

잔물땡땡이 (*Hydrochara affinis*: Hydrophilidae, Coleoptera) 유충의 모기 2종 (*Culex pipiens molestus* 및 *Ochlerotatus togoi*)에 대한 실내조건에서의 섭식효율 및 선호도

백학명¹ · 김동건² · 백민정² · 이차영² · 강효정²
김명철³ · 유재승⁴ · 배연재^{1,2,*}

¹고려대학교 생명과학대학 환경생태공학부,

²고려대학교 대학원 생명과학과, ³(주)SOKN 생태보전연구소, ⁴(주)이-티엔디

Predation Efficiency and Preference of the Hydrophilid Water Beetle *Hydrochara affinis* (Coleoptera: Hydrophilidae) Larvae on Two Mosquitos *Culex pipiens molestus* and *Ochlerotatus togoi* under Laboratory Conditions

Hak Myeong Baek¹, Dong Gun Kim², Min Jeong Baek², Cha Young Lee²,
Hyo Jeong Kang², Myeong Chul Kim³, Jae Seung Yoo⁴ and Yeon Jae Bae^{1,2,*}

¹Division of Environmental Science and Ecological Engineering,
College of Life Sciences and Biotechnology, Korea University, Seoul 136-713, Korea

²Department of Life Science, Graduate School, Korea University, Seoul 136-713, Korea

³SOKN Co., Ltd., Seoul 110-034, Korea

⁴ETND Co., Ltd., Gyeonggi-do 465-030, Korea

Abstract - Predation efficiency and preference of the hydrophilid water beetle, *Hydrochara affinis* (Coleoptera: Hydrophilidae), larvae on two mosquito species, *Culex pipiens molestus* and *Ochlerotatus togoi*, were tested under laboratory conditions. Experiments were conducted in a transparent cylindrical plastic container (diameter, 100 mm; height, 40 mm; water level, 15 mm) for 24 hours (16 h, light; 8 h, dark) at 25°C. The predation efficiency of *H. affinis* on mosquito larvae was investigated under various prey conditions (1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, and 128 larvae) with five replicates. Further, in order to investigate the prey preference on two mosquito species, each 32 larvae of *C. pipiens molestus* and *O. togoi* were provided simultaneously for the first instar larva of *H. affinis* with 5 replicates. As a result, the predation curves of *H. affinis* on two mosquito species were logarithmic; and the number of consumed prey increased as the number of predator instars were increased. As predicted from the predation curves, the estimated maximum number of *C. pipiens molestus* and *O. togoi* consumed by a third instar larva of *H. affinis* per a day was 926 and 304 larvae, respectively. As predicted from the Holling's disk equation, the differences in consumed prey number between predator instars and prey species were caused by handling time

* Corresponding author: Yeon Jae Bae, Tel. 02-3290-3408,
Fax. 02-3290-3623, E-mail. yjbae@korea.ac.kr

rather than attack rate. Handling time decreased rapidly as the predator larvae grew, and that of *O. togoi* was twice longer than that of *C. pipiens molestus*.

Key words : *Hydrochara affinis*, predation, mosquitos, *Culex pipiens molestus*, *Ochlerotatus togoi*

