

## Arthropod Succession and Decomposition Patterns of Pig Carrions Varying with the Exposed Extent of the Carrions

Jae Bong Jung and Myung Hee Yoon\*

Department of Biology Kyungsoong University, Busan, 608-736, Korea

Received May 30, 2011 / Revised July 29, 2011 / Accepted August 1, 2011

This study was carried out to offer forensic entomological evidence to estimate the post mortem interval (PMI) based on the arthropod succession in pig carrions and carrion decomposition patterns varying with the exposed extent of the carrions. Four carrions, exposed, wrapped, covered or shaded, were placed in an open grassland near the Nakdong-river in Busan in August, 2010. It was found that the first visiting insect was *Chrysomya megacephala* among a total of 20 species of 15 families belonging to 7 orders of Insecta, and that four species were useful indicators of the decomposition stage of the carrion: *C. megacephala* for I~V stages; a species of Sepsidae, *Creophilus maxillosus* and a species of Carabidae for III~V stages. It was also found that the more the exposed extent of exposure of carrions, the higher the rate of decomposition of carrions, i. e. the time for decomposition of carrions were 7days for the exposed carrion, 10days for the covered one, 13days for the shaded one, and 15days for the wrapped one. This result seems to be related to the differences in the weight loss of carrions caused by strong rains during the research period and by the accessibility of insects to the carrions; both are strongly affected by the exposed extent of the carrions. Accordingly, it was suggested that the exposed extent of the carrions must be taken into consideration to estimate the PMI.

**Key words** : Arthropod succession, forensic entomology, pig carrion, post mortem interval (PMI)

### 서 론

일반적으로 사체는 다양한 생물들의 먹이공급원이 되는데 [15,21,22], 특히 시식성 곤충에게는 중요한 서식처로도 이용된다. 사체에 가장 먼저 도착하는 곤충은 파리류로서 [1,3,12,13,21], 이들의 산란과 유충의 섭식활동으로 인한 사체의 분해 정도는 사체의 사후경과시간의 추정에도 유용되고 있다. 또한 사체에 출현하는 곤충의 종류와 유충의 성장단계로부터 사체의 사후경과시간을 추정할 수 있어, 이러한 자료들은 법의학적으로 매우 중요한 증거로 이용되고 있다 [1,12-14,17,20,21,23].

곤충의 성장이나 천이에 영향을 주는 요인들로서 사체 주변의 환경적 요인(온도, 습도 등), 사체의 노출 정도 및 독극물에 의한 중독 여부 등을 들 수 있으며, 돼지사체의 경우 이러한 요인들에 의한 부패시간은 매우 다양하여 7일부터 200일 이상 [1,3,7,21,22,24]까지 보고되어 있다. 특히 사체의 노출상태에 따라 사체의 온도나 곤충의 접근성이 달라져 사체의 분해시간과 곤충상이 다양하게 나타나고 있음이 알려져 있고 [8], 미국 [5,19], 남미 [3] 및 남아프리카공화국 [8] 등지에서는 다양한 노출조건에 따른 곤충상과 사체의 부패 상태에 대한 자료가 법곤충학적 기초자료로 마련되어 있다. 그러나 각 나라의 환경

은 우리나라의 환경과 많이 차이가 나므로 이러한 자료를 우리나라에서 발생한 사건에 적용시키기에는 한계가 있다고 할 수 있다.

한편, 우리나라에서는 일부 소형동물을 이용한 곤충상의 천이에 대한 연구가 보고되어 있고 [15], 본 연구자들도 황령산에 설치한 돼지사체를 이용하여 계절에 따른 곤충상의 변화와 사체의 부패속도에 대하여 연구한 바 있다 [7]. 그러나 우리나라에서 발생한 사건에 이용될 수 있는 법곤충학적 기초자료는 아직도 매우 부족한 실정이다. 본 연구에서는 낙동강 주변에 설치한 돼지사체의 주위에서 관찰되는 곤충상과 사체의 노출 정도에 따른 부패속도의 차이에 대해 조사하여, 사체의 사후경과시간을 추정하기 위한 법곤충학적 기초자료를 얻고자 하였다.

### 재료 및 방법

부산시 사상구의 낙동강 주변에 2010년 8월 한달 동안 돼지사체 네 구를 설치하였다. 이 지역은 초지로서, 주로 사초과 (Cyperaceae)의 식물들이 우점하고 있다 (Fig. 1). 실험에 사용된 돼지들의 무게는 약 35~40 kg으로, 돼지는 도살 직후 냉장 보관하였고, 실험 1시간 전 실온에서 보관한 후 실험장소에 설치하였다.

네 구의 사체를 다음과 같은 상태로 약 50 m의 간격을 두고 설치하였다.

#### \*Corresponding author

Tel : +82-51-663-4642, Fax : +82-51-627-4645

E-mail : yhyun@ks.ac.kr



Fig. 1. Study area near the Nakdong-river.

1. 나출된 상태의 사체를 양지에 설치(이하 '완전노출사체', exposed)
2. 사체의 몸통부위를 담요로 감아 양지에 설치(이하 '감은사체', wrapped)
3. 사체 전체를 담요로 덮어서 양지에 설치(이하 '덮은사체', covered)
4. 나출된 상태의 사체 위에 지붕을 설치(이하 '그늘진사체', shaded)

사체의 부패단계는 Moon [15]의 분류에 의거하여 사체의 외형적 변화나 온도에 따라서 주검발생단계(fresh stage, I단계), 팽창단계(bloated stage, II단계), 부패단계(decay stage, III단계), 건조단계(dry stage, IV단계) 및白骨화단계(bonified stage, V단계)의 5단계로 나누었으며, 사체별로 머리와 몸통의 부패 속도가 다르므로 각 사체의 부패단계를 머리와 몸통으로 나누어 기록하였다.

