KJEE 47(1): 41-52 (2014)
http://dx.doi.org/10.11614/KSL.2014.47.1.041
ISSN: 2288-1115 (Print), 2288-1123 (Online)

Original article

쇠큰수염박쥐 (*Myotis ikonnikovi*)의 서식지 특성

김선숙* · Dai Fukui[1] · 한상훈 · 허위행 · 오대식[2]

국립생물자원관 동물자원과, [1]와카야마대학교, [2]인천대학교 생명과학부

Habitat Characteristics of *Myotis ikonnikovi*. Kim, Sun-Sook*, Dai Fukui[1], Sang-Hoon Han, Wee-Haeng Hur and Dae-Shik Oh[2] (Animal Resources Division, National Institute of Biological Resources, Incheon 404-708, Korea; [1]Institution of Social Collaboration and Research Partnership, Wakayama University, 930, Sakaedani, Wakayama, Wakayama 640-8510, Japan; [2]Division of Life Science, Incheon National University, Incheon 406-772, Korea)

Abstract Little is known about foraging and roosting habitat of tree-roosting bats in Korea. In the present study, we studied on characteristics of foraging and roosting habitats by Ikonnikov's whiskered bats (*Myotis ikonnikovi*) in the South Korea, using trapping and radiotelemetry. We captured the bats at 15 sites during nights (foraging times) using mist-nets. Based on characteristic analyses of forests within a radius 500 m from each capture site, forests of *M. ikonnikovi* habitat are similar characteristics to the old-growth forests. They foraged at forests dominated by boradleaf stands which are older than than 30-year-old and thicker than 20 cm in diameter at breast height (DBH). We used radio-transmitters to locate and characterize day-roosts of *Myotis ikonnikovi*, and totally the roost use patterns of three bats were surveyed. They roosted in trees (both live and dead) with exfoliating bark, extensive vertical cracks, or cavities, and thier roosting sites were located about 500 m from the initial capture location. The bats had a number of roost in a short-distance, some used new roost every day and the same roost sometimes were used repeatedly. To increase the diversity of the tree-dwelling bats including *Myotis ikonnikovi*, management practices that the higher food and roost availablility can be sustained in forests are needed.

Key words: fograging site, *Myotis ikonnikovi*, roost tree, tree-dwelling bat

서 론

전세계적으로 1,200여 종에 이르는 박쥐류 (Order Chiroptera)는 극지를 제외한 모든 지역에 분포하지만 (Schipper *et al*., 2008; Dietz *et al*., 2009), 인구 증가와 토지이용 증가로 인해 박쥐 개체군은 지속적으로 감소되고 있다 (Mickleburgh *et al*., 2002; McCracken, 2003). 유럽과 아메리카 대륙에서 박쥐 보호를 위한 노력이 지속됨에도 불구하고 박쥐 개체군은 전세계적으로 감소되고 있는 실정이다 (Kunz *et al*., 2011). 하지만 박쥐 개체군의 감소원인에 대한 진단이 명확하지 않고, 박쥐의 서식지 특성 등 대상종 (target species)에 대한 생태정보의 부족으로 인해 박쥐보전을 위한 관리방안은 실효성을 거두지 못하고 있다 (Brigham, 2007).

박쥐는 자연생태계에서 곤충의 개체군 조절, 종자분산, 화분매개 등의 역할을 한다. 최근에 박쥐의 경제적, 생태적 가치가 재평가 되면서 (Boyles *et al*., 2011; Kunz

Manuscript received 6 February 2014, revised 1 March 2014,
revision accepted 7 March 2014
* Corresponding author: Tel: +82-11-9771-8834, Fax: +82-32-590-7250,
E-mail: sskim108@hanmail.net

ⓒ The Korean Society of Limnology. All rights reserved.
This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provide the original work is properly cited.

et al., 2011), 박쥐가 제공하는 생태계 서비스에 대한 새로운 인식과 관심이 증가되고 있다. 박쥐는 하룻밤동안 먹이활동으로 체중의 30% 이상의 곤충(600～2,000마리)을 소비함으로써 산림생태계 내에서 곤충의 개체군 조절에 기여하고(Aubrey *et al*., 2003; Fenton, 2003), 영양물질의 순환을 유도하며 산림의 건강성 증진과 산림생태계의 순환과 재생에 기여한다(Rainey *et al*., 1992; Pierson, 1998; Zielinski and Gellman, 1999). 먹이 선호도에 대해 종간 차이를 보이지만, 대부분의 식충성 박쥐는 다양한 목(order)의 곤충을 먹이자원으로 이용한다(Murray and Kurta, 2004; Hayes and Loeb, 2007). 따라서 산림생태계에서 박쥐의 생태적 지위는 다각적인 측면에서 고려되어야할 중요한 항목으로 평가되지만, 현재 산림성박쥐의 종다양성 및 서식지 이용에 대한 연구가 진행되지 않아 산림성 박쥐의 생태정보가 부족하고, 이로인해 산림서식지 관리 측면에서 박쥐의 생태계 내 역할은 간과되고 있다(Wilson, 2004; Brigham, 2007).

산림구조 및 식생 군집의 특성은 박쥐의 서식지 선택과 밀접하게 연관된다(Burford *et al*., 1999; Humes *et al*., 1999; Kalcounis *et al*., 1999; Hayes and Gruver, 2000; Menzel *et al*., 2005). 식충성 박쥐(insectivorous bats, 약 850종)의 대부분은 수목을 잠자리(roost site)로 이용한다(Boonman, 2000; Lacki and Schwierjohann, 2001; Kunz and Lumsden, 2003; Simmons, 2005). 수동이나 수피 틈, 나뭇잎을 잠자리로 이용하는 산림성 박쥐류는 잠재적 잠자리 수가 풍부한 성숙된 숲을 선호하기 때문에(Perry *et al*., 2007), 서식지 선택은 산림 내 이용 가능한 잠자리의 수와 직접적으로 연관된다(Brigharm *et al*., 1997; Barclay and Kurta, 2007; Carter and Menzel, 2007). 산림 내부의 식생 구성 비율과 구조는 생물, 특히 곤충의 종다양도과 풍부도와 밀접한 관련이 있으며(Makino *et al*., 2007), 산림의 수령, 임상구조, 서식지패치(patch)의 크기는 박쥐의 취식행동에 영향을 준다(Guldin *et al*., 2007). 특정한 장소에서 박쥐의 야간 활동성이 증가되었다면 취식활동이 급증된 것을 의미하고, 이때 산림의 수평-수직적인 구조에 의해 조성되는 숲틈 (canopy gap)은 박쥐의 중요한 취식장소로 이용되어진다(Kalcounis *et al*., 1999; Hayes and Gruver, 2000; Menzel *et al*., 2005).