서 론

모기는 주로 여름철에 발생하며, 말라리아나 일본뇌염과 같은 전염병을 옮기는 매개곤충으로 알려져 있다. 그러나 최근 지구온난화에 의한 기온 상승과 환경 변화로 인해 모기의 활동 기간과 영역이 점점 넓어지고 있으므로 위생해충으로서 더욱 주목 받고 있다(Lee 2000). 현재까지 가장 많이 쓰이고 있는 모기의 방제법은 화학살충제를 혼연살포하는 방법으로써 이는 비교적 경제적이고 효과적인 방제법이지만, 살충제 성분의 독성으로 인해 인체나 생태계에 피해를 끼칠 수 있는 문제점이 있다(Lee 2000). 따라서 최근에는 인체에 무해하면서 생태계에도 최소한의 피해를 미치는 다양한 친환경적 모기 방제법이 개발되고 있다. 미생물 살충제, 초음파, 천적생물을 이용한 방제법이 최근 대두되고 있는 대표적인 친환경적 모기 방제법들이다(Kim and Kim 1999; Lee 2002; Lee 2004). 친환경적 모기 방제는 주로 모기유충을 대상으로 하며, 성충을 대상으로 한 혼연살포법보다 훨씬 효과적이다(Lee 2000). 그러나 미생물 살충제의 경우 선택적 방제의 검증이 부족하고, 내성에 대한 문제가 발생하고 있으며(Charbonneau 1994; Lee and Yu 1999), 또한 초음파의 경우도 선택적 방제가 어려워 방제 대상의 범위가 제한되는 한계를 지니고 있다(Lee 2004). 천적생물을 이용한 방제의 경우 현재 모기유충의 대표적인 천적어류인 송사리(*Aplicheilus latipes*), 왜물개(*Aphyocypris chinensis*), 미꾸라지(*Misgurnus mizolepis*)를 이용한 방제법이 시도되고 있으며, 단시간에 많은 모기유충을 방제할 수 있다는 장점을 지니고 있다. 그러나 적응 가능한 서식처에 한계가 있고, 방제 후 천적생물의 처리에 문제가 있으며, 생태계 교란에 대한 영향도 아직 검증되지 않았다(Lee 2002).

본 연구에서는 현재 이용되고 있는 천적어류의 한계점을 극복하고, 모기유충과 유사한 서식환경을 가지는 수서곤충들 중에서 수서생태계 복원에 기여하면서도 위생해충의 방제능력이 있는 잔물뽕뽕이(*Hydrochara affinis*) 유충의 모기방제 가능성에 대한 구체적 자료를 얻고자 하였다. 잔물뽕뽕이 유충의 모기유충에 대한 포식 실험은 Ree and Lee (1983)에 의하여 처음으로 시도되어 포식의

가능성이 제시되었다. 본 연구에서는 지하집모기(*Culex pipiens molestus*)와 토고숲모기(*Ochlerotatus togoi*)를 먹이자원으로 이용하여 잔물뽕뽕이 유충의 영기에 따른 섭식효율과 먹이선호도 및 포식에 영향을 미치는 요인을 구명하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험종

잔물뽕뽕이는 딱정벌레목(Coleoptera) 물뽕뽕이과(Hydrophilidae)에 속하는 국내에 자생하는 수서곤충으로서 습지나 연못 등 정수지역에 흔히 서식한다. 성충은 주로 수초를 섭식하나 암컷 성충은 산란기에 죽은 동물의 사체도 섭식하는 잡식성이다. 산란 전 암컷 성충은 수초를 이용해 알집을 만든 후 그 안에 산란하며, 1개의 알집에 약 80개의 알을 산란한다. 유충은 육식성으로 주로 모기유충, 물달팽이 등의 작은 저서성 대형무척추동물물을 포식한다(Hosoi 1947; Inoda 2003). 유충은 배마디 말단부의 기문을 수면에 대고 대기호흡을 하며, 먹이를 포획한 후 수면 위로 머리를 내민 상태에서 섭식하는 습성이 있다(Hosoi 1947).

본 실험을 위하여 잔물뽕뽕이 성충을 경기도 남양주시 덕소에 위치한 고려대학교 실습농장내의 실험습지에서 채집하여 실내에서 8세대까지 사육하였으며, 실내에서 사육한 유충을 이용하여 실험하였다. 대상 모기는 주로 도시지역에 서식하는 지하집모기와 자연서식처(산과 숲, 해안 등)에 서식하는 토고숲모기를 선정하였으며, 이들을 질병관리본부(<http://www.cdc.go.kr>)로부터 분양 받아 실내에서 계대사육을 통하여 실험용 먹이 개체를 확보하였다.

