

인공숙주에서 증식된 *Tetrastichus* sp.의 생물학적 특성

이기상¹ · 이해풍² · 이장훈*

동국대학교 자연과학연구원, ¹주식회사 세실, 종합방제팀, ²동국대학교 생물학과

Biological Characteristics of *Tetrastichus* sp. reared on Artificial Host

Lee, Ki-Sang¹, Hai-Poong Lee² and Jang-Hoon Lee*

Research Institute for Natural Science, Dongguk University, Seoul 100-715, Republic of Korea

¹IPM team, Sesimal Corporation, Koyangsi 411-380, ²Department of Biology, Dongguk University, Seoul 100-715, Republic of Korea

ABSTRACT : A gregarious pupal endoparasitoid *Tetrastichus* sp. (Hymenoptera: Eulophidae) was reared *in vitro* from oviposition to adult emergence on an artificial host. The host pupal case was made using 0.02 mm-thick polypropylene film, and was filled with a diet consisting of powders of *Antheraea pernyi* pupa, chicken yolk, infant formula, royal jelly, and Neisenheimer's salt solution. Female parasitoids reared in the artificial host produced smaller sized progeny than those reared in *in vivo*, but the adults reproduced fertile offsprings. Furthermore *in vitro* second-generation (G₂) females showed more improved biological characteristics, compared with their parents. The fecundity (mean no. adult progeny), oviposition period (days), and longevity (days) of G₂ female were evaluated as 45.7, 7.8, and 13.8, respectively. Female biased sex ratio was obtained with 76.9% female progeny. The results demonstrated that *Tetrastichus* sp. is a promising parasitoid for *in vitro* mass production.

KEY WORDS : Artificial host, Parasitoid, *In vitro* rearing, *Tetrastichus* sp.

초 록 : *Tetrastichus* sp.는 미국흰불나방의 번데기 기생벌로서, 1개의 숙주에 여러마리의 자손을 번식하는 집단 기생벌이며, 일년에 여러 세대 발생한다. 작잠, 신생아용 분유, 난황, 로얄젤리 등을 주요성분으로 기생벌의 인공먹이를 조성하였으며, polypropylene 필름으로 번데기형태를 만들어 인공숙주로 사용하였다. 인공숙주에서 발육한 기생벌은 자연숙주에서 자란 기생벌보다는 크기가 작았으나, 계대 사육으로 번식 가능한 자손을 생산하였다. 인공숙주에서 발육한 *in vitro* 2세대의 생물학적 특성은 *in vitro* 1세대보다 훨씬 개선 되었다. 평균 자손 수, 산란기간, 수명 등은 *in vitro* 에서 45.7, 7.8, 13.8일 이었고 암컷 편중의 성비 76.9%를 나타내었다. 이러한 결과는 *Tetrastichus* sp.가 *in vitro* 대량사육에 적합한 기생벌임을 보여준다.

검색어 : 인공숙주, 기생벌, *In vitro* 사육, *Tetrastichus* sp.

천적곤충의 증식은 생물적 방제의 핵심 기술 중 하나로 여러 종류의 먹이를 이용한다. 자연숙주(natural host) 또는 대체숙주(factitious host) 등을 이용하여 기생천적을 증식한다면 숙주 사육에 시간, 노력, 비용 등이 소요되나, 인공숙주(artificial host)를 이용하면 이러한 비경제적 문제점을 해결할 수 있을 뿐만 아니라,

필요에 따라 천적 곤충을 계획 생산할 수 있다. 더욱이 숙주 곤충이나 숙주식물체로부터 묻어 들어오는 질병문제도 줄일 수 있다(Waage *et al.*, 1985).

포식천적의 인공먹이와 증식은 풀잡자리류(Ridgway *et al.*, 1970), 무당벌레류(Hagen, 1987; Hussein and Hagen, 1991), 노린재류(Hagen, 1987) 등에서 보고된

*Corresponding author. E-mail: ecojhl@dongguk.edu

바 있으며, 인공증식 뿐만 아니라 방제인자로서의 활용사례는 주로 알벌류에서 보고된 바 있다(Han *et al.*, 1988; Li *et al.*, 1988; Liu *et al.*, 1986). 그러나 유충과 번데기에 기생하는 천적곤충은 난 기생충의 경우처럼 산란과 발생을 동일 숙주 내에서 완성하는 이른바 완전한 인공사육(Continuous artificial rearing)에 성공한 예는 없다(Thompson, 1999). 산란과 발생을 인공숙주 내에서 완성시키기 위해서는 발생에 필요한 영양성분, 기생곤충의 산란을 인공숙주로 유도하기 위한 물리적, 화학적 조건 등이 충족되어야 한다(Lee and Lee, 2000).

