

등줄쥐(*Apodemus agrarius*)의 일중휴면에 관한 연구

윤명희* · 한창욱

경성대학교 생물학과

Received March 27, 2006 / Accepted June 20, 2006

A Study on Daily Torpor in the Korean Striped Field Mouse (*Apodemus agrarius*). Myung-Hee Yoon* and Chang-Wook Han. *Department of Biology, Kyungsung Univ., Busan 608-736, Korea* – Patterns of induced daily torpor were measured in the striped field mouse, *Apodemus agrarius*, in response to low temperature, food deprivation and various photoperiods using implanted data loggers. A total of 8 of 21 females entered daily torpor in response to low outside ambient temperature (T_a) during winter and spring, constant low T_a (4°C) or food deprivation (23°C) during summer, but 2 of 23 males did only in response to low outside T_a during winter. This fact indicates that torpor is an adaptive hypothermia to unpredictable environment in both some males and females, as well as that torpor was inhibited in males in the reproductive season as in other mammals, which is regarded as a strategy not to reduce the chance of copulation. As for females, however, torpor was employed in response to unpredictable environment even in the reproductive season, suggesting that alternative strategies other than keeping the chance of copulation may be hired by females to keep the population. Torpor bout generally began at 6~12 AM, but the decrease of body temperature (T_b) began mainly at 4~6 AM at any conditions, the time when T_a is lowest. This strategy might be also adopted for reducing heat loss to unpredictable environment. Minimum T_b of both males and females during torpor did not fall below 16.5°C . Photoperiod had no influence on the incidence and timing of daily torpor in either males and females. The similar timing of torpor bout in response to the 3 different photoperiods (24D, 16L:8D or 8L:16D) under the constant temperatures (4°C or $23\pm 2^\circ\text{C}$) suggests that entering time of torpor might be controlled by the circadian rhythm of the mice rather than by the photoperiod.

Key words – *Apodemus agrarius*, body temperature, daily torpor

서 론

동물들은 에너지 절약을 위한 전략의 한 가지로서 동면(hibernation), 하면(estivation), 또는 일중휴면(daily torpor)의 방법을 취하고 있다. 일중휴면은 휴면 시간이 24시간을 초과하지 않고 정상체온 이하로 체온을 저하시켜 휴면을 취하는 것을 말하는데, 저온, 먹이 결핍 및 일장의 단축 등의 단독 또는 복합적인 작용에 의하여 유도되며[9,10], 동물의 종류에 따라서 일중휴면을 유도하는 요인이 다름이 알려져 있다. 즉 멧쥐류 *Crocidura*[13], 과일박쥐류 *Macroglossus minimus*[1], *Syconycteris australis*[3], 비둘기의 일종인 *Streptopelia risoria*[14] 및 메추라기 *Coturnix japonica*[6] 등에서는 갑자기 발생하는 먹이결핍에 대한 대책으로서, 벌새 *Selasphorus rufus*의 경우는 온도가 낮아지는 야간에 에너지 소모를 억제하기 위해서[2,4], 정글리안햄스터 *Phodopus sungorus*에서는 낮 길이 감소와 외부기온의 저하에 대한 대책으로서 일중휴면이 유도됨이 알려져 있다[10].

우리나라 설치류 중 약 70%를 차지할 정도로 집단의 생존

력이 뛰어난 등줄쥐(*Apodemus agrarius*)의 경우, 동면을 하지 않으며, 월동을 위한 체중의 증가도 없고, 먹이도 특별히 많이 저장하지 않는 점으로부터[17], 겨울동안의 매우 부족한 먹이와 외부기온 저하에 대비하여 일중휴면을 이용한 에너지 절약 대책을 세우고 있을 것으로 추측되지만 본 종에 대한 이 방면의 연구는 아직 없는 실정이다.

본 연구에서는 등줄쥐에서 일중휴면이 어떤 요인에 의하여 유발되는지를 알기 위하여, 온도, 먹이 및 광주기를 조절하여 등줄쥐의 체온변화를 자동온도기록장치를 이용하여 조사하였다.

재료 및 방법

실험조건

부산시 강서구 강동동에서 2002년 10월 27일~11월 2일과 2003년 6월 2일~25일 에 Sherman live trap을 설치하여 포획한 개체들 중, 16 g 이상의 아성수 이상의 개체를 선별하여 경성대학교 생물학과 사육실로 옮겨, 플라스틱으로 된 사육상자에 한 개체씩 넣어 1주일 이상 실온에서 순화시킨 후, 10% pentobarbital sodium 희석액(13.2% pentobarbital sodium+17.6% ethanol+8.8% propylene glycol+61.5% DDW)

*Corresponding author

Tel : +82-51-620-4642, Fax : +82-51-620-4645

E-mail : yhyun@ks.ac.kr

으로 마취시킨 후, 자동온도기록장치를 복강내에 삽입하고 각 실험조건에 맞추어 사육하였다. 사육상자의 벽에도 자동온도기록장치를 부착시켜 주위의 온도를 측정하였다. 자동온도기록장치(Data logger, Thermochron iButton™: DS1921L-F51, Dallas semiconductor Co., Ltd., USA)는 온도를 주기적으로 측정해 주는 computer chip으로서, 최대 기록 횟수는 2,048회, 온도 측정 범위는 -10~85°C, 무게는 3.1 g이며, 등줄쥐 체내에 삽입하기 전, paraffin·evaflex(에틸렌·초산공중합수지, Du Pont-Mitsui Polychemicals Co., Ltd., Japan)를 10:1로 혼합하여 피복 후 건조시켰으며, 피복 후의 중량은 3.7±0.3 g, 직경 약 18.5±0.5 mm, 두께 약 8.0±0.5 mm를 나타내었다. 자동온도기록은 수술 후 약 1주일의 회복기를 두고 시작했으며, 실험 종료 후 개복을 통해 적출한 자동온도기록장치를 iButton reader(전용 adapter; Dallas semiconductor Co., Ltd., USA)를 이용하여 컴퓨터에 연결하여 데이터를 저장하였다. 모든 자동온도기록장치의 유의적인 온도 차이는 없었으며($p < 0.001$), 데이터의 해석은 SPSS를 사용한 일원배치 분산분석을 이용하였다. 실험조건은 다음과 같다.

