•研究报告•

贵州典型自然保护区内外外来入侵草本植物的比较

郭朝丹^{ID}, 朱金方^{ID}, 柳晓燕, 赵彩云^{ID*}, 李俊生

中国环境科学研究院生态研究所, 北京 100012

摘要: 自然保护区是抵御外来物种入侵的重要屏障, 然而人类活动可能增加外来入侵物种扩散的风险, 导致自然保护区面临不同程度的入侵。为了对比研究自然保护区内外以及不同保护区之间外来入侵草本植物的分布格局及其与人类活动的关系, 本文基于贵州省四个国家级自然保护区(赤水桫欏、习水、梵净山和麻阳河) 380个样方的调查数据, 运用双因素方差分析和非度量多维标度分析方法分析了保护区内外的外来入侵草本植物多样性和物种组成差异, 并利用冗余分析探讨了影响不同保护区内外外来入侵草本植物分布的关键人类活动因子。赤水桫欏、习水、梵净山和麻阳河4个保护区共调查发现外来入侵草本植物46种, 隶属于18科37属, 其中, 4个保护区内分别有16、18、7和20种, 保护区外分别有17、10、24和20种。赤水桫欏和梵净山保护区外的外来入侵草本植物丰富度、Shannon-Wiener多样性指数和Simpson优势度指数显著高于保护区内, 而习水和麻阳河保护区内外差异不显著。梵净山保护区内的Pielou均匀度指数显著高于保护区外, 其余保护区内外差异不显著。四个保护区内外的外来入侵草本植物物种组成无明显差异。保护区内的居民量和道路长度是影响保护区内外外来入侵草本植物分布格局差异的主要原因。研究结果表明, 不同保护区对外来草本植物入侵的抵御能力不同, 而人类活动程度的差异是导致其不同的原因之一。建议加强自然保护区内及周边区域人类活动管控, 减缓外来入侵植物的扩散。

关键词: 自然保护区; 外来入侵植物; 物种多样性; 人类干扰

郭朝丹, 朱金方, 柳晓燕, 赵彩云, 李俊生 (2021) 贵州典型自然保护区内外外来入侵草本植物的比较. 生物多样性, 29, 596–604. doi: 10.17520/biods.2020292.

Guo CD, Zhu JF, Liu XY, Zhao CY, Li JS (2021) Contrasting biodiversity of invasive herbs inside and outside nature reserves in Guizhou. Biodiversity Science, 29, 596–604. doi: 10.17520/biods.2020292.

Contrasting biodiversity of invasive herbs inside and outside nature reserves in Guizhou

Chaodan Guo^{ID}, Jinfang Zhu^{ID}, Xiaoyan Liu, Caiyun Zhao^{ID*}, Junsheng Li

Institute of Ecology, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012

ABSTRACT

Aims: Nature reserves are important barriers against invasive species. Human activities, however, can increase the risk of species invasions in these reserves and beyond. Comparative studies on the biodiversity and distribution patterns of invasive plant species within and outside nature reserves, as well as differences among nature reserves, may help elucidate the level of resistance among nature reserves and reveal the factors driving these differences.

Methods: We surveyed the invasive herbs from 380 plots of four national nature reserves (Chishui Alsophila, Xishui, Fanjingshan, and Mayanghe), in Guizhou Province. We contrasted the diversity of invasive herbs inside and outside the four nature reserves using a two-way analysis of variance, and explored differences in species composition with non-metric multidimensional scaling. Redundancy analysis was used to evaluate the key anthropogenic factors to explain these differences.

Results: A total of 46 invasive herbs were recorded and classified into 37 genera and 18 families. At each of the four reserves, between 7 and 20 invasive herb species were identified inside the reserve and between 10 and 24 invasive species were observed outside the reserve. The richness, Shannon-Wiener diversity index, and Simpson dominance index of invasive herbs outside Chishui and Fanjingshan nature reserves were significantly higher than those inside

收稿日期: 2020-07-21; 接受日期: 2021-02-24

基金项目: 生物多样性调查评估项目(2019HJ2096001006)和国家重点研发计划(2016YFC1201100)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: zhaocy@craes.org.cn

nature reserves, while there were no significant differences between invasive herbs inside and outside Xishui and Mayanghe nature reserves. Pielou's evenness index inside Fanjingshan Nature Reserve was significantly higher than that outside the reserve, but no differences in evenness were found in the other nature reserves. In terms of invasive herb species composition, no significant differences inside and outside the four nature reserves were discovered. Redundancy analysis results showed that the residents and the length of roads were the key anthropogenic factors underlying the distribution pattern of invasive herbs.

Conclusions: Our results suggest that different reserves have different resistance to plant invasion, which results from differences in anthropogenic activity. We recommend that restriction of human activities in and around nature reserves can help to prevent the spread of invasive plant species.

Key words: nature reserve; invasive alien plant; plant diversity; human disturbance

随着全球经济一体化、交通和旅游的发展,各地的外来入侵植物数量显著增加(Van Kleunen et al, 2015)。外来入侵植物与本地物种竞争生存空间和养分、分泌具有抑制作用的化感物质、与本地种杂交等,对全球生物多样性、生态系统等构成了严重威胁(类延宝等, 2010)。自然保护区是生物多样性保护的热点地区,在生物多样性保护中起着重要作用,也被认为是阻止外来物种入侵的有效屏障(Foxcroft et al, 2011)。然而,越来越多的研究表明,自然保护区正面临着不同程度的外来物种入侵问题(Foxcroft et al, 2013)。对中欧44个自然保护区的调查研究发现,每个保护区平均有 11.2 ± 6.9 种外来入侵植物(Braun et al, 2016)。西班牙阿纳加乡村公园自然保护区内有116种外来入侵植物(Expósito et al, 2018)。我国53个国家级自然保护区均受到不同程度的外来植物入侵(宫璐等, 2017)。根据《2019年中国生态环境状况公报》(<http://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/>),目前已有215种外来入侵物种侵入国家级自然保护区。外来植物入侵保护区所引起的生态问题是生物多样性保护面临的新挑战(Moodley et al, 2020)。

人类活动是外来入侵物种进入自然保护区的重要影响因素(Vardarman et al, 2018)。国内外对人为干扰因素如旅游、道路、耕作等对保护区外来(入侵)植物分布扩散的影响已开展了大量研究,发现人为干扰主要通过驱动扩散压力对外来入侵植物扩散产生促进作用(Foxcroft et al, 2019)。对南非克鲁格国家公园外来植物入侵的驱动因素研究发现,根据道路密度可以很好地预测保护区内外来入侵植物的分布(Jarošík et al, 2011)。张渊媛等(2012)以5个自然保护区为例探讨了环境和人为因子与外来入侵植物分布格局的关系,发现道路长度、农田面积、游客周转量等因素在一定程度上解释了保护区

外来入侵植物的分布。Spear等(2013)以土地使用时间、人口密度、道路数量等人类活动因子建立模型预测了南非国家公园系统中物种入侵的潜在因素,发现人口密度是解释保护区内外来物种丰富度的有力指标。除此之外,保护区内的农业活动也促进了外来物种的入侵(Valls et al, 2014)。游客在保护区内的各种娱乐活动如骑行、登山等(Bouchard et al, 2015)都可能将外来入侵植物的种子散布到保护区。

目前对自然保护区外来植物入侵的关注仍然不足,缺少对其分布格局以及不同保护区间的对比研究(Hulme et al, 2014; Hulme, 2018)。本研究以贵州赤水桫欏、习水、梵净山和麻阳河4个国家级自然保护区为研究区域,通过调查保护区内及保护区外周边区域的外来入侵草本植物状况,比较了不同自然保护区内外来的外来入侵草本植物分布状况的差异,分析了人类活动干扰程度对不同保护区之间外来入侵草本植物分布格局差异的影响,以期贵州省自然保护区外来入侵植物管理提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

