속되는가를 알기 위하여 imidacloprid 입제를 추천량, 추천약량의 1/2, 1/4약량으로 처리하여 벼멸구에 대한 약효 지속효과를 조사한 결과(Table 1), 추천약량을 처리하였을 경우 처리 후 40일까지 약효가 지속되었으며, 1/2과 1/4약량에서는 벼멸구에 대한 살충효과가 각각 30, 20일까지 지속되었다. Imidacloprid 액제는 추천농도, 추천농도의 1/2과 1/4의 농도로 벼에 경엽처리 하였을 경우 추천농도와 1/2 농도 처리에서는 약효지속효과가 약제처리 후 40일까지 지속되었으며, 1/4 농도로 처리한 경우에는 처리 후 30일까지도 벼멸구에 대하여 100%의 살충율을 보였다. 이상의 결과는 imidacloprid 입제나 액제 모두 약효 지속기간이 길어, 처리 농도에 따라 약간의 차이는 보이나 약 30일 정도 약효가 지속되었다. 포트에 심겨진 벼에 imidacloprid를 각 농도 및 약량 별로 처리한 후 벼멸구를 접종하여 벼멸구 증식 정도를 조사하였다(Table 2). 입제, 액제 모두 추천량의 경우 약제처리 후 40일까지 차세대의 발생이 억제되었으며, 1/2약량과 1/4약량의 처리에서도 처리 후 각각 40일과 30일이 되어서야 차세대가 발생하였으며 처리 약량 별 벼멸구 차세대의 발생밀도는 처리 약량이 많을수록 낮은 경향을 보였다. 약제처리 후 50일까지는 처리 약량 간에 차세대 발생밀도는 통계적으로 차이를 보이나, 약제처리 후 60일부터는 반복간의 변이가 커 처리간에 차이가 통계적인 유의차가 줄어들었다. 또한 액제의 경우는 전체적으로 발생 밀도가 입제의 경우 보다 낮았으나 경향은 입제를 살포하였을 때와 같았다. 실제 포장에서 pot 시험과 같은 수준의 약량을 살포한 결과 입제, 액제 모두 추천량의 4분의 1 농도에서도 충분한 밀도

Table 1. The persisting effect of imidacloprid GR and SL on brown planthopper (BPH) adult in pot

Formulation	Dose (kg, a.i./ha)	No. of BPH					
		10 DAT	20 DAT	30 DAT	40 DAT	50 DAT	60 DAT ^a
Granule	0.3 ^b	0	0	0 a ^c	0 a	10.0 a	17.3 a
	0.15	0	0	0 a	0.3 a	8.0 a	19.7 a
	0.075	0	0	2.7 a	4.0 b	12.0 a	20 a
Soluble concentrate	0.032 ^b	0	0	0	0 a	2.0 a	6.0 a
	0.016	0	0	0	0 a	5.3 a	8.0 a
	0.008	0	0	0	1.3 a	5.7 a	13.0 a
Control	0	20	20	19.7	20 b	19.7 b	19.3 b

^a Days after treatment.

^b Field-recommended rate

^c The same letter in the same column means no significance at P _{$\alpha=0.05$} level (Scheffe's test).

Table 2. The persisting effect of imidacloprid GR and SL on the formation of next generation of brown planthopper (BPH)

Formulation	Dose (kg, a.i./ha)	No. of BPH ^d					
		10 DAT	20 DAT	30 DAT	40 DAT	50 DAT	60 DAT ^a
Granule	0.3 ^b	0	0	0 a ^c	0 a	56.7 a	93.3 a
	0.15	0	0	0 a	6.7 a	126.7 ab	226.7 ab
	0.075	0	0	80 b	121.7 b	330.0 b	316.7 ab
Soluble concentrate	0.032 ^b	0	0	0 a	0 a	8.0 a	11.0 a
	0.016	0	0	0 a	3.7 a	36.7 ab	49.0 ab
	0.008	0	0	6 b	33.7 b	60.0 b	90.0 b
Control	0	656	354.7	523 c	810.3 c	590.7 c	423.3 c

^a Days after treatment.

^b Field-recommended rate.

