

九寨沟核心景区外来植物的分布格局与影响*

谢雨^{1,2} 朱忠福³ 肖维阳³ 向双¹ 王丽华⁴ 邓贵平³ 吴彦^{1**}

¹中国科学院成都生物研究所 成都 610041

²中国科学院大学 北京 100049

³九寨沟国家级自然保护区管理局 九寨沟 623402

⁴阿坝师范学院 汶川 623002

摘要 自然保护区是就地保护生物多样性最为经济有效的措施,而生物入侵已对全球生物多样性造成严重威胁.采用野外踏查和样方调查的方法,对著名的国家级自然保护区和风景名胜区九寨沟核心景区的外来植物的种类和分布格局进行研究.结果如下:(1)共发现13种外来植物,来自6科11属,以豆科、菊科植物最多.(2)引入方式主要是有意引入(绿化)和无意的旅游活动引入,人为因素起着主导作用,外来植物出现的概率与受人为干扰程度成正比相关.(3)根据重要值(Important value)和外来入侵植物危害等级计算得出危害系数,小蓬草(50.2439)、红车轴草(41.1528)、野胡萝卜值(40.6883)较高,但目前外来植物在研究区域还未形成大规模入侵现象.(4)影响外来植物分布和扩散的因素有生境适合性、路距、群落盖度,路距具有重要影响($P < 0.05$).(5)随着栈道距离的增加,外来植物(以草木犀为例)的重要值呈显著下降趋势.综上所述,九寨沟核心景区的外来植物分布主要受人为影响,豆科、菊科植物种类多且危害系数较高.(图6表3参37)

关键词 九寨沟;外来植物;分布;影响因素

CLC Q948 (271)

Distribution pattern of the alien plants and their impacts on the scenic core-zone of the Jiuzhaigou Nature Reserve*

XIE Yu^{1,2}, ZHU Zhongfu³, XIAO Weiyang³, XIANG Shuang¹, WANG Lihua⁴, DENG Guiping³ & WU Yan^{1**}

¹Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China

²University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

³Jiuzhaigou Nature Reserve Administration, Jiuzhaigou 623402, China

⁴Aba Teachers University, Wenchuan 623002, China

Abstract The Jiuzhaigou Nature Reserve is both a nature reserve and a tourist destination. While Jiuzhaigou becomes more and more popular at home and abroad, it is at ever higher risk of alien plants invasion. This paper is to characterize the distribution pattern of the alien plants and their impacts on the scenic core-zone of the Jiuzhaigou Nature Reserve, and to recommend management tactics in controlling the pest alien-plants. We set up sampling plots along the road of the core scenic Jiuzhaigou to investigate the species composition and distribution patterns of alien plants. The survey recorded 13 alien plants, which belonged to 11 genera and 6 families, with the majority being classified as Leguminosae and Compositae. The alien plants were mainly introduced by afforesting (intentional) or tourism (unintentional); the anthropogenic factors played a leading role in the invasion of alien plants. Hazard coefficient were calculated for four typical alien plants; the values of *Erigeron canadensis*, *Trifolium pretense* and *Daucus carota* were high, but the study area was not massively invaded by them. The suitability of habitat, distance from road and community coverage impacted the distribution and spread of alien plants, among them the distance from the road playing an important role. The importance value of alien plants (*Melilotus officinalis* as a case study) significantly decreased with the distance from road. It was probably because the weakening human disturbance in the far distance from the road decreased the survival chance of alien plant species. The investigation showed 13 alien species of alien plants in Jiuzhaigou belonging to 11 genera and 6 families. Though they have not yet formed a massive invasion, some alien plants have already showed a trend of diffusion.

Keywords Jiuzhaigou; alien plants; distribution; impact factor

收稿日期 Received: 2016-01-08 接受日期 Accepted: 2016-03-03

*国际科技合作专项(2013DFR90670)和国家自然科学基金项目(31370594)资助 Supported by the International Sci-tech Cooperation Program of China (2013DFR90670) and the National Natural Science Foundation of China (31370594)

**通讯作者 Corresponding author (E-mail: wuyan@cib.ac.cn)

外来入侵种通过竞争、捕食、改变生境等行为影响本地生物生存发展,威胁、破坏着生态系统的稳定和生物多样性安全^[1-2],并对农业、林业、渔业等领域造成巨大的经济损失^[3]。我国几种主要外来入侵种仅对农林业造成直接经济损失平均每年高达574亿元^[4],其危害范围还有进一步扩大的趋势,经调查2006年我国外来入侵种有283种^[5],2012年已达529种^[6],可见种类上升速度惊人。

自然保护区作为就地保护珍稀濒危物种和生物多样性最为经济有效的措施,同样面临着外来种入侵威胁。据报道,在美国、捷克等国家的几百个自然保护区存在大量外来植物^[7-8],全球已有一半的自然保护区遭受了外来种入侵威胁^[9];我国的自然保护区也同样存在外来种入侵的困扰^[10]。九寨沟自然保护区的生物多样性丰富,仅国家级一、二级保护植物就60多种,是金丝猴、苏门羚等保护动物的重要分布区,也是我国西南生物多样性保护的关键地段之一。与此同时,九寨沟作为国家5A级景区,每年游客接待量高达500万人次以上,旅游活动带来的外来种入侵风险值得高度关注,这方面的研究还鲜见报道。本研究以旅游开发历史较为悠久的九寨沟景区为例,对旅游活动与外来植物种类、入侵程度、种群动态以及传播方式等进行了探讨,旨在为完善九寨沟景区生态安全保障措施提供科学依据,也为我国其它自然保护区在旅游开发过程中的外来种防范提供可资借鉴的参考资料。

