

<Original article>

## 중금속이 빨간집모기 (*Culex pipiens*)의 치사율과 대사물질의 변화에 미치는 영향

이 수 미 · 신 병 식\*

국립 창원대학교 생물학과

### Effects of Heavy Metals on Mortality and Metabolite Changes in Mosquitoes, *Culex pipiens pallens* (Diptera: Culicidae)

Su Mi Lee and Byung Sik Shin\*

Department of Biology, Changwon National University, Changwon 51140, Republic of Korea

**Abstract** - To investigate the effect of heavy metals (Cu, Cd, Hg, Pb, Zn) on mosquito *Culex pipiens*, 50% lethal concentration (LC<sub>50</sub>) concentration, total lipid content, lipid content composition, and total protein content were measured. The results showed that the Hg LC<sub>50</sub> was 0.45 mg kg<sup>-1</sup> and the Hg toxicity was higher than the other metals. The results also showed that cadmium (Cd) significantly retarded the growth of mosquito larvae among the tested heavy metals. Six types of lipid bands were isolated from mosquito samples exposed to heavy metals, and five of them were identified (phospholipid, cholesterol, fatty acid, triglyceride, and cholesterol ester). The total lipid content of all treatments decreased compared to the control. In addition, the protein content of the control group (0.51 mg ind.<sup>-1</sup>) was higher than that of the treated group, and the protein content of the larvae treated with Hg and Cd was very low. In conclusion, heavy metals not only lower the survival rate of mosquitoes, but also affect the protein content and lipids in the mosquito's body, thereby causing growth inhibition. These results indicate that heavy metal contamination will affect the size of mosquito population by inhibiting the survival and growth of mosquitoes, and it is expected that it can be used to measure the degree of contamination using mosquito through subsequent studies.

**Keywords** : *Culex pipiens pallens*, heavy metals, lethal concentration, matabolite

## 서 론

중금속은 생태계의 종 다양성을 크게 감소시킬 수 있기 때문에, 지속적으로 그 거동과 생물에 대한 영향이 연구되어왔다 (Brown 1977; Clements *et al.* 1988; Gunn 1995). 육상 곤충은 중금속의 생물학적 영향을 평가하기 위하여 가장 널리

활용된 생물류 중 하나이다. Gintenreiter *et al.* (1993)은 인공 먹이 속에 포함된 구리, 카드뮴, 납 및 아연이 꿀벌부채명나방 (*Galleria mellonella*)의 발생기간, 치사율, 성장률, 생식에 영향을 미친다고 하였다. Ortel (1991, 1995)은 매미나방 (*Lymantria dispar*)의 먹이에 첨가한 카드뮴, 납, 구리, 및 아연이 그 농도에 따라 혈림프 지질 함량의 변화를 일으킨다고 보고 하였으며, 또 납과 카드뮴이 짚시나방의 번데기에 기생하는 벌 (*Pimpla turionellae*)의 수분 함량, 단백질, 탄수화물, 지질함량에 변화를 유도한다고 하였다. Zelenayova (1986)는 나방류

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

의 일종인 (*Scotia segetum*) 유충의 먹이에 포함된 구리 이온이 난황 형성에 영향을 미친다고 하였고, Posthuma (1990)는 카드뮴 오염지역에서는 *Orchesella cincta*의 개체군의 크기 감소가 나타난다고 하였다.

수생 곤충은 담수 생태계에서 오랫동안 중금속을 축적하는 가장 풍부하고 다양한 종류의 생물이기 때문에, 오염 물질의 생물학적 분석을 위한 환경오염의 지표종으로 활용되어 왔다 (Hare 1992). 특히, 모기는 성충을 제외한 대부분의 생활사를 수생태계에서 보내는 곤충이며, 모기 유충의 주요 서식처가 되는 도심 주변의 생활 하천이나 공원의 연못은 비교적 중금속의 유입이 쉽게 발생하기 때문에, 연구 대상으로 가치가 높다. 따라서, 다양한 연구자들은 중금속으로 오염된 수중환경이 모기의 생존과 성장에 미치는 영향을 연구해왔다 (Dutro and Klowden 1988; Baik *et al.* 1993; Beaty *et al.* 1998; Raymas-Keller *et al.* 1998; Bouallam and Nejmeddime 2001; Mireji *et al.* 2008). Dutro and Klowden (1988)은 중금속인 납과 구리가 이집트숲모기 (*Aedes aegypti*) 유충의 난황 크기, 용화 시기, 성충의 성장에 영향을 미친다고 하였으며, Beaty (1998)는 카드뮴, 수은, 구리가 *A. aegypti* 부화율과 우화율에 미치는 영향을 평가하였다. 또한, Bouallam and Nejmeddime (2001)은 집모기속인 *Cx. pipiens*와 *Cx. hortensis*, 그리고 확질모기 과에 속하는 *Anopheles hispaniola*의 발생에 미치는 구리, 수은, 카드뮴의 영향을 보고하였다. 중금속은 모기 개체에 미치는 영향뿐만 아니라, 모기의 다양성과 풍부도에 직접적인 영향을 미치는 것으로 알려져 왔다 (Chinery 1984; Coene 1993; Coluzzi 1993).