사체 내부온도의 측정은 사체의 입안과 겨드랑이 아래쪽에 상처를 내고 온도기록기(data logger, Thermocheon iButton™: DS1921L-F51, Dallas semiconductor Co., Ltd. USA)를 삽입하여 기록하였고, 외부 온도의 측정은 기상청[9]의 데이터를 이용하였다(Fig. 2). 사체의 몸통온도를 측정하기 위해서 각 사체의 겨드랑이에 온도기록장치를 설치했으나, 완전노출사체와 그늘진사체의 겨드랑이에 설치한 온도기록기는 작동이상으로 인해서 기록을 얻을 수 없었다. 머리의 온도를 측정하기 위해서 입안에도 온도기록기를 설치했는데, 모든 개체에서 온도가 기록된 것은 실험 개시 4일째 이후였다. 따라서 머리의 온도변화에 대해서는 4일째 이후의 입안의 온도측정자료를 사용하였다.

곤충의 채집은 실험 10일째까지는 하루에 한번씩, 그 이후부터는 2~5일에 한번씩 실시하였고, 사체에 나타나는 곤충은 포충망을 사용하여 채집하였다. 또한 사체에서 10 cm 떨어진 곳에 10-15 cm 깊이로 함정덫(pitfall trap)을 설치하였고, 일부 기어 다니는 성충과 유충들은 핀셋이나 수저를 이용하여 직접

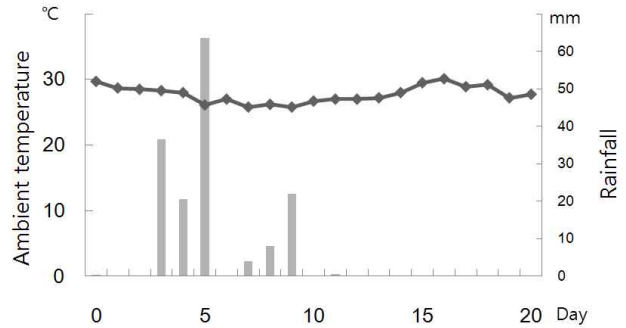


Fig. 2. Changes in the ambient temperature (◆) and rainfall (bar) in August 2010.

채집하였다.

채집한 곤충들은 형태학적으로 분류·동정 후, 성충들의 일부는 70% 알코올에 넣어 보관하고, 나머지는 핀으로 고정시켜 보관하였다. 유충의 경우, 일부는 실험실에서 사육하여 성충이 된 후 동정하였고, 나머지 유충은 끓는 물에 담근 후 70% 알코올에 보관하였다. 대부분의 곤충표본들은 경성대학교 동물학 실험실에 보관하였다.

## 결 과

### 곤충상의 변화

실험기간 중 총 7목 15과 20종의 곤충들이 관찰되었으며, 곤충상의 변화를 Fig. 3에 제시하였다. 완전노출사체에서는 6목 10과 13종이, 감은사체에서는 3목 6과 8종이, 덮은사체에서는 4목 10과 11종이, 그늘진사체에서는 5목 10과 13종의 곤충들이 출현하여, 완전노출사체에서 가장 많은 곤충이 출현한 반면, 감은사체에서 가장 적게 출현하였다.

모든 사체에서 공통적으로 출현한 종류는 반날개과의 왕반날개(*Creophilus maxillosus*), 검정파리과의 검정뺨금파리(*Chrysomya megacephala*) 및 꼭지파리과의 1종(Sepsidae sp. a)으로서 이들의 출현시기는 모든 사체에서 매우 유사하였다. 한편 모든 사체에서 가장 먼저 그리고 가장 많이 출현한 곤충은 검정파리과에 속하는 검정뺨금파리로서 실험 종료 시까지 지속적으로 관찰되었다. 본 종은 사체를 설치한 첫날(모든 사체의 I단계)부터 나타났으며 2일째(모든 사체의 II단계)에는 모든 사체의 입안에서 유충도 관찰되었다. 이후 유충들이 급속히 증가하여 4일째(모든 사체의 III단계)에는 사체의 전 표면에서 관찰되었으나, 5일째(모든 사체의 III단계)에는 비가 내리 이 시기 이후에는 소수의 유충만이 사체에 산재해 있었다. 실험 10일째(완전노출사체의 V단계, 감은사체의 III단계, 덮은사체와 그늘진사체의 IV단계)에는 새로 우화된 검정뺨금파리 성충들이 사체의 주변에 기어 다니는 것이 관찰되었으며, 12일째(완전노출사체의 V단계, 감은사체의 IV단계, 덮은사체의 V단계, 그늘진사체의 IV단계) 이후에는 이들이 사체 주변의 식

