

云南省纳板河流域国家级自然保护区不同生境 对外来入侵草本植物分布的影响

赵彩云¹ 李俊生^{1*} 刘 峰²

(1. 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;

2. 纳板河流域国家级自然保护区管理局, 云南 景洪 666100)

摘要: 为探明外来入侵草本植物在不同生境中分布差异及关键影响因素, 于2015年对云南省纳板河流域国家级自然保护区天然林、天然林林缘、橡胶林、橡胶林林缘和农田5种生境共164个1 m²样方的外来入侵草本植物种类和数量进行调查, 对比不同生境中外来入侵草本植物物种多样性的差异, 运用主成分分析法分析5种生境中主要外来入侵草本植物群落组成及其与环境因子的关系。结果表明, 5种生境中共发现外来入侵草本植物32种, 其中橡胶林林缘和农田中外来入侵草本植物种类最多, 达20余种, 天然林中外来入侵草本植物最少, 仅为6种。单因素方差分析结果表明, 不同生境中外来入侵草本植物多样性指数差异显著。多重比较检验结果表明, 天然林中外来入侵草本植物的物种丰富度指数、香农-威纳指数、辛普森指数和皮洛均匀度指数分别为0.50、0.15、0.09和0.16, 均显著低于其它生境; 橡胶林中外来入侵草本植物除均匀度指数外, 其余多样性指数均显著高于天然林且显著低于其余3种生境; 农田中外来入侵草本植物物种丰富度指数为5.50, 显著高于其它生境。主成分分析结果表明, 不同生境中外来入侵草本植物群落物种组成不同; 本地乔灌木物种数量和海拔是影响外来入侵草本植物在不同生境分布的关键因子。

关键词: 自然保护区; 外来入侵草本植物; 物种多样性; 生境

Effects of different habitats on distribution of invasive alien grasses in Nabanhe River Basin National Nature Reserve, Yunnan Province

Zhao Caiyun¹ Li Junsheng^{1*} Liu Feng²

(1. State Key Laboratory of Environmental Protection for Regional Eco-Process and Function Assessment, Chinese

Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 2. Administration Bureau

of Nabanhe National Nature Reserve, Jinghong 666100, Yunnan Province, China)

Abstract: To identify the variance of the distribution of invasive alien grasses and the influencing factors in different habitats, 164 subplots (1 m²) were investigated across five habitats, including natural forest, border of natural forest, rubber tree forest, border of rubber tree forest and farm, in Naban River Basin National Nature Reserve in 2015. Thirty-two invasive alien species were found in the five habitats, and more than 20 grasses were distributed on the border of rubber tree forest and farms. In contrast, only six species were found in natural forests. One-way ANOVA analysis results showed significant variance of diversity index among the five habitats. Based on least-significant difference analysis, species richness index (0.50), Shannon-Winner index (0.15), Simpson index (0.09) and Pielou evenness index (0.16) in natural forests were significantly lower than those in other habitats. Except for the eve-

ness, the other indexes of invasive alien grasses in rubber forests were also significantly different from those in other habitats. The richness index of invasive alien grasses (5.50) in the farm was obviously higher than that in other habitats. The results of canonical correspondence analysis (CCA) showed that the species composition of invasive alien grasses were also different in the five habitats. CCA analysis implied that the distribution of invasive alien grasses was influenced by native tree and shrub richness and altitude.

Key words: nature reserve; invasive alien grass; plant diversity; habitat

外来入侵物种是全球公认的导致生物多样性降低的第二大因素,自然保护区对生物多样性保护起着积极的作用(Leverington et al., 2010)。然而世界各地许多保护区及其周边区域生物多样性仍在持续下降(Foxcroft et al., 2017),其中外来物种入侵是主要原因之一。Usher(1988)在全球24个自然保护区的案例研究中发现了1 874种外来入侵维管植物。Loope(1992)研究结果显示美国25个保护区中外来物种占物种总数比例高达66%。de Poorter et al.(2007)在全球外来入侵物种项目研究报告中指出,全球有106个国家的487个自然保护区受到外来入侵物种的威胁。Genovesi & Monaco(2014)调查结果表明外来入侵物种是威胁自然保护区五大最严重因素之一。自然保护区外来物种入侵问题愈来愈受到关注。