1 区域概况与研究方法

1.1 研究区域概况

九寨沟自然保护区位于四川省九寨沟县漳扎镇境内,东经103°06′-104°05′、北纬32°05′-33°06′,面积约 $6.4 \times 10^4 \text{ km}^2$;是青藏高原向四川盆地陡跌的两大地貌单元的过渡带,是我国第一大地形台阶的坎前转折部位^[11]。地貌为高山峡谷区,海拔1 996-4 764 m,相对高差达2 768 m。年均温6-14℃。年降水量600-840 mm,年日照时数1 400-1 800 h。植被类型垂直带谱明显,基带植被为针阔落叶混交林、往上依次为寒温性针叶林、亚高山灌丛和高山草地植被。旅游景区主要集中在树正沟、日则沟和则渣洼沟,长度分别为13.8 km、17 km和18 km,各个景点由旅游公交和游客步行栈道连接;景区内10年前已经逐步取消了农牧业生产活动,原有耕地通过退耕还林和景观绿化等措施实现了土地利用类型转变。

1.2 研究方法

外来植物的传播与人类活动密切相关^[12-13],而在自然保护区内,人类的活动大部分被限制在栈道、公路内,道路成为外来植物的主要生境和传播途径^[7, 14],因此本次调查的区域集中在景区的栈道和公路两侧。

1.2.1 外来种的确定 根据国家环境保护部公布的中国第一批、第二批、第三批外来入侵物种名单^[15-17]、中国外来植物^[18]、中国外来入侵物种数据库^[19]以及《九寨沟自然保护区的生物多样性》^[20]等,筛选外来植物和确定其起源地等信息。

1.2.2 野外调查方法 2014年8月、2015年7月和9月,在保护区内选取具代表性的区域沿栈道和公路进行野外踏查,踏查的路线主要集中在3条沟人流量较多的柏油路和栈道,记录

发现的外来植物种类及生境。根据野外踏查结果,在外来植物集中分布区域设置了10个样地(图1),以调查外来植物在研究区域的分布情况以及在群落中的地位。每个样地设置5个 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 的草本样方。详细记录样方内物种组成,各物种高度、盖度等群落数量特征,以及样方内外环境特征、与柏油路或栈道距离。

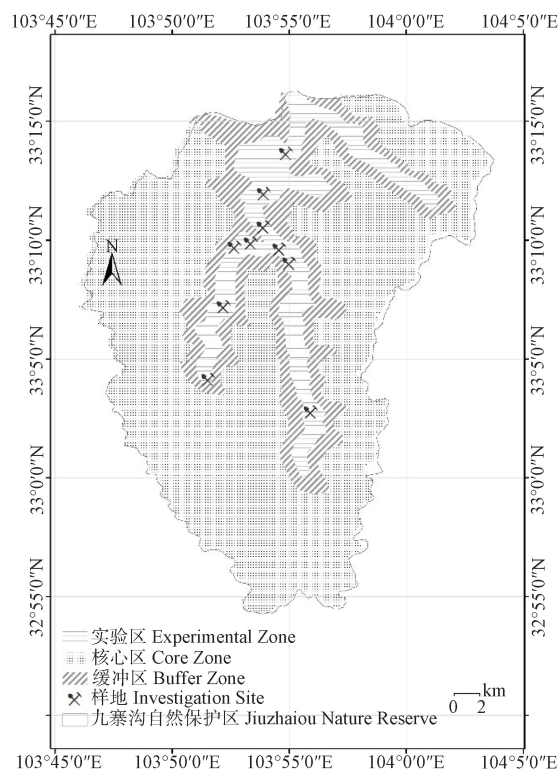


图1 九寨沟外来植物样地分布图。

Fig. 1 The investigation sites of alien plants in Jiuzhaigou.

为了探讨旅游栈道与外来植物之间的关系,以草木犀(*Melilotus officinalis*)为例在诺日朗游客中心设置调查样地,分析草木犀传播与栈道距离的关系。以栈道为中心,沿栈道一侧设置3条样带向外延伸,各在距栈道0 m、1 m、5 m处分别设立1个 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 样方,在样区边缘区域5 m外游客未影响或影响较小的同质(光照、水热等条件相同)区域,设置 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 对照样方(图2)。详细记录样方内物种组成,各物种高度、盖度、分布等群落数量特征。

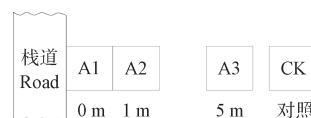


图2 诺日朗调查样地设计。

Fig. 2 The design of investigating section of the Nuorilang Center.

1.3 数据处理

1.3.1 危害系数 目前尚无确切的指标量化外来植物危害程度,因此本文采用危害系数来衡量,其由重要值(Important value, IV)和危害等级构成。重要值是用来表示物种在群落中地位和作用的综合数量指标;闫小玲等根据物种的生物学和生态学特性、自然地理分布、入侵范围以及产

生的危害, 将中国外来植物划分为5个等级^[21], 本文在此基础上, 将5个等级分别设置相同权重 (如危害等级为1, 权重为100; 危害等级为4, 权重为40), 并结合物种的重要值计算其在调查区域的危害系数, 计算公式如下:

$$\text{危害系数} = \text{重要值} \times 50\% + \text{危害等级权重} \times 50\%$$

$$\text{重要值 (IV)} = [\text{相对高度} + \text{相对盖度} + \text{相对频度}] / 3 \times 100\%, 0 < IV < 100$$

