•研究报告•

新建川藏铁路(雅安–昌都段)沿线 外来入侵植物种类及分布特征

邓亨宁¹ 鞠文彬^{1,2} 高云东^{1,2} 张君议¹ 李诗琦^{1,2} 高信芬^{1,2*} 徐 波^{1,2*}

1 (中国科学院成都生物研究所山地生态恢复与生物资源利用重点实验室/

生态恢复与生物多样性保育四川省重点实验室, 成都 610041)

2 (中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 横断山区为全球生物多样性热点地区之一, 也是全国生态屏障的重要组成部分。新建川藏铁路雅安至昌都段横跨横断山核心地区, 铁路建设形成的交通网络将沿线生物多样性热点区域与外界相连, 导致生物入侵风险陡增。为获得区域内外来入侵植物的种类及分布特征信息, 为即将开始的铁路工程建设、生态保护及生态修复等工作提供参考, 我们在雅安–昌都段内选择43个位点各进行长度1 km、宽度20 m的样线调查。研究结果显示: 雅安–昌都段共发现外来入侵植物58种, 隶属于18科42属, 其中出现频度最高的种类依次是牛膝菊(*Galinsoga parviflora*)、秋英(*Cosmos bipinnatus*)和鬼针草(*Bidens pilosa*)。从危害等级来看, 其中10种为恶性入侵种, 16种为严重入侵种, 8种为局部入侵种, 15种为一般入侵种, 9种为有待观察种, 超过半数种类具有明显入侵性。原产地分析结果显示美洲是该区域外来入侵植物的主要原产地。基于海拔及主要河流区段的比较研究发现: 入侵植物的种类数量呈现出明显的由东向西、由低海拔向高海拔逐渐递减的趋势, 该分布格局是环境因子和人类活动共同作用的结果。结合铁路沿线入侵现状和生境特征, 本文分析了铁路建设可能造成外来植物入侵风险, 并针对入侵的防范提出了相应的建议。

关键词: 新建川藏铁路; 青藏高原; 外来入侵植物; 物种组成; 分布特征

The species composition and distributional characteristics of invasive alien plants along the new Sichuan–Tibet Railway (Ya'an to Changdu section)

Hengning Deng¹, Wenbin Ju^{1,2}, Yundong Gao^{1,2}, Junyi Zhang¹, Shiqi Li^{1,2}, Xinfen Gao^{1,2*}, Bo Xu^{1,2*}

1 CAS Key Laboratory of Mountain Ecological Restoration and Bioresource Utilization, Ecological Restoration and Biodiversity Conservation Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

Abstract: Hengduan Mountains is a hotspot of global biodiversity and serves as an important part of the national ecological barrier. The new Sichuan–Tibet Railway (Ya'an to Changdu section) crosses the core area of the Hengduan Mountains. The transportation network formed by the railway connects the biodiversity hotspots along the route to the outside world, leading to an increased risk for biological invasions. In order to obtain information on the composition and distributional characteristics of the invasive alien plants in this region and provide references for upcoming railway construction, ecological protection, and ecological restoration, we selected 43 representative sites (1 km × 0.02 km) in the area to conduct surveys. A total of 58 invasive alien species were identified, belonging to 18 families and 42 genera. The three most frequently occurring species were *Galinsoga parviflora*, *Cosmos bipinnatus*, and *Bidens pilosa*. Ten species were considered to be the malignant invasive species, 16 serious invasions, 8 local invasions, and 15 general invasions. The damage of the remaining 9 species needs further observation. The Americas are the primary

收稿日期: 2020-01-14; 接受日期: 2020-05-12

基金项目: 生物多样性调查评估项目(2019HJ2096001006)、四川省重点研发项目(2018SZ0312)和四川省中医药管理局重大专项(2018PC005)

* 共同通讯作者 Co-authors for Correspondence. E-mail: xfgao@cib.ac.cn; xubo@cib.ac.cn

geographical origin of invasive alien plant species in this region. A comparative study based on altitude and major rivers found that with increasing altitude and geographic extension, the number of invasive alien plants decreased significantly, and the distributional pattern was the result of the combined effects of environmental factors and human activities. Based on the status and habitat characteristics of the invasions along the railway, this study analyzed the risk of alien plant invasion caused by railway construction, and we make corresponding suggestions to prevent further invasion.

Key words: the new Sichuan-Tibet Railway; Tibetan Plateau; invasive alien plants; species composition; distributional characteristics

新建川藏铁路位于我国四川盆地西部和青藏高原东南部(刘孜学等, 2017), 始于成都市, 终于拉萨市, 运营总长度1,932.9 km (黄艳磊等, 2015)。整个工程始于2014年, 预期到2026年可全线通车, 其中成都至雅安段已于2018年底开通运营。雅安至昌都段线路局部具体走向尚处于可行性研究阶段, 该区段运营总长度635.94 km, 线路东起雅安市, 向西经天全县、泸定县、康定县、雅江县、理塘县、巴塘县后跨过金沙江进入西藏自治区境内, 而后经贡觉县、察雅县到达昌都市。川藏铁路雅安-昌都段沿线是全球地形地貌最为复杂、气候垂直分带最为明显的地区之一, 是全球生物多样性重要热点地区, 具有全球意义的保护价值, 也是全国生态屏障的重要组成部分(Zhang et al, 2009; Xing & Ree, 2017)。

随着全球一体化进程加快, 物种的引入、传播与扩散要比过去更为便捷, 外来物种入侵已成为当前环境变化的一个重要组成部分。外来入侵种常常对生态系统的结构和功能产生不良影响, 通过侵占本地物种的生存空间而造成本地生物多样性的丧失, 进而严重影响到当地的自然生态安全、区域经济发展和人类健康(彭少麟和向言词, 1999)。近期研究显示, 入侵植物可入侵山地低海拔地区, 并有向高海拔地区扩散的趋势(Alexander et al, 2016)。川藏铁路是中国国内第二条进藏铁路, 将为沿线的社会经济发展带来巨大的机遇(格勒多吉, 2019)。然而, 伴随机遇而来的还有严峻挑战, 重大工程建设会加剧对沿线脆弱敏感地区生态环境的影响, 如交通道路建设会造成生境破坏甚至丧失, 生物多样性降低, 生态系统结构和功能不稳定(郑景明等, 2011; 王增琪等, 2012; 涂美珍等, 2016; 杨永鹏等, 2018), 所形成的空白生态位为外来植物入侵创造了机会, 因而更容易遭受外来物种的入侵。此外, 铁路建设形成的交通网络将沿线生物多样性热点区域与外界

相连, 导致生物入侵风险陡增(Spellerberg, 1998; 和太平等, 2011; 杨乐等, 2016)。

一份比较清晰的外来入侵物种多样性本底资料是在国家层面上开展后续科学研究和管理的重要基础(Nel et al, 2004; 闫小玲等, 2014)。目前, 整个青藏高原地区前期的外来入侵植物调查仅涉及到林芝地区和拉萨河流域(许敏, 2015^①; 杨春蕾等, 2018; 张丽等, 2018), 对于川藏铁路雅安-昌都段这个生态环境异质性突出、抵抗外部干扰能力脆弱而敏感的重要生态安全屏障区域, 外来入侵植物的入侵情况尚不清楚。为了摸清此区域外来入侵植物的本底资料, 本研究沿川藏铁路线路走向开展沿线周围地区入侵植物的调查, 旨在探讨以下问题: (1)铁路沿线外来入侵植物有多少种类? 原产地特征如何? 哪些种具有较强的入侵性? (2)沿线入侵植物的分布格局和扩散趋势如何? (3)铁路建设对当地外来入侵植物的影响如何? 有何应对策略?

