

# 카보퓨란 처리 방법 별 벼멸구에 대한 살충 효과 판별 최적 시기

이시우 · 정진교\* · 서보윤<sup>1</sup> · 박창규<sup>1</sup>

국립식량과학원, <sup>1</sup>국립농업과학원

## Optimal Duration of Determining the Insecticidal Effect of Carbofuran on *Nilaparvata lugens* Using Different Application Methods

Siwoo Lee, Jin Kyo Jung\*, Bo Yoon Seo<sup>1</sup> and Chang-Gyu Park<sup>1</sup>

National Institute of Crop Science, Wanju 55365 Korea

<sup>1</sup>National Academy of Agricultural Science, Wanju 55365, Korea

**ABSTRACT:** For determining the insecticidal effect of Carbofuran on the Brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, sucking toxicity by drenching application, sucking and contact toxicity by leaf dipping application, and contact toxicity by topical application were examined. Drenching caused two types of mortality patterns. One was logarithmic curve at a relatively high concentration (8~30 ppm) with over 40% mortality in 24 h, and the other was an S-shaped curve at low concentrations (1~4 ppm) with over 60% mortality on the fifth day after Carbofuran treatment. Leaf dipping application caused a rapid increase in mortality in a day, and this effect decreased steadily with time. Topical application showed steep increase in mortality in a day, and hardly increased thereafter. The best mortality evaluation time for the drenching application was the second day (42 h), and that for the leaf dipping and topical applications was the first or second day after Carbofuran application. When the insecticide has systemic effects, drench application provides the best efficacy and its insecticidal effects persist for a longer time than any other application method.

**Key words:** Carbofuran, Brown planthopper, Toxicity, Determination Time, Mortality

**조 록:** 관주처리에 의한 벼멸구 흡즙 섭식 독성, 잎 침지처리에 의한 접촉독성과 식물체내 침투에 의한 섭식독성, 미량국소처리에 의한 표피 접촉 독성 등, 처리 방법에 따른 카보퓨란의 벼멸구에 대한 살충 작용 특성을 분석하였다. 카보퓨란 관주처리는 시간에 따른 벼멸구의 살충력 변화가 2 가지 패턴으로 나타났다. 상대적으로 높은 농도(8~30 ppm)의 처리에서는 급격히 사충율이 올라가다가 시간이 지남에 따라 증가율이 낮아지는 로그곡선의 형태와 낮은 농도(1~4 ppm)의 처리에서는 사충율 증가 패턴이 S 자 모양의 곡선 형태를 보였다. 관주처리 시 높은 농도에서는 처리 효과가 즉시 나타나 하루 만에 치사율이 40% 이상 도달하였으나 상대적으로 낮은 1~2 ppm의 농도에서는 처리 5일 후에야 80~100%에 달하는 사충율을 얻을 수 있었다. 침지처리는 사충율이 처리 1일 후 약효가 급격히 증가하고 이 후 증가율이 낮아졌다. 국소처리도 침지처리와 비슷한 경향을 보이거나 침지처리와는 달리 처리 후 3일 이후에는 사충율이 거의 증가하지 않았다. 약효 최적 조사 시간은 관주처리에서 처리 후 2일 (42시간)이었으며 침지처리와 국소처리에서는 처리 후 1~2일이 약효 조사 적기였다.

**검색어:** 카보퓨란, 벼멸구, 독성, 조사시간, 사충율

우리나라에서 해충방제를 위하여 사용되고 있는 살충제는 매년 증가하여 2008년의 2만 5천 4백 톤을 정점으로 하여 감소하다가 2010년 이후 2014년 현재까지 매년 1.9만 톤 정도 사용하고 있다(KCPA, 2014a). 이는 금액으로 약 1조 4,200억 원에

이르고 있으며 살충제는 이중 약 37%로 금액으로 5,250억 원에 달한다(KEIT, 2015). 국내에서 사용되는 살충제는 크게 5가지 계통으로 분류 할 수 있으며 그 중 60~70년대부터 사용되어 온 유기인계와 카바메이트계 살충제는 현재에도 많이 사용되고 있으며(KCPA, 2014a), 전 세계적으로도 가장 많이 사용되고 있고, 앞으로도 계속 더 많은 품목이 사용될 예정이다(Shim, 2015). 우리나라에서는 2011년까지 카보퓨란의 경우 사용량이