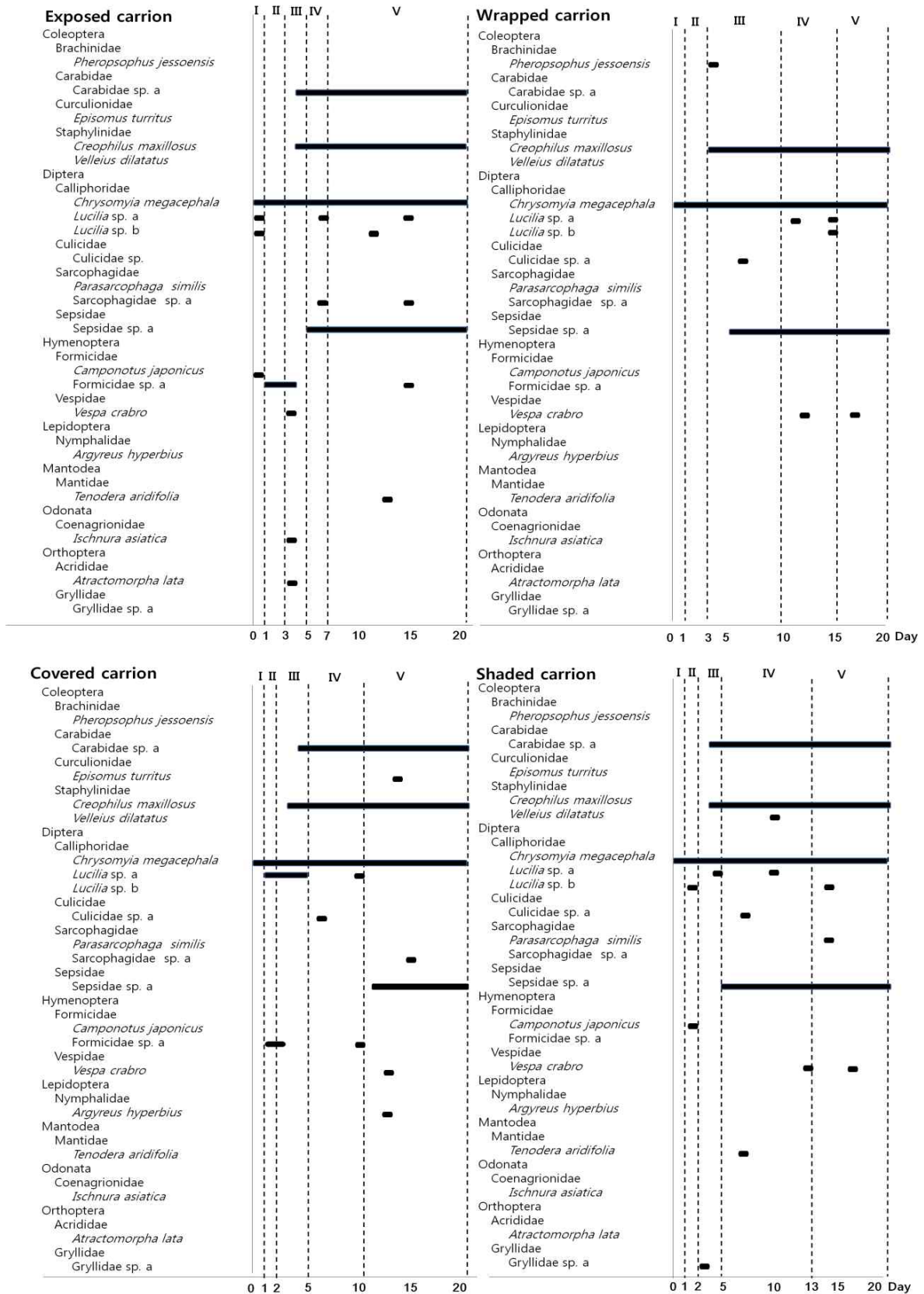


Fig. 3. Successional patterns of arthropods collected from the four pig carrions, I, fresh stage; II, bloated stage; III, decay stage; IV, dry stage; V, bonified stage. Abbreviations are identical in the subsequent figures.

물들에 붙어 있는 것이 관찰되었다. 반날개과의 왕반날개는 실험 4~5일째(모든 사체의 III 단계)부터 20일째(모든 사체의 V 단계)까지 계속 관찰되었고, 꼭지파리과의 1종(Sepsidae sp. a)은 6~12일째(완전노출사체의 IV 단계, 감은사체의 III 단계, 덮은사체의 V 단계, 그늘진사체의 IV 단계)에서 20일째(모든 사체의 V 단계)까지 계속 관찰되었다.

한편, 완전노출사체, 덮은사체 및 그늘진사체에서 딱정벌레과의 1종(Carabidae sp. a)의 유충이 실험 5일째(모든 사체의 III 단계)부터 20일째(모든 사체의 V 단계)까지 관찰되었다. 한편, 각 곤충들의 출현시기는 사체 별로 다음과 같은 차이를 보였다.

#### 완전노출사체

실험 첫날(I 단계)부터 검정뺨금파리가 출현하기 시작하여 20일째(V 단계)까지 관찰되었다. 또한 실험 첫날(I 단계)에 금파리속의 2종(*Lucilia* sp. a, sp. b) 및 일본왕개미(*Camponotus japonicus*)도 관찰되었다. 이 중 금파리속의 1종(*Lucilia* sp. a)은 7일째(IV 단계) 및 15일째(V 단계)에 다시 나타났으며, 다른 한 종(*Lucilia* sp. b)은 12일째(V 단계)에 다시 나타났다. 실험 2일째(II 단계)에는 또 다른 개미과의 1종(Formicidae sp. a)이 출현하여 4일째(III 단계)까지 나타났고, 이후 15일째(V 단계)에 다시 관찰되었다. 실험 4일째(III 단계)에서는 말벌(*Vespa crabro*), 아시아실잠자리(*Ischnura asiatica*) 및 섬서구메뚜기(*Atractomorpha lata*)가 관찰되었다. 실험 5일째(III 단계)는 딱정벌레과의 1종(Carabidae sp. a)의 유충과 왕반날개가 관찰되었으며, 두 종 모두 실험 20일째(V 단계)까지 지속적으로 관찰되었다. 실험 6일째(IV 단계)에는 꼭지파리과의 1종이 관찰되어 실험 20일째(V 단계)까지 지속적으로 관찰되었다. 실험 7일째(IV 단계)에는 쉬파리과의 1종(Sarcophagidae sp. a)이 관찰되었고, 15일째(V 단계)에 다시 나타났다. 한편 실험 10일째(V 단계)에는 사체를 벗어난 검정뺨금파리 유충의 무리가, 13일째(V 단계)에는 왕사마귀(*Tenodera aridifolia*)가 관찰되었다.

