

云南省六个国家级自然保护区外来入侵草本植物与本地植物的关系

赵彩云 赵相健 柳晓燕 李俊生*

(中国环境科学研究院, 国家环境保护区域生态过程与功能评估重点实验室, 北京 100012)

摘要: 为明确不同自然保护区外来入侵草本植物及其与本地植物多样性之间的关系, 以我国生物多样性丰富的云南省为研究对象, 于2014年对云南省6个国家级自然保护区的82个1 m²小样方(78个100 m²大样方)中外来入侵草本植物和本地植物物种丰富度和密度进行调查, 并分析外来入侵草本植物物种丰富度与本地草本植物物种丰富度、外来入侵草本植物密度与本地草本植物密度的关系及对不同自然保护区外来入侵草本植物物种丰富度的差异进行分析。结果显示, 共调查发现22种外来入侵草本植物, 其中纳板河流域国家级自然保护区种类最多, 达14种, 金平分水岭国家级自然保护区仅有2种; 6个国家级自然保护区本地草本植物的物种丰富度与外来入侵草本植物的物种丰富度之间、本地草本植物密度与外来入侵草本植物密度之间均呈现正、负2种相关关系, 其中哀牢山国家级自然保护区本地草本植物的物种丰富度与外来入侵草本植物物种丰富度呈显著负相关, 其它5个国家级自然保护区的相关性均不显著。简单回归分析表明自然保护区外来入侵草本植物物种丰富度与本地草本植物物种丰富度、本地草本植物盖度、本地乔灌木物种丰富度呈显著负相关, 多元回归分析结果表明乔灌木物种丰富度和经纬度是造成不同自然保护区外来入侵草本植物物种多样性差异的主要原因。

关键词: 外来入侵草本植物; 本地草本植物; 丰富度; 国家级自然保护区; 可入侵性

Relationships between invasive alien grasses and native plants across different national nature reserves, Yunnan Province

Zhao Caiyun Zhao Xiangjian Liu Xiaoyan Li Junsheng*

(State Key Laboratory of Environmental Protection for Regional Eco-process and Function Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: To examine the distribution of invasive alien grasses and the relationship between native and invasive alien grass richnesses, six national nature reserves located in Yunnan Province, one of biodiversity hotspots, were selected as study areas. Eighty-two subplots (1 m²) in 78 plots (100 m²) were investigated for the richness, abundance and cover of plant species in the six national nature reserves. The relationships between the richness and density of native and invasive alien grasses were compared among different nature reserves. The factors influencing the richness in different nature reserves were also analyzed. Twenty-two invasive alien grasses were found in the six national nature reserves, and 14 invasive alien species were distributed in the Nabanhe River Basin National Nature Reserve, but only two invasive alien species were distributed in the Jinping Watershed National Nature Reserve. At the one-square-meter scale, positive and negative relationships of the species richness and density between native

and invasive alien grasses were found in the six national nature reserves. With increasing richness of native grass, the richness of invasive alien grass significantly decreased in Ailao Mountain National Nature Reserve, but no significant correlations trends were found in other nature reserves. The results of simple linear regressions showed that alien grass richness in different national natural reserves was negatively correlated with the native grass richness, cover of native grass and the species richness of native trees and shrubs. The results of multiple regression showed that the variance of invasive alien grass richness was mainly explained by the richness of native trees and shrubs, and the longitude and latitude.

Key words: invasive alien grass; native grass; richness; national nature reserve; invasibility

外来入侵物种是世界公认的导致生物多样性丧失的第二大因素,生物多样性丧失会严重影响生态系统功能(Maestre et al., 2012)和生态系统服务(Perring et al., 2010)。Lonsdale(1999)和Rejmánek & Richardson(1996)研究结果表明不同生态系统或生境外来物种入侵程度存在差异。诸如不同生态系统对外来入侵物种的抵抗力、外来入侵物种多样性与本地物种物种的关系等问题一直以来都是入侵生态学研究争论的焦点(Stohlgren et al., 1999)。

关于外来入侵物种多样性与本地物种多样性之间关系的研究较多,结论不尽相同。Darwin(1859)研究发现本地物种丰富度低的地区比物种丰富度高的地区更容易受到外来物种入侵。Elton(1958)同样认为随着本地物种丰富度增加,外来入侵物种可利用的资源和空余生态位减少,外来入侵物种丰富度降低,该观点被称为多样性阻抗假说(Knops et al., 1999; Davies et al., 2005)。生物多样性阻抗假说认为外来入侵物种丰富度与本地物种丰富度呈负相关关系,该假说在野外观察试验(Naeem et al., 2000; Lyons & Schwartz, 2001; Chen et al., 2010)和控制试验(Tilman, 1997)中均得到证实。然而越来越多的研究发现,本地物种丰富度高的区域外来入侵物种丰富度也更高(Cleland et al., 2004; Jauni & Hyvönen, 2012; Zeiter & Stampfli, 2012)。外来入侵物种与本地物种丰富度的关系与研究尺度密切相关(Fridley et al., 2007; Chen et al., 2010; Tarasi & Peet, 2018)。Fridley et al. (2007)提出“入侵悖论”,认为在小尺度上(样方面积 $<10\text{ m}^2$),外来入侵物种数量与本地物种数量呈负相关关系,但是在大尺度——景观尺度或区域尺度上,外来入侵物种丰富度与本地物种丰富度呈正相关关系,且在大尺度上本地物种丰富度与外来入侵物种丰富度受非生物因子——环境异质性、干扰、或景观等的影响,而在小尺度上受物种间竞争的影响。Davies et al. (2007)和Denslow et al. (2010)研究结果表明外来入侵物种与

