



外来入侵植物与人工林下层植被结构的关联性

黄小荣, 曹艳云, 陆国导, 曹纪文, 刘庐

引用本文:

黄小荣, 曹艳云, 陆国导, 等. 外来入侵植物与人工林下层植被结构的关联性[J]. 热带亚热带植物学报, 2020, 28(1): 10–16.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4050>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于植物功能性状的生态学研究进展:从个体水平到全球尺度

Plant Functional Traits: From Individual Plant to Global Scale

热带亚热带植物学报. 2019, 27(5): 523–533 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4108>

西沙群岛主要岛屿不同植被类型对土壤理化性质的影响

Effect of Vegetation Types on Soil Physicochemical Property in East Island and Yongxing Island of Xisha Islands

热带亚热带植物学报. 2019, 27(4): 383–390 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4013>

香港鹅耳枥(桦木科)的群落特征

Community Characteristics of *Carpinus insularis*(Betulaceae)

热带亚热带植物学报. 2018, 26(2): 207–211 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3777>

广东肇庆地区药材金线莲种质资源调查与生态生物学特性研究

Germplasm Investigation and Ecological Biology Characteristics of Medicinal Herb *Anoectochilus roxburghii* in Zhaoqing, Guangdong Province, China

热带亚热带植物学报. 2016, 24(4): 381–388 <https://doi.org/10.11926/j.issn.1005-3395.2016.04.004>

中国菊科一新归化植物--白花金钮扣

Acemella radicans var. *debilis* (Kunth) R. K. Jansen (Asteraceae), A Newly Naturalized Plant in China

热带亚热带植物学报. 2015(6): 643–646 <https://doi.org/10.11926/j.issn.1005-3395.2015.06.007>

外来入侵植物与人工林下层植被结构的关联性

黄小荣¹, 曹艳云^{1*}, 陆国导¹, 曹纪文², 刘庐²

(1. 广西壮族自治区林业科学研究院, 南宁 530002; 2. 广西陆川县林场, 广西 陆川 537716)

摘要: 为有效防控外来入侵植物, 在广西陆川县人工林区进行植被嵌套样方调查, 分析群落物种组成与植被结构和环境因子之间的相关性。Mantel 检验表明样方物种组成与样方植被结构的相关性($r=0.208$, $P=0.002$)高于其与环境因子相关性($r=0.084$, $P=0.051$)。MRPP 分析表明, 有入侵植物阔叶丰花草(*Spermacoce alata*)、假臭草(*Praxelis clematidea*)和胜红蓟(*Ageratum conyzoides*)样方的植被结构与无这 3 种植物样方的有极显著不同($P<0.01$), 而有无薇甘菊(*Mikaina micrantha*)样方的植被结构相似。 t 检验表明林冠盖度(>3.0 m)与这 4 种植物入侵均无显著相关性($P>0.073$)。通过增加垂直高度 1.5 m 以下的植被密度, 可以减少阔叶丰花草、假臭草和胜红蓟的入侵, 但对抑制薇甘菊入侵无效。因此, 植被结构作为过滤器, 可能主要作用于植物的种子产生时间、萌发周期和生长习性; 以种子方式繁殖的入侵植物能相对更依赖干扰、暴露的裸地; 兼具无性和有性繁殖且能攀援和匍匐生长使得薇甘菊能够在不同植被结构的群落中相对随机地定植。

关键词: 外来入侵植物; 植被结构; 盖度; 相异性; 薇甘菊; 嵌套样方

doi: 10.11926/jtsb.4050

Relating Invasive Alien Species in Plantations to Dissimilarity of Undergrowth Vegetation Structure

HUANG Xiao-rong¹, CAO Yan-yun^{1*}, LU Guo-dao¹, CAO Ji-wen², LIU Lu²

(1. Guangxi Forestry Research Institute, Nanning 530002, China; 2. Forest Farm of Luchuan County, Luchuan 537716, Guangxi, China)

