

地震滑坡生境小型兽类群落多样性及影响因子*

张曼¹ 李波¹ 王彬¹ 汪宣伯¹ 冉江洪^{1**} 尚涛²

(¹四川大学生命科学学院 成都 610064)

(²四川龙溪-虹口国家级自然保护区管理局 成都 611830)

摘要 2011年4-10月,采用夹日法对“5·12汶川大地震”重灾区之一的四川龙溪-虹口国家级自然保护区内3种不同滑坡程度(重度、中度、轻度)生境和未受滑坡影响生境中的小型兽类进行了调查,以期了解不同滑坡程度生境中小型兽类群落的多样性,以及影响小型兽类群落多样性的关键因子.在4种生境中共捕获小型兽类3目5科12种120只.分析结果表明:(1)中华姬鼠(*Apodemus draco*)、黑腹绒鼠(*Eothenomys melanogaster*)、短尾鼯(*Anourosorex squamipes*)和北社鼠(*Niviventer confucianus*)为未受地震滑坡影响生境中的优势物种,也多是受滑坡体影响生境中的主要群落物种;(2)物种数量、捕获率和多样性指数均以无滑坡生境最高,重度滑坡生境最低,但重度生境均匀度指数最高;(3)群落相似性指数随着滑坡影响从无到重逐渐减小,重度与其他3类生境相似性最低;(4)受地震滑坡影响的生境中,小型兽类捕获率与残留乔木郁闭度、灌木和草本植物的覆盖度呈显著正相关($P<0.05$);物种数与残留乔木郁闭度呈极显著正相关($P<0.01$).与无滑坡生境相比较,中度和轻度滑坡体生境的小型兽类群落多样性已得到了一定程度的恢复,但重度滑坡生境的多样性还较低;在滑坡生境中,残留乔木郁闭度越大,灌木和草本植物的盖度越高,小型兽类群落的种类和数量就越多.表4 参29

关键词 地震滑坡;小型兽类;群落多样性;群落恢复;影响因子;龙溪虹口保护区

CLC Q959.808 : P642.22

Small Mammal Community Diversity and Its Influencing Factors in Landslides Habitat after the Wenchuan Earthquake*

ZHANG Man¹, LI Bo¹, WANG Bin¹, WANG Xuanbo¹, RAN Jianghong^{1**} & SHANG Tao²

(¹College of Life Sciences, Sichuan University, Chengdu, 610064, China)

(²Management Office of Longxi - Hongkou National Nature Reserve, Chengdu, 611830, China)

Abstract In order to evaluate the small mammal community diversity and explore the key factors influencing the community diversity in landslide areas in Longxi-Hongkou National Nature Reserve after the Wenchuan earthquake, investigations were conducted from April to October in 2011 among landslides of 3 different disturbance intensities (Extreme, Moderate, Slight) and an unaffected habitat (Null) as control group. Totally 120 individuals of 12 species, 3 orders and 5 families were captured in 6 375 snap-traps. The main results were as follows: (1) *Apodemus draco*, *Eothenomys melanogaster*, *Anourosorex squamipes* and *Niviventer confucianus* were the dominant species in Landslide habitats and Null Landslide habitats. (2) The species richness, capture success rate and species diversity were the highest in Null landslide habitat but the lowest in Extreme landslide habitat, and the highest evenness was found in Extreme landslide habitat. (3) The community similarity coefficient was lower with higher disturbance intensity levels, being the lowest between Intense and Moderate. (4) The capture success rate was positively correlated with the remaining tree canopy coverage ($r=0.630$, $P=0.005$), shrub coverage ($r=0.566$, $P=0.014$) and herb coverage ($r=0.522$, $P=0.026$); the number of species was significantly positively correlated with the remaining tree canopy coverage ($r=0.612$, $P=0.007$). Our results indicated that the community diversity in moderate and slight landslide habitats had recovered to some extent, but the community diversity in the extreme landslide habitat was still low. Moreover, our results also showed that with more remaining trees and higher coverage of shrubs and herbs in landslide habitats, there will be more species and quantities of small mammals. Tab 4, Ref 29

