한국환경농학회지 제28권 제3호 (2009)
Korean Journal of Environmental Agriculture Vol. 28, No. 3, pp. 238-242

연구보문

우분 분해에 대한 지렁이와 소똥구리의 상호작용

방혜선 · 나영은* · 정명표 · 김명현 · 한민수 · 강기경 · 이덕배

국립농업과학원 기후변화생태과

(2009년 6월 29일 접수, 2009년 9월 22일 수리)

Interaction between Earthworm and Dung Beetles on Cattle Dung Decomposition

Hea-Son Bang, Young-Eun Na*, Myung-Pyo Jung, Myung-Hyun Kim, Min-Su Han, Kee-Kyung Kang, and Deog-Bae Lee (Agro-Ecosystem, Environmental Ecology Division, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, 441-707)

ABSTRACT: The effect of earthworm and dung beetle on cattle dung pat decomposition was assessed by combining quantification of earthworm density and with or without dung beetle in pats and measurements of the decomposition rate of these pats. Cattle dung decomposition rate was higher in the pots treated with both earthworm and dung beetle than in the pots with either earthworm or beetle alone. After dung beetle and earthworm activity, the growth of oat in earthworm with dung beetle treatment was similar effect with fertilizer treatment. Dung beetle was responsible for dung decomposition until 78% moisture content in the dung, earthworm was responsible for up to 30% moisture of dung, and two group were not shown any activity for decomposition less 30% moisture content of dung. Therefore dung in the different periods could be broken down by each group. The disappearance and conveyance of dung by earthworm and dung beetle was 72% of the initial dung amount. 10.2% of 72% dung was used making brood balls by dung beetle. Earthworm activity was not an impediment on making brood balls by dung beetles. The interaction of earthworm and dung beetle may have a complementary cooperation rather than competition in the same dung pat. Indeed, development of earthworm accelerate to coexist with dung beetles instead without dung beetles. From this result, maximum benefits of the effective earthworm and dung beetle can be achieved, it is needed to preserve population of earthworm and dung beetles in pasture to sustainable agricultural environment.

Key Words: Decomposition, interaction, dung beetle, earthworm

서 론

토양동물은 생태계에 있어 유기물 분해, 양분 재순환 및 동식물 등의 포식자/분해자로서 생태계의 중요 구성요소의 하나이다[1-3]. 토양동물 중 지렁이를 중심으로 한 분식성 동물군은 유기물 분해, 토양 비옥도 증가, 토양 물리성 개선, 먹이사슬 등 토양에 이로운 역할을 하는 대표적인 생물이다[4-8]. 지렁이 및 소똥구리는 우분의 1차 분해에 관여하는 분식성 절지동물로 알려져 있다[5]. 지렁이 성충 1마리는 연간 190~250 g의 우분을 처리할 수 있는 것으로 보고되어 토양의 구조변화와 유기물을 분해하는 데 있어 뛰어난 동물군으로 알려져 있고[9], 소똥구리 또한 우분을 처리하여 식물체의 생장을 촉진하는 효과가 뛰어난 것으로 보고되어 왔다[10]. 하지만, 서식처의 상실, 각종 농약의 사용과 토양의 오염 등으로 인해 분식성 토양동물의 밀도가 줄어들고 있는 추세이다.[11-15]

우리나라에 서식하는 지렁이는 101종, 소똥구리는 65종(소똥풍이 포함)이 있다[16-18]. 이 중 줄지렁이(*Eisenia fedida*)는 퇴비더미나 유기물이 풍부한 곳에서 흔히 발견되는 종으로 우분 분해 능력이 우수하다[19]. 또한 애기뿔소똥구리(*Copris tripartitus* Waterhouse)는 우리나라에 널리 분포하고 있는 종으로 직하로 터널을 뚫고 우분을 운반하기 때문에 소똥구리 종 중 농업에 유용한 종이다[20,21].

