

## 흰줄숲모기, *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae)의 치사농도 및 용화에 대한 구리의 영향

이 수 미 · 윤 수 진<sup>1</sup> · 신 병 식\*

창원대학교 생물학과, <sup>1</sup>한국생명과학연구소

## Effect of Copper on Lethal Dose and Pupation of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae)

Su Mi Lee, Su Jin Yoon<sup>1</sup> and Byung Sik Shin\*

Department of Biology, Changwon National University, Changwon 641-773, Korea

<sup>1</sup>Hankuk Institute of Life Science, Seoul 110-521, Korea

**Abstract** – The mosquito, *Aedes albopictus* is important vector of human pathogen such as dengue fever. And *Aedes albopictus* has widely distribution in oriental regions. This study was conducted to investigate the biological effects of copper on the development of the Asian tiger mosquitoes, *Aedes albopictus* (Skuse). *Aedes albopictus* was affected with pupation ratios, mortalities, and wing lengths of the 3th and 4th instars by exposure to different concentration CuCl<sub>2</sub> (0.0, 2.5, 25.0 and 50.0 ppm) for 24 h and 48 h depending on dose and exposure period. The lowest LC<sub>50</sub> (median lethal concentration) value of CuCl<sub>2</sub> was 18.1 ppm at the 3rd instars for 48 h exposure. The pupation ratio of the larvae exposed at 50.0 ppm for 48 h was 14% which was much lower than those exposed to other treatment groups. Changes of adult wing length showed significant decreased by Cu treatment. In conclusion, the most prominent effects of high concentration and longer exposure period were to reduce in the survival and pupation rates of larvae and wing length of *Ae. albopictus*.

**Key words** : *Aedes albopictus*, heavy metal, lethal dose

### 서 론

현대의 산업 및 농업부문에서 유출되는 다양한 중금속은 생태계내로 유입되어 생태계를 구성하는 다양한 생물에 영양을 미친다. 특히 곤충의 경우, 오염된 물과 공기, 먹이 등을 직접 접하거나 섭취하는 과정을 통해 직간접적으로는 중금속의 영향을 받게 된다. 이러한 중금

속은 살충제와 더불어 곤충에게도 심각한 영향을 미친다. 중금속이 곤충에 미치는 영향에 관한 연구로는 모기과(Culicidae)에 속하는 집모기속의 *Culex pipiens quinquefasciatus* Say, *Cx. hortensis*과 학질모기아과에 속하는 *Anopheles hispaniola*의 발생에 따른 Cu, Hg, Cd의 영향에 대한 Bouallam and Nejmeddime의 연구(2001)가 있다. 또 구리, 아연, 카드뮴이 *Cx. quinquefasciatus*의 개체군 성장에 미치는 영향(Sarkar *et al.* 2005), 납과 카드뮴이 이집트숲모기(*Aedes aegypti* L.)에 미치는 독성(Dutro and Klowclen 1988) 및 좀날개나방과(*Eriocrania semipur-*

\* Corresponding author: Byung Sik Shin, Tel. 055-213-3452, Fax. 055-213-3459, E-mail. bsshin@changwon.ac.kr

*purella Stephens*)의 유충에 의한 구리와 니켈의 섭취와 배설(Kozlov *et al.* 2000) 등이 보고되었다. Gintenreiter *et al.* (1993)은 인공 먹이 속에 포함된 구리, 카드뮴, 납 및 아연의 농도가 짙시나방(*Lymantria dispar* L.)의 발생기간, 치사율, 성장율, 생식에 영향을 미친다고 보고 하였다. 지금까지 여러 나비 목에 대한 금속이온의 영향이 보고 되었는데, McFarlane(1985)은 인공 사육한 *Acheta domesticus* L.의 먹이 내에 포함된 금속의 함량비에 따라 체중 증가율에 차이를 보인다고 하였으며, Zelenayova(1979)는 *Scotia segetum* 유충의 먹이에 포함된 구리 이온이 난 발달에 영향을 미친다고 하였다. 흰줄숲모기(*Aedes albopictus* Skuse)의 알은 부화 하기전 12달 정도 보관이 가능하고(Munsterman and Wasmuth 1985), 짧은 life cycle을 가지며 실험실에서 사육하기 쉽다. 이러한 이유로 흰줄숲모기는 수서곤충에 있어 중금속의 분자적, 유전적 영향을 연구하기 위한 중요한 실험재료로 여겨진다(Beaty and Marquardt 1996). 한편 야외환경에 서식하는 모기의 경우, 구제를 위한 살충제 등의 지속적인 살포에 의해 장기간 여러 세대에 걸쳐 중금속에 노출되어 오기 때문에 오염이 완전히 배제된 실험실에서 사육한 모기와는 발달 및 형태학적인 차이를 가질 수 있다. 이러한 차이점을 실험실내의 연구결과를 실제 모기 생육지에서 채집한 개체에 적용시키는 한계 요인으로 작용할 수도 있다. 본 실험은 구리에 노출된 흰줄숲모기의 용화율, 치사농도 및 성충 날개길이 등을 조사하여 중금속 오염이 모기의 발달과정 및 성충 개체의 형태적 변이에 미치는 영향에 대한 기초 자료를 얻고자 실험을 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험 곤충의 사육

