

애기뽕소똥구리(*Copris tripartitus* Waterhouse)의 발육에 미치는 온도의 영향

방혜선* · 나영은 · 김명현 · 노기안 · 이정택
농업과학기술원, 환경생태과

Effect of Temperature on the Development of *Copris tripartitus* Waterhouse (Coleoptera: Scarabaeidae)

Hea-Son Bang*, Young-Eun Na, Myung-Hyun Kim, Kee-An Roh and Jung-Taek Lee

Agricultural Ecosystem, Environmental Ecology Division, National Institute of Agricultural and Technology, RDA, Suwon Gyeonggi, 441-707

ABSTRACT : *Copris tripartitus* Waterhouse is a coprophagus insect which enhances the soil fertility as conveying dung into the soil. We compared preimaginal development, mortality, and size of *C. tripartitus* at various temperature condition (15, 17.5, 20, 25, 27.5, 30). Total preimaginal periods ranged from 118.0d at 17.5°C to 49.3d at 27.5°C. Development threshold temperature (DT) and total effective temperature for the development of egg, larva, pupa and for complete development (egg to emergence) were 12.1, 11.2, 12.1 and 9.2°C and 82.7, 462.0, 225.7 and 947.2 degree days, respectively. The mortality of egg and larva was the lowest at 25°C. The optimum temperature for hatchability and on the development of *C. tripartitus* was estimated to the 25°C.

KEY WORDS : Dung beetle, *Copris tripartitus*, Developmental threshold temperature, Day-degrees

초 록 : 토양의 비옥도를 높여주는 분식성 곤충으로써 우리나라에 서식하고 있는 애기뽕소똥구리(*Copris tripartitus*)의 발육생태를 각 온도에서 관찰하였다. 대량증식 및 환경변화 모델 적용을 위해 15, 17.5, 20, 25, 27.5 및 30°C(16L:8D)에서 발육실험을 한 결과 알에서 우화까지의 발육기간은 17.5°C에서 118.0일 이고, 27.5°C에서는 49.3일이었다. 온도가 높을수록 짧은 발육기간을 보였으며, 알, 유충,蛹, 알에서 우화까지의 발육영점온도와 유효적산온도는 각각 12.1, 11.2, 12.1, 9.2°C, 그리고 82.7, 462.0, 225.7, 947.2일도이었다. 난 및 유충의 발육단계에서 사망률은 25°C에서 가장 낮게 나타나 애기뽕소똥구리의 성장에 적합한 온도는 25°C이었다.

검색어 : 소똥구리, 애기뽕소똥구리, 발육영점온도, 유효적산온도

소똥구리류는 목초지에서 우분을 지하로 운반함으로써, 우분을 발생원으로 하는 파리의 발생 억제, 토양의 비옥화와 물리성 개선, 우분과 함께 배설된 가축내부기생충 방제 및 소똥구리가 활동한 토양에 식물체의 성장 촉진 등의 효과가 있어 생태계에 있어 매우 중요한 경제곤충의

하나로 꼽히고 있다(Bornemissza and Williams, 1970; Fincher, 1981; Bang *et al.*, 2005).

우리나라에 서식하고 있는 소똥구리류는 약 65종으로 기록되어 왔지만(Paik, 1976), 최근 20년간 분포조사 결과 농약 및 토양의 오염과 더불어 그 종과 수가 급격한 감소