Keywords earthquake landslide; small mammal; community diversity; community recovery; influencing factor; Longxi-Hongkou Nature Reserve

CLC Q959.808 : P642.22

收稿日期 Received: 2012-04-10 接受日期 Accepted: 2012-06-15

*香港海洋公园保育基金(OPCFHK)和国家自然科学基金基础人才培养基金(J1103518)资助 Supported by the Oceanic Park Conservation Foundation of Hong Kong(OPCFHK) and the Base Personnel Training Fund of the National Natural Science Foundation of China(No. J1103518)

**通讯作者 Corresponding author (E-mail: rjhong-01@163.com)

小型兽类是生态系统的重要组成部分^[1-2],在整个生态系统的物质循环和能量流动中起着重要作用^[3-4],在维持生态系统稳定性和生物多样性保护方面发挥着重要的功能^[5],其物种组成和群落结构的变化可以很好地反映区域内生物多样性和生境质量的变化^[6-7]。自然灾害后生态系统恢复一直是众多学者所关注的问题^[8],研究自然灾害区域小型兽类多样性变化,不仅可以探讨自然灾害后环境变化对小型兽类群落的影响,对进一步探讨灾害后动植物群落恢复过程中的协同演化关系以及物种多样性保护方面也具有的重要意义^[9]。

关于自然灾害对小型兽类种群和群落影响的研究已有很多,如洪水、干旱、火灾、火山爆发等引起的环境改变会使小型兽类物种在体型、行为、寿命、繁殖能力等方面发生异常^[7, 10-12],甚至会导致某些区域内的群落在短时间内无法恢复^[11, 13],其群落的恢复能力与灾害的强度和灾害持续时间密切相关^[10, 14]。然而自然灾害在对区域内小型兽类群落造成负面影响的同时,也在群落的演替与更新以及物种多样性形成和保护等方面起着重要的推动作用^[15-17]。

作为自然干扰的一种,地震不仅造成区域内自然生态系统尤其是山地生态系统的剧烈改变^[18-19],而且也在区域生态系统演化和更新过程中扮演着重要的角色^[15-17]。关于地震滑坡后小型兽类群落的恢复状况以及影响群落恢复的因子探讨研究还鲜有报道。为此,我们于2011年4-10月,对2008年“5·12汶川大地震”重灾区之一的四川龙溪-虹口自然保护区龙池保护站附近不同地震滑坡程度生境中的小型兽类群落进行了调查研究,以期了解不同滑坡程度生境中小型兽类群落的多样性,确定影响小型兽类群落多样性恢复的关键因子,并评估小型兽类群落的恢复状况。

1 研究区域自然概况

四川龙溪-虹口国家级自然保护区位于四川省都江堰市,以大熊猫等珍稀野生动物及其栖息地为主要保护对象,距离2008年汶川大地震震中25 km左右。受汶川大地震的影响,在保护区31 000 hm²的范围内,地震滑坡造成的植被破坏区面积达10 114 hm²,占保护区总面积的32.6%,其中大熊猫生境丧失面积占32.2%^[20]。本研究选择在保护区滑坡体较多、大熊猫活动较频繁的龙池区域,地理位置为北纬31°08′-31°09′,东经103°34′-103°35′,海拔介于1 800-1 860 m之间。调查区气候属亚热带湿润气候,年均温10℃左右,雨量丰沛(年降水量1 300-1 800 mm),云雾多,日照少(年日照时数仅800-1 000 h)、年平均湿度达80%以上^[21]。通过调查,其植被类型主要有落叶阔叶林、针叶林和灌丛。乔木层树种主要为扇叶槭(*Acer flabellatum*)、藏刺榛(*Carpinus ferox* var. *thibetica*)、西南樱桃(*Cerasus pilosiuscula*)、四川臭樱(*Maddenia hypoxantha*)、泡花树(*Meliosma cuneifolia*)、柳杉(*Cryptomeria fortunei*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)等;灌木层主要以拐棍竹(*Fargesia robusta*)为优势种,常构成林下优势片层或形成纯林。在滑坡生境中灌木层