본 조사에서는 미국흰불나방(*Hyphantria cunea* Drury)의 번데기에 기생하는 것으로 조사된 세줄좀벌일종 *Tetrastichus* sp. (Lee *et al.*, 1999)를 인공숙주를 이용하여 증식하는 과정 즉 기생벌의 산란에서부터 성충우화까지의 과정을 동일 인공 숙주 내에서 완성하였다. 따라서 본 조사는 인공먹이조건에서 사육된 기생벌의 번식력, 수명, 발육 특징 등 생물학적 특성을 평가하고 생물적 방제인자로서 대량생산과 활용 가능성을 조사하기 위하여 실시하였다.

재료 및 방법

인공배지성분

인공 먹이의 조성은 알 기생벌(짚시알깡충좀벌)의 인공먹이(Lee and Lee, 1994)를 기초로 성분과 비율을 달리하여 새로 조성하였다(Table 1). 알벌류(*Trichogramma* spp.)의 인공먹이 성분(Li, 1992)에 아미노산, 미네랄, 비타민, 스테롤을 보완하기 위하여, 신생아용분유, Royal Jelly 성분을 새로 첨가하였다. 이와 같은 구성 성분으로 각각의 성분비율을 달리하는 30 종류의 배지를 만들어 발육실험을 실시하였고, 완전하게 알부터 성충으로 우화한 먹이를 선별하여 실험재료로 사용하였다(Table 1).

Table 1. Composition of an artificial diet for *Tetrastichus* sp.

| Ingredient | Contents |
|--|----------|
| Powder of <i>Antheraea pernyi</i> pupa | 3.5 g |
| Chicken yolk | 0.5 ml |
| 20% infant formula | 0.25 ml |
| 20% royal jelly | 0.25 ml |
| Neisenheimer's salt solution | 0.5 ml |
| Penicillin (units/ml) | 400 |
| Streptomycin (units/ml) | 400 |

인공 번데기제작

인공사육을 위해 기생벌의 먹이를 반합성하고 기생벌의 산란을 유도하기 위하여 자연 숙주인 미국흰불나방 번데기를 모델로 인공번데기를 제작하였다. 인공번데기의 제작은 Lee and Lee (1994)의 방법을 적용하였다. 크기 4×2 cm, 두께 0.02 mm Polypropylene 필름에 중앙에 직경 5 mm의 철봉을 이용하여 주머니모양(φ5×길이 6 mm)의 구조 두개를 5 mm 간격으로 만들었고 피펫을 이용하여 인공먹이 70 μl씩 주입한 후 다른 한면을 비닐 접착기를 이용하여 밀봉하였다. 이와 같이 완성된 Bag-form (인공숙주)은 2개의 인공번데기를 갖는다. 밀봉된 봉지형태는 기생벌의 유충 발육시 요구되는 산소를 제공함은 물론 외부로부터 곰팡이 등 각종 미생물의 감염을 방지하기 위함이다. 특히, 인공번데기 표면을 주름지게 제작하였는데 이것은 기생벌이 자연 숙주에 산란할 때 번데기 큐티클층 중 가장 연약한 부분인 주름진 곳을 찾아내어 산란관을 꽂고 알을 낳는 행동특성을 이용하였다. 인공먹이 주입과 밀봉은 모두 Clean bench 안에서 실시되었고, Bag-form을 만든 후 12시간 동안 UV로 멸균을 하였다.

산란유인 물질

인공 숙주에 대한 산란 효율을 높이기 위하여 카이로몬을 인공번데기 표면에 처리하였다. 실험에 사용된 기생벌은 야외에서 채집된 미국흰불나방 번데기에서 우화한 것들이었는데, 예비 실험결과 미국흰불나방 번데기에서 얻은 카이로몬보다 높은 산란유발효과를 작잠 카이로몬에서 얻을 수 있었다. 따라서 작잠(*Antheraea pernyi* Guérin-Méneville)은 인공숙주 성분뿐만 아니라 카이로몬 제작에도 이용되었다. 작잠을 성충으로 우화시키고 남은 번데기 껍질(큐티클)을 막자사발로 미세한 분말형태로 갈아 에탄올(99%) 5 ml에 큐티클 가루 2 g을 넣어 혼합한 것을 인공숙주표면에 5 μl씩 처리하였고, 알콜이 완전히 휘발된 후 기생벌을 산란시켰다.

인공숙주에서 발육한 기생벌의 형태적 특성조사

자연 숙주인 미국흰불나방에서 우화한 후 5일 이내의 암컷을 Bag-form당 6마리씩 접종하였다. 40개의 Bag-form에 기생벌을 넣고 24시간 후에 분리하였으며 산란된 인공숙주는 플라스틱 병(φ3×5.5 cm)에 넣

어 발육 시켰다. 기생벌의 발육정도, 큰 턱의 크기 등을 측정하기 위하여 24시간 간격으로 Bag-form을 한 개씩 해체하여, 난-번데기 단계까지 성장단계별 형태적 특징을 광학현미경($\times 400$) 하에서 조사하였으며, 매일 30개체에 대한 측정을 실시하여 성장단계별 평균성적을 얻었다.

