

# 青藏高原东缘高寒森林小型兽类地表洞穴选择与生境特征

付长坤 杨万勤 张健 徐振锋 谭波 吴福忠\*

(四川省林业生态工程省级重点实验室/四川省长江上游生态安全协同创新中心/四川农业大学生态林业研究所, 成都 611130)

**摘要** 高寒森林地表的小型兽类洞穴是生态系统重要的景观特征,对于认识小型兽类的分布格局及其生态功能具有重要意义。为此,以青藏高原东缘典型高寒森林生态系统小型兽类洞穴为对象,于2015年夏季(7—9月)研究了其地表分布与生境特征。结果表明:小型兽类洞穴平均洞口密度为 $182.8 \text{ 个} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,不同森林植被类型显著影响洞穴密度,表现为针叶林( $328.6 \text{ 个} \cdot \text{hm}^{-2}$ )>针阔混交林( $160.0 \text{ 个} \cdot \text{hm}^{-2}$ )>灌木林( $125.0 \text{ 个} \cdot \text{hm}^{-2}$ )>阔叶林( $81.5 \text{ 个} \cdot \text{hm}^{-2}$ )>竹林( $66.7 \text{ 个} \cdot \text{hm}^{-2}$ )。Mann-Whitney U Test和主成分分析表明,小型兽类栖息样地的乔木郁闭度、乔木均高、乔木胸径、乔木密度、地表植被盖度、倒木密度、倒木覆盖度、灌木均高都显著大于非栖息样地;乔木因子是决定小型兽类生境选择的首要因子,贡献率最大(44.8%),其次是倒木因子(23.2%)和灌草丛因子(13.9%)。说明高寒森林地表有明显的小型兽类洞穴分布,其分布格局主要受植被和倒木的影响。

**关键词** 高寒森林; 小型兽类; 植被类型; 洞穴分布; 生境特征

**Small mammals burrow selection and habitat characteristics in an alpine forest of eastern Tibet Plateau, China.** FU Chang-kun, YANG Wan-qin, ZHANG Jian, XU Zhen-feng, TAN Bo, WU Fu-zhong\* (*Sichuan Province Key Laboratory of Ecological Forestry Engineering/Collaborative Innovation Center of Ecological Security in the Upper Reaches of Yangtze River in Sichuan Province/Institute of Ecology & Forestry, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China*).

**Abstract:** The burrows of small mammals are one of the obvious landscapes in the forest floor, and play important roles in understanding the distribution patterns of small mammals and their ecological functions in the high-frigid regions. Therefore, the burrow selection and habitat characteristics of small mammals were investigated in an alpine forest of eastern Tibet Plateau from July to September in 2015. The results indicated that the average density of small mammals burrow was 182.8 entrances per hectare. Forest vegetation had significant effects on burrow entrances density, which showed the order of coniferous vegetation (328.6 burrow entrances per hectare) > broad-leaved and coniferous mixed vegetation (160.0 burrow entrances per hectare) > shrubbery (125.0 burrow entrances per hectare) > broad-leaved vegetation (81.5 burrow entrances per hectare) > bamboo vegetation (66.7 burrow entrances per hectare). Mann-Whitney U Test and PCA analysis displayed that the arbor canopy, arbor height, arbor DBH, arbor density, ground-plant cover, fallen log cover, fallen log density and shrub height in the small mammals utilized habitat plots were significantly higher than those in other habitat plots ( $P < 0.05$ ). Compared with other factors, arbor was the primary factor in dominating the selection of small mammal burrows, showing the contribution rate with 44.8%. The following dominant factors were fallen log and shrub, with the contribution rates being 23.2% and 13.9%, respectively. In summary, there were numerous small mammal burrows in the alpine forest floor, which were primarily dominated by vegetation and fallen logs.

**Key words:** alpine forest; small mammals; vegetation; burrow distribution; habitat characteristics.

本文由国家自然科学基金项目(31270498,31570445)、高等学校博士学科点专项科研基金项目(20135103110002)资助 This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (31270498,31570445) and the Research Fund for the Doctoral Program of Higher Education (20135103110002).

2015-10-23 Received, 2016-03-12 Accepted.