1.3.2 群落多样性 群落多样性是指群落中包含的物种数目和个体在种间的分布特征, 反映群落结构和功能复杂性, 本文选择以下几个指标:

$$\text{物种丰富度} = \text{样地中物种数}$$

$$\text{Simpson指数: } D = 1 - \sum \frac{N_i(N_i-1)}{N(N-1)}$$

$$\text{Shannon Wiener指数: } H = - \sum P_i \ln P_i$$

式中: N 为样方中物种个体总数, N_i 为第 i 种个体数; P_i 为第 i 种个体占总个体数的比例。

1.3.3 生境适合性 新的环境是否利于外来植物传播、繁殖目前尚无确切指标来衡量, 本文从样地面积、相对高差、土壤肥力3个方面对新环境进行打分, 从而量化生境适合性。每个指标以10分为满分, 生境适合性取值0-10, 其值越大, 表明适合性越高。

$$\text{生境适合性} = (\text{样地面积} + \text{相对高差} + \text{土壤肥力}) / 3$$

1.3.4 干扰程度 地表干扰程度用地表覆盖度响应指数 (Index of land cover impact, ILCI) 来表示^[22-23], 其值越大干扰越大, 计算公式为:

$$ILCI = |CR + FD + HR| \div 3$$

$$CR = (C_2 - C_1) \times 100 \div C_2$$

$$FD = 1 - \sum_{i=1}^n |P_i^2 - P_i| \div 2$$

$$HR = (H_2 - H_1) \times 100 \div H_2$$

植被覆盖度减少率 (Cover reduction, CR), C_1 为受影响样区的植被覆盖度, C_2 为未受干扰对照样区的植被覆盖度; 植被变异度 (Floristic dissimilarity, FD), P_{i1} 为某种植物 i 在受影响区的数量, P_{i2} 为该种植物在未受影响样区的数量, 用相对频度、相对盖度所合成的重要值表示; 植被高度降低率 (Height reduction, HR), H_1 为所测样区内植物平均高度, H_2 为未受干扰对照区植被平均高度 (注: 计算数据包括本地种和外来植物)。

1.3.5 统计分析 调查数据输入Excel 2007整理后, 以SPSS19.0软件进行统计分析。采用Pearson相关分析探讨影响外来植物危害等级的因素, 采用one-way ANOVA探讨栈道与外来植物之间的关系。所有数据在统计分析前均检验其正态性和方差齐性, 不满足时进行对数转换。

2 结果

2.1 九寨沟景区主要外来植物及分布现状

2.1.1 野外踏查和样方调查结果 本次调查样地中的外来植物全部为草本, 通过野外踏查和样方调查共发现13种外来植物, 来自6科11属 (表1), 其中豆科植物最多, 有5种, 其次为菊科, 4种。引入方式主要以有意引入 (绿化、生产) 和无意

的旅游活动引入为主, 由自然扩散引入的只有2种。

踏查发现诺日朗游客服务中心外来植物种类最多, 有黑麦草 (*Lolium perenne*)、红车轴草 (*Trifolium pratense*)、白车轴草 (*Trifolium repens*)、牛膝菊 (*Galinsoga parviflora*)、白花草木犀 (*Melilotus albus*)、草木犀 (*Melilotus officinalis*)、小蓬草 (*Erigeron canadensis*)、苦苣菜 (*Sonchus oleraceus*) 8种, 其中红车轴草、白车轴草、小蓬草呈斑块状分布在绿化带和路边, 其余物种大多零星分布在路沿。

2.1.2 典型外来植物在九寨沟景区的分布情况 在10个样地中, 共发现10种外来植物, 不同外来植物在样地中出现频率差异较大 (图3)。苦苣菜在5个样地中出现, 小蓬草、黑麦草、草木犀、紫苜蓿 (*Medicago sativa*) 在3个样地中出现, 野胡萝卜 (*Daucus carota*)、白花草木犀、红车轴草在2个样地出现, 而芥 (*Capsella bursa-pastoris*)、婆婆纳 (*Veronica polita*) 仅在1个样地出现。

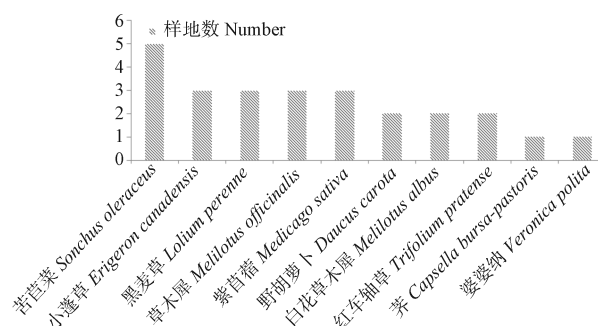


图3 10种外来植物在调查样地中的频次分布。

Fig. 3 Frequency distribution of 10 species of alien plants in the plots.

样地中外来植物重要值较低均小于4 (图4), 在群落中的地位较低。其重要值顺序为黑麦草>紫苜蓿>红车轴草>草木犀>野胡萝卜>苦苣菜>白花草木犀>小蓬草>芥>婆婆纳, 因有2个样地为绿化地, 其中黑麦草属于绿化物种, 其重要值最高。

根据重要值和危害等级计算得出各外来植物危害系数, 其顺序为小蓬草>红车轴草>野胡萝卜>黑麦草>紫苜蓿>草木犀>苦苣菜>白花草木犀>芥>婆婆纳, 小蓬草、红车轴草、野胡萝卜虽重要值较低, 但由于其危害等级较高, 危害系数亦较高。

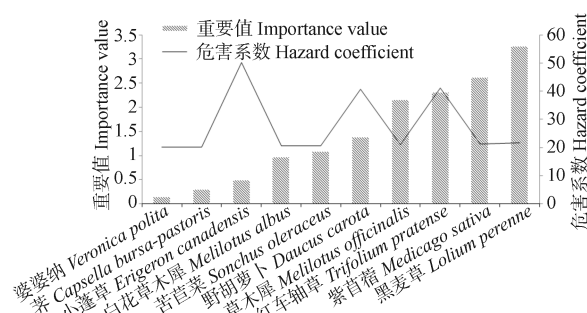


图4 外来植物重要值和危害系数。

Fig. 4 Importance value and hazard coefficient of typical alien plants.

