

## *Anisopteromalus calandrae* (Hymenoptera: Pteromalidae)의 대체기주 팥바구미(*Callosobruchus chinensis* (L.))에 대한 적응

Adaptation of *Anisopteromalus calandrae* (Hymenoptera: Pteromalidae) to  
an alternative host, *Callosobruchus chinensis* (Coleoptera: Bruchidae)

김 정 · 천용식 · 류문일

Jung Kim, Yong Shik Chun and Mun Il Ryo

**ABSTRACT** Adaptation of *Anisopteromalus calandrae* maintained on rice weevil (*Sitophilus oryzae*) to an alternative host, adzuki bean weevil (*Callosobruchus chinensis*) was studied. *A. calandrae* required two generations to adapt to the adzuki bean weevil. Through the adaptation, the mean( $\pm$  SEM) life span of the females became shorter 8.7 $\pm$  1.3 days at the first generation to 6.9 $\pm$  0.6 days at the second generation. Number of eggs laid per female increased from 29.3 $\pm$  7.7 to 68.2 $\pm$  6.5. Consequently intrinsic rate of natural increase and net reproductive rate were increased. The generation time and population doubling time were decreased. The searching efficiency based on functional and numerical response of *A. calandrae* to the adzuki bean weevil were similar to each other, but the coefficient of variation decreased with the generation, suggesting that searching efficiency became stable when the parasitoid adapted to adzuki bean weevil. No time lag was required for *A. calandrae* adapted to the adzuki bean weevil to adapt again to the rice weevil and the searching efficiency of the parasitoid remained on a similar level for the first generation on.

**KEY WORDS** Alternative host, life table, host-parasite interaction, *Anisopteromalus calandrae*, *Lariophagus distinguendus*

**초 록** 팥바구미에 적응된 기생봉 *Anisopteromalus calandrae*를 대체기주인 팥바구미에서 누대 사육하면서 기생천적의 대체기주에 대한 적응과 그의 과정을 조사하였다. *A. calandrae*가 대체기주에 적응, 안정된 생활사 특성을 보이기까지 2세대가 경과하였다. 성충수명은 단축되어 1세대에서 8.7일을 보였으나 2세대 이후에는 5.7~7.3일의 범위를 나타내었으며 총 산란수는 1세대에서 29.3 $\pm$  7.7에서 2세대 이후 43.9~68.2의 범위로 증가하였다. 따라서 내적 자연 증가율, 순증가율은 증가하였으며, 개체군 배가 기간은 짧아졌다. 팥바구미에 대한 탐색효율은 적응 전후에 유의한 차이를 보이지 않았으나 탐색효율의 변이계수가 감소하는 현상을 보여 탐색행동이 안정됨을 암시하였다. *A. calandrae*는 팥바구미에 적응된 이후에도 쌀바구미에 대한 탐색효율이 감소되지는 않았다.

**검색어** 대체기주, 생활사, 기주-기생자 상호작용, *Anisopteromalus calandrae*, *Lariophagus distinguendus*

기생천적의 대량사육이 가능해진 최근에 이르러, 과녁해충의 천적을 인공적으로 사육, 증식하여 대량으로 방사함으로써(inundative release), 해충개체군의 밀도를 낮추고자 하는 생물적 방제법이 광범위하게 시도되고 있으나 이 방법의 효율에 대해서는 해충과 천적의 종류와 지역에 따라 상이하게 평가되고 있다

(Stinner 1977, Stehr 1982, King *et al.* 1985). 이 결과는, 기주와 기생천적 개체군의 상호작용과 이에 의한 해충밀도수준의 결정은 해충의 생활계(life system)와 이 생활계에서의 기생천적 적응의 종합적인 결과이며 따라서 동일 종의 해충과 천적의 상호작용이라 하더라도 생활계의 특성에 따라 다른 결과를

고려대학교 자연자원대학 농생물학과 (Dept of Agricultural Biology, College of Natural Resources, Korea Univ, Seoul 136-701, Korea)

유도할 수 있음을 의미하는 것이다.

기생천적의 대량사육은 거주가 되는 과녁해충 종의 대량사육을 필요로 하며 이는 필연적으로 해충 자원을 대량으로 확보해야 함을 의미한다. 그러나 이 방법은 시·공간적으로 어려움이 많으므로 사육이 용이한 대체기주(화랑곡나방, *Plodia interpunctella*, 등 저장물 해충)를 이용하거나 인공기주(artificial host)를 개발하여 사육하게 된다(Thompson 1986) 따라서 과녁해충과 사육기주가 상이하게 되며 기생천적의 특성이 달라질 가능성이 있고 효율적인 천적으로 선발된 종이라 하더라도 과녁해충과의 실제 기대되는 상호작용이 일어나지 않을 수 있다. 그러므로 천적의 대량방사를 통한 과녁해충의 방제효율을 예측하고, 시행착오를 줄이기 위해서는 해충의 생활계와 사육천적의 생리·생태적 특성에 대한 검토가 선행되어야 한다(King *et al.* 1985).