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wufzchina@163.com

小型兽类作为森林生态系统的重要组成部分<sup>[1]</sup>,可以通过取食、转移、储存、筑巢等过程,在森林更新、物质循环和能量流动等生态系统过程中起到重要作用<sup>[2-6]</sup>.研究表明,森林小型兽类多以地表穴居为主,其洞穴选择和分布跟种子扩散方向密切相关<sup>[7-9]</sup>.充分认识森林地表小型兽类洞穴选择及其生境特征,对了解小型兽类的分布、活动及其生态功能具有重要的意义<sup>[10-14]</sup>.

从景观尺度对兽类洞穴分布格局的研究认为,小型兽类的分布主要取决于栖息地的结构特征,并与植物群落的分布模式大体一致<sup>[12,14]</sup>.但植物群落的内部空间结构对小型兽类洞穴分布的影响还鲜有报道.倒木是高寒森林中重要的自然环境因子,其对小型兽类洞穴分布的贡献度仍不清楚.一般地,水源、食源、安全性是影响动物生境选择的主要因素<sup>[15-16]</sup>.然而,高寒森林区域频繁发生的极端降水、干旱等气候事件与滑坡、泥石流等地质灾害,直接或间接影响森林中小型兽类的生境选择,并可能与已有的认识不一致.因此,在高寒森林内小型兽类洞穴的分布特征及其主要影响因素还不明确,亟待研究.

青藏高原东缘高寒森林植被在区域气候调节、涵养水源和生物多样性保护方面发挥着重要作用<sup>[17-18]</sup>,同时也是我国典型的生态脆弱带<sup>[19-20]</sup>.其森林天然更新、物质循环已受到广泛关注<sup>[21]</sup>.然而,小型兽类地表洞穴特征与高寒森林更新的关系还缺乏相关研究,区域内小型兽类的洞穴选择及生境特征的研究还未见报道.本文以青藏高原东缘典型高寒森林生态系统小型兽类洞穴为对象,以高山森林生态系统定位研究站为平台,调查其在森林地表的分布与生境特征,通过对洞穴生境变量进行统计学分析,探讨小型兽类地表洞穴生境选择特性及其影响因素,以期为高寒森林生态系统的更新及生物多样性保护提供基础资料.

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究区概况

高山森林生态系统定位研究站位于四川省阿坝藏族羌族自治州理县毕棚沟(31°14'—31°19' N, 102°53'—102°57' E),海拔2458~4619 m,地处横断山区,属青藏高原东缘与四川盆地的过渡带,是四川省米亚罗省级自然保护区的核心区域<sup>[22]</sup>.该区域年均温2~4℃,7月最高气温可达23.7℃,1月最低气温可达-18.1℃,年均降雨量850 mm.研究区域的主要森林植被随海拔增高分别为:落叶阔叶林、针阔混

交林、针叶林、高山灌丛和草甸,另有箭竹林呈零星分布.乔木层主要有:岷江冷杉(*Abies faxoniana*)、红桦(*Betula albosinensis*)、方枝柏(*Sabina saltuaria*)等;林下灌木主要有:康定柳(*Salix paraplesia*)、扁刺蔷薇(*Rosa sweginzowii*)、高山杜鹃(*Rhododendron lapponicum*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、红毛花楸(*Sorbus rufopilosa*)、刺黑珠(*Berberis sargentiana*)等;草本植物主要有:羊茅(*Festuca ovina*)、冷蕨(*Cystopteris fragilis*)、蟹甲草属(*Cacalia* spp.)、薹草属(*Carex* spp.)和莎草属(*Cyperus* spp.)等<sup>[23]</sup>.区域分布的地表穴居小型兽类有古老和现代两类群,古老物种相对较少,如林跳鼠(*Eozapus setchuanus*)、鼯鼠(*Sicista concolor*)、川西长尾鼯(*Soriculus hypsibius*);现代属种以鼠兔属(*Ochotona*)和绒鼠属(*Eothenomys*)的种类为优势种,如藏鼠兔(*Ochotona thibetana*)、灰鼠兔(*Ochotona roylei*)、西南绒鼠(*Eothenomys custos*)<sup>[24]</sup>.