본 연구는 여러 종류의 중금속이 모기에 미치는 생물학적·생화학적인 영향을 평가하기 위해 수행되었다. 빨간집모기 (*Culex pipiens pallens*)의 유충을 카드뮴 (Cd), 구리 (Cu), 수은 (Hg), 아연 (Zn), 납 (Pb)에 노출했으며, LC<sub>50</sub> (median lethal concentration) 값을 도출하고 단백질과 지질의 함량 변화를 분석하였다. 본 연구를 통해, 수환경 지표종에 대한 기초자료를 제공하고, 나아가 모기의 발생과 억제에 대한 생물학적 조절방법과 위생 및 수환경 개선방법을 모색하기 위한 정보를 제공하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험 생물 및 실험 방법

중금속을 처리한 빨간집모기 (*Culex pipiens pallens*)의 치사율, 체내 대사산물을 조사하기 위하여, 실험실에서 누대 사육하고 있는 빨간집모기의 난괴를 제공받아 부화시킨 후 1령

유충을 사육하여 실험 생물로 사용하였다. 실험은 Rayms-Keller *et al.* (1998)의 방법에 따라 수행되었다. 대조군은 중금속이 첨가되지 않은 용액 (D.W.)으로 설정하였으며, 처리군은 사전연구에서 산출된 LC<sub>10</sub> 농도 수준의 중금속 용액 (Cd: 0.1 mg kg<sup>-1</sup>, Hg: 0.1 mg kg<sup>-1</sup>, Cu: 1.0 mg kg<sup>-1</sup>, Pb: 1.0 mg kg<sup>-1</sup>, Zn: 1.0 mg kg<sup>-1</sup>)으로 하였다. 모든 실험은 온도 27±1°C, 습도 70~80%, 광주기 14:10 (L:D)의 조건에서 수행되었으며, 인공먹이 (Terramin: Vivid-s, 1:1, w/w)를 공급하였다. 모든 실험에서 빨간집모기는 암수 구별 없이 사용되었다.

### 2. 실험 방법

#### 1) 모기의 치사농도 측정

각 중금속의 농도에 따른 모기유충의 50% 치사농도 (LC<sub>50</sub>)를 측정하기 위하여 Polyethylen 용기에 사육용액 (D.W.)과 각 농도별 중금속용액을 각각 200 mL로 채우고, 3령 공시충을 20마리씩 접종하였다. 24시간 경과 후 유충의 사충수를 조사하여 LC<sub>50</sub>를 측정하였으며, 모든 실험은 3회 반복하여 실시하였다.

#### 2) 용화시기 측정

대조군용액 (D.W.)과 각 중금속 용액 800 mL에 부화한 1령 유충을 각각 200마리씩 넣어 인공먹이를 공급하면서 사육하였다. 이후 각 처리군을 매일 정해진 시간에 관찰하며 첫 번데기가 출현한 시간을 측정하였다.

#### 3) 총 지질함량 측정 및 지질조성

지질의 추출은 Folch *et al.* (1957)의 방법에 따라 수행하였다. 각 중금속 용액에서 지속적으로 사육한 모기중 3령 유충과 번데기를 선별하여 분석 시료로 사용하였다. 각 시료별 지질추출액의 총 지질함량은 sulfo-phosphovanillin (Frings and Dunn 1970)의 방법에 따라 spectro-photometer (S-4100, Sinco, Korea)를 이용하여, 파장 540 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준지질로는 olive oil 1 g을 100 mL의 무수 알콜에 용해하여 사용하였다.

지질의 조성분석은 HPTLC법을 이용하였다. Precoated HPTLC glass plate (silica G60 F<sub>254</sub>, 10×10 cm, 두께 250 μm, Camag)에 지질 추출액 10 μL를 LINOMAT IV (Camag, Swiss)를 사용하여 점적하였다. 전개용매는 hexan : dirthy ether : acetic acid (80 : 20 : 1, v/v/v) 혼합액을 사용하였다. 전개가 끝난 plate는 0.5% ethanolic-phosphomolybdicacid로 발색시키고 각 band 측정은 Densitometer (Camag-CATs3, Swiss)를 사용하여 파장 450 nm에서 흡광도를 측정하여 함량을 비교분석하였다.