本地物种丰富度关系不仅与尺度相关,还与环境因素、生态系统过程有关。

自然保护区是生物多样性保护的重要区域,研究不同自然保护区外来入侵物种与本地物种丰富度之间的关系,有助于评估外来入侵物种对自然保护区的威胁(Funk et al., 2008)。国内关于自然保护区外来入侵物种的研究较多,如我国已开展53个国家级自然保护区的调查(宫璐等, 2017),报道了自然保护区外来入侵物种的分布状况(刘峰等, 2008; 陶永祥等, 2017; 张佳期等, 2017); 宫璐等(2017)研究结果表明已有176种外来植物入侵到我国不同自然保护区,且在不同自然保护区的入侵程度不同; 汤敏喆等(2012)分析了加拿大一枝黄花*Solidago canadensis*扩散格局对庐山自然保护区生物多样性的影响,然而关于自然保护区外来入侵物种丰富度与本地物种丰富度之间关系的研究较少。本研究选择我国生物多样性丰富的云南省为研究区域,在滇南、滇中、滇东南各选择2个国家级自然保护区,调查这6个自然保护区外来入侵草本植物和本地草本植物的物种丰富度和密度,在此基础上分析外来入侵草本植物物种丰富度与本地草本植物物种丰富度、外来入侵草本植物密度与本地草本植物密度的关系,明确不同自然保护区外来入侵草本植物物种丰富度差异的原因,以期对自然保护区外来入侵草本植物的防控管理提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

研究区选择:选择滇南的西双版纳国家级自然保护区($100^{\circ}16'\sim 101^{\circ}50'E$, $21^{\circ}10'\sim 22^{\circ}24'N$)和纳板河流域国家级自然保护区($100^{\circ}32'\sim 100^{\circ}44'E$, $22^{\circ}04'\sim 22^{\circ}17'N$),滇中的无量山国家级自然保护区($100^{\circ}19'\sim 100^{\circ}45'E$, $24^{\circ}17'\sim 24^{\circ}55'N$)和哀牢山国家级自然保护区($100^{\circ}44'\sim 101^{\circ}30'E$, $23^{\circ}36'\sim 24^{\circ}56'N$),滇东南的大围山国家级自然保护区(103°

20'~104°03'E, 22°35'~23°07'N)和金平分水岭国家级自然保护区(102°31'~103°31'E, 22°26'~22°57'N)。

环境变量的选择和数据获取:决定外来入侵物种分布的因素主要有入侵物种的生物学特性、被入侵生态系统的环境特征和人类活动强度(吴晓雯等, 2006)。本研究主要考虑被入侵生态系统环境特征这个因素对外来入侵草本植物物种丰富度的影响, 主要包括本地草本植物物种丰富度、本地草本植物盖度、本地乔灌木物种丰富度、海拔、保护区面积、保护区建立时间、纬度、经度、年平均降雨量、年平均气温10个环境因子。其中本地草本植物物种丰富度、本地草本植物盖度、本地乔灌木物种丰富度、经度、纬度、海拔通过野外调查获取数据, 年平均降雨量、年平均气温通过文献资料获取数据, 保护区的面积和保护区建立时间通过《2015年全国自然保护区名录》查询。

1.2 方法

1.2.1 样方选择及调查方法

选择云南省滇南、滇中和滇东南的6个国家级自然保护区于2014年6—8月进行样方调查。在每个自然保护区的交通要道及其周边区域随机选取8~16个10 m×10 m的样方, 不同自然保护区样方具体数量选择依据交通状况确定, 样方设置间隔1 000 m以上, 调查该样方内乔木的物种数; 在每个10 m×10 m样方中随机设置1个5 m×5 m样方, 调查该样方内的灌木物种数; 在每个10 m×10 m样方中随机设置1~2个1 m×1 m的小样方, 调查该样方内的草本植物物种数、每个物种的个体数量和盖度, 并依据《中国外来入侵植物名录》(马金双和李惠茹, 2018)区分样方内的本地植物和外来入侵植物。同时记录样方的海拔、经纬度。

统计不同自然保护区1 m×1 m样方内本地草本植物、外来入侵草本植物、本地乔灌木的物种丰富度, 统计1 m×1 m样方内外来入侵草本植物和本地草本植物的密度, 统计1 m×1 m样方内所有本地草本植物和外来入侵草本植物的盖度。物种丰富度用样方内的本地草本植物、外来入侵草本植物、本地乔灌木的物种数表征, 密度用样方内所有物种个体数量表征。

1.2.2 外来入侵草本植物与本地草本植物的关系分析

运用SPSS 19.0软件分析每个国家级自然保护区1 m×1 m样方中外来入侵草本植物的物种丰富度和密度均值和标准差, 运用线性回归分析各个国家级自然保护区中本地草本植物与外来入侵草本植物