흰줄숲모기(*Aedes albopictus* Skuse)의 성장 발생 단계에 미치는 구리(Cu)의 영향을 조사하기 위하여 창원근교에서 채집하여 실험실에서 누대사육 하고 있는 흰줄숲 모기의 난피를 받아 사육하며 실험재료로 사용하였다. 모기 사육은 tap water와 D.W.를 1:1(v/v)로 혼합, pH를 7.0에 맞춘 용액(이하 사육용액)에 난피에서 부화한 1령 유충을 200마리씩 나누어 넣고 인공먹이(ground rat chaw : brewer' yeast : lactalb-umin, 1:1:1, w/w)를 공급하면서 온도  $27 \pm 1^\circ\text{C}$ , 습도 70~80%, 광주기 14:10 LD의 조건으로 지속적으로 사육하였다.

### 2. 모기의 중금속 처리

사육 중인 모기 중 3령과 4령을 선별하여 구리 표준용액(구리 1,000 ppm, AAs Standard, sigma)을 농도별로 희석한(0, 2.5, 25.0, 50.0 ppm) 각각 450 mL에 유충 각 200마리씩 나누어 넣고 24시간과 48시간 동안 노출시켰다. 이후 각 처리군을 구리가 없는 사육용액에 옮겨 각 200개체씩 인공먹이로 사육하면서 실험용도에 따라 선별하여 사용하였다.

### 3. 구리의 치사농도 측정

농도별 구리용액(0, 2.5, 25.0, 50.0 ppm)을 500 mL 용량의 비이커에 각각 300 mL씩 부어, 비이커당 사육용액에서 사육 중이던 3, 4령 모기 유충 30마리씩 넣고 24, 48시간 경과 후 생존 개체와 사충 수를 구별하였으며, 이러한 실험은 통계처리를 위해 3회 이상 반복 실험을 하였고, 반수치사농도(LC<sub>50</sub>: median lethal concentration) 값은 분산분석(SAS 9.1, Korea)을 사용하여 결정하였다.

### 4. 용화율 측정

사육용액에서 사육 중이던 3, 4령 유충을 200마리씩 나누어 사육용액과 농도별 구리 용액(2.5, 25, 50 ppm) 450 mL에 넣어 인공먹이를 공급하면서 사육하였다. 각각의 처리군을 24, 48시간 경과 후 사육용액으로 옮겨 사육하면서 매일 일정한 시기에 번데기를 골라 그 수를 측정하여 처리군별 누적 용화율을 산정하였다.

### 5. 날개길이 측정

번데기를 암, 수로 구분하여 시험관에서 우화시킨 후 CO<sub>2</sub> 가스를 이용하여 질식시킨 후 Schmidt-Nielsen(1984)의 방법을 이용하여 어깨판(alula)에서 정단연모(apical fringe)까지의 길이를 해부 현미경 하에서 측정하였다.

## 결 과

### 1. 치사 농도

구리용액을 흰줄숲모기 3령, 4령 유충에서 24시간, 48시간 처리하였을 때 50% 치사율(LC<sub>50</sub>)에 미치는 영향은 Table 1과 같다. 3령 유충을 48시간 처리한 후의 50% 치사농도는 18.10 ppm으로 가장 낮게 나타난 반면, 24시간 처리한 4령 유충의 치사농도는 35.65 ppm으로 가장 높

게 나타났다.