1 调查方法

沿新建川藏铁路的线路走向, 在其中的雅安-昌都段铁路工程施工区范围内(包括主体工程和辅助工程)进行选点调查(图1)。共选取43个点位进行外来入侵植物的样线调查, 其中雅安段16个, 甘孜藏族自治州段22个, 昌都段5个。调查点位生境类型包括道路、耕地、河滩、林缘、村落、高原湿地、城郊荒地及城市绿化带等。具体信息详见附录1。

在选取的每个调查点位内, 开展长度1 km、宽度20 m的样线调查, 记录样线内外来入侵植物的种类与分布海拔, 以及样线区域的生境信息。外来入侵植物区系分析参考吴征镒(1991)、吴征镒等(2003, 2011), 外来物种危害等级参考闫小玲等(2014)划分为5个等级, 其中1级危害最严重。

^① 许敏 (2015) 西藏拉萨河流域维管束植物资源调查及评价. 硕士学位论文, 西藏大学, 拉萨。

图1 新建川藏铁路(雅安-昌都段)调查点位的地理位置

Fig. 1 Geographic location of investigating sites of the new Sichuan-Tibet Railway (Ya'an to Changdu section)

2 结果

2.1 外来入侵植物种数与分布统计

在选取的43个调查点位中,有34个有外来入侵植物分布,共调查到外来入侵植物58种,隶属于18科42属(表1);其中雅安段45种,甘孜藏族自治州段38种,昌都段0种。基于主要河流区域分段统计外来入侵植物种类的结果显示,青衣江-大渡河段有45种,大渡河-雅砻江段有36种,雅砻江-金沙江段有5种,金沙江-澜沧江段有0种。在全线调查点位中,外来入侵植物种类出现最多的3个依次是:天全县始阳镇(19种)、天全县两路乡(15种)与泸定县泸桥镇(15种)。此外,全线调查过程中,未发现外来入侵植物分布的点位共有9个,其中甘孜藏族自治州有4个,昌都市有5个(附录1)。

2.2 外来入侵植物原产地与危害等级分析

外来入侵植物原产地分析结果显示,有35种来自美洲,占比60.34%;3种来自欧洲,占比5.17%;3种来自非洲,占比5.17%;5种来自亚洲,占比8.62%;1种来自大洋洲,占比1.72%;跨洲域分布的有11种,占比18.97%。根据外来入侵植物危害等级划分,区域内外来入侵植物危害等级从1级至5级分别有10种、16种、8种、15种及9种(表1)。

2.3 外来入侵植物科属及区系分析

在本次调查到的58种外来入侵植物中,菊科、豆科和苋科是物种数量最多的3科,分别有20种、7种和7种;单种科有10个:紫草科、仙人掌科、唇形

科、锦葵科、桑科、桃金娘科、紫茉莉科、商陆科、马齿苋科和玄参科。苋属(*Amaranthus*)、飞蓬属(*Erigeron*)和鬼针草属(*Bidens*)是物种数量最多的3属,分别有5种、4种和3种;单种属有紫菀属(*Aster*)、秋英属(*Cosmos*)、野苘蒿属(*Crassocephalum*)、鳢肠属(*Eclipta*)、牛膝菊属(*Galinsoga*)、千里光属(*Senecio*)等32个(表1)。

根据种子植物科的分布区类型统计,调查区域内的外来入侵植物主要为世界广布种,有12科,占比66.67%,其次是泛热带、以南半球为主的泛热带分布和东亚(热带、亚热带)及热带南美间断分布,每种类型均有2科,分别占比11.11%。

根据种子植物属的分布区类型统计,调查区域内的外来入侵植物有13种分布类型,其中世界广布型最多,有10属,占比23.81%,其次是泛热带分布与热带亚洲及热带美洲间断分布,均有7属,分别占比16.67%。

2.4 外来入侵植物的分布频度分析

根据43个点位的样线统计结果,出现频度最高的3个物种依次是牛膝菊(*Galinsoga parviflora*) (48.84%)、秋英(*Cosmos bipinnatus*) (37.21%)和鬼针草(*Bidens pilosa*) (34.88%)。出现频度超过10%的物种有19个,仅在其中一条样线出现的外来入侵物种有18种,其出现频度为2.33% (表1, 附录1)。

2.5 外来入侵植物分布与海拔变化的相关性分析

本研究布设的43条样线分布在海拔598-4,156 m

表1 新建川藏铁路(雅安-昌都段)外来入侵植物种类、原产地、频度(F, %)及危害等级(TD)

Table 1 The species composition, origin, frequency (F, %) and threat grade (TD) of invasive alien plants in the new Sichuan-Tibet Railway (Ya'an to Changdu section)