^c The same letter in the same column means no significance at $P_{\alpha=0.05}$ level (Scheffe's test).

^d The individuals occurred on 30 day after treatment were considered as the G₁ progeny of the infested (G₀) brown planthopper.

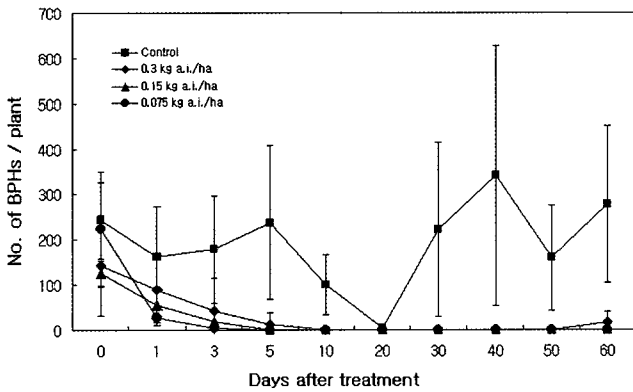


Fig. 1. Control effect of imidacloprid GR to *N. lugens* at each dose in the field.

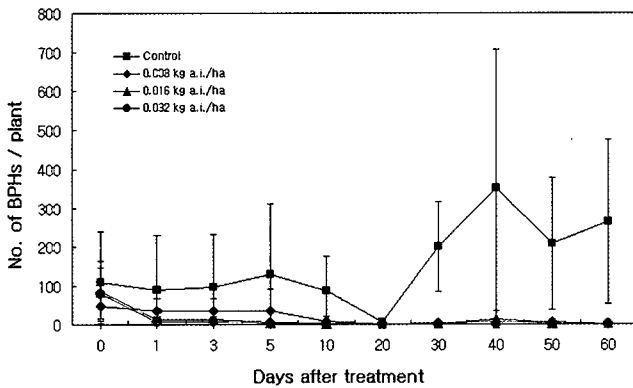


Fig. 2. Control effect of imidacloprid SL to *N. lugens* at each dose in the field.

형성 억제 효과가 있었다(Figs. 1, 2)

파종 전 종자 분의 처리에 의해서는 약제처리 후

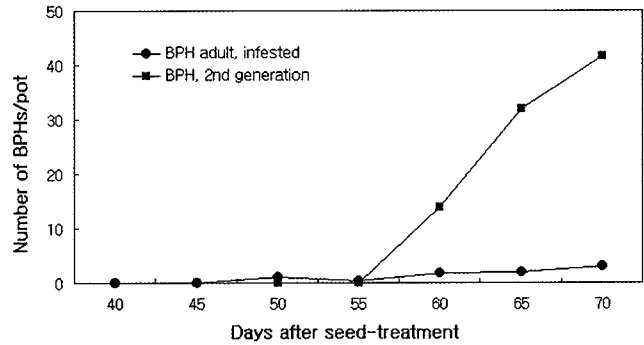


Fig. 3. Residual effect on *N. lugens* of imidacloprid WS treated by seed dressing.

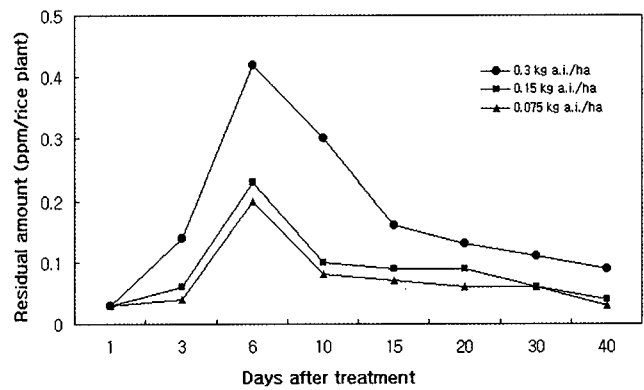


Fig. 4. Residual amount in rice plant of imidacloprid GR treated by submerge application.