2. 포식효율 실험

포식효율 실험은 잔물뽕뽕이 유충의 각 영기별 포식율을 구하였으며, 섭식대상 모기는 중령의 모기유충을 사용하였다. 포식실험은 플라스틱 사육용기(지름 100 mm, 높이 40 mm)에서 실시하였고, 하루 이상 폭기시킨 수돗

물을 수심 15 mm로 넣은 후, 잔물뽕뽕이 유충의 습성을 고려하여 플라스틱 지지대 (50 mm × 50 mm)를 투입하였다. 각 용기에 잔물뽕뽕이 유충 1개체와 모기유충을 함께 투입하여 인큐베이터 안에서 25°C의 온도 조건으로 24시간 (16L:8D) 후의 포식개체수를 측정하였다. 포식실험전 24시간 동안은 먹이를 공급하지 않았으며, 유의한 포식 곡선을 얻기 위해 각 잔물뽕뽕이 영기의 유충을 서로 다른 7개의 먹이조건 (1, 2, 4, 8, 16, 32 및 64개체)에서 각 5회씩 반복하여 실험하였다. 잔물뽕뽕이 3령 유충은 1개의 먹이조건을 추가한 8개의 먹이조건 (1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 및 128개체)에서 각 5회씩 반복하여 실험하였다.

3. 먹이선호도 실험

먹이로 공급된 모기 2종에 대한 잔물뽕뽕이 유충의 포식선호도를 알아보기 위해 포식실험과 같은 사육환경에서 잔물뽕뽕이 1령 유충에게 토고숲모기 32개체와 지하집모기 32개체를 동시에 공급한 후 25°C 조건에서 24시간 (16L:8D) 후의 종별 포식수를 측정하였으며, 5회씩 반복하여 실험하였다.