최근 안전한 먹거리에 대한 중요성이 부각되면서 아울러 친환경농업에 대한 관심이 고조되고 있다. 여름철 장마로 씻겨 내려가는 우분을 토양에 저장하면서, 화학비료를 사용하지 않고 토양비옥도를 높여서 식물체를 잘 자라게 할 수 있

*연락저자:
Tel: +82-31-290-0234 Fax: +82-31-290-0206
E-mail: youngman99@Korea.kr

는 방법 개발이 요구되고 있다[15]. 본 연구는 토양 속에 서식하는 지렁이와 소똥구리가 우분에 접근하는 시기, 우분을 분해하는 처리량 및 상호 먹이경쟁 관계를 구명하였고, 이런 생물의 활동들이 식물체 생장에 미치는 영향을 분석하였다.

재료 및 방법

실험생물과 실험우분

본 실험에 사용된 지렁이종은 줄지렁이(*Eisenia fetida*)로 비닐하우스에서 우분을 먹이로 사육되었고 비닐하우스의 크기와 환경조건은 Na *et al*,(2000)[19]이 개발한 방법으로 설치되어 20~28℃가 유지되도록 하였다. 사육되는 지렁이 중에서 환대가 형성되어 있고 체중이 300~400 mg인 지렁이를 선별하여 실험에 사용하였다. 소똥구리는 제주도 700 m 방목지에서 채집하여 국립농업과학원 기후변화생태과 토양동물 사육실에서 계대 사육중인 애기뿔소똥구리(*Copris tripartitus* Waterhouse)를 이용하였다. 애기뿔소똥구리는 성충이 된 후 겨울을 지나서 성적으로 성숙된 개체를 사용하였다. 사육실 온도는 25±1.5℃, 상대습도는 50~60%, 광조건은 14L:10D이었다. 우분은 충남 서산 농협중앙회 방목지(37°30'N, 127°00'E 250ASL)에서 사육 중인 소의 당일 배설된 우분을 채취하여 −70℃에 보관하고 해동하여 사용하였다. 본 실험의 환경조건은 애기뿔소똥구리가 사육된 환경과 동일하다.

분해성 무척추동물의 구성에 따른 분해율 및 식물체 생산량 조사

지렁이 밀도 및 지렁이, 소똥구리 조합에 따른 우분 분해율을 관찰하기 위해 10 L 포트에 밭토양(모래 63%, 미사 18%, 양토 9%)을 4kg 채우고, 지렁이 5, 10, 20마리, 소똥구리 암수 1쌍 및 지렁이 및 소똥구리를 함께 처리한 구를 두었으며, 우분 300 g을 공급한 다음 1개월 후 분해율을 관찰하였다. 소똥구리가 토양에 있는 우분을 운반해서 땅속에서 흡즙하고, 지렁이는 소똥구리가 운반하고 흡즙한 다음 남은 우분에 모여들기 때문에 일단 토양으로 이동된 우분은 분해로 간주하였다. 분해율은 초기 무게에서 남아 있는 우분의 무게를 빼고 백분율로 산출하였고, 우분의 함수율은 건조기(다솔과학 KR/DS−80−1)에서 2일간 80℃에서 처리한 후 처리 전 무게에서 처리 후의 무게를 제하고 남은 무게를 처리 전 무게비율 백분율로 나타내었다. 애기뿔소똥구리는 산란시기에 많은 량의 우분을 brood ball 형성에 사용하므로 애기뿔소똥구리의 비산란시기(non−breeding season)(4월)와 산란시기(breeding season)(5월 ~ 6월)를 분리하여 실험하였다. 산란시기에는 소똥구리 처리구에서 brood ball을 제거하였고, 형성된 brood ball의 무게를 측정하였다. 지렁이와 소똥구리가 충분히 활동했다고 고려된 1개월 후 포트에서 지렁이와 소똥구리를 제거한 다음, 축산농가에서 조사료로 사용하고 있는 귀리(*Avena sativa* L.)를 파종하였으며 1개월 후 지상부와 뿌리부분으로 나누어 생체량을 비교하였다. 대조구로 요소비료 0.83 g/pot 처리구와 무처리구를 두었으며, 실험은 5반복으로 실시하였다. 실험결과에 따른 처리간의 차이는 Tukey 검정을 이용하였고, 소똥구리처리구와 지렁이 및 소똥구리를 동시 처리한 구에서의 brood ball 형성에 관한 유의성 검정은 Chi−square 분석을 이용하였다(SYSTAT, version 9.0, SPSS Inc.).