物种主要为大叶醉鱼草(*Buddleja davidii*)、川莓(*Rubus setchuenensis*)、喜阴悬钩子(*Rubus mesogaeus*)、狗枣猕猴桃(*Actinidia kolomikta*)等;草本层主要有紫花碎米荠(*Cardamine tangutorum*)、红蓼(*Polygonum orientale*)、凤仙花(*Impatiens* spp.)、楼梯草(*Elatostema involucratum*)、冷水花(*Pilea* spp.)以及禾本科植物等。受地震滑坡影响的生境中,地表砾石覆盖度为10%-90%不等,地表枯枝落叶层盖度0-70%。

2 研究方法

2.1 样地设置、调查方法和生境类型划分

在研究区域内共设置50 m×50 m的样地26个,其中受地震滑坡影响的样地18个,无滑坡干扰的对照样地8个,各个样地之间的距离大于100 m。所有样地的坡度介于5°-15°之间。在50 m×50 m样地中设置4-5个10 m×10 m的样方,估测样方中乔木层郁闭度;在样方中设置2-3个5 m×5 m的小样方,记录和测量灌木和草本层植物的盖度以及地表的砾石盖度和枯枝落叶层盖度。以样地内所有10 m×10 m样方和5 m×5 m小样方各因子参数的均值作为样地的生境特征变量进行数据分析。所有的郁闭度和覆盖度采用估测,取值范围为0-1,精确至0.1。

将滑坡体面积比例大于5%的样地定义为受地震滑坡影响的样地。根据各样方中滑坡面积比例将26个样方划分为4种生境类型,分别为重度滑坡生境ELH(滑坡体面积比例超过样地面积的60%,共6个)、中度滑坡生境MLH(20%-60%,共6个)、轻度滑坡生境SLH(滑坡体面积5%-20%,共6个)和无滑坡生境NLH(滑坡面积为0,共8个)。

2.2 小型兽类调查方法

2011年4月、7月和10月采用夹日法对研究区域小型兽类进行了3次调查,每次调查样地都涵盖上述4种生境类型,且样地数量相近。以花生米为诱饵,采用大号铁板夹在各调查样地内平行置夹,夹间距5 m,夹线距5 m,每个样方连捕3 d,每天早晚各检查鼠夹1次。每次调查每个样地夹日数不少于200。将捕获到的标本进行编号、鉴定、称重、测量(体重、体长、尾长、后足长和耳高)和记录,然后浸制于8%福尔马林溶液中,带回实验室,制成标本,进一步鉴定种类。所有小型兽类物种名称以《中国兽类野外手册》^[22]为标准。

2.3 数据分析方法

采用常用的Shannon-Weiner指数(H')、均匀性指数(E')和Whittaker群落相似性系数(I')描述各生境内小型兽类的群落多样性^[9]。采用双变量相关分析(Bivariate Correlation)中的Spearman等级相关分析对受地震滑坡影响的生境中小型兽类捕获率、物种数与生境因子之间的相关性进行分析。所有数据统计分析工作均在Excel 2003及SPSS 16.0软件中完成。

3 结果与分析

3.1 各生境中小型兽类的群落组成

3次调查共布夹6 375夹日,其中重度1 716夹日,中度1327夹日,轻度1 403夹日,无滑坡1 929夹日。共捕获小型兽类

表1 不同生境小型兽类的物种组成
Table 1 Species composition of small mammals in different habitat types