쇠큰수염박쥐는 러시아 연해주, 우수리지역, 북한, 바이칼호, 몽골, 중국 북동부, 사할린, 일본 북해도에 제한되어 분포한다(Simmons, 2005). 쇠큰수염박쥐는 대표적인 산림성 박쥐로 산림 내에 고목의 구멍이나 수피 아래를 잠자리로 이용한다(Yasui *et al*., 2000, 2004; Fukuda *et al*., 2006; Sano *et al*., 2009). 산림 내 잠자리와 취식지의 선호도에 의한 박쥐 종의 분포는 산림의 특성과 연관되기 때문에(Crampton and Barclay, 1998), 산림에서 박쥐의 출현 정도는 그 종의 서식지 선호도를 대변할 수 있다. 야생동물의 현재 서식지 특성과 서식지

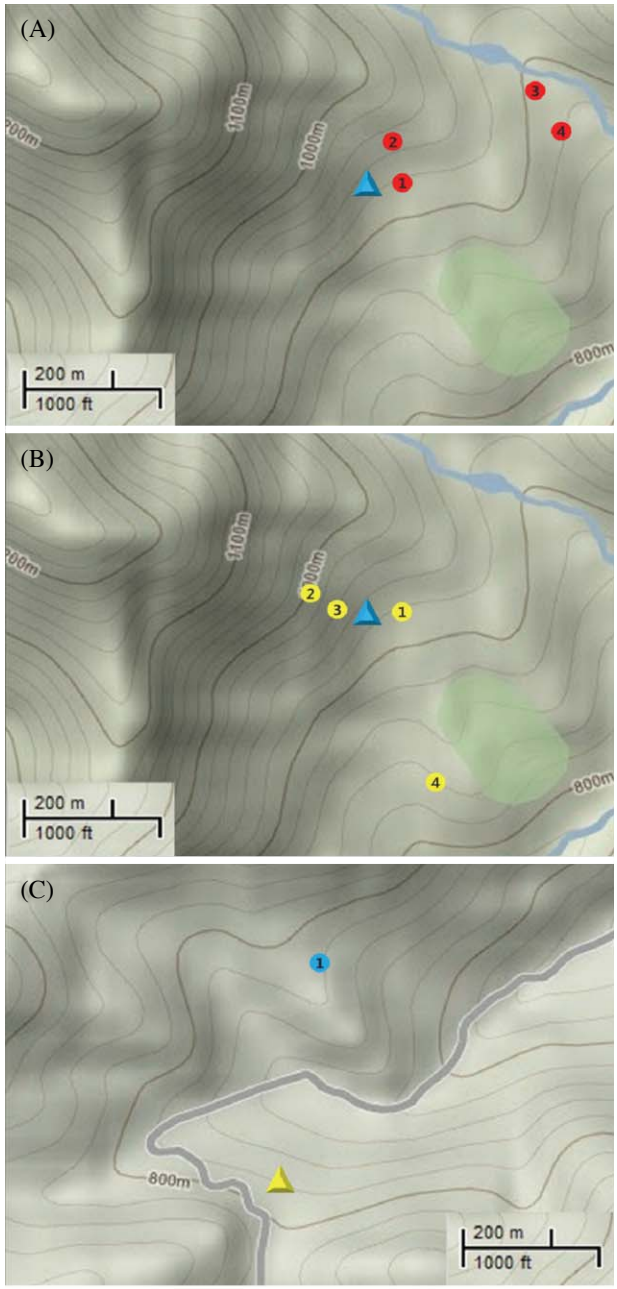

Fig. 1. Roosting tree locations of three radio-tracked *Myotis ikonnikovi* ((A) JJ1 and (B) JJ2 in Mt. Jiri, and (C) SM1 in Mt. Sobaek). Roost ID was identified with Table 3 and each triangle indicates the captured site.

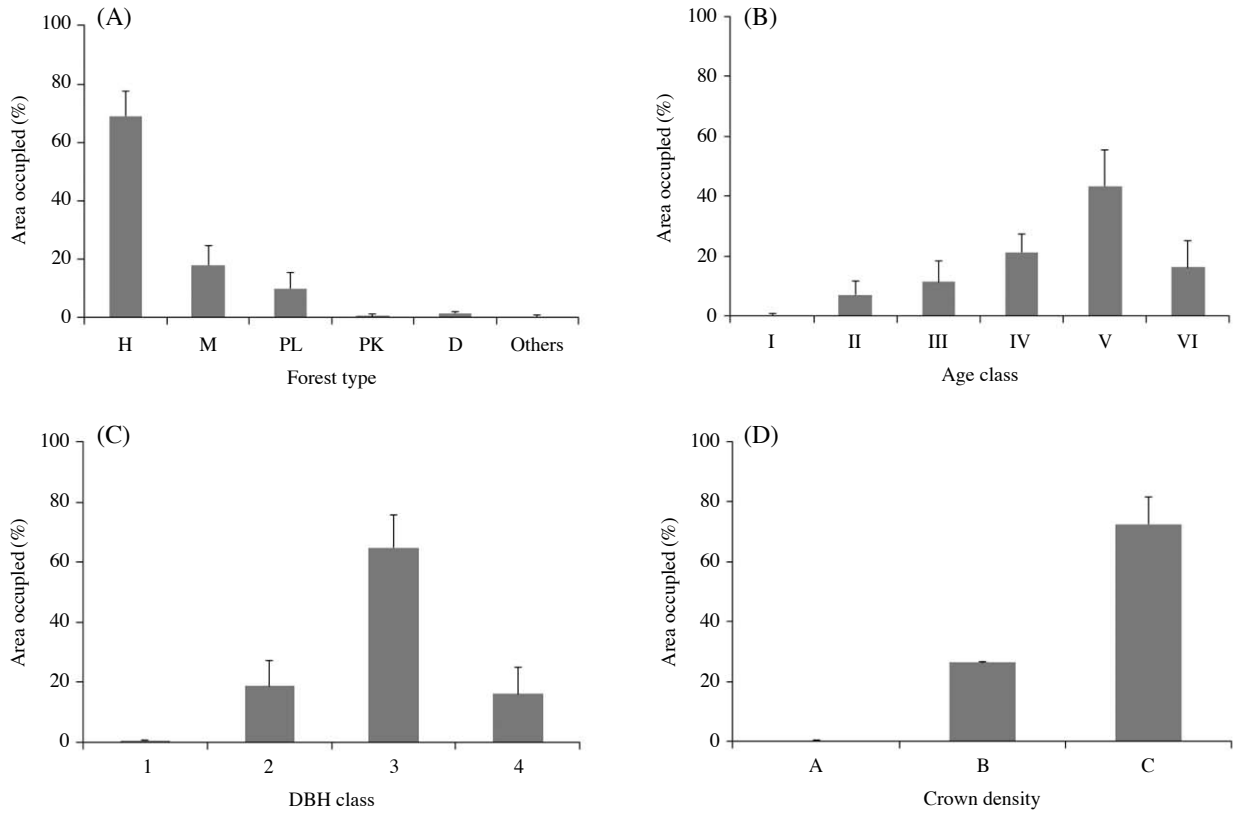

Fig. 2. The characteristics of vegetation community of 12 sites where *Myotis ikonnikovi* occupied in South Korea. (A) forest type, (B) age class, (C) DBH class, and (D) crown density.

선택 유형에 대한 정보는 대상 종의 생태 정보를 제공하며 잠재서식지 예측은 물론 종과 서식지 보전을 위한 관리 및 적용이 가능하다(Razgour *et al*., 2011). 최근 박쥐의 생태계 역할이 재평가 되면서 북미와 유럽지역에서 산림환경과 박쥐 종간의 상호작용 연구를 통해 박쥐의 주요 서식지인 산림의 관리와 보전을 주요 사안으로 다루고 있다(Brigham, 2007). 하지만, 산림의 공간구조 특징과 연관된 박쥐의 종간 취식지 특성에 대한 정보는 제한적이다(Kalcounis *et al*., 1999; Menzel *et al*., 2002; Murray and Kurta, 2004; Menzel *et al*., 2005).

야생생물과 서식지와 산림환경과의 상호작용에 대한 연구결과는 대상 종의 생태적 이해를 증진시킬 수 있는 단서를 제공하기 때문에 야생동물 서식지로서의 산림관리방안을 위한 적용이 가능하다. 우리나라의 경우 산림성 박쥐와 산림환경과의 상호작용에 대한 생태적 자료는 매우 드물다. 특히 산림성 박쥐에 대한 분포 및 종다양성에 대한 연구가 진행되지 못한 현재 시점에서 산림성 박쥐의 분포현황 및 서식지 이용 실태에 대한 기초생태 자료는 절실히 요구된다.