기생천적의 대량방사에 의한 해충방제의 성공에 가장 중요한 기생천적의 특성은 기주탐색능력과 그의 개체군 증가율이다(van Lenteren & Woets 1988). 이러한 기생천적의 특성은 종에 따라 특성적이지만 동시에 천적의 생활계에 영향을 받아 변이를 보이게 된다. 온도등의 기상조건(Hong & Ryoo 1991)과 천적과 기주 간의 시·공간적 일치성(Griffiths 1969), 기주의 영양·변역학적 적합도(Price 1970, Salt 1970, Vinson & Iwantsch 1980, Ryoo *et al.* 1991)는 특히 기주탐색능력에 영향을 미치는 중요한 인자이다.

특정한 생활계에서 생활하는 기생천적은 그 생활계에서 주어지는 여건에 적응하게 되며 자신의 개체군 증식의 최적화와 기주탐색행동의 최적화를 이루게 된다. 최적 채식 이론(optimal foraging theory)은 이를 설명하고자 하는 모델중 하나이다(Krebs 1978). 이 이론에 따르면 기생천적의 기주선호성은 필연적인 것이며, 따라서 기생천적은 그의 생활계에서 가장 유용한 기주에 집중하게 되며 이 과정을 통하여 그 기주에 대한 탐색행동의 특성화를 초래하게 된다.

특정 기주에 적응한 기생천적은 다른 기주에 대해서도 동일한 탐색행동을 보이게 되며 이것이 대체기주 탐색효율을 낮추는 요인이 된다. 따라서 기생천적은 기주에 대한 적응도에 따라 선호도가 달라지며 선호도가 낮은 기주 개체군을 억제하는 효율이 낮아지게 된다. Van Dijken(1986)은 알좁벌 *Trichogramma evanescens*는 계통에 따라 그들의

기주인 *Mamestra brassicae*, *Pieris brassicae*, *Pieris rapae*에 대한 선호도에 차이가 있음을 보여 주었다 또한 Shm 등(1994)은 쌀바구미(*S. oryzae*)에 적응된 두 종의 기생봉, *A. calandrae*와 *Lariophagus distinguendus*가 쌀바구미(*C. chinensis*)를 탐색함에 있어 비효율적이었다고 보고하였다.

그러므로 대체기주 또는 인공기주를 이용하여 기생천적을 대량으로 사육하는 것과 그 천적에 의한 과녁해충의 생물적 방제효율은 다른 문제가 된다 그러나 지금까지 이루어지고 있는 천적의 대량방사 방법은 이러한 문제를 등한히 하였고 그 결과 동일해충과 동일천적에 대해서도 지역적·시간적으로 상이한 결과를 가져왔을 것이다

기생천적을 대량으로 생산함에 있어 대체기주 또는 인공기주가 필연적이라고 한다면 사육된 기생천적의 대체기주에 대한 효율과 적응과정을 밝힘으로써 합리적인 방제계획을 수립할 수 있게 될 것이다 문제는: 1) 과녁해충에 대한 기주 탐색 효율이 사육기주에 대한 탐색효율과 유의한 차이를 보이는가, 2) 기생천적은 적응되지 않은 새로운 기주에 적응하게 되며 이 과정에서 탐색효율이 높아지는가, 3) 그렇다면 천적의 증식력은 이 과정에서 어떻게 변화하는가, 4) 적응에는 어느 정도의 시간(세대)이 소요되는가, 그리고 5) 적응 소요시간은 단축될 수 있는가 하는 것이다.

지금까지 이러한 문제에 접근한 연구는 보고되지 않고 있으며 따라서 대량방사에 의한 생물적 방제의 계획과 효율평가가 연구자에 따라 주관적으로 이루어지고 있으며 객관성이 결여되어 있다

본 연구는 쌀바구미에 적응한 기생봉 *A. calandrae*가 대체기주인 쌀바구미에 적응하는 과정을 조사함으로써 기생천적의 적응과 그 과정의 한 단면을 밝히고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 공시충 및 공시충의 사육

쌀바구미(*C. chinensis* L.)는 시장에서 구입한 쌀(*Phaseolus angularis* Wight) (품종 미상)을 사료로 고려대학교 농생물학과 개체군생태학 실험실에서 5년간 누대사육된 것이었다(Ryoo & Chun 1993). 기생봉 *A. calandrae*는 1986년 쌀바구미에 오염된

저장미에서 채집된 것으로 영연방 곤충 연구소(Commonwealth Institute of Entomology)에 의뢰, 동정한 계통이었다(Ryoo *et al.* 1991, Chun *et al.* 1992). 실험에 사용한 기생봉은 쌀바구미 4령유충을 기주로 사육된 것을 임의로 채집하여 사용하였다(Chun *et al.* 1992). 본 실험에서 기생봉은 온도  $30 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 와 상대습도 70~75%인 환경조건하에서 사육되었다.

쌀바구미를 기주로 누대사육하여 쌀바구미에 적응한 기생봉을 쌀바구미 4령 유충에 접종하여 사육, 우화시켜 쌀 1세대를 얻었다. 이 1세대 기생봉을 다시 쌀바구미 4령 유충에 접종하여 우화시켜 쌀 2세대를 얻었으며, 같은 과정을 반복하여 계속하여 다음 세대를 얻었다.