物种 Species	产地 Origin	F	TD	物种 Species	产地 Origin	F	TD
苋科 Amaranthaceae				土荆芥 D. ambrosioides 美洲 America 4.65 1			
莲子草属 <i>Alternanthera</i>				旋花科 Convolvulaceae			
喜旱莲子草 <i>A. philoxeroides</i>	美洲 America	18.60	1	番薯属 <i>Ipomoea</i>			
刺花莲子草 <i>A. pungens</i>	美洲 America	4.65	2	牵牛 <i>I. nil</i> 美洲 America 4.65 2			
苋属 <i>Amaranthus</i>				圆叶牵牛 <i>I. purpurea</i> 美洲 America 16.28 1			
凹头苋 <i>A. blitum</i>	美洲 America	9.30	2	豆科 Fabaceae			
老鸦谷 <i>A. cruentus</i>	美洲 America	6.98	3	苜蓿属 <i>Medicago</i>			
绿穗苋 <i>A. hybridus</i>	美洲 America	4.65	2	南苜蓿 <i>M. polymorpha</i> 跨洲 Cross continent 4.65 4			
千穗谷 <i>A. hypochondriacus</i>	美洲 America	2.33	3	紫苜蓿 <i>M. sativa</i> 亚洲 Asia 4.65 4			
苋 <i>A. tricolor</i>	亚洲 Asia	9.30	3	草木犀属 <i>Melilotus</i>			
菊科 Asteraceae				白花草木犀 <i>M. albus</i> 跨洲 Cross continent 11.63 4			
紫菀属 <i>Aster</i>				草木犀 <i>M. officinalis</i> 跨洲 Cross continent 2.33 4			
钻叶紫菀 <i>A. subulatus</i>	美洲 America	16.28	1	车轴草属 <i>Trifolium</i>			
鬼针草属 <i>Bidens</i>				红车轴草 <i>T. pratense</i> 跨洲 Cross continent 6.98 2			
婆婆针 <i>B. bipinnata</i>	美洲 America	2.33	3	白车轴草 <i>T. repens</i> 跨洲 Cross continent 27.91 2			
大狼把草 <i>B. frondosa</i>	美洲 America	2.33	1	野豌豆属 <i>Vicia</i>			
鬼针草 <i>B. pilosa</i>	美洲 America	34.88	1	长柔毛野豌豆 <i>V. villosa</i> 跨洲 Cross continent 2.33 4			
金鸡菊属 <i>Coreopsis</i>				唇形科 Lamiaceae			
剑叶金鸡菊 <i>C. lanceolata</i>	美洲 America	2.33	3	鼠尾草属 <i>Salvia</i>			
两色金鸡菊 <i>C. tinctoria</i>	美洲 America	9.30	5	一串红 <i>S. splendens</i> 美洲 America 4.65 5			
秋英属 <i>Cosmos</i>				锦葵科 Malvaceae			
秋英 <i>C. bipinnatus</i>	美洲 America	37.21	5	木槿属 <i>Hibiscus</i>			
野茼蒿属 <i>Crassocephalum</i>				野西瓜苗 <i>H. trionum</i> 非洲 Asia 2.33 4			
野茼蒿 <i>C. crepidioides</i>	非洲 Africa	25.58	2	桑科 Moraceae			
鳢肠属 <i>Eclipta</i>				大麻属 <i>Cannabis</i>			
鳢肠 <i>E. prostrata</i>	美洲 America	2.33	4	大麻 <i>C. sativa</i> 亚洲 Asia 4.65 4			
飞蓬属 <i>Erigeron</i>				桃金娘科 Myrtaceae			
一年蓬 <i>E. annuus</i>	美洲 America	25.58	1	桉属 <i>Eucalyptus</i>			
小飞蓬 <i>E. canadensis</i>	美洲 America	27.91	1	桉 <i>E. robusta</i> 大洋洲 Oceania 2.33 5			
苏门白酒草 <i>E. sumatrensis</i>	美洲 America	16.28	1	紫茉莉科 Nyctaginaceae			
香丝草 <i>E. bonariensis</i>	美洲 America	25.58	2	紫茉莉属 <i>Mirabilis</i>			
牛膝菊属 <i>Galinsoga</i>				紫茉莉 <i>M. jalapa</i> 美洲 America 2.33 2			
牛膝菊 <i>G. parviflora</i>	美洲 America	48.84	2	商陆科 Phytolaccaceae			
千里光属 <i>Senecio</i>				商陆属 <i>Phytolacca</i>			
欧洲千里光 <i>S. vulgaris</i>	欧洲 Europe	20.93	4	垂序商陆 <i>P. americana</i> 美洲 America 11.63 2			
苦苣菜属 <i>Sonchus</i>				禾本科 Poaceae			
花叶滇苦菜 <i>S. asper</i>	跨洲 Cross continent	6.98	4	燕麦属 <i>Avena</i>			
苦苣菜 <i>S. oleraceus</i>	跨洲 Cross continent	13.95	4	野燕麦 <i>A. fatua</i> 跨洲 Cross continent 16.28 2			
万寿菊属 <i>Tagetes</i>				雀麦属 <i>Bromus</i>			
万寿菊 <i>T. erecta</i>	美洲 America	2.33	5	扁穗雀麦 <i>B. catharticus</i> 美洲 America 4.65 2			
蒲公英属 <i>Taraxacum</i>				黑麦草属 <i>Lolium</i>			
药用蒲公英 <i>T. officinale</i>	欧洲 Europe	2.33	4	黑麦草 <i>L. perenne</i> 欧洲 Europe 2.33 4			
百日菊属 <i>Zinnia</i>				雀稗属 <i>Paspalum</i>			
百日菊 <i>Z. elegans</i>	美洲 America	9.30	5	毛花雀稗 <i>P. dilatatum</i> 美洲 America 4.65 3			
落葵科 Basellaceae				狗尾草属 <i>Setaria</i>			
落葵薯属 <i>Anredera</i>				棕叶狗尾草 <i>S. palmifolia</i> 非洲 Africa 18.60 4			
落葵薯 <i>A. cordifolia</i>	美洲 America	9.30	1	马齿苋科 Portulacaceae			
落葵属 <i>Basella</i>				土人参属 <i>Talinum</i>			
落葵 <i>B. alba</i>	跨洲 Cross continent	6.98	5	土人参 <i>T. paniculatum</i> 美洲 America 2.33 4			
紫草科 Boraginaceae				玄参科 Scrophulariaceae			
聚合草属 <i>Symphytum</i>				婆婆纳属 <i>Veronica</i>			
聚合草 <i>S. officinale</i>	跨洲 Cross continent	2.33	5	阿拉伯婆婆纳 <i>V. persica</i> 亚洲 Asia 2.33 3			
仙人掌科 Cactaceae				茄科 Solanaceae			
仙人掌属 <i>Opuntia</i>				曼陀罗属 <i>Datura</i>			
梨果仙人掌 <i>O. ficus-indica</i>	美洲 America	2.33	2	曼陀罗 <i>D. stramonium</i> 美洲 America 16.28 2			
藜科 Chenopodiaceae				假酸浆属 <i>Nicandra</i>			
藜属 <i>Chenopodium</i>				假酸浆 <i>N. physalodes</i> 美洲 America 4.65 3			
杖藜 <i>C. giganteum</i>	亚洲 Asia	2.33	5	茄属 <i>Solanum</i>			
刺藜属 <i>Dysphania</i>				喀西茄 <i>S. aculeatissimum</i> 美洲 America 6.98 2

图2 新建川藏铁路(雅安-昌都段)外来入侵植物物种数与海拔相关性分析

Fig. 2 Correlation analysis on the number of invasive alien species and altitude in the new Sichuan-Tibet Railway (Ya'an to Changdu section)

范围内, 跨度3,558 m。区域内外来入侵物种主要分布在海拔3,200 m以下区域, 在9个没有入侵物种记录的样线中, 有8个的海拔高度超过3,200 m。物种分布与海拔变化的相关性分析结果显示二者为负相关性; 伴随海拔高度的提升, 外来入侵植物的种类逐渐减少(图2)。

3 讨论

3.1 外来入侵植物种类及危害特征

川藏铁路(雅安-昌都段)沿线入侵植物以陆生草本的菊科、豆科、苋科和禾本科植物为主, 这些植物具有超强的繁殖能力和适应性, 比较容易占领空地和排挤本地植物种类而成为主要外来入侵类群。从入侵植物区系起源来看, 世界分布类型起源的物种具有广泛的气候适应能力, 无论从科级水平还是属级水平都占据最高的比例。从原产地信息来看, 该区域外来入侵植物多数起源于美洲, 这与我国其他地区入侵植物的研究结论一致(徐海根等, 2004; 鞠建文等, 2011; 闫小玲等, 2014; 蒋奥林等, 2017, 2018; 石青等, 2017; 严靖等, 2017; 杨小艳等, 2017), 表明来自美洲的植物种类能在我国找到广泛适生区, 并有可能表现出入侵性。本调查区域内, 外来入侵植物危害等级属于第1级至第3级的种类具有明显入侵性, 共34种, 占总数的56.67%, 表明这一区域外来物种的入侵风险不容小觑, 应引起高度重视。就外来入侵植物在区域内的分布频度而言, 鬼针草、牛膝菊及秋英分布频度最高, 前两种植物在国内大部分地区均表现出很强的入侵性; 秋英在