온도 및 광주기 변화에 의한 영향 조사

2002년 10월말부터 11월초에 걸쳐 채집한 등줄쥐 10개체(4♂♂, M04~M07; 6♀♀, F06~F11)에게 측정주기를 2시간으로 설정한 자동온도기록장치를 삽입한 후, 물과 인공사료(실험용 쥐용 배합사료, 주식회사 삼양)를 자유롭게 공급하면서 11월 28일부터 약 24주간 경성대학교 이과대학 6층 발코니(-5~38°C)에서 사육하였으며, 각 사육상자 내에 숨을 넣어 동사하는 것을 방지하였다.

2003년 6월에 채집한 등줄쥐 24개체 중 18개체를 임의로 선정하여 측정주기를 30분으로 설정한 자동온도 기록장치를 삽입한 후, 물과 인공사료를 자유롭게 공급하면서 7월 11일부터 6주간 사육하였다. 이 중 6개체(3♂♂, M08~M10; 3♀♀, F12~F14)는 광주기 16L:8D과 8L:16D으로 각각 3주간씩 설정하여 항온 사육실(23±2°C)에서 사육하였으며, 또 다른 6개체(3♂♂, 3♀♀)는 경성대학교 이과대학 6층 발코니(15~33°C)에서 6주간 사육하였다. 나머지 6개체(4♂♂, M14~M17; 2♀♀, F18, F19)에 대해서는 측정주기를 30분으로 설정한 자동온도기록장치를 삽입시킨 후 저온실(4°C±1°C, CUF-ISC1HP, Goldstar) 내에서 항상 암기(24D)에서 물과 인공사료를 자유롭게 공급하면서 7월 1일부터 6주간 사육했으며, 각 사육상자 내에 숨을 넣어 동사하는 것을 방지하였다.

절식 스트레스 및 광주기 변화에 의한 영향 조사

2003년 6월에 채집한 등줄쥐 중 6개체(4♂♂, M18~M21; 2♀♀, F20, F21)를 임의로 선정하여 측정주기를 30분으로 설정한 자동온도기록장치를 삽입시킨 후, 23±2°C의 항온 사육실에서 7월 18일부터 5주간 사육하였는데, 광주기는 16L:8D과 8L:16D로 각각 2주와 3주씩 설정하였으며 매일 오전 8시

에 짐등하였다. 이들을 2마리씩 세 그룹으로 나누어 각 그룹별로 실험개시 후 10일째(16L:8D)와 17일째(8L:16D)부터 각각 2일씩(M19, F21), 3일씩(M18, F20) 및 4일씩(M20, M21) 물과 인공사료를 공급하지 않았고, 절식기 이외의 사육기간 중에는 물과 인공사료를 자유롭게 공급하였다.

일중휴면 체온 결정

등줄쥐에 대한 일중휴면시의 체온을 결정하기 위해서 Lovegrove and Raman[7]과 Mika등[9]의 방법을 참고로 하였다. 즉, 23±2°C의 항온사육실에서 물과 인공사료를 자유롭게 공급하면서 사육한 12개체(항온실 사육용 3♂♂과 3♀♀, 및 절식시키기 직전 10일간 사육한 4♂♂과 2♀♀)와 여름철 실외(15~33°C)에서 사육한 6개체(3♂♂, 3♀♀), 총 18개체의 하루 중 최저체온의 빈도분포 분석 결과, 수컷과 암컷의 최저체온이 각각 32.5°C와 34°C이었다(Fig. 1). 따라서 32.5°C보다 1°C 낮은 31.5°C이하의 체온을 나타낼 경우 일중휴면을 한 것으로 간주하였다.

결 과

충분한 먹이를 공급하면서, 23±2°C의 항온사육실에서 광주기를 변화시켜 사육한 전 개체(3♂♂, 3♀♀)와 여름철 실외(15~33°C)에서 사육한 전 개체(3♂♂, 3♀♀)에서 일중휴면이 전혀 관찰되지 않았다. 그러나 겨울철과 봄철 실외(-5~38°C)에서 사육한 10개체(4♂♂, 6♀♀) 중 수컷 2개체와 암컷 4개체, 저온실(4°C)에서 사육한 6개체(4♂♂, 2♀♀) 중 암컷 1개체 및 절식조건(23±2°C)에서 사육한 6개체(4♂♂, 2♀♀) 중 암컷 2개체에서 일중휴면이 관찰되었다.