2.2 典型外来植物危害程度分析

2.2.1 不同危害等级外来植物分布情况 在中国外来植物

表1 九寨沟主要外来植物及其分布现状
Table 1 Distribution of alien plants in Jiuzhaigou

入侵类型 Invasion type	物种 Species	科名 Family	生活型 Life form	分布地点 Distribution	原产地 Origin	危害等级 Hazard level
有意引入 Intentional	黑麦草 ^{1,2} <i>Lolium perenne</i>	禾本科 Gramineae	多年生草本 Perennial herb	BEF	欧洲 Europe	4
	紫苜蓿 ^{1,2} <i>Medicago sativa</i>	豆科 Leguminosae	多年生草本 Perennial herb	BCG	西亚 West Asia	4
	红车轴草 ² <i>Trifolium pratense</i>	豆科 Leguminosae	多年生草本 Perennial herb	AGF	北非、中亚和欧洲 North Africa, Central Asia and Europe	2
	白车轴草 ¹ <i>Trifolium repens</i>	豆科 Leguminosae	多年生草本 Perennial herb	CF	北非、中亚、西亚和欧洲 North Africa, Central Asia, West Asia and Europe	2
	秋英 ¹ <i>Cosmos bipinnatus</i>	菊科 Asteraceae	一年或多年生草本 Annual to perennial herb	G	墨西哥、美国 Mexico, America	5
	芥 ² <i>Capsella bursa-pastoris</i>	十字花科 Cruciferae	一、二年生草本 Annual or biennial herb	H	西亚和欧洲 West Asia and Europe	4
	野胡萝卜 ² <i>Daucus carota</i>	伞形科 Umbelliferae	二年生草本 Biennial herb	AI	欧洲 Europe	2
	牛膝菊 ¹ <i>Galinsoga parviflora</i>	菊科 Asteraceae	一年生草本 Annual herb	FG	南美洲 South America	2
	白花草木犀 ^{1,2} <i>Melilotus albus</i>	豆科 Leguminosae	一、二年生草本 Annual or biennial herb	FI	西亚至南欧 West Asia to South Europe	4
	草木犀 ^{1,2} <i>Melilotus officinalis</i>	豆科 Leguminosae	二年生草本 Biennial herb	ADFI	西亚至南欧 West Asia to South Europe	4
无意的旅游活动 Unintentional	婆婆纳 ² <i>Veronica polita</i>	玄参科 Scrophulariaceae	一年生草本 Annual herb	H	西亚 West Asia	4
	小蓬草 ^{1,2} <i>Erigeron canadensis</i>	菊科 Asteraceae	一年生草本 Annual herb	CFI	北美洲 North America	1
	苦苣菜 ^{1,2} <i>Sonchus oleraceus</i>	菊科 Asteraceae	一、二年生草本 Annual or biennial herb	ACEFGI	欧洲和地中海沿岸 Europe and Mediterranean	4
自然扩散 Natural spread						

1: 野外踏查发现的外来入侵植物; 2: 样方调查发现的外来入侵植物。A: 荷叶寨; B: 镜海停车场; C: 情人滩; D: 长海; E: 日则保护站; F: 诺日朗中心站; G: 树正寨; H: 原始森林Primeval Forest; I: 则查洼寨。

1: Found by route survey; 2: Found by sampling. A: Heye Village; B: Mirror Lake Parking; C: Lover's Beach; D: Long Lake; E: Rize Protection Station; F: Nuorilang Central Station; G: Shuzheng Village; H: Primeval Forest; I: Zechawa Village.

的5个等级中, 危害等级为1其危害性最强, 本次样方调查结果显示, 危害等级为1的外来植物只有小蓬草, 危害等级为2的有野胡萝卜、红车轴草, 危害等级为4的有婆婆纳、芥、白花草木犀、苦苣菜、草木犀和黑麦草。

由图5可知, 外来植物重要值4级>2级>1级; 2级外来植物中, 红车轴草重要值>野胡萝卜; 4级外来植物中, 重要值顺序为黑麦草>草木犀>苦苣菜>白花草木犀>芥>婆婆纳, 黑麦草重要值最高, 但在部分样地里是人工栽培的绿化植物。

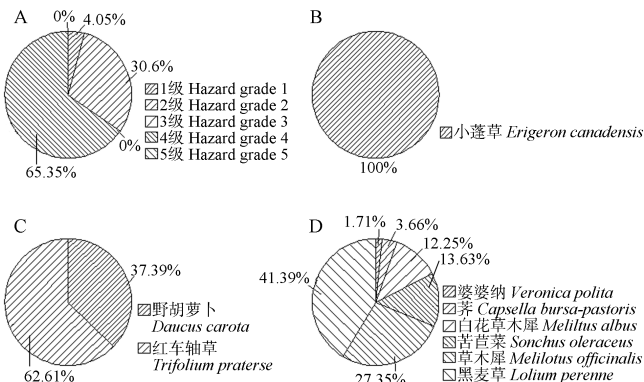


图5 不同危害等级外来植物重要值所占比例 (A) 以及危害等级1级 (B)、2级 (C)、3级 (D) 不同外来植物重要值所占比例。

Fig. 5 Importance value of alien plants (A) and their percentage in

hazard grades 1 (B), 2 (C) and 3 (D).

2.2.2 影响外来植物危害系数的因素 选择重复数较多的不同危害等级的小蓬草、红车轴草、草木犀和苦苣菜, 分析影响其危害系数的可能因素, 样方数据如表2。由于部分样地属于黑麦草绿化地, 为人工种植, 故未选择黑麦草进行样方数据分析。

对上述数据进行相关分析, 得到结果如表3, 4个物种危害系数与丰富度存在负相关关系, 与Simpson指数、Shannon Wiener指数、盖度无一定规律, 与适合性存在正相关关系, 与路距存在负相关关系。小蓬草危害系数与生境适合性显著正相关; 红车轴草危害系数与样方盖度和路距呈极显著负相关; 苦苣菜危害系数与扩散率和生境适合性显著负相关, 与样方盖度呈极显著负相关; 草木犀危害系数与盖度呈极显著负相关, 与路距显著负相关。