青藏高原地区也被称作“格桑花”, 具有深远的文化意义, 在高海拔地区被广泛传播, 局部成灾, 在今后的生产及生活中应多加控制。

3.2 地理分布格局和扩散趋势

基于横断山区主要河流对高原陆地由东向西的自然切割分段, 可将本文调查区域依次划分为青衣江-大渡河段、大渡河-雅砻江段、雅砻江-金沙江段及金沙江-澜沧江段, 整个区段由青藏高原的第二级阶梯深入到第三级阶梯腹地(蒋捷和杨昕, 2009) (图1)。按主要河流划分, 铁路沿线各区段内调查到的外来入侵植物种类由东至西随着地形阶梯的跃进, 物种数量呈现明显的递减趋势(45-36-5-0)。其中雅砻江段的阻隔作用最为突出, 可能原因是青衣江-雅砻江区域自古以来较为频繁的人类活动, 为部分外来入侵植物提供了“搭便车服务”。此外, 由于河流的纵向深切, 该区域在局部沟谷地带带有适宜的小气候供外来入侵植物繁殖生长, 而在越过雅砻江进入高原腹地后, 气候环境加剧恶化, 适宜生境消失殆尽, 所以雅砻江至澜沧江段就成了大多数外来入侵植物的“生命禁区”。

由图2可知, 铁路沿线外来入侵植物种类分布与海拔呈现明显的负相关性。由于高原台面的快速隆升及横断山区南北走向的河流的地理阻隔, 多数外来入侵植物被有效阻隔在青衣江至雅砻江段海拔3,200 m以下的区域。本次调查中发现海拔3,200 m以上仍有分布记录的外来入侵植物仅7种, 分别是秋英、牛膝菊、欧洲千里光(*Senecio vulgaris*)、白车轴草(*Trifolium repens*)、黑麦草(*Lolium perenne*)、野燕麦(*Avena fatua*)及两色金鸡菊(*Coreopsis tinctoria*) (附录1)。它们的引入途径可分为以下几种情况: 牛膝菊、欧洲千里光和野燕麦属于杂草, 为无意引入, 可能是伴随当地农牧生产与城镇建设等活动而传播; 黑麦草和白车轴草作为高原牧草有意引入; 秋英和两色金鸡菊均作为高原地区景观植物有意引入。由上可知, 3,200 m的海拔高度可粗略视为该区域大部分外来入侵植物分布的上限, 很难有外来入侵植物仅通过自然传播的方式能入侵更高的海拔区域。

从入侵生境来看, 外来入侵植物种类出现最多的是天全县始阳镇样点, 其生境类型为城郊荒地, 其次是天全县两路乡与泸定县泸桥镇样点, 二者生境类型均为村落; 而林缘、湿地等原始生境类

型入侵种类相对较少(附录1)。在本次调查范围内,城郊荒地、村落周围是入侵植物种类最丰富的区域,这符合外来入侵植物的入侵特性,即在一定自然条件下,人为干扰因子越复杂、干扰程度越强,遭受外来植物入侵的风险越高,外来植物的危害程度也越大。

综上所述,入侵植物的种类数量呈现出由东向西、由低海拔向高海拔逐渐递减的趋势。从大空间尺度来看,入侵植物的分布格局是环境因子和人类活动共同作用的结果,而从小尺度上看,人类活动是影响外来入侵种分布和扩散的主要因素。

3.3 铁路建设对当地外来入侵植物的影响及应对策略

道路交通建设在促进城市化和地区经济发展的同时也给生态系统带来不利影响(王辰星等, 2020)。铁路建设对外来入侵植物的影响主要表现在铁路建设过程中和建成运行两个时期。铁路工程施工建设期间对原生植被的干扰和破坏是比较大的,沿线造成的栖息地破坏和形成的裸地可能成为外来物种的入侵通道,特别是那些生活史较短、种子量大且扩散繁殖快的一年生草本植物,将有可能给当地的生态安全 and 经济造成严重危害。运营过程中频繁的交通运输增加了外来入侵植物种子或其他繁殖体的扩散机会,极易造成一些具有较强生态适应性的物种(如牛膝菊、鬼针草)迅速入侵沿线空旷生境和局部气候适宜地区(如高原腹地较低海拔的干热河谷地带),影响到当地的自然生态安全、区域经济发展和人类健康。此外,铁路的建设和运行必然会带动沿线地区的经济发展和人员聚集,将在一定程度上加大人类活动对生态系统的影响,使外来物种入侵更容易发生。

川藏铁路工程区是全球生物多样性保护热点及关键区域之一,也是我国不可替代的国家生态安全屏障区。虽然外来植物需要经历“传播-定居-建群-扩散-侵占”等一系列过程而最终暴发造成危害,但它们的扩散是非常迅速的。因此,加强入侵前的预防比入侵后的控制会更有效且代价更小。防范应对建议主要包括以下几个方面:(1)在线路设计、临时用地选址和施工过程中应尽量避免和减少对土壤和原生植被的破坏,并及时对施工迹地进行恢复,减少外来入侵植物赖以生存的生境;(2)加强铁路运输过程中外来物种的监管,降低无意引入的概率;

(3)对铁路沿线的土壤、植被等生境改变敏感环节开展长期、定时、定点的观测与监控,提高预警意识;(4)建立外来入侵植物风险评价体系,为制定管理策略和相关政策等提供依据;(5)加强科普教育,培养群众对外来入侵植物的辨识能力,宣讲外来入侵植物对社会经济、生态系统、人类健康等的危害,进而减少和避免外来入侵植物的人为传播途径。

参考文献

- Alexander JM, Lembrechts JJ, Cavieres LA, Daehler C, Haider S, Kueffer C, Liu G, McDougall K, Milbau A, Pauchard A, Rew LJ, Seipel T (2016) Plant invasions into mountains and alpine ecosystems: Current status and future challenges. *Alpine Botany*, 126, 89–103.
- Geleduoji (2019) The construction of the regional central city in the construction of the Sichuan-Tibet Railway. *Contemporary County Economy*, 8(1), 54–55. (in Chinese) [格勒多吉 (2019) 以川藏铁路建设培塑区域中心城市. 当代县域经济, 8(1), 54–55.]
- Huang YL, Deng JQ, Zhang HW (2015) Schematic study on limiting gradient of Chengdu-Lhasa Railway. *High Speed Railway Technology*, 6(3), 97–101. (in Chinese with English abstract) [黄艳磊, 邓军桥, 张红伟 (2015) 川藏铁路限制坡度方案研究. 高速铁路技术, 6(3), 97–101.]
- He TP, Li YM, Lu SF, Liu XX, Wen XF, Tang ZG, Chen Y, Luo Q (2011) Investigation and study on the alien invasive plants along Nan-You Expressway of Guangxi. *Guangxi Forestry Science*, 40, 277–280. (in Chinese with English abstract) [和太平, 李玉梅, 陆山风, 刘晓星, 文祥凤, 唐忠国, 陈燕, 罗清 (2011) 广西南友高速公路路域外来入侵植物调查研究. 广西林业科学, 40, 277–280.]
- Jiang AL, Zhu SS, Chen YQ, Guo XM, Wang RJ (2018) Alien invasive plants in Hong Kong, China. *Guihaia*, 38, 289–298. (in Chinese with English abstract) [蒋奥林, 朱双双, 陈雨晴, 郭晓明, 王瑞江 (2018) 中国香港外来入侵植物. 广西植物, 38, 289–298.]
- Jiang AL, Zhu SS, Li XY, Chen YQ, Guo XM, Li SY, Wang FG, Wang RJ (2017) Dynamic changes in alien invasive plants in Guangzhou during 2008–2016. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 25, 288–298. (in Chinese with English abstract) [蒋奥林, 朱双双, 李晓瑜, 陈雨晴, 郭晓明, 李仕裕, 王发国, 王瑞江 (2017) 2008–2016年间广州市外来入侵植物的变化分析. 热带亚热带植物学报, 25, 288–298.]
- Jiang J, Yang X (2009) Quantitative segmentation of the three gradient terrain of China based on DEM. *Geomatics World*, 7(1), 8–13. (in Chinese with English abstract) [蒋捷, 杨昕 (2009) 基于DEM中国地势三大阶梯定量划分. 地理信息世界, 7(1), 8–13.]
- Ju JG, Wang N, Guo YJ, Zhou XJ, Wu XX (2011) Current situation analysis of invasive plant in Jiangxi Province.