일중휴면이 관찰된 각 개체에 대하여, 사육 전 기간의 체온변화를 Fig. 2와 3에, 일중휴면이 관찰된 시간의 빈도분포를 Fig. 4에, 일중휴면기간 중 체온이 가장 낮게 내려간 시기의 체온변화를 Fig. 5에 제시하였다. 겨울철과 봄철 실외(-5~38°C)에서 일중휴면이 관찰된 수컷 2개체(M06, M07)와 암컷 4개체(F08, F09, F10, F11) 중 M06(♂)과 F08(♀)에서는 일중휴면이 전 사육기간을 통해서 매우 빈번하게 관찰되었는데, M06의 경우, 실험을 개시한 2002년 11월 28일부터 2003년 2월 12일 사망하기 직전까지(76일간) 일중휴면이 54회(하루평균 0.7회; Fig. 2), 하루 중 오전 2시에서 오후 2시 사이에 기록되었고(Fig. 4), 최저체온은 2월 4일에 17.5°C(주위온도 9°C)였으며(Fig. 5), 정상체온으로부터의 체온하강은 밤 0시~오전 8시(평균 오전 5시경)에 시작되었다(Table 1). 일중휴면이 기록된 시각의 주위온도는 -5~16°C(평균 6.7°C)였다. F08의 경우 총 실험기간 165일 중 일중휴면이 138회(하루평균 0.8회; Fig. 2), 하루 중 오후 8시에서 다음날 오후 2시 사이에 기록되었다(Fig. 4). 일중휴면시의 최저체온은 2월과 3월 중 10회에 걸쳐서 16.5°C(주위온도 3.5~8.5°C)를 기록했

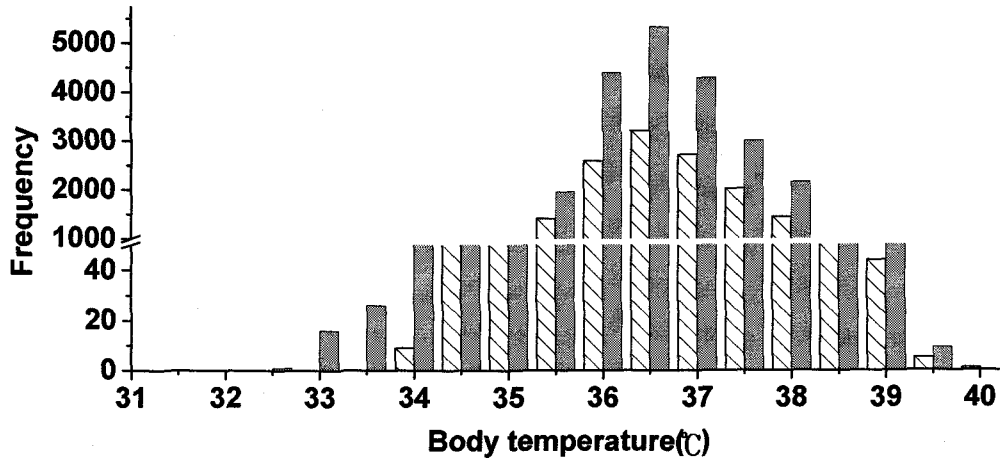


Fig. 1. Frequency distribution of the daily body temperature in the 18 male (patterned bins) and female (filled bins) striped field mice showing normothermia at 23°C and 15-33°C.