본 연구에서 산림성 박쥐인 쇠큰수염박쥐(*Myotis ikonnikovi*)의 산림내 분포 현황에 대해조사를 수행하였다. 박쥐가 출현된 지점의 임상자료를 토대로 쇠큰수염박쥐의 취식지 특성을 도출하였고, 무선추적장치를 이용하여 쇠큰수염박쥐의 미소서식지 특성과 잠자리 이용에 관하여 연구를 수행하였다. 도출된 쇠큰수염박쥐의 서식지 특성을 토대로 특정 종의 생태적 자료를 적용한 산림서식지 관리방안의 방향성에 대해 고찰하였다.

재료 및 방법

1. 쇠큰수염박쥐의 분포조사

2011년 5월부터 10월까지, 2012년 5월부터 10월, 2013년 6월부터 8월까지 전국의 주요 산림지역(지리산, 오대산, 소백산 등)을 대상으로 쇠큰수염박쥐의 서식을 확인하였다. 박쥐류 출현이 예상되는 장소를 선정하여 안개그물(mist-net)을 이용하여 야간에 박쥐를 포획하였다. 1회 조사시 8개의 그물(총면적 198 m^2)은 산림 내

Fig. 3. Photos of roosting trees used by *Myotis ikonnikovi*. Arrows indicate roosting locations of the radio-tracked bats.

박쥐의 이동, 취식 등 출현이 예상되는 공간에 설치하였다. 산림내 물길(지표유출수, 웅덩이)을 가로질러 설치하였고(너비 12 m, 높이 4 m, 2개, 총면적 96 m^2), 교목과 관목 사이의 공간에서(너비 7 m, 높이 3 m, 2개, 총면적 42 m^2) 박쥐의 이동을 차단하여 포획을 유도하였다. 또한 중층 피도가 낮은 초본 상부와 수관층 사이의 공간을 가로질러 그물을 설치하였다(너비 6 m, 높이 2.5 m, 4개, 총면적 60 m^2). 1회 조사를 위해 설치한 모든 안개그물은 50 m 반경 이내에 위치하였다. 동일 지점에서 지속된 박쥐의 포획으로 인한 간섭을 피하기 위하여 각 지점당 1회씩(하룻밤)만 설치하였다. 조사는 일몰후 4시간 동안 진행하였고, 10분 간격으로 포획 유무를 확인하였다. 포획된 박쥐를 동정한 후 성(gender)과 성숙도(age class)를 확인하였고, 전완장(forearm) 길이와 체중을 측정하였다. 개체표식을 위하여 고유번호가 기록된 금속가락지를 전완장에 부착후 박쥐의 비행이 용이한 인근의 다른 공간으로 이동하여 방사하였다. 모든 조사지점은 쇠큰수염박쥐가 출현된 장소의 지점 좌표는 GPSmap 60CSx (Garmin, 오차범위 5 m 이내)을 이용하여 기록하였고 Google Earth (http://earth.google.com)를 이용하여 정확한 지점을 재확인하였다.

Table 1. Definition of forest types, age class, DBH class and crown density in this study.

Type	Category	Definition
Forest type	H	Broadleaf stands are covered ≥75% of total canopy area or total stands
	M	Both broadleaf and coniferous stands are covered ≥25% or <75% of total canopy area or total stands
	PL	*Larix* spp. are covered ≥75% of total canopy area or total stands
	PK	*Pinus koraiensis* are covered ≥75% of total canopy area or total stands
	D	*Pinus densiflora* are covered ≥75% of total canopy area or total stands
	Others	Agricultural or bare lands, loads, etc.
Age class	I	Forest that more than half of total canopy area are covered by 1~10 year old stands
	II	Forest that more than half of total canopy area are covered by 11~20 year old stands
	III	Forest that more than half of total canopy area are covered by 21~30 year old stands
	IV	Forest that more than half of total canopy area are covered by 31~40 year old stands
	V	Forest that more than half of total canopy area are covered by 41~50 year old stands
	VI	Forest that more than half of total canopy area are covered by ≥51 year old stands
DBH class	1	More than half of forest canopy are covered by stands <6 cm DBH
	2	More than half of forest canopy are covered by stands 6~16 cm DBH
	3	More than half of forest canopy are covered by stands 18~28 cm DBH
	4	More than half of forest canopy are covered by stands >30 cm DBH
Crown density	A	Low: canopy area covered by stands are ≤50%
	B	Medium: canopy area covered by stands are ranged from 51% to 70%
	C	Dense: canopy area covered by stands are ≥71%

2. 발신기 부착 및 원격무선추적

소형의 원격무선추적장치를 이용한 연구방법은 이동성이 강한 박쥐류를 대상으로 이동 및 행동연구 등 다양한 생태연구에 이용되어 왔다(Wilkinson and Bradbury, 1988). 선행된 분포조사에서 쇠큰수염박쥐의 출현이 확인된 경상남도 산청군 시천면 중산리(지리산, N35° 19′ 14.3″, E127° 45′16.4″)와 경상북도 영주시 부석면 임곡리(소백산, N37° 1′32.3″, E128° 39′17.5″)에서 안개그물을 이용하여 쇠큰수염박쥐 5개체(암컷 1개체, 수컷 4개체)를 포획하였다. 포획된 박쥐의 견갑골 사이 등쪽 털을 일부 제거한 후 외과용 접착제(Skin bond, Smith and Nephew United, Largo, FL, USA)를 이용하여 발신기(radio-transmitters, model LB-2X, Holohil Systems Ltd., Onrario, Canada)를 부착하였다. 포획된 쇠큰수염박쥐의 체중은 평균 5.15 g (4.6~5.4 g, n=5)으로 발신기의 무게(0.28 g)는 박쥐 체중의 5.5% (5.1~6.1%)에 해당되었다(Aldridge and Brigham, 1988). 발신기가 부착된 개체의 위치 추적을 위하여 안테나(Yagi Three Element Antenna, Titley Scientific, Australia)와 무선수신기(Australis 26k^{TM} Scanning Receiver, Titley Scientific, Australia; IC-R20 Receiver, Icom America Inc., USA)를 이용하였다. 발신기가 부착된 개체의 위치 추적은 매일 낮동안 수행되었고, 박쥐의 잠자리로 선택된 영소목에서 쌍안경(Leica 10×25)을 이용하여 발신기를 직접 확인 후 쇠큰수염박쥐의 잠자리 위치를 확정하였다(Fig. 3). 본 연구에서는 추적에 성공한 3개체를 대상으로 분석하였다. 경상남도 산청군 시천면 중산리 일대에서 쇠큰수염박쥐 2개체(암컷1, 수컷1)를 2012년 9월 5일부터 12일까지 8일간 추적하였고, 경상북도 영주시 부석면 소백산 마구령 일대에서 쇠큰수염박쥐 1개체(수컷)의 위치추적은 2012년 10월 9일부터 13일까지 5일동안 수행되었다.