인공숙주에서 발육한 기생벌의 번식률과 수명

자연숙주에서 우화한 기생벌을 카이로몬으로 처리한 Bag-form (인공숙주)에 산란 시켜 얻은 1세대 기생벌을 실험에 사용하였다. 이와 같이 자연숙주에서 발육한 기생벌을 부모세대로 인공숙주에서 우화한 성충을 곧바로 분리하였고, 암컷 2마리 수컷 1마리의 2:1의 비율로 각각의 플라스틱 병($\phi 3 \times 5.5$ cm)에 옮겨 넣었다($n=10$). 카이로몬 처리된 인공숙주를 기생벌이 있는 플라스틱병에 넣어 산란 시켰으며, 24시간 간격으로 벌들이 죽을 때까지 새로운 것으로 교체하여 주었다. 산란된 인공숙주는 Incubator 안에서 발육 시켰다. 인공숙주 내에서 우화한 성충 수를 세어 기생벌이 일생동안 인공숙주를 통해서 번식하는 자손 수(life time fecundity)와 성비를 조사하였다.

이와 같이 인공숙주에서 우화 한 벌들(*in vitro* G1)을 동일한 방법으로 다시 인공숙주에 산란 시켜 2세대 기생벌(*in vitro* G2)을 얻었으며, 기생벌의 번식량과 수명 등을 조사하였다($n=14$).

기생벌은 $28 \pm 2^\circ\text{C}$, 50-60%RH, L18:D6의 조건에서 사육되었으며, 10% 꿀물을 공급하였다. 인공숙주에서 사육된 기생벌 1세대와 2세대 성충의 산란기간, 자손 수, 수명, 성비 등의 차이를 분석하기 위하여 t-test를 실시하였으며, $P=0.05$ 수준에서 유의성을 검정하였다.

결 과

발육단계별 형태측정

인공숙주에 산란된 알의 발육단계별 평균 체장과

Table 3. Length (μm) (Mean \pm SD) of mandible of *Tetrastichus* sp. reared on artificial hosts

| Larval stage | | | |
|-----------------|-----------------|------------------|------------------|
| 1st | 2nd | 3rd | 4th |
| 8.75 \pm 0.01 | 16.7 \pm 3.96 | 22.99 \pm 4.50 | 26.81 \pm 3.59 |

Table 4. Developmental period in days (Mean \pm SD) of *Tetrastichus* sp. reared on artificial hosts at $28 \pm 2^\circ\text{C}$

| Egg | Larva | | | | Pupa | Total |
|-----|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|
| | 1st | 2nd | 3rd | 4th | | |
| 2.0 | 1.0 | 2 \pm 1.0 | 2 \pm 1.0 | 4 \pm 1.0 | 6 \pm 2.0 | 16.8 \pm 1.5 |

체폭을 측정한 결과, 알 길이는 0.37 mm, 폭은 0.13 mm로 나타났다(Table 2). 유충의 영기가 높아질수록 체장은 증가하였다. 번데기나 성충의 체장은 종령 유충 보다 오히려 짧았으며, 암컷의 체장은 수컷보다 긴 것으로 조사되었다. 발육단계별로 유충의 큰턱 길이는 1령-4령층의 큰턱은 평균 길이가 각각 8.75, 16.7, 22.99, 26.81 μm 로 나타났다(Table 3).

발육기간

Table 4는 기생벌의 성장단계별 발육기간을 조사한 것이다. 인공배지에서 기생벌의 난기간은 2일로 조사되었고, 산란 후 3일차부터 부화 유충은 알의 가늘고 긴 쪽을 뚫고 나왔다. 1령 유충은 유백색으로 체절은 13마디로 관찰되었다. 1령 유충의 발육기간은 1일, 산란 후 3일 경과하면 *in vitro*에서 2령층으로 발육한다. 발육기간은 2일로 나타났다. 산란 후 5-7일차에 3령으로 되며 이시기에 기문은 뚜렷이 나타난다. 3령층의 발육기간은 2일로 조사되었다. 4령 층은 산란 후 5일차에 2-3령시기와 중복되어 나타났다. 4령 시기부터 지방체가 생겨나기 시작하는 것으로 조사되었다. 전용기는 약 1일 정도 걸리며 유백색을 띠고 있었다. 번데기 단계는 산란 후 숙주에서 11일차에 나타났다. 성충으로 우화하기까지는 평균 16.8일이 소요되었다.