我国自然保护区同样也面临着外来物种的入侵,薛达元等(2012)研究数据显示在我国已发现的外来入侵物种中约46.3%物种已侵入自然保护区。我国自然保护区调查研究工作起步较晚,如宫璐等(2017)研究发现国内仅有53个国家级自然保护区开展了外来入侵物种调查,占我国现有国家级自然保护区的11.88%。研究结果显示已开展调查的自然保护区中均分布有外来入侵物种(刘峰等,2008;宋小玲等,2009;宫璐等,2017)。人类活动是影响外来入侵物种传播和扩散的主要因素(吴晓雯等,2006),徐网谷等(2015)研究结果表明407个国家级自然保护区中有405个存在人类活动现象,其中农业生产用地是主要的人类活动斑块。干扰假说认为人为或自然因素对栖息地的干扰有利于外来物种入侵(de Ferrari & Naiman, 1994)。袁帅等(2013)对北亚热带地区不同生境中外来植物进行比较,发现干扰假说可解释不同生境中外来植物的分布。Chytrý et al.(2008)研究繁殖体压力、生境特征和气候等对不同生境中外来入侵物种数量及比例的影响,结果发现人类干扰生境中外来物种入侵最严重。Zhang et al.(2012)对中国北方5个不同自然保护区进行比

较,发现外来入侵植物随着人类活动、农田以及货物运输的增加而增加。

云南省是我国植物多样性最丰富的地区(Myers et al., 2000),外来物种的扩散和入侵已在一定程度上对云南省生态环境和经济造成巨大影响。外来入侵物种已随人类活动扩散到自然保护区,刘峰等(2008)调查发现纳板河流域国家级自然保护区外来入侵植物达32种,2017年该数量已增加至61种(宫璐等,2017)。纳板河流域国家级自然保护区分布着大面积的热带雨林、天然林(主要集中在核心区和缓冲区),试验区除大面积种植的橡胶林外,还有玉米、香蕉、火龙果等农业用地。本研究以云南省纳板河流域国家级自然保护区为研究区域,选择人类活动干扰程度不同的农田、橡胶林、橡胶林林缘、天然林和天然林林缘5种生境开展调查,明确5种生境中外来入侵草本植物的种类,对比分析不同生境中外来入侵草本植物多样性之间的差异,分析不同生境中外来入侵草本植物组成差异及其关键影响因素,期为纳板河流域国家级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

研究区概况:研究区位于云南省西双版纳傣族自治州的纳板河流域国家级自然保护区,该区总面积2.666万 hm^2 ,其中核心区、缓冲区、试验区面积分别为0.390、0.581和1.689万 hm^2 ;该区属热带雨林气候,雨量充沛而集中,干湿季分明(刘峰等,2008)。自然保护区以热带雨林、热带季节性雨林等森林生态系统及珍稀物种为主要保护对象。

环境因子的选择:选择植被因子、地理因子和人类活动影响因子3类环境因子;植被因子包括本地草本植物数量、本地乔木数量和本地灌木数量3个环境因子,地理因子包括每个样方的经度、纬度、海拔和坡度4个因子,人类活动影响因子包括距主要道路的距离和距村庄的距离2个环境因子。

仪器:佳明 OREGON 450 经纬度仪,北京佳明航电科技有限公司;XL-360 数显坡度仪,鑫量仪器科技有限公司。

1.2 方法

1.2.1 样方选择和植物的调查方法

于2015年7月选择纳板河流域国家级自然保护区及周边区域的天然林、天然林林缘、橡胶林、橡胶林林缘和农田共5种主要生境开展调查,样方大小为10 m×10 m,依据不同生境中外来入侵草本植物的分布状况和交通状况确定样方数量,其样方数量分别为4、7、12、8和10个。调查天然林、天然林林缘、橡胶林、橡胶林林缘4种生境中每个10 m×10 m样方中的乔木种类;在4种生境中每个10 m×10 m样方中随机设置1个5 m×5 m样方,调查该样方内灌木种类;在5种生境中每个10 m×10 m样方随机设置3~5个1 m×1 m的草本植物样方,详细调查样方内草本植物的种类和数量,天然林、天然林林缘、橡胶林、橡胶林林缘和农田的草本植物样方数量分别为16、25、50、8和39个。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,统计样方中乔木、灌木、草本植物的种类,并计算草本植物样方中每种外来入侵草本植物的个体数量。同时利用GPS记录每个10 m×10 m样方的经纬度、海拔;用坡度仪记录样方坡度,目测获取样方距主要道路的距离、距最近村庄的距离。

1.2.2 外来入侵草本植物物种多样性分析

采取物种丰富度指数 S 、香农-威纳多样性指数、辛普森多样性指数、皮洛均匀度指数4个指数对5种生境中外来入侵草本植物的多样性进行分析(方精云等,2004)。物种丰富度指数 S 为出现在样方内的外来入侵草本植物的物种数;香农-威纳指数 $H' = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$;辛普森指数 $D = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2$;皮洛均匀度指数 $E = H/H_{\max}$, N 为观察到的个体总数; P_i 为样方中第 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;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。物种多样性分析使用数理统计软件PAST完成。

1.2.3 主成分分析

运用主成分分析(canonical correspondence analysis, CCA)检验不同生境中主要外来入侵草本植物群落组成及其与环境因子的关系。选择外来入侵草本植物个体数量大于10的物种进行主成分分