#### 감은사체

실험 첫날(I 단계)부터 검정뺨금파리가 출현하기 시작해서 실험 20일째(V 단계)까지 관찰되었다. 실험 4일째(III 단계)에는 폭탄먼지벌레(*Pheropsophus jessoensis*)와 왕반날개가 관찰되었으며 왕반날개는 실험 20일째(V 단계)까지 관찰되었다. 실험 6일째(III 단계)에는 꼭지파리과의 1종(Sepsidae sp. a)이 나타나 20일째(V 단계)까지 관찰되었고, 실험 7일째(III 단계)에 모기과의 1종(Culicidae sp. a)이 관찰되었다. 실험 12일째(IV 단계)에 금파리속의 1종(*Lucilia* sp. a)이, 13일째(IV 단계)와 17일째(V 단계)에 말벌이, 15일째(IV 단계)에 금파리속의 2종(*Lucilia* sp. a, b)이 관찰되었다

#### 덮은사체

실험 첫날(I 단계)부터 검정뺨금파리가 출현하기 시작하

여 20일째(V 단계)까지 관찰되었다. 실험 2일째(II 단계)에는 금파리속의 한 종(*Lucilia* sp. a)과 개미과의 1종(Formicidae sp. a)이 관찰되었는데, 이 중 전자는 5일째(III 단계)까지 관찰되었고 10일째(IV 단계)에 다시 관찰되었다. 한편 후자는 3일째(III 단계)와 10일째(IV 단계)에 다시 관찰되었다. 실험 4일째(III 단계)에는 왕반날개가 관찰되었으며, 실험 20일째(V 단계)까지 관찰되었다. 실험 5일째(III 단계)는 딱정벌레과의 1종(Carabidae sp. a)의 유충이 나타났는데 실험 20일째(V 단계)까지 지속적으로 관찰되었다. 실험 7일째(IV 단계)에는 모기과의 1종(Culicidae sp. a)이 나타났으며, 12일째(V 단계)에는 꼭지파리과의 1종(Sepsidae sp. a)이 나타나 실험 20일째(V 단계)까지 관찰되었다. 실험 13일째(V 단계)에는 말벌과 암끝검은표범나비(*Argyreus hyperbius*)가 관찰되었다. 실험 14일째(V 단계)에는 흑바구미(*Episomus turritus*)가, 15일째(V 단계)에는 쉬파리과의 1종(Sarcophagidae sp. a)이 관찰되었다.

#### 그늘진사체

실험 첫날(I 단계)부터 검정뺨금파리가 출현하여 20일째(V 단계)까지 관찰되었다. 실험 2일째(II 단계)에는 금파리속의 1종(*Lucilia* sp. b)과 일본왕개미가 관찰되었는데, 전자는 15일째(V 단계)에도 관찰되었다. 3일째(III 단계)에는 귀뚜라미과의 1종(Gryllidae sp. a)이 관찰되었고, 실험 4일째(III 단계)는 딱정벌레과의 1종(Carabidae sp. a)의 유충과 왕반날개가 관찰되었으며, 두 종 모두 실험 20일째(V 단계)까지 계속 관찰되었다. 실험 5일째(III 단계)에는 금파리속의 다른 1종(*Lucilia* sp. a)이 관찰되었는데, 10일째(IV 단계)에 다시 관찰되었다. 실험 6일째(IV 단계)에는 꼭지파리과의 1종(Sepsidae sp. a)이 나타나 20일째(V 단계)까지 관찰되었고, 7일째(IV 단계)에는 모기과의 1종(Culicidae sp. a)과 왕사마귀가, 10일째(IV 단계)에는 큰뿔수염반날개(*Velleius dilatatus*)가 관찰되었다. 실험 13일째(IV 단계)에는 말벌이 관찰되었고, 17일째(V 단계)에 다시 관찰되었다. 실험 15일째(V 단계)에는 곱슬털쉬파리(*Parasarcophaga similis*)가 관찰되었다.

#### 사체의 부패기간, 무게 및 온도의 변화

실험기간 중 외부환경의 온도는 24~34°C(평균 27.6°C)였으며, 실험기간 20일 중 9일 동안 총 155 mm의 비가 내렸고, 실험 5일째에 63.5 mm의 비가 내려 가장 많은 강수량을 기록하였다(Fig. 2).

사체부패의 주검발생단계(I 단계)부터 건조단계(IV 단계)종료까지의 기간은 완전노출사체의 경우 머리부위는 각 단계 별로 각각 1일, 2일, 1일 및 1일, 총 5일이, 몸통부위는 각각 1일, 2일, 2일 및 2일, 총 7일이 걸렸다(Fig. 4). 감은사체의 경우 머리부위는 각각 1일, 1일, 1일 및 1일, 총 4일이, 몸통부위는 각각 1일, 2일, 7일 및 5일, 총 15일이 걸렸다. 덮은사체의 경우

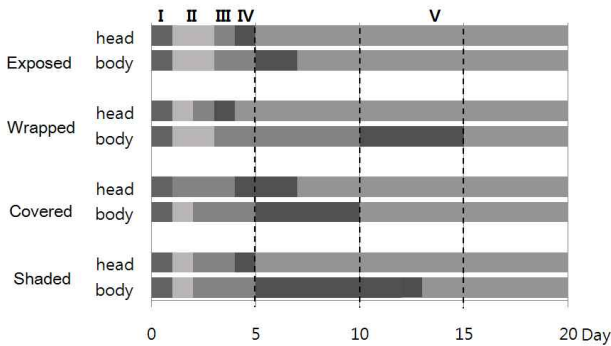


Fig. 4. Elapsed time (days) for decomposition of the four pig carrions.

머리부위는 각각 1일, 0일, 3일 및 3일, 총 7일이, 몸통부위는 각각 1일, 1일, 3일 및 5일, 총 10일이 걸렸다. 그늘진사체의 경우 머리부위는 각각 1일, 1일, 2일 및 1일, 총 5일이, 몸통부위는 각각 1일, 1일, 3일 및 8일, 총 13일이 걸렸다.