Journal of Jinggangshan University (Natural Science), 32(1), 126–130. (in Chinese with English abstract) [鞠建文, 王宁, 郭永久, 周小军, 吴星星 (2011) 江西省外来入侵植物现状分析. 井冈山大学学报(自然科学版), 32(1), 126–130.]

Liu ZX, Zeng YP, Zhou S, Yu K (2017) Research and implementation of canyon wind characteristics monitoring system along Sichuan-Tibet Railway. High Speed Railway Technology, 8(2), 29–34. (in Chinese with English abstract) [刘孜学, 曾永平, 周帅, 虞凯 (2017) 川藏铁路峡谷风特性监测系统的方案研究及实现高速. 高速铁路技术, 8(2), 29–34.]

Nel JL, Richardson DM, Rouget M, Mgidi TN, Mdzeke N, Le Maitre DC, van Wilgen BW, Schonegevel L, Henderson L, Naser S (2004) A proposed classification of invasive alien plant species in South Africa: Towards prioritizing species and areas for management action. South African Journal of Science, 100, 53–64.

Peng SL, Xiang YC (1999) The invasion of exotic plants and effects of ecosystems. Acta Ecologica Sinica, 19, 560–568. (in Chinese with English abstract) [彭少麟, 向言词 (1999) 植物外来种入侵及其对生态系统的影响. 生态学报, 19, 560–568.]

Sellersberg I (1998) Ecological effects of roads and traffic: A literature review. Global Ecology and Biogeography, 7, 317–333.

Shi Q, Chen X, Luo XJ, Chen FX, Ren XH (2017) Investigation and analysis on alien invasive plants in Beijing, Tianjin, and Hebei Province. Journal of Biosafety, 26, 215–223. (in Chinese with English abstract) [石青, 陈雪, 罗雪晶, 陈凤新, 任晓鸿 (2017) 京津冀外来入侵植物的种类调查与分析. 生物安全学报, 26, 215–223.]

Tu MZ, Zhang ZX, Dai WW (2016) The impact of mountain highway construction on forest ecological environment along the route. Journal of Yibin University, 16(6), 108–111. (in Chinese with English abstract) [涂美珍, 张正雄, 戴伟文 (2016) 山区公路建设对沿线森林生态环境的影响. 宜宾学院学报, 16(6), 108–111.]

Wang CX, Xu S, Zhang TH, Zhang XR, Wu G (2020) Relationship analysis on road network expansion and ecological environmental pressure change: Case study of Xiamen. Acta Ecologica Sinica, 40(2), 1–5. (in Chinese with English abstract) [王辰星, 徐舒, 张天海, 张小瑞, 吴钢 (2020) 路网扩张与生态环境压力变化的关系研究——以厦门市为例. 生态学报, 40(2), 1–5.]

Wang ZQ, Gao JZ (2012) Investigation on alien invasive plants in Henan Expressway. Soil and Water Conservation in China, (12), 47–49. (in Chinese) [王增琪, 高均昭 (2012) 河南高速公路中的外来入侵植物调查. 中国水土保持, (12), 47–49.]

Wu ZY (1991) Areal-types of the Chinese genera seeds plants. Acta Botanica Yunnanica, 13(S4), 1–139. (in Chinese with English abstract) [吴征镒 (1991) 中国种子植物属的分布区类型. 云南植物研究, 13(S4), 1–139.]

Wu ZY, Sun H, Zhou ZK, Li DZ, Peng H (2011) Floristics of Seed Plants from China. Science Press, Beijing. (in Chinese) [吴征镒, 孙航, 周浙昆, 李德珠, 彭华 (2011) 中国种子植物区系地理. 科学出版社, 北京.]

Wu ZY, Zhou ZK, Li DZ, Peng H, Sun H (2003) The areal-types of the world families of seed plants. Acta Botanica Yunnanica, 25, 245–257. (in Chinese with English abstract) [吴征镒, 周浙昆, 李德珠, 彭华, 孙航 (2003) 世界种子植物科的分布类型系统. 云南植物研究, 25, 245–257.]

Xing Y, Ree RH (2017) Uplift-driven diversification in the Hengduan Mountains, a temperate biodiversity hotspot. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA, 114, E3444–E3451.

Xu HG, Qiang S, Han ZM, Guo JY, Huang ZG, Sun HY, He SP, Ding H, Wu HR, Wan FH (2004) The distribution and introduction pathway of alien invasive species in China. Biodiversity Science, 12, 626–638. (in Chinese with English abstract) [徐海根, 强胜, 韩正敏, 郭建英, 黄宗国, 孙红英, 何舜平, 丁晖, 吴海荣, 万方浩 (2004) 中国外来入侵物种的分布与传入路径分析. 生物多样性, 12, 626–638.]

Yan J, Yan XL, Wang ZH, Li HR, Ma JS (2017) Distribution pattern and rating of alien invasive plants in Anhui Province. Plant Science Journal, 35, 679–690. (in Chinese with English abstract) [严靖, 闫小玲, 王樟华, 李惠茹, 马金双 (2017) 安徽省外来入侵植物的分布格局及其等级划分. 植物科学学报, 35, 679–690.]

Yan XL, Liu QR, Shou HY, Zeng XF, Zhang Y, Chen L, Liu Y, Ma HY, Qi SY, Ma JS (2014) The categorization and analysis on the geographic distribution patterns of Chinese alien invasive plants. Biodiversity Science, 22, 667–676. (in Chinese with English abstract) [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 (2014) 中国外来入侵植物的等级划分与地理分布格局分析. 生物多样性, 22, 667–676.]

Yang CL, Luo J, Lan JJ (2018) Index system for risk assessment of alien plant invasion in Nyingchi, Tibet Autonomous Region, China. Journal of Plateau Agriculture, (2), 167–175. (in Chinese with English abstract) [杨春蕾, 罗建, 拦继酒 (2018) 西藏林芝市外来植物入侵风险评估指标体系. 高原农业, (2), 167–175.]

Yang L, Li JR, Cao J, Cang-Jue ZM, Li LX (2016) A brief analysis of risk of invasive species caused by the Tibetan Plateau railway construction. The Administration and Technique of Environmental Monitoring, 28(3), 61–64. (in Chinese with English abstract) [杨乐, 李继荣, 曹建, 仓决卓玛, 李来兴 (2016) 浅析青藏高原铁路建设的外来物种入侵风险. 环境监测管理和技术, 28(3), 61–64.]

