

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2013.01.026

沟谷地形下路侧生物多样性特征

陈学平¹, 王云¹, 王新军¹, 陈济丁¹, 房锐²

(1. 交通运输部科学研究院, 北京 100029; 2. 云南省交通规划设计研究院, 云南 昆明 650011)

摘要: 路侧生物多样性特征受其背景环境条件与公路建设运营的综合影响, 对其研究可为公路建设工艺优化提供参考依据。为了研究沟谷地形条件下路侧生物多样性的特征, 选择了 G214 线德钦段公路穿越沟谷地形路段, 在不同坡面进行植被样方调查, 研究不同坡向植物多样性特征; 并通过沿公路等距设置样地观测沟谷与非沟谷地带的鸟类多样性特征差异。调查结果表明: 沟谷西南向坡 (SW)、东北向坡 (NE) 及北向坡 (N) 物种总数、小区平均物种数、木本 Shannon-wieners 指数、Pielou 指数、Simpson 指数均大于西北向坡 (NW) 与南向坡 (S); 南向坡草本多样性指数小于其他坡向; S-SW、SW-NE、SW-NW Jaccard 指数值低于 0.15, NE-N Jaccard 指数值小于 0.4, 沟谷地带坡向间木本与草本层 α 多样性差异大, 并有着相对较高的 β 多样性; 沟谷地形下鸟类种数、鸟类平均数量均高于非沟谷地形条件。调查结果初步揭示了沟谷是植物多样性丰富且富于变化之处, 也是动物物种多样性较丰富之处。建议在这些路段加强公路桥梁与动物通道、植被生境连通性的协同建设, 以缓解公路建设对景观的切割阻断效应。

关键词: 环境工程; 路侧生物多样性; 植被调查; 沟谷; 鸟类; 坡向; 景观联通性

中图分类号: X822.3.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2013)01-0152-07

Characteristics of Roadside Biodiversity of Valley Topography

CHEN Xueping¹, WANG Yun¹, WANG Xinjun¹, CHEN Jiding¹, FANG Rui²

(1. China Academy of Transportation Sciences, Beijing 100029, China;

2. Yunnan Provincial Transportation Planning and Research Institute, Kunming Yunnan 650011 China;)

Abstract: Roadside biodiversity is effected by its background and road construction and operation, and study of which is beneficial for road construction improvement. To study the characteristics of roadside biodiversity of valley topography, plant biodiversity in a valley of Deqin county section of G214 is investigated by sampling plots for the slope aspect effect, birds' biodiversity in sampling plots is also observed in valley and non-valley landscape by setting equal distance plots along the road. The results show that (1) total species number, average species number per plot, Shannon-wieners indices, Pielou and Simpson indices of woody plants in southwest (SW), northeast (NE) and north (N) slope aspects are larger than those of northwest (NW) and south (S); (2) diversity index of the herby plants in south slope is less than that in other slope aspects; (3) Jaccard indices of S-SW, SW-NE and SW-WN aspects are less than 0.15, and that of EN-N aspect is less than 0.4, there is significant difference of α -diversities between herby and woody plants in the slope aspects of valley topography and they have higher β -diversity; (4) the bird species and average number of each plot in valley topography are richer than that in non-valley topography plots. The investigation presented the valley landscape serves as both an abundant and a changeable biodiversity for plants richness, and also a place for abundant animals. It is suggested to combine bridges and wildlife passage to strengthen the connectivity in the road section of valley topography to mitigate the landscape fragmentation caused by

收稿日期: 2011-12-28

基金项目: 交通运输部西部交通建设科技项目 (200831879917)

作者简介: 陈学平 (1973-), 男, 四川眉山人, 博士, 副研究员. (chenxueping@vip.sina.com.)

road construction.

Key words: environmental engineering; roadside biodiversity; vegetation investigation; valley; birds; slope aspect; landscape connectivity