\*Corresponding author: jkjung@korea.kr

Received November 4 2016; Revised July 1 2017

Accepted November 6 2017

기계유 다음 2번째로 많이 사용되었다(KCPA, 2012). 그 결과 이들 농약들에 대한 저항성해충의 발생과 인축에 대한 독성, 토양 및 환경 잔류 등의 이유로 인하여 점차적으로 사용이 제한되고 있는 실정이다(Chang et al., 2014; Gupta, 1994). 그러나 카보퓨란은 여전히 뿌리혹선충을 비롯하여 뿌리혹벌레, 솔잎혹파리, 고자리파리, 굽벙이, 조명나방 등 여러 해충 방제에 아주 유용하게 쓰이고 있으며(DiSanzo, 1981; Jotwani et al., 1979; Salman, 2013; Shukla and Anjaneyulu, 1980; Yen et al., 1997), 여러 제조 회사에서 생산을 계속하고 있다(KCPA, 2014b). 카바메이트계 살충제인 카보퓨란은 살충 작용기작이 유기인계에 속하는 농약과 같이 아세틸콜린에스테라제와 불가역적으로 결합하여 신경전달 작용을 저해하는 것으로 알려져 있으며, 실제 이와 관련한 카보퓨란의 작용기작과 독성에 대해 많은 연구자가 보고하고 있다(Fukuto, 1990; IUPAC, 2016; Kolbezen et al., 1954; Risher et al., 1987; Solheim, 1982; Stenersen, 2004). 카보퓨란은 인축과 환경에 대한 급성독성이 매우 높으나(EPA, 2016), 접촉에 의한 피부독성은 상대적으로 낮고, 침투성 살충제의 특성을 가지고 있으며, 천적이나 유용곤충에 대한 독성도 높아 2차 피해를 유발할 수 있어(Davis and Shuel, 1988; IUPAC, 2016) 제형이나 사용법에 매우 많은 주의가 필요하다. 본 실험의 목적은 카보퓨란의 침투성을 이용한 관주처리나 토양혼화 처리가 다른 약제 처리 방법과 비교하여 살충 발현 특성이 있으며, 이를 바탕으로 약제 살포 방법에 따른 약제의 살충 효과 조사 시간을 정하는 기준을 제안하는 것이다. 농작물 해충 방제를 위한 살충제 약효의 정확한 평가는 방제 효율을 극대화하고 적절한 농약사용법을 선택하게 하여 살충제의 방제 효율을 높이는 데 많은 도움이 될 것이다.

## 재료 및 방법

### 실험약제

카바메이트계인 카보퓨란(75.6%) 원제는 농촌진흥청 농산물안전성부 작물보호과에 구비되어 있는 것을 분양 받아 실험에 사용하였다. 카보퓨란의 10,000 ppm 표준용액을 아세톤에 녹여 만들었으며, 생물검정의 방법에 따라 아세톤으로 희석하거나, Tween80과 함께 물에 섞이게 하여 현탁액으로 필요한 농도를 만들어 실험을 수행하였다.

### 실험곤충 및 기주식물

실험 곤충으로는 농촌진흥청 농산물안전성부 작물보호과

에서 1994년 포장에서 채집하여 1995년부터 약제를 처리하지 않고 추청벼(*Oryza sativa*)의 유묘에서 누대 사육하여 온 벼멸구(*Nilaparvata lugens*)를 이용하였다. 벼 유묘는 법씨를 살균제(벤틸레이트) 액에 침지하여 발아가 된 법씨를 실험 바트(30 × 40 × 8 cm)에 가제를 깔고 발아 법씨를 얇게 깔아 25°C 인큐베이터에서 물을 공급해 가면서 재배하였다. 법씨 사이 1 cm 정도 자라면 인큐베이터에서 꺼내 실험실 유리 상에서 재배하여 실험에 사용하였다. 실험 벼멸구 사육과 유묘 재배는 온도 25°C, 상대습도 80%, 광주기 16:8의 조건에서 사육되었다.

### 관주처리 검정법

살충제의 뿌리를 통한 식물체 내 침투이행에 의한 섭식 독성 효과를 알아보기 위하여 관주처리 실험을 수행하였다. 처리 농도는 카보퓨란을 표준용액(10,000 ppm)으로부터 0.01% Tween80 증류수를 이용하여 30 ppm 농도로 만든 후 증류수로 1/2씩 희석하여 6개 농도로 만들어 사용하였다. 희석한 살충제는 각 농도 별 카보퓨란 약액을 25 ml씩 시험관에 채우고, 20일 이상 육묘장에서 자란 추청벼 유묘를 15개씩 탈지면에 말아서 시험관에 물이 닿을 정도로 끼워 넣어 카보퓨란 농도 구배의 시험관을 준비하였다. 우화한지 3~5일 된 벼멸구 암컷 성충 30마리를 10마리씩 흡충기로 잡아 이산화탄소로 2초간 마취 후 각각의 농도로 처리된 유묘 시험관에 10마리씩 3개의 시험관에 접종, 온도 25°C 실험실에서 보관하면서 6일 동안 24시간 간격으로 사충수를 조사하였다. 실험은 3반복으로 실시되었다.