### 1.2 试验设计

根据小型兽类的栖息地特征及生境选择相关研究方法<sup>[25-27]</sup>,结合调查区域的实际情况,确定10个生境特征变量:乔木郁闭度(%、10 m×10 m的大样方植被上层林冠对地面的覆盖百分比)、乔木胸径(DBH, cm,大样方内乔木约1.3 m高处的胸径平均值)、乔木均高(m,大样方内乔木高度的平均值)、乔木密度(株·100 m<sup>-2</sup>,大样方内乔木数量)、灌木盖度(%、大样方中灌木面积占样地面积的比率)、灌木均高(m,大样方内灌木高度的平均值)、灌木密度(株·100 m<sup>-2</sup>,大样方内灌木数量)、地表植被盖度(%、每个大样方中5个2 m×2 m小样方内草本、蕨类、苔藓类的植被盖度平均值)、倒木盖度(%、大样方内倒木投影面积占样地面积的百分比)、倒木密度(根·100 m<sup>-2</sup>,大样方内倒木数量).

2015年夏季(7—9月),在研究区域从海拔2700 m到3600 m设置9条样线,涵盖当地植被类型.每条样线长2000 m,布点20个(相邻点间距均为100 m),样线间距大于1000 m.在每个样点中心布设1个10 m×10 m大样方,再于每个大样方中心和四角位置各布设1个2 m×2 m小样方<sup>[28]</sup>.在大样方中,测算乔木郁闭度、乔木高度、乔木胸径、乔木密度、倒木密度、倒木覆盖率,测算灌木盖度、灌木均高、灌木密度,并采用逐一排查法测定样方内小型兽类的洞口数量(包括正在使用的洞口和没有使用的旧洞口),判别洞穴正在被利用的依据是:洞外有新鲜土壤堆积,洞壁啃噬的齿印湿润新鲜,有活的植物

根外露,有的洞道中有青草叶散落等<sup>[29]</sup>。野外研究发现,随着小型兽类种群密度的增加,所有洞口都会被使用,而且还可能增加一些新洞口,因此将有小型兽类洞口分布及明显痕迹的大样方记为栖息样地,其他记为非栖息样地<sup>[27]</sup>;在每个小样方中测算地表植被盖度,大样方的地表植被盖度采用位于其中的5个小样方的平均值<sup>[28]</sup>。

### 1.3 数据处理

数据分析均在统计软件 SPSS 17.0 中完成。小型兽类栖息样地与非栖息样地间的生境特征差异采用曼-惠特尼 U 检验 (Mann-Whitney U test) 方法比较;小型兽类栖息地选择的主要驱动因子采用主成分分析法 (PCA) 提取累计贡献率大于或等于 70% 的生境因子进行确定;采用多元线性回归法分析生境变量与洞口密度的关系。

## 2 结果与分析

### 2.1 青藏高原东缘高寒森林小型兽类不同利用样地生境因子的比较

高寒森林小型兽类夏季栖息样地与非栖息样地的生境变量分布如表 1 所示。栖息样地的乔木郁闭度、乔木均高、乔木胸径、乔木密度、地表植被盖度、倒木密度、倒木覆盖度、灌木均高都显著大于非栖息样地 ( $P < 0.05$ )。其他生境变量在数值上存在一定差异,但未达到显著水平。

表 1 高寒森林小型兽类栖息样地与非栖息样地的生境变量

Table 1 Habitat variables in utilized plots and random plots of small mammals in an alpine forest (mean±SE)

变量 Variable	非栖息样地 Random plots (n=69)	栖息样地 Utilized plots (n=111)	P
乔木郁闭度 Arbor canopy (%)	17.6±2.7	37.3±2.7	<0.001*
乔木均高 Arbor height (m)	8.1±1.8	11.4±0.7	<0.001*
乔木胸径 Arbor DBH (cm)	11.9±1.6	20.3±1.3	<0.001*
乔木密度 Arbor density (plants·100 m <sup>-2</sup> )	2.5±0.4	4.6±0.4	0.001*
灌木盖度 Shrub canopy (%)	33.4±3.4	39.6±2.7	0.067
灌木均高 Shrub height (m)	1.7±0.2	2.4±0.2	0.040*
灌木密度 Shrub density (plants·100 m <sup>-2</sup> )	10.5±1.5	9.9±1.0	0.083
地表植被盖度 Ground-plant cover (%)	20.0±2.8	39.4±3.3	<0.001*
倒木覆盖度 Fallen log cover (%)	0.7±0.3	7.6±1.2	<0.001*
倒木密度 Fallen log density (trees·100 m <sup>-2</sup> )	0.4±0.1	2.9±0.4	<0.001*

\*  $P < 0.05$ 。下同 The same below.