Table 2. Body size (mm) (Mean \pm SD) of *Tetrastichus* sp. reared on artificial host

| Egg | | Larva | | | | Pupa | | Adult | |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Length | Width | 1st | 2nd | 3rd | 4th | Female | Male | Female | Male |
| 0.37 \pm 0.07 | 0.13 \pm 0.04 | 0.53 \pm 0.08 | 1.32 \pm 0.23 | 1.68 \pm 0.38 | 2.23 \pm 0.42 | 1.86 \pm 0.36 | 1.49 \pm 0.16 | 1.70 \pm 0.15 | 1.42 \pm 0.13 |

자손수(Adult progeny/female)과 성비 및 수명

인공 숙주에서 우화 된 벌의 자손수, 수명, 성비는 Table 5와 같다. 인공 번데기에서 발육되어 우화한 1세대(*in vitro* G1) 암컷 성충의 산란기간은 평균 2.5일이었고, 암컷 1개체로부터 생산된 총 자손 수(realized fecundity)는 14.4개로 조사되었다. 2세대(*in vitro* G2) 기생벌의 산란기간 평균 7.8일로 조사되었으며, 암컷 1개체 당 총 47.7개체의 자손을 생산하여 인공숙주에서 1세대 기생벌의 산란기간과 자손 수는 2세대 기생벌과 뚜렷한 차이를 나타내었다(산란기간: $df=22$, $T=5.028$; 자손수: $df=22$, $T=6.073$). 우화된 암컷의 비율은, *in vitro* G1에서 53.7%, 그리고 *in vitro* G2에서는 76.9%를 나타내었으며, 산란기간, 자손수와 함께 증가하는 경향을 보였다.

in vitro G1, G2에서 각각 8.60, 13.7 일로 인공숙주에서 발생한 기생벌은 세대간에 약 5일 정도의 뚜렷한 차이를 나타내었다($df=22$, $T=6.886$).

고 찰

난 기생충의 경우 숙주생물에 의존하지 않고, 기생벌의 산란유도와 발육을 동일 인공숙주에서 수행하여, 대량 사육된 기생벌을 생물적 방제에 응용하고있다(Li, 1992; Smith, 1996). 그러나 번데기에 기생하는 기생벌의 경우, 인공숙주에 산란을 유도하여 동일 숙주에서 다음세대 성충을 얻은 경우는 보고된 바 없었다. 대부분의 연구는 실험실 조건에서 발육과 관련된 영양성분 규명과 기생벌의 산란을 유도하기 위한 인공산란숙주에 관한 것이었으며, 알 기생벌의 경우와 같이 인공숙주내의 삼투압과 유충의 호흡 등을 해결할 수 있는 완전한 인공사육은 보고된 바 없다. *Brachymeria intermedia* (Thompson, 1980; Dindo *et al.*, 1997) 나 *B. lasus* (Thompson, 1983), *Pimpla instigator* (Awuitor *et al.* 1984)의 연구에서는 숙주곤충에 산란된 알을 영양 배지에 이식하여 이들 기생벌의 성충 발생에 성공하였으며, 무늬수중다리좀벌(*B. lasus*)의 경우에는 자연숙주 분쇄물을 파라핀으로 코팅한 후 카이로몬을 처리한 인공산란숙주에 기생벌의 산란을 유도하여, 완전한 인공사육의 가능성을 제시한 바 있다(Lee and Lee, 2000). 본 실험에서 처음으로 *Tetrastichus* sp.를 인공번데기에 산란하도록 유도하여 산란에서 성충까

지 발육 시켰으며, 2세대에 걸쳐 기생벌을 인공숙주에서 세대 사육하는데 성공하였다.

Lee *et al.* (1999)은 본 조사에서와 동일한 종을 자연숙주인 미국흰불나방 번데기로 사육하였고, 기생벌의 발생단계별 형태적, 생물학적 특성에 대하여 보고한 바 있어 인공숙주에서 발육한 기생벌의 형태측정결과를 Lee *et al.* (1999)의 보고와 비교한 결과 자연숙주에 산란된 난의 크기는 인공숙주에 산란된 난보다 작았으나 이후 유충기, 용기, 성충기 의 단계에서는 자연숙주에서 발육한 것들이 모두 인공숙주에서 발육한 것들보다 큰 것으로 나타났다. 자연숙주에 산란된 알의 길이와 폭은 오히려 인공숙주에 산란된 알보다도 작은 크기였다(Table 2). 그러나 1령-4령까지 유충의 길이는 인공숙주에서 자연숙주에서 조사된 성적보다 작았으며, 유충의 큰 턱의 길이, 번데기와 성충의 크기도 자연숙주에서 우화한 것들보다 작은 것으로 나타났다.