贵州赤水桫欏国家级自然保护区($105^{\circ}57'-106^{\circ}07' E$, $28^{\circ}20'-28^{\circ}28' N$, 简称赤水桫欏)是以桫欏(*Alsophila spinulosa*)及其生境为主要保护对象的自然保护区,是世界上拥有桫欏数量较多、面积较广的桫欏林区之一(刘钦等, 2019); 习水国家级自然保护区($105^{\circ}50'-106^{\circ}29' E$, $28^{\circ}07'-28^{\circ}34' N$, 简称习水)是贵州省面积最大的国家级自然保护区,也是中国研究亚热带常绿阔叶林生态系统的代表性区域(张磊等, 2011); 梵净山国家级自然保护区($108^{\circ}45'-108^{\circ}48' E$, $27^{\circ}49'-28^{\circ}01' N$, 简称梵净山)是长江上游森林生态区生物多样性保护优先区之

一, 这里是黔金丝猴(*Rhinopithecus brelichii*)的全球唯一栖息地, 并拥有藏酋猴(*Macaca thibetana*)、黑熊(*Ursus thibetanus*)、毛冠鹿(*Elaphodus cephalopus*)、白颈长尾雉(*Syrmaticus ellioti*)、白冠长尾雉(*S. reevesii*)等珍稀物种(张明明等, 2019); 麻阳河国家级自然保护区(108°03'–108°19' E, 28°37'–28°54' N, 简称麻阳河)是以保护国家I级保护动物黑叶猴(*Trachypithecus francoisi*)及其栖息地为主的野生动物类型保护区(张鹏等, 2015)。

1.2 研究方法

1.2.1 样方调查

2016年8月, 对贵州省4个国家级自然保护区内及保护区外周边区域主要交通道路沿线的外来入侵植物开展调查, 对农田、村寨、撂荒地、景点、宾馆农家乐、旅游设施等人类活动频繁的区域进行重点调查, 每个样点设置3–4个1 m × 1 m的样方, 赤水桫欏、习水、梵净山和麻阳河4个保护区分别设置23、24、22和39个样点, 91、84、76和129个样方(附录1)。采用GPS定位记录样点的经纬度和海拔, 统计样方中外来入侵草本植物的种类及其株高、盖度和个体数量, 同时记录生境类型。依据《中国外来入侵植物名录》(马金双和李惠茹, 2018)及专家鉴定筛选外来入侵草本植物物种并区分其入侵等级, 本文仅考虑已造成危害的物种, 即该书中前4级外来入侵草本植物。

1.2.2 人类活动影响因子

以居民量、村庄数量、耕地面积、游客量、道路长度、保护区建立时间、景区面积作为影响保护区内外来入侵草本植物分布的人类活动干扰因子。每个保护区相关干扰因子数据以保护区名和影响因子名为主题或关键词在中国知网(<https://www.cnki.net/>)搜集获取, 以最接近2016年的数据为准, 部分知网文献无法获取的由网上相关报道等资料获取(附录2)。

1.2.3 指标计算方法

计算每个样方外来入侵草本植物的丰富度(D)、Shannon-Wiener多样性指数(H')、Simpson优势度指数(R)和Pielou均匀度指数(J), 具体公式如下(马克平和刘玉明, 1994):

$$D = S \quad (1)$$

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (2)$$

$$R = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2 \quad (3)$$

$$J = (1 - \sum_{i=1}^S P_i^2) / (1 - 1/S) \quad (4)$$

其中, S 为出现在样方内的外来入侵草本植物的物种数; P_i 是样方中第 i 种外来入侵草本植物的个体数占样方内所有外来入侵草本植物个体总数的比例。

1.2.4 数据处理

采用PAST 3软件计算多样性指数(Hammer et al, 2001)。采用SPSS 26软件进行双因素方差分析, 采用Duncan法进行多重比较, 以检验外来入侵草本植物多样性在保护区内外以及保护区之间的差异。在双因素方差分析之前对所有数据进行方差齐性检验, 方差不齐的先进行 $\log(1+x)$ 标准化转换。利用R version 4.0.3的vegan包进行基于物种多度数据的非度量多维标度分析(non-metric multidimensional scaling analysis, nMDS)和相似度分析(analysis of similarities, ANOSIM)检验保护区内外外来入侵草本植物组成的差异(胡家欣等, 2020); 胁强系数(stress value)小于0.2时表示nMDS二维点图有一定解释意义。运用Canoco 4.5软件先对样方数据进行去趋势对应分析(detrended correspondence analysis, DCA)。由于稀有种对排序结果影响较大, 本文选择外来入侵草本植物个体数大于10的物种进行分析(李婷婷等, 2015)。鉴于4个排序轴的梯度长度最大值小于3, 因此本文使用线性排序方法, 即约束性的冗余分析(redundancy analysis, RDA)研究保护区内主要外来入侵草本植物的分布与环境因子的关系, 并利用Monte Carlo方法检验环境因子相关性的显著性(ter Braak & Smilauer, 2002)。

2 结果

2.1 4个保护区内外外来入侵草本植物种类组成

4个保护区共记录46种外来入侵草本植物, 隶属于18科37属, 其中菊科种类最多, 有12种, 占比26.09%; 其次为苋科, 有7种, 占比15.22%。原产美洲的有31种, 占比67.39%。1级恶性外来入侵草本植物16种, 2级严重外来入侵草本植物15种, 3级局部外来入侵草本植物3种, 4级一般外来入侵草本植物12种。1级和2级外来入侵草本植物种类占总种数的67.39%。

赤水桫欏共有23种外来入侵草本植物, 隶属12科20属; 保护区内外分别有16种和17种, 其中共有种10种。习水共有19种外来入侵草本植物, 隶属10科16属; 保护区内外分别有18种和10种, 其中共有种9种。梵净山共有24种外来入侵草本植物, 隶属8科19属; 保护区内外分别有7种和24种, 其中共有种7种。麻阳河共有30种外来入侵草本植物, 隶属12科21属, 保护区内外各有20种, 其中共有种10种。保护区内的外来入侵草本植物广泛分布于农田、撂荒地、建筑旁和路边, 保护区外的外来入侵草本植物则主要分布在道路边、住宅边和村旁(附录3)。

2.2 4个保护区内外外来入侵草本植物多样性比较

双因素方差分析结果表明, 不同保护区之间的外来入侵草本植物丰富度和Pielou均匀度指数差异不显著, 保护区内外的外来入侵草本植物丰富度和Pielou均匀度指数差异显著, 保护区和样地位置的交互作用对丰富度影响显著, 但对Pielou均匀度指数无显著影响(表1)。Duncan多重比较结果表明, 4个保护区之间无论保护区内还是保护区外的外来入侵草本植物丰富度和Pielou均匀度指数差异均不显著; 赤水桫欏和梵净山保护区外的外来入侵草本植物丰富度显著高于保护区内, 梵净山保护区外的

Pielou均匀度指数显著低于保护区内, 其他保护区内外差异不显著(图1A、D)。

双因素方差分析结果表明, 不同保护区之间以及保护区内外的外来入侵草本植物Shannon-Wiener多样性指数和Simpson优势度指数差异显著, 且交互影响显著(表1)。Duncan多重比较结果表明, 从保护区内的角度来看, 麻阳河的外来入侵草本植物Shannon-Wiener多样性指数和Simpson优势度指数显著高于赤水桫欏和梵净山, 习水、赤水桫欏、梵净山3个保护区之间、习水与麻阳河间无显著差异; 从保护区外的角度来看, 4个保护区之间无显著差异。赤水桫欏和梵净山保护区外的外来入侵草本植物Shannon-Wiener多样性指数和Simpson优势度指数显著高于保护区内, 而习水和麻阳河保护区内外差异不显著(图1B、C)。

2.3 保护区内外外来入侵草本植物组成相似性

赤水桫欏、习水、梵净山和麻阳河4个保护区nMDS排序的胁强系数分别为0.111、0.097、0.097和0.145, 说明排序结果具有一定解释意义; 显著性检验结果表明, 除习水 $P > 0.05$ 外, 其余保护区 $P < 0.05$, 表明检验的可信度较高。排序结果表明, 4个保护区内外的外来入侵草本植物组成均无明显差

图1 贵州4个国家级自然保护区内外外来入侵草本植物多样性指数(平均值 ± 标准误)。不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

Fig. 1 Diversity index of invasive herbs inside and outside the four national nature reserves in Guizhou (mean ± SE). Different lowercase letters represent significant differences ($P < 0.05$).

