韓應昆誌 44(3): 219～223 (2005)
Korean J. Appl. Entomol.

밤나무혹벌(*Dryocosmus kuriphilus*)의 기생천적 남색긴꼬리좀벌(*Torymus geranii*)에 관한 생물학

김철수 · 박일권* · 김종국[1] · 신상철 · 정영진 · 최광식
국립산림과학원 산림병해충과, [1]강원대학교 산림자원학부

Biology of Torymus geranii (Walker), a Parasitoid of Chestnut Gall Wasp *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu (Hymenoptera, Cynipidae)

Chul-Su Kim, IL-Kwon Park*, Jong-Kuk Kim[1], Sang-Chul Shin, Yeong-Jin Chung and Kwang-Sik Choi

Division of Forest Diseases and Insect Pests, Korea Forest Research Institute, Seoul, 130-012, Republic of Korea
[1]Department of Forest Resources Protection, Kangwon National University

ABSTRACT : *Torymus geranii* was found to be a ectoparasitoid attacking the larvae of *Dryocosmus kuriphilus*. *T. geranii* has longevity of a 42.8±9.8 days at 20℃ and 26.5±11.0 days at 25℃ under conditions supplied with 100% honeydew. Oviposition numbers at 20 and 25℃ were 22.3±12.5 and 42.2±18.4, respectively. The eggs were oval in shape, measuring 0.56±0.33 mm in length. The larvae, 2.94±0.18 mm in length, was white and length of male and female pupae were 2.01±0.18 mm and 2.73±0.09 mm, respectively. *T. geranii* had two generations with overwintering generation emerged on late May to early June at Chunchon, central part of Korea, however showed three generations with overwintering generation emerged on middle May to early June, the first one on late June to early July, and the second one on late July to earlyl August.

KEY WORDS : *Torymus geranii*, *Dryocosmus kuriphilus*, *parasitoid*, biology, chestnut tree, gall

초 록 : 남색긴꼬리좀벌은 밤나무혹벌의 유충을 공격하는 외부기생성 천적으로 판명되었다. 남색긴꼬리좀벌의 수명은 꿀 원액을 공급한 경우 20℃에서의 암컷성충 42.8± 9.8일이었으며 아무것도 공급하지 않은 경우 3.3±0.8일이었다. 산란수는 20℃에서 22.3±12.5개체, 25℃에서 42.2±18.4개체이었으며 산란초기에 다수 산란하는 경향을 보였다. 알은 장타원형으로 백색이며, 길이는 0.56±0.33 mm 이었고, 충방(gall chamber)당 1개의 알을 산란하나 중복하여 산란하는 경우도 관찰되었다. 유충은 백색이며 길이는 2.94±0.18 mm 이었고, 암컷 용의 길이는 2.73±0.09 mm, 숫컷 용의 길이는 2.01±0.18 mm로 암컷이 수컷에 비하여 컸다. 강원도 춘천지역에서는 년 2세대 발생했으며, 월동세대 성충발생기간은 5월 하순-6월 상순이었고 제1세대 성충발생기간은 6월 하순-7월 상순이었다. 경상남도 하동지역에서는 년 3세대 발생했으며, 월동세대 성충발생기간은 5월 중순-6월 상순, 제 1세대는 6월 하순-7월 상순, 제 2세대는 7월 하순-8월 상순이었다.

검색어 : 남색긴꼬리좀벌, 밤나무혹벌, 기생벌, 생물특성, 밤나무, 충영

밤나무(*Castanea crenata* S. et Z.)는 참나무과 밤나무속에 속하는 낙엽활엽교목으로 전국의 표고 100～1,100 m에 자생하고, 보통 수고 15～20 m, 흉고직경 1 m까지 자라며, 고려시대부터 구황식량으로 식재를 권장한 기록