4. 자료분석

잔물뽕뽕이 유충의 모기유충 포식효율을 구하기 위해

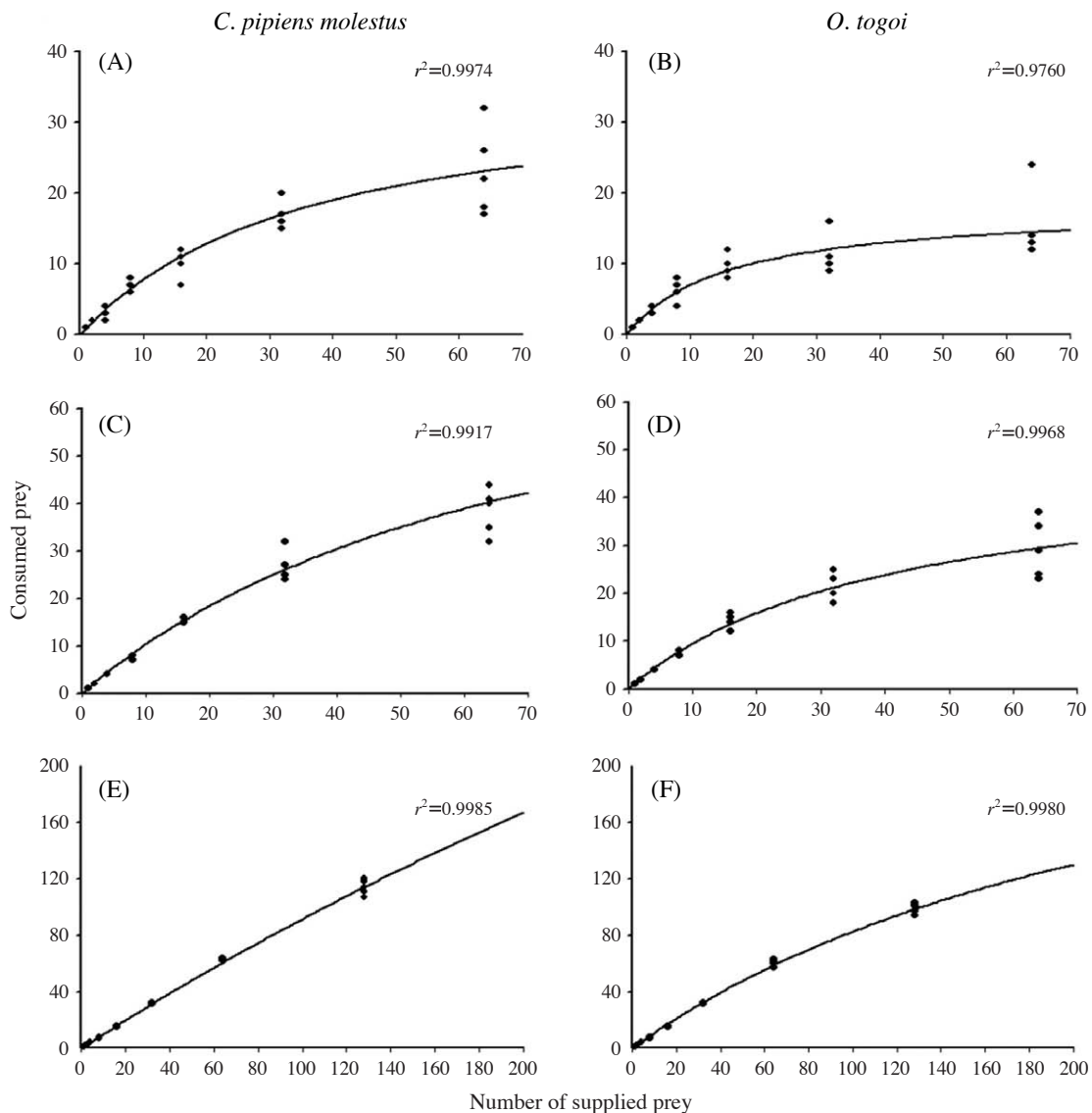


Fig. 1. Predation curves for each instar larva of *H. affinis* on mosquito preys: (A) and (B), 1st instar; (C) and (D), 2nd instar; (E) and (F), 3rd instar.

Table 1. Estimated attack rate (a') (\pm SE) and handling time (T_h) (\pm SE) of *H. affinis* on the 4th instar larvae of *C. pipiens molestus* and *O. togoi*

Instars	<i>O. togoi</i>		<i>C. pipiens molestus</i>	
	a'	T_h	a'	T_h
1st	1.136 \pm 0.202	0.055 \pm 0.0056	1.001 \pm 0.12	0.027 \pm 0.003
2nd	1.191 \pm 0.127	0.021 \pm 0.002	1.162 \pm 0.07	0.011 \pm 0.001
3rd	1.1331 \pm 0.27	0.00327 \pm 0.0002	1.0132 \pm 0.0221	0.00106 \pm 0.0002

기능 반응의 모델인 Holing's disk equation을 이용하여 분석하였다(Holing 1959).

$$P_c = \frac{a'NT}{1+a'T_hN}$$

여기에서 P_c 는 포식자 1개체에 N 개체의 먹이가 주어졌을 때 T 시간 동안 포식한 먹이의 개체수이며, 이는 측정을 통해 구할 수 있다. a' , T_h 는 각각 Attack rate와 Handling time을 나타내며 이는 SAS프로그램을 이용한 P_c 에 대한 (P_c/N)의 비선형 회귀(PROC NLIN)를 통해 산출하였다(SAS Institute 1988). a' 와 T_h 를 이용하여 잔물땀이의 모기유충 포식방정식을 산출하였으며, 포식 곡선과 1일 최대 포식수를 추정하였다(Fig. 1).

결 과

본 실험의 결과 잔물땀이 유충의 모기유충 2종에 대한 포식곡선은 로그곡선으로 나타났다. 잔물땀이 유충은 영기가 증가함에 따라 포식하는 모기유충수도 증가하였으며, 특히 3령의 포식개체수는 2령에 비해 3배 정도 증가하여 큰 차이를 보였다($P < 0.05$, t -test) (Fig. 1). Holling's disk equation에 의해 구한 포식곡선을 이용하여 잔물땀이 영기별 유충의 1일 최대 모기유충 포식수를 추정할 결과, 잔물땀이 유충 1, 2, 3령의 지하집모기 유충에 대한 포식수는 각각 36, 74, 926개체로 나타났고, 토고숲모기 유충은 각각 18, 48, 304개체로 나타났다(Fig. 2). 포식곡선과 1일 최대 포식수의 추정 결과, 잔물땀이 유충의 지하집모기 유충에 대한 포식개체수가 토고숲모기 유충에 대한 포식개체수보다 높았으며, 특히 잔물땀이 1령과 2령 유충의 경우 약 2배, 3령 유충의 경우 약 3배 정도가 높은 것으로 나타났다($P < 0.05$, t -test).