사체의 무게감소는 완전노출사체의 경우 5일째(III 단계)에는 약 55%(21/38 kg), 10일째(V 단계)는 10%(4/38 kg)로 감소하였으며 이후 무게의 변화는 없었다(Fig. 5). 감은사체의 경우 5일째(III 단계)에는 약 45%(16/36 kg), 10일째(III 단계)는 약 33%(12/36 kg), 15일째(IV 단계)에는 15%(5.5/36 kg)로 감소하였으며 이후 무게의 변화는 없었다. 덮은사체의 경우 5일째(III 단계)에는 약 55%(21/38 kg), 10일째(IV 단계)는 약 10%(4/38 kg)로 감소하였으며 이후 무게의 변화는 없었다. 그늘진사체의 경우 5일째(III 단계)에는 45%(17/36 kg), 10일째(IV 단계)에는 20%(7/36 kg), 15일째(V 단계)에는 10%(3.5/36 kg)로 감소하였으며 이후 무게의 변화는 없었다.

감은사체와 덮은사체의 몸통 온도를 비교하였을 때, 감은사체의 경우 몸통의 온도는 실험 개시 후 2일째부터(II 단계, 34°C) 외부환경보다 올라가기 시작하여 4일째(III 단계, 46.2°C)까지 상승하였다(Fig. 6). 많은 비가 내린 5일째(III 단계, 35.5°C)에는 하강하였으나 6일째(III 단계, 46.5°C)에 다시 상승하였고, 7일

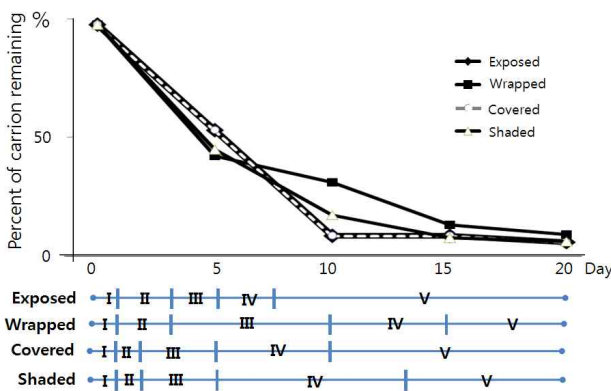


Fig. 5. Changes in the weight loss during decomposition of the four pig carrions.

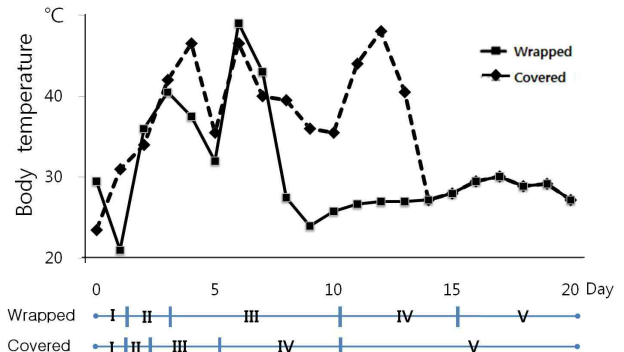


Fig. 6. Changes in the body temperature in the wrapped and covered carrions.

째(III 단계)부터 덮은사체의 경우와는 달리 36°C 이상의 높은 온도를 계속 유지하였고, 실험 개시 후 12일째(IV 단계, 48°C)에는 최고 온도를 기록하였다. 이후 하강하여 실험 개시 후 14일째(IV 단계) 이후에는 외부환경과 비슷한 온도(27~30°C, 평균 28.5°C)를 기록하였다. 전 기간에 대한 이 사체의 평균온도는 30.5°C였다. 덮은사체의 경우 몸통의 온도는 감은사체의 경우와 마찬가지로 실험 개시 후 2일째(II 단계, 36°C)부터 외부환경보다 올라가기 시작하여, 비가 내리기 시작한 3일째(III 단계)에는 40.5°C를 나타냈으나 이후부터 5일째(III 단계, 32°C)까지 계속 하강하였다. 6일째(IV 단계, 49°C)에는 다시 상승하여 최고 온도를 기록하였으며, 7일째(IV 단계, 43°C) 이후 급감하여 외부환경과 비슷한 온도(24~30°C, 평균 27.5°C)를 기록하였다. 전 기간에 대한 이 사체의 평균온도는 36°C였다.

사체머리의 온도는 네 사체 모두 유사한 경향을 보여, 4일째(완전노출사체의 III 단계, 감은사체의 IV 단계, 덮은사체와 그늘진사체의 III 단계)에는 외부기온보다 높았으나(36.0~42.5°C), 비가 내린 5일째(완전노출사체의 IV 단계, 감은사체의 V 단계, 덮은사체와 그늘진사체의 IV 단계)에 하강하였다(26.0~32.5°C)(Fig. 7). 비가 그친 6일째(완전노출사체와 감은사

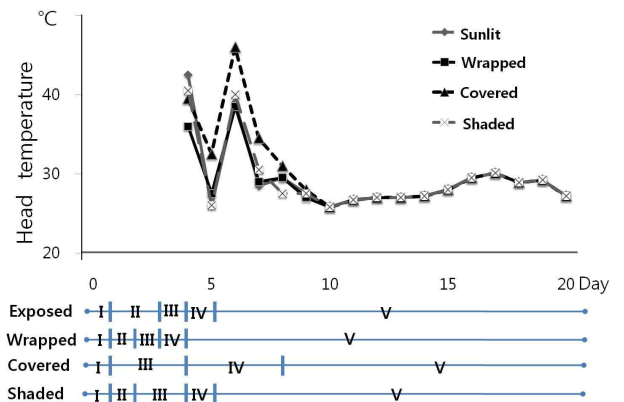


Fig. 7. Changes in the head temperature in the four carrions.