析。运用Canoco 4.5软件分别对外来入侵草本植物物种个体数量与5种生境、外来入侵草本植物物种与9个环境因子进行CCA分析,并输出外来入侵物种群落组成排序图和影响因素的主成分分析图。外来入侵草本植物每个物种在每个环境因子直线上的投影表明此物种与该环境因子的关系,方向相同表明二者正相关,方向相反则负相关,投影越长,相关性越强。

1.3 数据分析

采用SPSS 7.5软件进行数据统计分析,利用单因素方差分析对比不同生境外来入侵草本植物多样性指数的差异,利用最小显著差数(LSD)法对不同生境的外来入侵草本植物多样性指数进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同生境中外来入侵草本植物的数量和种类

天然林、天然林林缘、橡胶林、橡胶林林缘和农田5种生境中,外来入侵草本植物共32种,分别隶属于13科27属,其中菊科最多,有10种,其次为苋科,有5种,这些外来入侵草本植物大多数来源于美洲。橡胶林林缘中外来入侵草本植物最多,达26种,其次是农田,有23种,天然林林缘和橡胶林均有14种,天然林中外来入侵草本植物最少,仅有6种,且均在同一个大样方中发现,其余样方无外来入侵草本植物。

紫茎泽兰 *Eupatorium adenophorum*、飞机草 *Eupatorium odoratum*、藿香蓟 *Ageratum conyzoides*、小蓬草 *Conyza canadensis*、野苘蒿 *Crassocephalum crepidioides* 和阔叶丰花草 *Borreria latifolia* 在5种生境中均有分布;两耳草 *Paspalum conjugatum*、三叶鬼针草 *Bidens pilosa* 和棕叶狗尾草 *Setaria palmifolia* 在除天然林外的其它4种生境中分布(表1)。

2.2 不同生境中外来入侵草本植物多样性比较

单因素方差分析结果表明不同生境之间外来入侵草本植物的物种丰富度指数($F=31.34, P < 0.001$)、香农-威纳指数($F=10.02, P < 0.001$)、辛普森指数($F=8.34, P < 0.001$)和皮洛均匀度指数($F=18.26, P < 0.001$)均呈现显著相关关系。

LSD多重检验结果表明,在5种生境中,农田中外来入侵草本植物的物种丰富度指数最大,为5.05,显著高于其它4种生境($P < 0.05$),天然林中外来入侵草本植物物种丰富度指数最小,为0.50,显著低于其它4种生境($P < 0.05$),橡胶林中外来入侵草本植物显著低于农田、天然林林缘、橡胶林林缘生境($P <$

0.05), 仅天然林林缘与橡胶林林缘物种丰富度指数差异不显著(图 1-A)。农田、橡胶林林缘、天然林林缘、天然林和橡胶林中的香农-威纳指数分别为 0.89、0.76、0.78、0.15 和 0.51, 前三者之间差异不显著, 后二者之间差异显著($P < 0.05$), 且均显著低于前三者($P < 0.05$, 图 1-B)。农田、橡胶林林缘、天然林林缘、天然林和橡胶林中辛普森指数分别为 0.46、

0.41、0.43、0.09 和 0.28, 前三者之间差异不显著, 后二者之间差异显著($P < 0.05$), 且均显著低于前三者($P < 0.05$, 图 1-C)。天然林和农田中皮洛均匀度指数分别为 0.16 和 0.57, 前者显著低于后者($P < 0.05$), 且均显著低于其它生境($P < 0.05$), 其它生境之间差异不显著(图 1-D)。

表 1 纳板河流域国家级自然保护区外来入侵草本种类统计表

Table 1 List of invasive alien grasses in the Nabanhe River Basin National Nature Reserve