#### 4) 총 단백질 함량 측정

단백질 추출은 위와 동일한 방법으로, 사육한 3령 유충과 번데기를 분석시료로 사용하였다. 각각의 시료 곤충 10마리를 2.0 mL 용량의 microtube에 넣고 0.1M phosphate buffer (pH7.0) 용액을 첨가하여 균질화하고, 10분 동안 원심분리 (13,000 rpm)한 후 상층액을 분리하여 단백질 함량 측정에 사용하였다. 총 단백질 함량 측정은 Bradford (1976) 방법을 이용하여 spectrophotometer (S-4100, Sinco, Korea)로 595 nm에서 총 단백질함량을 측정하였다. 표준 단백질로는 1% bovine serum albumin (BSA)를 희석하여 사용하였다.

### 3. 통계처리

실험 그룹 간의 차이는 ANOVA를 이용하여, 유의수준 0.05 수준에서 분석하였다.

## 결 과

### 1. 각 중금속의 모기치사농도 (LC<sub>50</sub>)

중금속용액 (Cu, Cd, Hg, Pb, Zn)에서 빨간집모기 3령 유충을 24시간 처리하였을 때 50% 치사농도인 LC<sub>50</sub>을 측정된 결과, Zn (2.90 mg kg<sup>-1</sup>)이 가장 높고, Hg가 0.45 mg kg<sup>-1</sup>으로 가장 낮은 수치를 나타내 독성이 가장 높았다 (Fig. 1). 중금속 간의 독성차이를 ANOVA로 유의성 검정을 한 결과 유의성이 있는 것으로 ( $p < 0.05$ ) 나타났다.

### 2. 용화시기

빨간집모기 1령 유충을 각 중금속의 농도에 따라 사육한

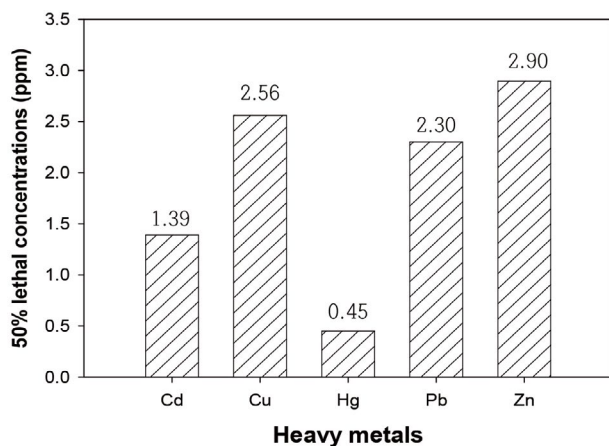


Fig. 1. LC<sub>50</sub> values (mg kg<sup>-1</sup>) of the heavy metals exposed to 24 hours of *Culex pipiens pallens* larvae.

후 용화시기를 측정한 결과, 대조군의 용화시기가 129시간으로 나타난 반면, 모든 처리군에서 용화시기가 지연되는 것으로 나타났다. Pb 용액에서 사육한 유충이 156시간으로 가장 빨리 용화된 반면 Cd에서는 1.75배의 시간이 지연되었으며 대조군과 처리군에서 용화시기는 유의한 차이 ( $p < 0.05$ )를 보였다 (Fig. 2).

### 3. 총 지질함량

각각의 중금속 용액에서 사육한 3령 유충 및 번데기의 총 지질함량을 측정한 결과는 Fig. 3과 같다. 모든 처리군에서 대조군 유충의 지질함량 0.58 (mg ind.<sup>-1</sup>)과 번데기의 지질함량 0.50 (mg ind.<sup>-1</sup>)에 비해 낮게 나타났다 ( $p < 0.05$ ). 특히 Cd를 처리한 유충은 대조군에 비해 2.15배, 번데기는 2.5배가 낮게 나타났다.

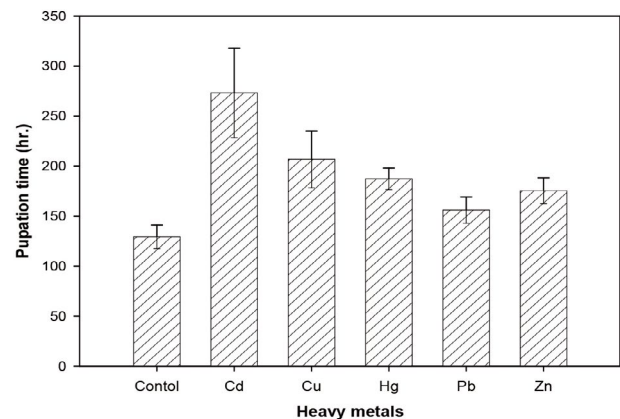


Fig. 2. Effects of the heavy metals on duration of pupation of *Culex pipiens pallens* larvae.