### 2. 유충의 용화율

농도별 구리용액 (0, 2.5, 25, 50 ppm)으로 사육한 흰줄 숲모기의 용화율은 Fig. 1에서 나타난 바와 같다. 용화율은 4령 유충이 3령 유충에 비하여 저항성을 가지며, 4령 유충을 50 ppm에서 48시간 처리한 경우 3령 유충(12%)에서보다 용화율이 14%로 높아지는 것으로 나타났다. 수컷의 평균 용화율은 암컷에 비해 10% 높았고, 암, 수 모두 50 ppm에서 유충을 48시간 처리한 처리군에서 가장 낮은 용화율(6%)을 보였다. 전반적으로 고농도(50 ppm)로 갈수록 용화율이 낮게 나타났다.

**Table 1.** LC<sub>50</sub> values (ppm) of Cu during 24 and 48 hours of treatment in *Aedes albopictus* larval stages

Instar	LC <sub>50</sub> (ppm)	
	24 h	48 h
3rd	20.25	18.10
4th	35.65	32.20

LC<sub>50</sub>: median lethal concentration

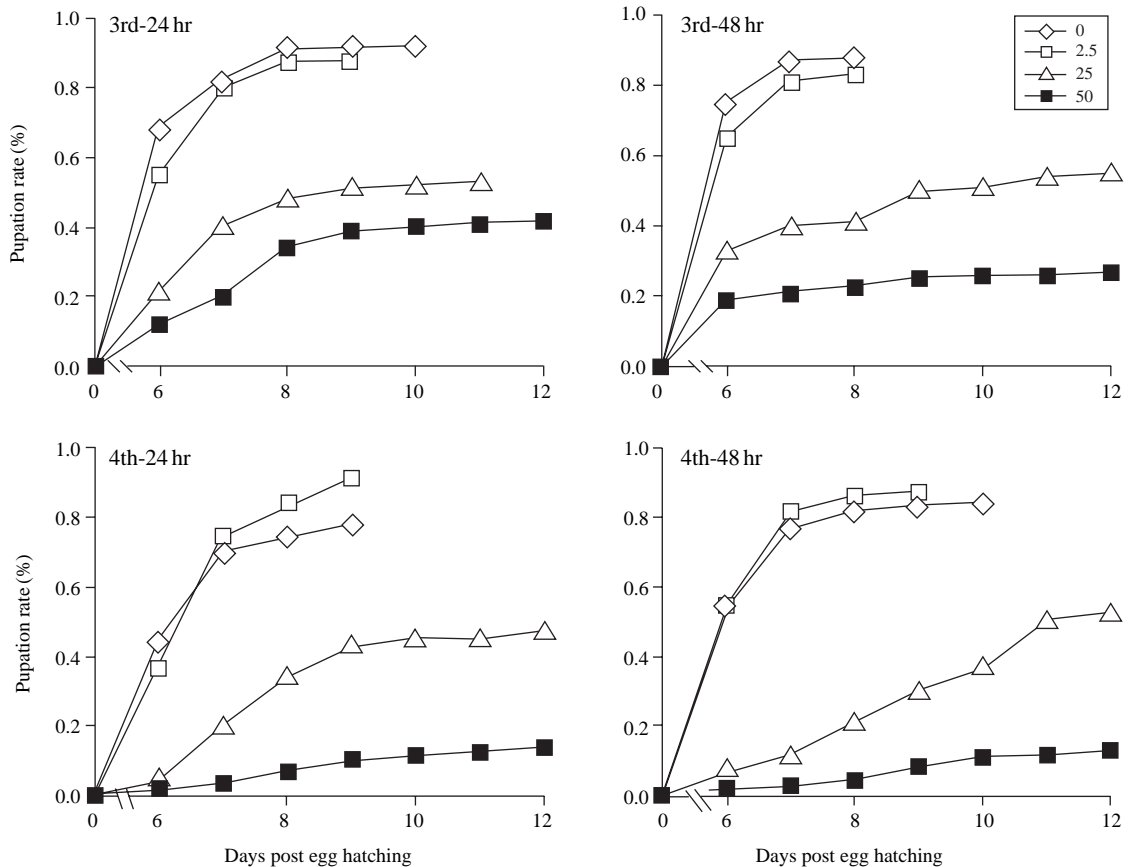
### 3. 성충의 날개 길이 변화

용화 후 암, 수를 구분하여 시험관에서 사육한 후 우화한 성충의 날개길이를 어깨판에서 정단 연모까지 측정된 결과는 Fig. 2와 같다.