*Corresponding author. E-mail: banghs1@rda.go.kr

추세에 있는 것으로 나타났다(Kim, 1994). 이러한 추세는 목축업이 농업기반에 많은 비중을 차지하는 호주나 캐나다에서도 나타나는 현상으로 이들 국가에서는 소똥구리의 보존과 증식에 심혈을 기울일 뿐 아니라 외국으로부터 적절한 종을 수입하여 정착시키기 위해 다양한 연구가 수십 년에 걸쳐 활발히 진행되어 왔고, 호주 CSIRO와 일본 동북농업시험장에서는 이를 실용화하는데 성공한바 있다(Blume and Aga, 1976; Bornemissza, 1976; Ridsdill and Kirk, 1985; Tyndale-Biscoe, 1988, Tyndale-Biscoe and Walker, 1992; Yamashita and Hayakawa, 1991, 1992). 현재는 증식된 소똥구리의 정착 및 밀도 유지를 위해 목장에서 사용하는 항생제 농도규제 및 비표적 생물에 미치는 영향을 최소화하기 위한 연구들이 진행되어 곤충을 이용한 친환경적 농법을 이행하고 있다(Wardhaugh and Mahon, 1991; Wardhaugh *et al.*, 2001; Kevin *et al.*, 2005). 우리나라에서 소똥구리에 대한 연구는 분류 및 계절적 소장에 관한 보고(Kim, 1994) 및 *Copris* 계통의 생태에 관한 약간의 보고(Bang *et al.*, 2000, 2001, 2004)가 있을 뿐 많은 부분에서 다양한 연구의 접근이 필요한 상태로, 최근 친환경농법에 대한 관심이 고조되면서 목장에서 분식성 곤충을 이용하여 토지를 비옥하게 함으로써 비료사용을 줄이는 방안이 고려되고 있어 소똥구리류에 대한 다양한 정보가 요구되는 시점에 있다(Bang *et al.*, 2005). 한편, 최근 지구 생태계에 많은 변화를 가져다주고 있는 지구 온난화와 관련하여 온도가 상승했을 경우 분식성 곤충의 밀도에는 어떠한 영향을 줄 것인지 더 나아가서는 분해나 물질 순환에 어떠한 변화가 올 것인지에 대한 관심이 집중되고 있다. 본 연구는 소똥구리류 중 우리나라 대부분의 목초지에 서식하며 기초생태가 밝혀져 있는 애기똥소똥구리(*Copris tripartitus* Waterhouse)의 효과적인 사육과 지구 온난화에 따른 애기똥소똥구리의 분포 변동 예측에 따른 기초 자료를 얻기 위해 선행되어야 하는 몇 가지 시험을 수행하였다.

재료 및 방법

실험곤충의 사육

애기똥소똥구리 성충은 제주 한라산 600-700 m 고지에서 함정트랩을 이용하여 채집하였고, 먹이는 주 1회 100 g 공급을 기본으로 하여, 공급한 우분의 분해도와 우분의 상태에 따라 추가 공급하였다(Bang *et al.*, 2001). 성충

의 사육은 작물을 재배하는 발토양(모래 63%, 미사 18%, 점토 9%)을 10~20 cm 깊이로 채취하여 2 mm 체로 선별한 후 4 l의 토양에 250 ml의 수분을 가하여 사육토양으로 사용하였고, 5 l 투명 아크릴 용기(지름 15, 높이 25 cm)에 암수 1쌍씩 사육하였으며, 성충의 사육기간 동안 평균온도는 23-26°C를 유지하였다.