生境类型 Habitat type	ELH		MLH		SLH		NLH		合计 Total	
物种 Species	数量 Number (N)	比例 Percentage (P)	N	P	N	P	N	P	N	P
中华姬鼠 <i>Apodemus draco</i>	4	26.67%	13	43.33%	15	48.39%	18	40.91%	50	41.67%
黑腹绒鼠 <i>Eothenomys melanogaster</i>	4	26.67%	7	23.33%	7	22.58%	7	15.91%	25	20.83%
短尾鼯 <i>Anourosorex squamipes</i>	5	33.33%	1	3.33%	3	9.68%	5	11.36%	14	11.67%
北社鼠 <i>Niviventer confucianus</i>	1	6.67%	1	3.33%	2	6.45%	5	11.36%	9	7.50%
长尾鼯 <i>Episorculus caudatus</i>			3	10.00%	1	3.23%	3	6.82%	7	5.83%
鼯鼠 <i>Uropsilus soricipes</i>			2	6.67%	1	3.23%	1	2.27%	4	3.33%
高山姬鼠 <i>Apodemus chevrieri</i>			1	3.33%			1	2.27%	2	1.67%
纹背鼯 <i>Sorex cylindricauda</i>			2	6.67%					2	1.67%
川西白腹鼠 <i>Niviventer excelsior</i>					1	3.23%	2	4.55%	3	2.50%
藏鼠兔 <i>Ochotona thibetana</i>							2	4.55%	2	1.67%
黑齿鼯 <i>Blarinella quadratacauda</i>					1	3.23%			1	0.83%
小纹背鼯 <i>Sorex bedfordiae</i>	1	6.67%							1	0.83%
合计 Total	15	100%	30	100%	31	100%	44	100%	120	100%

ELH: 重度滑坡生境; MLH: 中度滑坡生境; SLH: 轻度滑坡生境; NLH: 无滑坡生境. 下同

ELH: Extreme Landslide habitat; MLH: Moderate Landslide habitat; SLH: Slight Landslide habitat; NLH: Null Landslide habitat. The same below

120只, 隶属于3目5科9属12种, 其中啮齿目2科3属5种, 鼯形目2科5属6种, 兔形目1科1属1种 (表1)。

在未受地震滑坡影响的生境中, 中华姬鼠 (*Apodemus draco*)、黑腹绒鼠 (*Eothenomys melanogaster*)、短尾鼯 (*Anourosorex squamipes*) 和北社鼠 (*Niviventer confucianus*) 的个体数量占群落总个体数的比例都大于10%, 而这4个种也见于其它3类受滑坡影响的生境中, 且多为这些生境的优势物种, 可见区域优势物种是滑坡生境的主要群落物种。

从群落多样性上来看, 未受滑坡影响的生境小型兽类种类数量、捕获率和多样性指数均最高, 而重度滑坡生境最低; 均匀度指数方面, 重度滑坡生境最高, 轻度最低; 物种组成方面, 重度滑坡生境仅有小型兽类5种, 与无滑坡生境相差近一半的数量, 而中度和轻度滑坡生境已经接近无滑坡生境的数量 (表2)。

从表3可以看出, 小型兽类群落相似性指数是沿着受地震滑坡影响程度从重度到无影响逐渐增加的, 即无滑坡>轻度>中度>重度. 重度影响与其它3类生境间的相似度最低, 反映出重度滑坡生境小型兽类群落恢复还需一定的时间。

3.2 生境因子相关性分析

受地震滑坡影响的生境中小型兽类捕获率、物种数与各生境因子之间的Spearman相关性系数矩阵见表4. 在受地震滑坡影响的生境中, 小型兽类捕获率与残留乔木郁闭度、灌木盖度和草本盖度均呈显著正相关 ($P<0.05$), 与砾石盖度呈显著负相关 ($P<0.05$), 与灌木和草本植物物种数以及枯枝落叶层盖度无显著相关 ($P>0.05$); 小型兽类物种数与残留乔木郁闭度呈极显著正相关 ($P<0.01$), 与其他生境因子均无显著相关 ($P>0.05$)。

4 讨论

我们的调查结果表明, 地震后不同滑坡程度生境中小型兽类群落恢复现状有着明显的差异, 其中重度生境小型兽

表2 不同生境类型中小型兽类捕获率和群落多样性指数
Table 2 Capture success rate and community diversity index of small mammals in different habitat types

生境类型 Habitat type	ELH	MLH	SLH	NLH	合计 Total
种类数量 No. of species	5	8	8	9	12
捕获率 Capture success rate (r)	0.874%	2.261%	2.210%	2.281%	1.882%
多样性指数 Species diversity index	1.432	1.633	1.533	1.788	
均匀度指数 Evenness index	0.890	0.786	0.737	0.814	