### 침지처리 검정법

잎을 통한 식물체 내 살충제의 침투이행에 의한 섭식독성과 잎 표면 부착 약제의 벼멸구 체내 침투에 의한 접촉독성을 알아보기 위해 침지처리 실험을 수행하였다. 0.01% Tween80 증류수로 표준용액(10,000 ppm)을 희석하여 100 ppm의 약액을 만든 후, 증류수로 1/2씩 희석하여 6개의 농도를 만들어 사용하였다. 희석된 카보퓨란 6개 농도의 약액에 20일 이상 육묘장에서 자란 추청벼 유묘를 상부 잎만을 1분간 침지하여 30분간 음건한 후, 25 ml씩 증류수를 채운 시험관에 처리된 유묘를 15개씩 탈지면에 말아 시험관에 끼워 물이 닿을 정도로 밀어 넣었다. 여기에 우화한지 3~5일 암컷 성충을 흡충기를 이용하여 시험관 당 10마리씩 3개의 시험관에 접종, 6일 동안 24시간 간격으로 사충수를 조사하였다. 실험은 3반복으로 실시되었다.

## 국소처리 검정법

국소처리 실험은 살충제가 곤충 표피를 통해 체내로 직접 침투하여 독성을 나타내는 접촉독성 정도를 알아보기 위해 수행하였다. 카보퓨란 원제를 아세톤에 녹여서 만든 10,000 ppm의 표준 용액을 아세톤으로 희석하여 80 ppm 용액을 만들고, 이를 1/2씩 희석하여 7개의 희석 농도를 만들어 실험하였다. 20일 이상 육묘상에서 자란 추청벼를 15개씩 솥에 말아서 25 ml 물을 채운 시험관에 끼워 넣은 육묘 시험관을 준비하고, 흡충기를 이용하여 벼멸구 암컷 성충을 처리 농도 당 10마리씩 잡아 CO<sub>2</sub>로 2초간 마취시킨 뒤, 앞서 각각의 농도로 희석된 카보퓨란 약액을 국소처리기(Hamilton Micro dispense, PB-600)로 벼멸구 복부에 0.22 µl씩 처리하여 준비한 3개의 육묘 시험관에 10마리씩 총 30마리를 접종한 후 6일 동안 24시간 간격으로 사충수를 조사하였다. 실험은 3반복으로 실시되었다.

## 결과

관주처리는 뿌리 주위의 살충 성분을 뿌리가 흡수하여 살충 효과를 나타내는 처리 방법으로 조사 일이 늦어질수록, 즉 흡수 시간이 길수록 사충율이 증가하였다(Fig. 1). 그 모양은 높은 농도에서는 처리 초기 급격히 사충율이 상승하여 하루 만에 40% 이상의 사충율에 이르는 등 증가 속도가 빠르게 나타났으나 농도가 낮아짐에 따라 시그모이드 곡선의 형태로 사충율이 계속 증가, 처리 2일 이후 증가율이 높아졌다. 침지처리에서는 높은 농도처리 시 처리 1일 후에 사충율이 급격히 증가하였으며, 이후 사충율이 서서히 증가되었으며, 낮은 농도 처리 시는 처리

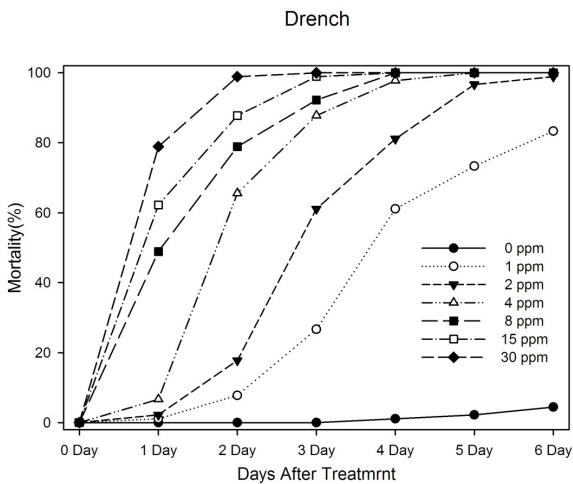


Fig. 1. Mortality of Brown planthopper by drench application of Carbofuran.