物种丰富度的关系、本地草本植物与外来入侵草本植物密度的关系, $P<0.05$ 为显著相关。

1.2.3 保护区入侵草本植物物种丰富度的差异分析

为分析引起云南省6个国家级自然保护区外来入侵草本植物物种丰富度差异的关键环境因子, 以大尺度10 m×10 m样方的外来入侵草本植物物种丰富度为自变量, 以10个环境因子为解释变量, 运用K-S检验每个变量的正态性, 当 $P<0.05$ 时, 对变量进行 $\log(x+1)$ 的标准化转换。采用简单回归分析检验外来入侵草本植物物种丰富度与10个环境因子的相关性, 利用拟合度 r^2 评价模型, 利用 P 值判断每个环境因子对外来入侵草本植物物种丰富度的影响程度, 当 $P<0.05$ 时为显著影响。为进一步筛选对不同自然保护区外来入侵草本植物物种丰富度影响的关键环境因子, 基于10个环境因子构建多元回归模型, 依据赤池信息准则(Akaike information criterion, AIC)选择最佳模型, 并根据标准回归系数Beta判断关键环境因子(Burnham & Anderson, 1998)。

1.3 数据分析

运用SPSS 19.0软件对数据进行统计分析, 采用SAM 4.0软件进行回归分析。

2 结果与分析

2.1 不同自然保护区外来入侵草本植物的种类及数量

云南省6个国家级自然保护区共发现22种外来入侵草本植物, 分别隶属于11科18属, 其中菊科最多, 有8种, 其次为禾本科和茄科, 各3种, 其它科均为1种, 大多数外来入侵草本植物均来自于美洲(表1)。自然保护区常见外来入侵草本植物有紫茎泽兰 *Eupatorium adenophorum*、小蓬草 *Conyza canadensis*、酢浆草 *Oxalis corniculata*, 其中紫茎泽兰在6个自然保护区均有分布; 婆婆针 *Bidens bipinnata*、地毯草 *Axonopus compressus*、两耳草 *Paspalum conjugatum* 等大多数外来入侵草本植物仅在某个国家级自然保护区分布。纳版河流域、西双版纳、哀牢山、无量山、金平分水岭和大围山国家级自然保护区外来入侵草本植物分别为15、9、5、5、2和6种, 其中金平分水岭国家级自然保护区外来入侵草本植物的种类最少。

2.2 不同自然保护区的草本植物物种丰富度和数量

纳版河流域、西双版纳、哀牢山、无量山、金平分水岭和大围山国家级自然保护区的外来入侵草本植物物种丰富度分别为3.40、2.25、1.63、2.00、1.20和1.43, 1 m×1 m样方中外来入侵草本植物物种数量分

别介于1~7、0~6、1~3、1~5、0~3、1~2种之间,本地草本植物物种丰富度分别为3.75、9.08、10.75、13.25、9.70、8.35,1 m×1 m样方本地草本植物物种数量分别介于0~7、5~14、5~18、9~19、7~14、1~14种之间。

2.3 不同自然保护区的草本植物密度和个体数量

纳版河流域、西双版纳、哀牢山、无量山、金平分水岭和大围山国家级自然保护区的外来入侵草本植

物密度分别为71.95、106.25、41.43、30.38、37.25和57.57,1 m×1 m样方中外来入侵草本植物物种个体数量分别介于4~221、20~190、3~106、4~67、4~81和0~291株之间,本地草本植物密度分别为24.80、51.88、91.69、98.25、151.67和102.21,1 m×1 m样方本地草本植物物种个体数量分别介于0~131、20~74、18~220、66~166、59~305和3~287株之间。

表1 云南省6个国家级自然保护区外来入侵草本植物种类
Table 1 Species of invasive alien grass in six national nature reserves in Yunnan Province

科名 Family	外来入侵草本植物 Invasive alien grass	原产地 Origin	自然保护区 Nature reserve
菊科 Compositae	藿香蓟 <i>Ageratum conyzoides</i>	中南美洲 Central and South America	E, F
	婆婆针 <i>Bidens bipinnata</i>	北美洲 North America	F
	三叶鬼针草 <i>Bidens pilosa</i>	美洲 America	A, C
	小蓬草 <i>Conyza canadensis</i>	北美洲 North America	A, C, D, E, F
	野茼蒿 <i>Crassocephalum crepidioides</i>	非洲 Africa	E
	苏门白酒草 <i>Conyza sumatrensis</i>	南美洲 South America	E
	紫茎泽兰 <i>Eupatorium adenophorum</i>	中美洲 Central America	A, B, C, D, E, F
	飞机草 <i>Eupatorium odoratum</i>	中美洲 Central America	D, E, F
禾本科 Gramineae	地毯草 <i>Axonopus compressus</i>	热带美洲 Tropical America	E
	两耳草 <i>Paspalum conjugatum</i>	热带美洲 Tropical America	F
	棕叶狗尾草 <i>Setaria palmifolia</i>	非洲 Africa	E
茄科 Solanaceae	少花龙葵 <i>Solanum photeinocarpum</i>	美洲 America	E
	水茄 <i>Solanum torvum</i>	加勒比地区 Caribbean Area	E
	喀西茄 <i>Solanum khasianum</i>	墨西哥 Mexico	D, E
落葵薯科 Basellaceae	落葵薯 <i>Anredera cordifolia</i>	南美洲 South America	E
茜草科 Rubiaceae	阔叶丰花草 <i>Borreria latifolia</i>	南美洲 South America	F
伞形科 Umbelliferae	刺芹 <i>Eryngium foetidum</i>	热带美洲 Tropical America	F
凤仙花科 Balsaminaceae	凤仙花 <i>Impatiens balsamina</i>	南亚到东南亚 South to Southeast Asia	A, C, D
含羞草科 Leguminosae	含羞草 <i>Mimosa pudica</i>	热带美洲 Tropical America	F
莎草科 Cyperaceae	香附子 <i>Cyperus rotundus</i>	东非和阿拉伯半岛 East Africa and Arabian Peninsula	D, E, F
苋科 Amaranthaceae	空心莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i>	南美洲 South America	E
酢浆草科 Oxalidaceae	酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i>	南美洲 South America	A, B, C, E