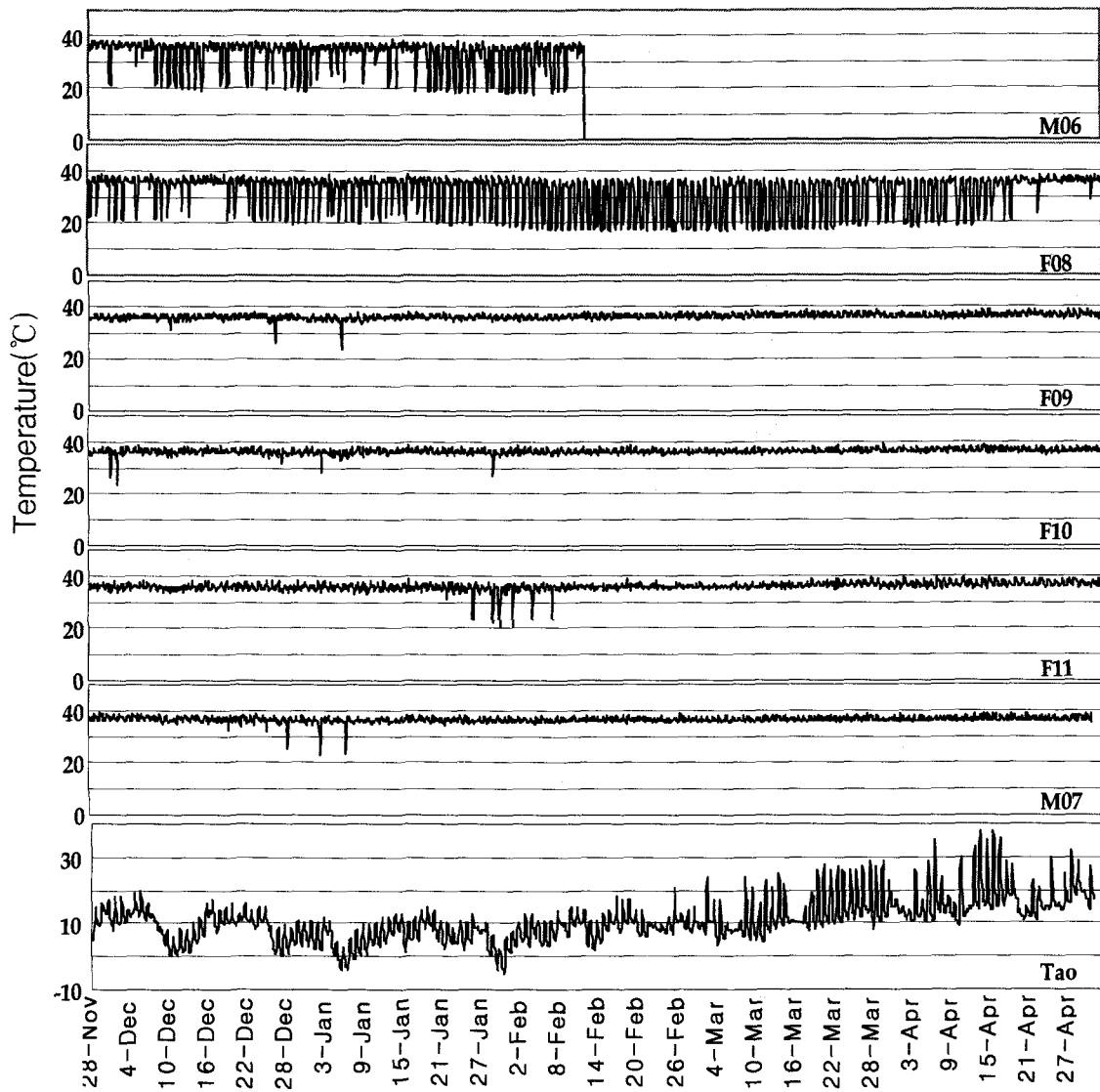


Fig. 2. Records of body temperature in the 6 striped field mice (M06, F08, F09, F10, F11 and M07) showing hypothermia at -5~38°C.

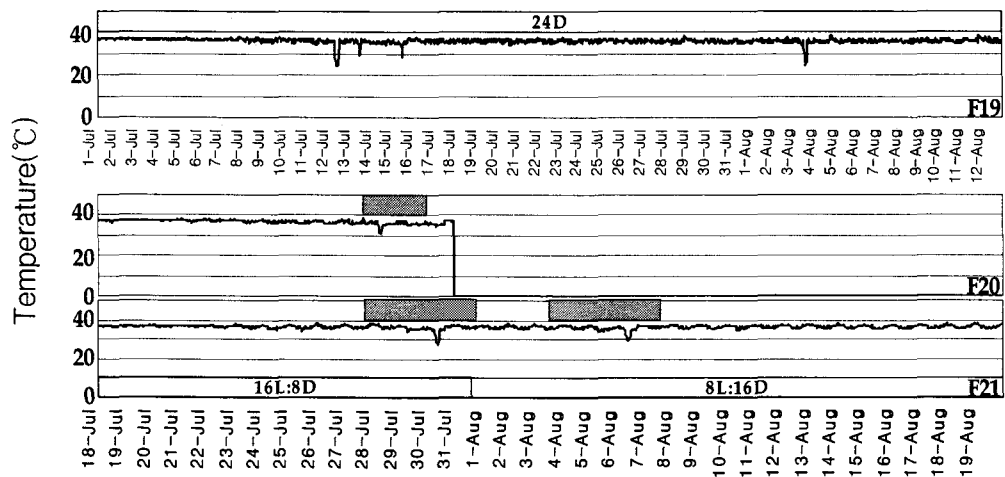


Fig. 3. Records of body temperature of the 3 striped field mice showing hypothermia at 4°C (F19) and under the food deprivation at 23°C (F20 and F21). Solid rectangles indicate the period of food deprivation.

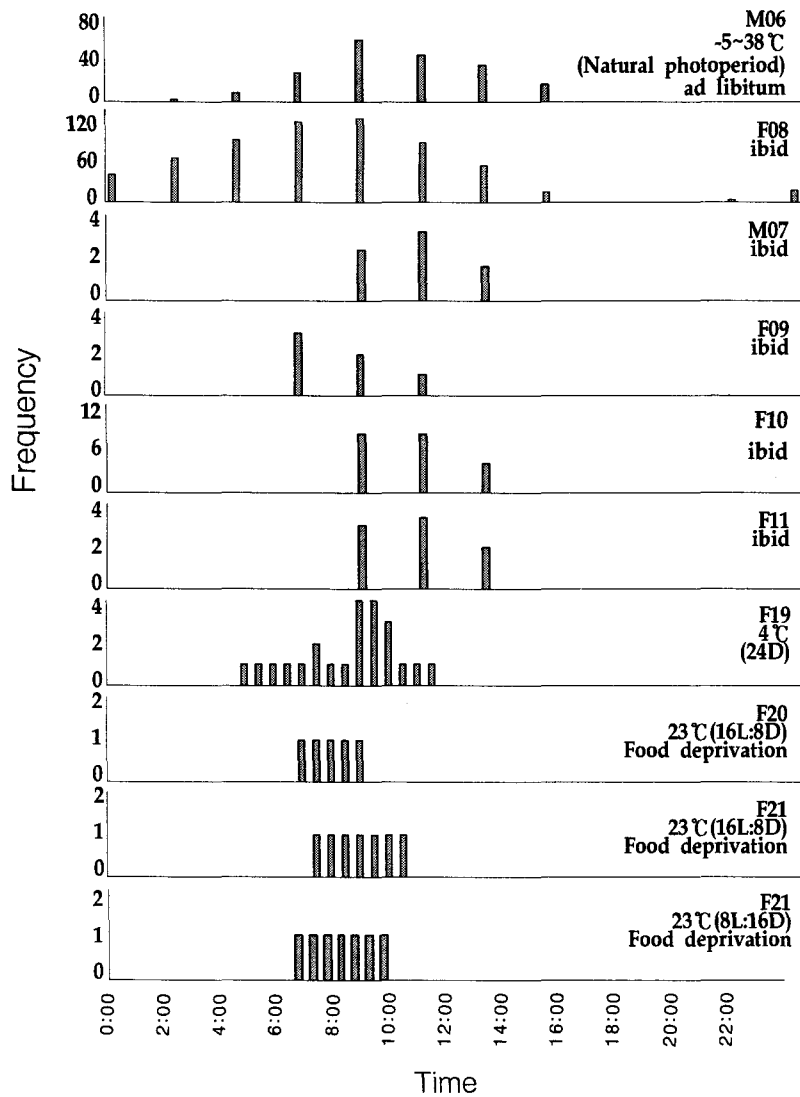


Fig. 4. Frequency distribution of the time of daily torpor bout in the 9 striped field mice (M06, F08, M07, F09, F10, F11, F19, F20 and F21) showing hypothermia. Bin intervals are 2 hours in the upper 6 mice and 0.5 hour in the lower 4 mice.