3. 분석

쇠큰수염박쥐의 서식지 특성은 산림내 박쥐가 출현된 장소의 임상특성을 분석하였다. 무선추적으로 확인한 쇠큰수염 박쥐의 잠자리는 서식지 선호도를 반영하기 때문에 잠자리의 특징 및 이용 특성은 쇠큰수염박쥐의 생태적 요구로 해석하였다. 야간에 산림 내부에서 박쥐의 비행이 확인되었거나 포획된 경우 취식행동으로 가정하였으며(Broders *et al*., 2006), 선행된 쇠큰수염박쥐의 주간 잠자리 연구결과(Yasui *et al*., 2000, 2004; Fukuda *et al*., 2006)와 쇠큰수염박쥐와 체중이 유사한 소형 박쥐종의 야간행동권(Fenton 1997; Meyer *et al*., 2005; Broders *et al*., 2006)을 포함하는 면적(78.5 ha, 쇠큰수염박쥐가 출현된 지점의 반경 500 m)을 대상으로 서식지 특성을 분석하였다. 각 대상 지역의 임상유형(forest type), 영급(age class), 경급(diameter class), 소밀도(crown density)

Table 2. The captured sites of *Myotis ikonnikovi* in South Korea from 2011 to 2013.

Date		Sites	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Distance to forest stream (m)	No. bats		
							Total	Male	Female
2011	23-Aug	Bukno-ri, Hansu-myeon, Jecheon, Chungcheongbuk-do	36.934950N	128.067760E	223	63	1		1
	26-Aug	Jindong-ri, Girin-myeon, Inje, Gangwon-do	38.042097N	128.473275E	749	0	3	3	
	13-Sep	Jwaseok-ri, Dansan-myeon, Yeongju, Gyeongsangbuk-do	37.005560N	128.582580E	580	2	2		2
2012	02-May	Naedong-ri, Toji-myeon, Gurye, Jeollanam-do	35.268310N	127.576770E	487	10	1	1	
	03-May	Jungsan-ri, Sicheon-myeon Sancheong, Gyeongsangnam-do	35.320560N	127.754180E	924	353	1		1
	04-May	Jwasa-ri, Sandong-myeon, Gurve, Jeollanam-do	35.297160N	127.520200E	1246	0	2	1	1
	15-May	Maha-ri, Mitan-myeon, Pyeongchang, Gangwon-do	37.280157N	128.581179E	335	511	2		2
	27-Jun	Myeonggae-ri, Nae-myeon, Hongcheon, Gangwon-do	37.826140N	128.563690E	902	0	12	3	9
	28-Jun	Dongsan-ri, Jinbu-myeon, Pyeongchang, Gangwon-do	37.765082N	128.577128E	769	17	1		1
	11-Jul	Buun-ri, Sannae-myeon, Namweon, Jeollabuk-do	35.362164N	127.585684E	577	12	2	1	1
	12-Jul	Jungsan-ri, Sicheon-myeon, Sancheong, Gyeongsangnam-do	35.320642N	127.754733E	924	353	10	2	8
	05-Sep	Jungsan-ri, Sicheon-myeon, Sancheong, Gyeongsangnam-do	35.320792N	127.755091E	926	350	4	3	1
	09-Oct	Imgok-ri, Buseok-myeon, Yeongju, Gyeongsangbuk-do	37.025600N	128.65439E	823	0	1		1
2013	26-Jun	Jindong-ri, Girin-myeon, Inje, Gangwon-do	38.043960N	128.474633E	752	0	7	1	6
	23-Aug	Jwaseok-ri, Dansan-myeon, Yeongju, Gyeongsangbuk-do	37.008669N	128.585180E	623	1	1	1	
Total							50	16	34

의 분포면적과 수계까지의 거리 등을 분석하였으며, 산림청 FGIS산림공간정보서비스(https://www.fgis.forest.go.kr)에서 제공되는 자료를 이용하였다. 각 항목별 등급은 Table 1과 같다.

원격무선추적을 이용해 확인된 주간 잠자리로 이용된 영소목(roost tree)의 특성은 Broders *et al*. (2006)의 연구방법을 참조하여 수종(tree species), 수고(tree height), 흉고직경(diameter at breast height, DBH), 고사정도(tree condition), 잠자리 높이(roost height)를 측정하였다. 잠자리간 거리, 지표면 유출수(surface flow)로부터의 거리, 수계까지의 거리 산정은 Google Earth (http://earth.google.com)를 이용하였다. 결과에서 제시된 평균값은 표준오차(±SE)와 함께 표시되었으며, 서식지 특징 분석에서 각 항목별 평균비교는 one-way ANOVA를 이용하였다. 통계는 SPSS 18.0k를 이용하였다.

결 과

1. 쇠큰수염박쥐의 출현장소와 서식지 특징

1) 출현장소

2011년부터 2013년까지 박쥐의 활동이 증가되는 5월에서 10월까지 전국 38개 장소에서 조사를 수행한 결과, 15개 장소에서 쇠큰수염박쥐 50개체(암컷 34개체, 수컷 16개체)를 확인하였다(Table 2). 각 조사지점 별 출현된 쇠큰수염박쥐의 개체수는 1개체에서 13개체까지 차이를 나타냈으나, 본 연구에서 서식지간 차이, 서식지 이용 유형에 대한 성별 차이는 분석에서 제외하였다.

Table 3. Roost use patterns of three radio-tracked *Myotis ikonnikovi*. IDs of bats and roosts were identified with Fig. 1.

Bat ID	Date	Roost ID	Tree species	Tree condition	Roost type	Roost height (m)	DBH (cm)	Distance (m)			
								New roost	Trap sites	Forest stream	Surface flow
JJ1	06 Sep	1	*Stewartia pseudocamellia*	Live, Healthy	Junction of two trees	1.5	20	0	36	375	1
	07 Sep	1									
	08 Sep	1									
	09 Sep	1									
	10 Sep	2	*Fraxinus rhynchophylla*	Live, Healthy	Under bark	2.0	35	98	65	299	68
	11 Sep	3	*Larix kaempferi*	Dead, many twigs	?	?	20	358	377	55	30
	12 Sep	4	*Larix kaempferi*	Dead, no branches	Crack	5.0	20	79	331	116	33
JJ2	06 Sep	1	*Stewartia pseudocamellia*	Live, Healthy	Junction of two trees	1.5	20	0	36	375	1
	07 Sep	2	*Acer pseudosieboldianum*	Live, Healthy	Hollow	3.0	25	147	112	299	27
	08 Sep	3	*Fraxinus rhynchophylla*	Live, Healthy	Hollow	3.5	35	79	35	342	37
	09 Sep	1	*Stewartia pseudocamellia*	Live, Healthy	Junction of two trees	1.5	20	77	36	375	1
	10 Sep	4	Unceratain	Dead, stub < 3 m in height	Under bark	1.5	13	360	394	308	10
SM1	10 Oct	1	*Quercus variabilis*	Dead, stub < 3 m in height	Under bark	2	15	0	584	460	103
	11 Oct	1									
	12 Oct	1									
	13 Oct	1									
	14 Oct	1									