### 2.2 青藏高原东缘高寒森林小型兽类生境变量的主成分分析

主成分分析结果表明(表 2),前 3 个特征值的累积贡献率达 81.9%,能反映小型兽类生境特征。第一主成分特征值为 4.48,对差异的贡献率达 44.8%,其中乔木郁闭度、乔木胸径、乔木均高和乔木密度的载荷系数绝对值相对较高,分别为 0.898、0.855、0.818 和 0.738。第二主成分的特征值为 2.32,贡献率达 23.2%,其中载荷系数绝对值较大的变量是倒木覆盖度(0.728)和倒木密度(0.702)。第三主成分的特征值为 1.39,贡献率为 13.9%,其中载荷系数绝对值较大的变量是灌木密度(0.594)、地表植被覆盖度(0.565)和灌木均高(0.445)。

### 2.3 生境特征变量对小型兽类洞口密度的影响

本次调查的样方总面积为 1.8 hm<sup>2</sup>,地表洞穴洞口总数为 329 个,平均洞口密度为 182.8 个·hm<sup>-2</sup>。其中在各林型中的洞口密度不同(表 3),针叶林为 328.6 个·hm<sup>-2</sup>,针阔混交林为 160.0 个·hm<sup>-2</sup>,阔叶林为 81.5 个·hm<sup>-2</sup>,灌木林为 125.0 个·hm<sup>-2</sup>,竹林为 66.7 个·hm<sup>-2</sup>。对高寒森林小型兽类地表洞穴洞口密度与 10 个生境特征变量进行多元线性回归

表 2 高寒森林小型兽类栖息地因子载荷系数的转置矩阵表

Table 2 Rotated component matrix showing loading coefficients of habitat variables of small mammals in an alpine forest

变量 Variable	主成分 Principal component		
	1	2	3
乔木均高 Arbor height	0.818	-0.170	0.417
乔木郁闭度 Arbor canopy	0.898	0.033	0.303
乔木胸径 Arbor DBH	0.855	0.115	0.269
乔木密度 Arbor density	0.738	-0.311	0.255
灌木均高 Shrub height	-0.441	0.584	0.445
灌木盖度 Shrub canopy	-0.576	0.606	0.300
灌木密度 Shrub density	-0.628	0.290	0.594
地表植被盖度 Ground-plant cover	0.269	0.605	-0.565
倒木密度 Fallen log density	0.608	0.702	-0.128
倒木覆盖度 Fallen log cover	0.604	0.728	-0.100
贡献率 Contribution rate (%)	44.8	23.2	13.9
累计贡献率 Cumulative contribution rate (%)	44.8	68.0	81.9

表3 不同植被类型中的小型兽类洞口数  
Table 3 Burrow entrance number in different vegetation types

植被类型 Vegetation type	样方面积 Quadrat area ( $\text{hm}^2$ )	洞口数 Burrow entrances	平均密度 Average density ( $\text{ind} \cdot \text{hm}^{-2}$ )
针叶林 Coniferous forest	0.56	184	328.6
针阔混交林 Coniferous broad-leaved mixed forest	0.60	96	160.0
阔叶林 Broad-leaved forest	0.27	22	81.5
灌木林 Shrubbery	0.04	5	125.0
竹林 Bamboo forest	0.33	22	66.7
合计 Total	1.80	329	182.8

表4 洞口密度与栖息地特征变量的回归分析  
Table 4 Multiple linear regression of habitat variables on number of burrow entrances

项目 Item	非标准化系数 Unstandardized		标准化系数 Standardized	<i>t</i> -检验 <i>t</i> -test	<i>P</i>
	B	标准误差 SE			
常数项 Constant	0.029	0.398	-	0.072	0.943
地表植被盖度 Ground-plant cover	0.036	0.004	0.589	8.659	<0.001 *
乔木密度 Arbor density	0.217	0.036	0.473	6.073	<0.001 *
灌木盖度 Shrub canopy	0.013	0.006	0.177	2.272	0.025 *

\*  $P < 0.05$ .

分析结果表明(表4),洞口密度受地表植被盖度、乔木密度和灌木盖度3个变量的显著影响( $P < 0.05$ ).