55일까지 벼멸구 집중세대에 대해 100%의 살충율이 유지되었으며 60일부터는 점차적으로 살충율이 낮아지는 경향을 보였다. 차세대는 60일부터 밀도가 급속

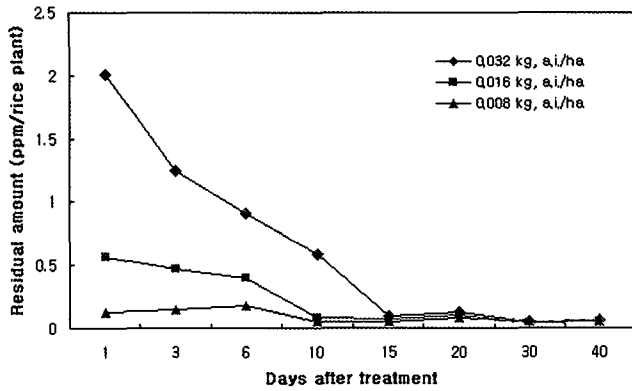


Fig. 5. Residual amount in rice plant of imidacloprid SL treated by leaf spray application.

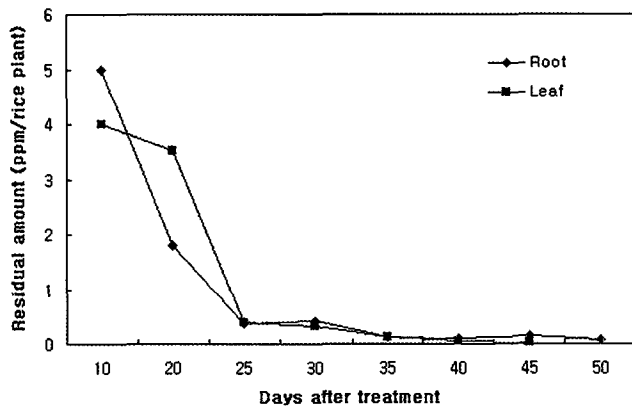


Fig. 6. Residual amount in rice plant of imidacloprid WS treated by seed dressing.

하게 높아지는 경향을 보였다 (Fig. 3).

Imidacloprid 입제를 약량별로 처리한 후 도체 내 잔류량을 경과 일수 별로 조사한 결과 (Fig. 4). 추천량 (1.5 kg/10a)을 처리시 처리 1일 후부터 잔류량이 점차적으로 증가되어 6일차에 0.46 ppm으로 최고치를 나타낸 후 차차 감소되어 처리 40일경에는 0.09 ppm이 잔류되었다. 1/2약량, 1/4약량 처리에서도 처리 후 6일경에 잔류량이 각각 0.23 ppm, 0.2 ppm으로 최고치에 도달한 후 점차적으로 감소되는 경향을 보였다. 액제 살포의 경우 추천농도와 추천농도의 1/2, 추천농도의 1/4로 처리한 후의 도체 내 잔류량은 Fig. 5와 같다. 각각의 농도를 처리한 직후 각각 2, 0.6, 0.2 ppm의 잔류량을 보였고, 이후 시간이 지남에 따라 점차 감소되었는데, 처리 후 10일경에는 1/2, 1/4 농도처리의 잔류량은 추천농도의 잔류량과 각각 7배와 11배의 차이를 보였다. 처리 후 15일 이후에는 처리농도간에 잔류량 차이가 거의 없었으며, 40일경에는 약 0.05 ppm으로 입제를 추천량의 1/2과 1/4로 처리하여 40

일이 경과한 도체내 잔류량과 같은 수준으로 낮아졌다. 잔류량의 감소 속도는 약량을 많이 처리할수록 빠름을 알 수 있었다. 종자 분의 처리한 후 도체 내 imidacloprid의 잔류량을 뿌리와 잎으로 구분하여 조사한 결과 (Fig. 6) 처리 직후 뿌리와 잎에서 잔류량은 5 ppm과 4 ppm이었고, 약제처리 후 25일까지 시간이 지남에 따라 급속하게 감소되어, 잎과 뿌리간에 잔류량 차이가 거의 없어졌으며, 처리 후 40일경의 잔류량은 0.03 ppm이었다.