2) 취식지의 식생군집 구조의 특성

쇠큰수염박쥐가 출현된 15개 지점의 평균 해발고도는 722.7±67.2 m (범위 223～1,246 m)였고, 수계까지의 평균거리는 111.5±46.3 m (0～511 m)였다(Table 2). 쇠큰수염박쥐가 포획된 12개 지점(쇠큰수염박쥐가 출현된 곳은 15개 장소였으나 100 m 이내의 중첩되는 장소 3곳은 제외)의 임상특성을 분석하였다. 12개 지역의 임상유형(forest type)을 살펴보면 활엽수림(H)이 69.1±8.0% (범위 11.6～100%)로 가장 넓은 면적을 차지하였으며, 다음으로 침활혼효림(M) 18.2±6.4% (0～79.4%), 낙엽송림(PL) 10.1±5.3% (0～62.7%), 잣나무림(PK) 1.5±0.6% (0～5.3%) 등의 순으로 나타났다(one-way ANOVA, 임상별 분포 $F_{5,66}$=29.312, p<0.0001; Fig. 2). 수목의 수령비율을 나타내는 영급별(age class) 분포는 5영급(Class V)가 43.4±11.5% (범위 0～99.9%)로 가장 많은 비율을 차지하였으며, 4영급(Class IV)는 21.3±6.0% (0～74.0%), 6영급(Class VI)는 16.4±8.4% (0～81.5%), 3영급(Class III)는 11.4±6.8% (0～84.8%), 2영급(Class II)는 7.1±4.38% (0～53.7%), 1영급(Class I)은 0.5±0.3% (0～2.7%) 순으로 나타나 수목의 연령은 비교적 높은 것으로 나타났다($F_{5,66}$=4.077, p<0.003; Fig. 2). 입목의 생육단계를 나타내는 경급별(DBH class) 구성비율은 중경목(Class 3)이 64.7±10.5% (범위 7.4～100%)으로 가장 많았으며, 소경목(Class 2)은 18.7±8.8% (0～92.6%), 대경목(Class 4)은 16.1±8.5% (0～81.3%), 치목(Class 1)은 0.5±0.3% (범위: 0～2.7%)으로 나타났다($F_{3,44}$=11.509, p<0.0001; Fig. 2). 수관의 점유비율을 나타내는 소밀도(crown density)의 비율은 소밀도-밀(Class C)이 72.7±9.0% (범위 5.2～100%)로 가장 비율이 높았고, 소밀도-중(Class B)은 26.5±31.3% (0～92.1%), 소밀도-소(Class A)은 0.4±0.3% (0～4.2%)으로 각각 나타나 대체적으로 수관층의 점유비율이 높았다($F_{2,33}$=23.758, p<0.0001; Fig. 2).

2. 쇠큰수염박쥐의 잠자리 이용과 특징

1) 잠자리 이용

2012년 9월 5일 경남 산청군 시천면 중산리 일대에서 쇠큰수염박쥐 2개체(수컷 JJ1, 암컷 JJ2)와 10월 9일 경북 영주시 부석면 임곡리 일대에서 수컷(SM1)에 소형전파발신기를 부착하여 주간에 잠자리 위치를 확인하였다. JJ1은 총 7일간(9월 6일～12일) 추적하였으며 잠자리로 이용된 영소목은 4곳을 확인하였다. JJ1은 처음 4일 동안(6일～9일)은 동일한 영소목을 이용하였으며 그후 3일 동안 매일 잠자리간 이동을 하였다(Table 3). JJ2는 총 5일간(9월 6일～10일) 추적하였으며 잠자리로 이용된 영소목은 모두 4곳이었다. JJ1과는 달리 매일 잠자리간 이동을 하였으며, 그 중 6일과 9일에는 동일한 영소목을 이용하였다(Table 3). 추적기간동안 JJ1과 JJ2는 독립적으로 잠자리를 이용하거나 동일한 영소목을

잠자리로 이용하였다(9월 6일과 9일). 한편 SM1은 총 5일간(10월 10일～15일) 추적하였으며, 10월부터 14일까지 동일한 영소목을 잠자리로 이용하였다. 15일에 100 m 이내의 다른 지점에서 발신음이 수신되었으나 정확한 지점은 확인하지 못하였으며, 6일째 잠자리를 옮긴 것으로 판단하였다.

쇠큰수염박쥐 3개체의 무선추적 결과 확인되 잠자리 위치는 Fig. 1에 제시하였다. 확인된 8개의 주간 잠자리는 산림 내부에 위치하였고, 계곡 사면부의 교목지대를 잠자리로 이용한 것으로 나타났다. 각 개체가 주간 잠자리로 이용한 영소목은 최초 포획된 지점으로부터 35～584 m 지점에 위치하였다(Table 3). SM1의 잠자리를 제외한 7개의 잠자리는 포획지점으로부터 반경 500 m 이내에 위치하였다. SM1의 잠자리는 포획지점으로부터 584 m 지점에 위치하였으나, 박쥐가 이동한 공중의 거리는 보다 적을 것으로 판단된다.

쇠큰수염박쥐가 이용한 잠자리간 이동거리는 JJ1은 178.3±90.0 m (79～358 m), JJ2는 165.8±66.8 m (77～360 m)였다. SM1의 경우 추적기간 동안 이동을 하지 않고 동일한 잠자리에서 확인되었다(Fig. 1). 개체에 따라 동일한 장소를 잠자리로 이용하거나, 매일 장소를 바꾸는 경우도 있었지만, 추적기간 동안 각 잠자리의 위치는 계곡 사면을 벗어나지 않았다.

2) 잠자리 특징

쇠큰수염박쥐가 잠자리로 이용한 영소목은 굴참나무 *Quercus variabilis*, 일본잎갈나무 *Larix kaempferi*, 노각나무 *Stewartia pseudocamellia*, 당단풍나무 *Acer pseudosieboldianum*, 물푸레나무 *Fraxinus rhynchophylla* 등이었으며, 생목과 고사목 모두 잠자리 영소목으로 이용하였다(Table 3). 주간에 휴식을 취하는 쇠큰수염박쥐는 생목과 고사목의 수피 아래, 꺾여진 줄기 틈, 옹이, 나무 기둥의 접합부분에서 확인되었다(Fig. 3) .

쇠큰수염박쥐의 잠자리로 사용된 8개 영소목의 높이는 11.2±5.5 m (2～20 m)였고, 흉고직경은 22.9±8.3 cm (13～35 cm)였다. 잠자리의 높이는 지면으로부터 2.6±0.5 m (1.5～5 m)였다. 또한 잠자리로 이용된 영소목은 주요 수계로부터 281.8±47.1 m (55～460 m)에 위치하였고, 지표면 유출수로부터는 38.6±11.6 m (1～103 m)에 위치하였다(Table 3).

고 찰

서식지의 경관적 특성은 박쥐의 분포에 영향을 주며 식생군집의 특성은 박쥐 종간 서식지 선호도에 영향을 준다(Razgour *et al*., 2011). 산림성 박쥐의 서식지 선호도는 숲의 성숙도와 연관되며 이것은 박쥐의 잠재적인 먹이자원인 곤충 군집의 다양성과 풍부도, 안정적인 잠자리의 정도를 대변한다(Crampton and Barclay, 1998; Humes *et al*., 1999; Barclay and Kurta, 2007; Carter and Menzel, 2007; Hayes and Loeb, 2007; Perry *et al*., 2007). 따라서 박쥐의 서식지 적합성은 잠자리의 위치 및 환경특성과 잠재적인 먹이량, 이용 가능한 잠자리 수를 기준으로 평가되며(Kunz and Lumsden, 2003), 산림성 박쥐에게 적합한 서식지는 이용 가능한 곤충의 풍부도 및 다양성, 안정적인 잠자리가 확보된 것을 의미한다(Lacki and Schwierjoha, 2001; Robinson and Sutherland, 2002; Yasui *et al*., 2004; Razgour *et al*., 2011). 결과에 제시된 쇠큰수염박쥐의 서식지 특성은 산림의 성숙도와 박쥐의 서식지로서 생태적 요구에 대한 추론을 가능케한다. 산림환경과 산림성 박쥐의 서식지 이용의 상호작용을 통한 산림 서식지의 관리와 보전방안에 대하여 고찰하자 한다.