表1 贵州4个国家级自然保护区内外及不同保护区对外来入侵草本植物多样性影响的双因素方差分析结果

Table 1 Two-way ANOVA results of the effects of inside and outside the four national nature reserves and different nature reserves in Guizhou on the diversity of invasive herbs

	保护区 Reserves (R)		样地位置 Plot location (P)		保护区 × 样地位置 R × P	
	F	P	F	P	F	P
df	(3, 372)		(1, 372)		(3, 372)	
物种丰富度 Species richness	2.572	0.054	46.38	< 0.001	4.61	0.004
Shannon-Wiener指数 Shannon-Wiener index	4.36	0.005	39.06	< 0.001	4.99	0.002
Simpson优势度指数 Simpson dominance index	4.83	0.003	32.28	< 0.001	4.86	0.003
Pielou均匀度指数 Pielou evenness index	0.82	0.484	10.07	0.002	1.56	0.200

异(图2)。

2.4 人类活动因子对保护区内外外来入侵草本植物分布的影响

RDA排序结果表明,第一轴和第二轴对保护区内外外来入侵草本植物分布和环境因子相关性的累计解释量为68.1% (图3),保护区内的居民量和道路长度是影响保护区内外外来入侵草本植物分布的主要环境因子($P < 0.05$),二者分别解释了45.3%和44.8%;其他因子经Monte Carlo检验为不显著($P > 0.05$),不能独立解释保护区内外外来入侵草本植物的分布差异。三叶鬼针草(*Bidens pilosa*)、小蓬草(*Erigeron canadensis*)、野苘蒿(*Crassocephalum crepidioides*)、一年蓬(*Erigeron annuus*)等与居民量和道路长度呈正相关,二者对这些物种的影响较明显。

3 讨论

赤水桫欏和梵净山保护区内的外来入侵草本植物丰富度、Shannon-Wiener多样性指数和Simpson优势度指数显著低于保护区外,与以往保护区内外外来入侵植物丰富度存在差异的研究结果一致(Pyšek et al, 2002),表明保护区对外来入侵物种具有一定的抵御能力。自然保护区内比其他生境更不容易受到入侵(Usher, 1986; 刘佳凯等, 2012),究其原因自然保护区内的人为压力如人口密度等通常低于保护区外部(Brambilla & Ronchi, 2016; Moustakas et al, 2018),本研究同样发现赤水桫欏和梵净山内部的人为干扰程度低于保护区外,保护区外的外来入侵草本植物繁殖体压力高于保护区内

图2 贵州4个国家级自然保护区内外外来入侵草本植物组成非度量多维标度分析(nMDS)结果

Fig. 2 Non-metric multidimensional scaling analysis (nMDS) ordination for composition of invasive alien herbs inside and outside the four national nature reserves in Guizhou

图3 贵州4个国家级自然保护区内外外来入侵植物影响因素的冗余分析(RDA)排序图

Fig. 3 Redundancy analysis (RDA) of influencing factors on invasive alien plants inside the four national nature reserves in Guizhou

(Riitters et al, 2018)。赤水桫欏国家级自然保护区绝大部分位于赤水丹霞地貌世界自然遗产地内的核心区,地势险峻,人类活动难以到达,且游客较少,外来植物不易入侵;而保护区边缘紧邻赤枫公路,且分布有村庄,人类活动较频繁,外来植物入侵较容易。梵净山国家级自然保护区内的样方调查主要沿着旅游小道(大部分在核心区)进行,而核心区海拔较高,不利于外来植物入侵(高珂晓等, 2019),因此保护区内外来入侵草本植物数量相对较少。此外,梵净山保护区内虽有旅游活动,但宾馆农家乐等旅游接待设施主要密集分布在保护区外周边区域。人类活动差异是造成赤水桫欏和梵净山保护区内外外来入侵草本植物多样性差异显著的重要原因。习水和麻阳河保护区内外的外来入侵草本植物多样性差异不显著,原因是习水国家级自然保护区内的村民开垦了大面积农田发展传统种植和养殖业(谢镇国等, 2016),麻阳河国家级自然保护区缓冲区和核心区的居民占到保护区总人口量的78.7%,保护区内麻阳河中下游沿岸地区的修路、建房和耕种等人类活动频繁(牛克锋等, 2016),保护区内外的人类活动均较频繁,使得保护区内外的外来入侵草本植物多样性差异不大。

对比研究发现4个保护区外的外来入侵草本植

物多样性差异不显著,保护区内仅麻阳河的外来入侵草本植物Shannon-Wiener多样性指数和Simpson优势度指数显著高于赤水桫欏和梵净山。不同保护区在自然生态环境、人为干扰强度等方面存在差异,导致其对外来入侵草本植物入侵的抵御能力不同(Shackleton et al, 2020)。研究发现外来入侵植物在热带和亚热带湿润阔叶林保护区中通常具有较大的入侵扩散潜力(Wan & Wang, 2018);在人口密度很低、建立时间久或得到良好管理的自然保护区内较少见,在人类可及性较高的保护区中入侵程度较高(Gallardo et al, 2017)。本研究中,4个保护区之间的外来入侵草本植物丰富度无显著差异,但这4个保护区都为热带或亚热带湿润森林生态系统,自然环境相似可能是主要原因。麻阳河保护区内的Shannon-Wiener多样性指数和Simpson优势度指数显著高于赤水桫欏和梵净山保护区,说明麻阳河保护区内外来入侵草本植物分布较均匀,物种多样性较高,区内无明显优势外来入侵草本植物存在。物种丰富度只反映了物种在群落中的存在与否,但Shannon-Wiener多样性指数和Simpson优势度指数还包含了物种个体数量(蔡在峰等, 2019),而物种个体数量又与人为干扰密切相关(Lee et al, 2018)。麻阳河保护区内的人为干扰如居民量和耕地面积等

均远高于赤水桫欏和梵净山, 这导致麻阳河保护区内外外来入侵草本植物Shannon-Wiener多样性指数和Simpson优势度指数高于其他两个保护区。

nMDS结果表明4个保护区内外的外来入侵草本植物组成均无明显差异, 这与郑景明等(2011)对庐山自然保护区内外公路路缘外来植物组成的研究结果相反, 但与Baran等(2018)对波兰83个保护区内样地和132个保护区外样地调查结果相似。本研究中, 保护区内外样点均布设在人类活动干扰区域, 采样点局域环境差异较小可能造成了保护区内外的外来入侵草本植物组成无显著差异(李志鹏等, 2019)。根据保护区内外的外来入侵草本植物分布(附录1、附录2)情况, 保护区内的大部分外来入侵草本植物在保护区外也可找到, 可以推断保护区内大部分外来入侵草本植物可能是随着人类活动和道路交通扩散进入。

本研究发现保护区内外外来入侵草本植物分布与人口规模和道路长度密切相关, 主要原因可能是: (1)保护区内人口密度越大, 人为干扰越强, 一定程度上促进和加速了外来入侵植物的扩散(McKinney, 2002; Foxcroft et al, 2008)。(2)保护区内的道路既是外来植物的重要生境也是传播通道, 保护区内道路的修建使道路两侧产生连续的、更大面积的适合外来入侵植物定殖的生境, 使其随车辆和人类活动的扩散更方便快速, 扩散范围更广泛; 且较长的道路降低了森林覆盖度, 分割完整生境, 可能导致保护区对外来入侵物种的抵御能力降低(Jules et al, 2002; Mortensen et al, 2009; Allen et al, 2013)。此外, 其他因素诸如外来入侵植物自身的生活史特征, 其他道路性质如路旁生境、宽度、跨越的海拔范围等以及保护区内其他人类活动因素等也会对外来入侵植物的入侵有所影响, 还有待下一步深入研究(Lelong et al, 2009; Lembrechts et al, 2014; Baard & Kraaij, 2019)。

贵州省生物多样性丰富, 是我国的生物多样性关键地区之一。我国正在大力实施生物多样性保护工程, 外来入侵物种是导致生物多样性丧失的第二大因素, 其对自然保护区的潜在威胁应当受到关注。本研究结果表明自然保护区对外来入侵植物具有一定的阻挡作用, 但人类活动仍是外来入侵植物进入保护区的重要因素。为更好发挥自然保护区的

作用, 建议加强自然保护区内及周边区域人类活动的监管, 防止外来植物的扩散传播。

致谢: 感谢赤水桫欏、习水、梵净山和麻阳河国家级自然保护区管理人员对调查工作的支持! 感谢赵相建博士在野外采样中辛苦的付出!