## 2. 각 세대별 생명표 조사

50 ml 비커(직경 4 cm 높이 5.7 cm)에 쌀바구미에 오염되지 않은 쌀을 함수량 13.5~14%로 조절하여 15g을 넣었다. 여기에 쌀바구미를 15~30쌍 접종하여  $30 \pm 0.5^\circ\text{C}$ , 70% RH 환경 조건 하에서 24시간 산란을 유도한 후 쌀바구미를 제거하였다. 처리된 비커를 같은 환경 조건 하에서 14일간 보관하여 충분한 양의 기주(쌀바구미 4령 유충)를 얻었다. 여기에 우화한지 24시간 미만의 기생봉 1쌍을 접종하고  $30^\circ\text{C} \pm 0.5^\circ\text{C}$ , 70% RH 환경 조건 하에서 24시간 산란을 유도하였다. 기생봉은 매 24시간 간격으로 신선한 기주가 든 비커로 옮겨주었으며, 비커는 기생봉이 우화할때까지 동일조건에서 보관되었다. 이후 교체시에 기생봉의 생존 여부를 확인하여, 수컷이 죽었을 경우에 우화한지 24시간 미만인 수컷을 보충해 주었다. 이 과정은 암컷이 죽을때까지 수행되었다. 처리 용기를 동일한 조건하에서 계속 보관하면서 기생봉을 접종한 지 11일째부터 21일째까지 매 24시간 간격으로 기생봉의 암, 수 및 쌀바구미 우화수를 조사, 기록하였다. 표본수는 30쌍 이었으며, 생명표는 이 자료를 토대로 구성되었다.

## 3. 기능 반응의 조사

### 3.1 현미에서의 기능반응

100 ml 비커(직경 5.5 cm, 높이 7 cm)에 쌀바구미에 오염되지 않은 현미(품종·일품) 40g을 넣고 쌀바구미 약 100쌍을 접종하여 24시간 동안  $28 \pm 0.5^\circ\text{C}$ , 70% RH 환경 조건하에서 24시간 산란을

유도한 후 제거하였다. 이 용기를 동일조건 하에서 보관하면서 산란된 쌀바구미의 발육을 유도하여 20일 후 필요한 양의 기주(쌀바구미 4령 유충)를 확보하였다. 기주는 현미립들을 10, 30, 50, 70, 90립씩 유리용기(직경 2 cm 높이 4 cm)에 담고, 쌀바구미 밀도에 대한 기생봉의 반응과 탐색에 영향을 줄수있는 제반 조건들을 일정하게 하기위해 각 처리용기에 쌀바구미에 오염되지 않은 현미립을 필요량 첨가, 완전히 혼합하여 각 용기당 총 현미립 수가 100이 되도록 하였다. 각 용기에 우화한지 24시간 미만인 동일 세대의 기생봉 1쌍씩을 접종한 후, 상이한 밀도처리가 된 6개의 유리용기를 플라스틱 용기(13.5×13.5×8.5 cm) 내에 임의배치하였다. 각 유리용기는 기생봉의 분산을 자유롭게 하기위하여 뚜껑을 하지 않았으며, 플라스틱 용기는 투명천으로 덮었다.  $30 \pm 0.5^\circ\text{C}$ , 70% RH 환경 조건하에서 24시간 산란을 유도한 후 기생봉을 제거하였다. 각 용기에 투명천을 씌워  $30 \pm 0.5^\circ\text{C}$ , 70% RH에서 발육시켜 5일째부터 쌀바구미 및 기생봉의 우화수와 기생봉에 의한 쌀바구미 유충의 치사율 및 기능반응과 수반응을 조사하였다. 마지막 기생봉 우화 후 7일간 더 조사하고, 이후 용기내의 현미립을 해부하여 기생봉의 공격수, 우화하지 못한 쌀바구미 유충수, 우화하지 못한 기생봉 유충수 등을 조사하였다. 각 처리는 밀도별로 10회 반복되었다.

### 3.2 팥에서의 기능반응

50 ml 비커에 팥 50g을 넣고 우화 24시간 미만의 쌀바구미 25쌍 이상을 접종하였다.  $30 \pm 0.5^\circ\text{C}$ , 70% RH 환경 조건하에서 24시간동안 산란을 유도한 후, 쌀바구미 성충을 제거하였다. 이를 동일 조건하에 14일간 보관하여 충분한 양의 기주(쌀바구미 4령유충)를 얻었다. 팥 1립당 산란수가 4 또는 5인 팥알만을 골라내어 사용하였다. 이는 *A. calandreae*의 쌀바구미 유충 탐색율이 팥 1립당 산란수가 1 또는 2일때 비해 4 또는 5일때 유의하게 높기 때문이다(Ryoo and Chun, 1993). 쌀바구미 알수를 기준으로 10, 30, 50, 70, 90으로 기주밀도를 상이하게 하여 50 ml들이 비커에 넣었다. 쌀바구미 밀도에 대한 종별의 반응에 미칠 수 있는 제반 조건들을 일정하게 하기 위하여 쌀바구미에 오염되지 않은 팥을 완전히 혼합하여 각 비커당 전체 팥 수가 100이 되도록 조절하였다. 각 처리 용기에 비커에 우화후 24시간 미만인 기생봉