0 引言

太阳辐射造成了不同坡向小气候的温湿度差异, 从而对植物土壤生境、植物类型、构成、地上生物量及物种形成多样性影响^[1-3]。公路开发建设项目与坡向、沟谷、隆起等微地形联系较为紧密。在公路选线中, 常常面临着不同坡向布线选择、桥梁与隧道方案决策、弃土石堆放场选址等直接与自然环境生物多样性影响及保护相关的建设活动^[4]。坡向与微地形在景观格局变化过程中也起着关键作用^[5], 地形差异导致的环境异质性为小尺度范围内生物多样性的形成与维持提供了一种重要机制^[6-8]。不同坡向生境的异质性为环境中动物提供多样化的食物来源、光照资源等生存环境^[9]。马旭东研究表明: 海拔、坡位、坡向、坡度等山地微地形条件对群落结构及物种分布影响显著, 从山脊至谷底变化过程中, 各样带平均树高、平均胸径以及较大高度级和胸径级的物种个体比例减少, 物种多样性呈现增加趋势^[10]。沈泽昊研究表明: 山脊、山脊侧坡、侧坡中部、沟谷侧坡及沟谷底部, 反映了从源到汇的水土流失方向, 林隙在单元坡面的中下部位更频繁发生并向上减少, 但山顶、脊部的林隙面积又有明显回升^[11]。沟谷地形与公路规划设计密切相关, 需要探明沟谷地形处不同坡向的生物多样性特征, 以及沟谷微地形对公路景观连通性的意义。为此, 我们选择了距云南德钦县城 3 km 处白马雪山中山沟谷带灌木林研究不同坡向的植物多样性特征。同时, 对比沟谷地形与其他非沟谷地形下的动物丰富度特征, 研究旨在: (1) 基于生物多样性保护为公路在沟谷地形处不同坡向的布线方案提供科学依据; (2) 基于景观连通性的保护为动物通道的设置位置提供科学依据。由于我国动物种群数量密度较低, 而很多山区公路上常难以观测到动物致死现象, 但这并不表示公路建设对动物种群与生境不产生影响。通过本研究, 可以从动物最重要生境—植物多样性角度探讨景观关键点从而为公路建设中相关保护技术方案的制订提供理论依据。

1 研究区概况

G214 线在滇西北穿越迪庆藏族自治州的白马雪

山自然保护区实验区, 经德钦县城向北进入干热河谷, 并沿此进入西藏境内, 该公路最早建设于 20 世纪, 近两年正在进行改扩建。所穿越的白马雪山地段是中国生物多样性较为丰富的区域, 是世界自然文化遗产——“三江并流”区的金沙江与澜沧江间的高山地带, 主要保护对象为滇金丝猴及其栖息的暗针叶林生态环境^[12]。地区年平均气温 5.8 ℃, 年均降水量 632 mm。G214 线从低海拔到高海拔分布有干热河谷灌丛、暖温性针叶林、阔叶林、针阔混交林、寒温性针叶林等几种类型, 其中除了针阔混交林及阔叶林类型外, 其他类型中植物较为单一。植物调查样地位于 G214 线白马雪山西麓德钦县城 3 km 处, 公路所在位置为 N28°27′41.5″, E98°55′48.2″, 海拔 3 500 m。调查处为浅山谷, 山谷中部 (沟底) 平缓, 向两侧逐渐变陡, 谷口西北向, 谷底受人为放牧、砍伐等干扰相对较为强烈, 为稀树草地, 并有流砂冲蚀痕迹。公路大致沿等高线在此处呈 V 字形弯曲横切沟谷 (图 1, 黑框内), 往西过渡到东北向坡、北向坡, 往东过渡到西南向坡、南向坡, 由于长期侵蚀与堆积作用使得公路上侧沟谷坡度缓而下侧陡。土壤类型为山地棕壤, 母质为砂岩风化物, 沟谷段落阴坡植被类型为杂木林, 阳坡为川滇高山栎 (*Quercus aquifolioides*) 林, 木本层高度一般低于 10 m, 为灌木状次生林。动物调查在 G214 线按照等距 6 km 的方法布设样地, 沿 G214 的样线调查起始于白马雪山保护区东界至德钦县, 观测各样地路侧林中可见的鸟类种类数量, 并记录其他动物活动的痕迹。

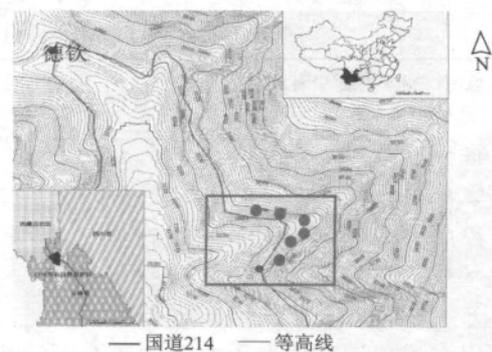


图 1 调查样地与样线位置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of investigation plot and line-transect line-transect