ORCID

郭朝丹 <https://orcid.org/0000-0003-1648-1497>

朱金方 <https://orcid.org/0000-0002-5478-4424>

赵彩云 <https://orcid.org/0000-0002-7371-6654>

参考文献

- Allen JM, Leininger TJ, Hurd JD, Civco DL, Gelfand AE, Silander JA (2013) Socioeconomics drive woody invasive plant richness in New England, USA through forest fragmentation. *Landscape Ecology*, 28, 1671–1686.
- Baard JA, Kraaij T (2019) Use of a rapid roadside survey to detect potentially invasive plant species along the Garden Route, South Africa. *Koedoe*, 61, a1515.
- Baran J, Pielech R, Bodziarczyk J (2018) No difference in plant species diversity between protected and managed ravine forests. *Forest Ecology and Management*, 430, 587–593.
- Bouchard EH, Little LE, Miller CML, Rundell SM, Vlodaver EM, Maciejewski K (2015) Undeclared baggage: Do tourists act as vectors for seed dispersal in fynbos protected areas? *Koedoe*, 57, a1323.
- Brambilla M, Ronchi S (2016) The park-view effect: Residential development is higher at the boundaries of protected areas. *Science of the Total Environment*, 569/570, 1402–1407.
- Braun M, Schindler S, Essl F (2016) Distribution and management of invasive alien plant species in protected areas in Central Europe. *Journal for Nature Conservation*, 33, 48–57.
- Cai ZF, Qu WX, Hong YW, Liu XM (2019) Analysis of plant diversity characteristics in Beidagang Wetland Nature Reserve of Tianjin. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 28, 1326–1334. (in Chinese with English abstract) [蔡在峰, 曲文馨, 洪宇薇, 刘雪梅 (2019) 天津市北大港湿地自然保护区植物多样性特征分析. *西北农业学报*, 28, 1326–1334.]
- Expósito AB, Siverio A, Bermejo LA, Sobrino-Vesperinas E (2018) Checklist of alien plant species in a natural protected area: Anaga Rural Park (Tenerife, Canary Islands); effect of human infrastructures on their abundance. *Plant Ecology and Evolution*, 151, 142–152.
- Foxcroft LC, Jarošík V, Pyšek P, Richardson DM, Rouget M (2011) Protected-area boundaries as filters of plant invasions. *Conservation Biology*, 25, 400–405.
- Foxcroft LC, Richardson DM, Pyšek P, Genovesi P (2013) Invasive alien plants in protected areas: Threats, opportunities, and the way forward. In: *Plant Invasions in Protected Areas*, vol. 7 (eds Foxcroft L, Pyšek P, Richardson D, Genovesi P), pp. 621–639. Springer, Dordrecht.
- Foxcroft LC, Richardson DM, Wilson JR (2008) Ornamental plants as invasive aliens: Problems and solutions in Kruger

- National Park, South Africa. *Environmental Management*, 41, 32–51.
- Foxcroft LC, Spear D, Wilgen NJV, Mcgeoch M (2019) Assessing the association between pathways of alien plant invaders and their impacts in protected areas. *NeoBiota*, 43, 1–25
- Gallardo B, Aldridge DC, González-Moreno P, Pergl J, Pizarro M, Pyšek P, Thuiller W, Yesson C, Vilà M (2017) Protected areas offer refuge from invasive species spreading under climate change. *Global Change Biology*, 23, 5331–5343.
- Gao KX, Li FF, Liu XY, Xiong YQ, Li JS, Zhao CY (2019) Elevational patterns of invasive nonnative and native herbaceous species in Jiufan Mountain National Nature Reserve of Guangxi. *Biodiversity Science*, 27, 1047–1055. (in Chinese with English abstract) [高珂晓, 李飞飞, 柳晓燕, 熊楹琦, 李俊生, 赵彩云 (2019) 广西九万山国家级自然保护区外来入侵和本地草本植物多样性垂直分布格局. *生物多样性*, 27, 1047–1055.]
- Gong L, Li JS, Liu XY, Zhao XJ, Zhao CY (2017) Analysis of invasive alien species in Chinese national nature reserves. *Ecological Science*, 36, 210–216. (in Chinese with English abstract) [宫璐, 李俊生, 柳晓燕, 赵相健, 赵彩云 (2017) 我国部分国家级自然保护区外来入侵物种的分布概况. *生态科学*, 36, 210–216.]
- Hammer Y, Harper DA, Ryan PD (2001) PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4, 1–9.
- Hu JX, Peng SL, Zhang D, Ge ZW, Yang N (2020) Effects of nitrogen addition on arbuscular mycorrhizal fungi community in poplar plantations at different ages. *Ecology and Environmental Sciences*, 29, 1768–1775. (in Chinese with English abstract) [胡家欣, 彭思利, 张栋, 葛之威, 杨楠 (2020) 氮添加对不同林龄杨树人工林丛枝菌根真菌群落的影响. *生态环境学报*, 29, 1768–1775.]
- Hulme PE (2018) Protected land: Threat of invasive species. *Science*, 361, 561–562.
- Hulme PE, Pyšek P, Pergl J, Jarošík V, Schaffner U, Vilà M (2014) Greater focus needed on alien plant impacts in protected areas. *Conservation Letters*, 7, 459–466.
- Jarošík V, Pyšek P, Foxcroft LC, Richardson DM, Rouget M, MacFadyen S (2011) Predicting incursion of plant invaders into Kruger National Park, South Africa: The interplay of general drivers and species-specific factors. *PLoS ONE*, 6, e28711.
- Jules ES, Kauffman MJ, Ritts WD, Carroll AL (2002) Spread of an invasive pathogen over a variable landscape: A nonnative root rot on Port Orford cedar. *Ecology*, 83, 3167–3181.
- Lee JW, Kim SJ, An JB, Nam KB, Shin HT, Jung SY (2018) Distribution characteristics of invasive alien plants in Jeju. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, 11, 276–283.
- Lei YB, Xiao HF, Feng YL (2010) Impacts of alien plant invasions on biodiversity and evolutionary responses of native species. *Biodiversity Science*, 18, 622–630. (in Chinese with English abstract) [类延宝, 肖海峰, 冯玉龙 (2010) 外来植物入侵对生物多样性的影响及本地生物的进化响应. *生物多样性*, 18, 622–630.]
- Lelong B, Lavoie C, Thériault M (2009) What are the factors that facilitate the spread of common reed (*Phragmites australis*) along roads in southern Quebec? *Ecoscience*, 16, 224–237.
- Lembrechts JJ, Milbau A, Nijs I (2014) Alien roadside species more easily invade alpine than lowland plant communities in a subarctic mountain ecosystem. *PLoS ONE*, 9, e89664.
- Li TT, Zhang QD, Duan XM, Bi RC, Kang YL (2015) Comparative study concerning the effects of rare species treatments on RDA ordination. *Guihaia*, 35, 539–545, 585. (in Chinese with English abstract) [李婷婷, 张钦弟, 段晓梅, 毕润成, 康艳玲 (2015) 稀有种处理对RDA排序结果影响的比较研究. *广西植物*, 35, 539–545, 585.]
- Li ZP, Zhao J, Chen YB, Chen H, Lin N, Qiu RZ (2019) Spatial variation and driving factors of invasive plants in Fujian Province, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 30, 2682–2690. (in Chinese with English abstract) [李志鹏, 赵健, 陈业滨, 陈宏, 林娜, 邱荣洲 (2019) 福建省主要入侵植物空间分异及其影响因素. *应用生态学报*, 30, 2682–2690.]
- Liu JK, Yao KK, Zhang R, Xia Y, Wang HH, Zhang ZM, Wu JG, Jiang WJ (2012) The research of alien invasive plant in Beijing Songshan Nature Reserve. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 28(31), 91–95. (in Chinese with English abstract) [刘佳凯, 姚可侃, 张容, 夏阳, 王慧慧, 张振明, 吴计贵, 蒋万杰 (2012) 北京松山自然保护区外来入侵植物研究. *中国农学通报*, 28(31), 91–95.]
- Liu Q, Deng HP, Li ZF, Liang S, Li QL, Ni DP (2019) Characteristics of plant community in the Guizhou Chishui *Alsophila spinulata* National Nature Reserve, southwestern China. *Journal of Beijing Forestry University*, 41(1), 19–31. (in Chinese with English abstract) [刘钦, 邓洪平, 李宗峰, 梁盛, 李丘霖, 倪东萍 (2019) 贵州赤水桫欏国家级自然保护区植物群落特征. *北京林业大学学报*, 41(1), 19–31.]
- Ma JS, Li HR (2018) The Checklist of the Alien Invasive Plants in China. Higher Education Press, Beijing. (in Chinese) [马金双, 李惠茹 (2018) 中国外来入侵植物名录. 高等教育出版社, 北京.]
- Ma KP, Liu YM (1994) Measurement of biotic community diversity. I. α diversity (part 2). *Chinese Biodiversity*, 2, 231–239. (in Chinese) [马克平, 刘玉明 (1994) 生物群落多样性的测度方法. I. α 多样性的测度方法(下). *生物多样性*, 2, 231–239.]
- McKinney ML (2002) 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. *Diversity and Distributions*, 8, 311–318.
- Moodley D, Foxcroft LC, Novoa A, Pyšková K, Pergl J, Pyšek P (2020) Invasive alien species add to the uncertain future of protected areas. *NeoBiota*, 57, 1–5.
- Mortensen DA, Rauschert ESJ, Nord AN, Jones BP (2009) Forest roads facilitate the spread of invasive plants. *Invasive Plant Science and Management*, 2, 191–199.
- Moustakas A, Voutsela A, Katsanevakis S (2018) Sampling alien species inside and outside protected areas: Does it matter? *Science of the Total Environment*, 625, 194–198.
- Niu KF, Xiao Z, Wang B, Yang D, Tan CL, Zhang P, Yan XG, Wang H, Yu B, Yang TY, Fan JD, Cui DY, Zou QX, Wu AK, Wei LM, Zou H, Gamba M, Giacomini C, Yang YQ (2016) Population estimates and distribution of François' Langurs (*Trachypithecus francoisi*) in Mayanghe National Nature Reserve, China. *Chinese Journal of Zoology*, 51, 925–938. (in Chinese with English abstract) [牛克锋, 肖志,