Abstract: In order to effectively prevent and control invasive alien species (IAS), the associations among community species composition, vegetation structure and environmental factors were analyzed based on nested plot survey of plantations in Luchuan County, Guangxi. Mantel test showed that species composition correlated stronger to vegetation structure ($r=0.208$, $P=0.002$) than to other environment factors ($r=0.084$, $P=0.051$). MRPP analysis revealed that vegetation structures of plots invaded by *Spermacoce alata*, or *Praxelis clematidea* and *Ageratum conyzoides* were significantly different from that uninvaded by them, but plots invaded by *Mikaina micrantha* had similar vegetation structure with that uninvaded. From t test, there was not significant correlation between presence-absence of 4 IASs and canopy covers (>3.0 m, $P>0.073$). When community vegetation density at 1.5 m above-ground increased, the invasion of *S. alata*, *P. clematidea* or *A. conyzoides* might reduce, except of *M. micrantha*. Vegetation structure as a filter may mainly act on plant seeding time, germination cycle or growth attributes, and invasions of those IASs propagating only by seeds may depend more on disturbances and bare soil; while *M. micrantha* which conferred with asexual and sexual reproductions and capable of climbing and creeping, may colonize relative randomly in communities of varied vegetation structures.

收稿日期: 2019-02-20 接受日期: 2019-03-31

基金项目: 国家林业和草原局生物安全与遗传资源管理项目(KJZXSA2018012, KJZXSA2019010); 广西壮族自治区主席科技基金项目(1517-6); 广西林业局植物新品种保护与应用项目(gl2018kt20); 广西林业技术推广示范项目(桂林科发[2018]4)资助

This work was supported by the Project for Bio-safety and Genetic Resource Management of National Forestry and Grassland Administration (Grant No. KJZXSA2018012, KJZXSA2019010); the Guangxi President Foundation for Science and Technology (Grant No. 1517-6); the Project for New Species Protection and Application of Guangxi Forestry Bureau (Grant No. gl2018kt20), and the Project for Guangxi Forestry Technology Demonstration (Grant No. 2018-4).

作者简介: 黄小荣(1964~), 女, 主要研究入侵植物和功能多样性。E-mail: huangxr2004@sina.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: cyvglky@126.com

Key words: Invasive alien species; Vegetation structure; Cover; Dissimilarity; *Mikaina micrantha*; Nested plot

植物入侵是世界各地植物群落发生变化的主要原因^[1]。近年来, 薇甘菊(*Mikaina micrantha*)、阔叶丰花草(*Spermacoce alata*)、假臭草(*Praxelis clematidea*)和胜红蓟(*Ageratum conyzoides*)等外来入侵植物在华南地区生态系统快速扩散^[2-4], 在部分地区已成为新优势种, 给农林生产和生态环境带来了极大破坏。植物入侵问题引起了社会各界的重视^[5-6], 围绕入侵植物特征开展了大量的研究, 如土壤种子库、萌发生理、繁殖生物量分配等^[7-10]; 但很少有量化分析入侵植物与植被结构的关联性^[11]。外来物种在自然系统中的影响不仅取决于入侵者的属性, 还有赖于入侵群落的特征^[11,12]; 从群落植被结构的角来探讨物种入侵的机制及其影响很有必要。

群落植被结构本身就是一种生物过滤器, 植被结构影响地表风速^[13], 决定飘飞种子能否落地; 拦截降雨, 影响土壤水分和冲蚀强度; 通过遮光抑制萌发需光的物种繁殖等等。植被结构, 是指群落中各种植物占据的高度和面积, 表征植被在垂直方向和水平方向的空间分布^[13]。植被结构测量在生态学的许多领域可以应用, 是人类认识自然世界的有力武器; 群落植被结构还是为数不多的、人类可以操控群落可入侵性的抓手之一。分析群落物种组成与植被结构和环境因子之间的相关性, 探索有无某种入侵植物的群落在植被结构上的相似性和相异性, 可以为人工构建抗入侵群落、抵制或减少杂草入侵提供有用信息。

本研究在广西陆川县人工林区进行, 比较有无单一入侵植物的样方在植被结构上的变化。我们假设: (1) 样方物种组成与样方植被结构的相关性, 高于与其他环境因子的相关性; (2) 有某种入侵植物样方的植被结构与无该种入侵植物样方的显著不同; (3) 通过增加植被密度可以减少这4种植物的入侵。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究区位于广西陆川县乌石镇王沙村(22°6.07' N, 110°17.58' E), 海拔106~158 m。生境1为陆川县林场营建的3.5 a生杂交相思(*Acacia mangium* × A.