시점부터 완만히 사충율이 증가하였다(Fig. 2). 국소처리에서는 높은 농도나 낮은 농도에서 처리 후 1일에 상대적으로 높은 사충율 증가를 보였으며, 처리 3일후에는 각각의 처리 농도가 가지고 있는 최고의 살충 효과에 도달하여 더 이상 사충율이 증가하지 않았다(Fig. 3). 이상에서 보는 바와 같이 카보퓨란의 3 가지 처리 방법에 따라 벼멸구의 반응 패턴이 다름을 보여주고 있다. 위 결과를 바탕으로 카보퓨란의 살충 효과를 측정, 비교하기 위해 각 처리 방법에 따른 가장 적절한 약효 발현 시간을 제시하였다. 농도 별 약제 처리 후 매일 사충율을 조사, 처리 방법 별 각각의 농도에서 조사 일수 별 사충율 조사하여, 표준 편차를 구한 결과는 Fig. 4와 같다. 조사 결과 관주처리는 처리 후 42 시간에 가장 큰 농도에 따른 사충율 변이를 얻을 수 있었고, 침지처리와 국소처리는 처리 1일 후 가장 변이가 컸으나 처리 후 2일 이후 조사 시 침지처리는 표준편차의 크기가 완만하게 줄어들었으나 국소처리는 표준 편차의 큰 변화를 보이지 않았다.

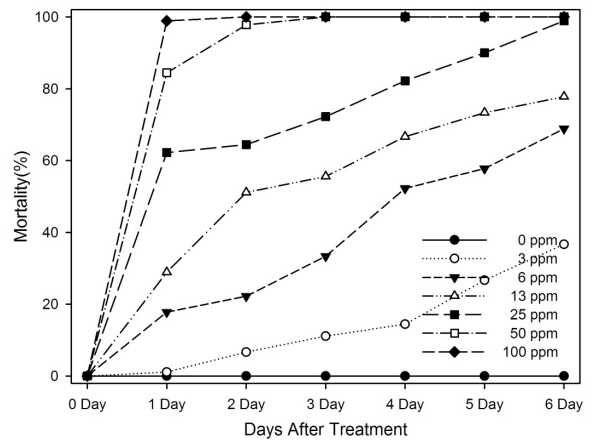


Fig. 2. Mortality of Brown planthopper by leaf dipping application of Carbofuran.

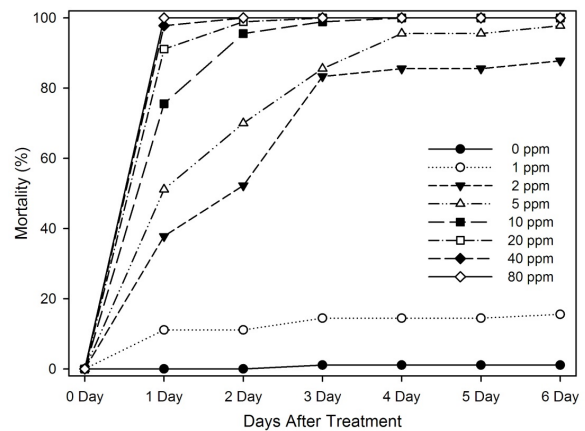


Fig. 3. Mortality of Brown planthopper by topical application of Carbofuran.

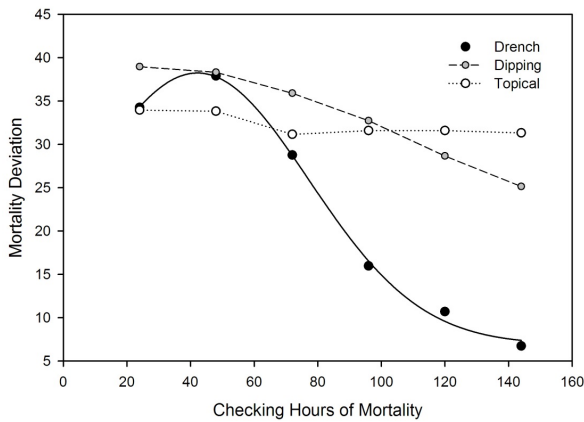


Fig. 4. Mortality deviation on every checking hour in three Carbofuran application methods.

