

먹바퀴, *Periplaneta fuliginosa*(Serville), 습성의 계량적 관찰 : 실험실내 사육상의 중요 미소서식처에서의 출현*

Quantitative Observation on the Behavior of the Smoky Brown
Cockroach, *Periplaneta fuliginosa* (Serville): Presence at
Important Micro-habitats of Rearing Cages in the Laboratory

진 태 수 · 박 영 석

Tae-Soo Chon and Young Seuk Park

ABSTRACT Behavior of adult females of the smoky brown cockroach was observed for 10~15 days continuously by using computer and the automatic sensing system. Under the light condition of 12L~12D, individual variations were generally higher and the periodicity appeared less in terms of the presence time at the micro-habitats and the locomotory activity. The smoky brown cockroach appeared 20.42, 11.50, 6.31 and 2.66% in a day in averages respectively at the shelter and the places for other individuals, feeding and drinking. It stayed 20.29% in a day at the shelter when food, water, and other individuals were not supplied. Visiting rates were higher at the feeding and drinking places than at the other micro-habitats. The degree of the locomotory activity was relatively lower when food, water, and other individuals were not supplied than when they were supplied. The Principal Component Analysis (PCA) on the presence at the micro-habitats showed that the presence pattern for each individual appeared differently (Q mode) while the different time zones were grouped to the photophase and scotophase (R mode). When food, water, and other individuals were supplied the degree of grouping was higher at the shelter than at the places for feeding and drinking. When the activity and the presence time at the different micro-habitats were jointly analyzed by PCA, the activity of the female smoky brown cockroach appeared in relation with the presence time (%) at the places for feeding and other individuals.

KEY WORDS Smoky brown cockroach, behavior, micro-habitat presence, activity

초 록 컴퓨터와 자동감지장치를 이용하여 먹바퀴 성충 암컷의 행동을 사육상에서 10~15일간 연속 관찰하였다. 대체적으로 12L~12D의 광조건하에서 각 미소서식처에서의 출현율과 활동성에는 개체의 변이가 컸고 일주기성이 낮게 나타났다. 먹이, 물, 타개체가 공급되었을 경우 휴식처, 타개체, 먹이 및 물이 있는 곳에서 각각 하루 평균 20.42, 11.50, 6.31, 2.66% 출현했다. 먹이, 물, 타개체를 공급하지 않았을 경우 휴식처에서 하루중 20.29% 출현하였다. 출현 시간당 방문 횟수는 다른 미소서식처에서보다 먹이 먹는 곳과 물 마시는 곳에서 많았고 먹바퀴의 활동성은 먹이, 물, 타개체를 공급했을 때가 공급하지 않았을 때 보다 높았다. 미소서식처 출현에 대한 Principal Component Analysis (PCA) 결과 각 개체들의 출현 양상은 다양하게 나타났으나(Q모드), 각 시간대는 명, 암기로 유형화 되어 나타났다(R모드). 먹이, 물, 타개체 공급시 휴식처에서의 출현이 먹이를 먹는 곳과 물을 마시는 곳에서의 출현보다

*본 연구는 1991년도 교육부 학술연구비조성에 의해 수행되었음.

부산대학교 자연과학대학 생물학과 (Dept. of Biology, Coll. of Natural Science, Pusan National University, Pusan 609-735)

명, 암기의 유형성이 강하게 나타났다. 각 미소서식처에서의 출현율과 활동을 종합적으로 고려하여 PCA한 결과 먹바퀴의 활동은 먹이 및 타개체기 있는 곳의 출현율과 관련 되었다.

검 색 어 먹바퀴, 행동, 미소서식처 출현, 활동성

1950년대 이래 바퀴류에서 한 개체의 행동을 연속적으로 관찰하기 위해 actograph (Cloudsley-Thompson 1953), kymograph (Harker 1956), 적외선 감지기(Brady 1967), running wheel(Roberts 1960, 1962, Lipton과 Sutherland 1970a, 1970b, Ball 1971), capacitance monitor(Schechter 등 1963, Lipton과 Sutherland 1970a), radiotracer(Sommer 1975), micro-calorimeter(Wilson 등 1981) 등이 사용되어 활동성이나 중요 행동의 주기성이 조사되어 왔다. 그러나 주로 이질바퀴(*Periplaneta americana*), 바퀴(*Blattella germanica*), *Leucophaea maderae* 등에 대해서 수행되었고, 최근 경제적 중요성을 띄는 먹바퀴(*Periplaneta fuliginosa* (Serville))(具 등 1984, Appel과 Rust 1987)에 대해서는 몇가지 활동성에 대한 야외조사(Fleet 등 1978, Appel과 Rust 1985, 1986)외에는 실내에서 연속 관찰한 연구는 드물다.

먹바퀴와 같은 속인 이질바퀴에 대해서 Lipton과 Sutherland(1970a, b)는 running wheel(운동바퀴)을 이용해서 일주기성을 조사했는데 12L~12D 광조건에서 성충 수컷의 93%가 활동리듬을 나타내었다고 하였고, 성충 암컷도 교미를 하지 않았을 경우에는 수컷과 비슷하다고 하였다. 아울러 섭식행동도 성충 수컷의 89%가 리듬을 나타내었다고 하였다. 반면 Whitmore와 Bignell(1990)은 contact-sensitive capillary tube를 개발하여 이질바퀴 수컷의 물마시기 행동을 연속적으로 관찰한 바 있는데 일주기성이 잘 표출되지 않았다고 보고하였다. 이들은 바퀴류의 중요 행동인 활동, 먹기, 물마시기 등을 유기적으로 연구하기 위해서는 전체 행동을 같은 사육조건에서 함께 조사할 필요가 있다고 하였다.

Kaneko(1986)가 running wheel을 이용하여 실내 실험 조건에서 먹바퀴의 활동성을 관찰한 바, 12L~12D 광조건에서 먹바퀴도 활동 리듬이 있음을 보고하였으며, 이질바퀴에 비하여 빛이 주어지기 직전과 직후에 두번 활동이 나타나는 복상형(biphasic)이 많았다고 하였다. 완전한 암조건에서의 먹바퀴의 자유운동기간은 23시간 38분, 완전한 명조건에서는 24시간 19분이었다고 했으며 이질바퀴에 비하여 주기성의 변이가 더 크다고 하였다. 그러나 위 조사는 활동성 한가지를 대상으로 조사한 바, 먹바퀴의 중요 행동인 활동, 휴식, 먹기, 물마시기 등을 같은 실험 사육상에서 동시에 조사한 연구는 드물다.

1980년대 중반 이후 microprocessor와 감지체제의 발달은 보다 자연에 가까운 상태에서 미세하거나 보이지 않는 장소의 생물 행동을 종합적으로 관찰하고 연속해서 많은 정도를 처리할 수 있게 하였다. 본 실험에서는 半自然的인 관찰사육상을 제작하여 먹바퀴에 필요한 중요 환경자원인 먹이, 물, 휴식처 및 타개체를 공급하고, 이에 대한 먹바퀴의 출현을 자동감지기로 감지하여 그 전기적 신호를 컴퓨터로 처리하는 자료입력체제(Data Acquisition System, DAS)를 활용하였다. 이를 통해 먹바퀴의 종합적인 행동 양상을 관찰하고 환경 조건에 따른 중요 습성들의 유기적인 관계를 파악하며 해충 관리를 위한 생물적 기초정보를 얻고자 하였다.

재료 및 방법

관찰 사육상 및 감지 장치

행동 관찰을 위한 사육상은 5mm 두께의 투명 아크릴 판으로 폭 3.5cm, 높이 3cm의 십자

형(14.5cm×22.5cm)으로 제작하였다(그림 1). 사육상의 네 방향 끝 부분에는 딱바퀴의 중요한 행동을 유발시킬 수 있는 휴식처(S: shelter), 먹이(F: food), 물(W: water) 및 타개체들(O: other individuals)이 공급되었는데 실험 편의상 이들이 제공되는 곳을 미소서식처(micro-habitat)로 간주하였다.

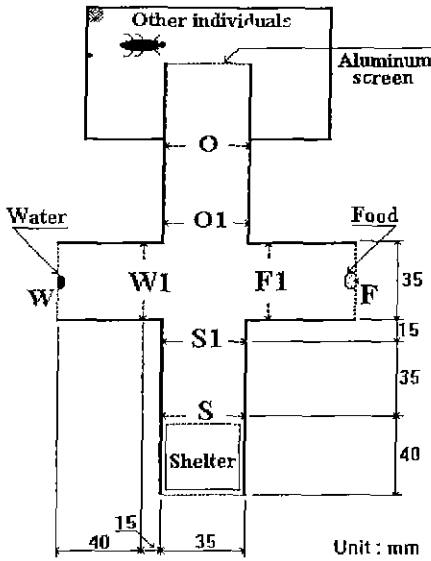


Fig. 1. A rearing cage(145×225mm) for the observation of the behavior of the female smoky brown cockroach with sensors located at the micro-habitats (shelter (S) and the places for feeding (F), drinking (W) and other individuals (O)), and the positions for detecting locomotion(S1, F1, W1 and O1).

사육상 중심으로부터 각 미소서식처에 이르는 거리는 같게 하고 여러 가지 실험상황을 고려하여 S와 O, 그리고 F와 W를 서로 마주 보게 하였다. S와 O는 사육상 끝 부분(4cm 길이)에 아크릴 판을 추가하여 마련하였다. S는 어둡게 하기 위하여 부위 전체를 검정색 테이프로 발랐다. S안에는 알루미늄 망(0.3cm×0.3cm mesh size)으로 “⊥”자형의 지지대를 설치하여 주었다. O에서는 사육상 주위에 별도의 공간(11.5cm×7cm×3cm(높이))을 만들어 타개체들을 투입하고, 휴식처, 물, 먹이 등을 공급하여 주었다. 관찰 사육상과 직접 접하는 부

분은 아크릴 벽을 없애고 알루미늄 망(0.3cm×0.3cm mesh size)을 설치하여 실험 곤충과 타개체들의 촉각이나 다리 등이 서로 닿을 수 있도록 하였다.