결과 및 고찰

우분을 투여하고 소똥구리와 지렁이가 분해하는 것을 1개월 동안 관찰한 결과, 25℃ 사육실에서 약 7일까지(우분 함수율 78%)는 소똥구리에 의한 분해활동이 일어나며, 15일까지(우분 함수율 30%)는 지렁이에 의한 분해활동이 활발하게 일어났고, 함수율 30% 이하에서는 지렁이 및 소똥구리가 분해하지 못했다(Fig. 1). 우분 300 g 을 투여한 후 지렁이 및 소똥구리의 분해를 관찰한 결과 약 1개월 후에는 공급한 우분의 72.0 (±5.0×%)가 소똥구리와 지렁이에 의해 분해가 되었다. 이 중 10.2 (±1.5×%)는 소똥구리가 2세대 산란을 위해 만드는 brood ball 형성에 사용하고, 나머지 62% 우분은 토양 중에 남아 있었다(Fig. 2). 이런 현상은 주로 소똥구리에

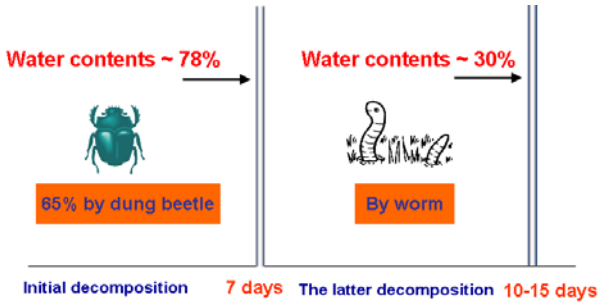

Fig 1. Water contents of dung during decomposition periods until 7 days and 15 days after putting two coprophagus invertebrates in the pot and the role of two coprophagus invertebrates in different decomposition periods.

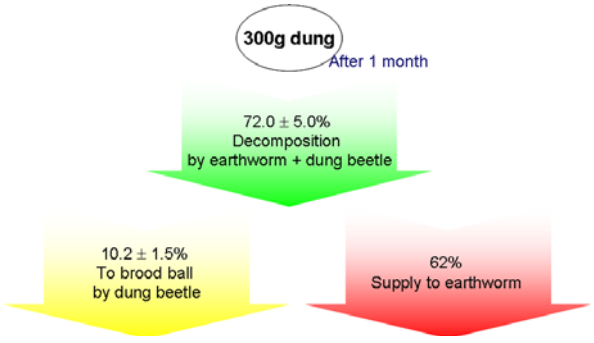

Fig 2. The percentage of using cattle dung from above ground in each group.

Table 1. Decomposition rate by earthworm density and dung beetle in non-breeding and breeding season

	Decomposition rate(%)					
	E5*	E10	E20	DB	E5+DB	E10+DB
Breeding season	47.35 ±4.54^{bc}	40.15 ±6.92^{bc}	51.77 ±9.38^{b}	71.95 ±4.49a	56.06 ±10.23^{ab}	71.92 ±14.72^{a}
Non-breeding season	45.01 ±4.56b**	48.64 ±5.80^{b}	51.99 ±7.73^{ab}	61.15 ±10.41^{ab}	69.93 ±9.73^{a}	72.60 ±16.90^{a}

(*E5: 5 earthworms, E10: 10 earthworms, E20: 20 earthworms, DB: dung beetle, E5+DB: 5 earthworms with one pair dung beetle, E10+DB: 10 earthworms with one pair dung beetle ** Mean followed by the same letter in row are not significantly different (P<0.05; Tukeys test[SYSTAT 9.0])

의해 우분이 운반되고, 토양 중에서 소똥구리가 우분으로부터 엑기스를 흡즙한 후 남아있는 우분은 지렁이에 의해 분해되는 것으로 판단된다.