## 고찰

카보퓨란은 독성이 매우 높아 취급에 주의를 요하는 살충제이나 작물에 대한 침투성이 있어, 토양 혼화 처리나 관주처리로 방제하기 어려운 여러 해충에 사용되고 있다(DiSanzo, 1981; Jotwani et al., 1979; Salman, 2013; Shukla and Anjaneyulu, 1980; Sikora and Hartw, 1991; Yen et al., 1997). 카보퓨란에 대해 침지에 의한 잎 표면 부착 농약에 의한 접촉독성과 잎 표면 부착농약의 식물체내 침투에 의한 흡수독성, 미량국소처리에 의한 표피 접촉 독성, 그리고 관주처리에 의한 농약의 뿌리 흡수로 식물체 내 침투, 해충의 식물체 흡수에 의한 섭식 독성을 평가하고, 살포 방법에 따른 약제의 작용 특성을 분석한 결과에 대한 고찰은 다음과 같다. 뿌리에 의한 흡수, 즉 침투성만의 효과를 보기 위한 카보퓨란 관주처리는 시간에 따른 벼멸구의 사충율 변화를 크게 2가지 패턴으로 보여주고 있다(Fig. 1). 상대적으로 높은 농도(8~30 ppm)의 처리에서는 급격히 사충율이 올라가다가 시간이 지남에 따라 점점 증가율이 낮아지는 로그곡선 형태이나, 낮은 농도(1~4 ppm)의 처리에서는 시간에 따른 사충율 증가 패턴이 S자 모양의 sigmoid 곡선의 형태를 보이고 있다. 이는 카보퓨란의 뿌리에 의한 흡수량이 처리 농도와 노출 시간에 의존하며, 높은 농도 처리에서는 약제의 식물체내 침투가 빨리 일어나, 식물체내 약제 농도가 급속히 높아지므로 결국 뿌리로부터의 흡수에 의한 카보퓨란 양이 치사량을 빨리 도달하여 효과가 즉시 나타남을 알 수 있는데(Dosono-Lopez and Grigarick, 1969), 높은 농도에서는 하루 만에 치사율이 80% 이상 도달할 정도의 카보퓨란 양이 유묘 체내로 흡수되었다 할 수 있다. 우리가 침투성 살충제인 카보퓨란에 관심을 가져야 할 부분은 사충율이 sigmoid 곡선 형태를 보이는 낮은 농도로 관주 할 경우이다. 2 ppm의 농도(벼 재배에 있어서 논의

물을 5 cm의 깊이로 유지하고, 10a 당 3% 카보퓨란을 3 kg을 살포하고 경우 카보퓨란 농도는 약 2 ppm)로 관주처리 할 경우 처리 5일 후에는 거의 100%에 달하는 사충율을 얻을 수 있었으며 그의 반인 1 ppm의 낮은 농도를 처리할 경우에도 계속되는 침투효과로 인한 카보퓨란의 지속적 체내 축적 효과로 처리 6일 후, 벼멸구의 사충율이 80%에 달하며 시간이 흐르면 더 높은 살충효과를 기대할 수 있다. 다만 낮은 농도의 살포(1 ppm과 2 ppm)는 충분한 살충 효과를 얻기에는 5일 이상의 장시간이 소요될 것으로 예상되며, 포장에서는 입제 살포 후 살충성분의 용출 시간과 용출량으로 인해 실내 실험에서 보다 살충 효과 발현에 더 많은 시간이 필요하리라 생각된다. 이는 낮은 농도에서는 식물체내 침투가 서서히 일어나 살충효과를 나타내는 농도에 이르기까지 시간이 필요하기 때문이다. 따라서 포장에서의 벼멸구 사충율은 살포 후 시간이 지남에 따라 계속 늘어나므로 살충효과가 최고에 달하는 시간에 사충율을 조사하려면 약제 처리 후 5일 이후에 조사하는 것이 좋을 듯하다. 실제 포장에서 카보퓨란의 살충 효과는 17일에서 30일간 지속되며(Aquino and Pathak, 1976; Bae et al., 1992; Bae and Hyun, 1987; Bautista et al., 1979; Pham et al., 2008), 약효 조사기간도 처리 후 30일까지 일주일 간격 또는 10일 간격으로 조사하고 있다(Jotwani et al., 1979; Yen et al., 1997). 관주처리와는 달리 침지 처리의 경우 사충율이 시간에 따라 증가하고 있음을 보여주고 있다(Fig. 2). 최초 1일 후 농도에 따른 약효가 급격히 증가한 후 시간 경과에 따라 약효가 서서히 증가함을 보이고 있다. 국소처리도 침지 처리와 같은 경향을 보이나 침지처리가 시간 경과함에 따라 약효가 서서히 계속 증가함에 반해 국소처리는 처리 후 2~3일 이후에는 약효가 증가하지 않았다(Fig. 3). 이는 침지처리의 경우 식물체가 약액에 침지된 후 표피에 부착된 농약 중 일부는 벼멸구의 접촉에 의해 체내로 들어가 즉각적인 효과를 나타냄과 동시에 많은 부분은 식물체 표피로 침투하여 시간에 따른 체내 침투 농약의 증가로 계속 사충율이 증가하는 현상이 나타나는 것으로 보여진다. 카보퓨란은 처리 후 2~4시간 후에 약제 침투 평형에 이르러 카보퓨란 농도가 최고조에 다다른 것으로 알려져 있다(Salman, 2013). 이를 고려하면 국소처리는 이미 처리 후 4시간 이내에 유효 약량이 이미 식물체내에 침투되었다고 판단할 수 있어, 살충 효과가 4~6시간 이내에 나타날 것으로 추정된다. 다만 낮은 농도의 처리는 카보퓨란의 살충 농도 미달로 처리 후 2~3일 간 처리 농약이 축적되어야 치사농도에 이르게 되어 결국 신경 전달 방해로 인해 죽음에 이르는 것으로 생각된다. 침지처리는 약제살포 초기에는 국소처리와 같은 경향을 보이나 사충율이 다소 낮은 이유는 접촉에 의해 침투되는 카보퓨란의 양이 국소처리에 의해 체내 침투되는 양보다 적은