F에서의 감지는 딱바퀴의 먹는 힘에 의하여 먹이가 뒤로 밀릴 때 ON-OFF 스위치가 연결되는 방식을 이용하였다(그림 2). 먹이는 6mm(직경)×10mm(높이) 크기로 잘라서 두께 0.2mm, 직경 10mm되는 주석(양철)판에 플라스틱 접착제를 이용하여 부착시킨 후 탄성이 강한 guitar철선(1번선)에 수직으로 연결하여 딱바퀴가 먹이를 먹을 때 쉽게 밀려나고, 먹이를 먹지 않을 때에는 다시 제자리로 곧 돌아올 수 있게 하였다. 먹이를 부착한 주석판과 먹이가 있는 뒷벽에 전기를 공급하여 딱바퀴가 먹이에 닿을 때 주석판이 뒤로 밀리어 ON-OFF 스위치가 연결되어 전기신호가 DAS로 가도록 하였다(그림 2).

물 마시는 것을 감지하기 위해서도 ON-OFF 스위치가 연결되는 방법을 사용하였다(그림 2). 1ml 주시기에 21gauge 주사바늘을 꽂고 여기에 20gauge 플라스틱 튜브를 20cm 길이로 연결하여 수직으로 세우고 그 끝은 전선이

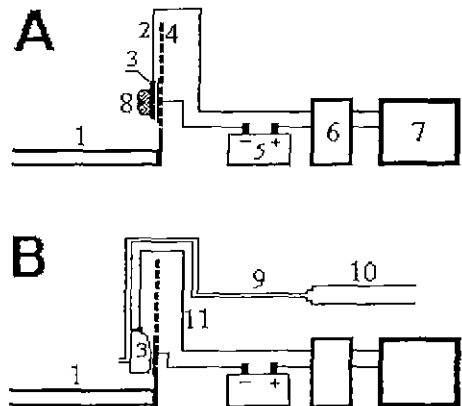


Fig. 2. Sensing system for detecting feeding (A) and drinking (B) (vertical view). 1; bottom of the rearing cage, 2; guitar string(#1), 3; tin disk, 4; aluminum screen, 5; 2v dc power supply, 6; circuit for detecting system, 7; computer(IBM PC), 8; food, 9; plastic tube (20 gauge), 10; syringe (1 ml), 11; copper wire (covered with enamel).

연결된 주석관(직경 8mm, 두께 0.2mm)에 부착시켰다. 주사기는 주석관에 부착된 튜브의 끝보다 약 1cm 높게 하여 놓혀 놓았다. 주사기의 높이를 미세하게 조절함으로써 적절한 수압을 유지해 튜브의 끝에서 연속적으로 일정한 양의 물이 실험 곤충에게 공급될 수 있도록 하였다. 또한 물이 공급된 뒷벽은 알루미늄 망(0.3cm×0.3cm mesh size)을 설치하고 전기를 공급하여 먹바퀴가 물을 마실 때에 주석관이 뒤로 밀리어 전류가 흐르도록 하였다. 위의 방법은 Whitmore와 Bignell(1990)의 contact-sensitive capillary tube에서 제시된 원리와 비슷하다. 그러나 본 실험에서 이들의 방법을 시도한 바, 수평으로 위치하는 capillary tube의 탄성이 약하여 압력이 가해 진 후 다시 제자리로 돌아오지 않아 사용하기가 힘들었다.

F와 W에서의 감지는 단순히 먹바퀴의 이동을 감지하는 것보다 복잡하여 개체에 따라 관찰기간 중 일부 감지가 힘든 경우가 있었다. 조사기간 동안 먹은 먹이의 총량은 조사 전과 후의 무게의 차로 측정하였으며, 마신 물의 양은 시판되고 있는 1회용 주사기(1ml)를 이용하여 감소된 양을 매일 기록하였다.

F와 W와의 모든 감지 위치에는 적외선 센서로 먹바퀴의 출현을 자동적으로 감지하도록 하였다. 일차적으로 S와 O의 입구에 적외선 감지장치를 설치하였고 아울러 먹바퀴의 활동성을 점검하기 위하여 사육상 중심으로부터 각 미소서식처를 향한 32.5mm 되는 지점에 적외선 감지기(S1, O1, W1, F1)를 장치하였다(그림 1). 감지기 간의 거리는 먹바퀴의 체장과 비슷한 3.5cm로 하여 체장 이상이 되는 이동이 감지될 수 있게 하였다. 감지기의 수직 감지폭이 한정되어 있으므로 감지지점을 통과하는 먹바퀴를 확실하게 감지하기 위하여 사육상 밑에서 1cm 높이만 열려 있도록 하고 위는 투명한 아크릴 판(두께 2mm)으로 막았다. 따라서 중심부 사방에 폭 3.5cm, 길이 3.5cm, 높이 3cm의 작은 공간 4개가 형성된 모양을 하였다. 이렇게 하는 것이 먹바퀴가 적절하게 활동할 수 있

게 하였고 다른 미소서식처로의 이동 여부를 보다 확실하게 나타내어 주었다.

감지장치에 대한 scanning 시간은 초당 4회였으며 각 사육상의 감지기로부터 오는 신호는 A/D(Analog/Digital)에 의해 통합하고, 이 정보는 컴퓨터에 내장된 DAS interface card (DASAN Tech.)에 수용하여 컴퓨터(IBM PC)에 입력하였다. 입력되어진 자료는 적절히 정리하여 통계 처리를 하고 중요행동의 유형을 분석하기 위해 Principal Component Analysis (PCA)(SPSS PC+1989)를 실시하였다.

사육 실험 조건

실험 곤충은 본 연구자의 실험실에서 1990년부터 누대 사육하고 있는 개체군에서 공급하였다. 대량사육은 Cornwell(1976)이 제시한 방법을 따랐고 먹이는 시중에서 판매되는 실험동물 사료(신촌사료주식회사)를 사용하였다. 실험 곤충은 전 생육기간 동안 광조건 12L~12D, 온도 28±2(SD)°C, 습도 RH 50±10(SD)%에서 사육하였다. 사육관찰실에서의 광원은 40W 형광등(관찰 사육상 표면에서 측정시 1,500Lux)이 사용되었다. 사육상은 광조건이 조절되는 암실에 설치하고 관찰기간 동안 사육실험실(3.6m×2.6m×2.4m(높이))은 통풍이 되도록 하였으며 (환풍기: 35W, Goldstar: FV202B), 암 상태에서는 적미등을 설치하여 관찰했다.

관찰용 실험 곤충은 사육된 노숙 약충 중에서 우화 후 12시간 이내의 성충 암컷을 사용하였으며, 외형상으로 형태적 변이가 없고, 손상을 입지 않은 개체를 택했다. O에 투입된 곤충은 우화 후 12시간 이상, 2개월 이내인 수컷 3개체를 공급하였다. 실험에 사용되는 타개체로서는 성, 연령 등의 여러 가지 조건이 고려되어 다양하게 선택될 수 있으나, 실험 여건상 이러한 모든 조건을 수용하여 조사할 수가 없어 한 가지를 택해야 했는데, 이 실험에서 부차적으로 암컷이 우화 후 관찰 기간내에 수컷에게 성적으로 끌리거나 다른 반응을 보이는

가를 알고자 했기 때문에 수컷 성충을 택하였다.

실험 곤충은 앞서 설명한 기본적인 광조건 (12L~12D)에서 먹이, 물, 타개체를 공급한 정상적인 경우와 광 조건은 같으나 먹이, 물, 타개체는 공급하지 않아 환경압박을 받을 때를 비교하여 관찰했다. 먹바퀴의 중요 미소서식처에서의 출현 행동(활동, 휴식, 물, 먹이 및 타개체 찾기 등)을 자료입력장치를 통해 10~15일 동안 연속적으로 기록하였다. 먹이, 물, 타개체의 공급시는 23개체, 불공급시는 20개체를 관찰하였으나 실험조건이나 감지장치의 문제로 자료 출력이 잘 되지 않은 6개체(먹이, 물, 타개체 공급시와 불공급시 각각 3개체)를 제외하고 분석하였다. 먹이, 물, 타개체 불공급시 F와 W에서의 감지장치는 제거하였다. 그러나 O에서는 타개체가 없더라도 조사에 포함시키고 표기의 편의상 이 곳을 O'로 나타내었다.

결과 및 고찰

미소서식체에서의 출현

표 1은 첫날 이후 이를 켜부터 3일을 묶어 각 미소서식체에 나타난 하루 평균 출현율(%) ((총 출현시간/24시간)×100)과 출현 시간 동안 미소서식체에서 감지된 방문 횟수(감지장치에 나타난 총 “ON/OFF횟수”)를 나타낸 것이다. 표 1에 나타난 출현율은 각 개체의 사흘간 출현 평균치를 다시 전 개체에 대하여 평균한 것이다. 출현율의 분산치는 각 개체의 평균치에 대한 표준편차를 나타낸다. 출현 시간당 방문 횟수에서 ON/OFF 횟수를 측정할 경우 같은 감지지점에서 연속적으로 여러번 감지장치에 ON/OFF된 때가 있었는데 이것은 물체의 전체적인 움직임을 통한 미소서식체의 방문이라기보다는 신체의 일부가 조금 움직여 감지장치가 뒤돌아 되어 ON/OFF된 것으로 보고 전부 1회의 방문으로 간주하였다. 각 서식체에서 감지된 후 다른 감지기에 일차 감지가 된 후에 다시 해당 미소서식체에서 감지되었을 때를 새로운 방문으로 간주하였다. 우화 후 관찰사육상에 투입한 첫날은 투입시간이 각각 다르고 투입에 따른 놀람 현상이 있어 이를 켜 이후의

Table 1. Percents of the presence time and visiting rates (the number of visits per hour of presence) for the female smoky brown cockroach at the different micro-habitats as time proceeded*