2 研究方法

2.1 样地调查

(1) 植物多样性调查

采用空间代替时间方法,本调查在公路上侧谷地西南向坡(SW)、西北向坡(NW)、南向坡(S)、北向坡(N)、东南向坡(SE)等5个坡向分别设置了5块样地,每块样地面积20 m×20 m,每块样地划分为4个10 m×10 m的乔木样方,每个乔木样方中设置沿对角的2个5 m×5 m灌木样方和1个1 m×1 m草本样方。按乔木层、灌木层和草本层进行统计,分物种记录高度≥5 m的乔木高度、盖度和胸径,灌木记录其多度、高度和盖度,草本记录其高度和盖度;环境特征调查包括海拔、坡度、坡向、土壤深度、干扰情况等。同时在每个样地中取3个表土土样(5~20 cm),带回实验室分析测定其pH值、全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷、速效钾及有机质含量。用海拔高度仪测定海拔高度,用地质罗盘仪测量坡度,用TDR测定土壤水分含量。

(2) 动物多样性调查

当前路域动物多样性的调查方法主要包括动物种群数量红外监测、动物通行痕迹追踪、道路致死观测等。在该地区我们采用沿公路慢速驾驶与定点观测方式,除了鸟类外很难观测到其他动物活动踪迹及致死现象,故本研究中沿G214线白马雪山段落公路沿线大致按每间隔6 km抽样点观测的方法,调查G214线穿越白马雪山保护区的森林段落共设置6个样地,对路侧视域范围内的林中可见鸟类种类数量及其他动物活动情况进行记录。

2.2 数据处理

采用重要值(importance value, IV)作为各物

种在群落中的优势度指标,计算公式为:

木本重要值 $IV = (\text{相对密度} + \text{相对高度} + \text{相对盖度}) / 300$,

草本重要值 $IV = (\text{相对多度} + \text{相对高度} + \text{相对盖度}) / 300$ 。

(1) α 多样性的测度

① 物种丰富度指数以每个样方出现的物种数(种)表示

Shannon - Wiener 指数 (H') 计算公式为:

$$H = - \sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i, \quad (1)$$

式中, P_i 为种 i 的重要值。

② Simpson's 指数 (优势度指数)

$$D = 1 - \sum_{i=1}^s (N_i/N)^2, \quad (2)$$

式中, N_i 为物种 i 的个体数; N 为群落中全部物种的个体数; s 为物种数目。

③ Pielou 指数 (均匀度指数)

$$E = H/\ln S. \quad (3)$$

(2) β 多样性的测度

Jaccard 指数

$$G = j/(a + b - j), \quad (4)$$

式中, j 为2个群落或样地的共有种数; a 、 b 分别为样地 A 和样地 B 的物种数。

以上数据处理结果采用 SPSS 软件进行统计分析。

3 结果与分析

3.1 不同坡向土壤特征

沟谷地形条件下5种不同坡向的土壤环境测定结果见表1。

表1 不同坡向的土壤生境测定指标

Tab. 1 Measured soil indices of different slope aspects

坡向	坡度/ (°)	凋落物层 厚/cm	有机质/ (g·kg ⁻¹)	含水量/%	pH 值	总 N/ (g·kg ⁻¹)	总 P/ (g·kg ⁻¹)	总 K/ (g·kg ⁻¹)	速效 N/ (mg·kg ⁻¹)	速效 P (mg·kg ⁻¹)	速效 K/ (mg·kg ⁻¹)
S	13.2	5	28.0±7.7	13.1±3.0	5.8	0.74±0.15	203.3±39.4	19.0±0.9	72.2±12.1	3.6±0.3	150.5±33.8
SW	25.8	9	40.6±4.1	24.2±0.9	5.3	0.85±0.30	172.6±2.3	15.3±2.5	112.8±10.7	3.4±0.2	186.7±16.2
NW	10.6	0	35.6±3.5	41.4±4.8	6.2	1.36±0.34	309.6±15.9	15.6±1.1	121.0±16.8	3.1±0.1	215.9±65.1
NE	32.8	15	25.1±6.8	31.2±7.8	5.5	1.02±0.35	169.5±18.5	18.3±1.6	84.4±12.1	3.4±0.1	195.6±33.9
N	35.7	13	34.0±3.1	20.7±2.9	6.3	1.10±0.34	344.3±32	24.9±0.1	136.5±6.7	3.3±0.2	173.1±6.6