auriculiformis)和火力楠(*Michelia macclurei*)林, 生境2为陆川县林场种植的3.5 a生广九巨尾桉(*Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*)和0.5 a生杂交相思林, 生境3为高峰林场场外承包种植的0.6 a生巨尾桉与杂交相思混交林和林农种植2.5 a生的马占相思(*A. mangium*)林, 株行距均为2.5 m × 2 m。

1.2 入侵植物

重点关注研究区中出现频度最高的4种入侵植物: 兼具有性和无性繁殖、攀援和匍匐生长方式的薇甘菊(*Mikaina micrantha*)^[14], 种子繁殖的多年生草本植物阔叶丰花草(*Spermacoce alata*), 种子繁殖、花果期全年的一年生草本植物假臭草(*Praxelis clematidea*)和胜红蓟(*Ageratum conyzoides*)。薇甘菊2010年传入该地区^[15], 其他3种植物入侵时间未见报道。假臭草与胜红蓟外形相似, 假臭草的头状花序总苞形似“蛋筒”, 而胜红蓟的形似“饭碗”。

1.3 方法

样方设置 样方调查在2018年11月中旬进行。样方设置参考Elzinga等^[16]的系统抽样和Shields等^[17]的嵌套植被抽样法。以山脚林缘为基线, 与基线垂直向山上拉截线, 截线上间隔10 m取1个1 m × 1 m植被小样方, 记录所有植物名和盖度; 以小样方为中心的直径5 m样圆记录环境样方因子, 包括植被结构、生境、坡度、距公路距离、高于或低于道路、林型和朝向。朝向参考王孝安^[18]的方法进行转换。

植被结构调查 参考美国农业部调查手册^[13]和Mason等^[1]的方法, 分8层记录每个环境样方的植被盖度: 0~0.2、0.2~0.5、0.5~1.0、1.0~1.5、1.5~2.0、2.0~2.5、2.5~3.0和>3.0 m。国外植被结构调查通常使用样线点截法, 调查人员手执标记上述刻度的3 m长、16 mm粗细的测杆, 沿样线行走, 在样线上等距间隔取点, 分别将测杆立于每个取点, 读取每一层是否有植被触碰测杆, 然后分层统计1个样方中每层植被触碰数占该层总取点数的百分比^[13]; 这种做法实质上是测量样方的每层植被盖度, 因此, 本文的样方“植被结构”是指环境样方的8个分层盖度读数。本研究的环境样方小, 没有进行“行走取点触碰”, 分层盖度由经验丰富的同一调

查人员直接目测。先记录环境样方的植被结构,再记录内嵌植被小样方的物种数据,避免践踏破坏植被舒展的自然状态。

1.4 数据统计分析

生境 2 和生境 3 共调查 42 个带植被结构数据的样方,涵盖面积大于 4 hm²,生境 1 样方因为无植被结构数据而剔除。每个样方均记录了 14 个环境因子;环境因子数据为 42 行 × 14 列的矩阵,其中植被结构数据 8 列,其他环境因子数据 6 列。另外,4 种入侵植物的有无(1,0)组成 42 行 × 4 列二元变量矩阵。

在 R 3.5.2^[19]平台上完全按照 Oksanen^[20] vegan 包教程进行矩阵数据分析,物种组成与植被结构、其他环境因子的相关性分析采用 mantel 函数的皮尔逊积冲量相关,分组因子是入侵植物二元变量;有无单一入侵植物的植被结构相似性比较使用 anosim 函数和 mrpp 函数 2 种方法,分别使用 bray 和 euclidean 相异度。MRPP 的 Δ 统计量是抽样子集内样方两两之间距离的加权平均值,权重为子集内样方个数;实测 Δ 是有组 Δ 和无组 Δ 的加权均值,期望 Δ 为整个数据集置换抽样 999 次得到 999 个子集 Δ 的加权平均值;如果实测 Δ 小于期望 Δ ,表明组内差异小于组间差异,两组之间的差异显著^[20]。最后,分层盖度的向量数据用 SPSS 24.0 进行 t 检验。

2 结果和分析

2.1 相关性检验

Mantel 矩阵相关分析表明,样方物种组成与植被结构的 r 为 0.208,极显著相关($P=0.002$);样方物种组成与其他环境因子间微弱相关($r=0.084$, $P=0.051$);植被结构与物种组成的关联性,高于其他环境因子与物种组成的关联性。