Day	S		O		F	W
	ES	EN	ES	EN		
1st**	14.44(25.82)	16.37(31.97)	6.12(11.86)	11.00(24.08)	4.75(11.13)	3.76(11.80)
2nd-4th	21.04(28.48)	22.96(24.84)	12.23(17.32)	19.14(25.05)	4.42(8.00)	3.51(6.83)
5th-7th	20.78(20.78)	19.59(19.59)	12.56(12.56)	17.76(17.76)	8.79(8.79)	2.28(2.20)
8th-10th	19.44(19.44)	18.31(18.31)	9.71(9.71)	14.77(14.77)	5.72(6.33)	2.19(1.97)
Average	20.42(22.90)	20.29(20.91)	11.50(13.20)	17.22(19.19)	6.31(7.71)	2.66(3.67)
Visiting rate						
1st**	29.36(42.52)	19.18(29.87)	59.15(100.82)	25.27(218.91)	84.42(143.16)	71.28(52.66)
2nd-4th	13.02(12.17)	18.68(24.04)	18.23(17.74)	20.27(130.88)	71.72(88.46)	45.87(54.70)
5th-7th	11.98(11.98)	13.22(13.22)	13.54(13.54)	10.25(100.00)	34.13(34.13)	64.47(67.11)
8th-10th	10.96(10.96)	13.22(13.22)	15.24(15.24)	9.95(100.00)	53.15(49.48)	58.90(54.34)
Average	11.99(11.70)	15.04(16.83)	15.67(15.51)	13.49(110.29)	53.00(57.36)	56.42(58.67)

* Values are means(standard deviations) of average presence time (%) of the individuals. Replication numbers for ES (food, water, and other individuals were supplied), EN (food, water, and other individuals not supplied), F and W were 20, 17, 15, and 16, respectively. The abbreviations, S, F, W, and O, represent shelter and the places for food, water, and other individuals, respectively.

** not included in calculating averages

조사와 구별하였다.

각 미소서식처에서의 출현은 대체로 개체간의 변이가 심했다. 전체적으로 S에서는 먹이, 물 및 타개체들이 공급되었을 경우 하루 중에서 20.42%를 머물렀다. 이를 체제시간으로 환산하면 약 4.901시간이 되었다. 먹이, 물 및 타개체를 공급하지 않았을 경우는 S에서 하루중 20.29%인 4.870시간을 머물러 위의 공급시와 대체적으로 유사하였고 개체변이도 공급시와 비슷하였다.

O에서는 먹이, 물, 타개체의 공급시 약 2.760시간(11.50%)을 머물러 S에서 보다 짧게 출현하였다. 먹이, 물, 타개체의 불공급시에는 이 곳에 타개체가 공급되지 않고 빛에 노출된 공간으로 두었는데 하루 평균 약 4.133시간(17.22%)을 출현하였다. 이로써 빛에 노출되는 지점에서 상당시간 먹바퀴 암컷이 머물 수 있음을 나타내었는데, 먹이, 물, 타개체를 공급했을 때에도 빛이 있을 때에 S가 아닌 빛에 노출된 일정한 지점에서 오래 동안 정지해 있는 개체들을 관찰할 수 있었다.

먹이, 물, 타개체의 공급시 F에는 하루 평균 6.31%(1.514시간), W에는 2.66%(0.638시간) 출현하였다. 이로써 위 실험 조건에서는 F에서의 출현이 W에서 보다 2배 가량 길었고 반면 S나 O에서의 출현에 비해서 3배 정도 짧았음을 알 수 있었다. 각 서식처 출현율을 log 변환하여 Tukey의 다중비교분석(SPSS/PC+1989)한 결과 유의수준 5%에서 먹이, 물, 타개체 공급시와 불공급시의 S 및 O'에서의 출현율은 통계적으로 같고, 이들과 나머지 서식처에서의 출현은 전부 서로 달랐다.

S에서의 출현 시간당 방문 횟수는 먹이, 물, 및 타개체의 공급시와 불공급시 각각 평균적으로 출현 시간당 11.99회, 15.04회(이하 출현 시간당 방문 횟수에 대한 단위인 "회/시간"은 생략함)로 대체적으로 유사하게 나타났다. O와 O'에서도 각각 15.67, 13.49를 나타내어 전체적으로 출현 시간당 방문 횟수는 비슷했다. 반면 F와 W에서는 출현 시간당 방문 횟수가 급격

히 증가하여 각각 53.00과 56.42로 나타났다. 이로써 F와 W에서의 출현 양상은 S나 O와는 다름을 시사하였다. 각 서식처의 출현 시간당 방문 횟수를 log 변환 후 Tukey의 다중비교분석한 결과 유의수준 5%에서 출현 시간당 방문 횟수는 F와 W 및 기타 서식처의 두 집단으로 나누어졌다. 관찰이 진행되는 기간 동안의 F와 W에서의 출현 시간당 방문 횟수는 크게 변하지 않았는데 log 변환 후 분산분석한 결과 유의수준 5%에서 관찰기간 동안 차이가 나지 않았다(각각 $p=0.5909$, $p=0.2745$).

휴식처 및 타개체가 있는 곳에서의 시간대별 출현

표 2는 매일 3시간 단위로 S에 먹바퀴가 나타난 출현율(총 체제가능시간인 10,800초에 대해 실제로 머무른 시간의 백분율)과 출현 시간당 방문 횟수를 나타낸다. 하루를 3시간 단위(이하 시간대로 칭함)로 나누므로 명, 암기를 각각 4개의 분기로 구분하여 편의상 각 시기를 순서에 따라 빛이 들어오는 시각(실체는 오후 8시 30분)을 시작으로 명 1, 2, 3, 4기로 나누고 이후 불이 꺼지는 시각(실체는 오전 8시 30분)부터 암 1, 2, 3, 4기로 각각 표기하도록 하였다. 관찰 자료를 요약해 표현하기 위해 표에 나타난 출현율은 관찰 기간동안의 각 개체의 평균치를 다시 전 개체를 대상으로 평균한 것이다. 평균 출현율에 따른 표준 편차도 개체 평균을 적용하여 산출한 것이며 변이 계수(표준 편차/평균)도 전 개체에 대한 평균치이다. 표 2, 3, 4의 출현율의 전체 평균이 표 1에서 표기된 전체 평균치와 미소한 차이가 있는데 이는 이들 표에서 각 개체의 평균을 구할 때의 관찰기간의 차이나 평균치의 산출과정이 달라진 데서 기인한 것이다.

각 시간대별 S에서의 출현율은 개체별 변이가 심하여 변이 계수가 명, 암기 각각 평균 1.23, 1.30으로 높게 나타났으며, 주기성도 뚜렷이 나타나지 않았다. 평균 출현율에서 보는 바와 같이 전체적으로 암기(19.10%)보다는 명기(23.48%)에서 S에 더 머물렀다. 그러나 개체

Table 2. Percents of the presence time and visiting rates for the female smoky brown cockroach at the shelter at the different time zones*

Phase**		Presence(%)			Visiting rate		
		MEAN	SD	CV	MEAN	SD	CV
Photophase	1	21.85	18.83	1.27	14.14	8.18	0.97
	2	24.79	21.58	1.19	11.82	9.77	1.07
	3	24.55	22.45	1.26	14.00	9.92	1.02
	4	22.74	21.62	1.18	15.84	12.50	0.91
	Subaverage	23.48	21.12	1.23	13.95	10.09	0.99
Scotophase	1	18.69	18.37	1.24	13.95	11.07	1.04
	2	19.58	21.22	1.28	12.54	10.18	1.04
	3	20.08	20.87	1.28	12.41	8.62	1.20
	4	18.03	21.85	1.40	13.11	10.78	1.22
	Subaverage	19.10	20.58	1.30	13.00	10.16	1.13
Average		21.29	20.85	1.26	13.48	10.13	1.06
EN(n=17)							
Photophase	1	23.58	25.09	1.04	15.60	11.39	0.88
	2	21.29	22.08	1.13	12.03	8.81	0.89
	3	25.02	22.46	1.16	10.68	8.27	0.99
	4	20.52	19.59	1.13	15.31	10.07	0.85
	Subaverage	22.60	22.31	1.11	13.40	9.64	0.90
Scotophase	1	23.27	18.62	1.25	13.02	13.08	0.99
	2	19.53	19.68	1.29	11.25	13.60	0.95
	3	15.64	19.26	1.23	15.66	18.55	1.06
	4	15.73	18.51	1.27	17.15	26.66	1.00
	Subaverage	18.54	19.02	1.26	14.27	17.97	1.00
Average		20.57	20.66	1.19	13.84	13.81	0.95

* ES; food, water, and other individuals supplied, EN; food, water, and other individuals not supplied, SD; standard deviation, CV; coefficient of variance, n; replication number

** The photophase 1, 2, 3 and 4 sequentially represent the 3 hour periods after the light is on while the scotophase 1, 2, 3, and 4 similarly designate the 3 hour periods after the light is off.

별 변이가 심해 시간대별 출현양상은 다양했다. 그림 3은 조사된 각 개체가 S에 시간대별 평균적으로 출현한 양상을 나타낸 것이다. 조사된 20개체 중 총 체재시간의 30% 이상을 S에 머무른 개체가 6개체, 10%이하 머무른 개체가 9개체이어서 출현율의 변이가 컸고, 명, 암기에서의 출현 양상도 개체별로 다양하게 나타났다. 위 실험에서 일반적으로 바퀴류가 휴식을 취한다고 믿어지는 낮 동안에 S에만 오래 동안 머물러 있지 않는 개체들이 관찰되었다.

표 2에 나타난 출현 시간당 방문 횟수도 출현율의 경우와 같이 개체 평균치를 다시 전 개체를 대상으로 평균한 것이고 이에 따른 표준

편차와 변이 계수도 출현율과 같이 구하였다. 출현 시간당 방문 횟수는 개체 간 변이가 있었으나 먹이, 물, 타개체의 공급시 평균적으로 명, 암기 각각 13.95, 13.00이 되어 유사하였고 시간대에 따른 큰 변이는 없었다. 물, 먹이, 타개체들을 공급하지 않았을 때도 이들을 공급했을 때와 같이 S에서의 출현 시간당 방문 횟수는 비슷하였다. 명, 암기 각각 13.40, 14.27로 나타났는데 시간대별로는 광조건이 변하는 시기에 상대적으로 높은 경향을 나타냈다.