1쌍을 접종하고, 각 비커마다 무명천으로 뚜껑을 덮었다. 이들을 30±0.5°C, 70% RH 환경 조건하에서 24시간 산란을 유도한 후 기생봉을 제거하였다 이 비커들은 동일 환경 조건하에서 6일간 보관후 7일째부터 팔바구미 및 기생봉의 우화수를 24시간 간격으로 조사하였다. 팔에 산란한 기주 밀도는 알 수 있으나, 실제 밀도는 알 수 없으므로, 마지막 기생봉이 우화한 날로부터 7일까지 조사한 후, 실제현미경(stereomicroscope)하에서 해부하여 흡즙된 팔바구미 유충수 및 발육중 기생에 의하지 않은 팔바구미 유충 사망수, 기생봉 유충 사망수등을 조사하였다 이로부터 기능반응과 수반응을 구하였다.

4. 각 세대별 증벌의 부위 측정

각 세대마다 우화한지 24시간 미만의 증벌 암수 각각 30개체씩을 채집하여 micrometer로 체장(머리-배), 머리폭, 가슴폭, 배폭을 측정하였다.

5. 자료의 분석

5.1 생활사 매개변수의 추정

생활사 매개변수는 PC-BASIC computer program (Ryoo 1986, unpublished)에 의해 Lotka-Voltera의 다음 식에 의해 분석되었다.

$$\sum_{x=0}^{\infty} e^{-rx} l_x m_x = 1 \text{ (Pielou 1969)}$$

단, r: 내적 자연 증가율 l<sub>x</sub>: x령에서의 생존률  
m<sub>x</sub>: x령에서의 출산률 x: 일령을 나타낸다.

5.2 기능반응의 매개변수 추정

기능반응과 수반응의 변수들을 추정하기 위하여 다음의 Holling(1959)의 disk equation으로 분석하였다.

$$Na = \frac{a \cdot N_t \cdot P_t \cdot T_t}{1 + a \cdot N_t \cdot T_b}$$

(단, Na: 피공격수 a: 탐색효율  
Nt: 기주의 밀도 Pt: 기생봉의 밀도  
Th: 기주 처리시간 Tt: 전노출시간)

모형의 변수들은 PROC NLIN(SAS Institute 1988)을 이용하여 추정하였다. 기능반응에서의 피공격수는 산란된 기생봉의 수와 기생봉에 의해 흡즙되어 처

사한 바구미 유충수를 합하여 산출하였으며, 수반응에서는 차세대에 우화한 암컷의 수로 산출하였다.

결 과

1. 각 세대별 *Anisopteromalus calandrae*의 생명표 통계량

팔바구미를 기주로 하였을 때, *A. calandrae*의 세대별 암컷 성충 수명과 총산란수는 표 1과 같다. 암컷 성충의 평균수명(± 표준오차)은 세대가 누적됨에 따라 줄어드는 경향을 보였으나, 총 산란수는 2세대 이후부터 큰 변화를 나타내지 않았다 평균수명은 1세대에서 8.7±1.3일로 후세대들에 비해 유의하게 길었고(F=6.21; df=6, 203; P<0.001), 2세대이후 6세대까지 6.2~7.3일의 범위에서 안정되었다. 7세대에서는 5.7±0.23일로 다시 단축되는 경향을 보였으나 그 전 세대와 유의한 차이는 없었다 세대 경과에 따른 총 산란수의 변화는 1세대의 29.3±7.7에 비해 2세대 이후에 산란수가 유의하게 증가하였으며 55.0~68.2의 범위에서 안정되는 경향을 보였다(F=7.77; df=6, 203; P<0.001). 7세대에서 산란수가 감소하였으나 통계적 유의성은 볼 수 없었다

그림 1은 세대별 성충의 생존곡선을 나타낸 것으로 1세대에서는 4일 이후부터 13일 까지 逆 S자형을 보였으나 2세대이후에는 5~6일 부터 급격히 감소하는 경향을 보였다. 1세대에서와는 달리 2세대이후에는 생존 곡선이 유사한 패턴을 보여 생활사가

Table 1. Female life span and total number of eggs laid per female during the life span of *Anisopteromalus calandrae* (mean± SEM)

Generation	Life span in days	Number of eggs laid
1	8.70±1.26 <sup>a 1)</sup>	29.30±7.70 <sup>c</sup>
2	6.89±0.61 <sup>bc</sup>	55.00±9.27 <sup>ab</sup>
3	7.3 ±0.35 <sup>b</sup>	68.19±6.54 <sup>a</sup>
4	7.16±0.25 <sup>b</sup>	61.94±4.81 <sup>ab</sup>
5	6.28±0.25 <sup>bcd</sup>	66.91±3.29 <sup>a</sup>
6	6.19±0.21 <sup>bcd</sup>	59.72±4.56 <sup>ab</sup>
7	5.74±0.23 <sup>cd</sup>	43.95±3.22 <sup>bc</sup>