可以看出,沟谷地形影响下,在坡度与坡向的共同作用下,土壤含水量有着较大差异,植被覆盖状况、土壤有机质含量、营养成分等也表现出一定

差异。谷底的东北向坡(WN)坡度最缓,土壤最为湿润,含水量超过40%,局部存在浅层渗水或水流冲刷痕迹;南向坡地表覆盖栎树枯叶,厚度平均为

5 cm, 太阳辐射较强烈, 土壤水分含量最低, 仅为 13.6%。土壤有机质含量以西南向坡 (SW)、西北向坡 (NW)、北向坡 (N) 较高, 在 3.1% ~ 4.1% 之间, 南向坡 (S) 与东北向坡 (NE) 较低, 在 2.5% ~ 2.8% 之间。南向坡土壤有机质含量低与其阳光辐射强烈, 表层枯叶难以分解, 当地居民又多以栎树及其枝叶作为薪材有关; 而东北向坡则是流水冲刷、牲畜活动较为剧烈之处, 土壤有机质易于冲刷流失。

3.2 不同坡向物种 α 多样性特征

5 块样方共记录植物 69 种, 分属 30 科, 62 属。其中木本 31 种, 草本 38 种, 其中有 16 个科只含 1 个种, 占总科数的 51.61%。忍冬科 (7 属 7 种)、杜鹃花科 (2 属 5 种)、蔷薇科 (5 属 5 种)、禾本科 (5 属 5 种)、菊科 (5 属 5 种) 等是相对较大的科; 唇形科、毛茛科均为 4 属 4 种, 不同坡向对应科、木本与草本植物种数量见表 2。

从植物种的分布来看, 北向坡与东北向坡物种数量分别为 38 种 (木本与草本各 19 种) 与 34 种 (木本 18 种、草本 16 种), 西南向坡 24 种 (木本 11 种, 草本 13 种), 西北向坡 20 种 (木本 3 种, 草本 17 种), 南向坡仅 4 种 (木本与草本各 2 种), 大致反映出阴坡及半阴坡植物种数较多。样方内平均物种数量以北向坡最高达到 20.5 种, 其次为东北向坡 17.0 种, 再其次为西南向坡 14.8 种, 南向坡和西北向坡较少分别为 3.3 与 10.0 种, 见图 2。

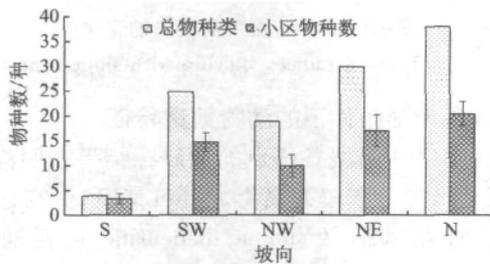


图 2 不同坡向样方物种数

Fig. 2 Species numbers in different slope aspects

植物总覆盖度以西北向坡最高, 达到 92.5%, 其次为南向坡、东北向坡、西南向坡、北向坡, 但各坡向的草本与木本植物的分布格局差异显著, 见图 3。南向坡为川滇高山栎单优群落, 样方中仅有蕨类及莎草科植物, 木本与草本植物分盖度分别为 85% 与 5%; 西北向坡位于沟谷底部, 由于地形较缓, 受到干扰强烈 (放牧、泥石流、砍伐), 木本植物被破坏形成巴郎柳 (Salix sphaeronymphe) - 大白