이러한 결과는 먹이 선호도 실험의 결과에서도 유사한 경향으로 나타났다(Fig. 3). 먹이 선호도 실험 결과 지하집모기의 포식개체수는 13 \pm 2개체였고, 토고숲모기의 포식개체수는 8 \pm 2개체였으며, 두 종이 함께 존재할 경우 지하집모기의 포식개체수가 1.5배 이상 높은 것으로

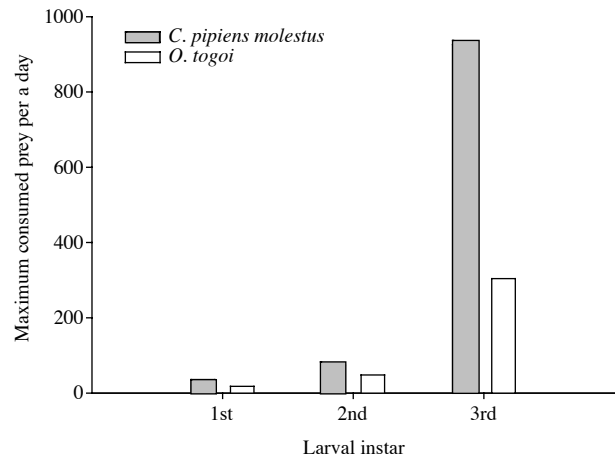


Fig. 2. Estimated maximum number of consumed prey per a day.

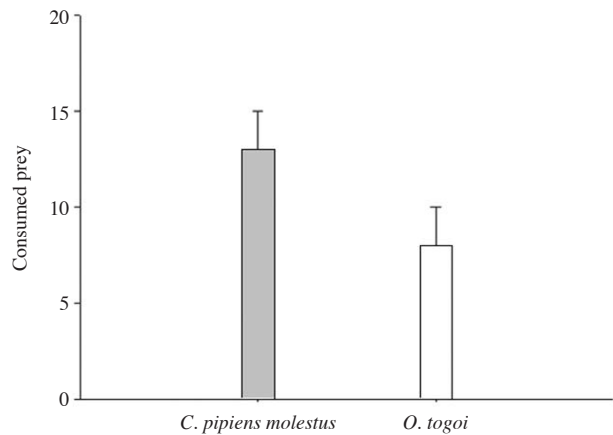


Fig. 3. Prey preference test for 1st instar larva of *H. affinis* on two mosquito species (\pm SD).

나타났다($P < 0.05$, t -test). 따라서 잔물땀이 유충은 토고숲모기 유충보다 지하집모기 유충을 더 선호하는 것으로 나타났다.

Holling's disk equation을 이용하여 산출한 Attack rate (a')와 Handling time (T_h) 값은 Table 1과 같다. Attack rate는 포식자가 먹이를 성공적으로 포획하기까지 시도하는

공격빈도를 나타내며, Handling time은 포식자가 먹이를 포획한 후 섭식을 완료하기까지 걸리는 시간을 나타낸다. 산출결과 Attack rate의 경우 잔물뽕뽕이 유충의 영기나 모기의 종에 따른 통계적 차이는 유의하게 나타나지 않았다 ($P > 0.05$, t -test). 그러나 Handling time의 경우 잔물뽕뽕이 유충의 영기에 따라 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며, 모기의 종간에도 유의한 차이가 나타났다 ($P < 0.05$, t -test). 잔물뽕뽕이 유충의 영기가 증가할수록 Handling time은 급격히 감소하는 것으로 나타났으며, 토고숲모기에 대한 Handling time은 지하집모기보다 2배 정도 길게 나타났다.

고찰

Prey-Predator 상호작용에 있어서 먹이의 밀도에 따른 포식자의 섭식 경향은 3가지의 유형으로 나타난다. Type 1은 먹이의 밀도와 포식수의 관계가 직선 형태이며, Type 2는 먹이가 증가할수록 포식률이 떨어지는 로그함수 형태, Type 3는 먹이 밀도가 높아짐에 따라 처음에는 포식률이 증가하다가 어느 지점부터는 감소하는 Sigmoid 형태이다 (Holling 1959).