2.2 植被结构相似性比较

ANOSIM 矩阵相似性分析和 MRPP 多重响应置换程序均表明,有无薇甘菊样方的植被结构相似($P>0.46$) (表 1),而有无其他 3 种入侵植物样方的植被结构均差异极显著($P<0.01$);有假臭草组的 Δ 统计量最小,表明植被结构差异最小。Oksanen^[20] 认为 MRPP 比 ANOSIM 更稳健,但 ANOSIM 的箱图可以更直观地显示组内相异度和组间相异度的分布,从图 1 可见,无阔叶丰花草组、有假臭草组和有胜红蓟组的组内植被结构差异较小。

2.3 分层盖度向量数据的 t 检验

以某入侵植物有无为分组的分层盖度 t 检验表明(表 2),无阔叶丰花草样方的 1.5 m 以下分层盖度极显著高于有阔叶丰花草样方;无假臭草样方的 0.5~2.0 m 分层盖度显著高于有假臭草样方;2.0 m 以下植被密度较高时胜红蓟入侵相对较少;有无薇甘菊则与所有植被分层都无显著相关(表 2)。增加 1.5 m 以下植被盖度,有可能减少阔叶丰花草、假臭草和胜红蓟的入侵,但对薇甘菊无效;有薇甘菊样方的 1.5 m 以下植被密度平均值反而略高一些(表 3)。林冠盖度(>3.0 m 层)与 4 种入侵植物有无均无显著相关;林冠盖度较高时,假臭草的入侵略微减少($P=0.073$)。

3 结论和讨论

Mantel 矩阵相关检验表明,样方物种组成与样方植被结构的相关性高于与其他环境因子的相关性。有阔叶丰花草、假臭草和胜红蓟 3 种入侵植物样方的植被结构与无这 3 种植物的样方显著不同,而有无薇甘菊样方的植被结构相似。通过增加植被密度可以减少阔叶丰花草、假臭草和胜红蓟的入侵,但对薇甘菊入侵无效。具有相似性状的杂草物

表 1 MRPP 检测有无某种入侵植物的样方植被结构相异性

Table 1 Vegetation structure dissimilarities between invaded and uninvaded plots by MRPP

分组 Group	Δ		样方数 Number of Plots		实测 Δ Observed Δ	期望 Δ Expected Δ	P
	无 Absence	有 Presence	无 Absence	有 Presence			
薇甘菊 <i>Mikaina micrantha</i>	105.4	99.7	18	24	102.20	101.7	0.559
阔叶丰花草 <i>Spermacoce alata</i>	79.2	98.9	22	20	88.57	101.7	0.001
假臭草 <i>Praxelis clematidea</i>	113.1	63.5	27	15	95.38	101.7	0.005
胜红蓟 <i>Ageratum conyzoides</i>	106.3	79.2	27	15	96.63	101.7	0.007