Yang XY, Deng HP, Guo J, Huang LY (2017) Risk assessment of alien invasive plants in the Jinyun-Mountain National Nature Reserve and countermeasures for their prevent and control. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 39(7), 57–63. (in Chinese with English abstract)

- [杨小艳, 邓洪平, 郭金, 黄龙仪 (2017) 缙云山国家级自然保护区入侵植物风险评估及防控对策研究. 西南大学学报(自然科学版), 39(7), 57–63.]
- Yang YP, Meng JB, Han LW, Li Y, Cai HC, Zhu ZR (2018) The response of the permafrost to the global climate change in the Qinghai-Tibet railway project corridor. *Chinese Railway Science*, 39(1), 1–7. (in Chinese with English abstract) [杨永鹏, 孟进宝, 韩龙武, 李勇, 蔡汉成, 朱兆荣 (2018) 青藏铁路工程走廊多年冻土对全球气候变化的响应. 中国铁道科学, 39(1), 1–7.]
- Zhang DC, Boufford DE, Ree RH, Sun H (2009) The 29° N latitudinal line: An important division in the Hengduan Mountains, a biodiversity hotspot in Southwest China. *Nordic Journal of Botany*, 27, 405–412.
- Zhang L, Qiu XY, Tu YL, Wen XM, Luo J (2018) Three alien species and one new record of wild species in Tibet. *Journal of Plant Resources and Environment*, 27(4), 113–114. (in Chinese with English abstract) [张丽, 仇晓玉, 土艳丽, 文雪梅, 罗建 (2018) 西藏外来植物3种及野生植物新记录1种. 植物资源与环境学报, 27(4), 113–114.]
- Zheng JM, Xu M, Sun Y, Wan HL, Liang TJ (2011) Comparison of roadside alien plant composition inside and outside Lushan Nature Reserve, Jiangxi Province. *Journal of Beijing Forestry University*, 33(3), 51–56. (in Chinese with English abstract) [郑景明, 徐满, 孙燕, 万慧霖, 梁同军 (2011) 庐山自然保护区内外公路路缘外来植物组成对比. 北京林业大学学报, 33(3), 51–56.]
- (责任编辑: 丁建清 责任编辑: 黄祥忠)

附录 Supplementary Material

附录1 新建川藏铁路(雅安-昌都段)沿线43条样线的基本信息及调查结果

Appendix 1 Basic information and investigate results of 43 line transects along the new Sichuan-Tibet Railway (Ya'an to Changdu section)

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2020018-1.pdf>

邓亨宁, 鞠文彬, 高云东, 张君议, 李诗琦, 高信芬, 徐波 (2020) 新建川藏铁路(雅安–昌都段)沿线外来入侵植物种类及分布特征. 生物多样性, 28, 1174–1181.
<http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2020018>

附录1 新建川藏铁路(雅安–昌都段)沿线43条样线的基本信息及调查结果

Appendix 1 Basic information and investigate results of 43 line transects along the new Sichuan-Tibet Railway (Ya'an to Changdu section)

地理位置	海拔	生境	物种数	物种
Geographical position	Altitude (m)	Habitat	No. of species	Species
雅安段 Ya'an section				
青衣江至大渡河段 Qingyi River to Dadu River section				
雅安市北郊镇	591–598	城郊荒地	7	小飞蓬 <i>Erigeron canadensis</i> , 喜旱莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i> , 鬼针草 <i>Bidens pilosa</i> , 棕叶狗尾草 <i>Setaria palmifolia</i> , 野燕麦 <i>Avena fatua</i> , 香丝草 <i>Conyza bonariensis</i> , 鳢肠 <i>Eclipta prostrata</i>
雅安市北郊镇	630–652	村落旁	5	小飞蓬 <i>Erigeron canadensis</i> , 喜旱莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i> , 鬼针草 <i>Bidens pilosa</i> , 棕叶狗尾草 <i>Setaria palmifolia</i> , 香丝草 <i>Conyza bonariensis</i>
雅安市北郊镇	613–640	村落旁	11	苏门白酒草 <i>Erigeron sumatrensis</i> , 牛膝菊 <i>Galinsoga parviflora</i> , 喜旱莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i> , 鬼针草 <i>Bidens pilosa</i> , 落葵薯 <i>Anredera cordifolia</i> , 棕叶狗尾草 <i>Setaria palmifolia</i> , 野苘蒿 <i>Crassocephalum crepidioides</i> , 香丝草 <i>Conyza bonariensis</i> , 喀西茄 <i>Solanum aculeatissimum</i> , 土人参 <i>Talinum paniculatum</i> , 桉 <i>Eucalyptus robusta</i>
天全县始阳镇	646–657	城郊荒地	12	苏门白酒草 <i>Erigeron sumatrensis</i> , 老鸦谷 <i>Amaranthus cruentus</i> , 小飞蓬 <i>Erigeron canadensis</i> , 牛膝菊 <i>Galinsoga parviflora</i> , 喜旱莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i> , 鬼针草 <i>Bidens pilosa</i> , 白车轴草 <i>Trifolium repens</i> , 圆叶牵牛 <i>Ipomoea purpurea</i> , 野苘蒿 <i>Crassocephalum crepidioides</i> , 香丝草 <i>Conyza bonariensis</i> , 垂序商陆 <i>Phytolacca americana</i> , 凹头苋 <i>Amaranthus blitum</i>
天全县始阳镇	639–646	城郊荒地	19	苏门白酒草 <i>Erigeron sumatrensis</i> , 老鸦谷 <i>Amaranthus cruentus</i> , 小飞蓬 <i>Erigeron canadensis</i> , 绿穗苋 <i>Amaranthus hybridus</i> , 牛膝菊 <i>Galinsoga parviflora</i> , 钻叶紫菀 <i>Aster subulatus</i> , 喜旱莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i> , 鬼针草 <i>Bidens pilosa</i> , 假酸浆 <i>Nicandra physalodes</i> , 白车轴草 <i>Trifolium repens</i> , 紫茉莉 <i>Mirabilis jalapa</i> , 一串红 <i>Salvia splendens</i> , 百日菊 <i>Zinnia elegans</i> , 落葵薯 <i>Anredera cordifolia</i> , 棕叶狗尾草 <i>Setaria palmifolia</i> , 圆叶牵牛 <i>Ipomoea purpurea</i> , 秋英 <i>Cosmos bipinnatus</i> , 苦苣菜 <i>Sonchus oleraceus</i> , 香丝草 <i>Conyza bonariensis</i>
天全县飞仙关镇	667–678	城郊荒地	8	小飞蓬 <i>Erigeron canadensis</i> , 牛膝菊 <i>Galinsoga parviflora</i> , 喜旱莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i> , 鬼针草 <i>Bidens pilosa</i> , 落葵薯 <i>Anredera cordifolia</i> , 野苘蒿 <i>Crassocephalum crepidioides</i> , 香丝草 <i>Conyza bonariensis</i> , 垂序商陆 <i>Phytolacca americana</i>
天全县两路乡	1,309–1,464	沟谷林缘	4	白车轴草 <i>Trifolium repens</i> , 牵牛 <i>Ipomoea nil</i> , 一年蓬 <i>Erigeron annuus</i> , 野苘蒿 <i>Crassocephalum crepidioides</i>
天全县飞仙关镇	636–647	城郊荒地	11	苏门白酒草 <i>Erigeron sumatrensis</i> , 绿穗苋 <i>Amaranthus hybridus</i> , 苋 <i>Amaranthus tricolor</i> , 鬼针草 <i>Bidens pilosa</i> , 落葵薯 <i>Anredera cordifolia</i> , 棕叶狗尾草 <i>Setaria palmifolia</i> , 圆叶牵牛 <i>Ipomoea purpurea</i> , 野苘蒿 <i>Crassocephalum crepidioides</i> , 香丝草 <i>Conyza bonariensis</i> , 落葵 <i>Basella alba</i> , 垂序商陆 <i>Phytolacca americana</i>
天全县紫石乡	1,090–1,135	沟谷林缘	11	苏门白酒草 <i>Erigeron sumatrensis</i> , 小飞蓬 <i>Erigeron canadensis</i> , 牛膝菊 <i>Galinsoga parviflora</i> , 钻叶紫菀 <i>Aster subulatus</i> , 鬼针草 <i>Bidens pilosa</i> , 棕叶狗尾草 <i>Setaria palmifolia</i> , 一年蓬 <i>Erigeron annuus</i> , 野苘蒿 <i>Crassocephalum crepidioides</i> , 香丝草 <i>Conyza bonariensis</i> , 垂序商陆 <i>Phytolacca americana</i> , 大麻 <i>Cannabis sativa</i>
天全县两路乡	1,428–1,432	城郊荒地	8	牛膝菊 <i>Galinsoga parviflora</i> , 鬼针草 <i>Bidens pilosa</i> , 白车轴草 <i>Trifolium repens</i> , 秋英 <i>Cosmos bipinnatus</i> , 欧洲千里光 <i>Senecio vulgaris</i> , 一年蓬 <i>Erigeron annuus</i> , 香丝草 <i>Conyza bonariensis</i> , 扁穗雀麦 <i>Bromus catharticus</i>
天全县两路乡	1,450–1,469	村落旁	15	苏门白酒草 <i>Erigeron sumatrensis</i> , 牛膝菊 <i>Galinsoga parviflora</i> , 钻叶紫菀 <i>Aster subulatus</i> , 喜旱莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i> , 鬼针草 <i>Bidens pilosa</i> , 白车轴草 <i>Trifolium repens</i> , 红车轴草 <i>Trifolium pratense</i> , 牵牛 <i>Ipomoea nil</i> , 欧洲千里光 <i>Senecio vulgaris</i> , 一年蓬 <i>Erigeron annuus</i> , 花叶滇苦菜 <i>Sonchus asper</i> , 长柔毛野豌豆 <i>Vicia villosa</i> , 药用蒲公英 <i>Taraxacum officinale</i> , 杖藜 <i>Chenopodium giganteum</i> , 阿拉伯婆婆纳 <i>Veronica persica</i>