表3 不同生境下小型兽类的群落Whittaker相似性指数
Table 3 Regression coefficients between small mammal communities in different habitat types

生境 Habitat	ELH	MLH	SLH	NLH
ELH	—	0.567	0.654	0.606
MLH		—	0.790	0.748
SLH			—	0.817
NLH				—

类群落受滑坡影响严重, 仅有小型兽类5种, 与无滑坡生境相差近一半的数量, 而中度和轻度滑坡生境已经接近无滑坡生境的数量, 群落已得到了一定的恢复, 但在种类数量、多样性和相似度方面与无滑坡生境仍存在一定的差异. 重度滑坡生境群落均匀度最高, 轻度最低, 这说明重度滑坡生境中小型兽类的物种组成较为均匀, 各物种的优势性都还不高, 而轻度生境中的物种已有较高的优势性. 重度生境与其他3类生境相似性最低, 表明重度生境小型兽类群落恢复还需一定的时间。

不同滑坡生境中植被残留情况不同, 其在满足小型兽类觅食、繁殖、生长、躲避敌害等方面的能力也不同^[23]. Jason等发现, 灾害后植被残留较多的生境能够为小型兽类提供更好的生活条件, 群落恢复的能力和速度比残留较少或者无残留的生境要好得多^[24]. 随着植被的逐渐恢复, 小兽群落在种类和数量上也会逐渐恢复^[25]. 不同小型兽类对植被覆盖度的要求有所不同, 总的来说植被覆盖度越高的区域, 其群

表4 小型兽类捕获率、物种数与生境因子相关性分析
Table 4 Spearman correlations between capture success rate/no. of species and habitat factors

生境因子 Habitat factor		乔木郁闭度 Tree canopy	灌木盖度 Shrub coverage	草本盖度 Herbs coverage	枯枝落叶层盖度 Litter coverage	砾石盖度 Gravel coverage
捕获率 Capture success rate	相关系数 Correlation coefficient	0.630**	0.566*	0.522*	0.376	-0.570*
	Sig.(2-tailed) (P)	0.005	0.014	0.026	0.124	0.014
	N	18	18	18	18	18
物种数 No. of species	相关系数 Correlation coefficient	0.612**	-0.181	0.091	0.234	-0.306
	Sig.(2-tailed) (P)	0.007	0.472	0.720	0.349	0.216
	N	18	18	18	18	18

*在置信度(双测)为0.05时相关性显著. **在置信度(双测)为0.01时相关性显著

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed); ** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

落多样性也越高^[26], 因为较高的植被覆盖度可以降低小型兽类被捕食的风险, 但过高也会对小型兽类的生存产生不利影响^[27-28]. 我们的研究结果也显示, 在受地震滑坡影响生境中, 小型兽类捕获率和物种多样性与残留乔木郁闭度、灌木盖度和草本盖度呈显著的正相关关系 ($P<0.05$), 与地表砾石覆盖度呈显著负相关 ($P<0.05$); 物种数与残留乔木盖度呈极显著正相关 ($P<0.01$). 这表明残留乔木的多少和灌木、草本植物的盖度大小在一定程度上决定了小型兽类群落恢复能力和速度. 滑坡生境中残留植被覆盖度越高越有利于小型兽类的生存和群落的恢复, 同时灌木和草本植物的恢复对小型兽类群落恢复也起着重要的促进作用.

本研究中, 中华姬鼠、黑腹绒鼠、短尾鼩和北社鼠为无滑坡生境中的优势物种, 也是构成滑坡生境小型兽类群落的主体. 已有研究表明, 局部区域植被受到破坏后, 部分物种的种群数量会明显减少甚至消失, 但这些生态位空缺会被周围生境中适应性强的物种迅速占据^[7, 29], 群落能够迅速重建起来. 这表明原优势物种在促进灾后群落重建和维持区域内群落多样性等方面起着至关重要的作用.