표 3은 O와 O'에서의 시간대별 평균 출현율을 나타낸 것이다. 먹이, 물, 타개체의 공급시 이 곳에서의 출현율은 S에서와 같이 개체간의 변이가 심했다. 평균적으로 명, 암기에서의 출

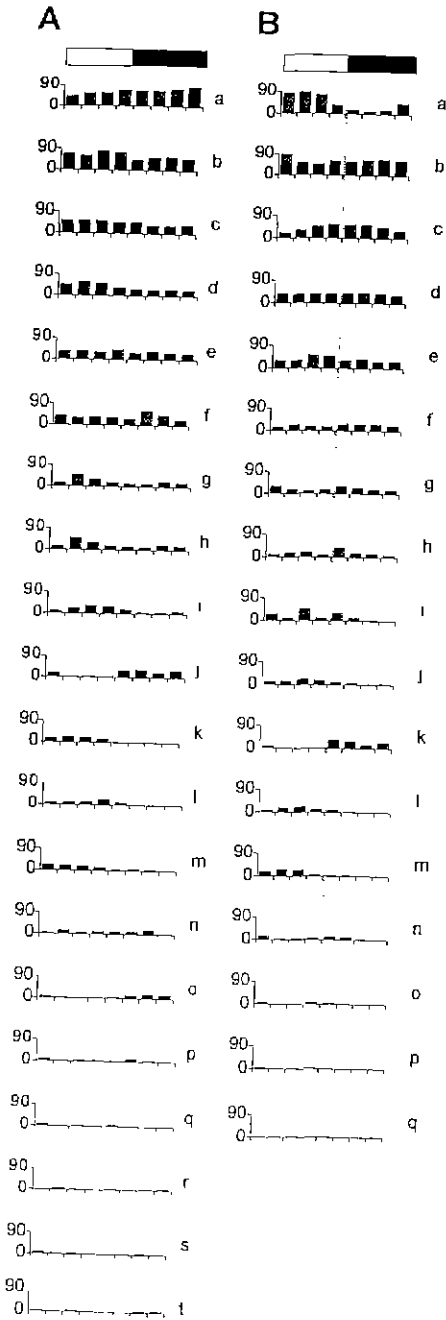


Fig. 3. Percents of the presence time at the shelter for different individuals of the female smoky brown cockroach at the different time zones. Values in the Y axis are percents of the presence time in averages. The units in the X axis represent photophase 1, 2, 3 and 4, and scotophase 1, 2, 3 and 4 sequentially from left to right (A; food, water, and other individuals were supplied, B; food, water, and other individuals not supplied).

현율은 각각 11.15%, 12.99%로 비슷하였다. 각 시간대별로도 큰 변이가 없었으나 상대적으로 명기에서 암기로 전환되는 시기에 출현율이 높은 경향을 나타내었다. 출현 시간당 방문 횟수는 명, 암기 각각 평균 18.45, 12.53을 나타내어 명기가 상대적으로 높았다.

먹이, 물, 타개체의 불공급시 O'에서의 출현율은 명, 암기 각각 14.91%, 16.00%로 유사하였고 시간대에 따른 변이도 적었다. 출현 시간당 방문 횟수는 명, 암기에서 각각 평균 12.86, 18.73으로 암기에서 더 높았다(표 3). 이는 먹이, 물, 타개체의 공급시 O에서의 출현 시간당 방문 횟수가 명기에서 더 높았던 것과는 대조가 되었는데 자세한 이유는 현 단계로서는 알 수 없었다. 타개체와의 관계는 먹바퀴의 생태 파악이나 해충 관리 전략에 중대한 요소가 되므로 보다 적절한 비교실험을 추가하여 계속 검토할 필요성이 있다고 사료된다. 관찰기간 동안 성충 암컷이 수컷에 대해 특정한 성적 반응을 보이는 경우는 없었다.

이상과 같이 미소서식처에서의 시간대별 출현은 개체별로 다양하게 나타남을 알 수 있었다(그림 3). 각 개체의 시간대별 출현 양상을 종합적으로 검토해 보기 위해 미소서식처에서의 평균 출현율을 대상으로 PCA를 실시하였다(SPSS/PC+1989). 이를 위해 각 개체를 표본단위(sample unit)로 간주하고 각 개체의 미소서식처에 대한 시간대별 평균 출현율을 대상 변량으로 삼아 자료 매트릭스를 구성하였다. 각 변량에 대한 자료는 log 변환하여 분석하였다. S에서의 출현율에 대한 PCA 결과 그림 4와 같았다. Q모드에서 표본단위인 각 개체는 예상되었던 대로 다양하게 흩어져 나타났다(그림 4a, 요인 1, 2, 3, 4에 대한 아이겐值(eigen value)는 각각 9.31, 3.49, 2.48, 2.33). 그러나 R모드에서 시간대별 출현을 분석한 결과 명기와 암기가 각각 모여져 나타났다(그림 4b, 요인 1, 2에 대한 아이겐值는 각각 6.75, 0.69). 이는 각 개체로서는 S에서의 출현이 다양하게 나타나지만 실험 개체군 집단으로서의 시간대

Table 3. Percents of the presence time and visiting rates at the different time zones for the female smoky brown cockroach at the place where other individuals were located*

ES(n=20)

Phase**		Presence(%)			Visiting rate		
		MEAN	SD	CV	MEAN	SD	CV
Photophase	1	10.20	11.14	1.25	21.06	16.59	1.01
	2	9.32	9.98	1.33	19.06	12.56	1.11
	3	11.05	12.38	1.34	17.22	11.43	1.06
	4	14.02	13.08	1.26	16.47	10.92	1.00
	Subaverage	11.15	11.64	1.29	18.45	12.87	1.04
Scotophase	1	15.25	14.86	1.31	14.27	9.27	1.09
	2	14.34	16.20	1.37	11.39	7.17	1.09
	3	12.41	13.24	1.45	11.95	8.68	1.20
	4	9.96	13.34	1.47	12.52	7.69	1.25
	Subaverage	12.99	14.41	1.40	12.53	8.20	1.16
Average		12.07	13.03	1.35	15.49	10.54	1.10

EN(n=17)

Photophase	1	14.43	16.81	1.20	18.84	22.88	1.02
	2	18.30	20.38	1.21	9.15	7.33	1.00
	3	14.67	17.51	1.19	9.77	9.84	1.00
	4	12.22	13.91	1.28	13.67	12.95	1.07
	Subaverage	14.91	17.15	1.22	12.86	13.25	1.02
Scotophase	1	14.05	14.61	1.17	28.13	65.37	1.07
	2	17.63	19.82	1.18	15.05	23.58	0.98
	3	16.72	21.19	1.20	9.93	7.02	1.06
	4	15.58	19.07	1.30	21.83	37.84	1.14
	Subaverage	16.00	18.67	1.21	18.73	33.45	1.06
Average		15.45	17.91	1.22	15.80	23.35	1.04

*ES; food, water, and other individuals supplied, EN: food, water, and other individuals not supplied, SD; standard deviation, CV; coefficient of variance, n; replication number

**The photophase 1, 2, 3 and 4 sequentially represent the 3 hour periods after the light is on while the scotophase 1, 2, 3, and 4 similarly designate the 3 hour periods after the light is off.

별 출현율은 유형화 되어져 명, 암기로 구분되어짐을 시사하였다. 일반적으로 각 시간대의 출현율 간의 상관계수는 높은 편이어서 0.68과 0.95사이에 있었다.

먹이, 물, 타개체의 불공급시도 S에서의 출현율은 Q모드에서 개체가 흩어져 나타났으나(그림 4c, 요인 1, 2, 3에 대한 아이젠值是 각각 6.73, 3.93, 3.12) 각 시간대를 비교하는 R모드에서는 모여져 나타났다(그림 4d, 요인 1, 2에 대한 아이젠值是 각각 6.00, 1.24). 그러나 이 경우에는 명 4기와 암 4기가 따로 묶여져 나왔는데 환경조건의 불공급이 명, 암기 후반부 출현율의 유형에 영향을 미쳤음을 시사하였다.

먹이, 물, 타개체의 공급시 O에서의 출현율도 Q모드에서 각 개체들이 흩어져 나타났으나

(그림 4e, 요인 1, 2, 3에 대한 아이젠值是 각각 7.57, 4.84, 3.80), R모드에서 시간대별로는 모여져 나타났다(그림 4f, 요인 1, 2, 3에 대한 아이젠值是 각각 5.85, 1.23, 0.52). 단 이 경우 암 1기가 명기와 같이 모여졌고 반면 명 1기는 따로 독립되어져 나타났는데 이로서 O에서는 S에서의 출현율에 비해 명, 암기의 초반부의 출현 양상이 달라짐을 시사하였다. 먹이, 물, 타개체의 불공급시도 Q모드에서 O에서의 출현율은 각 개체별로 흩어져 나타났다(그림 4g, 요인 1, 2, 3에 대한 아이젠值是 각각 5.47, 5.18, 3.11). 그러나 R모드에서 시간대별로는 명기, 암기가 다른 경우에 비해 잘 모여져 나타났다(그림 4h, 요인 1, 2에 대한 아이젠值是 6.96, 0.54).