온도별 발육조사

각 온도에 따른 애기똥소똥구리 난의 발육기간을 조사하기 위해 매일 사육용기를 조사하여 당일 산란된 난을 가는 붓을 이용하여 brood ball로부터 채취한 후 5 ml의 수분을 적신 흡습지가 깔린 Petri-dish에 옮겼다. 각 온도(10, 15, 17.5, 20, 25, 27.5, 30°C)에서 암조건으로 난 발육을 관찰하였다(Kirk and Kirk, 1990). 부화한 유충은 25 ml 플라스틱 컵 용기에 살균한 우분 20 g을 공급하였으며, 곰팡이나 다른 이물질이 발생했을 경우에는 용기와 우분을 교체하였다. 각 단계의 유충탈피는 두부의 크기로 판단하였고(Hunter *et al.*, 1996), 두부의 크기는 디지털 버니어캘리퍼스(Mitutoyo, CD-15CP)를 이용하여 mm 수준까지 측정하였으며, 각 단계의 무게는 탈피 후 24시간 이내 측정되도록 매일 같은 조사 시간대에 관찰하였다. 탈피한 유충은 탈피각을 가지고 있어 각 령의 탈피를 쉽게 판단할 수 있었다. 유충 발육은 15, 17.5, 20, 25, 27.5, 30°C, 상대습도 50-60%, 암조건에서 사육하였고, 각 단계의 발육기간을 조사하였다. 발육영점온도는 각 온도별 발육기간의 역수와 온도와의 관계 직선식을 구하고, 그 직선이 X-축과 만나는 점을 계산하여 산출하였다. 유효적산온도는 $DD = d(T-DT)$ 의 공식에 따라 각 실험온도별 유효적산온도를 구하고, 그 값들을 평균하여 각 발육단계의 유효적산온도를 산출하였다. 위 식에서 d 는 실험온도에서의 발육기간, T 는 실험온도, DT 는 발육영점온도이다(Pruess, 1983; Kirk and Kirk, 1990). 자료 분석은 SAS 프로그램(SAS Institute, 1991)의 PROC GLM을 이용하여 ANOVA를 실시하였으며, Tukey 검정법을 사용하여 평균간 차이를 비교하였다.

결과 및 고찰

사망률

애기똥소똥구리의 알 사망률을 10°C에서 30°C까지 조

Table 1. Developmental periods (days, Mean±SD) and mortality of *Copris tripartitus* eggs at different temperatures

Temperature (°C)	Developmental period	Range(D)	Mortality (%)
10.0	1) ¹⁾	-	100.0
15.0	27.1±3.1a ²⁾	23-33	21.1
17.5	13.1±2.8b	10-19	37.5
20.0	10.6±1.8b	7-14	41.7
25.0	7.7±1.9c	6-12	2.5
27.5	5.6±1.1d	4-8	10
30.0	4.2±1.3d	2-6	33.3

¹⁾ Not survived

²⁾ Means followed by the same letter are not significantly different (p=0.05; Tukey's studentized range test, SAS Institute, 1991)

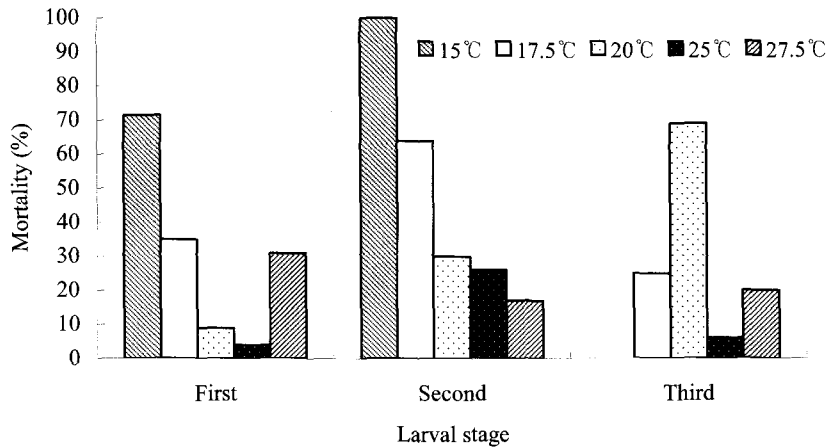


Fig. 1. Stage-specific mortality of *Copris tripartitus* under 5 constant temperatures under held at a photoperiod of 16L:8D and 50-70% RH. No larvae reached in third larva stage at 15°C.

사했을 때, 10°C에서는 알이 부화하지 못하였고, 15°C에서 20°C까지는 온도가 높아질수록 사망률은 높아지다가, 25°C에서 사망률이 2.5%로 낮았으며, 27.5°C에서 다시 사망률이 증가되는 경향을 보였다(Table 1). 유충은 15°C 및 17.5°C 등의 낮은 온도에서 발육하지 못하고 사망하는 개체가 많았으며, 알과 같이 25°C에서 가장 낮은 사망률을 보였고, 다시 27.5°C부터 사망률이 높아지는 경향을 나타내었다(Fig. 1).