### 3 讨论

动物对生境的选择与利用是其对环境变化的综合响应对策,受多种因素的影响,尤其是植物群落<sup>[30-31]</sup>.在研究区域中,栖息样地与非栖息样地的乔木郁闭度、乔木均高、乔木胸径、乔木密度和地表植被盖度差异极显著,二者的灌木高度也有显著的区别,表明小型兽类地表洞穴在青藏高原东缘高寒森林具有明显的分布特征,其格局受植物群落结构和空间特征的显著影响.高寒地区是典型的生态脆弱带,其生态系统稳定性易受极端气候与地质灾害影响.小型兽类对栖息生境植物群落的选择,反映了其对生态系统稳定性的权衡.植物群落种类丰富和空间结构复杂的原始森林,其生态系统更加稳定,抵抗外界干扰的能力更强<sup>[29]</sup>.高寒森林小型兽类偏好栖息于相对稳定的生态系统,进一步证明了小型兽类分布在生态环境中具有指示作用<sup>[11]</sup>.生态系统越稳定,小型兽类的洞穴分布越多.这对森林种子的扩

散方向有重要意义,间接影响高寒森林的自然更新.

主成分分析结果显示,前3类因子的累积贡献率达81.9%.第一主成分特征主要反映了青藏高原东缘高寒森林小型兽类夏季栖息地乔木的特征,将其定义为“乔木因子”.结合表1,研究区域小型兽类在夏季主要选择乔木郁闭度较大[(37.3±2.7)%]、乔木胸径较大[(20.3±1.3)cm],以及有一定高度[(11.4±0.7)cm]和密度[(4.6±0.4)株·100m<sup>-2</sup>]的生境作为其栖息地.第二主成分特征反映了小型兽类栖息地倒木的特征,故定义为“倒木因子”.倒木是研究区内高寒原始森林重要的自然因子,小型兽类趋于选择具有一定倒木覆盖度[(7.6±1.2)%]和倒木密度[(2.9±0.4)根·100m<sup>-2</sup>]的生境作为栖息地,是由于倒木可以提供隐蔽条件和栖息空间<sup>[32]</sup>,是高寒森林小型兽类喜栖生境的重要组成部分.第三主成分特征主要反映小型兽类夏季栖息地灌草丛的特征,定义为“灌草丛因子”,小型兽类趋于选择有一定灌木密度[(9.9±1.0)%]、灌木高度[(2.4±0.2)m]和地表植被盖度[(39.4±3.3)%]的生境.寒温带牧林交错区<sup>[33]</sup>、高寒草甸区<sup>[25]</sup>中灌草丛对生境选择的贡献率相对较大,而高寒森林中乔木因子贡献率最大(44.8%),其次是倒木因子(23.2%)和灌草丛因子(13.9%),表明乔木因子是决定高寒森林小型兽类生境选择的首要因子,与其能提供稳定的庇护条件有关.灌草丛因子在不同地区的贡献率差异较大,可能存在两方面因素:一是不同地区的灌草丛的优势度不同,导致其给小型兽类提供的栖息环境空间不同;二是不同地区小型兽类的物种多样性不一致,对灌草丛的利用强度不同.

洞口数的变化可以表征小型兽类对栖息地的利用强度<sup>[27]</sup>.从植被类型分析,针叶林中的小型兽类洞口密度最大(328.6个·hm<sup>-2</sup>),竹林中最小(66.7个·hm<sup>-2</sup>),表明青藏高原东缘高寒森林小型兽类对针叶林的利用强度最大,对竹林的利用强度最小.这同林型的空间结构和功能有关.小型兽类洞口数受地表植被盖度与乔木密度极显著影响,受灌木盖度的显著影响;并呈现出洞口数随地表植被盖度、乔木密度、灌木盖度的升高而增加的趋势.这种趋势与高寒草甸区高原鼠兔(*Ochotona curzoniae*)选择生境的策略相反<sup>[26,34]</sup>,可能与捕食风险和食物来源有关<sup>[15-16]</sup>.不同的栖息地类型可以反映动物行为与被捕食风险的平衡关系<sup>[35-36]</sup>.本研究处于高寒原始森林区,以岷江冷杉等针叶林为主,小型兽类特化适应于郁闭度较高生境,主要降低被鹰类等自然天敌捕

食的风险。此外, 针叶林内乔木、灌木的种子与草本、蕨类、苔藓类还能提供食源<sup>[27]</sup>, 有利于小型兽类栖息。研究区域的竹林主要为冷箭竹, 植被类型相对单一, 能提供的食源和隐蔽性有限, 因此小型兽类洞口的分布密度最小。

综上所述, 高寒森林地表有明显的小型兽类洞穴分布, 不同森林植被类型显著影响洞穴密度, 表现为针叶林>针阔混交林>灌木林>阔叶林>竹林, 其分布格局主要受森林植被和倒木的影响。