*Corresponding author. E-mail: parkik1@foa.go.kr

이 있다(Korea Forst Research Institute, 2001). 밤나무 해충 중의 하나로 1958년경부터 밤나무혹벌(*Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu)이 발생하여 축파 · 단택 · 은기 · 유마 등에 충영이 관찰되었고(Park *et al.*, 1981) 최근에는 그 피해가 광양 · 하동 · 진주 · 산청 등지에도 심한 피해가 발생하고 있는 실정이다(Kim *et al.*, 2003). 이 해충은 유충기에 밤나무의 눈이나 엽맥 내에 벌레혹을 형성하고 그 속에서 생활하는데 화학적 방제의 경우 벌레혹 안으로 약제의 침투가 어려워 효과적인 구제가 어렵고, 성충 발생기간 동안에 한정하여 약제를 살포하는 경우 역시 광범한 지역으로의 살충제 적용으로 인해 유용천적의 감소 및 환경오염 문제 등 각종 부정적인 문제를 일으키기 쉽다. 따라서 이러한 제약조건을 해소할 수 있는 방법의 하나로 생물적 방제 필요성이 제기되고 있으며 이를 위해서는 개체군밀도조절에 관여하는 생물요인의 파악과 주요 생물요인의 생태학적 기초연구가 필요하다.

일본에서는 밤나무혹벌의 천적의 분포와 방사효과(Yasumatsu, 1958)에 대한 보고가 있었다. Huang과 Liao (1988)는 중국에 분포하는 밤나무혹벌의 천적에 대해 조사를 하였으며, Luo 등(1987)은 중국긴꼬리좀벌의 분포 및 생물학적 특성에 대해서 조사를 하였다. 국내의 경우 밤나무혹벌의 천적탐색(Kim, 1993; 1998) 및 우점 기생성 천적인 중국긴꼬리좀벌(*Torymus sinensis* Kamijo)의 생태특성(Kim, 1999) 등에 관한 연구가 일부 있을 뿐이다. 따라서 본 연구는 밤나무혹벌의 주요 기생천적 인 남색긴꼬리좀벌에 대하여 발육단계별 형태적 특성파악과 성충의 수명 및 성비, 산란, 우화소장 등 생태적 특성을 조사하여 생물적 방제의 기초 자료를 제공하고자 수행하였다.

재료 및 방법

미성숙 영충 및 성충의 형태관찰

춘천시 밤나무조림지의 고정 조사목에서 12월부터 익년 3월까지 기간 중에 전년에 형성된 갈색충영 및 5월부터 8월까지 기간 중에 당년에 형성된 녹색충영을 채집하였다. 채집한 충영은 해부현미경하에서 절개하여, 충방(gall chamber)내 밤나무혹벌 유충에 산란된 남색긴꼬리좀벌의 알과 발육중인 유충, 용을 수집하였다. 각 발육단계의 충체크기는 Image Analyzer와 디지탈캘리퍼스를 이용하여 측정하였으며, 유충은 Takagi(1970)의 방법을 응용하여 표본을 제작한 후 충체의 각 부분을 관찰 기록하였다. 성충의 경우, 암수의 크기 및 외부형태를 조사하였다.

성충의 난소난수, 산란전기간 및 산란수

난소 내의 알을 조사하기 위하여 우화직후의 암컷성충을 채집하여 10개의 사육용기(유리제품: 직경 5 cm, 길이 15 cm)에 15-20마리씩 넣고 벌꿀 원액을 먹이로 공급하며 사육하였다. 충분한 공시개체를 확보하기 위하여 10일 동안 동일한 방법을 반복하였다. 기생벌은 우화 당일부터 12일까지 2일 간격으로 10개체를 선택하여 해부현미경하에서 복부를 해부하여 난소난수를 검경하였다. 산란전기간을 파악하기 위하여 성충발생기간 중 매일 10-12시에 우화한 암수개체를 채집하여 유리용기(직경 14 cm, 길이 12 cm)에 넣고 사육하며 2시간 동안 교미여부를 확인하였다. 교미가 확인된 개체를 선별하여 시간(일)별로 당년에 형성된 건전한 충영에 방사한 뒤, 24시간 후 충영을 절개하여 산란여부를 확인하였다. 실험충영은 조사지에서 2월 중순부터 하순까지의 기간동안 밤나무 가지를 절취하여 실내에서 수삽하는 방법에 의하여 형성된 것과 야외의 밤나무가지에 망사를 씌워 기생벌이 산란하지 못하도록 한 것을 이용하였다. 이들 충영이 5개 이상 형성된 밤나무 가지를 절취하여 사육상(아크릴제작: 20×20×29 cm)내에 수삽한 후 1마리의 암컷을 방사하였다. 동일한 실험을 5반복으로 하여 4회 실시(총 20개체)하였으며 기생벌 성충의 먹이로 벌꿀 원액을 3일마다 새로이 공급하였고, 기주인 충영은 매일 새로운 개체로 교환하였다.