致谢 感谢龙溪—虹口自然保护区管理局的大力支持和协助; 感谢朱家良、王多琪、王青松等本科生参与野外数据收集工作; 感谢 Timothy Moermond 教授对本文英文摘要的润色.

参考文献 [References]

- Laurits WK, Clifford EA. Small mammals and vegetation changes after fire in a mixed conifer-hardwood forest [J]. *Ecology*, 1974, **55**: 1391-1398
- Michelle EM, Sarah JC. The effects of early season and late season prescribed fires on small mammals in a Sierra Nevada mixed conifer forest [J]. *For Ecol Manage*, 2006, **236**: 229-240
- Carey AB, Johnson ML. Small mammals in managed, naturally young, and old-growth forests [J]. *Ecol Appl*, 1995, **5** (2): 336-352
- Dowing AL, Bryan LB, Elizabeth MP, Timothy HK, Mathew AL. Environmental fluctuations induce scale-dependent compensation and increase stability in plankton ecosystems [J]. *Ecology*, 2008, **89** (11): 3204-3214
- Ernest SKM, James HB. Homeostasis and compensation the role of species and resources in ecosystem stability [J]. *Ecology*, 2010, **82** (8): 2118-2132
- Chase MK, Kristan WB, Lynam AJ, Price MV, Retenberry JT. Single species as indicators of species richness and composition in California coast sage scrub birds and small mammals [J]. *Conserv Biol*, 2000, **14** (2): 474-484
- Crisafulli CM, MacMahon JA, Parmonter RR. Small-mammal survival and colonization on the Mount St. Helens Volcano: 1980-2002 [J]. *Am Midland Naturalist*, 2005, **3**: 199-218
- 张淑花, 张雪萍. 大兴安岭火烧迹地土壤动物的群落多样性[J]. 应用与环境生物学报, 2009, **15** (5): 672-676 [Zhang SH, Zhang XP. Soil animal community diversity in the burned areas of the Great Xing'an Mountains, China [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2009, **15** (5): 672-676]
- 李俊生, 宋延龄, 徐存宝, 曾治高, 宋影. 小兴安岭林区不同生境梯度中小型哺乳动物生物多样性[J]. 生态学报, 2003, **23** (6): 1037-1047 [Li JS, Song YL, Xu CB, Zeng ZG, Song Y. Studies on biodiversity of small mammals along different habitat gradients in the Xiao Xing'an Ling Forest Region, China [J]. *Acta Ecol Sin*, 2003, **23** (6): 1037-1047]
- 张美文, 王克林, 王勇, 郭聪, 李波. 长江中游农区洪涝灾害后鼠类数量动态[J]. 应用与环境生物学报, 2004, **10** (2): 184-188 [Zhang MW, Wang KL, Wang Y, Guo C, Li B. Population dynamics of rodents after flood in middle reaches of the Yangtze River [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2004, **10** (2): 184-188]
- Dickman CR, Greenville AC, Tamayo B, Wardle GM. Spatial dynamics of small mammals in central Australian desert habitats: the role of drought refugia [J]. *J Mammal*, 2011, **92**: 1193-1209
- Lunney D, Cullis B, Eby P. Effects of logging and fire on small mammals in Mumbulla State Forest, near Bega, New South Wales [J]. *Austr Wildlife Res*, 1987, **14** (2): 163-181
- Meserve PL, Dickman CR, Kelt DA. Small mammal community structure and dynamics in arid lands: overall patterns and contrasts with Southern Hemispheric systems [J]. *J Mammal*, 2011, **92** (6): 1155-1157
- Luteyn JL. The response of small mammal populations to flooding [J]. *Mammalian Biol*, 2003, **68** (2): 102-111
- James LL. Diversity, adaptation, and endemism in neotropical Ericaceae: biogeographical patterns in the Vaccinieae [J]. *Bot Rev*, 2002, **68** (1): 55-87
- 陈利顶, 傅伯杰. 干扰的类型、特征及其生态学意义[J]. 生态学