체의 V 단계, 덮은사체의 IV 단계, 그늘진사체의 V 단계)에는 다시 상승하였고(39~46°C), 7일째(완전노출사체 및 감은사체의 V 단계, 덮은사체의 IV 단계, 그늘진사체의 V 단계)부터 점차 감소하는 추세를 보였다. 한편 덮은사체의 온도는 나머지 세 사체보다 4일째(III 단계)부터 8일째(IV 단계)까지 약 3~6°C 높게 유지되었다.

## 고 찰

### 곤충상의 변화

모든 사체에서 파리목에 속하는 검정뺨금파리(검정파리과), 꼭지파리(꼭지파리과) 및 딱정벌레목에 속하는 왕반날개(반날개과)가 공통으로 출현했고, 감은사체를 제외한 세 사체에서 딱정벌레목 딱정벌레과 1종의 유충이 공통적으로 출현했으며 이들의 출현시기도 각 사체별로 매우 유사한 점으로부터, 위의 4종 즉 파리목의 2종과 딱정벌레목의 2종은 법곤충학적으로 매우 중요한 곤충임이 시사되었다(Fig. 3). 한편, 본 연구에서 나타난 곤충의 종수를 황령산에서 실행된 완전노출사체에 대한 연구[7]와 비교하면 출현한 전체 곤충의 종수는 각각 20종과 21종으로서, 유사한 경향을 보이지만, 양지나출개체만을 비교해 보면 각각 13종과 21종으로서, 본 연구에서 종수가 매우 적은 것으로 나타났다. 이러한 차이의 한 가지 원인으로 양 지역의 식물상의 차이를 들 수 있는데, 낙동강 하구역[10]에는 주로 초본식물들이, 황령산[7]에는 목본식물들과 초본식물들이 식물군을 이루고 있었다.

### 파리목

하와이, 아르헨티나 등 외국의 경우 사체에 가장 빨리 나타나는 곤충은 모두 검정파리과의 곤충으로 알려져 있으며 [1,3,4,21], 본 저자들도 산림지역인 부산 황령산에서 검정파리과의 구리금파리(*Lucilia sericata*)가 가장 먼저 출현하는 것을 목격할 바 있다[7]. 본 연구에서도 낙동강 부근에서 검정파리과의 검정뺨금파리가 가장 먼저 도착하는 것이 목격되어, 검정파리과의 곤충이 법곤충학적으로 유용한 지표곤충임이 확인되었다. 그러나 같은 부산지역이지만 가장 먼저 도착한 파리의 종류가 다른 점으로부터, 환경(산림/강변)에 따라 지표곤충의 종류가 달라진다는 것을 알 수 있었다.

검정뺨금파리는 본 실험 중 가장 많이 관찰된 종으로서, 알에서부터 성충까지의 성장기간은 30°C에서 11일이 걸리는 것으로 알려져 있다[11]. 그러나 본 실험에서 번데기로부터 우화한 검정뺨금파리의 성충이 처음 관찰된 시기는 모든 사체에서 공통적으로 실험 10일째로서 기존의 연구에서 보고된 것보다 성장속도가 조금 빠르는데, 이러한 차이는 사체의 높은 온도와 관련있는 것으로 생각되었다. 즉, 사체몸통의 온도를 측정한 감은사체와 덮은사체의 온도를 비교하면, 실험개시일부터 10일째까지 사체 몸통온도가 30°C 이상(31~49°C) 나타난 기간이

감은사체와 덮은사체에서 각각 6일과 10일간 지속되었고, 이 기간 중의 사체 몸통온도의 평균이 각각 37°C와 33°C인 점으로부터 높은 온도에 의해서 유충의 성장이 빨리 진행된 것으로 생각되었다. 한편 완전노출사체에서는 실험 10일째인 백골화단계(V)에서 사체를 벗어난 파리유충의 무리를 관찰할 수 있었는데, 이는 사체의 분해가 매우 빠르게 진행되었기 때문에 파리유충들을 위한 충분한 먹이가 없어서 파리유충들이 대량으로 이동하는 것으로 생각되었다.

꼭지파리과의 1 종은 완전노출사체에서는 건조단계(IV)부터, 감은사체에서는 부패단계(III)부터, 덮은사체에서는 백골화단계(V)부터 그리고 그늘진사체에서는 건조단계(IV)부터 관찰되었는데, 폴란드[2]에서도 부패후기(IV단계에 해당)에 꼭지파리과에 속하는 1종이 나타나는 점으로부터 본 종은 사체의 건조단계(IV) 및 백골화단계(V) (사체부패의 중·후반단계)에 대한 지표곤충으로 유용하다고 생각되지만, 앞으로 본 종에 대한 정확한 동정이 필요하다.

### 딱정벌레목

본 연구에서 출현한 딱정벌레목의 곤충은 반날개과의 왕반날개 및 딱정벌레과의 1종이었는데, 이 중 파리유충을 먹이로 하는 왕반날개는 미국[21], 캐나다[1], 폴란드[13] 등지에서 수행된 연구에서 사체의 부패단계(III) 이후에 나타나는 것이 알려져 있고, 본 연구에서도 모든 사체에서 파리의 유충이 많아지는 III~IV단계에 출현하는 것이 확인되어 본 종의 출현이 사체의 III~IV단계를 시사하는 법곤충학적으로 유용한 곤충임이 확인되었다.