邓亨宁, 鞠文彬, 高云东, 张君议, 李诗琦, 高信芬, 徐波 (2020) 新建川藏铁路(雅安–昌都段)沿线外来入侵植物种类及分布特征. 生物多样性, 28, 1174–1181.

<http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2020018>

地理位置 Geographical position	海拔 Altitude (m)	生境 Habitat	物种数 No. of species	物种 Species
天全县多营镇	763–768	村落旁	7	小飞蓬 <i>Erigeron canadensis</i> , 牛膝菊 <i>Galinsoga parviflora</i> , 鬼针草 <i>Bidens pilosa</i> , 棕叶狗尾草 <i>Setaria palmifolia</i> , 土荆芥 <i>Dysphania ambrosioides</i> , 野苘蒿 <i>Crassocephalum crepidioides</i> , 香丝草 <i>Conyza bonariensis</i>
天全县飞仙关镇	620–628	河滩耕地	11	小飞蓬 <i>Erigeron canadensis</i> , 牛膝菊 <i>Galinsoga parviflora</i> , 钻叶紫菀 <i>Aster subulatus</i> , 喜旱莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i> , 鬼针草 <i>Bidens pilosa</i> , 秋英 <i>Cosmos bipinnatus</i> , 一年蓬 <i>Erigeron annuus</i> , 白花草木犀 <i>Melilotus albus</i> , 苦苣菜 <i>Sonchus oleraceus</i> , 两色金鸡菊 <i>Coreopsis tinctoria</i> , 大狼把草 <i>Bidens frondosa</i>
天全县鱼泉乡	1,175–1,198	沟谷林缘	3	小飞蓬 <i>Erigeron canadensis</i> , 牛膝菊 <i>Galinsoga parviflora</i> , 垂序商陆 <i>Phytolacca americana</i>
天全县紫石乡	1,094–1,128	河滩	11	苏门白酒草 <i>Erigeron sumatrensis</i> , 小飞蓬 <i>Erigeron canadensis</i> , 绿穗苋 <i>Amaranthus hybridus</i> , 牛膝菊 <i>Galinsoga parviflora</i> , 钻叶紫菀 <i>Aster subulatus</i> , 一串红 <i>Salvia splendens</i> , 花叶滇苦菜 <i>Sonchus asper</i> , 落葵 <i>Basella alba</i> , 毛花雀稗 <i>Paspalum dilatatum</i> , 大麻 <i>Cannabis sativa</i> , 凹头苋 <i>Amaranthus blitum</i>
天全县紫石乡	1,260–1,282	沟谷林缘	4	牛膝菊 <i>Galinsoga parviflora</i> , 一年蓬 <i>Erigeron annuus</i> , 野苘蒿 <i>Crassocephalum crepidioides</i> , 扁穗雀麦 <i>Bromus catharticus</i>
甘孜段 Ganzi section				
大渡河至雅砻江段 Dadu River to Yalong River section				
泸定县泸桥镇	1,694–1,701	村落旁	15	小飞蓬 <i>Erigeron canadensis</i> , 牛膝菊 <i>Galinsoga parviflora</i> , 钻叶紫菀 <i>Aster subulatus</i> , 鬼针草 <i>Bidens pilosa</i> , 白车轴草 <i>Trifolium repens</i> , 圆叶牵牛 <i>Ipomoea purpurea</i> , 欧洲千里光 <i>Senecio vulgaris</i> , 一年蓬 <i>Erigeron annuus</i> , 苦苣菜 <i>Sonchus oleraceus</i> , 南苜蓿 <i>Medicago polymorpha</i> , 土荆芥 <i>Dysphania ambrosioides</i> , 野苘蒿 <i>Crassocephalum crepidioides</i> , 花叶滇苦菜 <i>Sonchus asper</i> , 紫苜蓿 <i>Medicago sativa</i> , 毛花雀稗 <i>Paspalum dilatatum</i>
泸定县泸桥镇	1,554–1,591	河岸	12	小飞蓬 <i>Erigeron canadensis</i> , 牛膝菊 <i>Galinsoga parviflora</i> , 钻叶紫菀 <i>Aster subulatus</i> , 鬼针草 <i>Bidens pilosa</i> , 圆叶牵牛 <i>Ipomoea purpurea</i> , 一年蓬 <i>Erigeron annuus</i> , 曼陀罗 <i>Datura stramonium</i> , 苦苣菜 <i>Sonchus oleraceus</i> , 野苘蒿 <i>Crassocephalum crepidioides</i> , 香丝草 <i>Conyza bonariensis</i> , 喀西茄 <i>Solanum aculeatissimum</i> , 婆婆针 <i>Bidens bipinnata</i>
泸定县烹坝乡	1,647–1,696	村落旁	14	牛膝菊 <i>Galinsoga parviflora</i> , 白车轴草 <i>Trifolium repens</i> , 棕叶狗尾草 <i>Setaria palmifolia</i> , 圆叶牵牛 <i>Ipomoea purpurea</i> , 一年蓬 <i>Erigeron annuus</i> , 白花草木犀 <i>Melilotus albus</i> , 曼陀罗 <i>Datura stramonium</i> , 千穗谷 <i>Amaranthus hypochondriacus</i> , 苦苣菜 <i>Sonchus oleraceus</i> , 野苘蒿 <i>Crassocephalum crepidioides</i> , 梨果仙人掌 <i>Opuntia ficus-indica</i> , 落葵 <i>Basella alba</i> , 刺花莲子草 <i>Alternanthera pungens</i> , 聚合草 <i>Symphytum officinale</i>
泸定县烹坝乡	1,786–1,924	沟谷林缘	7	老鸦谷 <i>Amaranthus cruentus</i> 鬼针草 <i>Bidens pilosa</i> , 一年蓬 <i>Erigeron annuus</i> , 白花草木犀 <i>Melilotus albus</i> , 南苜蓿 <i>Medicago polymorpha</i> , 紫苜蓿 <i>Medicago sativa</i> , 喀西茄 <i>Solanum aculeatissimum</i>
定市炉城镇	3,198–3,227	村落旁	7	牛膝菊 <i>Galinsoga parviflora</i> , 白车轴草 <i>Trifolium repens</i> , 红车轴草 <i>Trifolium pratense</i> , 秋英 <i>Cosmos bipinnatus</i> , 欧洲千里光 <i>Senecio vulgaris</i> , 一年蓬 <i>Erigeron annuus</i> , 白花草木犀 <i>Melilotus albus</i>
康定市炉城镇	3,552–3,617	路旁	3	白车轴草 <i>Trifolium repens</i> , 秋英 <i>Cosmos bipinnatus</i> , 欧洲千里光 <i>Senecio vulgaris</i>
康定市炉城镇	2,352–2,365	路旁	7	牛膝菊 <i>Galinsoga parviflora</i> , 白车轴草 <i>Trifolium repens</i> , 红车轴草 <i>Trifolium pratense</i> , 秋英 <i>Cosmos bipinnatus</i> , 欧洲千里光 <i>Senecio vulgaris</i> , 野燕麦 <i>Avena fatua</i> , 苦苣菜 <i>Sonchus oleraceus</i>
康定市瓦泽乡	4,050–4,087	路旁	0	
康定市瓦泽乡	3,697–3,723	高原湿地	0	
康定市新都桥镇	3,445–3,449	城郊荒地	6	牛膝菊 <i>Galinsoga parviflora</i> , 白车轴草 <i>Trifolium repens</i> , 秋英 <i>Cosmos bipinnatus</i> , 欧洲千里光 <i>Senecio vulgaris</i> , 两色金鸡菊 <i>Coreopsis tinctoria</i> , 黑麦草 <i>Lolium perenne</i>