발육기간도 Lee *et al.* (1999)의 연구와 비교하면 난, 2, 4령의 발육기간은 각각 평균 2, 2, 4일로 인공숙주와 유사하였으나, 1령과 용기는 자연숙주에서와 비교할 때 평균 1, 2일 짧았다. 알에서 성충우화 전까지의 발육기간은 자연숙주에서 21.1, 본 조사에서 16.8일로 4.3일 정도 차이를 보였다. 인공숙주에서의 짧은 발육기간은 먹이량에 비하여 기생벌의 수가 많기 때문인 것으로, 자연숙주에서도 많은 기생벌이 한 개의 숙주에서 우화한 경우 발육기간이 1-2일정도 빠른 것으로 관찰된 바 있다.

강충좀벌과(Encyrtidae) (Lee and Lee, 1994)나 좀벌과의 *Edovum puttleri* (Laudonia and Viggiani, 1986; Colazza and Bin, 1992) 종에서 보고된 것처럼 기생벌은 종령 유충기에 큰턱으로 숙주의 큐티클 층을 물어 뜯어 구멍을 낸다. 종령 단계에서 늘어나는 호흡량으로 필요한 산소를 공급하기위한 행동으로 숙주체내에서 우화 하여 탈출하기 위해 사전에 예비구멍을 만들어 놓는 것으로 알려져 있다. 본 실험에서도 인공숙주에 구멍을 뚫는 현상을 쉽게 관찰 할 수 있었다. 본 조사에서처럼 큰턱의 크기는 발육유충의 크기와 비례하는 경향을 보이며 성충발생률을 예측하기 위하여 활용할 수 있는 형태적 특징으로 사료되나 이들 관계를 밝히기 위한 좀더 많은 연구가 진행되어야 할 것이다.

Lee and Lee (1997) 에 의하면 짙시알강충좀벌을 인공 사육할 경우 카이로몬 처리한 인공 알과 무처리

한 것에서의 기생률은 각각 100%와 27.9%의 현저한 차이를 보여 인공숙주를 이용한 대량사육에서는 카이로몬 처리가 매우 중요한 것으로 나타났다. 본 실험에 이용된 *Tetrastichus* sp. 경우도 예비실험에서 카이로몬을 처리하지 않고 인공숙주에 대한 산란여부를 조사하였으나 산란이 전혀 이루어지지 않았다. 또한 미국 흰불나방 번데기에서 에탄올(99.9%)과 hexane을 이용하여 추출한 카이로몬을 처리하였을 때 저조한 산란행동 반응이 관찰되었다. 실험에 이용된 카이로몬은 작잠에서 유래한 것으로 인공번데기 표면에 도포 처리하였을 때 자연숙주에서처럼 정상적인 기생벌의 숙주수락행동 패턴(Lee and Lee, 2000)을 보였으며, 인공숙주에 대한 기생율이 약 98%로 증가하였다. 작잠의 번데기는 크기가 커서 인공먹이의 풍부한 재료를 제공할 뿐 아니라 산란을 유도하기 위한 카이로몬을 위한 재료로 활용할 수 있는 장점을 갖고 있는 것으로 나타났다.

기생성 곤충은 '유충기간동안 자랐던 숙주에 산란을 선호하며, 경험 또는 학습의 효과로 원래 지니고 있는 유전적 정보보다는 후천적으로 얻어지는 경험과 학습 효과가 중요한 역할을 한다'(Vinson, 1978). 인공숙주에서 우화된 성충을 다시 인공숙주에 산란 시켰을 때 인공숙주 2세대 암컷에서 산란량이 증가하는 것으로 나타났다(Table 5). 이와 같이 계대사육에서 조사된 자손수의 증가는 산란율의 향상과 밀접한 관련이 있는 것으로 사료된다. 발육숙주 선호에 따른 높은 산란율은 *B. intermedia* (Cardé and Lee, 1989), *Nasonia vitripennis* (Smith and Cornell, 1979) 등에서 보고된 바 있다. 그러나 과도한 산란 또한 발육유충의 사망률을 높일 수 있으며, 집단기생곤충(gregarious parasitoid)의 경우 일정 수 이하의 산란 또한 발육개체의 호흡장애에 의한 사망률을 높일 수 있다(Lee and Lee, 1997). 따라서 인공숙주를 이용하여 기생벌을 대량사육하기 위해서는 숙주 내에서 기생곤충의 발육을 최대로 얻을 수 있는 산란량과 적정 먹이량에 관한 연구가 필요할 것이다.