2.3 外来植物传播与栈道距关系 (以草木犀为例)

单因素方差分析结果 (图6) 表明, 随着栈道距的增加, 样地干扰程度和草木犀生物量百分比呈极显著下降趋势 ($P < 0.01$), 草木犀的重要值呈显著下降趋势 ($P < 0.05$)。样地受干扰程度随着栈道距离的增加而减少, 栈道距为0 m、1 m时受干扰程度与对照样方差异显著; 草木犀生物量百分比随栈道距离的增加, 先升高后降低, 栈道距为1 m时生物量百分比与0 m、5 m、10 m时差异显著; 草木犀重要值也随栈道距

表2 典型外来植物样方属性
Table 2 Characteristics of typical alien plants in the investigated plots

物种 Species	危害等级 Hazard Level	样方数 Plot	路距 From road (s/m)	重要值 Important value (IV/%)	危害系数 Hazard coefficient	丰富度 Abundance	指数 Simpson	指数 Shannon Wiener	盖度 Coverage (r/%)	适合性 Suitability
小蓬草 <i>Erigeron canadensis</i>	1	6	1-10	3.79 ± 0.45	51.89 ± 0.23	14.67 ± 2.07	0.79 ± 0.05	1.99 ± 0.18	88.33 ± 3.58	5.72 ± 0.55
红车轴草 <i>Trifolium pratense</i>	2	6	1-5	19.21 ± 1.67	49.61 ± 0.83	13.17 ± 0.37	0.82 ± 0.01	1.98 ± 0.05	85.33 ± 1.66	8.03 ± 0.32
苦苣菜 <i>Sonchus oleraceus</i>	4	12	1-10	4.47 ± 0.79	22.24 ± 0.40	13.08 ± 0.76	0.81 ± 0.03	1.96 ± 0.10	86.33 ± 4.95	6.38 ± 0.38
草木犀 <i>Melilotus officinalis</i>	4	8	1-10	11.55 ± 8.30	25.78 ± 4.15	12.50 ± 5.13	0.74 ± 0.08	1.73 ± 0.39	79.75 ± 11.30	3.83 ± 0.57

表3 影响外来植物危害系数的各因子相关分析结果
Table 3 Correlative coefficient of different impact factors related to hazard coefficient

危害系数 Hazard coefficient	丰富度 Abundance	指数 Simpson	指数 Shannon Wiener	盖度 Coverage (r/%)	适合性 Suitability	路距 Distance from road
小蓬草 <i>Erigeron canadensis</i>	-0.428	0.147	0.016	0.204	0.842*	-0.580
红车轴草 <i>Trifolium pratense</i>	-0.194	0.275	0.337	-0.931**	0.538	-0.959**
苦苣菜 <i>Sonchus oleraceus</i>	-0.372	0.134	0.075	-0.792**	0.690*	-0.303
草木犀 <i>Melilotus officinalis</i>	-0.413	-0.201	-0.307	-0.972**	0.362	-0.718*

*在0.05水平上显著相关（双侧检验）；**在0.01水平上显著相关（双侧检验）。
*Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed); ** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

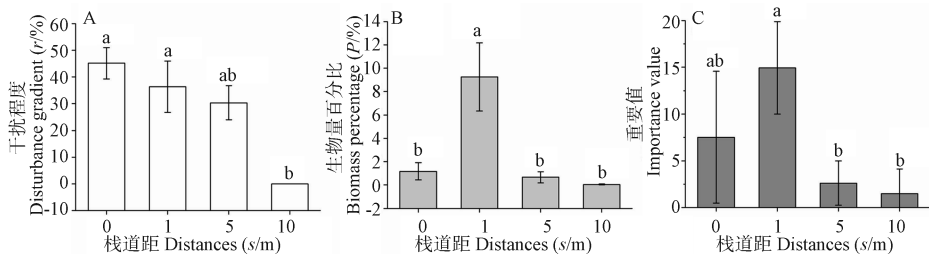


图6 不同栈道距离下样地干扰程度 (a)、草木犀 (*Melilotus officinalis*) 生物量百分比 (b) 和重要值 (c) 的差异。
Fig. 6 Disturbance gradient (A), biomass percentage (B) and importance value (C) of *Melilotus officinalis* at different distances from road.

离的增加，先升高后降低，栈道距为1 m时其重要值与对照样方差异显著 ($P < 0.05$)。

3 讨论

3.1 外来植物分布现状

本次调查发现的13种外来植物中，豆科植物最多，有5种，其次为菊科，4种。豆科、菊科植物本身种类多，在被子植物中，豆科植物数量仅次于菊科和兰科，而菊科植物在维管植物中种类最多；且豆科、菊科植物的生物学特性等更适宜扩散传播，如豆科植物能通过固氮作用积累营养从而在利用环境资源上占据优势，菊科植物种子一般数量多且小，具有特殊的附属结构钩、刺、毛等，可通过风力作用扩散，且生态幅广、适应性强，繁殖方式多样^[24]。在全国范围内，菊科、豆科和禾本科植物构成了中国外来植物的主体，占总数的43.1%^[21]。

外来植物入侵可分为有意引进、无意传入、自然扩散3种类型^[18]。前两种方式都与人为活动相关，可见人类在外来植物入侵中扮演着极为重要的角色。这不仅是因为人为活动不断干扰植物群落，而且人类本身是入侵物种的载体甚至传播者^[25]。本次调查结果有意引进和无意传入这两种方式构成了外来植物入侵的主要途径，部分植物是作为绿化植物、牧

草等而引进，部分是因保护区的建设、游客活动等无意而带入，可见人为因素对外来植物的传播起着重要作用。

小蓬草、红车轴草、野胡萝卜虽重要值较低，但由于其危害等级较高，危害系数亦较高。且小蓬草在诺日朗、红车轴草在树正寨、野胡萝卜在荷叶寨已有扩展的趋势，须着重防治，以免其扩散。