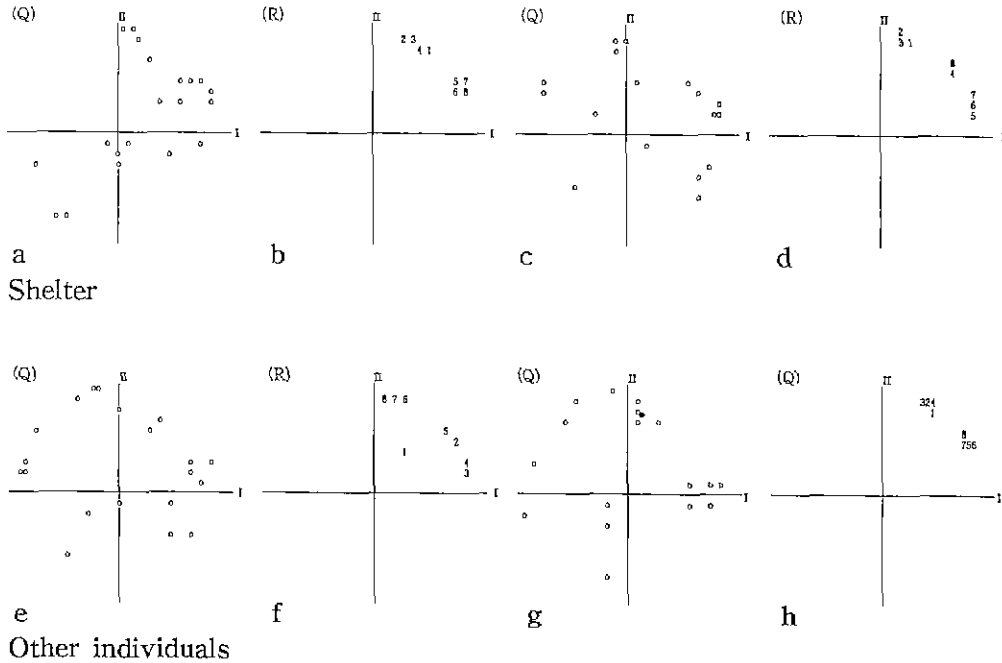


Fig. 4. PCA on different individuals of the female smoky brown cockroach with percents of presence time at the different time zones at the shelter and the place for other individuals. "a", "b", "e" and "f" are analyses when food, water, and other individuals were supplied while "c", "d", "g" and "h" are analyses when not supplied. Each number, 1 to 8, appeared in the R mode graphs designate photophase 1, 2, 3 and 4 and scotophase 1, 2, 3 and 4 respectively.

Table 4. Percents of the presence time and visiting rates at the feeding and drinking places for the female smoky brown cockroach at the different time zones*

Feeding place(n=15)							
Phase**		Presence(%)			Visiting rate		
		MEAN	SD	CV	MEAN	SD	CV
Photophase	1	6.41	10.86	1.21	48.29	58.76	1.21
	2	6.61	9.07	1.39	58.39	53.68	1.29
	3	6.51	6.71	1.43	53.79	38.16	1.04
	4	6.37	7.24	1.25	54.27	50.98	1.15
	Subaverage	6.47	8.47	1.32	53.69	50.39	1.17
Scotophase	1	4.12	5.45	1.44	72.06	72.62	1.30
	2	6.06	8.72	1.48	42.08	37.26	1.19
	3	5.64	7.01	1.40	47.07	50.93	1.18
	4	3.98	6.32	1.36	70.33	67.99	1.24
	Subaverage	4.95	6.87	1.42	57.89	57.20	1.23
	Average	5.71	7.67	1.37	55.79	53.80	1.20
Drinking place(n=16)							
Photophase	1	3.77	6.05	1.51	44.53	40.80	1.35
	2	2.72	2.41	1.44	79.17	115.71	1.35
	3	3.74	4.47	1.42	75.06	100.24	1.26
	4	2.20	1.82	1.41	91.40	80.99	1.31
	Subaverage	3.11	3.69	1.45	72.54	84.44	1.31

Scotophase	1	2.50	3.62	1.44	53.02	44.14	1.18
	2	2.68	4.99	1.43	51.56	43.38	1.24
	3	2.35	4.35	1.53	62.63	63.45	1.30
	4	2.03	2.75	1.58	72.63	82.41	1.41
	Subaverage	2.39	3.93	1.50	59.96	58.35	1.28
	Average	2.75	3.81	1.47	66.25	71.39	1.30

*SD; standard deviation, CV; coefficient of variance, n; replication number

**The photophase 1, 2, 3 and 4 sequentially represent the 3 hour periods after the light is on while the scotophase 1, 2, 3 and 4 similarly designate the 3 hour periods after the light is off.

먹이와 물이 공급되는 곳에서의 시간대별 출현

표 4는 F와 W에서의 시간대별 출현율과 출현 시간당 방문 횟수를 나타낸 것이다. F에서는 평균적으로 명기에는 6.47%, 암기에는 4.95% 출현하였는데 개체별 변이가 커서 변이 계수는 명, 암기 각각 평균 1.32, 1.42로 나타났다. 출현 시간당 방문 횟수는 앞서 언급한 바와 같이 다른 미소서식처에 비해 높았으나 평균 출현 시간당 방문 횟수가 명, 암기 각각 53.69, 57.89로 나타나 큰 차이가 없었고 시간대별로도 큰 변이가 없었으나 암 1, 4기가 약간 높은 경향을 띄었다.

W에서는 표 4에서 보는 바와 같이 명기에서 3.11%, 암기에서 2.39%로 유사하게 나타났다. 이 곳에서도 F에서와 마찬가지로 명, 암기에 같이 출현함을 알 수 있었으며, 다른 경우와 유사하게 변이가 높아 변이 계수는 평균 1.47을 나타냈다. 출현시간당 방문 횟수는 명, 암기 각각 72.54, 59.96으로 나타나 명기에서 상대적으로 많았다.

그림 5는 F와 W에서 각 개체의 시간대별 출현 양상을 나타낸 것인데 감지 상태가 양호한 15개체와 16개체를 선택하였다. F에서는 개체에 따라 평균적으로 0.2%에서 24.5%까지 다양하게 출현하였고, 주간이나 야간에 특징적으로 많이 나타난 것도 있었다. W에서의 출현율도 다양하여 출현율은 0.53%와 12.89% 사이이었으며 개체별로 명, 암기가 각각 다르게 나타났음을 알 수 있었다.

실제 관찰을 했을 때 많은 경우 물 마시는 것과 먹이를 먹는 것이 맞물려 출현하였으나 경우에 따라 연관되지 않고 나타난 경우도 있

었다. 그림 6은 실제 F와 W에서 같이 감지된 경우의 예를 나타낸 것이다. 이 경우에 흥미롭게도 빛이 있는 동안에 물과 먹이를 같이 섭취하며 일주기성을 보이다가 갑작스럽게 5일 제부터 주기성이 없어지고 진 기간 동안에 물과 먹이를 섭취하는 것을 볼 수 있었다. 단 이 경우에도 F와 W에서의 출현은 대체적으로 맞물려 나타났다. 먹이 먹는 것과 물 마시는 행동 관계는 먹바퀴의 생태 파악에 대단히 중요한데 현재 일치성에 대한 계량적인 검토를 하고 있다.

관찰기간 동안 성충 암컷에 의해 소모된 먹이의 양은 $49 \pm 0.02 \text{mg/day}$ 이었고 성충 암컷이 마신 물은 평균 $0.39 \pm 0.27 \text{ml/day}$ 이었다. 본 실험에서는 기구의 제한으로 섭취되는 먹이와 물의 양을 매 순간 측정하지 못했다. 실제 먹이나 물에 닿을 때의 신호를 기록하였으므로 체제시간에 따른 상대적인 섭취량은 나타낼 수 있겠으나, 먹기나 마시기에 대한 보다 정밀한 정보의 입수를 위해 앞으로 먹이나 물이 있는 곳의 출현시간과 실제 섭취하는 양과의 관계를 실험적으로 더 조사해야 할 필요성이 있다고 사료된다.

이상에서 본 바와 같이 먹기와 물마시기도 개체별로 다양하게 나타났다(그림 5). 각 개체가 시간대별 F에서 출현율에 대한 PCA 결과 그림 7과 같았다. 예상했던 바와 같이 Q모드에서 개체별로는 다양하게 흩어져 나타났다(그림 7a, 요인 1, 2, 3에 대한 아이겐値는 각각 4.88, 3.41, 2.42). R모드에서 시간대별 출현은 명, 암기가 S에서와 같이 뚜렷하게 모여져 나타나지는 않았다. 다만 요인 1에서 명기와 암기의

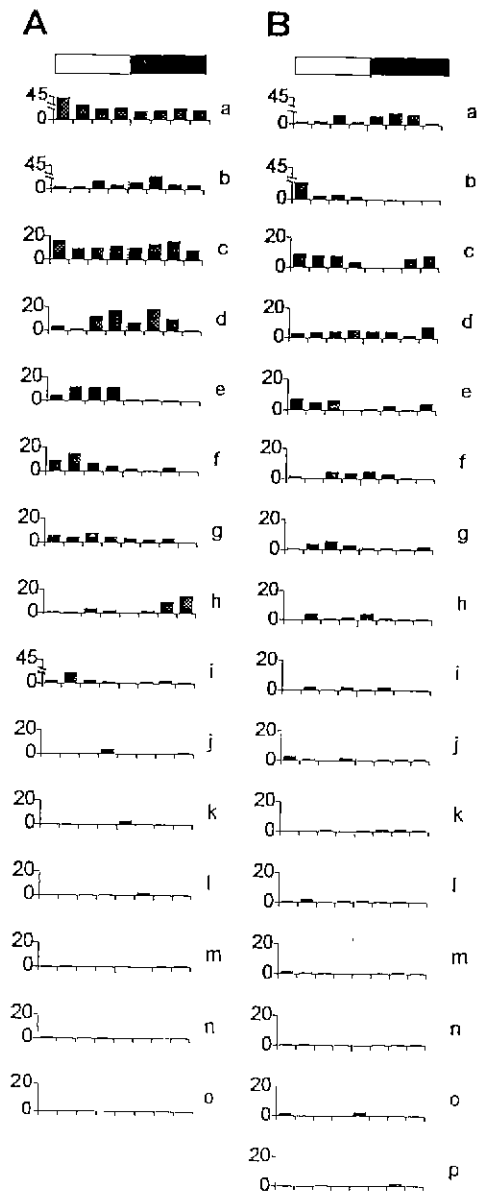


Fig. 5. Percents of the presence time at the feeding and drinking places for different individuals of the female smoky brown cockroach at the different time zones. Values in the Y axis are percents of the presence time in averages. The units in the X axis represent photophase 1, 2, 3 and 4, and scotophase 1, 2, 3 and 4 sequentially from left to right (A; feeding, B; drinking).