Table 1. Daily frequency and entering time of torpor, torpor bout, the lowest T_b and the range of T_a during torpor.

Breeding condition	Individual no.	Photo-period	Frequency of torpor per day (Total frequency/days)	Range of entering time of torpor (Av.)	Torpor bout	Lowest T _b (T _a)(°C)	Range of T _a during torpor(°C) (Av.)
Outside in winter and spring	M06	Natural	0.71(54/76)	00:00~08:00 (05:12)	02:00~14:00	17.5 (9.0)	-5.0~16.0 (6.8)
	F08		0.84(138/165)	18:00~12:00 (07:12)	20:00~14:00	16.5 (3.5~8.5)	-5.0~38.0 [‡] (9.8)
	M07		0.02(4/165)	06:00~08:00 (06:30)	08:00~12:00	22.5 (11.0)	-3.0~11.0 (4.4)
	F09		0.02(3/165)	06:00~08:00 (07:18)	08:00~12:00	24.0 (-1.0)	-1.0~4.5 (1.6)
	F10		0.03(5/165)	04:00~08:00 (06:00)	06:00~10:00	23.0 (10.0)	1.0~10.0 (5.8)
	F11		0.04(7/165)	06:00~08:00 (06:54)	08:00~12:00	20.0 (-1.0)	-4.0~13.0 (5.2)
Constant low temperature in summer	F19	24D	0.12(4/34)	03:30~08:00 (06:54)	04:30~11:00	24.0 (4.0)	3.0~5.0 (4.0)
Food deprivation	F20	16L:8D	0.08(1/13)	06:00 (06:00)	07:00~08:30	30.5 (23.0)	21.0~25.0 (23.0)
	F21	16L:8D	0.02(1/42)	06:00 (06:00)	07:00~10:00	27.5 (23.0)	21.0~25.0 (23.0)
		8L:16D	0.02(1/42)	05:00 (05:00)	06:30~09:30	29.5 (23.0)	21.0~25.0 (23.0)

T_a, ambient temperature; T_b, body temperature

* T_a when the lowest T_b was recorded.

‡ Ambient temperature was temporarily increased due to the direct shedding of sunlight on the data logger made of stainless steel.

으며(Fig. 5), 정상체온으로부터의 체온하강은 오후 6시~다음날 낮 12시(평균 오전 7시경)에 시작되었다(Table 1). 일중 휴면이 기록된 기간 중 실외 사육상자에 부착된 자동온도기록장치의 온도범위는 -5~38°C(평균 9.8°C)였는데(Fig. 2), 4월에 온도가 매우 높게 올라간 것은 사육상자 외벽에 설치된 스테인리스 재질로 된 자동온도기록장치가 햇볕에 장시간 노출된 것에 기인한 것으로서 실제 주위기온은 이보다 낮았을 것으로 생각되었다.

겨울철과 봄철 실외에서 사육한 개체 중 수컷 1개체(M07)와 암컷 3개체(F09~F11)에서는 일중휴면이 간헐적으로 관찰되었는데, 12월 하순에서 1월 초순 또는 2월 초순에 걸쳐 3~7회(M07, 4회; F09, 3회; F10, 5회; F11, 7회, Fig. 2), 오전 6시에서 낮 12시 사이에 관찰되었다(Table 1, Fig. 4). 이들 4개체에 대한 일중휴면시의 최저체온은 20~24°C(주위온도 -1~10°C)이었으며, 일중휴면이 빈번하게 관찰된 개체들(M06, 17.5°C; F08, 16.5°C)에 비해서는 높았다(Table 1, Fig. 5). 정상체온으로부터의 체온하강은 오전 4시~8시(평균 6시~약 7시 20분)사이에 시작되었고 일중휴면이 기록된 시각의 주위온도는 -4~13°C(평균 4.7°C)였다(Table 1).

저온실(4°C, 24D)에서 사육한 개체 중 일중휴면이 관찰된 암컷 1개체(F19)에서는 총 실험기간 34일중 4회, 하루 중 오전 4시 30분부터 11시 사이에 일중휴면이 관찰되었고(Fig. 4), 최저체온은 24°C였다(Table 1, Fig. 5). 정상체온으로부터의 체온하강은 오전 3시 30분~8시(평균 7시경)부터 시작되었다(Table 1).