科名 Family	种名 Species	原产地 Origin	生境 Habitat
菊科 Compositae	金腰剑 <i>Synedrella nodiflora</i>	南美洲 South America	F, BN, BR
	飞机草 <i>Eupatorium odoratum</i>	中美洲 Central America	F, N, BN, R, BR
	紫茎泽兰 <i>Eupatorium adenophorum</i>	中美洲 Central America	F, N, BN, R, BR
	小蓬草 <i>Conyza canadensis</i>	北美洲 North America	F, N, BN, R, BR
	藿香蓟 <i>Ageratum conyzoides</i>	中南美洲 Central and South America	F, N, BN, R, BR
	野茼蒿 <i>Crassocephalum crepidioides</i>	非洲 Africa	F, N, BN, R, BR
	三叶鬼针草 <i>Bidens pilosa</i>	美洲 America	F, BN, R, BR
	一年蓬 <i>Erigeron annuus</i>	北美洲 North America	R, BR
	牛膝菊 <i>Galinsoga parviflora</i>	南美洲 South America	F, BN, BR
	苏门白酒草 <i>Conyza sumatrensis</i>	南美洲 South America	F, BN, R
苋科 Amaranthaceae	凹头苋 <i>Amaranthus lividus</i>	热带美洲 Tropical America	F, BR
	刺苋 <i>Amaranthus spinosus</i>	热带美洲 Tropical America	BR
	苋 <i>Amaranthus tricolor</i>	印度 India	F, BR
	青葙 <i>Celosia argentea</i>	印度 India	F
	空心莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i>	南美洲 South America	F, BN, BR
茄科 Solanaceae	苦蕒 <i>Physalis angulata</i>	美洲 America	F
	少花龙葵 <i>Solanum photeinocarpum</i>	美洲 America	BR
	水茄 <i>Solanum torvum</i>	加勒比地区 Caribbean Area	BR
	喀西茄 <i>Solanum khasianum</i>	墨西哥 Mexico	F, BN, BR
禾本科 Gramineae	两耳草 <i>Paspalum conjugatum</i>	热带美洲 Tropical America	F, BN, R, BR
	棕叶狗尾草 <i>Setaria palmifolia</i>	非洲 Africa	F, BN, R, BR
	地毯草 <i>Axonopus compressus</i>	热带美洲 Tropical America	BR
藜科 Chenopodiaceae	土荆芥 <i>Chenopodium ambrosioides</i>	热带美洲 Tropical America	BR
落葵薯科 Basellaceae	落葵薯 <i>Anredera cordifolia</i>	南美洲 South America	BR
马鞭草科 Verbenaceae	假马鞭 <i>Stachytarpheta jamaicensis</i>	中南美洲 Central and South America	BR
茜草科 Rubiaceae	阔叶丰花草 <i>Borreria latifolia</i>	南美洲 South America	F, N, BN, R, BR
伞形科 Umbelliferae	刺芹 <i>Eryngium foetidum</i>	热带美洲 Tropical America	F, R
玄参科 Scrophulariaceae	野甘草 <i>Scoparia dulcis</i>	热带美洲 Tropical America	F, R
酢浆草科 Oxalidaceae	酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i>	南美洲 South America	F, R, BR
大戟科 Euphorbiaceae	飞扬草 <i>Euphorbia hirta</i>	热带美洲 Tropical America	F
含羞草科 Leguminosae	含羞草 <i>Mimosa pudica</i>	热带美洲 Tropical America	F, BR
锦葵科 Malvaceae	赛葵 <i>Malvastrum coromandelianum</i>	美洲 America	BR

F: 农田; N: 天然林; BN: 天然林林缘; R: 橡胶林; BR: 橡胶林林缘。 F: Farm; N: natural forest; BN: border of natural forest; R: rubber tree forest; BR: border of rubber tree forest.

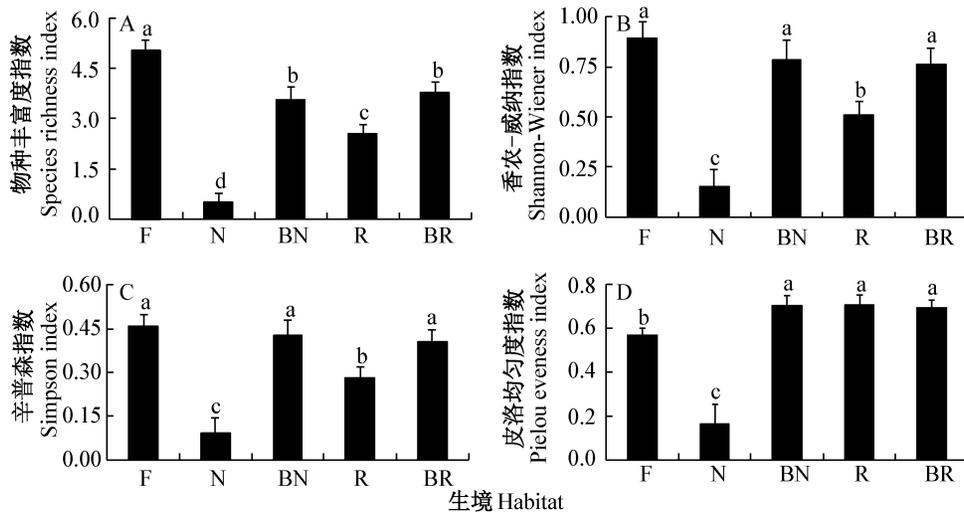


图1 纳板河流域国家级自然保护区5种生境中外来入侵草本植物多样性指数

Fig. 1 Diversity indexes of invasive alien grasses in five habitats in the Nabanhe River Basin National Nature Reserve

F: 农田; N: 天然林; BN: 天然林林缘; R: 橡胶林; BR: 橡胶林林缘。图中数据为平均数±标准差。不同字母表示经LSD法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。F: Farm; N: natural forest; BN: border of natural forest; R: rubber tree forest; BR: border of rubber tree forest. Data are mean±SD. Different letters indicate significant difference at $P<0.05$ level by LSD test.