성비와 수명

성비는 강원도, 전라남도, 충청남도, 경상남도의 밤나무 집단 조림지(재래종 및 도입종)에서 2월 중에 충영(300개)을 채집하여 실험실의 실온(20℃-23℃)에 보관하며 우화하는 총 개체들을 실체현미경하에서 산란관의 유무를 관찰하여 암수를 판별하였다. 성충의 수명은 우화소장 조사시 10시-11시 사이에 우화한 개체를 이용하였다. 우화직후의 성충을 유리용기(직경 2 cm, 길이 6.5 cm)에 넣고 온도 20±1℃와 25±1℃에서 습도 65±5%, 광주기 16L: 8D의 항온항습조건에서 조사하였다. 성충의 먹이로 벌꿀 원액을 공급하며 조사하였고, 벌꿀의 공급은 원액을 솜에 묻혀 유리용기의 내벽에 붙여주는 방법으로 24시간마다 새로운 먹이로 교체하였다.

지역별 우화소장

강원도 춘천지역과 경상남도 하동지역에서 남색긴꼬리좀벌 우화소장을 조사하였다. 남색긴꼬리좀벌은 당년에

형성된 녹색충영(5월-8월)에서만 우화하므로 4월 이후 충영 형성된 시기부터 충영이 완전히 발육하는 8월까지의 기간동안에 7일 간격으로 충영을 채집하였다. 채집한 충영은 우화상(60×60×60cm)에 넣고 충영으로부터 우화하는 개체수를 기록하였는데, 녹색충영의 경우 채집 직후 우화상에 넣으면 습도가 높아 부패하므로 충영을 음지에 건조시킨 후에 실험에 이용하였다.

결과 및 고찰

발육단계별 형태의 기재

알 : 밤나무혹벌의 유충체표 혹은 충방(gall chamber) 내에 산란된 알은 백색으로 장타원으로 상부의 폭이 하부에 비하여 넓으며 난병(egg stalk)이 존재하나 중국긴꼬리좀벌보다 길이가 짧다. 길이는 0.56±0.03 ㎜, 폭0.14±0.00 ㎜이었다(그림 1A).

유충 : 유충의 체색은 백색이며 마디가 명료하며 길이는 2.94±0.18 ㎜이며 머리를 포함하여 15절이었다(그림 1B)

용 : 부속지는 몸체에 부착하여 용화하며, 몸은 백색이나 발육이 진행되면서 차츰 황색, 완전 성숙하면 흑색을 띠며 암컷의 용의 길이는 2.73±0.09 ㎜, 수컷의 길이는 2.01±0.18 ㎜로 암컷이 수컷에 비하여 컸다(그림 1C).

성충 : 암컷의 몸길이는 2.8 ㎜, 산란관의 길이는 3.1 ㎜이며 수컷 몸길이는 2.5 ㎜이었다. 두부는 청남색이며 광택을 띠었다. 복안과 단안은 적갈색이고 촉각은 12절이며 갈색이었다. 복부의 제 1. 2절은 담황색이며 다리의 밑마디는 남색이고 이후 담황색을 띠며 날개는 투명하였다(그림 1D).