두폭과 체중

3령 유충의 두폭은 온도에 따라 통계적으로 차이가 나타나지 않았고, 용의 체폭은 17.5°C와 27.5°C에서 20°C와 25°C에서보다 유의하게 작았다(Table 2). 3령 유충의 무게는 27.5°C에서 0.72 g으로 가장 무거웠지만 용의 무게는 25°C에서 0.77 g으로 가장 무거웠다(Table 2). 27.5°C 온도는 25°C에서보다 두폭과 체중이 작아져 애기뿔소뿔구

리 유충 및 번데기의 발육에 있어 적절한 온도 조건이 되지 않는 것으로 나타났다.

온도가 발육에 미치는 영향

애기뿔소뿔구리는 1년 1회의 산란시기를 가지며 암컷 1마리가 산란시 3-4개의 brood ball을 만들고 1개의 brood ball내에 1개의 알을 산란하는 것으로 알려져 있다(Bang et al., 2000). 따라서, 발육시험을 처음 시작 했을 때 처리한 알은 각 온도마다 10-40개 내외였으며 부화율과 각령 기간 동안의 치사율이 달라 발육기간을 산정하는데 이용된 유충의 수는 일정하지 않았다(Table 3). 애기뿔소뿔구리 알의 발육기간은 15°C에서 27.1일이고, 30°C에서 4.2일로 처리온도가 증가함에 따라 발육기간이 짧아지는 곤충의 일반적인 경향을 보였고, 유충 발육과는 달리 15°C와 30°C에서도 부화하는 것으로 나타났으며, *C. hispanus* 종의 알이 15°C부터 30°C까지의 온도 범위에서

Table 2. Head width and weights (Mean±SD) of *Copris tripartitus* at 4 constant temperatures

	Temperature (°C)			
	17.5	20.0	25.0	27.5
Head width of III larva (mm)	3.83±0.14a (6) ¹⁾	3.96±0.33a ²⁾ (14)	4.06±0.14a (16)	4.07±0.27a (13)
Body width of pupa (mm)	7.14±0.25b (4)	8.61±0.13a (6)	9.26±0.88a (9)	7.90±0.14b (5)
Weights of III larva (g)	0.38±0.04b (4)	0.52±0.16ab (5)	0.57±0.16ab (7)	0.72±0.17a (6)
Weights of pupa (g)	0.38±0.05b (4)	0.63±0.06ab (5)	0.77±0.15a (8)	0.63±0.22ab (4)

¹⁾ Number of individuals tested

²⁾ Means in the same row followed by the same letter are not significantly different ($p=0.05$; Tukey's studentized range test, SAS Institute, 1991).

Table 3. Developmental periods (Mean±SD) of larva and pupa of *Copris tripartitus* at different temperatures

Developmental stage	Temperature (°C)				
	15	17.5	20	25	27.5
1st instar	12.0±0.0a (3) ¹⁾	8.8±1.6ab ³⁾ (11)	7.3±1.7b (23)	4.7±1.2c (23)	4.4±0.6c (18)
2nd instar	- ²⁾	10.8±2.1a (4)	8.6±1.6a (16)	5.1±1.1b (17)	4.6±0.8c (15)
3rd instar	-	45.3±5.5a (3)	32.0±1.4b (5)	20.5±1.2c (16)	22.4±2.0c (12)
Pupa	-	37.0a (1)	31.5±0.7b (2)	18.4±1.6c (12)	14.0±0.0d (3)
Egg to adult	-	118.0a (1)	92.5±2.1b (2)	57.0±4.1c (12)	49.3±1.5d (3)

¹⁾ Number of individuals tested

²⁾ Not survived

³⁾ Means in the same row followed by the same letter are not significantly different ($p=0.05$; Tukey's studentized range test, SAS Institute, 1991).