表 2 调查沟谷路侧不同坡向植物科 (种) 统计

Tab. 2 Roadside plant species in different slope aspects of investigated valley

科	Family	木本(草本) 种类				
		S	SW	NW	NE	N
槭树科	Aceraceae	0(0)	0(0)	0(0)	1(0)	0(0)
百合科	Liliaceae	0(0)	0(0)	0(0)	1(0)	2(0)
茶藨子科	Grossulariaceae	0(0)	1(0)	0(0)	1(0)	1(0)
车前科	Plantaginaceae	0(0)	0(1)	1(0)	0(0)	0(0)
唇形科	Labiatae	0(0)	1(2)	0(2)	0(2)	0(1)
豆科	Leguminosae	1(0)	1(0)	0(0)	0(0)	1(0)
杜鹃花科	Ericaceae	0(0)	1(0)	1(0)	3(0)	4(0)
凤尾蕨科	Pteridaceae	0(0)	0(0)	0(0)	0(1)	0(1)
凤仙花科	Balsaminaceae	0(0)	0(0)	0(1)	0(0)	0(0)
禾本科	Gramineae	0(0)	0(0)	0(2)	0(2)	0(2)
桦木科	Betulaceae	0(0)	0(0)	0(0)	1(0)	1(0)
菊科	Compositae	0(0)	0(2)	0(1)	0(1)	0(4)
槲蕨科	Drynariaceae	0(1)	1(0)	0(0)	0(0)	0(0)
壳斗科	Fagaceae	1(0)	1(0)	0(0)	0(0)	0(0)
鳞毛蕨科	Dryopteridaceae	0(0)	0(1)	0(0)	0(1)	0(0)
柳叶菜科	Onagraceae	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(1)
龙胆科	Gentianaceae	0(0)	0(1)	0(2)	0(1)	0(1)
毛茛科	Ranunculaceae	0(0)	0(2)	0(3)	0(0)	0(3)
茜草科	Rubiaceae	0(0)	0(0)	0(1)	0(0)	0(0)
蔷薇科	Rosaceae	0(0)	2(1)	1(0)	3(2)	3(1)
忍冬科	Caprifoliaceae	0(0)	2(0)	0(1)	4(1)	3(1)
伞形花科	Umbelliferae	0(0)	0(1)	0(1)	0(0)	0(1)
桑寄生科	Loranthaceae	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(0)
莎草科	Cyperaceae	0(1)	0(1)	0(0)	0(0)	0(1)
山茱萸科	cornaceae	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(0)
鼠李科	Rhamnaceae	0(0)	0(0)	0(0)	2(0)	0(0)
铁线蕨科	Adiantaceae	0(0)	0(1)	0(0)	0(1)	0(1)
小檗科	Berberidaceae	0(0)	1(0)	0(0)	1(0)	1(0)
玄参科	Scrophulariaceae	0(0)	0(0)	0(1)	0(0)	0(1)
杨柳科	Salicaceae	0(0)	1(0)	1(0)	1(0)	1(0)
兰科	Orchidaceae	0(0)	0(0)	0(0)	0(1)	0(0)

花杜鹃 (Rhododendron decorum) 稀疏次生灌木林, 草本植被分盖度达到 85%, 以忍冬科的血满草 (Sambucu adnata wall)、银莲花 (Anemone spp)、禾本科的草地草熟禾 (Poa pratensis) 等为优势种。

木本植物多样性指数分析结果表明, 木本植物西南向坡、东北向坡及北向坡的 Shannon - wieners 多样性指数在 2.98 ~ 3.13 之间, 极显著大于西北向

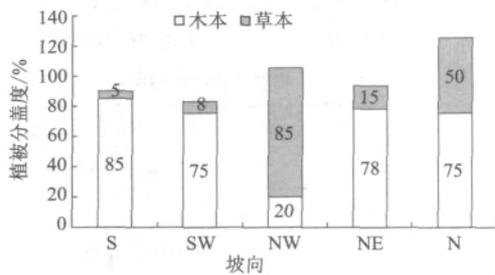


图3 不同坡向样方木本与草本植被分盖度

Fig. 3 Woody and herbaceous plant coverage in different slope aspect plots

坡、南向坡的 0.29 ~ 0.44 ($P < 0.01$) Pielou 指数、simpson 指数与 Shannon - wieners 多样性指数较为相似,西南向坡、东北向坡及北向坡 Pielou 指数在 1.28 ~ 1.41 之间, simpson 指数在 0.85 ~ 0.87 之间,分别显著与极显著大于西北向坡、南向坡的 0.42 ~ 0.64 ($P < 0.05$) 与 0.11 ~ 0.21 ($P < 0.01$)。对草本植物而言,南向坡草本的 Shannon - wieners 多样性指数、Pielou 指数、simpson 指数值均极显著低于其它坡向 ($P < 0.01$)。此外,北向坡的 Shannon - wieners 多样性指数显著高于东北向坡 ($P < 0.05$),其他坡向间的多样性指数差异不显著,见图 4 与图 5。