성충의 날개길이는 처리 농도가 증가하고 처리시간이 길수록 감소하였다. 대조군과 50.0 ppm 처리군의 날개길이 변화를 비교하였을 때, 수컷은 3령 24시간 처리군에서 0.391 mm, 암컷은 4령 48시간 처리군에서 0.376 mm으로 가장 큰 차이를 보였다. 또한 암, 수 모두 25.0 ppm 이상에서 48시간 처리군이 24시간 처리군에 비하여 변화가 크게 나타났다.

## 고 찰

생물체에서 금속이온은 소량이지만 체내에서 중요한 기능을 담당한다. 반면에 중금속이온은 체내에 축적되어 생리적, 구조적 변화를 일으키는 물질로 알려져 있으며 인간을 비롯한 모든 동물 및 식물에 영향을 미치는 것으로 보고되어 왔다.



**Fig. 1.** Pupation rates of 3rd and 4th instars of *Aedes albopictus* treated with different concentration of Cu for 24 and 48 hours.

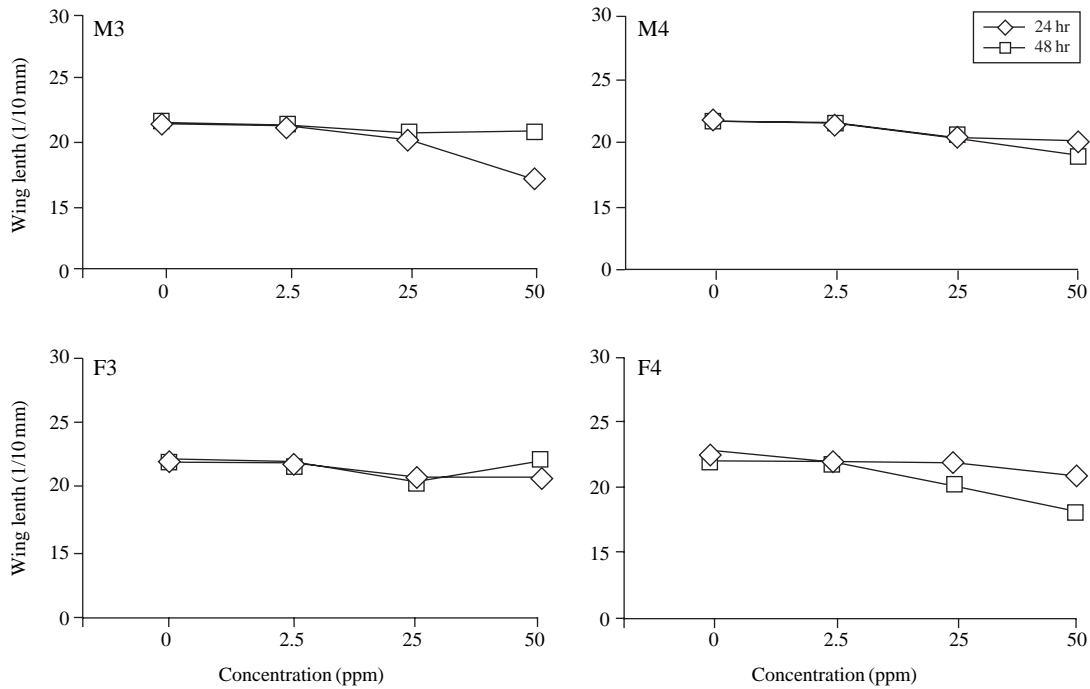


Fig. 2. Changes of wing length of *Aedes albopictus* in relation to different concentrations of Cu. M3: male, 3rd. instar, M4: male, 4th. instar, F3: female, 3rd. instar, F4: female, 4th. instar.

곤충은 발생 단계를 통해 생리적인 변화를 유발하는 생존전략을 보유하고 있다. 특히 외부의 다양한 스트레스에 대해 적응하는 다양한 저항성 기작이 나타난다. 이러한 스트레스 중 생육 환경이 중금속에 노출됨으로서 곤충들이 발육과 생존에 영향 받는 것으로 알려져 있으며 이에 대한 다수의 연구가 있다

Trumble *et al.* (1998)은 수종의 셀레늄 화합물이 파밤나방의 성장에 미치는 영향에 관한 연구에 번데기의 무게를 감소 시키고 번데기와 성충으로 발육하는데 더 긴 시간이 필요하며 부화후 유충기간은 25%, 성충으로 우화 되기까지는 30%까지 기간이 지연된다고 보고하였다.