것에 기인하는 것으로 생각되며, 추후 사충율이 시간이 지남에 따라 높아지는 것은 잎에 부착된 카보퓨란이 계속 잎 표피 침투에 의해 식물 체내의 카보퓨란 농도를 높여 벼멸구에 지속적인 영향을 줌으로써 사충율이 계속 높아지는 것으로 판단된다. 이와 같이 살충제는 처리 방법에 따라 약효가 나타나는 시간과 양상이 달라, 실내에서 약제 간 혹은 처리 방법 간 약효 비교할 때 조사하는 시기가 상당히 중요하게 된다. 어떤 화합물이 농약으로서의 이용 가치는 농도가 낮을수록 그리고 농도에 따른 살충력의 차이가 클수록 살충제로서의 가치가 인정되므로, 조사 시간의 결정에는 약제 간 혹은 처리 농도 간 사충율의 편차가 가장 큰 시기에 조사를 하는 것이 가장 합리적일 것으로 판단된다. 즉 약효 비교시험에서는 조사 시기에 따른 농도 차이 효과가 가장 크게 나타나는 시점을 농약 효과의 이상적 측정 시점으로 보는 것이 타당하다 하겠다. 따라서 본 시험에서는 처리 후 조사 시간 별 사충율의 표준편차를 계산한 결과(Fig. 4), 관주처리에서 처리 농도간 표준편차의 차이가 가장 컸을 때의 시간은 처리 후 42시간으로 이 시점이 약효 비교를 위한 조사 시간으로 가장 적합함을 알 수 있었다. 그러나 침지처리와 국소처리에서는 처리 다음날 사충율 편차가 가장 크게 나타나고 그 이후로 감소하나 변화가 적어 약제 처리 후 1~2일이 약효 조사 적기라 볼 수 있다. 카보퓨란은 아세틸콜린에스테라제와 강력히 결합하여 신경 작용을 저해, 신경전달을 교란하여 벼멸구를 치사 시킴으로 약효가 빨리 발현되는 것으로 판단된다(Jiang et al., 2010; Podolska et al., 2008). 벼의 주요 해충인 멸구류와 벼물바구미 뿐 만 아니라 조명나방, 고자리파리, 파굴파리, 거세미나방, 솔잎혹파리 등 여러 해충의 방제 약제로 등록되어 사용되고 있는 카보퓨란(KCPA, 2014b)은 섭식독성이 매우 높은 반면 접촉독은 상대적으로 낮아(Davis and Shuel, 1988; IUPAC, 2016) 입제로 제조되어 판매되고 있다. 카보퓨란 입제는 토양 혼화처리로 사용되며, 비나 인위적 관수로 카보퓨란 성분이 침출, 뿌리로부터 흡수되어 약효가 나타나 상대적으로 천적이나 인축에 안전한 형태로 사용되고 있다. 침투성 살충제의 경우 관주처리가 상대적으로 적은 양의 농약 투입으로 최대의 효과를 올릴 수 있는 제형이다. 따라서 침투성 약제의 제형이 유제, 액제, 수화제로 개발되더라도 식물이나 해충에 직접 살포하는 것보다 물에 타서 관주하는 제형으로 개발하는 것이 훨씬 좋은 효과를 나타내리라 생각된다. 이러한 농약의 이용법은 침투성 성질이 있는 모든 농약에 대해 가능하며, 여러 해충 방제에 있어 침투성과 섭식저해를 보이고 있는(Bao et al., 2009; He et al., 2011; He et al., 2013; Liu et al., 2005; Liu et al., 2010; Nauen et al., 1998; Nauen and Elbert, 1997; Nelson and Morrill, 1975; Simon-Delso et al., 2015; Wise et al., 2007) 네오니코틴계열

등의 살충제의 제형 개발과 이용에도 매우 효과적인 것으로 사료된다.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청 어젠다 연구과제(PJ01182401)를 수행하는 과정에서 얻은 결과를 바탕으로 작성되었다.