- 王彬, 杨德, Chia L Tan, 张鹏, 颜修刚, 王华, 余波, 杨天友, 樊均德, 崔多英, 邹启先, 吴安康, 魏鲁明, 邹浩, Marco Gamba, Cristina Giacomini, 杨业勤 (2016) 中国麻阳河国家级自然保护区黑叶猴种群数量估计与分布. 动物学杂志, 51, 925–938.]
- Pyšek P, Jarošík V, Kučera T (2002) Patterns of invasion in temperate nature reserves. *Biological Conservation*, 104, 13–24.
- Riitters K, Potter K, Iannone III BV, Oswalt C, Fei SL, Guo QF (2018) Landscape correlates of forest plant invasions: A high-resolution analysis across the eastern United States. *Diversity and Distributions*, 24, 274–284.
- Shackleton RT, Foxcroft LC, Pyšek P, Wood LE, Richardson DM (2020) Assessing biological invasions in protected areas after 30 years: Revisiting nature reserves targeted by the 1980s SCOPE programme. *Biological Conservation*, 243, 108424.
- Spear D, Foxcroft LC, Bezuidenhout H, McGeoch MA (2013) Human population density explains alien species richness in protected areas. *Biological Conservation*, 159, 137–147.
- ter Braak CJF, Šmilauer P (2002) CANOCO Reference Manual and Cano Draw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (Version 4.5). Microcomputer, Ithaca.
- Usher MB (1986) Invasibility and wildlife conservation: Invasive species on nature reserves. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 314, 695–710.
- Valls L, Rueda J, Mesquita-Joanes F (2014) Rice fields as facilitators of freshwater invasions in protected wetlands: The case of *Ostracoda* (Crustacea) in the Albufera Natural Park (E Spain). *Zoological Studies*, 53, 1–10.
- Van Kleunen M, Dawson W, Essl F, Pergl J, Winter M, Weber E, Kreft H, Weigelt P, Kartesz J, Nishino M, Antonova LA, Barcelona JF, Cabezas FJ, Cárdenas D, Cárdenas-Toro J, Castaño N, Chacón E, Chatelain C, Ebel AL, Figueiredo E, Fuentes N, Groom QJ, Henderson L, Inderjit, Kupriyanov A, Masciadri S, Meerman J, Morozova O, Moser D, Nickrent DL, Patzelt A, Peller PB, Baptiste MP, Poopath M, Schulze M, Seebens H, Shu WS, Thomas J, Velayos M, Wieringa JJ, Pyšek P (2015) Global exchange and accumulation of non-native plants. *Nature*, 525, 100–103.
- Vardarman J, Berchová-Bímová K, Pěkníková J (2018) The role of protected area zoning in invasive plant management. *Biodiversity and Conservation*, 27, 1811–1829.
- Wan JZ, Wang CJ (2018) Expansion risk of invasive plants in regions of high plant diversity: A global assessment using 36 species. *Ecological Informatics*, 46, 8–18.
- Xie ZG, Yu DH, Liao J, Li XC, Li P, Fu ZY (2016) Current situation of forest ecosystem in Xishui Nature Reserve. *Agriculture of Jilin*, (13), 114–115. (in Chinese) [谢镇国, 余德会, 廖佳, 李兴春, 李萍, 付梓源 (2016) 习水自然保护区森林生态系统现状. 吉林农业, (13), 114–115.]
- Zhang L, Xie SX, Wu ZW, Wang YF (2011) The similarity and cluster analysis of forest communities in Xishui National Nature Reserve of Guizhou Province. *Guizhou Agricultural Sciences*, 39(6), 170–172, 177. (in Chinese with English abstract) [张磊, 谢双喜, 吴志文, 王艳芳 (2011) 贵州习水国家级自然保护区森林群落相似性与聚类分析. 贵州农业科学, 39(6), 170–172, 177.]
- Zhang MM, Yang CH, Wang C, Wang JJ, Hu CS, Lei XP, Shi L, Su HJ, Li JQ (2019) Camera-trapping survey on mammals and birds in Fanjingshan National Nature Reserve, Guizhou, China. *Biodiversity Science*, 27, 813–818. (in Chinese with English abstract) [张明明, 杨朝辉, 王丞, 王娇娇, 胡灿实, 雷孝平, 石磊, 粟海军, 李佳琦 (2019) 贵州梵净山国家级自然保护区鸟兽红外相机监测. 生物多样性, 27, 813–818.]
- Zhang P, Xiao Z, Yan XG (2015) A survey of forest resources in Mayanghe National Nature Reserve. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 43(27), 135–137, 177. (in Chinese with English abstract) [张鹏, 肖志, 颜修刚 (2015) 麻阳河国家级自然保护区森林资源调查研究. 安徽农业科学, 43(27), 135–137, 177.]
- Zhang YY, Feng JC, Sang WG, Xue DY (2012) Distribution of invasive plant species in relation to environmental and anthropogenic factors in five nature reserves in Northern China. *Journal of Resources and Ecology*, 3, 278–283.
- 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: 于飞海 责任编辑: 黄祥忠)

附录 Supplementary Material

附录1 贵州4个国家级自然保护区草本调查样方信息

Appendix 1 Plots investigation of herbs in four national nature reserve in Guizhou
<https://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2020292-1.pdf>

附录2 贵州4个国家级自然保护区人为干扰因子参考文献及资料来源

Appendix 2 References and sources of human disturbance factors in four national nature reserves in Guizhou
<https://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2020292-2.pdf>

附录3 贵州4个国家级自然保护区内外外来入侵草本植物名录

Appendix 3 List of invasive alien herbs inside and outside four national nature reserves in Guizhou
<https://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2020292-3.pdf>