고 찰

Choi (1998)는 imidacloprid의 방제 효과에는 흡즙 저해 요인이 주된 역할을 하고 있다고 보고하였다. 이 약제는 일반적인 농약의 살충작용과는 달리 물에 잘 녹고 침투이행성이 아주 좋아 (Nauen, 1995) 식물체내로 이동, 해충이 식물을 흡즙함에 따라 해충체내로 들어가 신경 전달을 방해하여 지속적인 흡즙행동을 억제, 아사시켜 살충력을 나타내므로 약효 발현에 시간이 많이 걸리고 사충수의 판별이 어려워 약효 평가에서 살충작용이 저 평가되고, 차세대 해충 밀도 형성에 대한 영향력이 과소 평가될 소지가 많기 때문에 실제 해충방제에 필요한 약량 보다 많은 추천약량이 해충 방제에 사용될 가능성이 있다. 실제 포장에서 imidacloprid의 벼멸구 밀도 증식 억제 효과는 추천량의 1/4에서도 매우 높았으며 약제 처리 후 30~40일까지 벼멸구가 증식되지 않았다 (Figs. 1, 2).

이 약제의 잔효 효과는 액제, 입제 모두 추천량에서 40일, 추천량의 1/2에서 30일, 추천량의 1/4에서 그 약효가 20일까지 지속되었으며 Iwaya and Tsuboi (1992)도 imidacloprid 입제를 0.25 kg a.i./ha의 수준으로 수면처리를 하였을 때 벼멸구, 애멸구, 벼물바구미, 끝동매미충 등의 벼 해충에 방제효과가 우수하였으며, 약효가 30~40일까지 유지된다고 하여 본 시험과 일치되는 결과를 보고하였다. 여기서 주목해야 할 점은 저약량 처리라도 약효지속기간이 20일까지 지속되었고 (Table 1, 2), 기존 입제농약의 추천약량 처리보다 효과가 좋았다. Park *et al.* (1984)은 벼멸구의 방제약제로 등록이나 고시된 기존 농약 중 침투이행이 높아 흡즙성 해충에 대하여 방제효과가 좋다고 알려진 카보입제의 약효지속효과도 약제처리 후 15일까지 집중한 층에 대한 방제효과가 80%였으며, 그 이후로 점차적으로 감소하여 30일 경에는 18%의 방제효과를 보였다고 하였는데 imidacloprid는 저약량에서도 이보다 훨씬 잔효력이 길고 방제 효과도 높게 나타났다. 따라서 본 약제의 저약량처리는 약제의 사용약량을 줄여 해충의 저항성발달을 지연, 환경에 대한 부담 경감, 또한 방제비를 절감 등의 효과를 가져 올 수 있을 것으

로 생각되며, 포장 시험의 결과는 위의 가정의 타당성을 입증하고 있다(Figs. 1, 2).

Imidacloprid를 종자분의처리(0.01 kg/ha) 하였을 경우 벼멸구에 대한 약효지속효과는 약 55일 유지되었는데(Fig. 3), Iwaya and Tsuboi(1992)는 imidacloprid를 0.8 kg/ha 약량으로 종자분의 처리시 멸구·매미충에 대한 약효가 40~60일 까지 지속되었다고 하여 본 연구와 같은 결과를 보이고 있으며, Nauen and Elbert(1994)은 목화에 종자분의를 하였을 때 복숭아혹진딧물에 대한 방제효과가 약 50일까지 유지되었고 방제효과도 우수하였다고 보고하여 약효가 약량에 따라 약간의 차이는 있지만 약 30~50일 지속된다는 본 연구의 결과와 일치하여 종자 분의 처리로 벼멸구를 방제할 수 있는 기간은 약 50일 정도로 추정할 수 있다. 실용적인 면에서 종자분의 처리는 방제시간 절약과 약량을 줄일 수 있는 방법(Choi *et al.*, 1998)으로 약효지속기간이 길어 파종시 종자분의 처리 양을 조절함으로써 7월 초순경까지 비래하여 오는 흡즙성 해충인 벼멸구까지 방제효과가 있을 것으로 생각되며 이에 대한 가능성을 Kim(1999)이 제시하고 있다.