2.3 主成分分析

2.3.1 不同生境与外来入侵草本植物的CCA分析

不同生境中外来入侵草本植物组成差异显著,天然林林缘生境分布在轴2右上部,天然林生境分布在轴2右下方,橡胶林和橡胶林林缘主要分布在轴1下方,农田样方主要分布在轴2左部。天然林、天然林林缘与农田生境完全分离,橡胶林林缘与天然林林缘生境也完全分离,橡胶林林缘与农田生境

有交叉重叠。生境完全分离的,则外来入侵草本植物组成完全不同,生境有重叠的,则外来入侵草本植物组成相似。其中紫茎泽兰主要分布在天然林林缘,飞机草、两耳草等外来入侵草本植物多分布在橡胶林和橡胶林林缘,三叶鬼针草、牛膝菊 *Galinsoga parviflora*、藿香蓟更偏好农田生境。橡胶林和橡胶林林缘既有农田中的外来入侵草本植物,也有天然林和天然林林缘中的外来入侵草本植物(图2)。

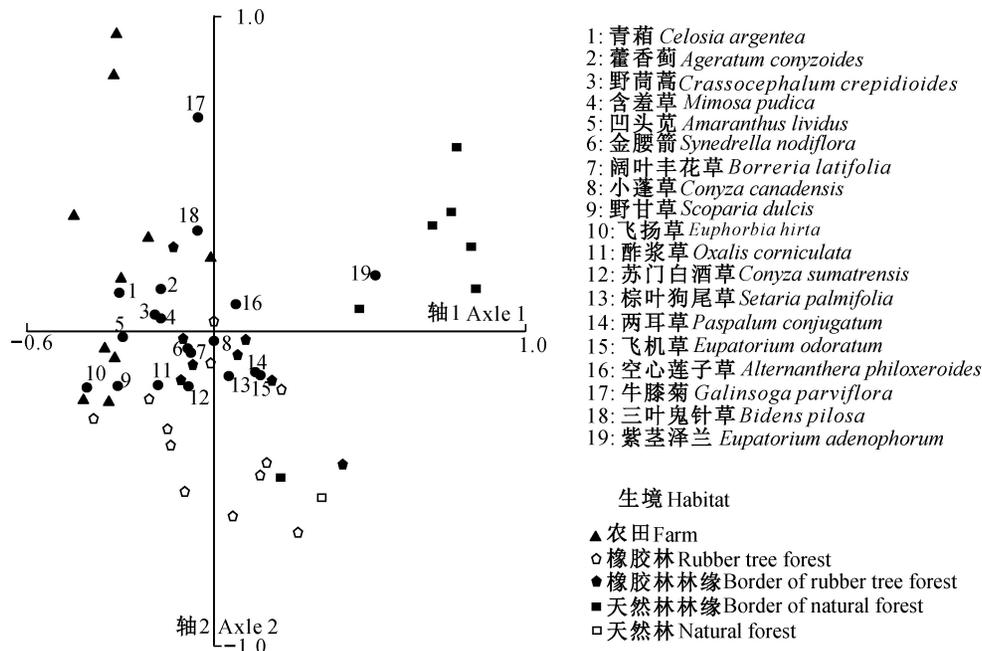


图2 纳板河流域国家级自然保护区5种生境中外来入侵草本植物群落组成排序图

Fig. 2 Ordination of species composition of invasive alien grasses in five habitats in the Nabanhe River Basin National Nature Reserve

2.3.2 外来入侵草本植物与环境因子的CCA分析

轴1和轴2对外来入侵草本植物分布的解释量分别为31.7%和20.2%，总解释量为51.9%。轴1和轴2累计解释物种与环境相关性为87.9%，表明外来入侵植物与环境因子密切相关。在9个环境因子中，本地乔木数量对外来入侵植物分布的解释量最高，为29.0%，其次为海拔，解释量为18.0%，而表征人类活动影响的2个因子——距主要道路的距离和

距村庄的距离解释量较低，2个因子的解释量共14.0%(图3)。其中紫茎泽兰、飞机草、两耳草、棕叶狗尾草和空心莲子草与本地乔灌木物种多样性呈正相关，其中紫茎泽兰与本地乔灌木物种多样性相关性最强，而其它外来入侵草本植物与本地乔灌木物种多样性呈负相关。牛膝菊、紫茎泽兰与海拔呈正相关，海拔对这些物种影响较明显(图3)。