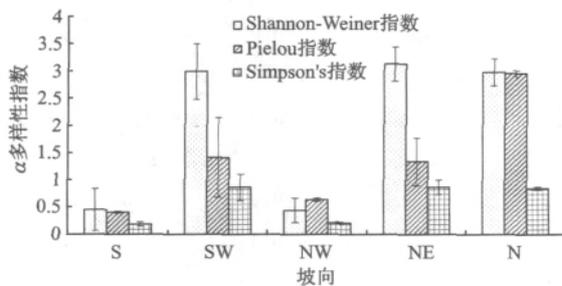


图4 木本植物 α 多样性指数

Fig. 4 α - diversity indices of woody plants

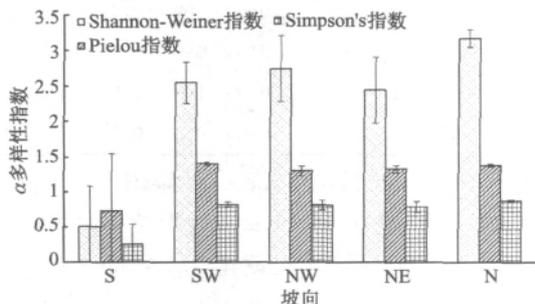


图5 各坡向草本植物 α 多样性指数

Fig. 5 α - diversity indices of herb plants in different slope aspects

南向坡 α 多样性低与其群落结构较为单一的川滇高山栎林有关,而位于沟谷底部的西北向坡,由于强烈的扰动效应(砍伐、放牧、泥石流)使木本层大量损失,α 多样性也极低,并演替为草本植物占优势的稀树草地类型。

3.3 不同坡向 β 多样性特征

β 多样性为沿着环境梯度的变化物种替代的程度,也有人称为物种周转速率、物种替代速率和生物变化速率^[13-15]。不同生境类型下群落种类组成的相似性愈小,表明研究区域中 β 多样性愈高^[14]。为了研究路侧向变化时物种多样性变化特征,我们计算了沟谷地形下几个坡向梯度间 Jaccard 指数,结果表明: S - SW、NW - NE、SW - NW 间物种相似度高, Jaccard 指数值低于 0.15, β 多样性相对较高; NE - N 间物种相似度高, β 多样性较低。但总体上看,即使是 β 多样性最低的 NE - N 坡面,其 Jaccard 指数值也小于 0.4,显示了沟谷地形条件下相对较高的 β 多样性,见图 6。

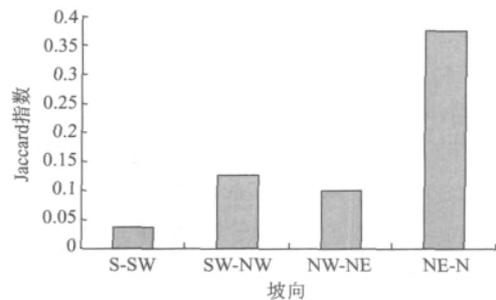


图6 Jaccard 指数随坡向的变化

Fig. 6 Jaccard indices varying with slope aspect

3.4 沟谷地形条件下的动物数量特征

通过 G214 沿线各样点的调研,结果表明沟谷地形处也是鸟类分布较为聚集之处(表 3)。在该样地发现了白领凤鹛 (Yuhina diademata)、普通朱雀 (Carpodacus erythrinus)、北红尾鸲 (Phoenicurus aureus)、橙斑翅柳莺 (Phylloscopus pulcher)、棕肛凤鹛 (Yuhina occipitalis) 等 8 种鸟类,并发现有蛇类穿越公路。

综合公路沿线来看,2 个沟谷地带共发现 13 种鸟,每个样地 8.0 种(其中 3 种为 2 个样地共有种),样地鸟类平均数量 19.5 只;在 4 个非沟谷(坡面)样地观测到鸟类 14 种,平均每个样地中观察到 3.8 种,样地鸟类平均数量 16.8 只,反映出沟谷地形条件下鸟类多样性明显高于非沟谷地带的特征。

表3 G214公路沿线沟谷与非沟谷处鸟类调查对比
Tab.3 Comparison of investigated bird species between valley and non-valley areas along G214

样地/个		鸟类种数/种		鸟类平均数量/只	
沟谷	非沟谷	沟谷	非沟谷	沟谷	非沟谷
2	4	8.0	3.8	19.5	16.8

4 讨论

4.1 沟谷地形条件下公路路侧植物多样性特征

前人对不同坡向的研究表明,南坡(阳坡,在南半球是北坡)接受的太阳直射辐射多,导致坡面温度高、水分蒸发强烈,从而分布着具耐旱结构的生物群落;相反,北坡(阴坡,南半球是南坡)则常常发育着中生或湿生的生物群落类型^[16]。 α 多样性是物种丰富度的一个指标,而 β 多样性则表明了物种变化性。本研究揭示了沟谷地形下坡向间 α 多样性差异大, β 多样性较高的现象,这种由于太阳辐射差异形成的生物多样性变化与前人研究有共同之处,体现了沟谷地形的耦合效应使得阴坡上木本植物与草本植物的多样性均较高。从食物链来看,阴坡能够为动物食物来源提供更为丰富的种类,作为阴阳坡相结合的沟谷地形处可能为动物提供更多样化的生境需求。在既往工程实践中,公路在穿越沟谷地形时常采用桥梁跨越,这正好与植物多样性保护有着统一之处,在这些地带宜进一步加强植被恢复。