위 실험의 결과로 imidacloprid가 식물체에 잔류하는 양과 그 때의 살충력을 비교하면 벼멸구를 죽이는데 필요한 살포량과 농도를 역으로 추정할 수 있어 벼멸구의 방제 시기에 따른 농약 사용량을 결정할 수 있을 것으로 생각된다. 약제의 잔류량과 그 당시의 약효 시험결과를 대비하여 보면 살포약제가 제형(입제, 액제, 종자분의제)에 관계없이 imidacloprid의 벼 잎에서 농도가 약 0.05 ppm 이상 유지되면 벼멸구에 대한 살충력이 충분할 것으로 판단되므로 각 제형별, 약량별로 약제의 분해 속도를 추정하여 잔효기간을 살포량으로 조절할 수 있을 것으로 생각된다. 또한 고약량의 살포는 뿌리는 양에 비례하여 imidacloprid의 잔류량이 감소되는 것이 아니라 살포량이 많더라도 잔류량이 급속히 줄어들어 상대적으로 잔류 효과가 낮아(Table 1, 2와 Figs. 3, 4, 5, 6), 본 약제의 사용은 될 수 있는 대로 저약량을 사용할 것을 권한다. 위와 같은 결과를 바탕으로 방제 대상 해충의 생태와 작물의 생육시기에 따라 약제의 사용량을 조절, 최적의 양을 사용함으로써 환경과 인축에 대한 부작용을 줄이고 해충의 피해를 최소화할 수 있을 것으로 생각된다.

인 용 문 헌

Anonymous. 1999. Agrochemical year book. Agricultural Chemicals Industrial Association. 616 pp.
Choi, B.R. 1998. Characteristics of insecticidal action of imidacloprid and the resistance mechanisms on *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae) and *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae). Ph. D. thesis, Gyeongsang National University. 123 pp.

Choi, B.R., J.K. Yoo, S.G. Lee and J.O. Lee. 1998. Seed dressing effect of imidacloprid for labor saving on early coming rice insect pests of paddy field. Kor. J. Pestic. Sci. 2: 85~90.
Iwaya, K. and S. Tsuboi. 1992. Imidacloprid-a new substance for the control of rice pests in Japan. Pflanzenschutz Nachrichten Bayer 45: 197~230.
Kim, K.S. 1999. Effectiveness of imidacloprid seed dressing treatment as an IPM tool against the rice water weevil (*Lissorhoptrus oryzophilus* Kuschel). Ph. D. thesis, Seoul National University. 112 pp.
Leicht, W. 1996. Imidacloprid-a choricotinyln insecticide biological activity and agricultural significance. Pflanzenschutz Nachrichten Bayer 49: 71~84.
Methfessel, C. 1992. Effect of imidacloprid on the nicotini-nergic acetylcholine receptor of rat muscle. Pflanzenschutz Nachrichten Bayer 45: 369~380.
Minamita, I., K. Iwanaga., T. Tabuchi., I. Aoki., T. Fusaka., H. Ishizuka and T. Okauch. 1993. Synthesis and insecticidal activity of acyclic nitroethene compounds containing a heteroarylamino group. J. Pestic. Sci. 18: 41~48.
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. 1994. Effect of imidacloprid on aphids after seed treatment of cotton in laboratory and greenhouse experiments. Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer 47: 177~210.
Nauen, R. and A. Elbert. 1997. Apparent tolerance of a field-collected strain of *Myzus nicotianae* to imidacloprid due to strong antifeeding responses. Pesti. Sci. 49: 252~258.
Park, H.M., H.R. Lee and Y.O. Kweon. 1984. Studies on ovicidal and residual effects of insecticides for Brown planthoppers. Ann. Rep. ACRI. 154~163.
Tabashnik, B.E. 1990. Modeling and evaluation of resistance management tactics. pp. 153~182 in pesticide resistance in arthropods, eds by R.T. Roush and B.E. Tabashnik. 303 pp. Chapman and Hall, New York and London.
Tomizawa, M. 1994. Structure-activity relationships of nicotinoids and the related compounds. J. Pesti. 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 acetylcholine receptor with its ion channel and the comparison of the effect of nicotinoids and neonicotinoids. J. Pestic. Sci. 20: 57~64.

(2000년 5월 20일 접수; 2001년 2월 17일 수리)