암컷의 크기는 산란 수와 정의 상관관계를 보이는 것으로 *Peteromalus puparum* (Takagi, 1985)와 *Trichogramma nubilale* (Olson and Andow, 1998) 등의 조사에서 보고된 바 있다. 이와 같이 큰 암컷은 작은 암컷보다 많은 자손을 생산하는 것은 본 실험에서도 확인할 수 있었다. 실험에 사용된 인공숙주에서 발육한 암컷은 부모 세대인 자연숙주에서 발생한 기생벌보다

대체로 작은 크기였다. 본 조사에서 인공숙주에서 발생한 1세대 기생벌의 자손 수는 자연숙주에서 조사된 결과보다 훨씬 적은 것으로 나타났다. 이와 같이 인공숙주에서 발생한 것들과 산란량의 차이는 암컷개체의 크기에 기인하는 것으로 생각된다. 더욱이 인공숙주 2세대 중에서 비교적 큰 것들을 다시 인공숙주에서 산란 시켰을 때 자손수가 훨씬 증가하여 암컷의 크기가 산란량과 밀접한 관계가 있다는 사실을 확인할 수 있었다.

숙주의 크기(먹이량)는 기생벌의 크기와 밀접한 관련이 있는 것으로 1개에 숙주에 여러 개의 알을 낳은 기생벌인 무당외줄좀벌(*Pediobius foveolatus*) (Jervis and Copland, 1996)과 단독기생벌인 *Coccygomimus turionella* (Sandlan, 1982)에서 보고된 바 있다. *Tetrastichus* sp.의 크기도 숙주크기와 밀접한 관련이 있는 것으로 보인다. 본 실험에서 사용한 bagform에는 2개의 인공숙주로 구성되었는데 이 두 개의 체적의 합은 자연숙주에 비하여 약 1/2정도였다. 또한 자연숙주에서 발육하더라도, 100개체 이상의 기생벌이 우화된 경우는 성충의 크기가 상당히 작은 것으로 관찰된 바 있다.

암컷의 수명 또한 산란량과 밀접한 관계를 갖는 것으로 보고된 바 있는데, 무당외줄좀벌이나 단독 외부기생벌 *Diglyphus begini*는 개체의 크기 뿐만 아니라 수명과 산란량에 정의 상관관계에 있는 것으로 알려진 종들이다(Jervis and Copland, 1996). 인공숙주의 산란량은 개체간에 심한 차이를 보이는데 이것은 암컷 수명 차이에 의한 것으로 관찰되었다(Table 5). 즉 수명과 산란기간이 길었던 인공숙주2세대에서 1세대에 비하여 훨씬 많은 자손 수가 기록되었다. 평균수명 21.7일(Lee et al., 1999)이었던 자연숙주에서 우화된 기생벌은 인공숙주에서 우화된 것들보다 높은 산란량을 보여 산란 수와 수명과의 관계를 확인할 수 있었다. 이외에 여러 다른 요인이 산란량에 중요한 영향을 미

Table 5. Life history traits (mean \pm SD) of *Tetrastichus* sp. female adults reared on artificial hosts

| Generations ¹ | n | Oviposition period (days) | No. progeny per female | Longevity | Sex ratio (%) |
|--------------------------|----|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------|
| G1 | 10 | 2.5 \pm 1.4 ^a | 14.4 \pm 7.9 ^a | 8.6 \pm 0.7 ^a | 53.7 |
| G2 | 14 | 7.8 \pm 3.1 ^b | 45.7 \pm 14.8 ^b | 13.8 \pm 2.3 ^b | 76.9 |

¹First generation female progeny (G1) emerged from the artificial host which was parasitized by *in vivo*-reared *Tetrastichus* sp; Adult females (G2) produced by G1 on artificial hosts. Means followed by the same letters in the same column are not significantly different (P = 0.05; t-test).

치는 것으로, Jervis and Copland (1996)은 숙주밀도, 숙주의 질과 같은 생물적 요인과 온도·빛의 강도와 광주기·습도 등과 같은 물리적 요인 등이 산란량과 관계 있는 것으로 보고한 바 있다.

본 조사에서의 인공숙주 1세대, 2세대로부터 생산된 자손의 암컷 비율은 각각 53.9%, 76.9%로 자연숙주에서의 90.3%(Lee *et al.*, 1999)보다 낮았다. 벌목에 속하는 기생곤충에서는 교미횟수가 성비에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(DeBach, 1974). 특히 집단기생곤충(gregarious parasitoid)의 경우 같은 숙주에서 우화한 형제들 사이에서 교미가 이루어지므로 교미를 위한 경쟁이 줄고, 수컷과의 교미 횟수가 높아져 암컷의 성비 편중이 높아진다(Hamilton, 1967). 그러나 본 실험에서는 암컷과 수컷의 지속적인 교미를 유도하였기 때문에 이 요인 보다는 숙주의 크기가 영향을 미친 것으로 판단된다. 기생성 벌목에 속하는 것들은 숙주의 크기나 질에 따라 자손의 성비를 조절(sex allocation)하기 때문에 암컷들은 보다 작은 숙주에는 수컷 알을, 보다 큰 숙주에는 암컷 알을 낳는 경향이 있는 것으로 알려진 바 있다(Quicke, 1997). 본 조사에서처럼 자연숙주의 약 1/4인 인공숙주의 체적을 고려하면, 인공숙주에서 얻어진 성비는 당연히 낮을 것으로 기대되나, 다양한 숙주의 크기에 대한 산란반응 실험을 통하여 숙주크기와 성비의 확실한 상관관계를 밝힐 수 있을 것이다. 그 이외에도 암컷 개체간의 산란 수변이, 암컷의 성비 조절에 사용하는 정보(암컷의 밀도, 경쟁암컷의 크기) 등 여러 요인이 성비 결정에 관여하는 것으로 조사된 바 있다(Flanagan *et al.*, 1998).