郭朝丹, 朱金方, 柳晓燕, 赵彩云, 李俊生 (2021) 贵州典型自然保护区内外外来入侵草本植物的比较. 生物多样性, 29, 596–604. <http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2020292>

附录1 贵州4个国家级自然保护区草本调查样方信息
Appendix 1 Plots investigation of herbs in four national nature reserve in Guizhou

	样点编号(样方数) Sampling site no. (Quadrats)	生境类型 Habitat type	经度 Longitude (E)	纬度 Latitude (N)	海拔 Altitude (m)
赤水桫欏国家级自然保护区 Chishui Alsophila National Nature Reserve					
保护区内	1 (4 plots)	旅游小路	106.01°	28.43°	529
	2 (4 plots)	旅游线路边	106.01°	28.43°	520
	3 (4 plots)	旅游线路边	106.02°	28.42°	512
	6 (4 plots)	旅游景点	106.00°	28.44°	383
	7 (4 plots)	旅游小道	106.01°	28.43	499
	8 (4 plots)	游客中心	106.01°	28.43°	428
	9 (4 plots)	停车场	106.01°	28.43°	510
	10 (4 plots)	入口售票处	105.99°	28.45°	393
	11 (4 plots)	大路边	106.03°	28.48°	563
	12 (4 plots)	农田	106.03°	28.48°	611
	13 (4 plots)	农田	106.03°	28.48°	621
	14 (4 plots)	住房旁	106.03°	28.48°	631
	15 (3 plots)	大路边	106.02°	28.48°	517
	16 (4 plots)	住房旁	106.02°	28.48°	562
	17 (4 plots)	玉米地	106.02°	28.48°	561
	18 (4 plots)	玉米红薯地边	106.02°	28.48°	639
	19 (4 plots)	养蛙场路边	106.02°	28.48°	623
	20 (4 plots)	公路边	106.02°	28.48°	609
保护区外	4 (4 plots)	村落公路边	105.97°	28.45°	301
	5 (4 plots)	公路边	105.98°	28.45°	323
	21 (4 plots)	住房旁	106.01°	28.49°	517
	22 (4 plots)	村旁	106.01°	28.49°	531
	23 (4 plots)	房旁路边	106.00°	28.49°	483
习水国家级自然保护区 Xishui National Nature Reserve					
保护区内	1 (3 plots)	村房旁	106.14°	28.41°	984
	2 (4 plots)	村房旁	106.14°	28.41°	1010
	3 (3 plots)	村房旁	106.14°	28.41°	1009
	4 (3 plots)	村房旁	106.14°	28.41°	1013
	5 (3 plots)	玉米地	106.14°	28.41°	992
	6 (3 plots)	田边撂荒地	106.14°	28.41°	979
	7 (3 plots)	撂荒水田	106.14°	28.41°	979
	8 (3 plots)	玉米地	106.14°	28.41°	992
	9 (3 plots)	旱地撂荒地	106.14°	28.41°	992
	10 (3 plots)	玉米地	106.14°	28.41°	979
	11 (4 plots)	公路边	106.14°	28.40°	1,048
	12 (4 plots)	公路边	106.14°	28.40°	1,100
	13 (3 plots)	旅游小路	106.40°	28.56°	1,170
	14 (4 plots)	景点	106.40°	28.56°	1,267
	15 (4 plots)	停车场	106.40°	28.56°	1,145
	16 (4 plots)	公路边	106.40°	28.56°	562
	17 (4 plots)	公路边	106.40°	28.56°	1,158
	18 (4 plots)	宾馆饭庄旁	106.40°	28.55°	1,078
	19 (4 plots)	路边养蜂地	106.39°	28.54°	1,026
	20 (4 plots)	农家乐周边	106.40°	28.52°	1,018
保护区外	21 (4 plots)	公路边	106.41°	28.50°	883

郭朝丹, 朱金方, 柳晓燕, 赵彩云, 李俊生 (2021) 贵州典型自然保护区内外外来入侵草本植物的比较. 生物多样性, 29, 596–604. <http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2020292>

	样点编号(样方数) Sampling site no. (Quadrats)	生境类型 Habitat type	经度 Longitude (E)	纬度 Latitude (N)	海拔 Altitude (m)
	22 (4 plots)	村旁路边	106.41°	28.50°	880
	23 (3 plots)	屋后	106.41°	28.50°	879
	24 (3 plots)	村旁路边	106.41°	28.49°	852
梵净山国家级自然保护区 Fanjingshan National Nature Reserve					
保护区内	4 (3 plots)	建筑旁	108.70°	27.91°	2,128
	5 (3 plots)	寺庙旁路边	108.69°	27.91°	2,261
	6 (3 plots)	楼前平台	108.70°	27.90°	2,066
	7 (3 plots)	大林窗	108.71°	27.90°	1,511
	8 (3 plots)	公路边	108.73°	27.89°	888
	9 (3 plots)	亭子旁	108.73°	27.88°	890
	10 (3 plots)	景区房屋旁	108.77°	27.05°	670
	20 (4 plots)	山顶停车场	108.67°	27.91°	1,954
	21 (3 plots)	房旁路边	108.65°	27.91°	1,945
	22 (3 plots)	公路边	108.65°	27.91°	1,900
保护区外	1 (4 plots)	路边待建停车场	108.82°	27.74°	435
	2 (4 plots)	堆土, 玉米地旁	108.81°	27.75°	400
	3 (4 plots)	林旁	108.77°	27.82°	498
	11 (4 plots)	广场草坪	108.77°	27.82°	495
	12 (4 plots)	村旁荷塘路边	108.77°	27.85°	513
	13 (3 plots)	楼边空地	108.78°	27.86°	523
	14 (4 plots)	公路边	108.80°	27.88°	588
	15 (3 plots)	玉米地	108.79°	27.87°	684
	16 (4 plots)	撂荒地	108.76°	27.77°	698
	17 (4 plots)	寺庙林缘菜地	108.64°	27.92°	1,374
	18 (4 plots)	路边房旁	108.64°	27.92°	1,323
	19 (3 plots)	村落公路边	108.62°	27.92°	1,127
麻阳河国家级自然保护区 Mayanghe National Nature Reserve					
保护区内	1 (3 plots)	村边	108.26°	28.66°	510
	2 (4 plots)	村边	108.26°	28.65°	512
	3 (4 plots)	农田	108.26°	28.65°	488
	4 (3 plots)	路边	108.24°	28.70°	996
	5 (4 plots)	路边	108.23°	28.70°	1,023
	6 (3 plots)	农田	108.23°	28.69°	1,015
	7 (4 plots)	撂荒地	108.18°	28.66°	832
	8 (3 plots)	路边	108.18°	28.66°	861
	9 (3 plots)	农田	108.17°	28.66°	888
	10 (4 plots)	撂荒地	108.17°	28.66°	914
	11 (3 plots)	撂荒地	108.17°	28.67°	961
	12 (3 plots)	路边	108.18°	28.68°	1,077
	13 (3 plots)	撂荒地	108.18°	28.69°	1,098
	14 (3 plots)	路边	108.20°	28.71°	1,108
	20 (4 plots)	农田	108.25°	28.66°	660
	21 (4 plots)	农田	108.25°	28.68°	769
	22 (3 plots)	路边	108.24°	28.69°	767
	23 (3 plots)	路边	108.22°	28.70°	1,082
	24 (3 plots)	农田	108.21°	28.71°	1,132
	25 (3 plots)	村边	108.20°	28.71°	1,130
	26 (3 plots)	农田	108.19°	28.70°	990
	27 (3 plots)	荒地	108.19°	28.70°	995

郭朝丹, 朱金方, 柳晓燕, 赵彩云, 李俊生 (2021) 贵州典型自然保护区内外外来入侵草本植物的比较. 生物多样性, 29, 596–604. <http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2020292>