4.2 微地形变化对公路建设中动物多样性保护的启示

已有研究表明,坡向和地形部位对土壤动物的空间分布格局有显著的影响,但不同土壤动物类群对坡向和地形部位的响应模式存在一定的差异^[6]。同时,路域动物与植物分布存在一种反馈机制,植物果实、树叶、茎及其他草本植物的丰富度为鸟类和其他动物提供食源,从而影响着动物种类与分布格局^[17-18]。同时,不同坡向植被覆盖、植物高低还会影响着太阳对地面的辐射强度,沟谷地形条件下从坡顶到坡谷,土壤及其中的水分和养分形成一个由源到汇的梯度,不仅影响植物多样性,也影响着动物多样性^[11,17]。可见,从植物丰富度、植被变异度、水源丰富度等方面,沟谷地形条件为野生动物提供了一种较为适宜的生境,这些因子从理论上揭示动物在此处也存在较高的物种丰富度与活动频率。本研究通过对鸟类多样性的观测结果也表明了沟谷地形条件下鸟类多样性明显高于非沟谷地带的特征。

坡向与沟谷地形对生物物种多样性的影响对于公路建设中动植物多样性的保护有着突出的意义。这一地带由于常有季节性流水,往往也是公路桥梁布设位置,结合桥梁建设,修建沟谷地带处动物通道,构架公路两侧景观的联通性,对于生物多样性的保护可起到良好的效果。

致谢: 中国科学院昆明植物所陈渝老师、西南林学院罗恒老师、北京师范大学李麒麟同学、云南农业大学王崇英同学参与了野外调查工作,在此深表谢意!

参考文献:

References:

- [1] WARREN R J. Mechanisms Driving Understory Evergreen Herb Distributions across Slope Aspects: As Derived from Landscape Position [J]. *Plant Ecology*, 2008, 198 (2): 297-308.
- [2] STERNBERG M, SHOSHANY M. Influence of Slope Aspect on Mediterranean Woody Formations: Comparison of a Semiarid and an Arid Site in Israel [J]. *Ecological Research*, 2001, 16 (2): 335-345.
- [3] CARLETTI P, VENDRAMIN E, PIZZEGHELLO D, et al. Soil Humic Compounds and Microbial Communities in Six Spruce Forests as Function of Parent Material, Slope Aspect and Stand Age [J]. *Plant and Soil*, 2009, 315 (1/2): 47-65.
- [4] 张前进, 江玉林, 陈学平. 高速公路环境破坏与生态恢复评估研究 [J]. *公路交通科技*, 2006, 23 (5): 147-149.
ZHANG Qianjin, JIANG Yulin, Chen Xueping. Study on Expressway Related Environmental Destruction and Eco-restoration Assessment [J]. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2006, 23 (5): 147-149.
- [5] PETER G, HEINZ S, FRANK K. Connectivity in Heterogeneous Landscapes: Analyzing the Effect of Topography [J]. *Landscape Ecology*, 2006, 21 (1): 47-61.
- [6] 刘继亮, 李锋瑞. 坡向和微地形对大型土壤动物空间分布格局的影响 [J]. *中国沙漠*, 2008, 28 (6): 1104-1112.
LIU Jiliang, LI Fengrui. Slope Direction and Topographic Position Interact to Shape Spatial Distribution of Soil Macrofauna in a Temperate Secondary Forest, China [J]. *Journal of Desert Research*, 2008, 28 (6): 1104-1112.
- [7] 杨永川, 达良俊. 丘陵地区地形梯度上植被格局的分异研究概述 [J]. *植物生态学报*, 2006, 30 (3): 504-513.