Gintenreiter *et al.* (1993)은 구리를 비롯한 납, 카드뮴, 아연이 짚시나방 (*L. dispar*)의 발생단계에 미치는 영향에 대해 보고하였는데 중금속 처리에 따라 발육기간의 연장과 각 변태시기의 횟수 증가 및 지연이 유도되며, 3령 유충에서는 대조군에 비해 두폭의 감소가 나타난다고 하였다. Nascarella *et al.* (2003)은 중금속에 의해 검정파리 (*Phormia regina Meig*)에 특별한 독성 단계가 나타난다고 하였다. 소량의 중금속은 검정파리 유충이 번데기가 되는 비율을 증가시키지만, 많은 양의 중금속은 번데기가 되는 비율을 떨어뜨렸다고 하였다. 본 실험에서는 구리 농도 변화에 따른 유충의 용화율은 4령 유충이 (14%) 3령 유충 (12%)에 비해 암, 수 모두에서 용화율이 높아져 유충의 령기에 따라 중금속의 영향을 덜 받는

것으로 나타나 결국 유충의 성장 단계가 증가함에 따라 중금속에 대한 저항성 또는 내성이 증가됨을 나타낸다.

Keller *et al.* (1998)은 이집트 숲모기를 32 ppm 농도의 구리에 처리하였을 때 알은 부화되지 않았으나 중금속을 제거하면 알의 일부가 부화됨을 보고하였다. 24시간 동안 중금속을 처리한 3령 유충의 치사율은 금속의 종류 및 처리 농도에 좌우되기 때문에 50% 치사농도 (LC<sub>50</sub>)는 수은 3.1 ppm, 카드뮴 16.6 ppm, 구리 33.0 ppm으로 나타난다고 하였다. 또한 다양한 농도에서 구리를 처리하였을 때의 3령 유충기간 동안에 농도에 따라 치사율이 다양하게 결정된다고 하였다. 또한 비처리군에 비해 우화시기가 지연된다고 보고하였다

본 실험 결과도 Table 1 발생 단계가 늦은 시기 (4령)에 처리하고 24시간 처리한 군에서 50% 치사 농도가 가장 높았고 (36.65 ppm) 이른시기 (3령)에 오랜 시간 (48) 시간 처리한 처리군이 18.10 ppm으로 가장 낮게 나타내는데, 이러한 사실은 중금속 처리시기가 유충이 어린시기 일수록 더 영향을 받는다고 할 수 있으며, 또한 낮은 농도에서는 긴 처리시간이 필요한 반면 높은 농도에서는 처리시간이 짧아도 그영향을 받는것으로 나타났다.

한편 우화 후 성충의 날개길이 역시 처리 농도가 증가하고 처리시간이 길수록 (48시간) 감소하였다. Ortel (1995)은 매미나방의 중금속에 대한 연구에서 납 (20 ppm)과 구리 (50 ppm)를 처리 하였을 때, 저농도에서 고

농도로 갈수록 유충 무게가 감소한다고 하였는데, 본 실험결과 나타난 구리의 처리농도가 높아짐에 따른 날개 길이 감소는 앞선 연구자들이 언급한 유충 체중감소나 성장억제 현상에 수반된 결과로 생각된다.

결론적으로 흰줄숲모기의 각 발생단계에 다양한 농도의 구리를 처리한 결과, 처리농도, 처리시간 및 유충의 령기에 따라 치사량, 용화율, 날개길이에 변화가 나타났다. 이것은 중금속이 곤충의 유충발육과 변태에 영향을 끼치며, 수반되는 물질대사에도 영향을 미치는 것으로 생각되고, 또한 이들 물질대사의 결과로 중금속의 독성을 완화시켜주는 금속 결합단백질과, 해독작용을 하는 효소계에 대한 연구가 필요할 것으로 여겨진다

## 적 요

본 실험은 구리가 흰줄숲모기, *Aedes albopictus*의 발생에 미치는 생물학적 영향을 조사하기 위하여 수행하였다. 흰줄숲모기 3령, 4령 유충을 각각 다른 농도의 구리 용액(0.0, 2.5, 25.0, 50.0 ppm)에서 24시간, 48시간 처리한 후 치사농도를 결정하고, 사육용액(tap water)으로 옮겨 사육하여, 유충의 용화율, 성충의 날개길이를 측정하였다. 결과는 다음과 같다. 50% 치사농도(LC<sub>50</sub>)는 4령 유충 24시간 처리군에서 35.65 ppm으로 나타나 다른 처리군에 비해 가장 저항성을 지닌 것으로 나타났다(Table 1).