산림성 박쥐의 경우 먹이와 수분공급 장소가 제한되기 때문에 박쥐가 출현했던 장소는 경관적으로 지속적인 이용이 가능하고, 현재의 출현된 장소의 서식지 정보는 대상 종의 서식지 특성을 대변한다(Robinson and Stebbings, 1997; Murray and Kurta, 2004). 따라서 결과에 제시된 쇠큰수염박쥐의 서식지 특성은 대상종의 보호 및 서식지 보전을 위한 산림관리방안을 위한 적용 또한 가능하다. 쇠큰수염박쥐는 서식지로서 수령이 40년 이상되는 활엽수가 우점하는 숲을 선호하였다(Table 3, Fig. 2). 활엽수림은 침엽수림에 비해 산림성 박쥐류의 먹이가 되는 곤충군집이 다양하고 곤충수가 풍부하며 (Burford *et al*., 1999; Humes *et al*., 1999; Kalcounis *et al*., 1999; Hayes and Gruver, 2000; Menzel *et al*., 2005; Makino *et al*., 2007), 잠자리로 이용되는 수피, 옹이 등이 잘 발달되어 풍부한 잠자리를 제공한다(Crampton and Barclay, 1998; Humes *et al*., 1999; Kalcounis *et al*., 1999; Lacki and Schwierjoha, 2001; Hayes, 2003; Hayes and Loeb, 2007). 성숙된 숲의 환경은 쇠큰수염박쥐의 생태적 요구를 충족시킬 수 있고, 쇠큰수염박쥐가 출현된 장소는 천연림과 유사한 환경으로 우수한 산림서식지로 평가되며 산림성 박쥐의 다양성을 유도할 수 있다. 본 연구가 진행된 경남 산청군 시천면 중산리 일대(지리산)에서 쇠큰수염박쥐 외에 관박쥐 *Rhinolophus ferrumequinum*, 흰배윗수염박쥐 *Myotis nattereri*, 관코박쥐 *Murina hilgendorfi*, 큰발윗수염박쥐 *Myotis macrodacty-*

lus, 작은관코박쥐 *Murina ussuriensis*, 토끼박쥐 *Plecotus ognevi* 등 6종을 확인하였고, 경북 영주시 부석면 임곡리 마구령 일대(소백산)에서도 쇠큰수염박쥐 외 4종(관박쥐, 흰배윗수염박쥐, 큰발윗수염박쥐 *Myotis macrodactylus*, 멧박쥐 *Nyctalus aviator*)의 박쥐를 확인하였다(Kruskop *et al*., 2012; NIBR, 2012).

일반적으로 산림성 박쥐의 행동권은 체중(몸 크기)과 관련이 있으며, 체중이 작은 종은 큰 종에 비해 행동권이 작고, 취식장소와 잠자리간 이동거리도 짧다(Fenton, 1997). 큰수염박쥐속(genus *Myotis*)의 종들은 대부분 소형의 박쥐 종으로 잠자리와 취식지간 거리가 짧고(Kurta *et al*., 1996; Ormsbee, 1996; Meyer *et al*., 2005; Broders *et al*., 2006), 비교적 좁은 행동권 내에 다수의 잠자리를 이용한다(Ormsbee, 1996). 또한 산림성 박쥐 종들은 산림 내 특정한 구역을 잠자리로 선택하고(Weller and Zabel, 2001; Willis and Brigham, 2004), 일정한 공간 내에서 잠자리를 바꾸거나(Lewis, 1995; Kunz and Lumsdem, 2003) 과거 사용했던 곳을 다시 이용하기도 한다(Sasse and Pekins, 1996, Brigham *et al*., 1997, Menzel *et al*., 2002). 제시된 연구 결과도 이와 유사하였다. 쇠큰수염박쥐의 잠자리와 취식지 간 거리는 짧았고, 단기간 잠자리를 이용하고 빈번하게 잠자리간 이동을 확인하였다. 쇠큰수염박쥐는 서식지의 이용 면적은 작지만, 먹이와 잠자리의 생태적 요구가 동시에 충족될 수 있는 성숙된 숲을 서식지로 선호하였다. 산림성 박쥐가 선호하는 서식지 특성과 잠자리 선택에 대한 이러한 경향성은 새로운 잠자리의 탐색이 용이하고, 잠자리의 교체시 융합-분산(fission-fusion) 사회구조 조직을 용이하게 함으로써 생태적 이점으로 작용된다(Lewis, 1995; Willis and Brigharm, 2004; Ruczyński *et al*., 2007; Popa-Lisseanu *et al*., 2008).

야생동물 보호를 위한 서식지 및 종 보전을 위한 효율적인 관리방안 수립은 목표 종에 대한 충분한 생태학적 정보를 기반으로 가능하다(Dietz *et al*., 2009). 쇠큰수염박쥐를 포함한 수목성(tree-dwelling) 박쥐는 노령목(old tree)이나 죽어가는 나무, 고사목의 수동(tree cavity)을 잠자리로 이용하며(Kunz and Lumsden, 2003), 수목당 잠자리 수가 많은 수목의 밀도가 높은 구역을 잠자리로 선호한다(Crampton and Barclay, 1998; Sedgeley and O'Donnell, 1999; Hayes, 2003). 서식지 선호에 대한 이러한 경향성은 쇠큰수염박쥐의 결과에서도 재확인되었다. 쇠큰수염박쥐의 서식지 면적은 다른 산림성 박쥐에 비해 적게 나타났지만, 쇠큰수염박쥐의 서식지 특성은 다른 산림성 박쥐 종의 서식지 선호도를 포함하고 있다.

산림내 생태적 지위가 같은 다양한 박쥐 종의 공존은 자원분할에 의해 가능하다(Foster and Kurta, 1999; Sedgeley, 2003). 산림성 박쥐의 서식지로 최적의 환경을 제공하는 노숙림은 곤충의 종다양도 및 풍부도가 높아 생태적 지위를 달리하는 박쥐의 종간 먹이경쟁을 낮춰 취식성공률을 높인다(Humes *et al*., 1999; Hayes and Gruver, 2000). 또한 산림 내 노령목, 고사목(dead tree), 수피(under bark), 나뭇잎(foliage), 수동(tree cavity) 등 다양한 잠자리의 확보는 박쥐의 다양성과 활동성을 높이게 된다(Humes *et al*., 1999). 쇠큰수염박쥐의 생태적 특성을 고려한 서식지 보호관리는 산림성 박쥐의 종다양성을 증진시킬 수 있는 효율적인 관리방안으로 적용될 수 있다. 쇠큰수염바쥐의 서식지는 다른 산림성 박쥐의 서식지 특성과 유사하기 때문에 다른 종과의 서식지 선호도가 중첩되는 것은 대상종의 서식지 보호관리를 통해 동일한 서식지를 이용하는 박쥐의 군집다양성을 높일 수 있음을 반영한다(Sedgeley and O'Donnell, 1999). 산림내 박쥐 군집의 다양성을 높이기 위하여 서식지 내 먹이자원의 다양성과 풍부도의 유지는 산림서식지 보호관리의 궁극적인 목표점이 된다. 따라서 곤충의 개체군 조절이란 생태계 서비스를 제공하는 박쥐의 산림서식지 보호 관리는 산림생태계의 건강성, 순환과 재생에 기여하게 된다. 현재의 잠자리 환경과 구조를 지속하는 단편적인 관리방안보다는 다수의 잠재적인 잠자리가 확보될 수 있고, 먹이자원이 충분히 지속될 수 있는 산림 서식지의 총괄적인 관리가 요구된다.