- YANG Yongchuan, DA Liangjun. A Brief Review of Studies on Differentiation of Vegetation Pattern along a Topographic Gradient in Hilly Regions [J]. *Journal of Plant Ecology*, 2006, 30 (3): 504-513.
- [8] DAVIES F, MARGULES C R, LAWRENCE J F. Which Traits of Species Predict Population Declines in Experimental Forest Fragments? [J]. *Ecology*, 2000, 81 (5): 1450-1461.
- [9] ELLNER S P, MCCAULEY E, KENDALL E, et al. Habitat Structure and Population Persistence in an Experimental Community [J]. *Nature*, 2001, 412: 538-543.
- [10] 马旭东, 张苏峻, 苏志尧, 等. 车八岭山地常绿阔叶林群落结构特征与微地形条件的关系 [J]. *生态学报*, 2010, 30 (19): 5151-5160.
- MA Xudong, ZHANG Sujun, SU Zhiyao, et al. Community Structure in Relation to Microtopography in a Montane Evergreen Broadleaved Forest in Chebaling Nation Nature Reserve [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30 (19): 5151-5160.
- [11] 沈泽昊, 王功芳, 李道兴. 三峡大老岭山地常绿落叶阔叶混交林林隙干扰研究 II: 林隙干扰的地形格局 [J]. *植物生态学报*, 2002, 26 (2): 149-156.
- SHEN Zehao, WANG Gongfang, LI Daoxin. Gap Related Disturbance in Mixed Mountain Forests at Mt. Dalaoling in the Three Gorges II: Topographic Patterns [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, 26 (2): 149-156.
- [12] 李宏伟. 白马雪山国家级自然保护区 [M]. 昆明: 云南民族出版社, 2003.
- LI Hongwei. Baima Snow Mountain National Nature Reserve [M]. Kunming: Yunnan Ethnic Publication House, 2003.
- [13] 马克明, 刘灿然, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 II: β 多样性的测试方法 [J]. *生物多样性*, 1995, 3 (1): 38-43.
- MA Keming, LIU Canran, LIU Yuming. Measuring Method of Biological Community Diversity II: Measuring Method for Beta Diversity [J]. *Chinese Biodiversity*, 1995, 3 (1): 38-43.
- [14] WHITTAKER R H. Evolution and Measurement of Species Diversity [J]. *Taxon*, 1972, 21 (2): 213-251.
- [15] PIELOU E C. *Ecological Diversity* [M]. Hoboken: John Wiley & Sons Inc., 1975.
- [16] 方精云, 沈泽昊, 崔海亭. 试论山地的生态特征及山地生态学的研究内容 [J]. *生物多样性*, 2004, 12 (1): 10-19.
- FANG Jingyun, SHEN Zehao, CUI Haiting. Ecological Characteristics of Mountains and Research Issues of Mountain Ecology [J]. *Chinese Biodiversity*, 2004, 12 (1): 10-19.
- [17] FORMAN R T T, SPERLING D, BISSONNETTE J A, et al. *Road ecology: Science and Solutions* [M]. Washington, D. C.: Island Press, 2003: 215-320.
- [18] BENNETT A F. *Roads, Roadsides and Wildlife Conservation: A review* [M]//SAUNDERS D A, HOBBS R J. *Nature Conservation 2: The Role of Corridors* Chipping Norton. Australia: Surrey Beatty & Sons, 1991, 99-117.
- [19] 徐基良, 张晓辉, 张正旺, 等. 白冠长尾雉育雏期的栖息地选择 [J]. *动物学研究*, 2002, 12 (6): 471-476.
- XU Jiliang, ZHANG Xiaohui, ZHANG Zhengwang, et al. Brood Habitat Characteristics of Reeve's Pheasant (*Syrnaticus reevesii*) in Dongzhai National Nature Reserve [J]. *Zoological Research*, 2002, 12 (6): 471-476.

(上接第145页)

- SHI Yourong, ZHAO Wei. Research on Energy Conservation & Emission Reduction Integrated Management System of Highway and Waterway Transportation [J]. *Journal of Wuhan University of Technology*, 2010, 32 (4): 31-37.
- [11] 交通运输部公路科学研究院, 交通运输部水运科学研究院, 中交水运规划设计院. 交通行业能源消费状况分析及能源标准体系建设研究 [R]. 北京: 交通运输部公路科学研究院, 2007.
- Research Institute of Highway of Ministry of Transport, China Waterborne Transport Research Institute, Zhongjiao Water Transport Planning and Design Co., Ltd. Analysis on Energy Consumption Status and Research on Energy Standard System Construction in Transportation [R]. Beijing: Research Institute of Highway of Ministry of Transport, 2007.
- [12] 欧训民, 张希良. 中国低碳车辆技术现状与发展趋势 [J]. *气候变化研究进展*, 2010, 6 (2): 136-140.
- OU Xunmin, ZHANG Xiliang. The Status Quo and Development Trend of Low-carbon Vehicle Technologies in China [J]. *Advances in Climate Change Research*, 2010, 6 (2): 136-140.