발육할 수 있다는 Kirk(1990)의 연구와 동일한 결과를 나타냈다(Table 1). 그러나, 30°C에서 알 사망률이 33.3%로 20°C에서와 같이 높은 수치를 나타내어 알의 발육에 가장 적합한 온도 범위는 사망률이 낮은 25°C에서 27.5°C로 추정된다. 알의 발육속도와 온도간에는 온도가 높아질수록 발육속도가 빨라지는 직선관계를 나타내었다(Table 4).

각 온도별 유충의 발육기간은 1령 유충이 15°C에서 12.0일, 27.5°C에서 4.4일로 알 기간과 같이 온도가 높을수록 발육기간은 짧았으며, 27.5°C에서는 15°C보다 발육기간이 2.7배 정도 짧았다(Table 3). 2령 유충의 발육은 15°C에서는 한 개체도 발육하지 못했고, 17.5°C에서는 10.8일, 27.5°C에서 4.6일의 발육기간을 보였으며, 1령과 2령의 발육속도와 온도 간에는 온도가 높아질수록 발육속도가 빨라지는 직선관계를 나타내었다. 3령 유충의 발육기간은 17.5°C에서 45.3일, 27.5°C에서 22.4일로 27.5°C에서 17.5°C보다 2배 정도 짧은 발육기간을 보였고, 1령과 2령의 발육에서와는 달리 27.5°C에서 25°C에서의 발육기간에 비해 오히려 2일 정도 길어지는 경향을 보였다(Table 3). 온도와 발육기간 사이에는 유의한 차이가 있어 애기뿔소똥구리 유충의 발육이 온도조건에 민감함을 알 수 있었다. 이와 같은 연구결과는 애기뿔소똥구리가 6월에 산란되어

7, 8월에 지하 15-20 cm 부근에서 발육이 되고 유충발육 단계에서 애기뿔소똥구리가 많이 서식하고 있는 제주도 한라산 700 m 고지의 지온은 평균 28°C 이상이 되는 것으로 나타나(Bang *et al.*, 2004), IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)의 보고에 따른 지구온난화에 의해 2100년 1.4-5.8°C의 기온 상승을 보인다면(IPCC, 2001), 우리나라에서 애기뿔소똥구리와 같이 한여름동안 유충 성장을 하는 분식성 곤충의 발육에 상당한 저해요인으로 작용할 가능성이 있어 애기뿔소똥구리 밀도 변동에 악영향을 줄 것으로 예측된다. 한편, 각 온도에서 번데기의 발육기간은 17.5°C에서 37.0일, 27.5°C에서 14.0일로 알과 같이 온도가 높아질수록 발육기간이 짧아졌다. 번데기의 발육속도와 온도 간에는 직선적 관계를 나타내었으며, 온도가 높아질수록 발육속도가 빨랐다. 알, 유충, 번데기의 온도에 따른 발육특성을 볼 때 애기뿔소똥구리의 발육최적온도는 발육기간이 짧고 사망률이 낮은 25°C와 27.5°C 대의 온도 범위일 것으로 사료된다.

발육영점온도와 유효적산온도

선형회귀식을 이용하여 애기뿔소똥구리의 발육속도(1/

Table 4. Development threshold temperatures (DT) and effective temperature (DD) for egg, larval, and pupal stages of *Copris tripartitus*

Developmental stage	Regression equation ¹⁾	r ²	DT (°C)	DD (degree day)
Egg	y = 0.0121t - 0.1459	0.95	12.1	82.7
1st instar	y = 0.0112t - 0.0850	0.99	7.6	89.2
2nd instar	y = 0.0114t - 0.1104	0.99	9.7	87.1
3rd instar	y = 0.0023t - 0.0156	0.81	6.8	443.9
larva	y = 0.0022t - 0.0246	0.98	11.2	462.0
Pupa	y = 0.0044t - 0.0530	0.97	12.1	225.7
Egg to emergence	y = 0.0011t - 0.0101	0.99	9.2	947.2