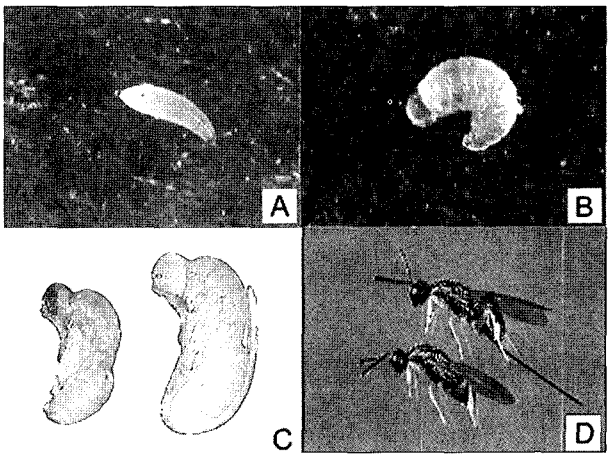


Fig. 1. Feature of each stage of *Torymus geranii* [A: egg, B: larva, C: pupa, female (right), male (left) D: female (up), male (down)]

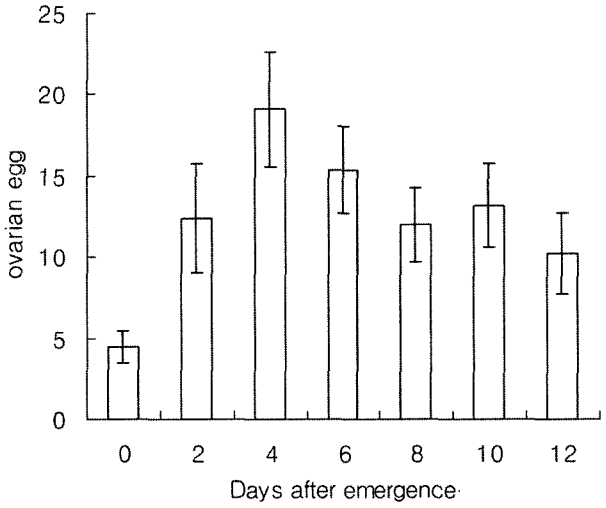


Fig. 2. Number of ovarian eggs of *Torymus geranii* after emergence.

산란전기간 및 난소난수, 산란수

남색긴꼬리좀벌 성충은 우화직후 바로 교미하는 행동이 관찰되었는데, 교미행동이 종료된 성충의 난소난수의 변화는 그림 2와 같다. 우화직후부터 난소 내에는 4.5개의 성숙란이 관찰되었으며 4일째까지 계속 증가하여 평균 19.1개로 피크에 달하였고 이후 점차 감소하였으며 우화 12일 후에는 10.2개이었다. 이와 같은 난소 내 알 수의 변화 및 산란 습성 등으로 미루어 본종은 성충 출현 후 난소가 발육하는 형태의 synovigenic 형으로 판단된다 (Flanders, 1956). 성충의 산란전기간은 표 1과 같이 20℃에서 4.1일, 25℃에서 3.2일로 저온에서 길었다. 산란수는 20℃에서 22.3±12.5개체, 25℃에서 42.2±18.4개체이었으며 산란초기에 다수 산란하는 경향을 보였다.

성비와 수명

강원도 춘천, 전라남도 나주, 충청남도 부여의 재래종밤나무와 경상남도 하동의 도입종밤나무에 형성된 충영으로부터 우화한 월동세대 및 제 1 세대의 성비는 표 2와 같다. 월동세대의 암컷비율은 재래종밤나무의 경우, 다른 지방에서 채집된 것에 비해 나주지방에서 59.7%로 통계적으로 유의하게 높았으나(x^2-검정 $p<0.05$), 그 외 지역에

Table 1. Preoviposition periods and reproductive potential of *Torymus geranii* under different temperature

Temperature	No. tested	Preoviposition period, day (mean±SD)	Reproductive potential (mean±SD)
20℃	20	4.1±1.2a*	22.3±12.5b
25℃	20	3.2±1.7a	42.2±18.4a

*Within a column, means with the same letter are not significantly different (P<0.05, ANOVA Tukey's studentized range test).