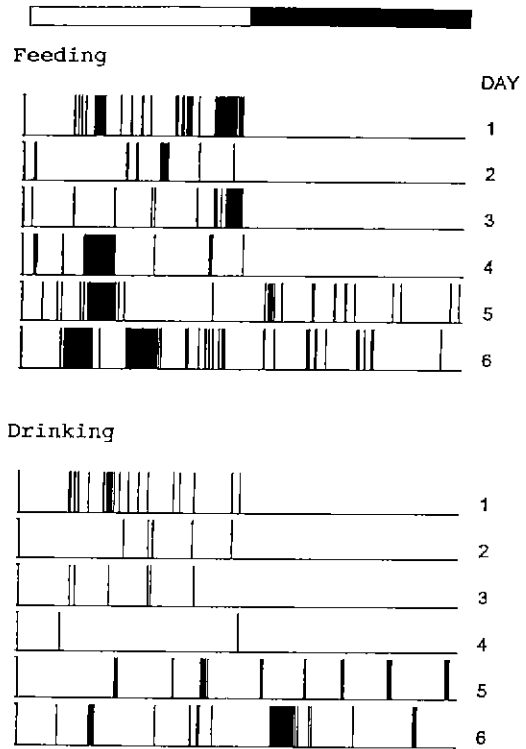


Fig. 6. Presence at the feeding and drinking places by the female smoky brown cockroach (Y axis represents ON/OFF signals of the sensors located at the feeding and drinking places while X axis stands for the time sequence for 24 hours).

위치가 구분되어 나타났으며, 요인 1부터 요인 3까지를 같이 고려할 때 상대적으로 명기에서 암기로 전환하는 명 3기부터 암 2기까지가 모여져 나타났다(그림 7b-1과 7b-2, 요인 1, 2, 3에 대한 아이젠値는 각각 6.08, 0.89, 0.57).

W에서도 Q모드에서 각 개체는 흩어져 나타났다(그림 7c, 요인 1, 2, 3, 4에 대한 아이젠値는 각각 4.72, 3.47, 2.36, 2.13). R모드에서도 시간대는 대체적으로 흩어져 나타났으나 요인 1, 3의 경우(그림 7d-2)에는 F의 경우보다 명, 암기가 상대적으로 모여져 나타났다. 이 경우 암기에서 명기로 전환되는 명 1기와 암 4기가 각각 따로 떨어져 나타났다(그림 7d-1과 7d-2, 요인 1, 2, 3, 4에 대한 아이젠値는 각각 4.37, 1.87, 0.81, 0.52). 전체적으로 보아 명,

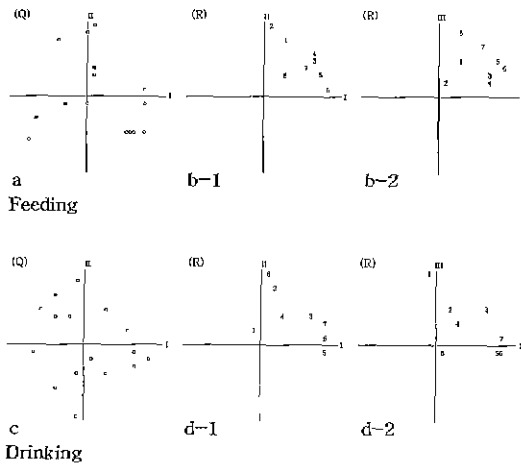


Fig. 7. PCA on different individuals of the female smoky brown cockroach with percents of the presence time at the different time zones at the feeding and drinking places. Each number, 1 to 8, appeared in the R mode graphs designate photophase 1, 2, 3 and 4 and scotophase 1, 2, 3 and 4 respectively.

암기에 대한 F와 W에서의 출현 유형은 S나 O에서의 출현율에 비해 낮았다.

활동성

표 5는 사육상에서 이동을 감지하기 위한 S1, O1, F1, W1에서 시간대(3시간)별로 감지된 총 ON/OFF 횟수를 나타낸 것이다. 사육상 중심으로부터 4 방향으로 감지장치가 설치되었으므로(그림 1), 어느 방향으로 움직이든지 먹바퀴의 이동이 감지되어 활동성을 측정할 수 있었다. 감지장치위에서 장시간 먹바퀴가 체제한 경우가 있었는데 이 경우 이동성을 나타내기 위한 목적으로 1회의 ON/OFF로 간주하였다. 전체적으로 다른 서식처에서의 출현 양상과 유사하게 개체별 변이가 컸으며, Kaneko (1986)가 running wheel을 이용해서 조사한 결과에 비해 일주기성이 약하게 나타났다. 먹이, 물, 타개체의 공급시 시간대별 평균 감지횟수는 명, 암기 각각 85.14회, 92.31회를 나타내어 상대적으로 암기가 높았다. 먹이, 물, 타개체의 불공급시 총 감지횟수는 공급시보다 상대적으

Table 5. The total number of ON/OFF's detected at the sensors located at S1, O1, F1, and W1 at the different time zones*

ES(n=20)				
	Phasae**	MEAN	SD	CV
Photophase	1	87.83	67.90	83.01
	2	80.62	72.74	76.22
	3	88.92	64.90	91.36
	4	83.20	64.42	78.26
	subaverage	85.14	67.49	82.21
Scotophase	1	96.58	75.45	92.18
	2	98.52	70.36	97.20
	3	97.85	80.31	83.74
	4	76.27	55.80	72.96
	subaverage	92.31	70.48	86.52
	Average	88.72	68.99	84.36
EN(n=17)				
Photophase	1	57.90	63.87	62.80
	2	37.51	30.94	45.02
	3	41.68	43.46	43.53
	4	56.06	80.06	74.74
	subaverage	48.29	54.58	56.52
Scotophase	1	43.37	40.98	48.28
	2	40.98	42.69	45.15
	3	47.33	49.86	57.77
	4	57.86	95.89	84.27
	subaverage	47.38	57.35	58.87
	Average	47.84	55.97	57.69

* ES; food, water, and other individuals supplied, EN; food, water, and other individuals not supplied, SD: standard deviation, CV; coefficient of variance, n; replication number

** The photophase 1, 2, 3 and 4 sequentially represent the 3 hour periods after the light is on while the scotophase 1, 2, 3 and 4 similarly designate the 3 hour periods after the light is off.

로 낮았는데 명, 암기 각각 평균 48.29회, 47.38회를 나타내었다. 전체적으로 일주기성은 뚜렷이 나타나지 않으나 활동성에서 많은 소형주기가 나타나는 경향이 있었다. 소형주기의 계량적인 판명은 파형분석이나 Time Series Analysis 등을 통해 현재 검토 중이다.

그림 8은 관찰 2일 째부터 매일 각 시간대별로 연속해서 S1, O1, W1, F1에 감지된 총 횟수를 나타낸다. 관찰기간 동안 먹이, 물, 타개체의 불공급시보다 공급시에서 보다 많이 움직임을 알 수 있었다. 이 자료에 대하여 "시간

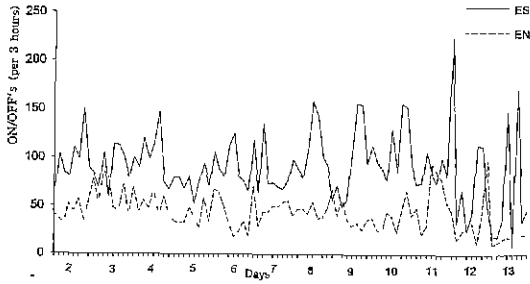


Fig. 8. Changes in the number of ON/OFF's in averages detected at the sensors located at S1, O1, F1 and W1 at the different time zones as time proceeded. The 8 units within one day interval in the X axis represent photophase 1, 2, 3 and 4, and scotophase 1, 2, 3 and 4 sequentially (ES; food, water, and other individuals were supplied, EN; food, water, and other individuals not supplied).

대” 및 “먹이, 물, 타개체의 공급여부”를 두가지 처리로 간주하여 log 변환 후 이원분산분석 (SPSS/PC+1989)을 한 결과 먹이, 물, 타개체의 공급여부와 시간대는 활동성에 유의한 영향을 미쳤고(각각 $p < 0.0001$, $p < 0.0001$), 두 요인 간의 교호 작용은 없었다($p = 0.455$). 먹이, 물 및 타개체를 공급하지 않았을 때에 많이 활동하지 않은 사실은 먹바퀴가 먹이나 물을 찾기 위해서 더욱 많이 움직이기 보다는, 우화 후 먹이를 섭취하지 못한 에너지의 부족 때문에 상대적으로 적게 움직임을 시사하였다. 그러나 이는 사육상 내의 상황이므로 야외조건에 까지 일반화 시킬 수는 없으리라 생각되며 실제 서식 상태의 실험을 통해 보다 자세하게 검토할 필요가 있다고 사료된다. 아울러 그림 8에서 보는 바와 같이 먹이, 물 및 타개체 공급 시와 불공급시에 연속적인 활동 유형에는 서로 간에 뚜렷한 차이가 없었는데, 대개 우화 후 2~3일 간격으로 많이 활동하는 경향이 있었고 먹이, 물, 타개체를 불공급한 경우 치사 직전에 활동이 작았음을 알 수 있었다. 먹이, 물, 타개체를 공급하지 않았을 때 관찰된 먹바퀴의 수명은 10.7 ± 3.4 (SD)일 이었다.