한편 딱정벌레목 중 부패된 사체를 먹기 위해서 모이는 종류로서는, 송장벌레과(Silpidae), 수시렁이과(Dermestidae) 및 반날개과(Staphylinidae)에 속하는 일부 종들이 알려져 있는데[5], 본 연구에서 딱정벌레과의 1종(유충)이 그늘진사체를 제외한 나머지 사체에서 부패단계(III) 이후부터 관찰된 점으로부터, 본 종도 시식성 곤충일 가능성이 있으며, 앞으로 본 종이 동정되어 생태가 확인되면 지표종으로 이용될 가능성이 있다고 생각되었다.

위의 4종 외에, 사체 주위에서 관찰된 바구미과, 모기과, 메뚜기과, 네발나비과 및 실잠자리과의 곤충들은 사체를 서식처로 사용하거나 사체에 모여드는 곤충들을 포획하는 곤충들이 아니기 때문에[16], 기존에 사체가 설치된 장소주변에서 서식하거나 사체 주위에서 우연히 관찰된 것으로 생각되었다. 한편, 개미과, 말벌과, 귀뚜라미과 및 사마귀과의 곤충들은 사체나 사체 주변에 접근하는 곤충들을 포식하기 위해 출현한 것으로 생각되지만 그 수가 적고, 나타나는 경향이 불규칙하기 때문에 법곤충학적으로 이용되기 어렵다고 생각되었다.

### 사체의 부패속도, 무게 및 온도 변화

본 연구 결과 사체 몸통부위에서 건조단계(IV)가 종료되기

까지 완전노출사체의 경우 7일, 덮은사체의 경우 10일, 그늘진 사체의 경우 13일, 감은사체의 경우 15일이 걸렸는데, 이러한 차이는 사체의 노출 정도에 따른 곤충의 접근성과 많은 비에 의한 사체의 손실량의 차이에 의한 것으로 생각되었다. 즉, 양지에 설치된, 그늘진사체를 제외한 세 구의 사체를 비교하면 노출정도가 클수록 많은 곤충이 출현하여 곤충의 섭식에 의한 사체의 분해속도가 빠르고 강한 비에 의한 사체조직 및 곤충(유충)의 유실정도가 커져서 사체의 백골화가 빨리 진행됨을 알 수 있었다. 즉, 노출정도가 가장 크고, 가장 많은 종(13종)이 출현한 '완전노출사체' > 노출정도가 중간단계이며 11종의 곤충이 출현한 '덮은사체' > 노출정도가 적으며 8종의 곤충이 출현한 '감은사체'의 순으로 빨리 부패하는 것을 알 수 있었는데 이와 유사한 경향은 미국에서 수행된 연구[19]에서도 보고되어 있다.

한편 사체 위에 지붕을 설치한 그늘진사체의 경우, 건조단계(IV)종료까지 비교적 많은 시간이 걸렸는데(13일), 이는 그들로 인해서 사체의 온도가 비교적 낮게 유지됨으로써 완전노출사체(7일)나 덮은사체(11일)에 비해서는 부패 속도가 느려졌지만 감은사체(15일) 보다는 곤충의 접근성이 좋아 부패단계(III)가 빨리 진행되었다고 생각되었다. 또한 지붕이 덮여 있어서, 강한 비로 인한 사체조직의 유실 정도가 적었던 점도 부패의 속도를 지연시켰을 것으로 생각되었다.

사체 머리의 경우 몸통에 비해서 부패기간이 짧는데, 이는 곤충의 먹이가 되는 조직의 양이 몸통에 비해서 머리 부분에는 적기 때문이라고 생각되었다. 한편 부패속도는 사체에 따라 큰 차이를 보이지 않았지만(4~7일), 머리부분까지 덮은 덮은사체(7일)에서는 머리가 덮이지 않은 나머지 3 사체(4~5일)에 비해서 사체머리의 부패가 약간 지연되었는데, 이는 이 사체의 머리부분이 다른 사체에 비해서 비교적 많은 비에 노출되지 않아 사체머리의 조직이 비교적 많이 남았기 때문으로 생각되었다.

사체 몸통의 온도는 덮은사체와 감은사체 모두, 많은 비가 내린 5일째(III)를 제외하고 건조단계(IV)까지 상승했으며, 이와 같은 경향은 미국[19]과 콜롬비아[12, 24]에서도 보고된 바 있다. 한편 건조단계(IV)이후, 덮은사체의 사체온도가 아직 부패가 진행되고 있는 감은사체 보다 높게 유지되는 점은 흥미로운데(Fig. 6), Payne [18]는 파리유충의 활동에 의한 대사열의 발생은 사체내부의 온도를 상승시키고, 사체의 높은 온도는 박테리아와 원생동물의 사체분해속도를 가속시킨다고 주장하고 있다. 즉, 덮은사체와 감은사체의 온도 차의 주요 원인으로 양 사체의 곤충의 접근성의 차이로 인해서 발생한 것으로 생각할 수 있다. 한편 사체 머리의 온도변화는 모든 사체에서 매우 유사하였지만, 덮은사체의 경우 4~8일째에 나머지 세 사체의 온도보다 3~6°C 높게 유지되고, 특히 비가 내린 5~6일째(IV)에도 나머지 세 사체들에 비해서 온도가 약간 높은 것은 머리부분이 담요로 싸여있어 비로 인한 온도 하강이 방

지되었기 때문으로 생각되었다(Fig. 7).

이상으로부터, 사체의 사후경과시간을 추정할 때에는 사체의 노출 정도, 계절, 주위 환경의 온도 및 강수량 등을 반드시 고려하여 추정해야 할 것으로 생각되었다.

## 감사의 글

이 논문은 2011년 경성대학교 학술연구비지원에 의하여 연구되었으며, 이에 감사 드립니다.