¹⁾ Y=ax+b where y is development rate and x is the temperature (°C)

발육기간)와 온도와의 관계를 분석한 결과 Table 4와 같다. 결정계수(r²)는 대부분 0.95이상이었으나 3령충에서는 0.81로 다소 낮았다. 발육영점온도와 유효적산온도는 각각 알이 12.1°C, 82.7일도, 유충이 11.2°C, 462.0일도, 번데기가 12.1°C, 225.7일도, 알에서 우화까지 전체기간에 대한 발육영점온도와 유효적산온도는 9.2°C, 947.2일도 이었다. 유충에서의 발육영점온도의 추정값은 15°C 이하였으나, 실제 15°C에서는 유충 발육이 완료 되지 않았다.

소똥구리류는 brood ball 안에서 알이 부화하고 성충으로 우화할 때 까지 암조건에서 발육되며 특히 외부 환경에 노출되지 않는 특성으로 인해 온도별 각 발육단계에 따른 특성을 조사한 결과는 흔히 않다. 특히, *Copris* 류는 알에서 우화할때까지 어미의 특별한 보호를 받는 반사회성 곤충으로 알려져 있어 자연조건 상태가 아닌 실험실내에서의 발육단계 관찰은 시도된 바가 없다(Halfpter and Edmonds, 1982). Kirk and Kirk(1990)는 유럽종인 *Copris hispanus*와 *Bubas bison*의 알 발육특성을 조사하였는데, 알에서의 발육영점온도는 각각 7.2, 11.1°C, 유효적산 온도는 각각 169, 117일도로 이들에 비해 애기똥소똥구리 알의 발육영점온도는 다소 높고, 유효적산온도는 짧은 경향을 나타내었다.

애기똥소똥구리는 개체수가 현저하게 감소되고 가까운 장래에 멸종위기에 처할 우려가 있어 환경부에서 지정한 멸종위기 야생동물 II급의 곤충류 15종중 1종으로, 최근 여러 지자체에서 굴리는 소똥구리종과 함께 애기똥소똥구리의 복원에 관심을 가지고 있다. 또 목장에서 곤충을 이용한 친환경농업을 실현하기 위한 노력이 진행되고 있는 시점에서 애기똥소똥구리의 온도에 따른 발육 특성 이해는 실내사육이나 생태 이해 전반에 많은 도움을 주리라 생각된다.

이상의 결과를 종합하면 실내에서 애기똥소똥구리를

사육할 경우 발육기간이나 사망률, 크기 등을 고려해 볼 때 25°C가 가장 적합한 온도조건인 것으로 나타났다.

Literature Cited

- Bang, H.S., I.Y. Mah, S.J. Hwang and J.I. Kim. 2000. Ecological characteristic of the dung beetle, *Copris tripartitus* Waterhouse (Coleoptera: Scarabaeidae) in indoor rearing. Korean J. Entomol. 30(2): 85-89.
- Bang, H.S., C. Huerta, J.I. Kim and T.W. Goo. 2001. Studies on the ecology of oviposition of *Copris tripartitus* Waterhouse (Coleoptera: Scarabaeidae). Korean J. Entomol. 31(4): 237-242.
- Bang, H.S., O.S. Kwon, S.J. Hwang and Y.I. Mah. 2004. Developmental biology and phenology of a Korean native dung beetle, *Copris ochus* (Motschulsky) (Coleoptera: Scarabaeidae). The Coleopterists Bulletin 58(4): 522-533.
- Bang, H.S., J.H. Lee, O.S. Kwon, Y.E. Na, Y.S. Jang and W.H. Kim. 2005. Effects of paracoprid dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) on the growth of pasture herbage and on the underlying soil. Applied Soil Ecology 29: 165-171.
- Blume, R.R. and A. Aga. 1976. *Phanaeus difformis* Leconte (Coleoptera: Scarabaeidae): Clarification of published descriptions, notes on biology, and distribution in Texas. Coleopt. Bull. 30: 199-205.
- Bornemissza, G.F. 1976. The Australian Dung beetle Project 1965-1975. Aust. Meat Res. Comm. Rev. 30: 1-32.
- Bornemissza, G.F. and C.H. Williams. 1970. An effect of dung beetle activity on plant yield. Pedobiologia 10: 1-7.
- Fincher, G.T. 1981. The potential value of dung beetles in pasture ecosystems. J. Ga. Entomol. Soc. 16: 316-333.
- Halfpter, G. and W.D. Edmonds. 1982. The nesting behavior of dung beetles (Scarabaeinae): An ecological and evolutionary approach. 176 pp. Instituto de Ecologia, Mexico, D.F.
- Hunter, III, J.S., G.T. Fincher and D.C. Sheppard. 1996. Observation on the life history of *Onthophagus depressus* (Coleoptera: Scarabaeidae). J. Entomol. Sci. 31: 63-71.
- IPCC. 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Houghton et al. (Eds). 944 pp. Cambridge University Press, UK.
- Kevin, D.F., K.G. Wardhaugh, A.B.A. Boxall and T.N. Sherratt.