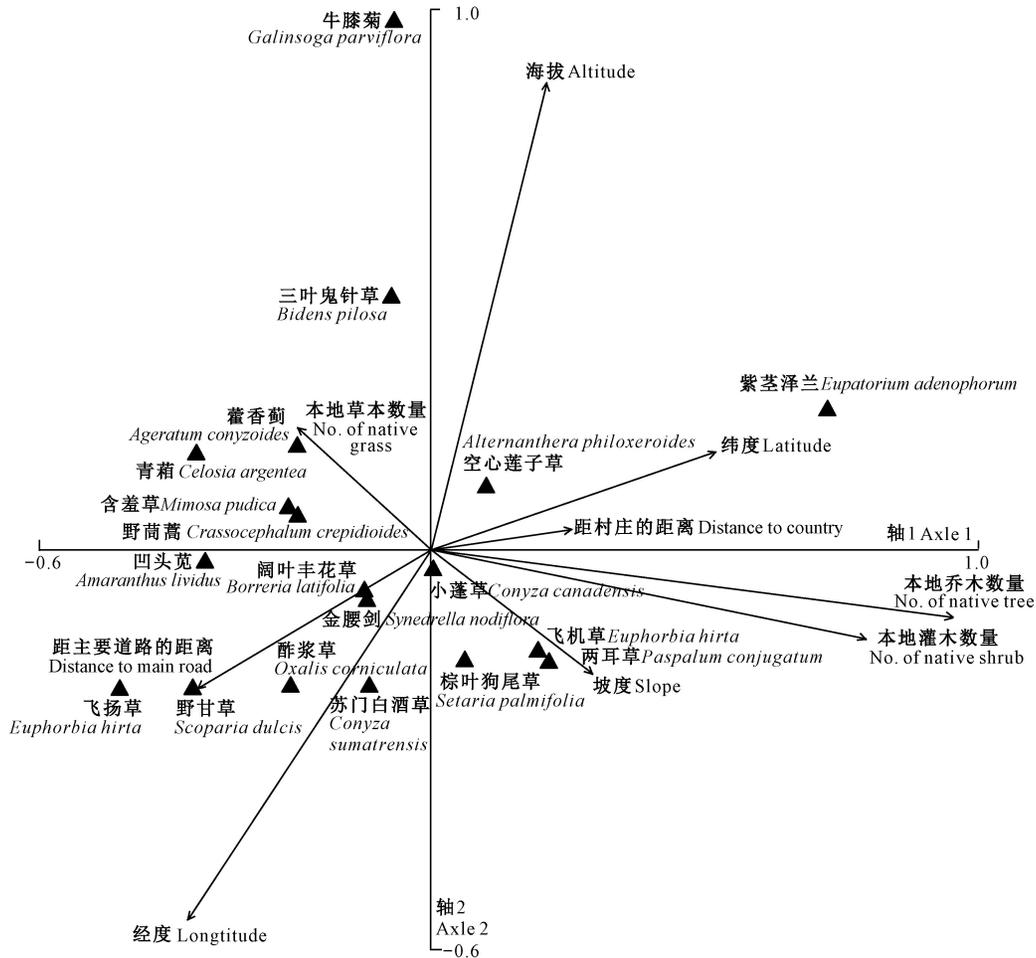


图3 纳板河流域国家级自然保护区5种生境下外来入侵草本植物影响因素的主成分分析

Fig. 3 CCA of environmental factors for the invasive alien grasses in five habitats in the Nabanhe River Basin National Nature Reserve

▲：外来入侵杂草；带箭头直线表示环境因子，线段越长说明该因子对外来入侵草本植物物种组成影响越大。▲：The invasive alien grass; lines with arrow represent the environmental factors; longer line indicates this environmental factor can explain more of the distribution of invasive alien grasses.

3 讨论

纳板河流域国家级自然保护区不同生境的外来入侵草本植物多样性存在显著差异，农田、橡胶林林缘、天然林林缘、橡胶林、天然林外来入侵草本植物依次减少，与袁帅等(2013)对不同生境外来入侵植物调查结果相似。本研究发现农田和橡胶林内外来入侵草本植物物种多样性高，与Affre et al.(2010)和

Chytrý et al.(2008)研究结果相似，表明外来入侵植物更容易入侵到有人类干扰的生境，这主要是由于人类活动对生境的扰动导致短期内资源的改变，为外来入侵物种种群增加提供了机会(Hertling & Lubke, 2000)，而人类在农田和橡胶林的农业活动也可能携带大量种子进入，增加了外来入侵草本植物定殖的机会。橡胶林林缘和天然林林缘也是外来

草本植物容易入侵的区域,这主要是由于林缘紧邻道路,已有研究表明道路容易造成外来物种入侵(周婷等,2009),路缘是一个外来种生存和传播扩散的主要生境(郑景明等,2011),Nelson et al.(2008)研究也表明道路在外来物种传播中起了很大作用。天然林是外来入侵草本植物分布最少的区域,在调查的16个样方中仅有3个样方中有零星的外来入侵草本植物分布,也主要沿着林内一条小道两旁分布。这与天然林很少有外来入侵植物的结论相似(Schramm,2008),说明天然林具有抵御外来入侵植物的能力,然而道路会为外来入侵草本植物在天然林内的传播扩散提供便利(Mortensen et al.,2009)。