그림 9는 각 개체에 따라서 활동성을 감지하

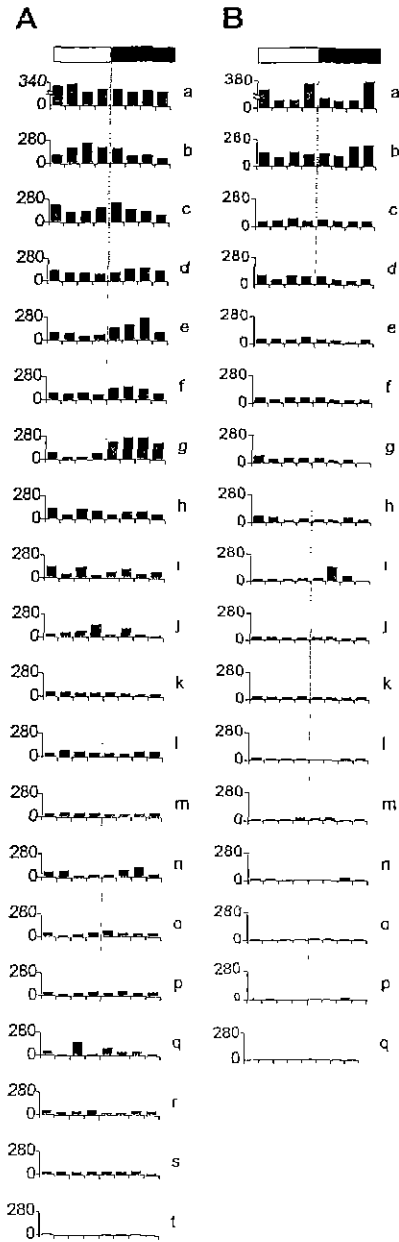


Fig. 9. The number of ON/OFF's in averages detected at the sensors located at S1, O1, F1 and W1 for different individuals of the female smoky brown cockroach at the different time zones. Values in the Y axis are percents of the presence time in averages. The units in the X axis represent photophase 1, 2, 3 and 4, and scotophase 1, 2, 3 and 4 sequentially from left to right(A; food, water, and other individuals were supplied, B; food, water, and other individuals not supplied).

기 위한 곳(S1, O1, F1, W1)에서 측정된 ON/OFF 횟수를 시간대별로 나타낸 것이다. 이 경우도 개체간 활동 양상이 다양하였다. 먹이, 물, 타개체 공급시 시간대별 평균 감지 횟수는 개체에 따라 11.99~240.62회로 나타났다. 먹이, 물, 타개체의 불공급시는 4.5회~194.1회로 나타났다. 그림에서 보는 바와 같이 평균 감지 횟수에서 먹이, 물, 타개체의 공급시 명, 암기 출현율이 구별되는 개체도 있었는데 명기에 활동이 상대적으로 많은 것(예, b)과 암기에 활동이 많은 것(예, e, f, g)이 따로 있었다. 먹이, 물, 타개체의 불공급시는 명, 암기의 활동성 차이가 상대적으로 약하게 나타났다.

그림 10은 각 시간대별 활동성에 대한 PCA 결과이다. 먹이, 물, 타개체의 공급시 Q모드에서 각 개체는 예상했던 바와 같이 흩어져 나타났다(그림 10a, 요인 1, 2, 3, 4에 대한 아이겐값은 각각 7.19, 3.71, 2.86, 2.05). 반면 R모드에서는 명기와 암기가 모여져 나타나 전체적으

로 주기적 유형성이 있음을 시사하였다(그림 10b, 요인 1, 2, 3에 대한 아이겐값은 각각 5.44, 1.44, 0.36). 먹이, 물, 타개체를 불공급했을 때에도 Q모드에서 각 개체는 유형성이 없게 흩어져 나타났다(그림 10c, 요인 1, 2, 3, 4에 대한 아이겐값은 각각 5.34, 4.40, 2.37, 2.03). 또한 R모드에서도 시간대는 흩어져 나타나 상대적으로 명, 암기의 유형성이 약하게 표출되고 암 2기가 다른 무리와 떨어져 나타났다(그림 10d, 요인 1, 2, 3에 대한 아이겐값은 각각 6.55, 0.67, 0.43). 먹이, 물, 타개체를 공급했을 때 시간대에서 명, 암기로 구분 되는 것과 비교할 때 먹이, 물, 타개체의 불공급은 활동성의 시간대별 유형에 영향을 미쳤음을 시사하였다.

전체적인 행동에 대한 고찰

이상으로 각각의 미소 서식처에서의 출현율과 활동성에 대하여 고찰하여 보았다. 그러나 각 행동의 유기적인 파악을 위해서는 위에서 검토한 활동성 및 각 미소서식처에서의 출현율을 종합하여 전체적으로 검토할 필요가 있다. 이를 위해 각 개체를 표본 단위로 보고 위의 미소서식처 출현율과 활동성을 대상 변량으로 하여 PCA를 실시하였다. 예상했던 대로 그림 11에서 보는 바와 같이 먹이, 물, 타개체의 공급시 Q모드에서 각 개체는 흩어져 나타났다(그림 11a, 요인 1, 2에 대한 아이겐값은 각각 16.29, 3.71). R모드에서 각 미소서식처 출현율은 흩어져 나타났으나 활동성과 F에서의 출현율(요인 1과 2) 및 O에서의 출현율(요인 1과 3)은 묶여져 나타났다(그림 11a-1, 11b-2, 요인 1, 2, 3, 4에 대한 아이겐값은 각각 2.28, 1.48, 0.73, 0.39). 반면 S에서나 W에서의 출현율은 상대적으로 이들과 흩어져 나타났다.

먹이, 물, 타개체의 공급시 각 미소서식처의 평균 출현율과 활동성 간의 상관관계를 구했을 때 유의수준 1%에서 S에서의 출현율과 O 및 W에서의 출현율과의 상관관계수가 -0.72 및 -0.71로 나타났고, 나머지 출현율과 활동성 간에는 상관관계수는 낮았으며 통계적 유의성도 없었

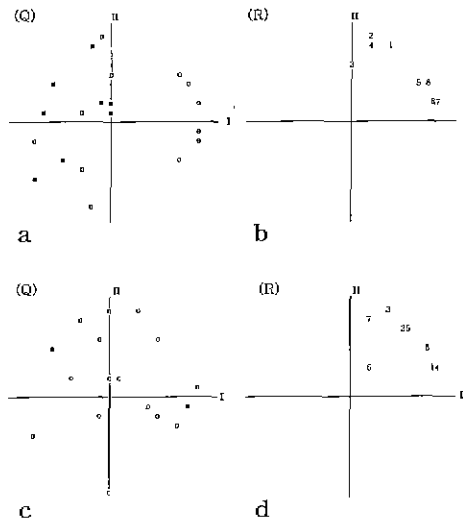


Fig. 10. PCA on different individuals of the female smoky brown cockroach with its locomotory activities at the different time zones. "a" and "b" are analyses when food, water, and other individuals were supplied while "c" and "d" are analyses when not supplied. Each number, 1 to 8, appeared in the R mode graphs designate photophase 1, 2, 3 and 4 and scotophase 1, 2, 3 and 4 respectively.

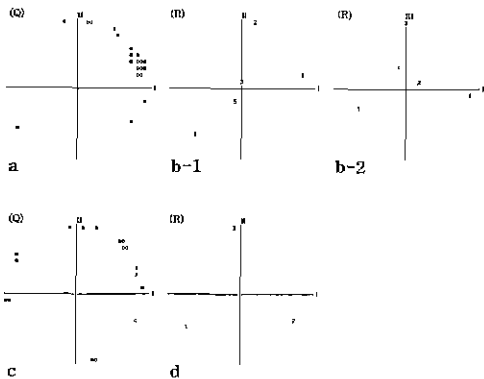


Fig. 11. PCA on different individuals of the female smoky brown cockroach with percents of the presence time at the different micro-habitats and the locomotory activities at the different time zones. "a" and "b" are analyses when food, water, and other individuals were supplied while "c" and "d" are analyses when not supplied (Numbers in b-1 and b-2: 1; presence at S, 2; presence at O, 3; presence at F, 4; presence at W, and 5; movement measured by ON/OFF's for detecting locomotion. Numbers in d: 1; presence at S, 2; presence at O', and 3; movement measured by ON/OFF's for detecting locomotion).

다. S, O, F 및 W를 미소서식처로 가지는 본 실험의 사육상 여건에서 S에 머무르지 않을 경우 상대적으로 O에 많이 머물게 되었다. 또한 S에 많이 머무를 수록 W에 더 적게 머물게 됨을 시사하였는데 현재로서는 왜 이러한 관련성을 가지는 지는 알 수 없었다.

먹이, 물, 타개체의 불공급시도 Q모드에서 개체가 흩어져 나타나 개체 간의 유사성이 약했다(그림 11c, 요인 1, 2에 대한 아이젠値는 각각 10.25, 6.75). R모드에서는 S 및 O'에서의 출현율과 활동성이 서로 떨어져 나타났다. 그러나 요인 1에서 활동성과 O'에서의 출현율이 대칭이 되었고 요인 2에서는 위 두 변량이 S에서의 출현율과 대칭이 되게 나타나 정도는 낮지만 일정한 유형성을 나타내는 경향을 볼 수 있었다(그림 11d, 요인 1, 2에 대한 아이젠値는 각각 1.46, 1.22). 먹이, 물, 타개체의 불공급시 각 미소서식처의 출현율과 활동성 간에

는 유의한 상관관계가 없었다.

Appel과 Rust(1986)는 야외에서 먹바퀴 성충 암컷의 시간-활동 예산(time-activity budget)을 조사한 연구에서, 휴식, 섭식, 이동 및 성유인행동에 각각 81.3%, 8.3%, 2.0%, 8.3%를 소비한다고 하였다. 본 실험에서 F와 W에서의 출현율을 더하면 8.97%가 되어 이들이 조사한 섭식의 시간과 비슷하다(표 1). 이동시간을 고려하지 않았을 때 F, W 및 O에서의 출현율은 20.47%가 되었는데 이 외의 시간은 본 실험에서 먹바퀴가 주로 한 곳에서 머물러 있는 것이 관찰되었으므로 Appel과 Rust(1986)가 보고한 휴식시간과 대체적으로 유사함을 알 수 있었다.

본 실험에서 비록 PCA를 통해 미소서식처의 출현율이나 활동성에서 명, 암기 유형성은 나타났으나 다른 실험에 비해 일주기성은 잘 표출되지 않았다. 그러나 실내 실험에서 활동성을 조사한 경우 바퀴벌레에서는 주기성을 나타내는 사실이 잘 알려져 있고(Roberts 1960, 1962), 앞서 언급하였듯이 Kaneko(1986)는 running wheel로서 실내 실험을 하였을 때 먹바퀴 활동성에서 일주기성이 나타났다고 했다. 아울러 야외 실험에서도 행동의 주기성이 관찰되었는데 Appel과 Rust(1986)는 텍사스의 교외지역에서 관찰한 결과 먹바퀴가 하오 9시 경부터 휴식처에서 나오기 시작하여 섭식을 시작하고 자정에 활동처에서 개체군 밀도가 가장 높아지며 새벽 4시 경에는 다시 휴식처로 돌아간다고 하였다.