A~F: 哀牢山、金平分水岭、无量山、大围山、西双版纳和纳板河流域国家级自然保护区。A~F: Ailao Mountain National Nature Reserve, Jinping Watershed National Nature Reserve, Wuliang Moutain National Nature Reserve, Dawei Mountain National Nature Reserve, Xishuangbanna National Nature Reserve, Nabanhe River Basin National Nature Reserve, respectively.

2.4 外来入侵草本植物与本地草本植物的关系

2.4.1 草本植物物种丰富度之间的关系

6个国家级自然保护区本地草本植物物种丰富度与外来入侵草本植物物种丰富度呈正、负2种相关关系,其中哀牢山自然保护区($F=6.36, P=0.02$,图1-A)、金平分水岭国家级自然保护区($F=0.69, P=0.43$,图1-B)、无量山国家级自然保护区($F=0.02, P=0.90$,图1-C)和西双版纳国家级自然保护区($F=0.40, P=0.54$,图1-D)这4个自然保护区外来草本植物物种丰富度随着本地草本植物物种丰富度的增加而降低,且哀牢山国家级自然保护区相关性最

显著,其它3个自然保护区相关性不显著;而大围山国家级自然保护区($F=1.58, P=0.23$,图1-E)和纳板河流域国家级自然保护区($F=1.26, P=0.28$,图1-F)外来入侵草本植物物种丰富度与本地草本植物物种丰富度呈现正相关关系,但相关性不显著。

2.4.2 草本植物密度之间的关系

6个国家级自然保护区本地草本植物密度与外来入侵草本植物密度同样呈正、负2种相关关系,其中哀牢山国家级自然保护区($F=0.11, P=0.74$,图2-A)、大围山国家级自然保护区($F=0.63, P=0.45$,图2-B)、无量山国家级自然保护区($F=0.68, P=0.44$,图

2-C)和西双版纳国家级自然保护区($F=0.01$, $P=0.93$,图2-D)本地草本植物密度与外来入侵草本植物密度呈负相关关系,但相关性不显著;而金平分水岭国家级自然保护区($F=0.67$, $P=0.37$,图2-E)和纳

板河流域国家级自然保护区($F=3.38$, $P=0.08$,图2-F)本地草本植物密度与外来入侵草本植物密度呈正相关关系,但相关性不显著。

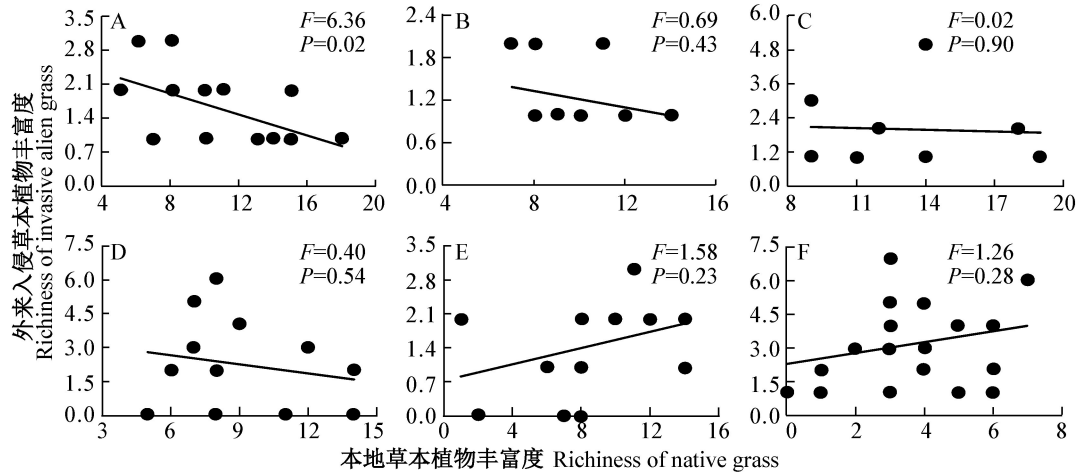


图1 云南省6个国家级自然保护区外来入侵草本植物物种丰富度与本地草本植物物种丰富度的关系

Fig. 1 Relationships of species richness between invasive alien and native grasses in six national nature reserves, Yunnan Province

A~F: 哀牢山、金平分水岭、无量山、西双版纳、大围山和纳板河流域国家级自然保护区。A~F: Ailao Mountain National Nature Reserve, Jinping Watershed National Nature Reserve, Wuliang Mountain National Nature Reserve, Xishuangbanna National Nature Reserve, Dawei Mountain National Nature Reserve, Nabanhe River Basin National Nature Reserve, respectively.