적 요

산림을 주 서식지로 이용하는 쇠큰수염박쥐(*Myotis ikonnikovi*)의 서식지 특징에 관하여 연구하였다. 안개그물을 이용한 포획조사를 통해 확인된 쇠큰수염박쥐 서식지는 비교적 수령이 오래되고 흉고직경이 굵은 활엽수가 우점하는 숲으로 평가되었다. 소형무선추적장치를 통해 쇠큰수염박쥐의 잠자리는 주로 활엽수의 수피 틈, 꺾어진 줄기의 틈, 옹이 기둥 접합 부분의 틈 등으로 확인되었다. 낮동안 이용한 잠자리는 포획지점으로부터 35～584 m 이내에 위치하였으며, 개체당 잠자리는 1～5일간 이용하였다. 쇠큰수염박쥐와 같은 산림성 박쥐류의 다양성을 높이기 위하여 산림내 다양한 먹이자원이 풍부하고, 이용가능한 다수의 잠자리가 확보될 수 있는 산림서식지 관리방안이 요구된다.

사 사

야외조사에 함께해 주신 김봉현 선생님과 Yoshikura 박사님께 감사드립니다. 임상분석에 도움을 주신 이병두 박사님(국립산림과학원)과 박쥐의 영소목을 동정해 주신 김민하 박사님(국립생물자원관)께 감사드립니다. 논문 투고를 위해 함께 논의해 준 최유성 박사님(국립생태원)께 감사드립니다. 본 논문이 출간되록 올바른 방향으로 이끌어주신 익명의 심사자께 감사드립니다. 본 연구는 국립생물자원관(NIBR) 2011년, 2012년 "산림성 박쥐류의 종다양성 및 계통연구" 과제로 수행되었다.

REFERENCES

Aldridge, H.D.J.N. and R.M. Brigham. 1988. Load carrying and maneuverability in an insectivorous bat: a test of the 5% "rule" of radio-telemetry. *Journal of Mammalogy* **69**: 379-382.

Aubrey, K.B., J.P. Hayes, B.L. Biswell and B.G. Marcot. 2003. Ecological role of arboreal mammals in western coniferous forests, p. 405-443. *In*: Mammal community and dynamics in coniferous forests of western North America: management and conservation (Zabal, C.J. and R.G. Anthony, eds.). Cambridge University Press, Cambridge, MA.

Barclay, R.M.R. and A. Kurta. 2007. Ecology and behavior of bats roosting in tree cavities and under bark, p. 17-59. *In*: Bats in forests: conservation and management (Lacki, M.J., J.P. Hayes and A. Kurta, eds.). Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland.

Boonman, M. 2000. Roost selection by noctules (*Nyctalus noctula*) and Daubenton's bats (*Myotis daubentonii*). *Journal of Zoology* **251**: 385-389.

Boyles, J.G., P.M. Cryan, G.F. McCracken and T.H. Kunz. 2011. Economic importance of bats in agriculture. *Science* **332**: 41-42.

Brigham, R.M. 2007. Bats in forests: what we know and what we need to learn, p. 1-15. *In*: Bats in forests: conservation and management (Lacki, M.J., J.P. Hayes and A. Kurta, eds.). Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland.

Brigham, R.M., M.J. Vonhof, R.M.R. Barclay and J.C. Gwilliam. 1997. Roosting behavior and roost-site preferences of forest-dwelling California bats (*Myotis californicus*). *Journal of Mammalogy* **78**: 1230-1239.

Broders, H.G., G.J. Forbes, S. Woodley and I.D. Thompson. 2006. Range extent and stand selection for roosting andforaging in forest-dwelling northern long-eared bats and little brown bats in the Greater Fundy Ecosystem, New Brunswick. *Journal of Wildlife Management* **70**: 1174-1184.

Burford, L.S., M.J. Lacki and C.V.J. Covell. 1999. Occurrence of moths among habitats in a mixed mesophytic forest: implications for management of forest bats. *Forest Science* **45**: 323-332.

Carter, T.C. and J.M. Menzel. 2007. Behavior and day-roosting ecology of North American foliage-roosting bats, p. 207-235. *In*: Bats in Forests: Conservation and Management (Lacki, M.J., J.P. Hayes and A. Kurta, eds.). The Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland.

Crampton, L.H. and R.M.R. Barclay. 1998. Selection of roosting and foraging habitat by bats in different aged aspen mixedwood stands. *Conservation Biology* **12**: 1347-1358.

Dietz, C., O. von Helversen and D. Nill. 2009. Bats of Britain, Europe and Northwest Africa, English ed. A and C Black Publishers Ltd., London, UK.

Fenton, M.B. 1997. Science and the conservation of bats. *Journal of Mammalogy* **78**: 1-14.

Fenton, M.B. 2003. Science and the conservation of bats; where to next? *Wildlife society Bulletin* **31**: 6-15.

Foster, R.W. and A. Kurta. 1999. Roosting ecology of the northern bat (*Myotis septentrionalis*) and comparisons with the endangered Indiana bat (*Myotis sodalis*). *Journal of Mammalogy* **80**: 659-672.

Fukuda, D., K. Takashi and Y. Sachiko. 2006. Day roosts of parturient Ikonnikov's whiskered bat, *Myotis ikonnikovi* Ognev. *Mammalian Science* **46**: 177-180.

Guldin, J.M., W.H. Emmingham, S.A. Carter and D.A. Saugey. 2007. Silvicultural practices and management of habitat for bat, p. 177-205. *In*: Bats in Forests: Conservation and Management (Lacki, M.J., J.P. Hayes and A. Kurta, eds.). The Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland.

Hayes, J.P. 2003. Habitat ecology and conservation of bats in west- ern coniferous forests, p. 81-119. *In*: Mammal community dynamics in coniferous forests of western North America: management and conservation (Zabel, C.J. and R.G. Anthony, eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Hayes, J.P. and J.C. Gruver. 2000. Vertical stratification of bat activity in an old-growth forest in western Washington. *Northwest Science* **74**: 102-108.

Hayes, J.P. and S.C. Loeb. 2007. The influences of forest management on bats in North America, p. 207-235. *In*: Bats in Forests: Conservation and Management (Lacki, M.J., J.P. Hayes and A. Kurta, eds.). The Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland.

Humes, M.L., J.P. Hayes and M.W. Collopy. 1999. Bat activity in thinned, unthinned, and old-growth forests in Western Oregon. *Journal of Wildlife Management* **63**: 553-561.

Kalcounis, M.C., K.A. Hobson, R.M. Brigham and K.R. Hecker. 1999. Bat activity in the boreal forest: Importance of stand type and vertical strata. *Journal of Mammalogy* **80**: 673-

682.

Kruskop, S.V., A.V. Borisenko, N.V. Ivanova, B.K. Lim and J.L. EgerGenetic. 2012. Diversity of northeastern palaearctic bats as revealed by DNA barcodes. *Acta Chiropterologica* **141**: 1-14.

Kunz, T.H. and L.F. Lumsden. 2003. Ecology of cavity and foliage roosting bats, p. 3-89. *In*: Bat ecology (Kunz, T.H. and M.B. Fenton, eds.). University of Chicago Press. Illinois, USA.

Kunz, T.H., E. Braun de Torrez, D. Bauer, T. Lobova and T.H. Fleming. 2011. Ecosystem services provided by bats. *Annals of the New York Academy of Sciences* **1223**: 1-38.

Kurta, A., K.J. Williams and R. Mies. 1996. Ecological, behavioral, and thermal observations of a peripheral population of Indiana bats (*Myotis sodalis*), p. 102-117. *In*: Bats and forests symposium (Barclay, R.M.R. and R.M. Brigham, eds.). British Columbia Ministry of Forests. Victoria, Canada.

Lacki, M.J. and J.H. Schwierjohann. 2001. Day-roost characteristics of northern bats in mixed mesophytic forest. *Journal of Wildlife Management* **65**: 482-488.