<sup>1)</sup>The values followed by the same letters within a column are not significantly different at the probability of 5% level. Means were separated by Fisher's LSD (SAS Institute 1988)

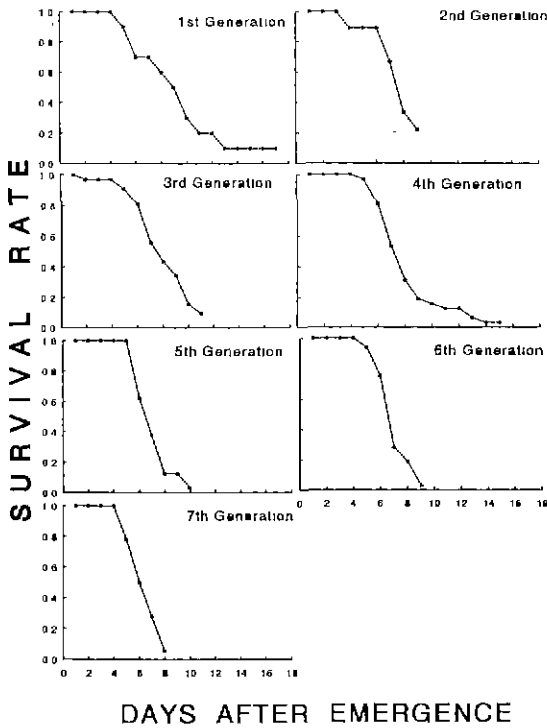


Fig. 1. Survival rate curves of female *Anisopteromalus calandreae*

2세대이후 안정되는 현상을 나타내었다 그림 2는 암컷 자손수의 출산 경과를 보인 것으로 1세대와 2세대이후의 세대들 간에 차이를 보였다. 1세대에서는 출산수가 성충 전 생애를 통하여 고르게 분포하였다. 그러나 2세대 이후에는 출산이 생애 전기에 해당되는 2~3일에 산란수가 집중되어 최고에 이르렀으며 이후 7~8일에 다시 증가하였다가 이후 감소하였다

표 2는 각 세대별 개체군 생명표 통계량을 나타낸

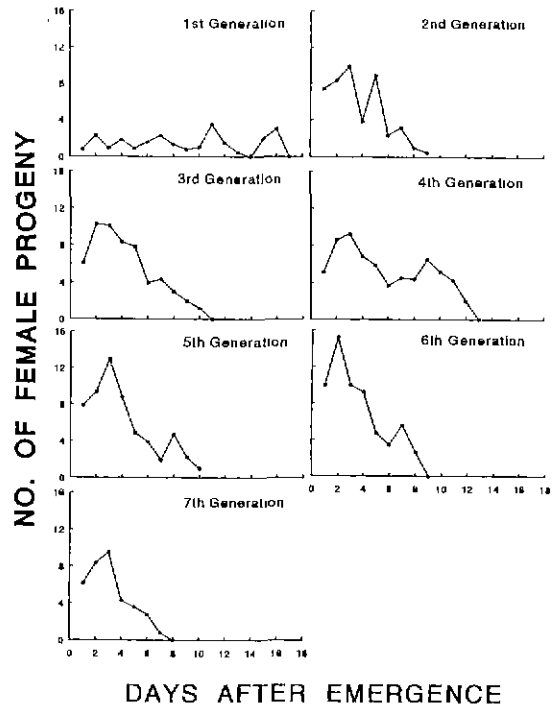


Fig. 2. Fecundity curves of female *Anisopteromalus calandreae* based on the number of female progeny emergence

것으로, 내적 자연 증가율은 1세대에서 가장 낮아 일당 0.17를 보였으며 2세대 이후에는 0.27~0.37의 범위에서 변화하였다. 순 출산율 역시 1세대에서 가장 낮았으나 세대기간은 1세대에서 가장 길었다 따라서 개체군 배가기간도 1세대의 4.14일에 비해 그 이후세대에서 2.25~2.58일로 짧아졌다.

2. 각 세대별 기능반응과 수반응의 통계량

Table 2. Life table statistics of *Anisopteromalus calandreae* in relation to the generation on adzuki bean weevil

Generation	Intrinsic rate of increase	Generation time (Days)	Net reproduction rate	Population doubling time (Days)
1	0.17	15.97	12.39	4.14
2	0.28	13.61	41.67	2.45
3	0.28	13.94	49.13	2.40
4	0.28	14.28	45.24	2.48
5	0.29	13.47	47.95	2.35
6	0.37	13.28	53.28	2.25
7	0.27	13.06	31.12	2.58

Table 3. Statistics (mean±SEM) of the functional and numerical response of *Anisopteromalus calandrae* on fourth instars of adzuki bean weevil fitted to the disk equation