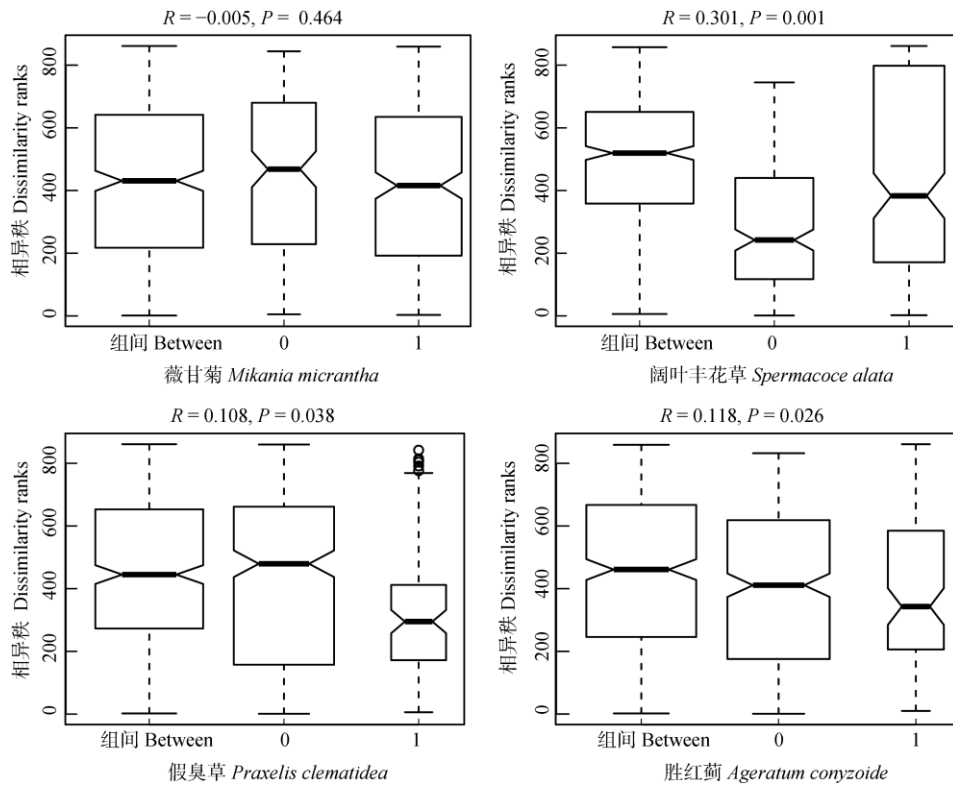


图 1 ANOSIM 检测有无某种入侵植物的样方植被结构相似性

Fig. 1 ANOSIM test of similarities in vegetation structures of plots invaded or uninvaded by an invasive alien species

表 2 有无某种入侵植物的群落分层盖度 *t* 检验

Table 2 Vegetation layering cover based on presence-absence of IAS by *t* test

高度 Height (m)	薇甘菊 <i>Mikania micrantha</i>		阔叶丰花草 <i>Spermacoce alata</i>		假臭草 <i>Praxelis clematidea</i>		胜红蓟 <i>Ageratum conyzoides</i>	
	<i>t</i>	<i>P</i>	<i>t</i>	<i>P</i>	<i>t</i>	<i>P</i>	<i>t</i>	<i>P</i>
0~0.2	0.00	0.997	3.45	0.001	1.64	0.108	4.29	0.000
0.2~0.5	-0.70	0.485	6.06	0.000	1.26	0.216	1.69	0.099
0.5~1.0	-1.49	0.143	6.14	0.000	2.41	0.021	2.25	0.030
1.0~1.5	-0.67	0.507	2.93	0.006	2.63	0.012	2.81	0.008
1.5~2.0	0.02	0.980	0.83	0.409	2.47	0.018	1.87	0.069
2.0~2.5	0.53	0.596	-1.46	0.151	1.69	0.099	0.78	0.439
2.5~3.0	0.49	0.625	-1.80	0.080	1.51	0.140	0.71	0.479
>3.0	0.00	1.000	-1.54	0.131	1.84	0.073	0.63	0.534

表 3 样方植被的分层盖度(%)

Table 3 Layering cover (%) of plots

		高度 Height (m)								
		0~0.2	0.2~0.5	0.5~1.0	1.0~1.5	1.5~2.0	2.0~2.5	2.5~3.0	>3.0	
薇甘菊 <i>Mikania micrantha</i>	无 Absence	79.7	60.7	43.6	33.7	27.9	20.7	16.3	20.0	
	有 Presence	79.8	67.7	58.0	40.3	27.7	15.9	12.4	20.0	
阔叶丰花草 <i>Spermacoce alata</i>	无 Absence	89.3	85.5	72.5	50.0	31.3	11.9	7.6	13.2	
	有 Presence	69.2	41.9	29.2	23.7	23.9	24.7	21.3	27.5	
假臭草 <i>Praxelis clematidea</i>	无 Absence	83.7	69.3	60.1	46.4	35.4	23.4	18.4	26.3	
	有 Presence	72.7	56.5	37.0	21.3	14.0	8.2	6.3	8.7	
胜红蓟 <i>Ageratum conyzoides</i>	无 Absence	88.5	70.7	59.6	47.0	33.7	20.6	16.2	22.2	
	有 Presence	63.9	53.8	37.9	20.4	17.1	13.3	10.3	16.0	
总和 Total		79.7	64.7	51.9	37.5	27.8	18.0	14.1	20.0	

种可能会以类似的方式对同一过滤器作出响应^[21]。本研究中, 3 种种子繁殖植物的入侵均与群落植被结构密切相关, 说明植被结构作为过滤器, 可能主要作用于植物的种子产生时间、萌发周期和生长习性。以种子方式繁殖的入侵植物能否定植相对更依赖干扰、暴露的裸地和富营养化^[22]; 兼具无性和有性繁殖且能攀援和匍匐生长使得薇甘菊能够在不同的群落植被结构中相对随机和均匀地定植。