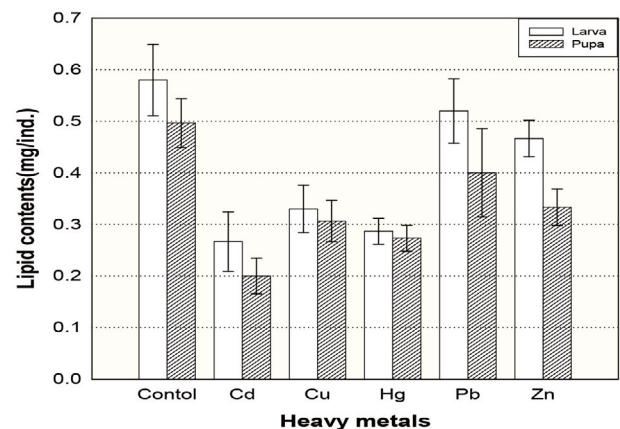


Fig. 3. Total lipid contents (mg ind.<sup>-1</sup>) in developmental stages of *Culex pipiens pallens* exposed to heavy metals.

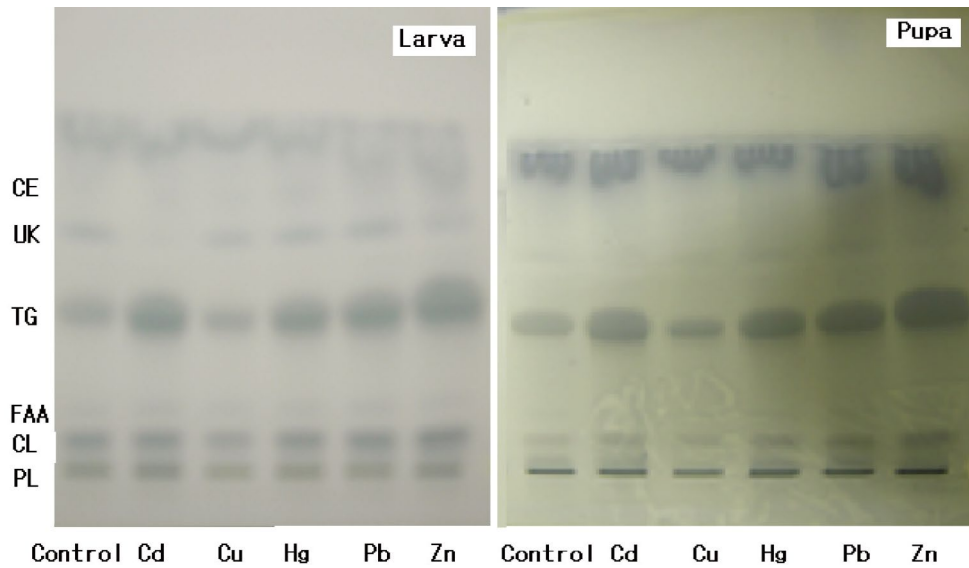


Fig. 4. TLC of lipid during developmental stages of *Culex pipiens pallens* exposed to heavy metals. \*PL: Phospholipid, CL: Cholesterol, FAA: Fatty acid TG: Triglyceride, CE: Cholesterol ester, UK: Unknown.

4. 지질조성 분석

HPTLC법을 이용하여 지질조성을 분석한 결과 총 6개의 지질밴드가 분리되었다(Fig. 4). 대조군과 처리군의 유충과 번데기에서 5개의 band, phospholipid, cholesterol, fatty acid, triglyceride, cholesterol ester와 미동정 band 1개가 확인되었다. 6개의 지질 band 중 triglyceride 대조군과 처리군의 유충과 번데기에서 가장 높은 비율을 나타냈다(Fig. 5). 반면 지방산은 대조군과 처리군 모두에서 가장 낮게 나타났다. Triglyceride 경우 유충에서 Cd 처리군에서 가장 높게 나타났으나 번데기에서는 가장 낮은 비율이 나타났다.

5. 총 단백질 함량 측정

3령 유충과 번데기의 총 단백질 함량을 Bradford법(1976)을 사용하여 측정한 결과 대조군의 단백질 함량이 중금속 처리군에 비해 유충(0.51 mg ind.<sup>-1</sup>), 번데기(0.35 mg ind.<sup>-1</sup>)에서 모두 유의성 있는(p<0.05) 증가를 나타냈으며, 특히 다른 처리군에 비해 수은 처리군의 유충(0.20 mg ind.<sup>-1</sup>)과 번데기(0.16 mg ind.<sup>-1</sup>)에서 모두 가장 낮은 단백질 함량을 보였다(Fig. 6).