Generation	Functional response				Numerical response			
	Searching efficiency	Coefficient of variation	Handling time (days)	r <sup>2</sup>	Searching efficiency	Coefficient of variation	Handling time (days)	r <sup>2</sup>
1	0.295±0.11	0.369	0.093±0.03	0.866	0.262±0.13	0.485	0.148±0.04	0.815
3	0.453±0.19	0.411	0.120±0.02	0.869	0.386±0.18	0.474	0.176±0.03	0.850
5	0.228±0.06	0.256	0.055±0.02	0.901	0.211±0.06	0.282	0.095±0.03	0.895
7	0.300±0.09	0.299	0.093±0.02	0.897	0.175±0.06	0.364	0.122±0.04	0.841

Table 4. Statistics (mean±SEM) of the functional and numerical response of *Anisopteromalus calandrae* on fourth instars of *Sitophilus oryzae* fitted to disk equation

Generation	Functional response				Numerical response			
	Searching efficiency	Coefficient of variation	Handling time (days)	r <sup>2</sup>	Searching efficiency	Coefficient of variation	Handling time (days)	r <sup>2</sup>
1	1.451±0.998	0.688	0.065±0.012	0.747	0.957±0.658	0.688	0.078±0.017	0.739
3	1.204±0.415	0.345	0.036±0.006	0.872	1.032±0.388	0.376	0.042±0.007	0.851
5	1.285±0.583	0.454	0.064±0.009	0.866	0.584±0.339	0.581	0.028±0.017	0.632
7	1.552±0.781	0.503	0.058±0.008	0.846	1.012±0.471	0.465	0.072±0.011	0.836

제 1, 3, 5, 7세대의 기생충을 팥바구미 4령 유충을 기주로 기능반응과 수반응을 조사한 결과를 표 3에 나타내었다. *A. calandrae*의 탐색효율은 적응 전후, 즉 1세대와 2세대 이후 세대간에 유의한 차이를 보이지는 않았다(95% 신뢰구간 기준). 그러나 변이 계수는 세대가 누적됨에 따라 감소하여 기능반응의 경우 1, 3, 5, 7세대에서 각각 0.369, 0.411, 0.256, 0.299를 나타내었다

### 3. 원 기주 쌀바구미에 대한 기능반응 및 수반응

팥바구미에 적응한 *A. calandrae*가 원 기주인 쌀바구미에 대한 기주 탐색능력의 변화를 알아보기 위하여 *A. calandrae*에 적응되기 전 1세대와 적응이 이루어진 3, 5, 7세대에서 쌀바구미를 기주로 기능반응과 수반응을 조사한 결과를 표 4에 나타내었다. 기능반응과 수반응 각각의 변수는 세대에 따라 통계적인 유의성을 보이지 않았다(95% 신뢰구간 기준)

### 4. 종벌의 세대별 몸 크기의 변화

쌀바구미를 기주로 우화한 *A. calandrae*(0세대)에 비해 팥바구미를 기주로 한 경우 세대에 따라 예외가

있었으나 체장이 유의하게 큰 것으로 나타났다( $F=2.77$ ;  $df=7, 502$ ;  $P<0.001$ )(표 5).

## 고 찰

천적의 대량사육이 가능해진 최근에 인공적으로 사육된 천적의 대량방사를 통한 해충방제가 시도되고 있으나 생물적 요인과 환경적 요인에 의해 천적의 탐색능력에 차이가 생겨 짧은 시간내에 해충방제를 목적으로 하는 생물적 방제에 제한적 요소로 작용되어 왔다.

대체기주나 인공기주를 이용, 천적을 사육하여 상이한 종의 해충을 방제하려 하는 경우 사육기주에 적응된 천적은 과녁해충에 대한 선호성 결여로 탐색능력의 저하가 초래될 수 있다. 실제로 Shin 등(1994)은 쌀바구미에 적응된 *A. calandrae*는 팥바구미에 대한 탐색효율이 낮음을 보여주었으므로, 대체기주 또는 인공기주를 사용해 천적을 대량사육하고 이를 통해 해충을 방제하고자 하는 경우 천적의 과녁해충에 대한 적응 여부와 적응과정의 검토가 요구된다

본 연구결과 *A. calandrae*는 팥바구미에 적응하기 위해서 최소 2세대를 필요로 하는 것으로 밝혀졌다.

Table 5. Body length, head width, thorax width and abdomen width of *Anisopteromalus calandrae* of each generations reared on *Callosobruchus chinensis*

Generation	Body length (mm)	Head width (mm)	Thorax width (mm)	Abdomen width (mm)
0	2.20 b <sup>1)</sup>	0.67 b	0.58 d	0.67 c
1	2.29 ab	0.68 b	0.59 bcd	0.70 bc
2	2.28 ab	0.71 ab	0.61 ab	0.74 a
3	2.33 a	0.68 b	0.59 cd	0.72 ab
4	2.32 a	0.68 b	0.60 abcd	0.70 bc
5	2.39 a	0.71 ab	0.62 a	0.71 ab
6	2.32 a	0.74 a	0.60 abc	0.69 bc
7	2.34 a	0.69 b	0.60 abcd	0.70 bc