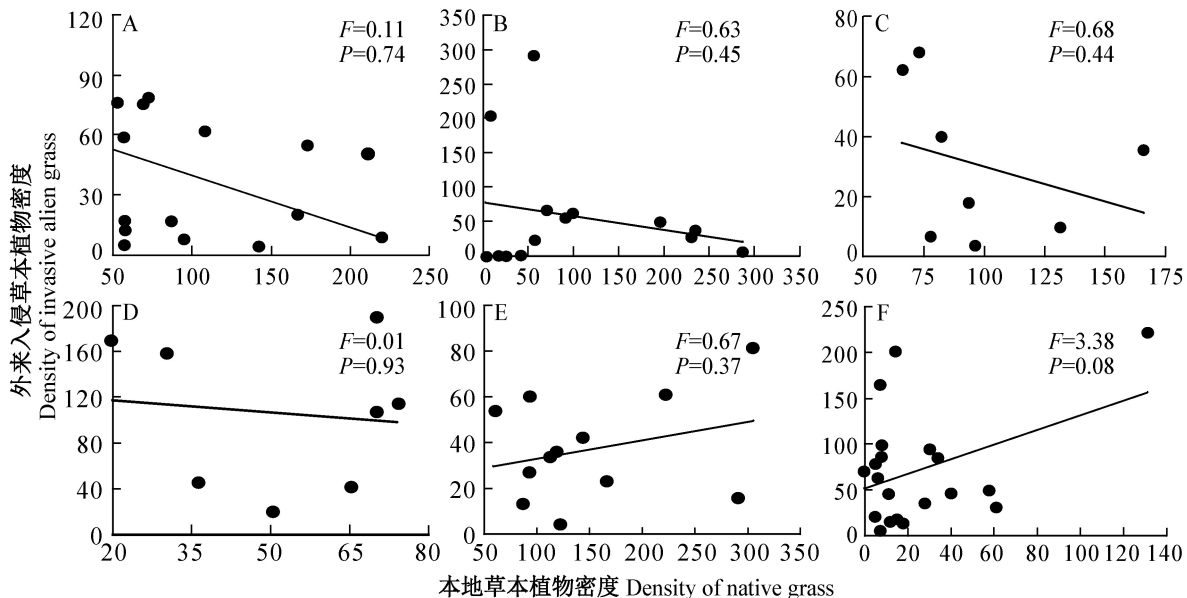


图2 云南省6个国家级森林类型自然保护区外来入侵草本植物密度与本地草本植物密度的关系

Fig. 2 Relationships of density between alien invasive and native grasses in the six national nature reserves, Yunnan Province

A~F: 哀牢山、大围山、无量山、西双版纳、金平分水岭和纳板河流域国家级自然保护区。A~F: Ailao Mountain National Nature Reserve, Dawei Mountain National Nature Reserve, Wuliang Mountain National Nature Reserve, Xishuangbanna National Nature Reserve, Jinping Watershed National Nature Reserve, Nabanhe River Basin National Nature Reserve, respectively.

2.5 保护区外来入侵草本植物物种丰富度差异分析

2.5.1 简单回归分析

简单回归分析结果表明,本地草本植物物种丰富度、本地草本植物盖度、本地乔灌木物种丰富度、

经度4个环境因子与外来入侵草本植物物种丰富度显著相关($P<0.05$),其中本地乔灌木物种丰富度与外来入侵草本植物物种丰富度极显著相关($P<0.001$),其余环境因子与外来入侵草本植物物种丰

富度无显著相关性(表2)。10个环境因子中,本地乔灌木物种丰富度对国家级自然保护区外来入侵草

本植物物种丰富度的解释量最高,其 r^2 达0.151。

表2 云南省6个国家级自然保护区外来入侵草本植物物种丰富度与10个环境因子的简单回归分析
Table 2 Simple linear regressions analysis of the invasive alien grass diversity and ten environmental factors in the six national nature reserves in Yunnan Province

环境因子 Environmental factor	r^2	P
本地草本植物物种丰富度 Native grass richness	0.050	0.044
本地草本植物盖度 Cover of native grass	0.057	0.030
本地乔灌木物种丰富度 Native tree and shrub richness	0.151	<0.001
海拔 Altitude	0.012	0.318
保护区面积 Area of nature reserve	0.029	0.129
保护区建立时间 Time of nature reserve	0.038	0.077
纬度 Latitude	0.023	0.175
经度 Longitude	0.083	0.009
年平均降雨量 Annual average precipitation	0.034	0.097
年平均气温 Annual average temperature	0.007	0.440