## Literature Cited

- Aquino, G.B., Pathak, M.D., 1976. Enhanced absorption and persistence of Carbofuran and Chlorodimeform in rice plant on root zone application under flooded conditions. *J. Econ. Entomol.* 69, 686-690.
- Bae, Y.H., Hyun, J.S., 1987. Studies on the effects of systematic applications of several insecticides on the population of the Brown planthopper, *Nilaparvatia lugens* Stål. I. Effects of some systemic insecticides of the early population. *Korean J. Plant Prot.* 26, 9-12.
- Bae, Y.H., Lee, J.H., Hyun, J.S., 1992. Effects of Carbofuran soil incorporation on the early occurring rice insect pests and the Brown planthopper. *Korean J. Appl. Entomol.* 31, 536-542.
- Bao, H. B., Liu, S. H., Gu, J. H., Wang, X. Z., Liang, X. L., Liu, Z. W., 2009. Sublethal effects of four insecticides on the reproduction and wing formation of Brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. *Pest Manag. Sci.* 65, 170-174.
- Bautista, M.V., Bautista, A., Cruz, A.H., 1979. Soil incorporated Carbofuran for control of Rice whorl maggot and early Stem borers. *Int. Rice Res. Newsl.* 4(4), 15-16.
- Chang, C., Cheng, X., Huang, X.Y., Dai, S.M., 2014. Amino acid substitutions of acetylcholinesterase associated with Carbofuran resistance in *Chilo suppressalis*. *Pest Manag. Sci.* 70, 1930-1935.
- Davis, A.R., Shuel, R.W., 1988. Distribution of 14c-labelled Carbofuran and Dimethoate in royal jelly, queen larvae and nurse honeybees. *Apidologie* 19, 37-50.
- DiSanzo, C.P., 1981. Effect of foliar application of Carbofuran and a related compound on plant-parasitic nematodes under greenhouse and growth chamber conditions. *J. Nematol.* 13, 20-24.
- Dosono-Lopez, J.G., Grigarick, A.A., 1969. An evaluation of Carbofuran for control of several stages of the Rice water weevil in greenhouse tests. *J. Econ. Entomol.* 62, 1024-1028.
- EPA (U.S. Environmental Protection Agency), N.D. Carbofuran I.R.E.D. Facts. [https://archive.epa.gov/pesticides/reregistration/web/html/Carbofuran\\_ired\\_fs.html](https://archive.epa.gov/pesticides/reregistration/web/html/Carbofuran_ired_fs.html) (accessed on 5 October, 2016).
- Fukuto, T.R., 1990. Mechanism of action of organophosphorus and carbamate insecticides. *Environ. Health Perspect.* 87, 245-254.
- Gupta, R.C., 1994. Carbofuran toxicity. *J. Toxicol. Environ. Health* 43, 383-418.