CCA分析结果表明本地乔灌木物种数量是影响外来入侵草本植物分布的主要因素。这主要是由于本地乔灌木的物种多样性越高,郁闭度越高,林下可用光越少,而光照是植物光合作用必需资源之一,也是热带、亚热带森林植物生长最重要的生态限制因子(Durand & Goldstein,2001),同时也是影响草本植物丰富度和外来入侵草本植物危害程度的主要因素(Evans et al.,2012)。在农田、橡胶林、橡胶林林缘、天然林和天然林林缘,由于群落结构不同,光环境也会发生变化,如农田中由于缺乏植被的覆盖和缓冲,生境中有充足的光照,而橡胶林和橡胶林林缘的乔灌层形成郁闭,光照比农田弱,在天然林群落结构中由于乔灌层物种多样性增加,使得林相更加复杂,植被的缓冲也导致生境较封闭。付登高等(2010)对滇中紫茎泽兰的分布格局进行研究,发现紫茎泽兰盖度与光照强度呈显著正相关。魏巍等(2017)通过模拟不同演替阶段森林类型发现,光强太强或太弱都可显著抑制飞机草的生长,这可能是本研究天然林中外来入侵草本植物较少的主要原因。另外本研究结果还表明海拔也是影响外来入侵草本植物分布的因素之一,此结论与Zhang et al.(2012)对5个不同自然保护区外来入侵植物分布格局的分析结果相一致。

纳板河流域国家级自然保护区试验区和缓冲区居住着许多当地居民,人类活动强度大,为外来入侵物种创造了入侵的机会(刘峰等,2008)。已有研究表明亚热带地区的外来植物从农田杂草逐渐向山地丘陵等其它地区扩散(Alexander et al.,2011;Mcdougall et al.,2011)。本研究结果中橡胶林、橡胶林林缘、天然林林缘发现的外来入侵草本植物很多在农田有分布,农田可能是外来植物向其它生境传播的中转站(袁帅等,2013)。因此要加强农田的田间管

理,减少外来入侵植物的定殖和扩散。

纳板河流域国家级自然保护区拥有丰富的物种资源,具有重要的保护价值(刘峰等,2008),应高度重视该区的生物入侵。尽管本研究调查结果表明天然林内外来草本植物入侵不严重,但是天然林林缘出现大量外来入侵草本植物很可能会向林内扩散,因此需要加强对林缘和林内的外来入侵植物的长期监测,建议在天然林或橡胶林林边建人工围栏阻止外来种侵入和促进本地种生长,对林缘生长的外来入侵草本植物如飞机草和紫茎泽兰也可采取构建本地物种群落的阻截带,有效防范其向林内进一步扩散。

参 考 文 献 (References)

- Affre L, Suehs CM, Charpentier S, Vilà M, Brundu G, Lambdon P, Traveset A, Hulme PE. 2010. Consistency in the habitat degree of invasion for three invasion plant species across Mediterranean islands. *Biological Invasions*, 12(8): 2537–2584
- Alexander JM, Kueffer C, Daehler CC, Edwards PJ, Pauchard A, Seipel T, Consortium M. 2011. Assembly of nonnative floras along elevational gradients explained by directional ecological filtering. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(2): 656–661
- Chytrý M, Jarošík V, Pyšek P, Hájek O, Knollová I, Tichý L, Danihelka J. 2008. Separating habitat invisibility by alien plants from the actual level of invasion. *Ecology*, 89(6): 1541–1553
- de Ferrari CM, Naiman RJ. 1994. A multi-scale assessment of the occurrence of exotic plants on the Olympic Peninsula, Washington. *Journal of Vegetation Science*, 5(2): 247–258
- de Poorter M, Pagad S, Ullah MI. 2007. Invasive alien species and protected areas: a scoping report part I. http://www.issg.org/pdf/publications/GISP/Resources/IAS_ProtectedAreas_ScopingI.pdf. 2017-12-10
- Durand LZ, Goldstein G. 2001. Photosynthesis, photoinhibition, and nitrogen use efficiency in native and invasive tree ferns in Hawaii. *Oecologia*, 126(3): 345–354
- Evans DM, Turley NE, Levey DJ, Tewksbury JJ. 2012. Habitat patch shape, not corridors, determines herbivory and fruit production of an annual plant. *Ecology*, 93(5): 1016–1025
- Fang JY, Shen ZH, Tang ZY, Wang ZH. 2004. The protocol for the survey plan for plant species diversity of China's mountains. *Biodiversity Science*, 12(1): 5–9 (in Chinese) [方精云, 沈泽昊, 唐志尧, 王志恒. 2004. “中国山地植物物种多样性调查计划”及若干技术规范. *生物多样性*, 12(1): 5–9]
- Foxcroft LC, Pyšek P, Richardson D, Genovesi P, MacFadyen S. 2017. Plant invasion science in protected areas: progress and priorities. *Biological Invasions*, 19(5): 32–58
- Fu DG, Yan K, Li B, Han JB, Hou XL, Duan CQ. 2010. Distribution pattern and related habitat factors of invasive plant *Eupatorium adenophorum* along the roadsides in central Yunnan Province,