3.1 有无阔叶丰花草样方的植被结构极显著不同

在 4 种入侵植物样方相似性比较中, 阔叶丰花草是在 MRPP 和 ANOSIM 两种相似性检验中都表现差异极显著的唯一物种。无阔叶丰花草样方的组内植被结构差异均值最低, 相异秩均值 220 左右。通过增加 1.5 m 以下植被盖度, 可以减少阔叶丰花草、假臭草和胜红蓟 3 种植物的入侵, 但其中最容易控制的应该是阔叶丰花草。阔叶丰花草花果期 5-7 月, 相比全年开花结果的假臭草和胜红蓟, 扩散定植的机会较小。

3.2 林冠盖度可能影响假臭草入侵

林冠盖度(>3.0 m 层)与 4 种植物入侵均无显著相关。提升林冠盖度, 可能对假臭草($P=0.073$)和阔叶丰花草($P=0.131$)有微弱的抑制作用, 对抑制胜红蓟($P=0.534$)和薇甘菊($P=1.000$)入侵无效。林冠盖度对假臭草入侵略有影响, 可能与假臭草的阳生特性和种子萌发需光有关。假臭草有恶臭味, 牛羊不食^[4], 是近年来在桂南地区扩散最快的恶性入侵植物。在研究区假臭草发生频度高达 15/42; 当 1.0~2.0 m 高度的植被密度较低时, 即在新造幼林情况下, 假臭草较易入侵; 从 ANOSIM 箱图可见有假臭草的上下四分位距离最短, 有假臭草组的 MRPP Δ 统计量只有 63.5, 两种分析方法都表明有假臭草样方的组内植被结构相异性较小。

3.3 薇甘菊入侵不受下层植被结构影响

植被结构相似性比较和 t 检验均表明, 有无薇甘菊样方的植被结构完全类似, 薇甘菊入侵人工林是随机的。样方中薇甘菊的有无, 与下层植被密度大小无关联, 甚至与林冠盖度也不相关。周先叶等^[23]提出群落垂直高度越大、片层越丰富, 群落中薇甘菊的盖度越小; Shrestha 等^[24]认为林冠郁闭度越高, 薇甘菊入侵程度越低; 黄忠良等^[2]报道薇

甘菊在光照条件较差的林内, 生长不茂盛, 认为在较郁闭的林内薇甘菊不可能造成大的危害。本文的研究结果与他们的并不冲突, 因为我们分析使用的是入侵植物的“有或无”, 他们分析的是盖度和多度。虽然薇甘菊在郁蔽度较大的林内长势弱^[6]、盖度小, 但它在林内是“有”的。建立密被地面的多层群落结构, 可能会抑制薇甘菊的生长^[25-26], 但不能杜绝其入侵。作为一种藤本植物, 薇甘菊可以不与森林地面接触, 以下层植被作为支撑在远处分枝扩散^[27], 因此它是 4 种入侵植物中最难控制的。

3.4 存在问题

本文提出的基于分层盖度的植被结构测量法, 简便易行, 适用于我国林冠和林下植被异质化、碎片化的丘陵山地, 但样方数量偏少, 影响结论可靠性^[16]。生境受到多种外来植物入侵时, 入侵植物之间可能产生互惠作用引发更多的入侵^[28], 本文只分析了单一种入侵植物与植被结构的关系, 缺乏考量多种外来入侵植物的共同效应^[29]。本文在界定外来植物是否入侵时统一以“有或无”作为标准; 而有的研究是以藤本盖度小于 5% 作为“未入侵”, 大于 5% 作为“已入侵”^[1]; 究竟以什么作为入侵标准值得商榷。当使用二元变量时, 稀少物种的效应可能会被过度高估^[20]。在随机生态位理论中, 只有在入侵物种的繁殖体能够利用已定居种剩余的资源、生长达到成熟、能够躲过随机死亡的情况下, 入侵物种才能够定居^[30]。薇甘菊藤蔓穿越植被样方, 但没有落地生根和开花结实, 如何界定其是否定居, 这些问题仍有待下一步研究。

参考文献

- [1] MASON T J, FRENCH K. Impacts of a woody invader vary in different vegetation communities [J]. *Divers Distrib*, 2008, 14(5): 829-838. doi: 10.1111/j.1472-4642.2008.00493.x.
- [2] HUANG Z L, CAO H L, LIANG X D, et al. The growth and damaging effect of *Mikania micrantha* in different habitats [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2000, 8(2): 131-138. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2000.02.009. 黄忠良, 曹洪麟, 梁晓东, 等. 不同生境和森林内薇甘菊的生存与危害状况 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2000, 8(2): 131-138. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2000.02.009.
- [3] WEI C Q, PAN Y M, TANG S C, et al. Risk assessment of the invasive plant *Mikania micrantha* in Guangxi [J]. *Weed Sci*, 2015, 33(1): 32-37. doi: 10.3969/j.issn.1003-935X.2015.01.008.