邓亨宁, 鞠文彬, 高云东, 张君议, 李诗琦, 高信芬, 徐波 (2020) 新建川藏铁路(雅安-昌都段)沿线外来入侵植物种类及分布特征. 生物多样性, 28, 1174–1181.

<http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2020018>

地理位置	海拔	生境	物种数	物种
Geographical position	Altitude (m)	Habitat	No. of species	Species
雅江县呷拉镇	2,727–2,768	村落旁	9	老鸦谷 <i>Amaranthus cruentus</i> 牛膝菊 <i>Galinsoga parviflora</i> , 百日菊 <i>Zinnia elegans</i> , 圆叶牵牛 <i>Ipomoea purpurea</i> , 秋英 <i>Cosmos bipinnatus</i> , 曼陀罗 <i>Datura stramonium</i> , 万寿菊 <i>Tagetes erecta</i> , 千穗谷 <i>Amaranthus hypochondriacus</i> , 野燕麦 <i>Avena fatua</i>
雅江县呷拉镇	2,672–2,691	村落旁	7	牛膝菊 <i>Galinsoga parviflora</i> , 假酸浆 <i>Nicandra physalodes</i> , 白车轴草 <i>Trifolium repens</i> , 秋英 <i>Cosmos bipinnatus</i> , 曼陀罗 <i>Datura stramonium</i> , 野燕麦 <i>Avena fatua</i> , 野西瓜苗 <i>Hibiscus trionum</i>
雅江县八角楼乡	2,819–2,924	村落旁	7	牛膝菊 <i>Galinsoga parviflora</i> , 百日菊 <i>Zinnia elegans</i> , 秋英 <i>Cosmos bipinnatus</i> , 曼陀罗 <i>Datura stramonium</i> , 两色金鸡菊 <i>Coreopsis tinctoria</i> , 剑叶金鸡菊 <i>Coreopsis lanceolata</i> , 草木犀 <i>Melilotus officinalis</i>
雅江县河口镇	2,665–2,717	路旁	5	百日菊 <i>Zinnia elegans</i> , 秋英 <i>Cosmos bipinnatus</i> , 白花草木犀 <i>Melilotus albus</i> , 曼陀罗 <i>Datura stramonium</i> , 两色金鸡菊 <i>Coreopsis tinctoria</i>
雅砻江至金沙江 Yalong River to Jinsha River section				
理塘县城郊	4036–4075	路旁	1	秋英 <i>Cosmos bipinnatus</i>
理塘县城内	3939–3946	城市绿地	2	秋英 <i>Cosmos bipinnatus</i> , 欧洲千里光 <i>Senecio vulgaris</i>
理塘县奔戈乡	4013–4029	路旁	2	秋英 <i>Cosmos bipinnatus</i> , 野燕麦 <i>Avena fatua</i>
理塘县奔戈乡	3962–3974	村落旁	3	秋英 <i>Cosmos bipinnatus</i> , 欧洲千里光 <i>Senecio vulgaris</i> , 野燕麦 <i>Avena fatua</i>
理塘县禾尼乡	4156–4168	路旁	2	秋英 <i>Cosmos bipinnatus</i> , 野燕麦 <i>Avena fatua</i>
巴塘县莫多乡	2779–2786	村落旁	0	
巴塘县竹巴龙乡	2528–2570	路旁	2	曼陀罗 <i>Datura stramonium</i> , 刺花莲子草 <i>Alternanthera pungens</i>
巴塘县德达乡	3680–3729	河滩耕地	0	
昌都段 Changdu section				
金沙江至澜沧江 Jinsha River to Lanchang River section				
昌都市卡若镇	3,190–3,216	路旁	0	
贡觉县哈加乡	3,652–3,686	村落旁	0	
贡觉县莫洛镇	3,752–3,768	村落旁	0	
察雅县扩达乡	4,123–4,179	河滩	0	
察雅县王卡乡	3,840–3,887	河滩耕地	0	