Table 2. Sex ratio of *Torymus geranii*

Investigation site	Chestnut Species	Female ratio (%)					
		2000		2001		2002	
		Mar.	Jul.	May.	Jul.	Mar.	Jul.
Chuncuon, Gangwon	Native	51.9	40.6*	48.8	46.1*	52.1	50.2
Naju, Chungnam	Native	59.7*	50.3	54.2	50.5	51.0	-
Buyeou, Chungnam	Native	51.4	-	49.6	-	50.2	-
Hadong, Gyeongnam	Native	51.2	50.3	47.9	51.7	52.3	-
	Foreign	48.2	69.6*	45.3	64.2*	51.2	66.1*

*Significantly different ($P < 0.05$, x^2 test)

서는 지역간, 연도 간 차이가 나타나지 않았으며 도입종 밤나무림에서도 재래종밤나무에서와 같이 성비의 차이는 나타나지 않았고 전반적으로 암수비가 1:1로 나타났다. 제1세대 암컷비율은 춘천지역의 재래종 밤나무림에서 조사 년도 별로 차이가 나타나, 2000년, 2001년에 각 40.6%, 46.1%로 2002년에 비해 낮게 나타났으나(x^2-검정 $p< 0.05$), 그 외 지역에서의 연도간 성비의 차이는 나타나지 않았다. 그러나 도입종 밤나무의 경우는 암컷 비율이 64.2-69.6%로 다른지역 1세대 암컷 비율보다 현저히 높게 나타났다 (x^2-검정 $p<0.05$). 이와 같이 도입종밤나무의 충영으로부터 우화한 월동세대 성비가 세대 간에 다른 원인에 대하여는 기생천적의 성비가 환경조건이나 기주의 조율에 영향을 받는다는 보고(Sandlan, 1979)에서 제시된 것처럼 기주 및 생식과 관련한 앞으로 상세한 검토가 필요하다고 생각되었다.

한편 먹이종류 및 온도(20℃, 25℃)에 따른 남색긴꼬리좀벌의 성충수명을 조사한 결과는 표 3과 같다. 기생벌의 수명은 먹이를 공급하지 않았을 때 매우 짧아 모두 5일 이내에 사망하였다. 꿀 원액을 공급한 경우, 수컷보다는 암컷이, 고온에서보다는 저온에서의 생존기간이 긴 경향을 보였으며, 20℃에서의 암컷 성충 수명은 약 43일로 가장 길었다.

Table 3. Effects of food and temperature on the longevity of *Torymus geranii*

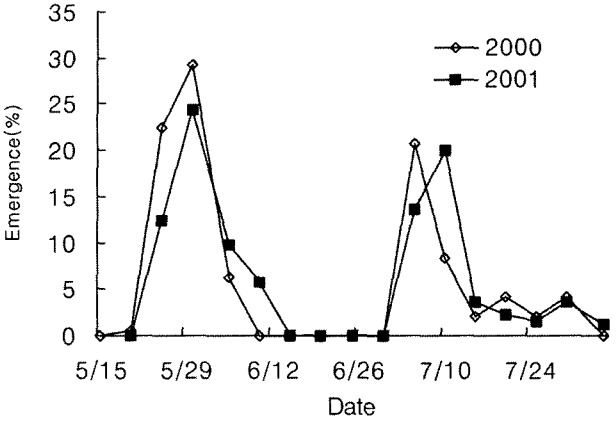
Food	Temperature	Sex	No. of individuals examined	Longevity (Days±SD)
Honey	20℃	♂	20	27.5± 6.8b*
		♀	20	42.8± 9.8a
	25℃	♂	20	20.4± 6.6b
		♀	20	26.5±11.0b
None	20℃	♂	20	2.3± 0.5c
		♀	20	3.3± 0.8c
	25℃	♂	20	2.1± 0.4c
		♀	20	2.0± 0.8c

*Within a column, means with the same letter are not significantly different (P<0.05, ANOVA Tukey's studentized range test).