通过野外踏查发现外来植物出现的频度与受干扰程度成正相关趋势。在诺日朗游客中心发现黑麦草、红车轴草、白车轴草、白花草木犀、草木犀、苦苣菜、小蓬草、牛膝菊8种外来植物。此处为3沟交汇点，是景区内车辆调度中心，也是游客服务中心，因此人流量、车流量都最为集中，受旅游干扰也最为严重，因此外来植物种类也最多。且外来植物主要集中在日则沟、树正沟，这可能是因为则渣洼沟沿路景点较少，并未设置停车点，只在最远处长海设置了停车点，导致外来植物因人为活动而传播的几率降低；而日则沟和树正沟沿路景点多，停车点和栈道也多，从而为外来植物的传播提供了便利。

3.2 影响外来植物危害系数的因素

影响外来植物可入侵性的因素很多，如传播途径、区域气候、干扰水平、生态系统抵抗入侵的能力本地种竞争和抗干扰能力等^[9]。外来植物大多是有意或无意的被引入新环境，少数是通过自然扩散引入，当其被引入新环境中，能否成为入侵植

物取决与各种因素的相互作用结果。有研究表明结构简单的群落比结果复杂的群落易受入侵^[26]；群落抵抗生物入侵的能力与群落中物种数量（即物种丰度）成正比^[27]，这是在群落物种丰富度（Community species richness）假设的基础上得出的，它是指物种丰富的群落为新来者提供空缺生态位的几率不大，而在现实中证明空缺生态位的存在很困难^[26]。

因研究区域外来植物危害程度较低，各物种仅在部分调查样方中出现，所以各外来植物的样方重复数较少（图3）。在不同危害等级内选择样方数较多的物种，对其进行的影响外来植物危害系数因素的相关分析结果表明，由于研究区域并不存在所谓的空缺生态位，或外来植物分布较少而未表现出一定规律，因此群落物种丰富度、结构的复杂性对外来植物危害系数的影响还有待确定；随着路距的增加，草木犀和红车轴草的重要值呈显著下降趋势。这种随距离增加而降低的趋势表明，其从道路的边缘开始侵入，然后通过种子繁殖慢慢扩散到两旁生境，这与赵金丽的研究结果^[28]一致，虽小蓬草、苦苣菜与路距不存在相关关系，可能是由于小蓬草和苦苣菜种子能随风传播，其种子能在较大面积内随机繁殖。

3.3 道路对外来植物的影响

道路是外来植物主要生境和传播通道，对外来种的传播扮演着重要的作用^[14, 29-30]。一般而言，旅游践踏是人类活动对生态系统最主要的干扰形式之一，而栈道沿线旅游践踏干扰都是由栈道边缘向两侧逐渐减弱的^[22]，在诺日朗游客中心样地中，旅游干扰同样是随栈道距离的增加而逐渐减弱（图5）。

对加利福尼亚自然保护区的研究表明：随着到公路距离的增加，外来物种出现的几率呈现下降的趋势^[31]。陈超等对北方农牧交错带的研究也表明，随着到路基距离的增加，草木犀属植物的分布密度呈显著下降趋势^[14]。图6表明，随着栈道距的增加，草木犀的重要值呈显著下降趋势，其均值随着栈道距离的增加，先有所上升，随后逐渐降低至0，虽和干扰变化趋势不一样，这可能是因为紧邻栈道时，干扰强烈，植株因受践踏受损严重，直接影响了植物（包括本地种和外来植物）的生长，而随着栈道距离的增加，人为干扰逐渐减弱，外来种进入新区域的机会减少，因此其重要值也降低，朱莉芹等对五台山植被物种多样性进行研究时，草本植物丰富度亦出现相同规律^[32]。

3.4 外来植物入侵对生态安全的影响

众所周知，外来种入侵不仅会对经济和社会造成损失，还是造成生物多样性丧失的主要原因之一^[1-2]。不能否认一些外来种是有益的，为人类提供粮食和农作物等，但其对原有生境可造成巨大影响和破坏^[33-34]，如水葫芦，最初引进用于进化水体，起到治理富营养化水域的作用，但其繁殖能力强，能快速覆盖整个水面^[35]，造成其他动植物不能存活，从而导致生物多样性减弱。外来植物与本地植物竞争光、水分、养分等，有些植物分泌化感物质而抑制其他植物生长，影响生态系统的结构和功能^[36]。

九寨沟大部分外来植物种类少，出现频率低，重要值也低，暂时并未对研究区域造成严重危害，这也与景区严格规范的管理措施密切相关。但近年来随着旅游人数的不断攀升以及多次出现的“限客”预警，对外来种入侵的监测显得尤为重要，加之景区为了视觉美感而不定时地引入外来园林植物进行“绿化”，外来种入侵风险进一步增加，外来物种和广布型物种已开始影响到九寨沟核心景区的生物多样性^[37]。

目前出现的13种外来植物中，1级危害植物小蓬草在诺日朗有扩展的趋势，2级危害植物种红车轴草在树正寨、野胡萝卜在荷叶寨已呈现连片扩展趋势，危害系数亦较高。随着人类活动对自然生态系统的影响不断深化，自然保护区生态安全的研究也成为国内外研究的热点和焦点。人类应该如何采取应对措施，积极保护区域生物多样性和维护生态安全，已成为迫切需要解决的问题。

3.5 防治措施

面对外来植物入侵的威胁，应加强防治措施。目前对外来植物的防治措施主要有机械法、化学法、生物防治这几种方式。针对九寨沟核心景区的现状，首先是对分布数量较少的外来植物进行机械防除，如原始森林中的茅、婆婆纳，以及一些零星分布的草木犀、黄花草木犀、秋英、牛膝菊、小蓬草、苦苣菜适用该方法；具有较强危害性、呈聚集分布的外来植物可进行化学清除、防控，如树正寨附近的红车轴草，杜绝其成为入侵植物的可能性。其次建立相应的长期监测和防治体制，加强对不同植物的入侵途径、生物学特性、分布特征等的科学研究，为外来入侵植物的防治提供理论依据。九寨沟作为全国著名的自然保护区，一直非常重视保护区生物多样性的保护工作，但因其作为世界著名景区的知名度很高，近年来旅游到访人数不断攀升，虽然保护区已在旅游旺季采取了限制客流等措施，但仍需提高管理人员、居民和游客的保护意识，加强对外来种入侵造成的生态影响等方面宣传教育活动。