2005. Fecal residues of veterinary parasitocides: Nontarget effects in the pasture environment. *Annu. Rev. Entomol.* 50: 153-179.
- Kim, J.I. 1994. Seasonal periodicities and faunal change by the times on Scarabaeidae from South Korea based in recent 20 years. *Nature Conservation.* 87: 35-45.
- Kirk, A.A. and G. Kirk. 1990. Effect of temperature on egg development in *Copris hispanus* L. and *Bubas bison* (L.) (Coleoptera: Scarabaeidae). *J. Aust. Ent. Soc.* 29: 89-90.
- Paik, W.H. 1976. Biology of the dung beetles in Korea. Seoul Natl. Univ., Coll. of Agric. Bull. 1: 153-194.
- Pruess, K.P. 1983. Day-degree methods for pest management. *Environ. Entomol.* 12: 613-619.
- Ridsdill smith, T.J. and A.A. Kirk. 1985. Selecting dung beetles (Scarabaeidae) from Spain for bush fly control in south western Australia. *Entomophaga.* 30: 217-223.
- SAS Institute. 1991. SAS/STAT User's Guide: Statistics, version 6.04. SAS Institute, Cary, N.C.
- Tyndale-Biscoe, M. 1988. The phenology of *Onitis alexis* (Coleoptera: Scarabaeidae) in the Araluen Valley: Survival in a marginal environment. *Aust. J. Ecol.* 13: 431-443.
- Tyndale-Biscoe, M. and J. Walker. 1992. The phenology of the native dung beetle *Onthophagus australis* (Guerin)(Coleoptera: Scarabaeinae) in south-eastern Australia. *Aust. J. Zool.* 40: 303-311.
- Wardhaugh, K.G. and R.J. Mahon. 1991. Avermectin residues in sheep and cattle dung and their effects on dung-beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) colonization and dung burial. *Bulletin of Entomological Research.* 81: 333-339.
- Wardhaugh, K.G., P. Holter and B. Longstaff. 2001. The development and survival of three species of coprophagous insect after feeding on the faeces of sheep treated with controlled-release formulations of ivermectin or albendazole. *Aust. Vet. J.* 79(2): 125-132.
- Yamashita, N. and H. Hayakawa. 1991. Reproduction of a dung beetle, *Onthophagus gazella*, fed with frozen dung of pastured cattle. *Jpn. J. Sanit. Zool.* 42(3): 245-258.
- Yamashita, N. and H. Hayakawa. 1992. Mass rearing method of introduced dung beetle, *Onthophagus gazella* Fabricius, at room conditions. *Bull. Tohoku. Natl. Agric. Exp. Stn.* 86: 89-101.

(Received for publication October 31 2007;
accepted December 6 2007)