제주도의 목장지대에서 지렁이와 소똥구리는 우분 아래에서 동일한 공간적 분포를 하고 있으며, 우분이라는 동일한 먹이원을 이용하기 때문에 먹이가 충분하지 않을 경우에는 먹이 경쟁을 할 수도 있다. 따라서, 본 실험에서는 지렁이 및 소똥구리를 각각 처리한 구와 지렁이와 소똥구리를 동시에 처리한 구를 두어 우분 분해 활동과 이들의 상호관계를 조사하였다. 그 결과 지렁이를 5마리 및 10마리 처리한 구보다 소똥구리와 지렁이를 동시에 처리한 구에서 분해율이 높게 나타났다(Table 1). 소똥구리는 산란시기에 많은 양의 우분을 brood ball 형성에 사용한다[20]. 따라서, 소똥구리의 산란시기에는 지렁이의 먹이원이 부족할 수 있다. 소똥구리의 산란시기와 비산란 시기를 나누어 분해율을 관찰한 결과 산란시기에는 소똥구리 처리구와 소똥구리 및 지렁이를 동시에 처리한 구가 지렁이만을 처리한 구보다 분해율이 유의하게 높았다(F=9.16, d.f.=5 P<0.001)(Table 1). 소똥구리 비산란시기에는 지렁이와 소똥구리를 동시에 처리한 구가 지렁이만 5마리, 10마리 처리한 구보다 분해율이 통계적으로 유의하게 높았다(F=6.359 d.f.=5 P<0.05; Table 1).

우분 분해 후 각 처리구의 지렁이 무게를 측정한 결과 소똥구리와 지렁이를 동시 처리한 구의 지렁이 무게가 지렁이만 단독 처리한 구에 비해 줄어들지 않았고, 오히려 지렁이 20마리 처리한 구의 무게 증가율이 다른 처리구에 비해 유의하게 낮았다(F=3.234, d.f.=4, p<0.05)(Fig. 3). 한편, 소똥구리의 산란시기에는 많은 량의 우분을 brood ball 형성에 사용하기 때문에 지렁이의 활동이 소똥구리의 둥지(nest) 형성에 악영향을 줄 수도 있다. 소똥구리처리구와 지렁이와 소똥구리를 함께 처리한 구간 brood ball 수에 유의한 차이를 보이지 않았기 때문에 지렁이의 활동이 소똥구리 둥지 형성에 영향을 미치지 않았다(X^2=0.37, P=0.54)(Fig. 4). 결과적으로 소똥구리는 지렁이 발육에도 악영향을 미치지 않았고, 지렁이 또한 소똥구리의 brood ball 형성에 영향을 미치지 않아 소똥구리와 지렁이가 우분에서의 역할 및 상호관계는 경쟁보다 상호보완적인 것으로 판단된다.

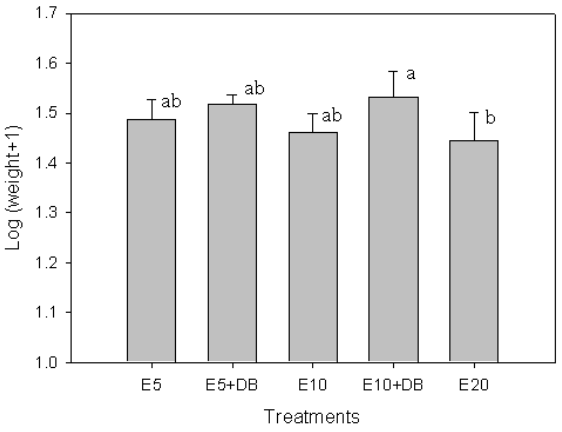

Fig. 3. Increasing rate of earthworm weight for decomposition periods. (E5: 5 earthworm, E5+DB: 5 earthworm with one pair dung beetle, E10: 10 earthworm, E10+DB: 10 earthworm with one pair dung beetle, E20: 20 earthworm, ** Mean followed by the same letter are not significantly different (P<0.05; Tukey's test[SYSTAT 9.0])