절식조건 하에서 광주기를 변화시켜 사육한 개체 중에서는 3일씩 2회 절식한 암컷 1개체(F20)과 2일씩 2회 절식한 암컷 1개체(F21)에서 일중휴면이 관찰되었는데(Fig. 3), F20에서는 광주기를 16L:8D 로 설정한 첫 번째 절식 1일 후에 일중휴면이 관찰되었지만, 3일 후에 죽었으므로 이후의 체온기록이 불가능했다. 한편 F21에서는 광주기를 16L:8D로 설정한 첫 번째 절식 2일 후, 그리고 8L:16D으로 변경한 두 번째 절식 2일 후에 각각 1회씩 오전 6시 30분~10시 사이에 저체온 휴면이 관찰되어(16L:8D, 오전 7시~10시; 8L:16D, 오전 6시 30분~9시30분, Table 1, Fig. 4), 일중휴면이 광주기에 상관없이 절식에 의하여 유도됨을 알 수 있었다. 위 두 개체에서 휴면시의 최저체온은 F20의 경우 30.5°C, F21의 경우 27.5°C로서 겨울철 실외(16.5~24°C)와 저온실(24°C)에서 사육한

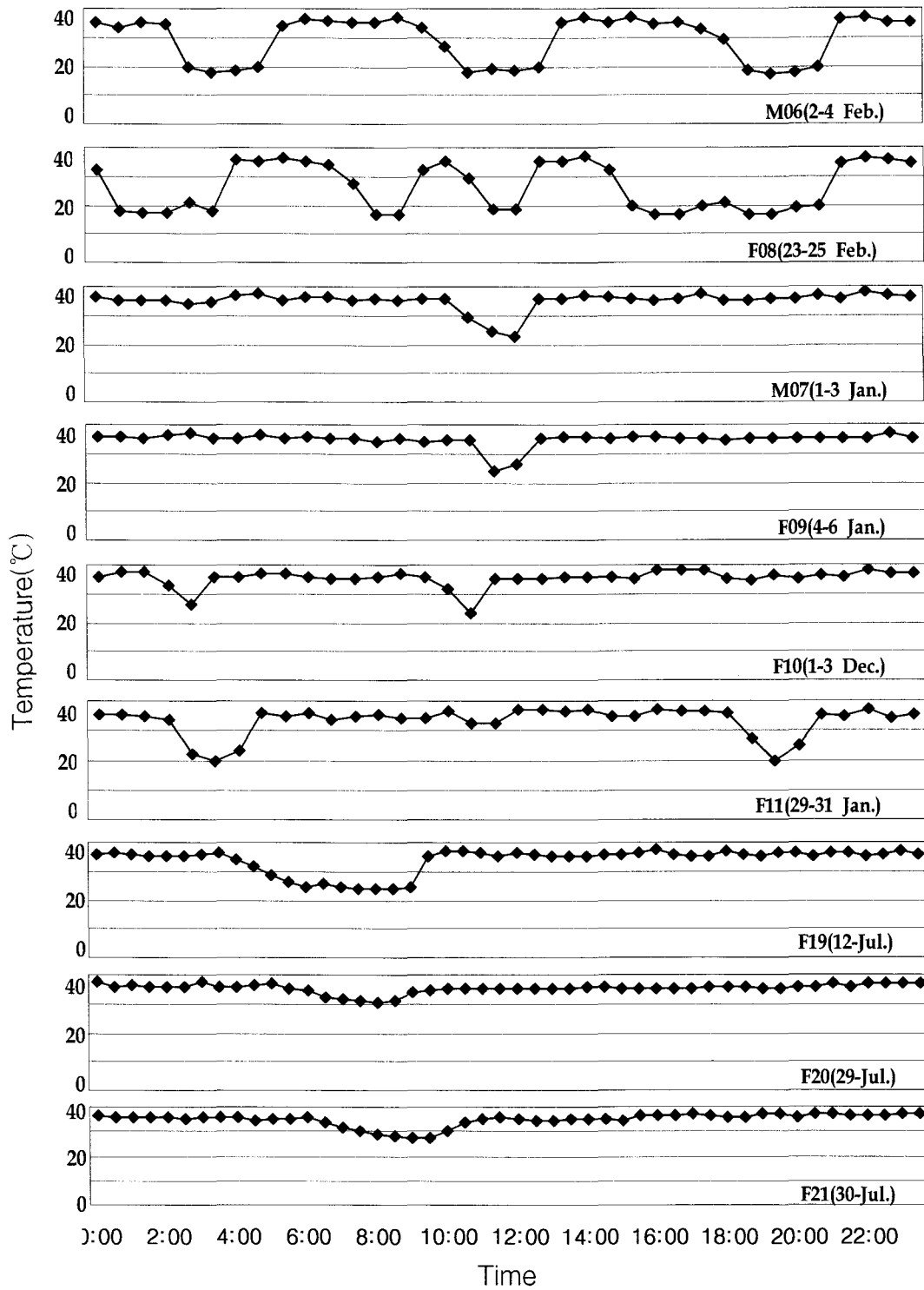


Fig. 5. Records of the lowest body temperatures in the 6 striped field mice (M06, F08, F09, F10, F11 and M07) at -5~38°C, one mouse at 4°C (F19) and 2 mice under the food deprivation at 23°C (F20 and F21).

개체에서 보다 높았고(Fig. 5), 평상온도로부터의 체온하강은 오전 5시~6시에 시작되었다(Table 1).

고 찰

일중휴면은 저온이나 먹이 결핍에 의하여 유도되는 스트

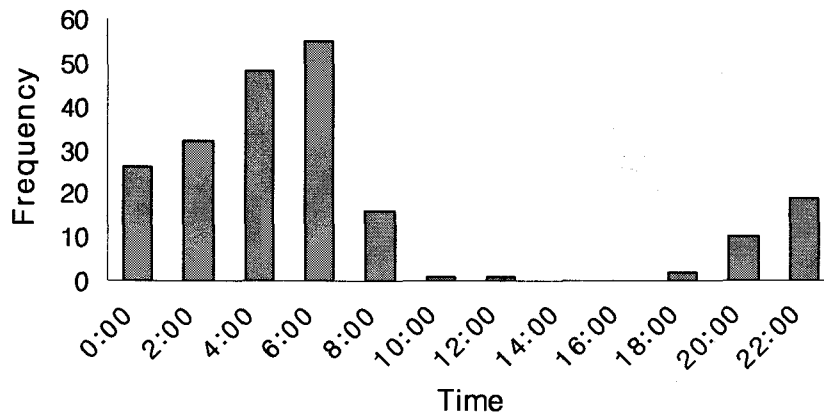


Fig. 6. Frequency distribution of real time of entering into daily torpor in the 9 striped field mice (M06, F08, M07, F09, F10, F11, F19, F20 and F21) showing hypothermia.