#### 参考文献

- [1] Sollmann R, White AM, Gardner B, *et al.* Investigating the effects of forest structure on the small mammal community in frequent-fire coniferous forests using capture-recapture models for stratified populations. *Mammalian Biology*, 2015, **80**: 247-254
- [2] Zhang T-S (张天澍), Li K (李 恺), Cai Y-L (蔡永立), *et al.* Predation and dispersal of *Lithocarpus glaber* seeds by rodents in Tiantong National Forest Park, Zhejiang Province. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2006, **17**(3): 457-461 (in Chinese)
- [3] Smith RB, Lahaye WS. The relationship between spotted owl diet and reproductive success in the San Bernardino Mountains, California. *Wilson Bulletin*, 1999, **111**: 22-29
- [4] Pyare S, Longland WS. Patterns of ectomycorrhizal-fungi consumption by small mammals in remnant old-growth forests of the Sierra Nevada. *Journal of Mammalogy*, 2001, **82**: 681-689
- [5] Castro J, Leverkus AB, Fuster F. A new device to foster oak forest restoration via seed sowing. *New Forests*, 2015, **46**: 919-929
- [6] Fritts SR, Moorman CE, Grodsky SM, *et al.* Shrew response to variable woody debris retention: Implications for sustainable forest bioenergy. *Forest Ecology and Management*, 2015, **336**: 35-43
- [7] Rosenzweig ML. A theory of habitat selection. *Ecology*, 1981, **62**: 327-335
- [8] Cheng J-R (程瑾瑞), Zhang Z-B (张知彬). Seeds dispersal by rodents. *Bulletin of Biology* (生物学通报), 2005, **40**(4): 11-13 (in Chinese)
- [9] Blythe RM, Lichti NI, Smyser TJ, *et al.* Selection, caching, and consumption of hardwood seeds by forest rodents: Implications for restoration of American chestnut; Chestnut restoration-potential role of rodents. *Restoration Ecology*, 2015, **23**: 1-9
- [10] Morris DW. Ecological scale and habitat use. *Ecology*, 1987, **68**: 362-369
- [11] Wang D-H (王德华). The position and function of small mammals in the ecosystem. *Resources and Ecological Environment Network Research* (资源生态环境网络研究动态), 1993, **4**(1): 21-23 (in Chinese)
- [12] Bellows AS, Pagels JF, Mitchell JC. Macrohabitat and microhabitat affinities of small mammals in a fragmented landscape on the upper Coastal Plain of Virginia. *American Midland Naturalist*, 2001, **146**: 345-360
- [13] Traba J, Acebes P, Campos VE, *et al.* Habitat selection by two sympatric rodent species in the Monte desert, Argentina. First data for *Eligmodontia moreni* and *Octomys mimax*. *Journal of Arid Environments*, 2010, **74**: 179-185
- [14] Tarjuelo, Morales, Traba. Breadth and specialization in microhabitat selection; The case of the Algerian mouse (*Mus spretus*) in Central Spain. *Revue D Ecologie*, 2011, **66**: 1-12
- [15] Falkenberg JC, Clarke JA. Microhabitat use of deer mice; Effects of interspecific interaction risks. *Journal of Mammalogy*, 1998, **79**: 558-565
- [16] Men X, Guo X, Dong W, *et al.* Influence of human disturbance to the small mammal communities in the forests. *Open Journal of Forestry*, 2015, **5**(1): 1-9
- [17] Jiang Y-X (蒋有绪). Ecological analysis of flora, species correlation and ordination of subalpine forest vegetation in Western Sichuan. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 1982, **4**(4): 281-301 (in Chinese)
- [18] Yang WQ, Wang KY, Kellomäki S, *et al.* Litter dynamics of three subalpine forests in western Sichuan. *Pedosphere*, 2005, **15**: 653-659
- [19] Zhang R-H (张人禾), Su F-G (苏凤阁), Wang Z-H (江志红), *et al.* An overview of projected climate and environmental changes across the Tibetan Plateau in the 21st century. *Chinese Science Bulletin* (科学通报), 2015, **60**(32): 3036-3047 (in Chinese)
- [20] Liu X, Bao WK. Understory plant assemblages present distinct short-term responses to the clear-cutting of an old-growth spruce forest near an alpine timberline. *Canadian Journal of Forest Research*, 2014, **44**: 562-571
- [21] Wang Y-T (王玉涛). Studies on natural regeneration of *Pinus densata* in burned forestlands in western Sichuan Province. *Journal of Anhui Agricultural Sciences* (安徽农业科学), 2011, **39**(13): 7757-7760 (in Chinese)
- [22] Wu FZ, Yang WQ, Zhang J, *et al.* Litter decomposition in two subalpine forests during the freeze-thaw season. *Acta Oecologica*, 2010, **36**: 135-140
- [23] Tan B (谭 波), Wu F-Z (吴福忠), Yang W-Q (杨万勤), *et al.* Soil hydrolase characteristics in late soil-thawing period in subalpine/alpine forests of west Sichuan. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2011, **22**(5): 1162-1168 (in Chinese)
- [24] Huang W (黄 薇), Xia L (夏 霖), Yang Q-S (杨奇森), *et al.* Distribution pattern and zoogeographical division of mammals on the Qinghai-Tibet Plateau. *Acta Theriologica Sinica* (兽类学报), 2008, **28**(4): 375-394 (in Chinese)
- [25] Bian J-H (边疆晖), Fan N-C (樊乃昌), Jing T-C (景泰春), *et al.* Studies on the successive relation between small mammal community and plant community in alpine meadow. *Acta Theriologica Sinica* (兽类学报), 1994, **14**(3): 209-216 (in Chinese)
- [26] Bian J-H (边疆晖), Jing T-C (景增春), Fan N-C (樊乃昌), *et al.* Influence of cover on habitat utilization