- 韦春强, 潘玉梅, 唐赛春, 等. 入侵植物薇甘菊入侵广西壮族自治区的风险评估 [J]. 杂草学报, 2015, 33(1): 32–37. doi: 10.3969/j.issn.1003-935X.2015.01.008.
- [4] HUANG X R, PANG S L, SHEN W H, et al. Herb diversity and its affecting factors of community invaded by *Praxelis clematidea* in karst mountainous area of Guangxi Province, China [J]. Chin J Appl Ecol, 2016, 27(3): 815–821. doi: 10.13287/j.1001-9332.201603.016.
- 黄小荣, 庞世龙, 申文辉, 等. 广西喀斯特地区假臭草入侵群落的草本植物多样性及其影响因素 [J]. 应用生态学报, 2016, 27(3): 815–821. doi: 10.13287/j.1001-9332.201603.016.
- [5] WEI C Q, TANG S C, PAN Y M, et al. Effects of nutrient on competition between invasive species *Bidens frondosa* and native congener *B. tripartita* [J]. J Trop Subtrop Bot, 2016, 24(6): 609–616. doi: 10.11926/j.issn.1005-3395.2016.06.003.
- 韦春强, 唐赛春, 潘玉梅, 等. 养分对入侵植物大狼把草和近缘本地植物狼把草竞争的影响 [J]. 热带亚热带植物学报, 2016, 24(6): 609–616. doi: 10.11926/j.issn.1005-3395.2016.06.003.
- [6] KHADKA A. Assessment of the perceived effects and management challenges of *Mikania micrantha* invasion in Chitwan National Park buffer zone community forest, Nepal [J]. Heliyon, 2017, 3(4): e00289. doi: 10.1016/j.heliyon.2017.e00289.
- [7] SHEN S C, XU G F, ZHANG F D, et al. Characteristics of the seed banks and seedling banks of *Mikania micrantha*-invaded soils different in type of habitat [J]. J Ecol Rur Environ, 2013, 29(4): 483–488. doi: 10.3969/j.issn.1673-4831.2013.04.014.
- 申时才, 徐高峰, 张付斗, 等. 不同生境薇甘菊土壤种子库与幼苗库的特征 [J]. 生态与农村环境学报, 2013, 29(4): 483–488. doi: 10.3969/j.issn.1673-4831.2013.04.014.
- [8] ZHANG W Y, WANG B S, LI M G, et al. The branching pattern and biomass of *Mikania micrantha* shoot modules in *Acacia confusa* community and *Miscanthus sinensis* community [J]. Chin J Plant Ecol, 2002, 26(3): 346–350.
- 张炜银, 王伯荪, 李鸣光, 等. 台湾相思林和芒草丛中薇甘菊枝构件的分枝格局及其生物量 [J]. 植物生态学报, 2002, 26(3): 346–350.
- [9] MACANAWAI A R, DAY M D, ADKINS S W. Seed biology of *Mikania micrantha* in Viti Levu, Fiji [J]. Weed Res, 2018, 58(3): 229–238. doi: 10.1111/wre.12299.
- [10] HUANG Q Q, SHEN Y D, LI X X, et al. Regeneration capacity of the small clonal fragments of the invasive *Mikania micrantha* H. B. K.: effects of the stolon thickness, internode length and presence of leaves [J]. Weed Biol Manage, 2015, 15(2): 70–77. doi: 10.1111/wbm.12066.
- [11] ALVAREZ M E, CUSHMAN J H. Community-level consequences of a plant invasion: effects on three habitats in coastal California [J]. Ecol Appl, 2002, 12(5): 1434–1444. doi: 10.1890/1051-0761(2002)012[1434:CLCOAP]2.0.CO;2.
- [12] DIDHAM R K, TYLIANAKIS J M, HUTCHISON M A, et al. Are invasive species the drivers of ecological change? [J]. Trends Ecol Evol, 2005, 20(9): 470–474. doi: 10.1016/j.tree.2005.07.006.
- [13] HERRICK J E, VAN ZEE J W, HAVSTAD K M, et al. Monitoring manual for grassland, shrubland and savanna ecosystems, volume II: Design, supplementary methods and interpretation [EB/OL]. Las Cruces, New Mexico: USDA-ARS Jornada Experimental Range, 2005 [2017-04-01]. <https://www.landscapetoolbox.org/manuals/other>.