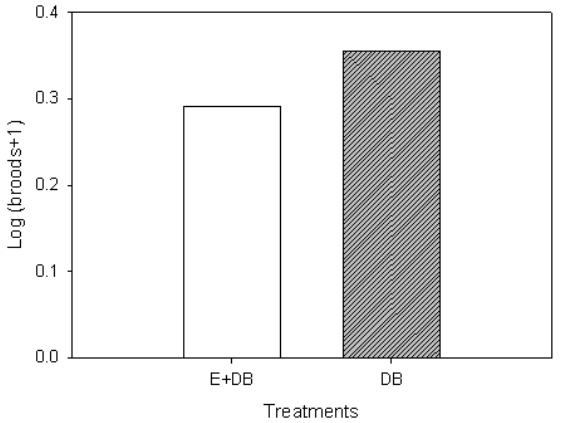

Fig. 4. Effect on brood balls production in dung beetle with earthworm and in dung beetle treatment. (E+DB: 5 or 10 earthworm with one pair of dung beetle, DB: one pair of dung beetles x^2=0.37 P=0.54)

지렁이 및 소똥구리에 의한 분해실험 완료 후 이들이 활동한 토양에 귀리를 파종하여 생장을 관찰하였다. 분식성 절

Table 2. Above- and under-ground biomass(mg) after activity by earthworm and dung beetle

	Treatments							
	E5*	E10	E20	DB	E5+DB	E10+DB	F	C
Above-ground biomass(g)	13.33 ±1.08	15.55 ±0.21	15.30 ±0.87	16.10 ±0.56	14.23 ±1.78	14.23 ±1.78	15.10 ±2.59	12.17 ±2.19
Under-ground (Root) biomass(g)	4.67 ±1.05^{ab**}	4.90 ±0.85^{ab}	5.40 ±0.72^{ab}	5.23 ±0.38^{ab}	5.70 ±0.65^{ab}	8.50 ±3.18^{a}	4.47 ±0.31^{ab}	4.07 ±0.42^{b}

(*E5: 5 earthworms, E10: 10 earthworms, E20: 20 earthworms, DB: dung beetle, E5+DB: 5 earthworms with one pair dung beetle, E10+DB: 10 earthworms with one pair dung beetle, F: fertilizer, C: control ** Mean followed by the same letter in column are not significantly different ($P<0.05$; Tukey's test[SYSTAT 9.0])

지동물들이 우분을 분해하는 것은 인위적으로 비료를 준 것과 같은 효과를 가져오기 때문에 식물체 생장에 유용한 것으로 알려져 있다[10,22,23]. 파종 1개월 후 귀리 생체량을 지상부와 지하부(뿌리)로 나누어 조사한 결과 지상부의 무게는 처리간에 통계적으로 유의한 차가 없었지만 지하부의 무게는 대조구에 비해 지렁이 및 소똥구리 처리구가 높게 나타났다 ($F=2.764$, d.f.=7, $P<0.05$)(Table 2). 지렁이와 소똥구리를 처리한 구와 요소비료를 처리한 구의 귀리 무게에 차이가 없어 지렁이와 소똥구리 활동에 의해 운반된 우분은 빠른 속도로 귀리 뿌리에 흡수되며, 요소비료의 역할을 대체할 수 있는 것으로 확인되었다(Table 2).