<sup>1)</sup>The values followed by the same letters within a column are not significantly different at a the probability of 5% level. Means were separated by Fisher's LSD (SAS Institute 1988)

1세대는 적응의 과도기로 생존곡선, 출산곡선에서 불안정성을 보였으며, 출산수도 적었고 따라서 개체군의 증가율도 낮게 나타났다. 2세대에 이르러 개체군의 특성들이 안정되었으며 팔바구미에서 보고된 특성들(Bellows 1982)과 유사한 패턴을 보였다. 이러한 안정된 특성은 6세대까지 지속되었으며 7세대에 이르러 다시 변화하는 것으로 나타났는데, 통계적인 유의성이 없어 결론을 내리기는 어렵다. 실제로 제 7세대 이후에서 개체군의 특성이 변하는가? 변한다면 그 이유가 무엇인가? 하는 문제는 앞으로 더 추구되어야 할 과제이다.

탐색효율과 처리시간의 세대간 변화는 생명표 통제량 변화와 유사한 양상을 보인다. 팔바구미에 대한 적응과정에서 *A. calandrae*의 탐색효율과 처리시간은 세대간에 유의한 차이가 없었다. 그러나 2세대 이후 *A. calandrae*의 개체군 증가율이 높아진 것은 탐색효율의 증가없이 이루어질 수 없는 것이므로 통계적 유의성이 없다는 사실은 기생봉의 탐색효율에서 차이를 보이지 않는다고 해석되기 보다는 disk 방정식이 지니는 문제점에 기인된 것으로 생각된다. 표 3과 표 4에서 보인 바와 같이 탐색효율과 처리시간은 서로 상관관계가 있게되며, 따라서 낮은 탐색효율은 짧은 처리시간으로 보상되는 문제가 나타나고 있다. 모델에서의 이러한 문제는 앞으로 재고되어야 할 것이라고 생각된다.

팔바구미에 적응된 *A. calandrae*는 쌀바구미에서 팔바구미로 대체되었을 때와는 달리 재적응에 시간적 지체없이 적용되어 쌀바구미 탐색효율이 높았다.

이것은 기주에 따라, 또는 기주자원에 따라 기생천적의 적응이 달라짐을 의미하는 것으로 생각된다. *A. calandrae*의 증식률은 밀과 쌀을 자원으로 하는 쌀바구미를 기주로 하였을 때 옥수수를 자원으로 하는 *Sitophilus zeamais*나 팥이나 동부를 자원으로 하는 *C. chinensis*에서 보다 높다고 보고되어 있다(천 등 1993, Smith *et al* 1992) 아마도 *A. calandrae*의 기주 탐색 활동이 옥수수, 팥과 같은 곡립이 큰 환경에 적절하지 않기 때문인 듯 하다. Ryoo와 Chun (1993)은 팥당 알 수와 *A. calandrae*의 탐색 효율이 관계가 있음을 보여주었다.

일반적으로 기주의 영양적 가치와 기생자의 기주 선호와는 상관성이 있을 것으로 보고되어 있다(Vison & Iwantsch 1980, Ryoo *et al.* 1991). 팔바구미를 기주로 한 *A. calandrae*의 체장이 쌀바구미를 기주로 하였을 때 보다 유의하게 크다는 사실은 팔바구미의 영양적 가치가 쌀바구미 보다는 높다는 것을 암시하는 것이다. 그럼에도 불구하고 팔바구미의 적응에 2세대의 시간지체가 있다는 사실은 쌀바구미에 적응된 *A. calandrae*의 탐색활동 또는 기생능력이 팔바구미를 기주로 할 경우 효율적이 되지 못함을 보여주는 것이다. 기주의 영양적 가치와 기주-기생자간의 관계가 반드시 일치되지 않는다는 이러한 사실은 기주-기생자 상호작용을 추구함에 있어 고려되어야 할 사실이다. 천적의 적응이 대체기주의 종에 따라 다를수 있다는 사실은 과녁해충과 사육기주의 관계를 합리적으로 조절함으로써 사육기주로 인한 천적의 탐색효율의 저하를 예방할 수 있다는 것을

의미하는 것으로 대량방사에 의한 생물적방제를 추구할 경우 필수적으로 고려되어야 함을 의미하는 것이며, 본 연구는 이러한 면의 한 예를 보여준 것으로 생각된다.