고 찰

본 실험은 빨간집모기(*Culex pipiens pallens*)를 실험재료로 이용하여, 다섯종의 중금속(카드뮴, 수은, 구리, 납 및 아

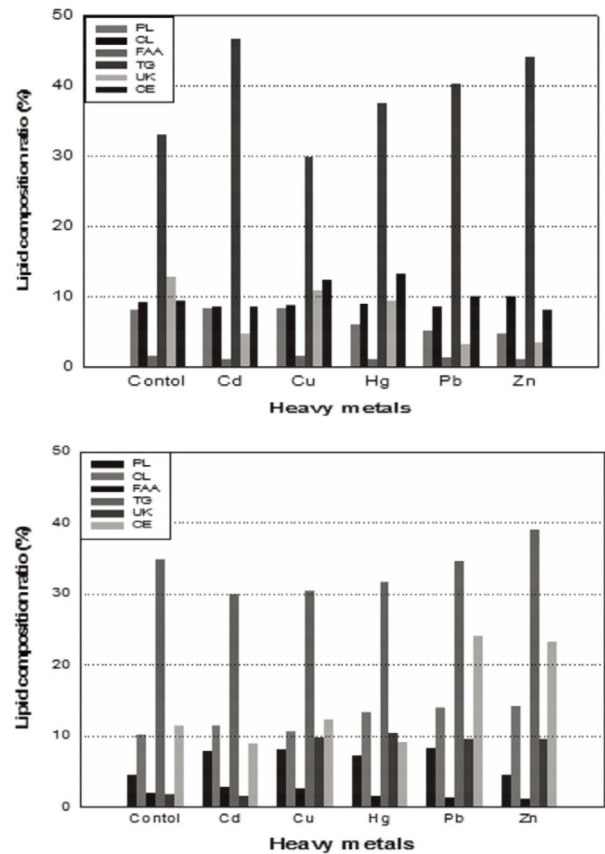


Fig. 5. Schematic of lipid compositions (%) in larval and pupal stage of *Culex pipiens pallens* compared to control and exposed to heavy metals (above: Larva, under: Pupa). \*PL: Phospholipid, CL: Cholesterol, FAA: Fatty acid, TG: Triglyceride, CE: Cholesterol ester, UK: Unkno.

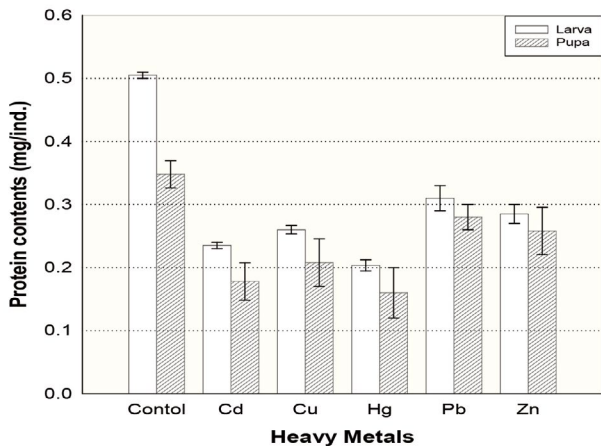


Fig. 6. Total protein contents (mg ind.<sup>-1</sup>) in 4th instar larvae and pupae of *Culex pipiens pallens* exposed to heavy metals.

연)의 50% 치사농도(LC<sub>50</sub>), 첫 번데기가 나타난 시간, 총지질함량 및 지질 조성 분석과 총 단백질 함량을 측정하였다.

Dutro and Klowden (1988)은 *A. aegypti*의 치사농도는 CdCl<sub>2</sub> 경우 3령 유충에서  $2.6 \times 10^4 \mu\text{L L}^{-1}$ , PbCl<sub>2</sub>는  $10.9 \times 10^4 \mu\text{L L}^{-1}$ 로 카드뮴이 납에 비해 독성이 더 높다고 하였다. 본 실험에서도 빨간집모기 유충의 50% 치사농도(LC<sub>50</sub>)를 조사한 결과(Fig. 1), 카드뮴이 납보다 더 독성이 강한 것으로 나타났고( $p < 0.05$ ), 수은 > 카드뮴 > 구리의 순서대로 감수성이 나타나 보고된 연구결과와 상동함을 보였다. 또한, 처음 번데기가 출현 시간은 카드뮴을 처리한 실험군에서 대조군에 비해 2.12배( $p < 0.001$ )가 늦은 273시간 만에 번데기가 처음으로 출현하였다. 번데기가 되기까지 걸린 시간은 치사농도와는 달리 카드뮴 > 구리 > 수은 > 아연 > 납의 순서로 나타나, 중금속을 처리한 실험군에서는 용화까지의 시간이 지연되는 것을 보여 성장에 유의한 차이가 나타났다( $p < 0.05$ ). Rayms-Keller et al. (1998)은 *A. aegypti*의 알에서 우화까지 카드뮴, 구리, 수은을 처리한 결과, 대조군에 비해 실험군에서 우화가 지연되고, 특히 구리 3.2 ppm 농도에서는 16일째, 카드뮴 0.5 ppm에서는 13일째, 수은 0.5 ppm에서는 9일째에 처음으로 우화한 개체가 발생한 것에 반해 대조군에서는 처음 우화한 개체가 7일로 나타나 중금속의 종류에 따라 큰 차이가 있는 것으로 보고하였다. 이러한 사실을 미루어보아 카드뮴을 비롯한 대부분의 중금속들이 금속에 따른 독성 차이는 있으나 모기의 성장을 확실히 저해한다고 판단된다.