2.5.2 多元回归分析

在基于10个环境因子构建的1 023个多元回归模型中筛选出最佳模型, r^2 为0.379, AIC 为-33.406;在10个环境因子中,只有本地乔灌木物种丰富度、经度和纬度是影响6个国家级自然保护区外来入侵草本植物物种丰富度差异的主要环境因子,均与外来草本植物物种丰富度呈负相关关系, $Beta$ 分别为-0.027、-3.539和-17.916。

3 讨论

自然保护区是研究外来入侵物种对生物多样性影响的天然试验场所,全球许多国家已经开展了自然保护区外来入侵物种的研究(Lonsdale, 1999; Pyšek et al., 2002),然而我国的相关研究很少(Guo et al., 2017)。目前已有调查的自然保护区中,外来物种入侵程度不同(宫璐等,2017),如十万大山国家级自然保护区有23种外来物种入侵(韦原莲等,2006),鼎湖山国家级自然保护区有14种外来植物入侵(宋小玲等,2009)。本研究发现云南省6个国家级自然保护区面临不同程度的外来草本植物入侵,纳版河流域国家级自然保护区外来入侵草本植物最多,可达14种,6个国家级自然保护区均发现紫茎泽兰,这可能与紫茎泽兰在云南省16个州(市)129个县广泛分布有关(肖正清等,2009),紫茎泽兰种子可以随风扩散传播,也可随着道路扩散传播(彭晓昶等,2018),因此其很容易在自然保护区内形成种群。

本研究结果表明云南省哀牢山等4个国家级自

然保护区的外来入侵草本植物物种丰富度和本地草本植物物种丰富度、外来入侵草本植物密度和本地草本植物密度呈负相关关系,此结果与已有的小尺度上外来入侵植物与本地植物关系的研究结果相一致(MacDougall, 2005; Fridley et al., 2007; Chen et al., 2010),表明本地物种越丰富的地区入侵种越少,与Elton (1958)的经典假说一致。Knops et al. (1995)在加利福尼亚海边山脚区域的研究中发现,外来物种数量通常随着群落中本地物种数量增加而增加;Fridley et al. (2007)在小尺度弃耕地的研究中也发现,外来入侵植物与本地植物呈正相关关系,本研究结果也发现纳版河流域和大围山2个国家级自然保护区外来入侵草本植物数量随本地草本植物数量增加也呈增加趋势。然而入侵是一个非常复杂的过程,物种丰富度高并不一定意味着资源利用率高、群落稳定性好、对入侵的抵抗力强(Stohlgren et al., 1999)。本研究中6个国家级自然保护区的外来入侵草本植物密度与本地草本植物密度之间也呈现2种相关关系,在同一尺度上不同区域的外来入侵草本植物与本地草本植物表现出2种相关性,可以从竞争压力和环境适宜性2个角度解释,当竞争压力占主导地位时,本地物种占据的生态位越多,外来入侵物种可以利用的潜在生态位越少(Elton, 1958; Levine et al., 2004),因此外来入侵物种数量随着本地物种数量的增加而降低;然而当生态位不饱和时,物种之间竞争压力消除,环境适宜假说占据主导地位,即适合本地物种生存的环境也同样会吸引外来入侵物种,从而导致外来入侵物种与本地物种之间

形成正相关关系,推测外来入侵物种与本地物种的相关性对环境的依赖比尺度更明显(Davies et al., 2007)。

简单回归法分析表明外来入侵草本植物物种丰富度与本地草本植物物种丰富度、本地草本植物盖度、乔灌木物种丰富度呈显著相关,多元回归分析结果表明本地乔灌木物种丰富度显著影响外来草本植物物种丰富度,表明乔灌木对外来草本植物的影响更显著,其原因是乔灌木对光、土壤等资源的占有导致草本植物可利用的总资源减少,从而影响草本植物层外来入侵物种的数量,此结果与 Stohlgren et al. (1999)的试验推测相一致。Symstad (2000)认为对于一个入侵物种来说,资源利用性越低,则本地物种对其入侵的抵抗性越高。推断乔灌木层物种多样性可能改变草本植物层的资源可利用性,资源可利用性的变化导致草本植物层外来入侵物种与本地物种多样性关系的变化。不仅物种丰富度、种类、组成影响外来植物的入侵(Dukes, 2001; Levine et al., 2004),可利用的光、土壤、水等因子,干扰、繁殖压力等其它环境因子均可能对外来物种入侵造成影响。本研究结果还表明经纬度也影响外来物种数量;Rejmánek & Richardson (1996)发现热带地区比温带地区外来物种少;Davies et al. (2007)研究结果表明地点也会影响外来物种的入侵。

综上所述,本研究结果表明在小尺度上外来入侵物种与本地物种多样性呈正、负相关关系,说明尺度不是影响外来入侵物种与本地物种关系的必然因素(Davies et al., 2007)。乔灌木层物种多样性和研究地点均影响外来物种数量,可能资源可利用性以及不同研究地点的微环境对外来入侵物种的影响更明显。将来还需进一步增加样方数量,从多个尺度、多个生境探讨外来入侵植物与本地植物多样性的关系,并综合考虑保护区人为干扰因素对外来入侵物种的影响。