	样点编号(样方数) Sampling site no. (Quadrats)	生境类型 Habitat type	经度 Longitude (E)	纬度 Latitude (N)	海拔 Altitude (m)
保护区外	28 (3 plots)	荒地	108.17°	28.69°	1,165
	29 (3 plots)	路边	108.17°	28.69°	1,212
	30 (4 plots)	路边	108.20°	28.71°	1,050
	31 (3 plots)	路边	108.17°	28.69°	1,211
	32 (3 plots)	撂荒地	108.16°	28.69°	1,040
	33 (3 plots)	路边	108.16°	28.69°	980
	34 (3 plots)	撂荒地	108.16°	28.70°	990
	35 (3 plots)	农田	108.16°	28.70°	990
	36 (3 plots))	撂荒地	108.15°	28.69°	1,020
	37 (4 plots)	撂荒地	108.30°	28.64°	420
	15 (4 plots)	村边	108.26°	28.69°	638
	16 (4 plots)	村边	108.26°	28.69°	636
	17 (4 plots)	村边	108.25°	28.68°	632
	18 (4 plots)	村边	108.25°	28.68°	638
	19 (4 plots)	路边	108.25°	28.70°	650
	38 (4 plots)	路边	108.33°	28.68°	380
	39 (4 plots)	村边	108.35°	28.68°	430

郭朝丹, 朱金方, 柳晓燕, 赵彩云, 李俊生 (2021) 贵州典型自然保护区内外外来入侵草本植物的比较. 生物多样性, 29, 596–604. <http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2020292>

附录 2 贵州 4 个国家级自然保护区人为干扰因子参考文献及资料来源
Appendix 2 References and sources of human disturbance factors in four national nature reserves in Guizhou

	居民量	村庄量	耕地面积	道路长度	游客量	景区面积	建立时间	参考文献/资料
	Residents	Villages	Cultivated land (ha)	Road length (km)	Visitors (10 thousand)	Scenic area (ha)	Years of establishment	References
赤水桫欏	320	7	50.54	10	42.87	3,800	32	国家环境保护总局自然生态保护司, 2006; 周崇军, 2006; 李玉婷, 2017; 粟海军等, 2018; http://www.zunyi.gov.cn/zmzy/zrzy/zrbhq/201710/t20171024_10342419.html
习水	5,998	28	623.03	66	326	3,000	24	王玉, 2000; 国家环境保护总局自然生态保护司, 2006; 谢镇国等, 2016; 刘莹, 2019; https://zj.qq.com/a/20130529/021567.htm
梵净山	11,397	25	563.73	100	1,586	4,000	30	周政贤, 1990; 国家环境保护总局自然生态保护司, 2006; 唐明贵和黄海燕, 2010; 彭丽芬和李新贵, 2011; 王欣星等, 2018; http://www.fjsfjq.com/page/visitors.htm
麻阳河	22,816	40	4227	200	19.22	6.67	29	国家环境保护总局自然生态保护司, 2006; 牛克锋等, 2016; http://lyj.guizhou.gov.cn/zxfw/bmlqfw/sjyslyzrbhqcx/201912/t20191225_36730448.html ; https://www.mayiwenku.com/p-1130596.html ; http://special.tongren.gov.cn/a/2015/0122/yanhe3308.html ; https://www.baidu.com/link?url=Lo9aP2kzeRpOmbcdjCGhdrJoOrRtCrPBAL9L_r7tnTjTsIYhJ5xRdMJFJk3HhK_Aot081Q3JXLU66HmnPaNhqtfyqjn5d9B3snzvkBaNG&wd=&eqid=dbaea6a6000a1356000000035f1ff30a

参考文献

郭朝丹, 朱金方, 柳晓燕, 赵彩云, 李俊生 (2021) 贵州典型自然保护区内外外来入侵草本植物的比较. 生物多样性, 29, 596–604. <http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2020292>

- Department of Natural and Ecological Protection, State Environmental Protection Administration (2006) National Nature Reserves of China. China Environmental Sciences Press, Beijing. (in Chinese) [国家环境保护总局自然生态保护司 (2006) 中国国家级自然保护区. 中国环境科学出版社, 北京.]
- Li YT (2017) A Study on the Perception of Tourism Image in Chishui Under the Background of Global Tourism. Master dissertation, Chongqing Normal University, Chongqing. (in Chinese with English abstract) [李玉婷 (2017) 全域旅游背景下赤水市旅游形象感知演变研究. 硕士学位论文, 重庆师范大学, 重庆.]
- Liu Y (2019) Looking at the great changes at the junction of three provinces. Guizhou Today, (42), 18–19. (in Chinese) [刘莹 (2019) 三省交界看巨变. 当代贵州, (42), 18–19.]
- Niu KF, Xiao Z, Wang B, Yang D, Chia LT, Zhang P, Yan XG, Wang H, Yu B, Yang TY, Fan JD, Cui DY, Zou QX, Wu AK, Wei LM, Zou H, Marco G, Cristina G, Yang YQ (2016) Population estimates and distribution of *François' Langurs* (*Trachypitecus francoisi*) in Mayanghe National Nature Reserve, China. Chinese Journal of Zoology, 51, 925–938. (in Chinese with English abstract) [牛克锋, 肖志, 王彬, 杨德, Chia LT, 张鹏, 颜修刚, 王华, 余波, 杨天友, 樊均德, 崔多英, 邹启先, 吴安康, 魏鲁明, 邹浩, Marco G, Cristina G, 杨业勤 (2016) 中国麻阳河国家级自然保护区黑叶猴种群数量估计与分布. 动物学杂志, 51, 925–938.]
- Peng LF, Li XG (2011) The evaluation and countermeasures of the circle line way construction of the biological diversity of the national level of Fanjing Mountain Nature Reserve. Sichuan Forestry Exploration and Design, (1), 61–65. (in Chinese with English abstract) [彭丽芬, 李新贵 (2011) 环线公路建设对梵净山自然保护区生物多样性的影响评价. 四川林勘设计, (1), 61–65.]
- Su HJ, Hu CS, Zhang MM, Liang S (2018) A study on the characteristics of crop damage caused by wild boar (*Sus scrofa*) and the attitudes of local residents in Chishui Alsophila National Nature Reserve, Guizhou province, China. Acta Theriologica Sinica, 38, 359–368. (in Chinese with English abstract) [粟海军, 胡灿实, 张明明, 梁盛 (2018) 贵州赤水桫欏国家级自然保护区野猪危害特征与居民态度分析. 兽类学报, 38, 359–368.]
- Tang MG, Huang HY (2010) Tourism exploitation and management model in Fanjingshan Nature Reserve. Journal of Guizhou Commercial College, 23(3), 45–48. (in Chinese with English abstract) [唐明贵, 黄海燕 (2010) 梵净山自然保护区生态旅游开发与管理模式研究. 贵州商业高等专科学校学报, 23(3), 45–48.]
- Wang XX, Peng ZL, Li C (2018) Ecological security diagnosis and obstacle analysis of cultivated land in mountain tourism economic zone: Taking Fanjingshan tourism economic zone as an example. Natural Resource Economics of China, 31(6), 38–42, 68. (in Chinese with English abstract) [王欣星, 彭泽露, 李春 (2018) 山地旅游经济区耕地生态安全诊断及障碍度分析——以梵净山旅游经济区为例. 中国国土资源经济, 31(6), 38–42, 68.]
- Wang Y (2000) Discussion on the overall design of Xishui National Nature Reserve in Guizhou Province, Guizhou Forestry Science and Technology, (3), 47–53. (in Chinese) [王玉 (2000) 贵州习水国家级自然保护区总体设计论述. 贵州林业科技, (3), 47–53.]
- Xie ZG, Yu DH, Liao J, Li XC, Li P, Fu ZY (2016) Current situation of forest ecosystem in Xishui Nature Reserve. Agriculture of Jilin, (13), 114–115. (in Chinese) [谢镇国, 余德会, 廖佳, 李兴春, 李萍, 付梓源 (2016) 习水自然保护区森林生态系统现状. 吉林农业, (13), 114–115.]
- Zhou CJ (2006) The Study on Functional Zoning of Chishui *Alsophila spinulosa* National Nature Reserve. Master dissertation, Guizhou Normal University, Guiyang. (in Chinese with English abstract) [周崇军 (2006) 赤水桫欏国家级自然保护区功能区划分方法研究. 硕士学位论文, 贵州师范大学, 贵阳.]
- Zhou ZX (1990) Research on the Fanjing Mountain. Guizhou People's Publishing House, Guiyang. (in Chinese) [周政贤 (1990) 梵净山研究. 贵州人民出版社, 贵阳.]