유충의 용화율은 고농도 48시간 처리군에서 낮게 나타났다. 특히 3령 유충 48시간 처리 군에서 14%(암컷 9%, 수컷 5%)로 가장 낮았다. 또한 우화 후 성충의 날개 길이는 처리 농도가 증가하고 긴 처리 시간이(48시간) 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 실험 결과들은 흰줄숲모기의 각 발생단계에 구리를 처리한 결과 처리 농도 및 처리 시간에 따라 치사량, 용화율, 날개길이 등에 많은 변화를 나타내었는데 이는 중금속이 곤충의 유충발육과 변태에 영향을 끼치며, 이와 수반되는 물질대사에도 영향을 미치는 것으로 여겨진다.

## 참 고 문 헌

Beatty BJ and WC Marquardt. 1996. The Biology of Disease Vectors. Univ. Press of Colorado, Niwot.  
Bouallam S and A Ncjemmedine. 2001. Effects of heavy metals-Cu, Hg, Cd-on three species of mosquitoes larvae(Diptera: Culicidae). Inter. J. of Limnol. 37:49-57.

Dutro SM and MJ Klownen. 1988. Acute and chronic effects of lead and cadmium on the mosquito, *Aedes aegypti*. J. Idaho Academy of Science 24:18-26.  
Finney DJ. 1971. Probit analysis. Cambridge Univ. Press. London.  
Gintenreiter S, J Ortel and HJ Nopp. 1993. Bioaccumulation of cadmium, lead, copper and zinc in successive developmental stage of *Lymantria dispar* L. (Lymantriidae, Lepid)-a life cycle study. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 25:55-61.  
Kozlov MV, E Hankioja and EF Kovnatsky. 2000. Uptake and excretion of nickel and copper by leaf-mining larvae of *Eriocrania semipurpurella* (Lepidoptera: Eriocraniidae) feeding on contaminated birch foliage. Environ. Pollut. 108: 303-310.  
McFarlane JE. 1985. Nutrition and Digestive Organs. pp.59-89. In Fundamentals of Insect Physiology (M. Blum ed.). John Wiley & Sons, New York.  
Munsterman SE and LM Wasmuth. 1985. *Aedes aegypti*. Handbook of insect Rearing, Vol. II, Elsevier, Amsterdam.  
Nascarella MA, JG Stoffolano Jr, EJ Stanek III, PT Kosteci and EJ Calabrese. 2003. Hormesis and stage specific toxicity induced by cadmium in an insect model, the queen blowfly, *Phormia regina* Meig. Environ. Pollution. 124: 257-262.  
Ortel J. 1995. Effects of metals on the total lipid content in the gypsy moth (*Lymantria dispar*, *Lymantriidae*, Lepid.) and Its Hemolymph. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 55:216-221.  
Rayms-Keller A, KE Olson, M McGaw, C Oray, JO Carlson and BJ Berty. 1998. Effects of heavy metals on *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) larvae. Ecotoxicol. & Environ. Safety 39:41-47.  
Sarkar S, AK Dutttagupta and TK Mal. 2005. Effects of heavy metals on population growth and metallothionein gene expression in the mosquito *Culex quinquefasciatus*, from Calcutta, India. Environ. Pollut. 127:183-193.  
Schmidt-Nielsen K. 1984. Scaling: Why is animal size so important? Cambridge University Press, Cambridge.  
Trumble JT, GS Kund and KK White. 1998. Influence of form and quantity of selenium on the development and survival of an insect herbivore. Environmental Pollution 101:175-182  
Zelenayova E. 1979. *Scotia segetum* (Lepidoptera, Noctuidae) oogenesis affected by copper ions added to semisynthetic diet of larvae. Biologia (Bratislava). 41:563-577.

Manuscript Received: March 15, 2010

Revision Accepted: April 22, 2010

Responsible Editor: Sun Il Kwon