参 考 文 献 (References)

- Burnham KP, Anderson DR. 1998. Model selection and inference: a practical information-theoretic approach. New York: Springer
- Chen H, Qian H, Spyreas G, Crossland M. 2010. Biodiversity research: native-exotic species richness relationships across spatial scales and biotic homogenization in wetland plant communities of Illinois, USA. *Diversity & Distribution*, 16(5): 737–743
- Cleland EE, Smith MD, Andelman SJ, Bowles C, Carney KM, Horner-Devine MC, Drake JM, Emery SM, Gramling JM, Vandermast DB. 2004. Invasion in space and time: non-native species richness and relative abundance respond to interannual variation in productivity and diversity. *Ecological Letters*, 7(10): 947–957
- Darwin C. 1859. The origin of species. London: Oxford University Press
- Davies KF, Chesson P, Harrison S, Inouye BD, Melbourne BA, Rice KJ. 2005. Spatial heterogeneity explains the scale dependence of the native-exotic diversity relationship. *Ecology*, 86(6): 1602–1610
- Davies KF, Harrison S, Safford HD, Viers JH. 2007. Productivity alters the scale dependence of the diversity-invasibility relationship. *Ecology*, 88(8): 1940–1947
- Denslow MW, Palmer MW, Murrell ZE. 2010. Patterns of native and exotic vascular plant richness along an elevational gradient from sea level to the summit of the Appalachian Mountains, USA. *The Journal of the Torrey Botanical Society*, 137(1): 67–80
- Dukes JS. 2001. Biodiversity and invasibility in grassland microcosms. *Oecologia*, 126(4): 563–568
- Elton CS. 1958. The ecology of invasion by plant and animal. New York: Springer
- Fridley JD, Stachowicz JJ, Naeem S, Sax DF, Seabloom EW, Smith MD, Stohlgren TJ, von Holle B. 2007. The invasion paradox: reconciling pattern and process in species. *Ecology*, 88(1): 3–17
- Funk JL, Cleland EE, Suding KN, Zavaleta ES. 2008. Restoration through reassembly: plant traits and invasion resistance. *Trends in Ecology & Evolution*, 23(12): 695–703
- Gong L, Li JS, Liu XY, Zhao XJ, Zhao CY. 2017. Analysis of invasive alien species in Chinese national nature reserves. *Ecology Science*, 36(4): 210–216 (in Chinese) [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(4): 210–216]
- Guo H, Mazer SJ, Xu XY, Luo X, Huang KL, Xu XH. 2017. Biological invasion in nature reserves in China. // Wan FH, Jiang MK, Zhan AB. *Biological invasions and its management in China*. Dordrecht: Springer, pp. 125–147
- Jauni M, Hyvönen T. 2012. Positive diversity-invasibility relationships across multiple scales in Finnish agricultural habitats. *Biological Invasions*, 14(7): 1379–1391
- Knops JMH, Griffin JR, Royalty AC. 1995. Introduced and native plants of the Hastings Reservation, central coastal California: a comparison. *Biological Conservation*, 71(2): 115–123
- Knops JMH, Tilman D, Haddad NM, Naeem S, Mitchell CE, Haarstad J, Ritchie ME, Howe KM, Reich PB, Siemann E, et al. 1999. Effects of plant species richness on invasion dynamics, disease outbreaks, insect abundances and diversity. *Ecology Letters*, 2(5): 286–293
- Levine JM, Adler PB, Yelenik SG. 2004. A meta-analysis of biotic resistance to exotic plant invasions. *Ecology Letters*, 7(10): 975–989
- Liu F, Tao GD, Wang DS. 2008. Investigation on the alien invasive plants in Nabanhe Nature Reserve and precautionary measures. *Forest Inventory and Planning*, 33(6): 112–117 (in Chinese) [刘峰, 陶国达, 王东升. 2008. 纳板河自然保护区外来入侵植物状