### 인 용 문 헌

- Bellows, T. S. Jr 1982. Simulation model for laboratory population of *Callosobruchus chinensis* and *C. maculatus*. *J. Anim Ecol.* **51**: 597-623
- Bellows T. S. Jr. 1985. Effects of host age and host availability on developmental period, adult size, sex ratio, longevity and fecundity in *Lariophagus distinguendus* Foester(Hymenoptera: Pteromalidae). *Res. Popul. Ecol.* **27**: 55-64.
- Cline, L. D., J. W. Press & B. R. Flaherty. 1985 Suppression of the rice weevil, *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae), inside and outside of burlap, woven polypropylene and cotton bags by the parasitic wasp, *Anisopteromalus calandrae* (Hymenoptera: Pteromalidae). *J. Econ Entomol.* **78**: 835-838
- Chun, Y. S., T. J. Yoon, S. S. Shin, & M. I. Ryoo. 1992. Relationship between temperature and development of an ectoparasitoid of rice weevil(Curculionidae: Coleoptera), *Anisopteromalus calandrae*(Pteromalidae: Hymenoptera) *Kor. J. Entomol.* **22**(4): 297-303
- 천용식, 류문일, 신상수. 1993. 기주가 기생봉, *Anisopteromalus calandrae*와 *Lariophagus distinguendus*의 생활사에 미치는 영향. *한곤지* **23**(4): 253-259.
- Dijken, M. J., van M. Kole, J. C. van Lenteren & A. M. Brand. 1986 Host preference studies with *Trichogramma evanescens* Weswood (Hymenoptera: Trichogrammatidae) for *Mamestra brassicae* and *Pteris rapae*. *J. Appl. Ent.* **101**: 64-85
- Goodrich, E. S. 1921 Note on the Hymenoptera parasite on beetles infesting grain. Report Grain Pests (War) Committee, Roy Soc London.
- Griffiths, K. J. 1969 The importance of coincidence in the functional and numerical responses of two parasites of the European pine saw fly, *Neodiprion sertifer*. *Can. Entomol.* **101**: 673-713.
- Holling C. S. 1959. The components of predation as revealed by a study of small mammal predation of the European pine sawfly *Can. Entomol* **91** 293-320
- Hong, Y. S. & M. I. Ryoo. 1991. Effect of temperature on the functional and numerical response of *Lariophagus distinguendus* (Foerster) (Hymenoptera Pteromalidae) to the various densities of the host, *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera Curculionidae) *J. Econ Entomol.* **84**: 837-840
- King, E. G., K. R. Hopper & J. E. Powell 1985. Analysis of systems for biological control of crop arthropod pests in the U.S. by augmentation of predators and parasites In Hoy M.A. & D.C. Herzog(eds.) Biological control in agricultural IPM systems, pp 201-227, Academic Press: New York
- Krebs, J. R. 1978 Optimal foraging Decision rules for predators. In Krebs, J.R. & N.B. Davis(eds.) Behavioral ecology An evolutionary approach, pp. 23-63, Blackwell Sci. Pub. Oxford.
- Lenteren, J. C., van & J. Woets 1988 Biological and integrated pest control in greenhouses *Annu Rev. Entomol.* **33**: 239-269.
- Pielou, E. C., 1969 An introduction to mathematical ecology. John Wiley and Sons, New York.
- Press, J. W., L. D. Cline and B. R. Flaherty. 1984 Suppression of residual populations of the rice weevil, *Sitophilus oryzae*, by the parasitic wasp, *Anisopteromalus calandrae*. *J. Georgia Entomol Soc* **19**(1): 110-113
- Price, P. W. 1970 Trail odors. Recognition by insects parasitic on cocoons. *Science* **170**: 546-547
- Ryoo, M. I., C. K. Yoo & Y. S. Hong. 1991. Influence of food quality for *Sitophilus oryzae*(Coleoptera: Curculionidae) on life history of *Lariophagus distinguendus*(Hymenoptera: Pteromalidae) Proc. 5th Int'l Working Conf on Stored Product Protection vol. 1: 211-219
- Ryoo, M. I. & Y. S. Chun, 1993. Oviposition behavior of *Callosobruchus chinensis*(Coleoptera: Bruchidae) weevil population growth. Effects of larval parasitism and competition *Environ Entomol* **22**(5): 1009-1015.
- Salt, G. W. 1970. Predation in an experimental protozoan population (*Woodruffia-Paramecium*) *Ecol Monogr* **37**: 113-114
- SAS Institute. 1988. SAS User's guide: Statistics, version 6.03 ed SAS Institute. Cary, N. C.
- 신상수 1989. 쌀바구미와 쌀바구미의 천적 *A. calandrae*와 *L. distinguendus*의 생태 고대 대학원 석사학위 청구논문.
- Shin, S. S., Y. S. Chun and M. I. Ryoo. 1994 Functional responses of *Anisopteromalus calandrae* and *Lariophagus distinguendus*(Hymenoptera. Pteromalidae) to the various densities of an alternative host. *Callo-*



- sobruchus chinensis* Kor. J. Entomol. **24**: 199-206
- Stehr, F. W. 1982 Parasitoids and predators in pest management pp. 135-173 In introduction to insect pest management(Second ed.), John Wiley & Sons: New York.
- Strner, R. E. 1977. Efficacy of inundative releases. *Ann Rev. Entomol* **22**: 515-531
- Thompson, S. N. 1986 Nutrition and *In Vitro* culture of insect parasitoids. *Ann. Rev Entomol* **31**: 197-219.
- Vinson, S. B. & G. F. Iwantsch. 1980. Host suitability for insect parasitoids. *Ann. Rev Entomol.* **25**: 397-419.

(1995년 7월 24일 접수)