郭朝丹, 朱金方, 柳晓燕, 赵彩云, 李俊生 (2021) 贵州典型自然保护区内外外来入侵草本植物的比较. 生物多样性, 29, 596–604. <http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2020292>

附录3 贵州4个国家级自然保护区内外外来入侵草本植物名录。A: 赤水桫欏内; a: 赤水桫欏外; B: 习水内; b: 习水外; C: 梵净山内; c: 梵净山外; D: 麻阳河内; d: 麻阳河外。
Appendix 3 List of invasive alien herbs inside and outside four national nature reserves in Guizhou. A, Inside Chishui Alsophila; a, Outside Chishui Alsophila; B, Inside Xishui; b, Outside Xishui; C, Inside Fanjingshan; c, Outside Fanjingshan; D, Inside Mayanghe; d, Outside Mayanghe.

科属 Family	物种 Species	属 Genus	原产地 Origin	入侵等级 Invasion level	分布 Distribution
菊科 Asteraceae	藿香蓟 <i>Ageratum conyzoides</i>	藿香蓟属 <i>Ageratum</i>	热带美洲 Tropical America	1	A, a, c, D
	菊芋 <i>Helianthus tuberosus</i>	向日葵属 <i>Helianthus</i>	北美洲 North America	4	a
	苦苣菜 <i>Sonchus oleraceus</i>	苦苣菜属 <i>Sonchus</i>	欧洲、地中海 Europe, Mediterranean	4	c
	牛膝菊 <i>Galinsoga parviflora</i>	牛膝菊属 <i>Galinsoga</i>	南美洲 South America	2	A, a, B, b, C, c, D
	豚草 <i>Ambrosia artemisiifolia</i>	豚草属 <i>Ambrosia</i>	北美、中美洲 North and central America	1	D
	野茼蒿 <i>Crassocephalum crepidioides</i>	野茼蒿属 <i>Crassocephalum</i>	非洲 Africa	2	A, a, B, b, C, c, D, d
	钻形紫菀 <i>Aster subulatus</i>	紫菀属 <i>Aster</i>	北美洲 North America	1	A, B, b, c, D
	三叶鬼针草 <i>Bidens pilosa</i>	鬼针草属 <i>Bidens</i>	美洲 America	1	A, a, b, c, D, d
	大狼把草 <i>Bidens frondosa</i>		北美洲 North America	1	B
	一年蓬 <i>Erigeron annuus</i>	飞蓬属 <i>Erigeron</i>	北美洲 North America	1	A, a, B, b, C, c, D, d
	小蓬草 <i>Erigeron canadensis</i>		北美洲 North America	1	A, a, B, c, D, d
	苏门白酒草 <i>Erigeron sumatrensis</i>		南美洲 South America	1	A, a, B, b, C, c, D, d
苋科 Amaranthaceae	反枝苋 <i>Amaranthus retroflexus</i>	苋属 <i>Amaranthus</i>	北美、中美洲 North and central America	1	c, d
	苋 <i>Amaranthus tricolor</i>		热带亚洲 Tropical Asia	4	A, d
	长芒苋 <i>Amaranthus palmeri</i>		美国西部至墨西哥北部 northern Mexico	1	c, D, d
	皱果苋 <i>Amaranthus viridis</i>		南美洲 South America	2	d
	凹头苋 <i>Amaranthus blitum</i>		地中海 Mediterranean sea	2	A, a, B, b, c, D
	刺苋 <i>Amaranthus spinosus</i>		热带美洲 Tropical America	1	d
	空心莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i>	莲子草属 <i>Alternanthera</i>	巴西 Brazil	1	A, a, B, b, c
	土荆芥 <i>Dysphania ambrosioides</i>	腺毛藜属 <i>Dysphania</i>	热带美洲 Tropical America	1	A, c, D, d
禾本科 Poaceae	节节麦 <i>Aegilops triuncialis</i>	山羊草属 <i>Aegilops</i>	欧洲 Europe	2	d
	两耳草 <i>Paspalum conjugatum</i>	雀稗属 <i>Paspalum</i>	热带美洲 Tropical America	2	c
	象草 <i>Pennisetum purpureum</i>	狼尾草属 <i>Pennisetum</i>	非洲 Africa	3	C, c
	野燕麦 <i>Avena fatua</i>	燕麦属 <i>Avena</i>	南欧、地中海 Southern Europe, Mediterranean	2	B, c
	棕叶狗尾草 <i>Setaria palmifolia</i>	狗尾草属 <i>Setaria</i>	非洲 Africa	4	A, B, C, c
茄科 Solanaceae	苦瓠 <i>Physalis angulata</i>	灯笼果属 <i>Physalis</i>	美洲 America	4	D
	喀西茄 <i>Solanum aculeatissimum</i>	茄属 <i>Solanum</i>	巴西 Brazil	2	a, c, D, d
	少花龙葵 <i>Solanum photeinocarpum</i>		美洲 America	3	c, d

郭朝丹, 朱金方, 柳晓燕, 赵彩云, 李俊生 (2021) 贵州典型自然保护区内外外来入侵草本植物的比较. 生物多样性, 29, 596–604. <http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2020292>

大戟科 Euphorbiaceae	斑地锦 <i>Euphorbia maculata</i>	大戟属 <i>Euphorbia</i>	北美洲 North America	4	d
	蓖麻 <i>Ricinus communis</i>	蓖麻属 <i>Ricinus</i>	东非 East Africa	2	a
伞形科 Apiaceae	细叶芹 <i>Chaerophyllum villosum</i>	细叶芹属 <i>Chaerophyllum</i>	南美洲 South America	4	d
	野胡萝卜 <i>Daucus carota</i>	胡萝卜属 <i>Daucus</i>	欧洲、亚洲西南、北非 Europe, Southwestern Asia, North Africa	2	D, d
唇形科 Lamiaceae	臭牡丹 <i>Lantana camara</i>	大青属 <i>Clerodendrum</i>	热带美洲 Tropical America	1	D
	灯笼草 <i>Clinopodium polycephalum</i>	风轮菜属 <i>Clinopodium</i>	南美洲 South America	4	B, b
车前科 Plantaginaceae	北美车前 <i>Plantago virginica</i>	车前属 <i>Plantago</i>	北美洲 North America	3	A, a
	婆婆纳 <i>Veronica polita</i>	婆婆纳属 <i>Veronica</i>	西亚 Western Asia	4	B
豆科 Fabaceae	白车轴草 <i>Trifolium repens</i>	车轴草属 <i>Trifolium</i>	北非、欧洲 North Africa, Europe	2	a, B, c, D
酢浆草科 Oxalidaceae	红花酢浆草 <i>Oxalis corymbosa</i>	酢浆草属 <i>Oxalis</i>	热带美洲 Tropical America	4	A, B
落葵科 Basellaceae	落葵薯 <i>Anredera cordifolia</i>	落葵薯属 <i>Anredera</i>	热带美洲 Tropical America	1	a, B, D
商陆科 Phytolaccaceae	美洲商陆 <i>Phytolacca americana</i>	商陆属 <i>Phytolacca</i>	北美洲 North America	1	a, c, d
土人參科 Talinaceae	土人參 <i>Talinum paniculatum</i>	土人參属 <i>Talinum</i>	热带美洲 Tropical America	4	a, D, d
仙人掌科 Cactaceae	仙人掌 <i>Opuntia dillenii</i>	仙人掌属 <i>Opuntia</i>	加勒比海 Caribbean	2	A
牻牛儿苗科 Geraniaceae	野老鹳草 <i>Geranium carolinianum</i>	老鹳草属 <i>Geranium</i>	北美洲 North America	2	B, b, C, c, D
柳叶菜科 Onagraceae	月见草 <i>Oenothera biennis</i>	月见草属 <i>Oenothera</i>	北美洲东部 Eastern North America	2	B
紫茉莉科 Nyctaginaceae	紫茉莉 <i>Mirabilis jalapa</i>	紫茉莉属 <i>Mirabilis</i>	热带美洲 Tropical America	4	c
十字花科 Brassicaceae	北美独行菜 <i>Lepidium virginicum</i>	独行菜属 <i>Lepidium</i>	北美洲 North America	2	d