생태계에서 우분의 분해에는 미생물, 기후, 우분을 파편화하는 무척추동물, 지렁이 및 소똥구리와 같은 분식성 절지동물의 역할들이 중요한 요인으로 알려져 있다[24]. 이중 소똥구리의 밀도가 현저히 줄어들면 미생물이 단독으로 분해하여 식물체가 영양분을 이용하기까지 2.2배 이상의 분해소요시간이 요구된다[25,26]. 유럽 지렁이종인 *Allolobophora longa* Ude의 활동은 우분 분해에 50% 정도 분해촉진효과가 있고, 소똥풍뎅이류(*Aphodius rufipes* (L.))의 유충에 의해 14-20% 분해되는 것으로 보고되었다[5]. 또한 우분에서 NH_4^+가 공기중에 노출된 후 첫 5일 동안 80% 방출되지만, 소똥구리의 밀도가 유지되어 빠르게 우분을 땅속으로 옮기면 15%까지 질소 손실을 줄일 수 있고, 2년까지 식물체에 의해 이 질소가 이용된다[26,27]. 우분의 초기 분해는 소똥구리와 같은 곤충군에 의해서 주로 이루어지고, 7일-10일이 경과하면서부터는 대부분의 물리적인 분해가 지렁이군에 의해 이루어지는 것으로 보고되고 있는데[5,28], 우분의 수분 함수율 78%까지는 소똥구리에 의해 우분의 운반과 파편화 작업이 이루어지고, 30%까지는 지렁이에 의해 우분이 분해되므로 무더운 여름을 지나는 우리의 농업환경을 고려할 때, 이들 분식성 동물들의 밀도가 낮으면 미처 우분에서 분해활동을 하지 못한 상태에서 우분이 건조되므로 질소의 손실이 크지 않을 수 없다. 따라서, 농약과 비료를 대체하고 분식성 토양동물의 역할을 이용하기 위해서는 방목지 토양생태계의 엔진역할을 하는 지렁이와 소똥구리등의 토양동물 밀도와 다양성을 최대한 유지하고 보존하기 위한 방안이 간구되어야 할 것이다.

요 약

우분의 분해에 있어 소똥구리와 지렁이를 함께 처리한 구에서 단독으로 소똥구리와 지렁이를 처리한 것 보다 분해율이 높았고, 지렁이와 소똥구리가 우분 분해 활동을 한 다음에 식물체를 파종했을 때 식물체 생장은 비료를 처리한 것과 동일한 효과가 인정되었다. 우분 함수율 78%까지는 소똥구리에 의해 분해 활동이 일어나며, 30%까지는 지렁이에 의해, 30% 이하에서는 두 동물군 모두 분해 활동을 하지 않았다. 소똥구리와 지렁이에 의해 운반된 우분은 초기 우분의 약 72%이며, 이중 10.2%는 소똥구리의 brood ball 형성에 이용되었다. 지렁이의 활동이 소똥구리의 brood ball 형성에 저해요인이 되지 않았고, 소똥구리의 활동 또한 지렁이의 생육에 영향을 미치지 않아 지렁이와 소똥구리는 우분에서 공간적 분포를 같이 하면서 먹이 경쟁을 하기 보다는 상호보완적인 작용을 하는 것으로 밝혀졌다.

감사의 글

본 연구는 2004년부터 2005년까지 농촌진흥청 연구(농업생태계내 무척추동물군의 보전 및 이용기술 개발)를 수행하면서 얻은 결과를 바탕으로 작성되었다. 소똥구리 및 지렁이를 사육하고 연구를 원활히 수행할 수 있도록 도와주신 조구하, 홍혜경님께 감사드린다.

참고문헌

1. Bornemissza, G.F. (1960) Could dung eating insects improve our pastures? J. Aust. Inst. Agri. Sci. 26, 54-56.
2. Nakamura, Y. (1975) Decomposition of organic materials and soil fauna in pasture. Pedobiologia, 15, 21-221.
3. Lee, K.E. and Foster, R.C. (1991) Soil organisms and sustainable productivity. Aust. J. Soil. Res. 30, 855-892.