- He, Y., Zhao, J., Wu, D., Wyckhuys, K.A.G., Wu, K., 2011. Sublethal effects of Imidacloprid on *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) under laboratory conditions. *J. Econ. Entomol.* 104, 833-838.
- He, Y., Zhao, J., Zheng, Y., Weng, Q., Biondi, A., Desneux, N., Wu, K., 2013. Assessment of potential sublethal effects of various insecticides on key biological traits of the Tobacco whitefly, *Bemisia tabaci*. *Int. J. Biol. Sci.* 9, 246-255.
- IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry), N.D. Page about Carbofuran in the IUPAC's database. <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/Reports/118.htm> (accessed on 6 October, 2016).
- Jiang, W., Wang, Z., Xiong, M., Lu, W., Liu, P., Guo, W., Li, G., 2010. Insecticide resistance status of Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) adults in northern Xinjiang Uygur autonomous region. *J. Econ. Entomol.* 103, 1365-1371.
- Jotwani, M.G., Kishore, P., Sukhani, T.R., Srivastava, K.P., 1979. Relative efficacy of Carbofuran seed treatment and granular formulation of systemic insecticides for the control of Sorghum shootfly. *Pesticides* 13, 40-43.
- Kolbezen, M.J., Metcalf, R.L. Fukuto, T.R., 1954. Insecticide structure and activity, insecticidal activity of carbamate cholinesterase inhibitors. *J. Agric. Food Chem.* 2, 864-870.
- Korea Crop Protection Association (KCPA), 2012. Agrochemical Year Book 2012. Seoul.
- Korea Crop Protection Association (KCPA), 2014a. Agrochemical Year Book 2014. Seoul.
- Korea Crop Protection Association (KCPA). 2014b. Agrochemicals Use Guide Book 2014. Seoul.
- Korea Evaluation Institute of Industrial Technology (KEIT), 2015. For global marketing of eco-friendly crop protection agents by new materials. KEIT PD Issue Report. November. 15-11, 45-56.
- Liu, G.Y., Miao, W., Ju, X.L., 2010. Mechanisms of Imidacloprid resistance in *Nilaparvata lugens* by molecular modeling. *Chin. Chem. Lett.* 21, 492-495.
- Liu, Z., Williamson, M.S., Lansdell, S.J., Denholm, I., Han, Z., Millar, N.S., 2005. A nicotinic acetylcholine receptor mutation conferring target-site resistance to Imidacloprid in *Nilaparvata lugens* (Brown planthopper). *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 102, 8420-8425.
- Nauen, R., Elbert, A., 1997. Apparent tolerance of a field-collected strain of *Myzus nicotianae* to Imidacloprid due to strong antifeeding response. *Pestic. Sci.* 49, 252-258.
- Nauen, R., Koob, B., Elbert, A., 1998. Antifeedant effects of sublethal dosages of Imidacloprid on *Bemisia tabaci*. *Entomol. Exp. Appl.* 88, 287-293.
- Nelson, L. R., Morrill, W.L., 1975. Hessian fly control in wheat with systemic insecticides. *Cereal Res. Commun.* 3, 7-14.
- Pham, H.H., Kim, J.K., Choi, B.R., Song, Y.H., 2008. Effects of root zone applications of some systemic Insecticides for control of the Brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål). *Korean J. Pestic. Sci.* 12, 236-242.
- Podolska, M., Mulkiwicz, E., Napierska, D., 2008. The impact of Carbofuran on acetylcholinesterase activity in Anisakis simplex larvae from Baltic herring. *Pestic. Biochem. Physiol.* 91, 104-109.
- Risher, J.F., Mink, F.L., Stara, J.F., 1987. The toxicologic effects of the carbamate insecticide Aldicarb in mammals: A Rev. *Environ. Health Perspect.* 72, 267-281.
- Salman, J.M., 2013. Batch study for insecticide Carbofuran adsorption onto palm-oil-fronds-activated carbon. *J. Chem.* 2013, 1-5.
- Shim, M.J., 2015. Necessary of policy for export drive of agricultural chemicals. <http://www.newsam.co.kr/news/article.html?no=7859> (accessed on 11 October, 2016).
- Shukla, V.D., Anjaneyulu, A., 1980. Evaluation of systemic insecticides for control of rice Tungro. *Plant Disease.* 64, 790-792.
- Sikora, R. A., Hartw, J., 1991. Mode-of-action of the carbamate nematicides Cloethocarb, Aldicarb and Carbofuran on *Heterodera schachtii*. 2. Systemic activity. *Rev. Nématol.* 14, 531-536.
- Simon-Delso N., Amaral-Rogers, V., Belzunces, L.P., Bonmatin, J.M., Chagnon, M., Downs, C., Furlan, L., Gibbons, D.W., Giorio, C., Girolami, V., Goulson, D., Kreuzweiser, D.P., Krupke, C.H., Liess, M., Long, E., McField, M., Mineau, P., Mitchell, E.A.D., Morrissey, C.A., Noome, D.A., Pisa, L., Settele, J., Stark, J.D., Tapparo, A., Van Dyck, H., Van Praagh, J., Van der Sluijs, J.P., Whitehorn, P.R., Wiemers, M., 2015. Systemic insecticides (Neonicotinoids and Fipronil): trends, uses, mode of action and metabolites. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 22, 5-34.
- Solheim, B.A., 1982. Toxicity and acetylcholinesterase inhibition by Carbofuran and Terbufos insecticides on Diabrotica species (Insecta: Coleoptera: Chrysomelidae), Iowa State University Ph.D., Retrospective Theses and Dissertations. Paper No. 7542.
- Stenersen, J., 2004. Chemical pesticides mode of action and toxicology. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Wise, J.C., Vandervoort, C., Isaacs, R., 2007. Lethal and sublethal activities of Imidacloprid contribute to control of adult Japanese beetle in blueberries. *J. Econ. Entomol.* 100, 1596-1603.
- Yen, J.H., Hsiao, F.L., Wang, Y.S., 1997. Assessment of the insecticide Carbofuran's potential to contaminate groundwater through soils in the subtropics. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 38, 260-265.