Lewis, S.E. 1995. Roost fidelity of bats: a review. *Journal of Mammalogy* **76**: 481-496.

Makino, S., H. Goto, M. Hasegawa, K. Okabe, H. Tanaka, T. Inoue and I. Okochi. 2007. Degradation of longicorn beetle (Coleoptera, Cerambycidae, Disteniidae) fauna caused by conversion from broad-leaved to man-made conifer stands of Cryptomeria japonica (Taxodiaceae) in central Japan. *Ecological Research* **22**: 372-381.

McCracken, G.F. 2003. Estimates of population sizes in summer colonies of Brazilian Free-tailed Bats (*Tadarida brasiliensis*), p. 21-30. *In*: Monitoring trends in bat populations of the United States and territories: problems and prospects (O'shea, T.J. and M.A. Bogan, eds.). U.S. Geological Survey.

Menzel, J.M., M.A. Menzel, Jr., J.C. Kilgo, W.M. Ford, J.W. Edwards and G.F. McCracken. 2005. Effect of habitat and foraging height on bat activity in the coastal plain of South Carolina. *Journal of Wildlife Management* **69**: 235-245.

Menzel, M.A., S.F. Owen, W.M. Ford, J.W. Edwards, P.B. Wood, B.R. Chapman and K.V. Miller. 2002. Roost tree selection by northern long-eared bat (*Myotis septentrionalis*) maternity colonies in an industrial forest of the central Appalachian Mountains. *Forest Ecology and Management* **155**: 107-114.

Meyer, C.F., M. Weinbeer and E.K. Kalko. 2005. Home-range size and spacing patterns of *Macrophyllum macrophyllum* (Phyllostomidae) foraging over water. *Journal of mammalogy* **86**: 587-598.

Mickleburgh, S.P., A.M. Hutson and P.A. Racey. 2002. A review of the global conservation status of bats. *Oryx* **36**: 18-34.

Murray, S.W. and A. Kurta. 2004. Nocturnal activity of the endangered Indiana bat (*Myotis sodalis*). *Journal of Zoology* **262**: 197-206.

NIBR. 2012. DNA Barcode system for Korean indigenous species.

Ormsbee, P.C. 1996. Characteristics, use, and distribution of day-roosts selected by female *Myotis volans* (long-legged myotis) in forested habitat of the Central Oregon Cascades, p. 124-131. *In*: Bats and forests symposium (Barclay, R.M.R. and R.M. Brigham, eds.). British Columbia Ministry of Forests. Victoria, Canada.

Perry, R.W., R.E. Thill and D.M. Leslis. 2007. Selection of roosting habitat by forest bats in a diverse forested landscape. *Forest Ecology and Management* **238**: 156-166.

Pierson, E.D. 1998. Tall trees, deep holes, and scarred landscapes: conservation biology of North American bats, p. 309-325. *In*: Bat biology and conservation (Kunz, T.H. and P.A. Racey, eds.). Smithsonian Institution, Washington, D.C., USA.

Popa-Lisseanu, A.G., F. Bontadina, O. Mora and C. IbÁñez. 2008. Highly structured fission-fusion societies in an aerial-hawking, carnivorous bat. *Animal Behaviour* **75**: 471-482.

Rainey, W.E., E.D. Pierson, M. Colberg and J.H. Barclay. 1992. Bats in hollow red woods: seasonal use and role in nutrient transfer into old growth communities. *Bat Research News* **33**: 71.

Razgour, O., J. Hanmer and G. Jones. 2011. Using multi-scale modelling to predict habitat suitability for species of conservation concern: The grey long-eared bat as a case study. *Biological Conservation* **144**: 2922-2930.

Robinson, M.F. and R.E. Stebbings. 1997. Home range and habitat use by the serotine bat, Eptesicus serotinus, in England. *Journal of Zoology* **243**: 117-136.

Robinson, R.A. and W.J. Sutherland. 2002. Post-war changes in arable farming and biodiversity in Great Britain. *Journal of Applied Ecology* **39**: 157-176.

Ruczyński, I., E.K.V. Kalko and B.M. Siemers. 2007. The sensory basis of roost finding in a forest bat, *Nyctalus noctula*. *The Journal of experimental Biology* **210**: 3607-3615.

Sano, A., K. Kawai, D. Fukui and K. Maeda. 2009. Chiroptera, p. 47-126. *In*: The Wild Mammals of Japan (Odachi, S.D., Y. Ishibashi, M.A. Iwasa and T. Saito, eds.). Shoukadoh Books Sellers, Kyoto.

Sasse, D.B. and P.J. Pekins. 1996. Summer roosting ecology of northern long-eared bats (*Myotis septentrionalis*) in the White Mountain National Forest, p. 91-101. *In*: Proceedings of the Bats and Forests Symposium of the British Columbia Ministry of Forests, Victoria, BC, Canada.

Schipper, J., J.S. Chanson and F. Chiozza. 2008. The status of the world's land and marine mammals: diversity, threat, and knowledge. *Science* **322**: 225-230.

Sedgeley, J.A. 2003. Roost site selection and roosting behaviour in lesser short-tailed bats (*Mystacina tuberculata*) and comparisons with long-tailed bats (*Chalinolobus tuber-*

culatus) in Nothofagus forest, Fiordland. *New Zealand Journal of Zoology* **30**: 227-276.

Sedgeley, J.A. and O'Donnell, C.F. 1999. Factors influencing the selection of roost cavities by a temperate rainforest bat (Vespertilionidae: *Chalinolobus tuberculatus*) in New Zealand. *Journal of Zoology* **249**: 437-446.

Simmons, N.B. 2005. Chiroptera, p. 312-529. *In*: Mammal Species of the World: A Taxonomic and Geographic Reference (Wilson, D.E. and D.A.M. Reeder, eds.). Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD.

Weller, T.J. and C.J. Zabel. 2001. Characteristics of fringed myotis day roosts in northern California. *The Journal of Wildlife Management* **65**: 489-497.

Whitaker Jr, J.O., C. Neefus and T.H. Kunz. 1996. Dietary variation in the Mexican free-tailed bat (*Tadarida brasiliensis mexicana*). *Journal of Mammalogy* **77**: 716-724.

Wilkinson, G.S. and J.W. Bradbury. 1988. Radiotelemetry: techniques and analysis, p. 105-124. *In*: Ecological and Behavioral Methods for the Study of Bats (Kunz, T.H. ed.). Washington DC, Smithsonian Institution.

Willis, C.K.R. and R.M. Brigham. 2004. Roost switching, roost sharing and social cohesion: forest-dwelling big brown bats (*Eptesicus fuscus*) conform to the fission-fusion model. *Animal Behaviour* **68**: 495-504.

Wilson, J.M. 2004. Foraging behaviour of insectivorous bats during an outbreak of western spruce budworm. M.Sc. Thesis, University of Calgary, Calgary, AB. 189 p.

Yasui, S., T. Kamijo, A. Mikasa, M. Shigeta and I. Tsuyama. 2004. Day roosts and roost-site selection of Ikonnikov's whiskered bat, *Myotis ikonnikovi*, in Nikko, Japan. *Mammal Study* **29**: 155-161.

Yasui, S., T. Kamijo, M. Shigeta and Y.Sato. 2000. Distribution of the Ikonnikov's whiskered bat, Myotis ikonnikovi OGNEV and its relationship to the habitat type in Tochigi Prefecture, Japan. *Mammalian Science* **40**: 155-165.

Zielinski, W.J. and S.T. Gellman. 1999. Bat use of remnant old-growth redwood stands. *Conservation Biology* **13**: 160-167.