- 况调查及防范对策. 林业调查规划, 33(6): 112–117]
- Lonsdale WM. 1999. Global patterns of plant invasions and the concept of invasibility. *Ecology*, 80(5): 1522–1536
- Lyons KG, Schwartz MW. 2001. Rare species loss alters ecosystem function: invasion resistance. *Ecology Letters*, 4: 358–365
- Ma JS, Li HR. 2018. The checklist of the alien invasive plants in China. Beijing: Higher Education Press (in Chinese) [马金双, 李惠茹. 2018. 中国外来入侵植物名录. 北京: 高等教育出版社]
- MacDougall AS. 2005. Responses of diversity and invisibility to burning in a northern Oak Savanna. *Ecology*, 86(12): 3354–3363
- Maestre FT, Quero JL, Gotelli NJ, Escudero A, Ochoa V, Delgado-Baquerizo M, García-Gómez M, Bowker MA, Soliveres S, Escolar C, et al. 2012. Plant species richness and ecosystem multifunctionality in global drylands. *Science*, 335(6065): 214–218
- Naeem S, Knops JMH, Tilman D, Howe KM, Kennedy T, Gale S. 2000. Plant diversity increases resistance to invasion in the absence of covarying extrinsic factors. *Oikos*, 91(1): 97–108
- Peng XC, Pan Y, Zhu XY, Zhou XM, Gao J, Wang CY. 2018. Morphological characters and wind dispersal property of pappose seeds for seven common Compositae weed in Yunnan, China. *Journal of Yunnan University (Natural Sciences Edition)*, 40(5): 1024–1033 (in Chinese) [彭晓昶, 潘燕, 朱晓媛, 周新茂, 高杰, 王崇云. 2018. 云南7种常见菊科杂草植物具冠毛种子形态与风传播特征. 云南大学学报(自然科学版), 40(5): 1024–1033]
- Perrings C, Naeem S, Ahrestani F, Bunker DE, Burkill P, Canziani G, Elmqvist T, Ferrati R, Fuhrman J, Jaksic F, et al. 2010. Ecosystem services for 2020. *Science*, 330(6002): 323–324
- Pyšek P, Jarošík V, Kucera T. 2002. Patterns of invasion in temperate nature reserves. *Biological Conservation*, 104(1): 13–24
- Rejmánek M, Richardson DM. 1996. What attributes make some plant species more invasive. *Ecology*, 77(6): 1655–1661
- Song XL, Cao F, He YH, Qiang S, Qin WH, Jiang MK. 2009. A survey of invasive alien plant species in Dinghushan National Nature Reserve. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 26(4): 538–543 (in Chinese) [宋小玲, 曹飞, 何云核, 强胜, 秦卫华, 蒋明康. 2009. 广东省鼎湖山国家级自然保护区外来入侵植物调查. 浙江林学院学报, 26(4): 538–543]
- Stohlgren TJ, Binkley D, Chong GW, Kalkhan MA, Schell LD, Bull KA, Otsuki Y, Newman G, Bashkin M, Son Y. 1999. Exotic plant species invade hot spots of native plant diversity. *Ecological Monographs*, 69(1): 25–46
- Symstad AJA. 2000. Test of the functional group richness and composition on grassland invisibility. *Ecology*, 81(1): 99–109
- Tang MZ, Ren MX, Zheng JM, Ding JQ. 2012. Seasonal dynamics of plant diversity in woodland invaded by *Solidago canadensis* (Asteraceae) in Lushan Nature Reserve. *Plant Science Journal*, 30(4): 366–373 (in Chinese) [汤敏喆, 任明迅, 郑景明, 丁建清. 2012. 加拿大一枝黄花对庐山自然保护区林业植物多样性及其季节动态的影响. 植物科技学报, 30(4): 366–373]
- Tao YX, Zhao JW, Wang LX, Guo XM. 2017. Investigation on the present situation of invasive plants in Xishuangbanna Nature Reserve. *Shandong Forestry Science and Technology*, (1): 58–61 (in Chinese) [陶永祥, 赵建伟, 王兰新, 郭贤明. 2017. 西双版纳自然保护区外来入侵植物现状调查. 山东林业科技, (1): 58–61]
- Tarasi DD, Peet RK. 2018. The native-exotic species richness relationship varies with spatial grain of measurement and environmental conditions. *Ecology*, 98(12): 56–78
- Tilman D. 1997. Community invasibility, recruitment limitation, and grassland biodiversity. *Ecology*, 78(1): 81–92
- Wei YL, Ye D, Wen YG, Men YY. 2006. Invasive plant species in Shiwandashan Mountain National Nature Reserve, Guangxi, China. *China Forest Science Technology*, 20(6): 23–26 (in Chinese) [韦原莲, 叶铎, 温远光, 门媛媛. 2006. 广西十万大山自然保护区外来入侵植物研究. 林业科技开发, 20(6): 23–26]
- Wu XW, Luo J, Chen JK, Li B. 2006. Spatial patterns of invasive alien plants in China and its relationship with environmental and anthropological factors. *Journal of Plant Ecology*, 30(4): 576–584 (in Chinese) [吴晓雯, 罗晶, 陈家宽, 李博. 2006. 中国外来入侵植物的分布格局及其与环境因子和人类活动的关系. 植物生态学报, 30(4): 576–584]
- Xiao ZQ, Zhou GH, Quan WT. 2009. Distribution pattern of malignant invasive species, *Eupatorium adenophorum* in Yunnan. *Journal of Natural Disasters*, 18(5): 82–87 (in Chinese) [肖正清, 周冠华, 权文婷. 2009. 恶性外来入侵植物紫茎泽兰在云南的分布格局. 自然灾害学报, 18(5): 82–87]
- Zeiter M, Stampfli A. 2012. Positive diversity-invisibility relationship in species-rich semi-natural grassland at the neighbourhood scale. *Annals of Botany*, 110(7): 1385–1393
- Zhang JQ, Zhou SB, Gao XQ, Wang Z, Li ZL, Fu LF, Chang JL. 2017. Analysis of alien invasive plants in Shishou Milu National Nature Reserve, China. *Journal of Weed Science*, 35(1): 36–41 (in Chinese) [张佳期, 周守标, 高香琴, 王智, 李中林, 符龙飞, 常锦利. 2017. 石首麋鹿国家级自然保护区外来入侵植物物种的分析. 杂草学报, 35(1): 36–41]

(责任编辑: 张俊芳)