- 报, 2000, **20** (4): 581-586 [Chen LD, Fu BJ. Ecological significance, characteristics and types of disturbance [J]. *Acta Ecol Sin*, 2000, **20** (4): 581-586]
- 17 Wang DJ, Li S, Sun S, Wang H, Chen A, Li SZ, Li J, Lu Z. Turning earthquake disaster into long term benefits for the panda [J]. *Conserv Biol*, 2008, **22** (5): 1356-1360
- 18 卢涛, 石福孙, 孙庚, 罗艳, 王乾, 吴彦, 吴宁. “5.12”汶川地震灾区生态恢复重建中仍需回答的关键科学问题[J]. 应用与环境生物学报, 2010, **16** (3): 301-304 [Lu T, Shi F, Sun G, Luo Y, Wang Q, Wu Y, Wu N. Reconstruction of the Wenchuan Earthquake-damaged ecosystems: four important questions [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2010, **16** (3): 301-304]
- 19 包维楷, 庞学勇. 四川汶川大地震重灾区灾后生态退化及其基本特点[J]. 应用与环境生物学报, 2008, **14** (4): 441-444 [Bao WK, Pang XY. Ecological degradation in the Wenchuan Earthquake seriously affected region in Sichuan, China [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2008, **14** (4): 441-444]
- 20 王学志, 徐卫华, 欧阳志云, 张晋东. 汶川地震对都江堰地区大熊猫生境的影响[J]. 生态学报, 2008, **28** (12): 5856-5861 [Wang XZ, Xu WH, Ouyang ZY, Zhang JD. Impacts of Wenchuan Earthquake on giant panda habitat in Dujiangyan region [J]. *Acta Ecol Sin*, 2008, **28** (12): 5856-5861]
- 21 陈昌笃. 都江堰地区——横断山北段生物多样性交汇、分化和存留的枢纽地段[J]. 生态学报, 2000, **20** (1): 28-34 [Chen DC. The Dujiangyan Region Pivot sector of assemblage, differentiation and maintenance of biodiversity in northern part of Hengduan Mountain [J]. *Acta Ecol Sin*, 2000, **20** (1): 28-34]
- 22 Andrew TS, 解炎, Federico G, 汪松. 中国兽类野外手册[M]. 长沙: 湖南教育出版社, 2009 [Andrew TS, Xie Y, Federico G, Wang S. A Guide to the Mammals of China [M]. Changsha: Hunan Education Press, 2009]
- 23 施大钊, 王登, 高灵旺. 啮齿动物生物学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2008. 125-133 [Shi DZ, Wang D, Gao LW. Rodent Biology [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2008. 125-133]
- 24 Jason TF, Lisa W. The response of mammals to forest fire and timber harvest in the North American boreal forest [J]. *Mammal Rev*, 2005, **35** (1): 51-81
- 25 Flower JR, Ellwood SA. Impact of woodland deer on small mammal ecology [J]. *Forestry*, 2003, **74** (3): 277-287
- 26 Robitaille JF, Linley RD. Structure of forests used by small mammals in the industrially damaged landscape of Sudbury, Ontario, Canada [J]. *For Ecol Manage*, 2006, **225**: 160-167
- 27 Grant WE, Birney EC. Small mammal community structure in the North American Grasslands [J]. *J Mammal*, 1979, **60** (1): 23-36
- 28 徐兴军, 吕建伟, 谢振丽, 周双涛, 计沈斌, 张东月, 王昌河, 邵淑丽. 寒温带牧林交错区生境复杂度对啮齿类物种多样性的影响[J]. 生态学报, 2009, **29** (6): 2945-2952 [Xu XJ, Lü JW, Xie ZL, Zhou ST, Ji SB, Zhang DY, Wang CH, Shao SL. Effects of habitat complexity on species diversity of small mammals in pastures and forest interlaced regions [J]. *Acta Ecol Sin*, 2009, **29** (6): 2945-2952]
- 29 Jacob J. Response of small rodents to manipulations of vegetation height in agro ecosystems [J]. *Integr Zool*, 2008, **3**: 3-10