## References

- Anderson, G. S. and S. L. Vanlaerhoven. 1996. Initial studies on insect succession on carrion in southwestern British Columbia. *J. Forensic Sci.* **41**, 617-625.
- Byrd, J. H. and J. L. Castner. 2002. *Forensic Entomology*. CRC Press. pp. 85-111, 2nd eds., Boca Raton, Florida.
- Centeno, N., M. Maldonado, and A. Oliva. 2002. Seasonal patterns of arthropods occurring on sheltered and unsheltered pig carcasses in Buenos Aires Province (Argentina). *Forensic Sci. Int.* **126**, 63-70.
- Grassberger, M. and C. Frank. 2004. Initial study of arthropod succession on pig carrion in a central European urban habitat. *J. Med. Entomol.* **41**, 511-523.
- Joy, J. E., N. L. Liette, and H. L. Harrah. 2006. Carrion fly (Diptera: Calliphoridae) larval colonization of sunlit and shaded pig carcasses in West Virginia, USA. *Forensic Sci. Int.* **164**, 183-192.
- Jung, H. J. 1989. Studies on the flora of Mt. Hwang-Ryeong. Ms. Thesis, Busan National University, Busan, Korea.
- Jung, J. B. and M. H. Yoon. 2008. A study on the arthropod succession in exposed pig carrion. *J. Life Sci.* **18**, 1400-1409.
- Kelly, J. A. 2006. The influence of clothing, wrapping and physical trauma on carcass decomposition and arthropod succession in Central South Africa. Ph. D. Thesis, University of the Free State, Free State, Republic of South Africa.
- Korea Meteorological Administration. <http://www.kma.go.kr>.
- Kim, H. H. 2005. Natural landscape and distribution of reed community in the Nak-dong River estuary region. Ms., Kyung-Hee University, Seoul, Korea.
- Kurahashi, H. and J. D. Wells. 1994. *Chrysomyia megacephala* development: Rate, 1variation and the implications for forensic entomology. *Jpn. J. Sanit. Zool.* **45**, 303-309.
- Martinez, E., P. Duque, and M. Wolff. 2007. Succession pattern of carrion-feeding insects in Paramo, Colombia. *Forensic Sci. Int.* **166**, 182-189.
- Matuszewski, S., D. Bajerlein, S. Konwerski, and K. Szpila. 2008. An initial study of insect succession and carrion decomposition in various forest habitats of Central Europe. *Forensic Sci. Int.* **180**, 61-69.
- Michaud, J. P. and G. Moreau. 2009. Predicting the visitation of carcasses by carrion-related insects under different rates of degree-day accumulation. *Forensic Sci. Int.* **185**, 78-83.

15. Moon, T. Y. 1996. Diversity and succession of saprophagous entomofauna on exposed rabbit carrions in Pusan. *Kosin J. Health Sci.* **6**, 53-64.
16. Moon, T. Y. and G. J. Moon. 1997. Medicolegal Entomology. *Kosin J. Health Sci.* **7**, 33-52.
17. Niederegger, S., J. Pastuschek, and G. Mall. 2010. Preliminary studies of the influence of fluctuating temperatures on the development of various forensically relevant flies. *Forensic Sci. Int.* **199**, 72-78.
18. Payne, J. A. 1965. A summer study on the baby pig *Sus scrofa* Linnaeus. *Ecology* **46**, 592-602.
19. Shean, B. S., L. Messenger, and M. Papworth. 1993. Observations of differential decomposition on sun exposed v. shaded pig carrion in coastal Washington State. *J. Forensic Sci.* **38**, 938-949.
20. Singh, D. and M. Bharti. 2001. Further observations on the nocturnal oviposition behaviour of blow flies(Diptera: Calliphoridae). *Forensic Sci. Int.* **120**, 124-126.
21. Tullis, K. and M. L. Goff. 1987. Arthropod succession in exposed carrion in a tropical rainforest on O'ahu Island, Hawai'i. *J. Med. Entomol.* **24**, 332-339.
22. Wang, J., Z. Li, Y. Chen, Q. Chen, and X. Yin. 2008. The succession and development of insects on pig carcasses and their significances in estimating PMI in South China. *Forensic Sci. Int.* **179**, 11-18.
23. Wells, J. D. and L. R. Lamotte. 1995. Estimating maggot age from weight using inverse prediction. *J. Forensic Sci.* **40**, 585-590.
24. Wolff, M., A. Uribe, A. Ortiz, and P. Duque. 2001. A preliminary study of forensic entomology in Medellín, Colombia. *Forensic Sci. Int.* **120**, 53-59.

#### 초록 : 돼지사체의 노출 정도에 따른 곤충상과 사체의 부패 패턴에 대한 연구

정재봉 · 윤명희\*

(경성대학교 이과대학 생물학과)

본 연구는 유기된 돼지사체의 노출 정도에 따른 곤충상의 변화와 부패 패턴을 이용해서 사체의 사후경과시간(Post Mortem Interval, PMI)을 추정하기 위한 기초자료를 얻기 위해 수행되었다. 부산 낙동강 주변의 초지에서 완전노출사체, 감은사체, 덮은사체 및 그늘진사체 각각 1구씩을 2010년 8월에 설치하여 총 7목 15과 20종의 곤충들이 관찰되었고 가장 먼저 접근한 곤충은 검정뽀금파리였다. 검정뽀금파리는 모든 사체에서 전 기간에 걸쳐 출현했으며, 꼭지파리과의 1종, 왕반날개 및 딱정벌레과의 1종은 부패(III)~백골화(V)단계에 출현하여, 위 4종은 사체의 부패단계를 시사하는 지표곤충으로 유용하다고 생각되었다. 한편, 부패속도는 완전노출사체(7일) > 덮은사체(10일) > 그늘진사체(13일) > 감은사체(15일)의 순으로 빨랐는데, 이는 사체의 노출 정도에 따른 곤충의 접근성 및 큰 비에 의한 사체손실의 정도와 관련이 있는 것으로 생각되었다. 따라서 PMI 추정 시 사체의 노출 정도가 반드시 고려되어야 한다고 생각되었다.