4. Bornemissza, G.F. and Williams, C.H. (1970) An effect of dung beetle activity on plant yield. Pedobiologia 10, 1−7.
5. Holter, P. (1979) Effect of dung beetles (*Aphodius* spp.) and earthworms on the disappearance of cattle dung. Oikos 32, 393−402.
6. Fincher, G.T. (1981) The potential value of dung beetles in pasture ecosystems. J. Ga. Entomol. Soc. 16, 316−333.
7. Stevenson, B.G. and Dindal, D.L. (1987) Insect effects on decomposition of cow dung in micro−cosms. Pedobiologia 30, 81−92.
8. Charman, P.E.V. and Murphy, B.W. (1992) Soils−Their Properties and Management, Sydney Univer−sity Press, p.8.
9. White, R.E. (1987) Introduction to the Principles and Practices of Soil Science, 2nd edn, Blackwell Scientific Publications, p.34−36.
10. Macqueen, A and Beirne, B.P (1975) Effects of cattle dung and dung beetle activity on growth of beardless wheatgrass in British Columbia, Can. J. Plant Sci. 55, 961−967.
11. Wall, R. and Strong, L. (1987) Environmental conse−quences of treating cattle with the antiparasitic drug ivermectin. Nature. 327(4), 418−421.
12. Sommer, C., Steffansen, B., Nielsen, B. O., Gronvold, J., Vagn Jesen, K.−M., Jespersen, J. B., Springborg, J., Nansen, P. (1992) Ivermectin excreted in cattle dung after subcutaneous injection or pour−on treatment: concentrations and impact on dung fauna. Bull. Ent. Res. 82, 257−264.
13. Strong, L. (1992) Avermectins: a review of their impact of insects of cattle dung. Bull. ent. Res. 82, 265−274.
14. Na, Y.E., Bang, H.S. and Han, M.S. (2005) Asssse−ment of the effects of some insecticides on morta−ality of earthworm (*Eisenia fetida*). Korea J. Environ. Agri. 24(3), 289−294.
15. Bang, H.S., Na, Y.E., Kim, M.H., Han, M.S., and Lee, J.T. (2007) Effect of ivermectin contained−cattle dung on the development of earthworm, *Eisenia fetida*. Korean J. Soil Sci. Fert. 40(2), 114−117.
16. Hong, Y. and Kim, T.H. (2007) Occurrence of earth−worm in agro−ecosystem. korean J. Environ. Biol. 25(2), 88−93.
17. Paik, W.H. (1976) Biology of the dung beetles in Korea. Seoul Natl. Univ., Coll. of Agric. Bull. 1, 153−194.
18. Kim, J.I. (1994) Seasonal periodicities and faunal change by the times on Scarabaeidae from South Korea based in recent 20 years. Nature Conser−vation. 87, 35−45.
19. Na, Y.E., Han, M.S., Lee, S.B., Kim, S.G. and Park, H.M. (2000) Establishment of disposing method for dairy cow manure by vermiculture. Korean. J. Soil. Zool. 5(2), 125−131.
20. Bang, H.S., Mah, I.Y., Hwang, S.J., and Kim, J.I. (2000) Ecological characteristic of the dung beetle, *Copris tripartitus* Waterhouse (Coleoptera: Scara−baeidae) in indoor rearing. Korean J. Entomol. 30(2), 85−89.
21. Bang, H.S., Huerta C., Kim, J.I., and Goo, T.W. (2001) Studies on the ecology of oviposition of *Copris tripartitus* Waterhouse (Coleoptera: Scara−baeidae). Korean J. Entomol. 31(4), 237−242.
22. Spain A.V., Lavelle, P., and Mariotti, A. (1992) Stimulation of plant growth by tropical earth−worms. Soil Biol. Biochem 24(12), 1629−1633.
23. Bang, H.S., Lee, J.H., Kwon, O.S., Na, Y.E., Jang, Y.S., and Kim, W.H. (2005) Effect of paracoprid dung beetles on the growth of grass and its underlying soil. Applied Soil Ecology. 29, 165−171.
24. Marsh, R. and Campling, R.C. (1970) Fouling of pastures by dung.− Herb. Abstr. 40, 123−130.
25. Lee, L.E. and Foster, R.C. (1991) Soil fauna and soil structure. Aust. J. Soil Res., 29, 745−775.
26. Lumaret, J.P. and Kadiri, N. (1995) The influence of the first wave of colonizing insects on cattle dung dispersal. Pedobiologia 39, 506−517.
27. MacDiarmid, B.N. and Watkin, B.R. (1972) The cattle dung patch. 2. Effect of a dung patch on the chemical status of the soil, and ammonia nitro−gen losses from the patch. J. Br. Grassl. Soc. 27, 43−48.
28. Holter, P. (1983) Effect of earthworms on the diappearance rate of cattle droppings. In: Satchell, J. E.(ed.) Earthworm ecology. Chapman and Hall, London. U.K. p. 49−57.