그러나 본 실험에서는 일주기성에서 전형적으로 나타나는 활동시작시간의 일치성이나 먹바퀴 활동의 복잡화 현상(Kaneko 1986) 등을 잘 볼 수 없었다. 이렇게 일주기성이 잘 나타나지 않은 이유를 현 단계로서는 알 수 없었다. 먹바퀴 성충 암컷이 난첩을 가졌을 경우 활동의 주기성이 없어지나(Lipton and Sutherland 1970a), 본 실험에서는 우화 직후부터 성적으로 성숙하기 전의 기간 동안에 관찰하였으므로 이러한 문제는 없는 것으로 여겨진다. 앞

서 언급하였듯이 이질바퀴의 물 마시는 습성을 조사한 Whitmore와 Bignell(1990)도 섭식과 관련되어 물 마시는 리듬이 나타날 것으로 기대하였으나 주기성을 포착할 수 없었다. 본 실험에서는 경우에 따라 물마시는 것과 먹이 먹는 것이 맞물려 나타나는 것이 관찰되었으나(그림 6) 전체적으로는 일주기성이 약했다.

본 실험에서 일주기성이 잘 나타나지 않은 것은 결국 먹바퀴의 내재적 리듬이 실험조건에 따라 외부의 간섭을 받아 행동으로 표출될 수 없는 것으로 생각할 수 있는데, 사육상의 구조가 한 요인이 아닌가 생각한다. 다른 실내 실험의 경우에서는 한 가지 행동만을 관찰 대상으로 했기 때문에 다른 환경요인의 간섭을 받을 가능성이 적었다. 그러나 본 실험에서는 半自然的인 환경을 유지하기 위해 각 미소서식처가 따로 마련되었다. 이는 다른 실험과는 달리 새로운 공간의 개념으로 서식처가 추가된 것을 의미한다.

다른 주기성 실험에서 보는 바와 같이(Lipton과 Sutherland 1970a, Kaneko 1986) 비록 활동성이 약한 기간이라도 먹바퀴의 임의적인 움직임은 산발적으로 나타난다. 이렇게 임의적으로 움직일 때 다른 실험의 경우 주위 환경의 간섭이 없어 자연적으로 그치게 된다. 그러나 본 실험의 경우 이러한 임의적인 움직임은 먹바퀴를 다른 미소서식처로 이동하게 한다. 일단 이동한 후에는 이동되어진 미소 서식처의 영향을 받게 됨으로써 새로운 환경상황으로 들어가게 되어 원래의 행동을 유지하기가 힘들어진다. 결국 이렇게 임의적인 이동이 초래한 환경의 간섭이 내재된 리듬의 표출을 어렵게 하지 않았는가 생각된다. 이러한 행동의 해석은 결국 Brownian운동을 기초로 한 확률적 공간운동 방식으로 접근해야 되리라 사료된다.

공간적인 서식처 외에 문제가 될 수 있는 것은 사육상의 크기라고 생각된다. Fleet등(1978)이 표지재포법(mark-recapture)으로 야외 상태에서 조사한 결과 성충 암컷의 이동거리는 평균 9.77m이었다. Appel과 Rust(1985)

는 평균 서식범위가 암컷일 경우 107m² 수컷일 경우 280m²가 된다고 하였다. 이로 보아 본 실험실에서 사용된 사육상은 먹바퀴의 자연적인 활동에 좁아 사육상 내에서 다른 공간으로 이동할 수 있는 가능성을 높여 준다고 볼 수 있겠다. 바퀴 *Blattella germanica*의 경우 Silverman(1986)이 비데오 촬영을 통해 집단 사육하여 관찰한 결과 섭식활동의 일주기성은 밀도에 영향을 받기보다는 먹이나 물의 위치와 휴식처간의 거리가 중요함을 보고하였는데, 거리가 멀수록 일주기성이 나타났다고 하였다. 본 실험에 사용된 사육상의 먹이와 물의 위치가 먹바퀴의 행동반경에서 볼 때 휴식처로부터 가까운 곳에 위치하였다고 볼 수 있다. 그러나 여러 가지 실내 실험 여건상 무조건 사육상을 크게 할 수는 없다. 앞으로 적절한 크기와 구조를 가지고 바퀴류의 행동을 체계적으로 관찰할 수 있는 사육상의 개발에 대한 연구가 필요하리라 생각된다.

사육상 구조와 더불어 휴식처의 설치도 주기성이 잘 나타나지 않게 하는 요인이 될 수 있는 가능성이 있었다. Running wheel등을 이용한 대부분의 실내실험에서는 휴식처 없이 수행되었다. 그러나 바퀴류의 자연적인 행동조사를 위해서는 휴식처를 만들어 활동성과 같이 조사하는 것이 필요한데, 바퀴류는 빛을 피하며 쉼려고 하는 성질이 있으므로 이러한 조건을 갖춘 휴식처가 공급되면 먹바퀴가 자연적으로 이곳으로 피하게 되어 활동성이 억제되는 경향성을 보일 수 있다(Lipton과 Sutherland 1970b). 본 실험에서는 가급적 자연적인 조건에 가깝게 하여 관찰하기 위해 휴식처를 제공하였다. 그러나 앞으로 이러한 점을 확인하기 위하여 휴식처 없이 사육 관찰해 볼 필요가 있다고 사료된다.

결국 본 실험에서는 running wheel을 이용한 조사에서와 같이 한 행동(예, 활동성)만이 단순하게 표출된 것이 아니라 사육상의 구조나 여러 환경 조건의 복합적 요인이 영향을 미쳐 먹바퀴의 행동에 다양한 양상을 나타냈다고 볼

수 있겠다. 이러한 개체별로 다양한 양태는 결국 확률적 현상으로 접근될 수 있는데, 앞으로 환경간섭의 계량적 영향을 적절하게 표출할 수 있는 사육 방법론의 개발 및 이론 연구가 더욱 필요하다고 사료되어진다.

인 용 문 헌

- Appel, A.G. & M.K. Rust. 1985. Outdoor activity and distribution of the smokybrown cockroach, *Periplaneta fuliginosa*. Environ. Entomol. 14: 669~673.
- Appel, A.G. & M.K. Rust. 1986. Time-activity budgets and spatial distribution patterns of the smoky brown cockroach, *Periplaneta fuliginosa*. Ann. Entomol. Soc. Am. 79: 104~108.
- Appel, A.G. & M.K. Rust. 1987. A bibliography of the smoky brown cockroach, an urban and suburban pest. J. Entomol. Sci. 22(2): 175~187.
- Ball, H.J. 1971. The receptor site for photic entrainment of circadian activity rhythms in the cockroach, *Periplaneta americana*. Ann. Entomol. Soc. Am. 64: 1010~1015.
- Brady, J. 1967. Control of the circadian rhythm of activity in the cockroach. I. The role of the corpora cardiaca, brain and stress. J. Exp. Biol. 47: 153~163.
- Cloudsley-Thompson, J.L. 1953. Studies in diurnal rhythms-III. Photoperiodism in the cockroach, *Periplaneta americana* (L.). Ann. Mag. ant. Hist. 6: 705~712.
- Cornwell, P.B. 1976. The Cockroach. Insecticides and cockroach control. Associated Business programmes, London. pp. 557.
- Fleet, R.R., G.L. Piper & G.W. Frankie. 1978. Studies on the population ecology of the smoky brown cockroach, *Periplaneta fuliginosa*, in a Texas outdoor urban environment. Environ. Entomol. 7: 807~814.
- Harker, J.E. 1956. Factors controlling the diurnal rhythm of activity in *Periplaneta americana* L., J. exp. Biol. 33: 224~234..
- Kaneko, S. 1986. Actographs for recording locomoter activities of two *Periplaneta* cockroaches. Jpn. J. Appl. Entomol. Zool. 30: 233~238.
- Lipton, G.R. & D.J. Sutherland. 1970a. Activity rhythms in the American cockroach, *Periplaneta americana*. J. Insect Physiol. 16: 1555~1566.
- Lipton, G.R. & D.J. Sutherland. 1970b. Feeding rhythms in the American cockroach, *Periplaneta americana*. J. Insect Physiol. 16: 1757~1767.
- Roberts, S.K. de F. 1960. Circadian activity in cockroaches. I. The free running rhythm in steady-state. J. cell. Comp. Physiol. 55: 99~110.
- Roberts, S.K. de F. 1962. Circadian activity in cockroaches. II. Entrainment and phase-shifting. J. cell. Comp. Physiol. 59: 175~186.
- Schechter, M.S., S.R. Dutky & W.N. Sullivan. 1963. Recording circadian rhythms of the cockroach with a capacity-sensing device. J. Econ. Ent. 56 (1): 76~79.
- Silverman, J. 1986. Adult German cockroach feeding and drinking behavior as a function of density and harborage-to-resource distance. Environ. Entomol. 15: 198~204.
- Sommer, S.H. 1975. Experimental investigation of the circadian locomotor activity of *Blattella germanica* L.. Biol. Zentralbl. 94: 451~467.
- Whitmore, A.V. & D.E. Bignell. 1990. Drinking behaviour in the cockroach, *Periplaneta americana*: an automated method for the measurement of periodicity and uptake. J. Insect. Physiol. 36: 103~109.
- Wilson, B.R., L.E. Hagmann, S.K. Chattopadhyay & H.D. Brown. 1981. Circadian rhythms of *Blattella germanica* L., as determined by microcalorimetry. Chronobiologia. 8: 243~249.
- 具聖會, 李海浜, 洪漢基, 李鍾秀. 1984. 韓國産 먹마귀의 生活史. 한국곤충학회지 14: 81~86.

(1993년 7월 21일 접수)