곤충의 대사산물 중 비행의 주된 에너지원으로는 지질을, 단백질은 구조형성과 기능 단백질로 이용된다고 널리 알려져 있다. 번데기에 기생하는 뱀시벌과의 한 종인 *Pimpla turionella*는 중금속 오염에 의해 체내 탄수화물 함량은 영향을 받지 않지만 지질 함량은 감소한다고 보고되었다(Ortel 1991).

Bodar et al. (1988)도 중금속이 물벼룩인 *Daphnia magna*의 에너지원인 체내 지질함량을 감소시킨다고 하였으며, Martoja et al. (1983)도 카드뮴을 생체 중량당 일정 농도로 풀무치(*Locusta migratoria*)에 주입하면 지방체세포의 미분화가 유발되어 난황형성이 일어나지 못하기 때문에 산란에 영향을 미친다고 하였다. 본 실험에서 빨간집모기 유충과 번데기의 지질함량은 유충과 번데기 모두 대조군에서 개체 당 0.58 mg (유충), 0.5 mg (번데기)으로 나타났고, 중금속 처리군의 지질함량은 모두 낮게 나타났다. 특히, 카드뮴을 처리한 경우 유충에서 0.27 mg, 번데기에서 0.2 mg으로 가장 낮은 지질함량을 보였다. 이러한 실험결과는 다른 연구자들의 보고와 같이 빨간집모기도 중금속에 의한 지질 감소가 일어난다는 사실을 뒷받침한다. 한편, 용화시기가 빠른 납과 구리 처리군에서는 유충과 번데기에서 비교적 높은 지질함량을 나타내는 것으로 조사되었다(Fig. 3).

중금속 처리 빨간집모기 유충과 번데기의 지질조성을 HPTLC를 이용하여 조사한 결과, 대조군과 실험군의 유충과 번데기에서 모두 6개씩의 밴드가 분리되었으며, 이 중에서 triglyceride (TG)의 조성 비율이 가장 높게 나타났다. 이는 Choi (2000)의, 인공먹이에 카드뮴을 포함시켜 섭식시킨 꿀벌부채명나방(*Galleria mellonella*)에서의 결과와 Shin (2006)의 화랑곡나방(*Plodia interpunctella*)에 구리를 포함한 인공먹이를 섭식시킨 연구결과에서 8개의 밴드가 나타난 것과는 차이가 있었다. 이것은 나비목인 *G. mellonella*, *P. interpunctella*와 파리목인 빨간집모기와의 종 특이성의 차이로 여겨진다.

El-Sheikh et al. (2010)의 연구에서는, 각 중금속(CuSO<sub>4</sub>, Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>)의 LC<sub>50</sub>으로 처리한 유충에서 성장한 성체 암컷의 총 지질함량과 산란수가 현저하게 감소하였다. 그뿐만 아니라, 난의 부화율도 중금속이 처리되지 않은 암컷이 낳은 난의 부화율은 최고 97%였지만, 중금속 노출에 의해 최저 37%에서 최고 80%로 현저히 감소되며, 중금속의 존재는 암컷이 모기의 번식을 위해 가능한 한 물을 피하게 한다고 보고했다. 본 연구에서도 이와 마찬가지로 중금속에 의한 지질감소와 단백질감소는 모기의 증식을 막는데 기여할 수 있다고 여겨진다. Migula (1989)는 대사 과정에서 발생하는 카드뮴 독성은 호흡 및 신진대사의 억제 그리고 동화 효율 저하를 일으킨다고 보고하였으며, Islam and Roy (1983)는 *Chrysocharis stollii* 개체 당 5  $\mu\text{g}$  Cd를 주사 후 *Chrysocharis stollii*의 체액과 난소에서 지질과 탄수화물의 수준이 크게 감소했다고 보고했다. 또한, Shin et al. (2001)에 의하면 Cd에 오염된 먹이로 사육한 *Galleria mellonella* 유충과 번데기에서 총 지질함량이 유의하게 감소하는 것으로 나타났다.

Ortel (1995)은 카드뮴, 납, 구리, 아연을 첨가한 인공먹이와



중금속이 포함되지 않은 인공먹이 및 오크 잎을 이용하여 짙시나방의 알이 부화한 직후부터 4령 유충 3일째까지 사육한 후, 혈림프 단백질 함량과 총체 단백질 함량, 아미노산 함량 및 조성을 조사하였다. 오크 잎을 먹인 짙시나방의 혈림프 및 총체 단백질 함량이 중금속이 포함되지 않은 인공먹이로 사육한 종에서 보다 높게 나타났으며, 혈림프 단백질함량은 중금속이 포함된 인공먹이로 사육한 종에서 대조군에 비해 낮게 나타났다고 하였다. 빨간집모기의 경우에는 중금속을 처리한 유충과 번데기의 단백질 함량이 대조군에 비해 모두 낮게 나타났다( $p < 0.05$ , Fig. 6). 이것은 카드뮴 처리가 좀벌과 *Chryocharis stollii*의 혈림프 단백질, 지질, 탄수화물의 함량 감소를 유발한다는 Islam and Roy (1983)의 결과와 상동한 결과를 나타냈다.