- tion of plateau pika (*Ochotona curzoniae*). *Acta Theriologica Sinica* (兽类学报), 1999, **19**(3): 212–220 (in Chinese)
- [27] Cui Q-H (崔庆虎), Jiang Z-G (蒋志刚), Lian X-M (连新明), *et al.* Factors influencing habitat selection of root voles (*Microtus oeconomus*). *Acta Theriologica Sinica* (兽类学报), 2005, **25**(1): 45–51 (in Chinese)
- [28] Tong M (佟 梦), Pan S-X (潘世秀), Wang X-W (王向伟), *et al.* Summer habitat selection of alpine musk deer in Xinglongshan National Nature Reserve, Northwestern China. *Zoological research* (动物学研究), 2010, **31**(6): 610–616 (in Chinese)
- [29] Lu Q-B (鲁庆彬), Zhang Y (张 阳), Zhou C-Q (周材权). Cave-site selection of Qinling zokors with their prevention and control. *Acta Ecological Sinica* (生态学报), 2011, **31**(7): 1993–2001 (in Chinese)
- [30] Grant WE, Birney EC, French NR, *et al.* Structure and productivity of grassland small mammal communities related to grazing-induced changes in vegetative cover. *Journal of Mammalogy*, 1982, **63**: 248–260
- [31] Peles JD, Barrett GW. Effects of vegetative cover on the population dynamics of meadow voles. *Journal of Mammalogy*, 1996, **77**: 857–869
- [32] Craig VJ, Klenner W, Feller MC, *et al.* Population dynamics of meadow voles (*Microtus pennsylvanicus*) and long-tailed voles (*M. longicaudus*) and their relationship to downed wood in early successional forest habitats. *Mammal Research*, 2015, **60**: 29–38
- [33] Xu X-J (徐兴军), Lv J-W (吕建伟), Xie Z-L (谢振丽), *et al.* Effects of habitat complexity on species diversity of small mammals in pastures and forest interlaced regions. *Acta Ecological Sinica* (生态学报), 2009, **29**(6): 2945–2952 (in Chinese)
- [34] Fan N-C (樊乃昌), Zhang D-C (张道川). Foraging behavior of *Ochotona curzoniaia* and *Ochotona daurica* and their adaptation to habitat. *Acta Theriologica Sinica* (兽类学报), 1996, **16**(1): 48–53 (in Chinese)
- [35] Kotler BP. Risk of predation and the structure of desert rodent communities. *Ecology*, 1984, **65**: 689–701
- [36] Kie JG. Optimal foraging and risk of predation: Effects on behavior and social structure in ungulates. *Journal of Mammalogy*, 1999, **80**: 1114–1129

---

作者简介 付长坤,男,1988年生,博士研究生.主要从事高寒森林生态学研究. E-mail: fckgood@sina.com

责任编辑 肖 红

---