- China. Chinese Journal of Ecology, 29(3): 566–571 (in Chinese) [付登高, 阎凯, 李博, 韩金保, 侯秀丽, 段昌群. 2010. 滇中地区公路沿线紫茎泽兰的分布格局及其生境因子. 生态学杂志, 29(3): 566–571]
- Genovesi P, Monaco A. 2014. Guidelines for addressing invasive species in protected areas.//Foxcroft LC, Pyšek P, Richardson DM, Genovesi P. Plant invasions in protected areas: patterns, problems and challenges. Dordrecht: Springer, pp. 487–506
- 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]
- Hertling UM, Lubke RA. 2000. Assessing the potential for biological invasion: the case *Ammophila arenaria* in the South Africa. South African Journal of Science, 96(9): 520–527
- Leverington F, Costa KL, Pavese H, Lisle A, Hockings M. 2010. A global analysis of protected area management effectiveness. Environmental Management, 46(5): 685–698
- 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]
- Loope LL. 1992. An overview of problems with introduced plant species in national parks and biosphere reserves of the United States. //Stone CP, Smith CW, Tunison JT. Alien plants invasions in native ecosystems of Hawaii: management and research. Honolulu: University of Hawaii Press, pp. 3–28
- 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. 中国外来入侵植物名录. 2018. 北京: 高等教育出版社]
- Mcdougall KL, Khuroo AA, Loope LL, Parks CG, Pauchard A, Reshi ZA, Rushworth I, Kueffer C. 2011. Plant invasions in mountains: global lessons for better management. Mountain Research and Development, 31(4): 380–387
- Mortensen DA, Rauschert ESJ, Nord AN, Jones BP. 2009. Forest roads facilitate the spread of invasive plants. Invasive Plant Science and Management, 2(3): 191–199
- Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, da Fonseca GAB, Kent J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. Nature, 403: 853–858
- Nelson CR, Halpern CB, Agee JK. 2008. Thinning and burning result in low-level invasion by nonnative plants but neutral effects on natives. Ecological Applications, 18(3): 762–770
- Schramm J. 2008. Historical legacies, competition and dispersal control patterns of invasion by a non-native grass, *Microstegium vimineum*. Ph. D Thesis. New Brunswick: Rutgers University
- 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]
- Usher MB. 1988. Invasions of nature reserves: a search for generalizations. Biological Conservation, 44 (1/2): 119–135
- Wei W, Hou YP, Peng SL, Chen PD, Liang XP, Zhang J. 2017. Effects of light intensity on growth and biomass allocation of invasion plants *Mikania micrantha* and *Chromolaena odorata*. Acta Ecologica Sinica, 37(18): 6021–6028 (in Chinese) [魏巍, 侯玉平, 彭少麟, 陈鹏东, 梁希平, 张静. 2017. 不同光照强度对入侵植物薇甘菊(*Mikania micrantha*) 和飞机草(*Chromolaena odorata*) 生长及生物量分配的影响. 生态学报, 37(18): 6021–6028]
- 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]
- Xu WG, Qin WH, Liu XM, Xia X, Zhou DQ, Fan LN, Jiang MK. 2015. Status quo of distribution of human activities in the national nature reserves. Journal of Ecology and Rural Environment, 31(6): 802–807 (in Chinese) [徐网谷, 秦卫华, 刘晓曼, 夏欣, 周大庆, 范鲁宁, 蒋明康. 2015. 中国国家级自然保护区人类活动分布现状. 生态与农村环境学报, 31(6): 802–807]
- Xue DY, Peng Y, Hu T. 2012. Bioinvasion regulatory system in China. Environmental Protection, (1): 60–62 (in Chinese) [薛达元, 彭羽, 胡涛. 2012. 中国生物入侵管理体制探讨. 环境保护, (1): 60–62]
- Yuan S, Zheng JM, Liu YH, Liu ZH. 2013. Comparison of exotic plants' distribution among different habitats in northern subtropical region in China. Journal of Central South University of Forest & Technology, 33(7): 25–30 (in Chinese) [袁帅, 郑景明, 刘艳红, 刘忠华. 2013. 北亚热带地区不同生境外来植物分布比较. 中南林业科技大学学报, 33(7): 25–30]
- 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(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) [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]
- Zhou T, Peng SL, Lin ZG. 2009. Edge effect of road in Dinghushan forests. Chinese Journal of Ecology, 28(3): 433–437 (in Chinese) [周婷, 彭少麟, 林真光. 2009. 鼎湖山森林道路边缘效应. 生态学杂志, 28(3): 433–437]

(责任编辑:张俊芳)