레스 유도성 일중휴면(stress-induced daily torpor)[11]과 온도나 먹이 등의 스트레스 요인이 없이 낮 길이의 단축에 의하여 유도되는 자발적인 일중휴면(spontaneous daily torpor)[5]으로 구분된다. 등줄쥐와 같은 붉은쥐속 *Apodemus*에 속하는 종류 중, 고산지대에 서식하는 흰넓적다리붉은쥐 *A. peninsulae*의 경우, 먹이를 충분히 공급하고 낮의 길이를 길게 하여 23°C에서 사육하면 일중휴면이 전혀 일어나지 않지만 낮 길이가 단축됨에 따라 자발적인 일중휴면이 일어나는 것이 알려져 있다[10]. 한편, 유럽에 분포하는 유럽숲쥐 *A. sylvaticus*의 경우는 저온이나 절식에 의해서 일중휴면이 일어나며[15,16], 일본산 붉은쥐 *A. speciosus*의 경우는 저온과 낮 길이가 짧은 조건에서 일출 시각을 전후해서 일중휴면에 들어가며, 또한 23°C를 유지하면서 낮의 길이를 길게 하고 먹이를 제한하거나, 또는 온도를 낮추었을 때(4°C)에도 일부 개체에서 일중휴면이 관찰된 바 있어, 스트레스 유도성 일중휴면이 일어남이 밝혀진 바 있다[10].

본 연구결과, 여름철 실외와 23±2°C의 항온실에서는 일중휴면을 하지 않지만, 주위온도가 낮아지거나 절식 등의 불안정한 환경에 처할 경우 일부 개체에서는 에너지 절약에 대한 전략으로서 스트레스유도성 일중휴면을 일으킴이 밝혀졌다. 일중휴면을 한 개체에 대하여 일중휴면이 일어난 시간의 빈도분포를 비교하면, 일중휴면이 가장 빈번하게 관찰되는 시간대는 오전 6시~낮 12시이지만(Fig. 4) 체온이 평상체온에서 하강하기 시작한 시각은 오전 4시~6시에 가장 빈번한 점으로부터(Fig. 6), 체온의 하강은 주로 주위온도가 가장 낮은 새벽 시간에 시작되었음을 알 수 있다. 이러한 점으로부터 일중휴면이 열손실의 억제를 위한 전략임이 시사된다.

한편 23±2°C에서 먹이를 충분히 공급한 상태에서 광주기를 변화시켰음에도 전 개체에서 일중휴면이 일어나지 않은 점, 그리고 절식 중 광주기가 다른 환경 하(23°C), 또는 저온 하(4°C)에서 항상 암기에 두었을 때에도, 일중휴면이 유사한

시간대에 일어난 점은 광주기가 일중휴면에 영향을 미치지 않음을 시사하고 있다. 더욱이 후 2자의 경우 각기 다른 일정한 주위온도 하에서 광주기를 변화시켜도 유사한 시간대에 일중휴면이 일어난 점은 휴면시작이 활동일주기(circadian rhythm)에 의해서도 조절되고 있음을 시사하고 있다.

일반적으로 일중휴면은 성호르몬에 의해서도 영향을 받음이 알려져 있는데, 정글리안햄스터(*Phodopus sungorus*) 암컷과 수컷에서는 번식기에 각각 프로락틴과 테스토스테론에 의해서 일중휴면이 억제된다고 알려져 있다[10,12]. 그러나 등줄쥐에서의 성호르몬과 휴면과의 관계는 정글리안햄스터와는 다른 양상을 보인다. 즉 등줄쥐 수컷의 경우, 비번식기(11월~3월)[18]인 겨울에는 일부 등줄쥐에서 일중휴면이 관찰된 반면, 여름철 번식기에는 저온이나 절식 등의 스트레스에 의해서도 일중휴면이 일어나지 않아, 번식기에는 정글리안햄스터처럼 휴면을 억제함으로써 번식의 기회를 감소시키지 않는 것으로 생각되었다. 그러나 등줄쥐 암컷에서는 비번식기인 겨울뿐 아니라 비록 1개체이지만 번식기에 들어간 4월 중순까지도 일중휴면이 지속되었고, 여름철 번식기 중 저온이나 절식 등의 스트레스에 의해서도 일중휴면이 일어나, 수컷과 다른 전략으로 집단을 차지하고 있다고 생각되었다.

이상으로부터, 등줄쥐는 적절한 온도 하에서는 일중휴면을 하지 않지만, 낮은 온도나 절식 등 급변하는 환경에 대한 에너지 절약에 대한 전략으로서 일부 암·수 등줄쥐에서는 일중휴면을 하는 것으로 밝혀졌다. 특히 암컷에서는 번식기 중에도 일중휴면이 관찰되어 흥미로우며, 일중휴면의 시각은 광주기가 아니라 활동일주기의 영향을 받고 있음이 시사되었다.