잔물뽕뽕이 유충의 포식 형태는 로그함수적이며, 유충의 영기가 증가함에 따라 모기유충 포식수가 급격히 증가하여 하루 최대 포식수는 지하집모기의 경우 926개체를, 토고숲모기의 경우 304개체를 포식하는 것으로 추정되었다. 잔물뽕뽕이 알집 1개당 유충 70여 개체가 부화하는 점을 고려할 때, 1개의 알집 투여 시 산술적으로 최대 약 6만 개체의 모기유충을 방제할 수 있을 것으로 추정된다. 특히 잔물뽕뽕이 유충은 모기유충과 유사한 서식처에 서식하며, 모기유충처럼 물 표면에서 대기호흡을 하므로 수질의 영향을 상대적으로 적게 받는 점을 고려했을 때 (Hosoi 1947), 잔물뽕뽕이 유충을 이용한 모기 방제는 가능할 것으로 사료된다.

잔물뽕뽕이 유충의 모기유충 공격빈도는 잔물뽕뽕의 영기나 모기 종간에는 큰 차이를 나타내지 않았으나 ($P > 0.05$, t -test), 모기를 포획한 후 섭식하는데 걸리는 시간의 차이로 인해 모기유충의 포식수가 달리 나타난 것으로 생각된다. 실내에서 사육한 잔물뽕뽕이 1, 2, 3령 유충을 50개체씩 추출하여 체장을 측정할 결과, 영기별 평균 체장은 각각 5.54 mm, 8.36 mm, 21.14 mm로 측정되었다 (Fig. 4). Handling time의 영기별 차이는 이러한 잔물뽕뽕의 성장에 따른 여러 요소들, 즉 턱의 크기와

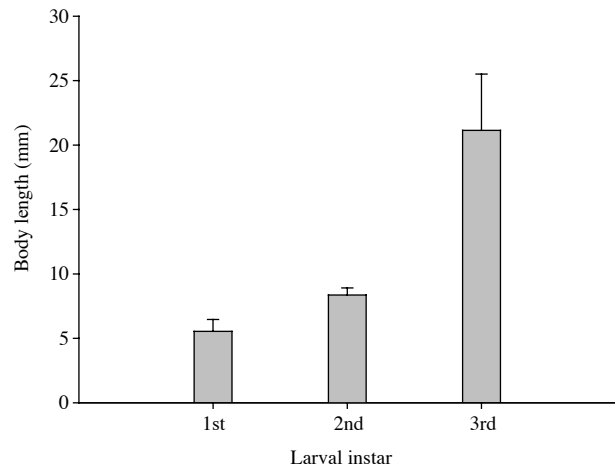


Fig. 4. Body length of *H. affinis* larvae reared in the laboratory condition (\pm SD).

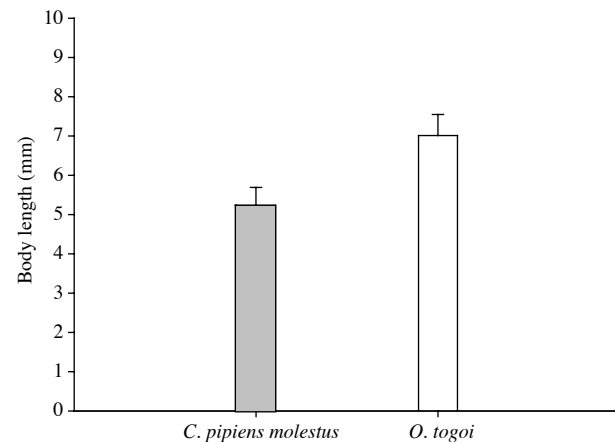


Fig. 5. Body length of 4th instar larvae of two mosquito species reared in the laboratory condition (\pm SD).

힘, 유연능력 등의 차이에 기인한 것으로 볼 수 있다. 실내에서 사육한 모기 4령 유충의 평균 체장은 지하집모기의 경우 5.24 mm, 토고숲모기의 경우 7.01 mm로 토고숲모기가 더 크게 나타났으며 (Fig. 5), Handling time의 모기 종간 차이는 체장과 연관된 생체량의 차이에 기인하는 것으로 사료된다.

Ree and Lee (1983)에 의한 실험에서는 잔물뽕뽕이 3령 (3령) 유충의 먹이로 빨간집모기 (*Culex pipiens pallens*)를 주었을 때 1일 포식수는 162.2 ± 3.5 개체로 본 실험과는 다소 차이가 있는 것으로 나타났다. 이는 모기 종의 차이와 환경조건 (온도, 수심, 실험용기 등)의 차이에 기인하는 것으로 사료된다.