4 结论

通过野外踏查和样方调查共发现13种外来植物，来自6科11属，其中豆科植物最多（5种），其次为菊科（4种）。外来植物引入方式以有意引进和无意传入为主，人为因素起着主要作用，且外来植物出现的频度与受干扰程度成正相关。小蓬草、红车轴草、野胡萝卜危害系数值较高，小蓬草、红车轴草已有扩展趋势，但目前在研究区域还未形成大规模的入侵现象。影响外来植物分布和扩散的因素是多方面的，生境适合性、路距、群落盖度都影响着外来入侵植物的分布，路距具有重要影响。随着栈道距离的增加，人为干扰逐渐减弱，外来种进入新区域的机会减少，草木犀的重要值呈显著下降趋势。而外来种入侵新环境的过程是长期而漫长的，其入侵机制、影响因素还需进一步深入研究。

致谢 感谢西南大学齐代华老师的野外指导，感谢贺俊东、徐波、高景、薛晶月、杨文斌、左有璐等同学在野外和室内分析工作中给予帮助。

参考文献 [References]

- 1 Mack RN, Simberloff D, Mark Lonsdale W, Evans H, Clout M, Bazzaz FA. Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control [J]. *Ecol Appl*, 2000, **10** (3): 689-710
- 2 Richardson DM, Pyšek P, Rejmánek M, Barbour MG, Panetta FD, West CJ. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions [J]. *Divers Distrib*, 2000, **6** (2): 93-107
- 3 Pimentel D, Lach L, Zuniga R, Morrison D. Environmental and economic costs of nonindigenous species in the United States [J]. *BioScience*, 2000, **50** (1): 53-65
- 4 范继辉, 蒋莉, 程根伟. 我国南方生物入侵的问题与对策[J]. 应用生态学报, 2005, **16** (3): 568-572 [Fan JH, Jiang L, Cheng GW. Alien species