알 또는 번데기의 내부 기생벌은 산란과 동시에 발육이 시작되는 Idiobiont 부류로 알려진 벌들이다. 이러한 벌들은 숙주 특이성이 심하지 않아 비교적 숙주 범위가 넓으며 유충 기생벌에 비해 빠른 유충 발육기간과 성충 수명이 긴 특징이 있다(Quicke, 1997). 더욱이 *Tetrastichus* 속은 숙주곤충의 알, 유충, 번데기, 약충, 성충에 기생하여 다양한 성장 단계를 공격하는 생태적 특성을 갖고 있다(Sharma *et al.*, 1965). *Tetrastichus* sp.는 1년에 여러 번 발생하는 번데기 기생벌로서, 1개의 숙주에서 여러 마리가 발육한다. 본 조사에서 나타난 것처럼 비교적 수명이 길고, 높은 산란량을 갖는 것으로써 비교적 간단한 성분으로 먹이조성이 가능하며 손쉽게 인공숙주에서 사육하여 자손을 번식할 수 있었다. 따라서 이러한 생태적 특징은 생물적 방제 인자로 대량생산과 여러 해충의 방제에 활용 가

능성을 보여준다.

Literature Cited

- Awuitor, K., M. Masselot and J. Tersac. 1984. *In vitro* rearing of *Pimpla instigator* (Hym.: Ichneumonidae). 2. Completion of development in semi-artificial conditions. *Entomophaga* 29: 331~339.
- Cardé, R.T. and H.P. Lee. 1989. Effect of experience on the responses of the parasitoid *Brachymeria intermedia* (Hymenoptera: Chalcididae) to its host, *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Lymantriidae), and to kairomone. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 82: 653~657.
- Colazza, S. and F. Bin. 1992. Introduction of the oophage *Edovum puttleri* Grissell (Hymenoptera: Eulophidae) in Italy for the biological control of Colorado potato beetle. *Redia* 75: 203~225.
- DeBach, P., 1974. *Biological control by natural enemies*. 1st ed., 323 pp. Cambridge University Press, London.
- Dindo, M.L., C. Sama, P. Fanti and R. Farneti. 1997. *In vitro* rearing of the pupal parasitoid *Brachymeria intermedia* (Hym.: Chalcididae) on artificial diets with and without host components. *Entomophaga* 42: 445~453.
- Flanagan, K.E., S.A. West and H.C. Godfray. 1998. Local mate competition, variable fecundity and information use in a parasitoid. *Anim. Behav.* 56: 191~198.
- Hagen, K.S. 1987. Nutritional ecology of terrestrial predators. pp. 533~577. *In Nutritional ecology of insects, mite, spiders, and related invertebrates*, eds. by F. Slansky and J.G. Rodriguez. 1016 pp. Wiley, New York.
- Hamilton, W.D. 1967. Extraordinary sex ratios. *Science* 156: 477~488.
- Han, S.C., Q.X. Chen, X. Xu, M.L. Zhang, D.F. Zhu and W.H. Liu. 1988. *In vitro* rearing *Anastatus japonicus* Ashmed (Hym.: Eupelmidae) for controlling litchi stink bug, *Tessaratomia papillosa* Drury (Hem.: Pentatomidae). *Natural Enemies of Insect* 10: 170~173.
- Hussein, M.Y. and K.S. Hagen. 1991. Rearing of *Hippodamia convergens* on artificial diet of Chicken liver, yeast and sucrose. *Entomol. Exp. Appl.* 59: 197~199.
- Jervis, M.A. and M.J.W. Copland. 1996. The life cycle. pp. 63~16. *In Insect natural enemies*, eds. by M. Jervis and N. Kidd. 491 pp. Chapman and Hall, London.
- Laudonia, S. and G. Viggiani. 1986. Observations on the developmental stage of *Edovum puttleri* Grissell (Hymenoptera: Eulophidae), an egg-parasitoid of Colorado potato beetles. *Boll. Lab. Entomol. Agrar. Filippo Silvestri, Portici.* 43: 97~104.
- Lee, H.P. and K.S. Lee. 1994. Artificial Rearing *in vitro* of *Ooencyrtus kuvanae* Howard (Hymenoptera: Encyrtidae) - Artificial Media, Oviposition and Development-. *Korean J. Entomol.* 24: 311~316.
- Lee, H.P., I.K. Kim and K.S. Lee. 1999. Morphology and developmental biology of *Tetrastichus* sp. (Hymenoptera: Eulophidae), parasitizing fall webworm pupae, *Hyphantria cunea* Drury (Lepidoptera: Arctiidae). *Korean J. Biol. Sci.* 3: 369~374.
- Lee, J.H. and H.P. Lee. 2000. Oviposition behavior of *Brachymeria lasus* (Walker) toward artificial oviposition pupae. *J. Nat. Sci.* 5: 93~102.
- Lee, K.S. and H.P. Lee. 1997. Artificial Rearing in *in vitro* of *Ooencyrtus kuvanae* (Howard) (Hymenoptera: Encyrtidae). *Korean J. Entomol.* 27: 185~191.
- Li, L.Y. 1992. *In vitro* rearing of parasitoids of insect pests in China. *Korean J. Appl. Entomol.* 31: 241~246.
- Li, L.Y., W.H. Liu, C.S. Chen, S.C. Han, J.C. Shin, H.S. Du and S.Y. Feng. 1988. *In vitro* rearing of *Trichogramma* spp. and