적 요

잔물뽕뽕이 (*Hydrochara affinis*) 유충의 지하집모기 (*Culex pipiens molestus*)와 토고숲모기 (*Ochlerotatus togoi*)에 대한 포식효율과 먹이선호도를 실험하였다. 포식실험에는 투명한 원통형 용기(지름 100 mm, 높이 40 mm, 수심 15 mm)가 사용되었으며, 25°C에서 24시간 (16L : 8D) 동안 진행되었다. 잔물뽕뽕이 개체당 모기 섭식 효율을 조사하기 위해 각 잔물뽕뽕이 유충에 대해 서로 다른 먹이 조건(1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 및 128개체)을 주었고, 각 조건 별로 5회씩 반복실험 하였다. 모기유충 2종에 대한 먹이 선호도를 조사하기 위해 잔물뽕뽕이 1령 유충에 지하집모기와 토고숲모기 유충 32개체를 동시에 투여하여 5회 반복실험 하였다. 실험의 결과 모기유충 2종에 대한 잔물뽕뽕이 유충의 포식곡선은 로그함수의 곡선으로 나타났다으며, 잔물뽕뽕이 유충의 영기가 증가함에 따라 포식수도 증가하는 것으로 나타났다. 포식곡선으로부터 잔물뽕뽕이 3령 유충의 1일 최대 포식수를 산출한 결과, 지하집모기는 926개체를, 토고숲모기는 304개체를 포식할 것으로 추정되었다. Holling's disk equation을 이용하여 추정한 결과, 잔물뽕뽕이 유충의 영간, 그리고 모기유충의 종간에 모기유충 포식수의 차이가 발생하는 것은 Attack rate보다는 Handling time의 차이에 기인한 것으로 사료된다. Handling time은 잔물뽕뽕이 유충이 성장함에 따라 급격히 감소하였으며, 토고숲모기가 지하집모기에 비해 2배가량 길게 나타났다.

사 사

본 연구는 환경부 한국환경산업기술원의 “차세대 에코노베이션 기술개발 사업 (EI project)”의 “생물자원 이용기술 개발”과제의 지원으로 수행되었음.

REFERENCES

- Charbonneau CS, RD Drobney and CF Rabeni. 1994. Effects of *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* on non-target benthic organisms in a lentic habitat and factors affecting the efficacy of the larvicide. *Environ. Toxicol. Chem.* 13:267-279.
- Holling CS. 1959. Some characteristics of simple type of predation and parasitism. *Can. Entomol.* 91:385-398.
- Hosoi M. 1947. The life history of *Hydrochara affinis*. *Collect. Breed. (Japan)* 9:201-204.
- Inoda T, Y Hirata and S Kamimura. 2003. Asymmetric mandibles of water-scavenger larva improve feeding effectiveness on right-handed snails. *Amer. Natur.* 162:811-814.
- Kim WJ and KH Kim. 1999. Characterization of a mosquitocidal delta-endotoxin from *Bacillus thuringiensis* subsp. *guyangensis* strain 21-2 (H serotype 43). *Korean J. Appl. Microbiol. Biotechnol.* 27:359-363.
- Lee DK. 2000. Effective methods and management for mosquito control by local health centers. *Kosin J. Health Sci.* 10:117-124.
- Lee DK. 2002. Biological control of *Culex pipiens pattens* (Diptera, Culicidae) by the release of fish muddy loach, *Misgurnus mizolepis* in natural ponds, Korea. *Korean J. Entomol.* 1:43-47.
- Lee DK and HS Yu. 1999. Susceptibility of medically important mosquito larvae and larvivorous fishes to abate and abate-S in Korea. *Korean J. Appl. Entomol.* 38:53-57.
- Lee HJ. 2004. Habitat investigation and insecticide method development of mosquito larva using ultrasonic waves. Master Thesis, Kyonggi University, Suwon, Korea.
- Ree HI and WJ Lee. 1983. Laboratory studies on predation efficacy of some Odonata nymphs and Coleoptera larvae against mosquito larvae. *Korean J. Entomol.* 13:31-38.
- SAS Institute. 1988. SAS/STAT guide for personal computers. SAS Institute, Cary, NC.

Received: 10 March 2014

Revised: 16 May 2014

Revision accepted: 17 May 2014