본 실험에서 나타난 결과에서는 유충과 번데기의 대조군에서 단백질이 각각 0.505 mg과 0.348 mg으로 나타나 중금속 처리군에 비해 유의하게 높게 나타났다( $p < 0.001$ ). 빨간집모기의 중금속 처리 유충 사이의 유의한 차이는 낱과 아연( $p < 0.1$ )의 차이를 제외하고는 모두  $p < 0.05$ 로 나타나 차이가 있음을 보여준다. Maroni and Waston (1985)은 곤충이 섭취한 중금속의 대부분은 중장벽 속에 남아있다고 하였고, 또한 카드뮴은 금속 유도 결합단백질인 metallothionein (MT)과 결합하는데, MT의 분자량의 6~7kDa이며 카드뮴이 체내로 들어오면 즉시 CBP(cadmium-binding protein)합성과정의 일어난다고 하였다. 이러한 금속 유도 결합단백질생성은 곤충이 중금속 해독 작용을 위해 일어나는 물질대사 일환으로 여겨진다.

선행된 여러 연구결과와 본 연구의 결과를 통해, 중금속은 수계 환경을 오염시켜 모기를 비롯한 수중생물을 치사케 하는 독성물질로 작용함과 아울러 물질대사 과정에 작용하여 지질 및 단백질의 감소를 유발하여 성장을 억제할 일으킨다고 판단된다. 나아가 이러한 연구결과를 활용하여 표적 수계를 채취하여 모기를 사육, 치사율을 살핀다면 오염정도를 알 수 있다고 여겨진다.

## 적 요

중금속이 곤충에 미치는 영향을 조사하기 위하여 빨간집모기(*Culex pipiens pallens*) 금속용액(Cu, Cd, Hg, Pb, Zn)에서 사육한 후 50% 치사농도(LC<sub>50</sub>) 용화시기, 총 지질함량, 지질 조성, 총 단백질 함량변화를 측정하였다. 50% 치사농도(LC<sub>50</sub>)는 3령 유충으로 24시간 처리한 Hg 처리군에서 0.45 mg kg<sup>-1</sup>으로 나타나 다른 금속에 비해 독성이 강한 것으로 나타났고, 용화 시기는 처리군이 대조군(129시간)에 비해 지연되었

으며 Cd가 처리군 중 273시간으로 가장 늦게 용화되었다. 중금속에 노출된 모기시료에서 총 여섯 종류의 지질 band가 분리되었으며, 이 중 5종의 지질이 동정되었다(phospholipid, cholesterol, fatty acid, triglyceride, cholesterol ester). 모든 처리군의 총 지질함량은 대조군에 비해 감소하였다. 또한, 대조군의 단백질 함량(0.51 mg ind.<sup>-1</sup>)이 처리군의 단백질 함량에 비해 높게 나타났으며, 처리군 중 Hg과 Cd를 처리한 유충의 단백질 함량이 매우 낮게 나타났다. 결론적으로 중금속이 처리된 용액에서 사육된 모기유충은 오염된 환경에 의한 먹이 섭취의 장애 및 중금속의 독성으로 인해 단백질 함량과 지질의 감소가 일어나 발육이 느려지고 용화시기가 길어지는 것으로 생각되며 이는 중금속에 의한 체내 물질대사의 변화를 의미한다. 이러한 결과는 중금속 오염이 모기의 생존과 성장을 억제시켜 모기 개체군 크기에 영향을 줄 것을 나타내며, 추후 연구를 통해 모기의 생육정도를 이용한 오염도 측정에 활용이 가능할 것으로 기대된다.

## 사 사

이 논문은 2016~2018년 창원대학교 과제연구비에 의하여 연구되었음.