- Anastatus* sp. in artificial "eggs" and the methods of mass production. *Trichogramma* and other parasites. 2nd International Symposium, Guangzhou (China), 10-15 November 1986. 43: 339-352.
- Liu, Z.C., Z.Y. Wang, Y.R. Sun, J.F. Liu and W.H. Yang. 1986. Mass propagation of *Anastatus* sp., a parasitoid of litchi stink bug, with artificial host eggs. *Chinese J. Bio. Control* 2: 54-58.
- Olson, D.M. and D.A. Andow. 1998. Laval crowding and adult nutrition effects on longevity and fecundity of female *Trichogramma nubilale* Ertle & Davis (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Environ. Entomol.* 27: 508-514.
- Quicke, D.L.J. 1997. *Parasitic Wasp*. 1st ed., 470 pp. Chapman and Hall, London.
- Ridgway, R.L., R.K. Morrison and M. Badgley. 1970. Mass rearing green lacewing, *Chrysopa carnea* Steph. *J. Econ. Entomol.* 63: 834-836.
- Sandlan, K.P. 1982. Host suitability and its effects on parasitoid biology in *Coccygomimus turionellae* (Hymenoptera: Ichneumonidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 75: 217-221
- Sharma, A.K., S.I. Farooqi and B.R. Subba Rao. 1965. The biology of *Tetrastichus rhipophorathripicidis* Narayanan, Rao et Rao (Eulophidae: Hymenoptera), A parasite of *Mallothrips indicus* Ramakrishna. *Mushi* 38: 117-123.
- Smith, S.M. 1996. Biological control with *Trichogramma*: Advances, successes and potential of their use. *Annu. Rev. Entomol.* 41: 375-406.
- Smith, M.A. and H.V. Cornell. 1979. Hopkin's host-selection in *Nasonia vitripennis* and its implications for sympatric speciation. *Anim. Behav.* 27: 365-370.
- Takagi, M. 1985. The reproductive strategy of the gregarious parasitoid, *Pteromalus puparum* (Hymenoptera: Pteromalidae). 1. Optimal number of eggs in single host. *Oecologia* 68: 1-6.
- Thompson, S.N. 1980. Artificial culture techniques for rearing larvae of the chalcidoid parasite, *Brachymeria intermedia*. *Entomol. Exp. Appl.* 27: 133-43.
- Thompson, S.N. 1983. Larval growth of the insect parasite *Brachymeria lasus* reared *in vitro*. *J. Parasitol.* 69: 425-427.
- Thompson, S.N. 1999. Nutrition and culture of entomophagous insects. *Annu. Rev. Entomol.* 44: 561-592.
- Vinson, S.B. 1978. The behavior of parasitoids. pp. 417-457. *In* Comprehensive insect physiology biochemistry and pharmacology Vol. 9, eds. by G.A. Kerkut and L.I. Gilbert. 735 pp. Pergamon Press, Oxford.
- Waage, J.K., K.P. Karl, N.J. Mills and D.J. Greathead, 1985. Rearing entomophagous insects. pp. 45-66. *In* Handbook of insects rearing Vol. 1, eds. by P. Singh and R. F. Moore. 488 pp. Elsevier, Amsterdam.

(Received for publication 28 February 2002;
accepted 23 April 2002)