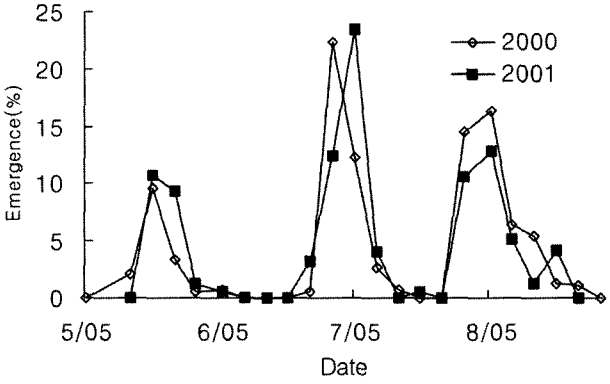
우화소장

강원도 춘천지역에서(그림 3A), 2000년 최초우화일은 5월 20일이었고 종료일은 7월 30일이었으며 2001년 최초우화일은 5월 25일, 종료일은 8월 5일이었으며 조사년도 5월 하순과 7월 초순에 모두 2회의 피크기간이 뚜렷하게 나타나 년 2세대를 경과하는 것으로 사료되며 제1세대는 전년도 형성된 충영에서 서식하며 제 2세대는 이듬해 형성된 충영에 서식하는 것으로 사료되었다. 경상남도 하동지역에서(그림 3B), 2000년 최초우화일은 5월 15일, 종료일은 8월 25일이었고, 2001년 최초우화일은 5월 20일, 종료일은 8월 20일이었으며 조사년도 모두 3회 피크기간이 뚜렷하게 나타났다. 따라서 남부지방에서는 년 3세대 경과하는 것으로 파악되었다. 제1세대는 전년도 형성된 충영에서 서식하며 제2대 및 제3세대는 이듬해 형성된 충영에 기생하는 것으로 사료되었다.

금후 온도와 관련한 우화소장, 기주와의 동조성에 대한 조사 등 밤나무혹벌의 생물적 방제를 위한 응용적인 연구가 추진되어야 할 것이다.



(a)



(b)

Fig. 3. Seasonal occurrence of *Torymus geranii* in Chunchon, Gangwon (A) and Hadong, Gyeongnam (B)

Literature Cited

Flanders, S. E. 1956. The mechanism of sex ratio regulation in the Hymenoptera. Ins. Soc. 3: 325~334.

Huang, J. and Y. Liao. 1988. Studies of the natural enemies of chestnut gall wasp in China. Scientia silvae sinicae. 24: 162~169.

Kim C. S., J. K. Kim, J. D. Park, S. C. Shin, I. K. Park and K. S. Choi. 2003. Effect of *Dryocosmus kuriphilus* (Hymenoptera: Cynipidae) damage on shoot growth and fruition of chestnut trees. Jour. Korean For. Soc. 92: 222~226.

Kim J. K. 1993. Natural enemies of *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu (Hymenoptera: Cynipidae) and their seasonal prevalence of adult emergence in Korea. Korea J. Appl. Entomol. 32: 285~290.

Kim J. K. 1998. Studies on the parasitoids of chestnut gall wasp, *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu (Hymenoptera: Cynipidae) in Korea. Jour. Korean For. Soc. 87: 475~482.

Kim J. K. 1999. Biological studies on *Torymus sinensis* Kamijo (Hymenoptera, Torymidae), a parasitoid of chestnut gall wasp *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu (Hymenoptera, Cynipidae). Korea J. Appl. Entomol. 38: 85~91.

Korea Forest Research Institute. 2001. Management technology of chestnut tree cultivation. 366 pp.

Luo, Y., J. Huang and D. Liao. 1987. Studies on the distribution and biology of *Torymus sinensis* Kamijo. J. Bei. For. Univ. 9: 47~56.

Park J. D., S. O. Lee, K. N. Park and J. H. Ko. 1981. Ecology and damage of *Dryocosmus kuriphilus*. Research Report of Forest Station. 28: 197~205.

Sandlan, K. 1979. Sex ratio regulation in *Coccygomimus turionella* Linnaeus (Hymenoptera, Icheneumonidae) and its ecological implications. Ecol. Entomol. 4: 365~378.

Takagi, S. 1970. A new method for making balsam mounts of small insects. Shokubutsuboeki 24: 393~396.

Yasumatsu K. 1958. Investigation on the distribution and release of natural enemies of the chestnut gall wasp. Report Appl. Res. Min. Agr. Forest. Tokyo 1958: 35~59.

(Received for publication 30 May 2005;
accepted 22 August 2005)