## REFERENCES

- Baik SK, HJ Kim and CC Choi. 1993. Studies to the biomagnification of heavy metals in aquatic insects. *Wonkwang J. Environ. Sci.* 2:49-62.
- Beaty BJ, WC Black, JO Carlson, WH Clements, N DuTeau, E Harrahy, J Nuckols, KE Olson and A Rayms-Keller. 1998. Molecular and genetic ecotoxicological approaches to aquatic environmental bioreporting. *Environ. Health Perspect.* 106:1395-1407.
- Bodar CW, PA Voogt and DI Zandee. 1988. Effects of cadmium on consumption, assimilation and bio-chemical parameters of *Daphnia magna*: possible implications for reproduction. *Comp. Biochem. Physiol.* 90:341-346.
- Bouallam S and A Nejmeddine. 2001. Effets des métaux lourds -Cu, Hg, Cd- sur les larves de trois espèces de moustiques (Diptera: Culicidae). *Ann. Limnol.-Int. J. Lim.* 37:49-57.
- Bradford MM. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analyt. Biochem.* 72:248-254.
- Brown BE. 1977. Effects of mine drainage on the river Hayle,

- Cornwall: Factors affecting concentrations of copper, zinc and iron in water, sediments and dominant invertebrate fauna. *Hydrobiologia* 52:221–233.
- Chinery WA. 1984. Effects of ecological changes on the malaria vectors *Anopheles funestus* and *Anopheles gambiae* complex of mosquitoes in Accra, Ghana. *J. Trop. Med. Hyg.* 87: 75–81.
- Choi RN. 2000. Effects of cadmium on total lipid content and fatty acid of the Greater Wax Moth (*Galleria mellonella*). MS Thesis, Changwon University.
- Clements WH, DS Cherry and J Cairns. 1988. Impact of heavy metals on insect communities in streams: A comparison of observational and experimental results. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45:2017–2025.
- Coene J. 1993. Malaria in urban and rural Kinshasa: the entomological input. *Med. Vet. Entomol.* 7:127–137.
- Coluzzi M. 1993. Advances in the study of Afrotropical malaria vectors. *Parasitologia* 35:23–29.
- Dutro SM and MJ Klowden. 1988. Acute and chronic effects of lead and cadmium on mosquito, *Aedes aegypti*. *J. Idaho Univ. Sci.* 24:18–26.
- El-Sheikh TM, MA Fouda, MI Hassan, AA Abd-Elghaphar and AI Hasaballah. 2010. Toxicological effects of some heavy metal ions on *Culex pipiens* L. (Diptera: Culicidae). *Acad. J. Biolog. Sci.* 2:63–76.
- Folch J, M Lees and GH Sloane-Stanley. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.* 226:497–377.
- Gintenreiter S, J Ortel and HJ Nopp. 1993. Effects of dietary levels of cadmium, lead, copper and zinc on the vitality of the forest pest insect *Lymantria dispar* L. (*Lymantriidae*, Lepid). *Arch Environ. Contam. Toxicol.* 25:62–66.
- Gunn JM. 1995. *Restoration and Recovery of an Industrial Region*. Springer Verlag, New York.
- Islam A and S Roy. 1983. Effects of CdCl<sub>2</sub> on the quantitative variations of carbohydrate, protein, amino acid and cholesterol in *Chrysochoris stollii* Wolf (Insecta: Hemiptera). *Curr. Sci.* 52:215–217.
- Maroni G and D Watson. 1985. Uptake and binding of cadmium, copper, and zinc by *Drosophila melanogaster* larvae. *Insect Biochem.* 15:55–63.
- Martoja R, JM Bouquigneau and C Verthe. 1983. Toxicological effects and storage of cadmium and mercury in an insect *Locusta migratoria* (Orthoptera). *J. Invert. Pathol.* 42:17–32.
- Migula P. 1989. Combined and separate effects of cadmium, lead and zinc on respiratory metabolism during the last larval stage of the house cricket, *Acheta domesticus*. *Biologia-Bratislava* 44:513–521.
- Mireji PO, J Keating, A Hassanali, CM Mbogo, H Nyambaka, S Kahindi and JC Beier. 2008. Heavy metals in mosquito larval habitats in urban Kisumu and Malindi, Kenya, and their impact. *Ecotox. Environ. Safe.* 70:147–153.
- Ortel J. 1991. Effects of lead and cadmium on chemical and total water content of the pupal parasitoid, *Pimpla turionellae*. *Entomol. Exp. Appl.* 59:93–100.
- 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.
- Posthuma L. 1990. Genetic differentiation between populations of *Orchesella cincta* (Collembola) from heavy-metal contaminated sites. *J. Appl. Ecol.* 27:609–622.
- Raymas-Keller A, KE Olson, M McGaw, C Oray, JO Carlson and BJ Beaty. 1998. Effect of heavy metals on *Aedes aegypti* (Diptera; Culicidae) Larvae. *Ecotox. Environ. Safe.* 39: 41–47.
- Shin BS, RN Choi and CU Lee. 2001. Effects of cadmium on total lipid content and fatty acids of the greater wax moth, *Galleria mellonella*. *Korean J. Ecol.* 24:349–352.
- Shin EH. 2006. Effects of Cu on growth and organic composition of the Indian Meal Moth, *Plodia interpunctella* (Lepidoptera; Phralidae). MS Thesis, Changwon University.

Received: 21 December 2018

Revision accepted: 24 December 2018