- invasion in Southern China and its countermeasures [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2005, **16** (3): 568-572]
- 5 桑卫国, 朱丽, 马克平. 外来种入侵现象、问题及研究重点[J]. 地球科学进展, 2006, **21** (3): 305-312 [Sang WG, Zhu L, Ma KP. Issues, phenomena and study emphases of alien species invasion in China [J]. *Adv Earth Sci*, 2006, **21** (3): 305-312]
 - 6 鞠瑞亭, 李慧, 石正人, 李博. 近十年中国生物入侵研究进展[J]. 生物多样性, 2012, **20** (5): 581-611 [Ju RT, Li H, Shi ZR, Li B. Progress of biological invasions research in China over the last decade [J]. *Biodiv Sci*, 2012, **20** (5): 581-611]
 - 7 McKinney ML. Influence of settlement time, human population, park shape and age, visitation and roads on the number of alien plant species in protected areas in the USA [J]. *Divers Distrib*, 2002, **8** (6): 311-318
 - 8 Pyšek P, Jarošík V, Kučera T. Inclusion of native and alien species in Temperate Nature Reserves: an historical study from Central Europe [J]. *Conserv Biol*, 2003, **17** (5): 1414-1424
 - 9 Lonsdale WM. Global patterns of plant invasions and the concept of invasibility [J]. *Ecology*, 1999, **80** (5): 1522-1536
 - 10 郑景明, 徐满, 孙燕, 万慧慧, 梁同军. 庐山自然保护区内外公路路缘外来植物组成对比[J]. 北京林业大学学报, 2011, **33** (3): 51-56 [Zhang JM, Xu M, Sun Y, Wan HL, Liang TJ. Comparison of roadside alien plant composition inside and outside Lushan Nature Reserve [J]. *J Beijing For Univ*, 2011, **33** (3): 51-56]
 - 11 郭建强, 彭东, 曹俊, 杨俊义. 四川九寨沟地貌与第四纪地质[J]. 四川地质学报, 2000, **20** (3): 183-192 [Guo JQ, Peng D, Cao J, Yang JY. Geomorphology and quaternary geology in Jiuzhai Valley [J]. *Acta Geol Sichuan*, 2000, **20** (3): 183-192]
 - 12 Sax DF. Native and naturalized plant diversity are positively correlated in scrub communities of California and Chile [J]. *Divers Distrib*, 2002, **8** (4): 193-210
 - 13 朱珠, 包维楷, 庞学勇, 闫晓丽, 李玉武. 旅游干扰对九寨沟冷杉林下植物种类组成及多样性的影响[J]. 生物多样性, 2006, **14** (4): 284-291 [Zhu Z, Bao WK, Pang XY, Yan XL, Li YW. Tourism effect on species composition and diversity of understory plants in *Abies fargesii* var. *faxoniana* forest in Jiuzhaigou [J]. *Biodiv Sci*, 2006, **14** (4): 284-291]
 - 14 陈超, 黄顶, 王堃, 张卫华, 孙增慧, 陈龙. 北方农牧交错带草木犀属外来植物沿公路分布和扩展的影响因素探讨[J]. 草地学报, 2014, **22** (4): 722-727 [Chen C, Huang D, Wang K, Zhang WH, Sun ZH, Chen L. Distribution and dispersal of alien sweet clover along roadside in an agro-pastoral ecotone of northern China [J]. *Acta Agrestia Sin*, 2014, **22** (4): 722-727]
 - 15 关于发布中国第一批外来入侵物种名单的通知[J/OL]. 中华人民共和国国务院公报, 2003 (23): 40-46
 - 16 中华人民共和国环境保护部. 关于发布中国第二批外来入侵物种名单的通知[OL]. 2010. http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201001/t20100126_184831.htm
 - 17 中华人民共和国环境保护部, 中国科学院. 关于发布中国外来入侵物种名单(第三批)的公告[OL]. 2014. http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201408/t20140828_288367.htm
 - 18 何家庆. 中国外来植物[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2012 [He JQ. *Exotic Plants in China* [M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2012]
 - 19 中国外来入侵物种数据库[DB]. <http://chinaiaas.cn/wjPart/index.aspx>
 - 20 刘少英, 章小平, 曾宗永. 九寨沟自然保护区的生物多样性[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2007 [Liu SY, Zhang XP, Zeng ZY. Biodiversity of the Jiuzhaigai National Nature Reserve [M]. Chengdu: Sichuan Publishing House Of Science Technology, 2007]
 - 21 闫小玲, 刘全儒, 寿海洋, 曾宪锋, 张勇, 陈丽, 刘演, 马海英, 齐淑艳, 马金双. 中国外来入侵植物的等级划分与地理分布格局分析[J]. 生物多样性, 2014, **22** (5): 667-676 [Yan XL, Liu QR, Shou HY, Zeng XF, Zhang Y, Chen L, Liu Y, Ma HY, Liu SY, Ma JS. The categorization and analysis on the geographic distribution patterns of Chinese alien invasive plants [J]. *Biodiv Sci*, 2014, **22** (5): 667-676]
 - 22 席建超, 胡传东, 武国柱, 吴普, 葛全胜, 成升魁. 六盘山生态旅游区旅游步道对人类践踏干扰的响应研究[J]. 自然资源学报, 2008, **23** (2): 274-284 [Xi JC, Hu CD, Wu GZ, Wu P, Ge QS, Cheng SK. Response of Liupan Mountain ecological tourism, trails to human trampling disturbance [J]. *J Nat Resour*, 2008, **23** (2): 274-284]
 - 23 李陇堂, 薛晨浩, 张至楠. 沙漠型景区游步道沿线生态环境对踩踏干扰的响应[J]. 中国沙漠, 2015, **35** (4): 1048-1056 [Li LT, Xue CH, Zhang ZN. Response of ecological environment along desert scenic spot trails to trampling disturbance [J]. *J Des Res*, 2015, **35** (4): 1048-1056]
 - 24 朱世新, 覃海宁, 陈艺林. 中国菊科植物外来种概述[J]. 广西植物, 2005, **25** (1): 69-76 [Zhu SX, Qin HN, Chen YL. Alien species of *Compositae* in China [J]. *Guihaia*, 2015, **25** (1): 69-76]
 - 25 杨逢建. 有害入侵植物飞机草入侵机理与控制研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2003 [Yang FJ. Invasion mechanism and control research of *Eupatorium odoratum* a kind of harmful invasion plant [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2003]
 - 26 张林艳, 叶万辉. 群落可侵入性及其影响因素[J]. 植物生态学报, 2002, **26** (1): 109-114 [Zhang LY, Ye WH. Community invasibility and its influencing factors [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2002, **26** (1): 109-114]
 - 27 黄建辉, 韩兴国. 生物多样性和生态系统稳定性[J]. 生物多样性, 1995, **3** (1): 31-37
 - 28 赵金丽, 马友鑫, 朱华, 李红梅, 刘文俊, 李增加. 云南省南部山地7种主要入侵植物沿公路两侧的扩散格局[J]. 生物多样性, 2008, **16** (4): 369-380 [Zhao JL, Ma YX, Zhu H, Li HM, Liu WJ, Li ZJ. Invasion patterns of seven alien plant species along roadsides in southern mountainous areas of Yunnan Province [J]. *Biodiv Sci*, 2008, **16** (4): 369-380]
 - 29 Bradley BA, Mustard JF. Characterizing the landscape dynamics of an invasive plant and risk of invasion using remote sensing [J]. *Ecol Appl*, 2006, **16** (3): 1132-1147
 - 30 Bradley BA, Blumenthal DM, Wilcove DS, Ziska LH. Predicting plant invasions in an era of global change [J]. *Trends Ecol Evol*, 2010, **25** (5): 310-318
 - 31 Gelbard JL, Belpap J. Roads as conduits for exotic plant invasions in a semiarid landscape [J]. *Conserv Biol*, 2003, **17** (2): 420-432
 - 32 牛莉芹, 程占红, 赵蒙. 旅游干扰下五台山不同植被景观区物种多样性特征[J]. 应用与环境生物学报, 2012, **18** (4): 559-564 [Niu LQ, Cheng ZH, Zhao M. Plant species diversities of tourism disturbed landscapes in Wutai Mountains, China [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2012, **18** (4): 559-564]
 - 33 Curnutt JL. Host-area specific climatic-matching: similarity breeds exotics [J]. *Biol Conserv*, 2000, **94** (3): 341-351
 - 34 Evans RD, Rimer R, Sperry L, Belpap J. Exotic plant invasion alters nitrogen dynamics in an arid grassland [J]. *Ecol Appl*, 2001, **11** (5): 1301-1310
 - 35 彭少麟, 向言词. 植物外来种入侵及其对生态系统的影响[J]. 生态学报, 1999, **19** (4): 560-568 [Peng SL, Xiang YC. The invasion of exotic plants and effects of ecosystems [J]. *Acta Ecol Sin*, 1999, **19** (4): 560-568]
 - 36 Vitousek PM, D'antonio CM, Loope LL, Westbrooks R. Biological invasions as global environmental change [J]. *Am Sci*, 1996, **84** (5): 468-478
 - 37 吴宁, 包维凯, 吴彦. 世界自然遗产地——九寨沟与黄龙的生态环境与可持续发展[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 4