요 약

등줄쥐에서 일중휴면이 어떤 요인에 의하여 유발되는지를

알기 위하여, 온도, 먹이 및 광주기를 조절하여 등줄쥐의 체온변화를 자동온도기록장치를 이용하여 조사하였다. 등줄쥐 암컷에서는 21개체 중 8개체가 겨울철 및 봄철 실외환경, 저온실(4℃)과 절식상태(23℃)에서, 등줄쥐 수컷에서는 23개체 중 2개체가 겨울철 실외환경에서 휴면을 하는 점으로부터, 일중휴면은 일부 암·수 등줄쥐에서 저온이나 먹이결핍 등 갑작스런 환경변화에 대처하기 위한 에너지 절약대책으로 채택되고 있음이 시사되었다. 그러나 수컷에서는 번식기에는 번식 기회를 줄이지 않기 위하여 휴면을 억제하지만 암컷에서는 번식기에도 휴면을 하는 점으로부터 암·수가 서로 다른 전략으로 집단을 유지하고 있다고 생각되었다. 일중휴면은 오전 6시~낮 12시 사이에 가장 빈번하게 관찰되었으며, 휴면시의 체온의 하강은 어떠한 조건에서도 주위온도가 가장 낮은 오전 4시~6시경에 시작되었는데, 이러한 점은 일중휴면이 열 손실의 억제를 위한 전략임을 시사하고 있다. 휴면시 최저체온은 16.5℃이었다. 광주기의 영향은 없었으며, 일정온도 하에서 항상 암기(24D, 4℃)에 두거나, 절식(23℃) 하에 광주기를 변화시켜도(16L:8D 또는 8L:16D) 서로 유사한 시각에 일중휴면이 일어나고 있어, 일중휴면 시각이 광주기에 의해서 조절되지 않으며 활동일주기의 영향을 받고 있다고 생각되었다.

감사의 글

본 연구는 2005년도 경성대학교 학술지원 연구비의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- Bartels, W., B. S. Law and F. Geiser, 1998. Daily torpor and energetics in a tropical mammal, the northern blossom-bat, *Macroglossus minimus* (Megachiroptera). *J. Comp. Physiol. B* **168**, 233-239.
- Carpenter, F. L., 1974. Torpor in Andean hummingbird: its ecological significance. *Science* **183**, 545-547.
- Geiser, F., D. K. Coburn, G. Koertner and B. S. Law, 1996. Thermoregulation, energy metabolism, and torpor in blossom-bats, *Syconycteris australis* (Megachiroptera). *J. Zool., Lond.* **239**, 583-590.
- Hainsworth, F. R., B. G. Collins and L. L. Wolf, 1977. The function of torpor in hummingbirds. *Physiol. Zool.* **50**, 215-222.
- Heldmaier, G., S. Steinlechner, T. Ruf, H. Wiesinger and M. Klingenspor, 1989. Photoperiod and thermoregulation in vertebrates: body temperature rhythms and thermogenic acclimation. *J. Biol. Rhythms* **4**, 251-265.
- Hohtola, E., R. Hissa, A. Pyörnilä, H. Rintamäki and S. Saarela, 1991. Nocturnal hypothermia in fasting Japanese quail: the effect of ambient temperature. *Physiol. Behav.* **49**, 563-568.
- Lovegrove B. G. and J. Raman, 1998. Torpor patterns in the pouched mouse (*Saccostomus campestris*; Rodentia): a model animal for unpredictable environments. *J. Comp. Physiol. B* **168**, 303-312.
- Mika M., C. Koshimoto, K. Tsuchiya, A. Nishiwaki and T. Morita, 2005. Body temperature profiles of the Korean field mouse *Apodemus peninsulae* during winter aggregation. *Mammal Study* **30**, 33-40.
- Morita T., 1995. Advances in ecophysiological research on mammalian hibernation. *Mammalian Science* **35(1)**, 1-20.
- Morita T., 2000. Wood mouse and daily torpor. pp. 234-253, In Kawamichi T., N. Kondo and T. Morita (eds.), *Hibernation in Mammals*, University of Tokyo Press, Tokyo.
- Pivovarov E. B. and M. G. Tannenbaum, 1984. Naloxone inhibition of stress-induced daily torpor. *Life Sci.* **34(22)**, 2145-2150.
- Ruby N. F., R. J. Nelson, P. Licht and I. Zucker, 1993. Prolactin and testosterone inhibit torpor in Siberian hamsters. *Am. J. Physiol.* **264**, R123-R128.
- Taylor, R. E., 1998. Evolution of energetic strategies in shrews. pp. 309-346, In Wojcik J. M. and M. Wolsan (eds.), *Evolution of Shrews*. Polish Academy of Science, Bialowieza.
- Walker, L. E., J. M. Walker, J. W. Palca and R. J. Berger, 1983. A continuum of sleep and shallow torpor in fasting doves. *Science* **221**, 194-195.
- Walton, J. B. and J. F. Andrews, 1981a. Torpor in single and huddled wood mice (*Apodemus sylvaticus* (L.)). *Acta Univ. Carol. Biol.* **1979**, 181-184.
- Walton, J. B. and J. F. Andrews, 1981b. Torpor induced by food deprivation in the wood mice (*Apodemus sylvaticus* (L.)). *J. Zool., Lond.* **194**, 260-263.
- Won P. H., 1967. Mammals, 659 pp. In Illustrated encyclopedia of fauna and flora of Korea. Vol. 7, Ministry of Education, Seoul.
- Yoon M. H., S. J. Jung and H. S. Oh, 1997. Population structure and reproductive pattern of the Korean striped field mouse, *Apodemus agrarius*. *Korean J. Biol. Sci.* **1**, 53-61.