- [14] JIANG L, ZHANG Y W, GUO Q, et al. Cytology of *Mikania micrantha* (Asteraceae), an invasive plant in China [J]. J Trop Subtrop Bot, 2016, 24(5): 508–514. doi: 10.11926/j.issn.1005-3395.2016.05.006.
- 蒋露, 张艳武, 郭强, 等. 我国入侵植物薇甘菊(菊科)的细胞学研究 [J]. 热带亚热带植物学报, 2016, 24(5): 508–514. doi: 10.11926/j.issn.1005-3395.2016.05.006.
- [15] HU L M. Survey and control of *Mikania micrantha* [J]. Sci Technol Innov Her, 2012(16): 135. doi: 10.3969/j.issn.1674-098X.2012.16.106.
- 胡立明. 薇甘菊的调查与防治 [J]. 科技创新导报, 2012(16): 135. doi: 10.3969/j.issn.1674-098X.2012.16.106.
- [16] ELZINGA C L, SALZER D W, WILLOUGHBY J W, et al. Monitoring Plant and Animal Populations [M]. Abingdon, England: Blackwell Science, 2001: 1–371.
- [17] SHIELDS J M, JENKINS M A, SAUNDERS M R, et al. Influence of intensity and duration of invasion by amur honeysuckle (*Lonicera maackii*) on mixed hardwood forests of Indiana [J]. Invas Plant Sci Manage, 2015, 8(1): 44–56. doi: 10.1614/IPSM-D-14-00044.1.
- [18] WANG X A. Multivariate analysis and environmental interpretation of plant communities in Maqu, south Gansu [J]. Acta Ecol Sin, 1997, 17(1): 61–65.
- 王孝安. 甘南玛曲植物群落的多元分析与环境解释 [J]. 生态学报, 1997, 17(1): 61–65.
- [19] R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing [EB/OL]. 2018 [2019-02-15]. <https://www.R-project.org>.
- [20] OKSANEN J, KINDT R, LEGENDRE P, et al. The vegan package-community ecology package [EB/OL]. 2009 [2013-01-01]. <https://www.um.es/docencia/geobotanica/ficheros/programas/vegan.pdf>.
- [21] BENNETT B M. Model invasions and the development of national concerns over invasive introduced trees: Insights from South African history [J]. Biol Invas, 2014, 16(3): 499–512. doi: 10.1007/s10530-013-0601-1.
- [22] BURKE M J W, GRIME J P. An experimental study of plant community invasibility [J]. Ecology, 1996, 77(3): 776–790. doi: 10.2307/2265501.

- [23] ZHOU X Y, WANG B S, LI M G, et al. Correlation analysis on the damage of *Mikania micrantha* to plant communities in Neilingding Island of Guangdong Province, China [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2005, 16(2): 350–354. doi: 10.13287/j.1001-9332.2005.0446.
- 周先叶, 王伯荪, 李鸣光, 等. 薇甘菊对内伶仃岛植被危害的相关分析 [J]. *应用生态学报*, 2005, 16(2): 350–354. doi: 10.13287/j.1001-9332.2005.0446.
- [24] SHRESTHA B K, DANGOL D R. Impact of *Mikania micrantha* H. B. K. invasion on diversity and abundance of plant species of Chitwan National Park, Nepal [J]. *J Inst Sci Technol*, 2015, 19(2): 30–36. doi: 10.3126/jist.v19i2.13849.
- [25] SITZIA T, CAMPAGNARO T, KOWARIK I, et al. Using forest management to control invasive alien species: Helping implement the new European regulation on invasive alien species [J]. *Biol Invasions*, 2016, 18(1): 1–7. doi: 10.1007/s10530-015-0999-8.
- [26] LI X C, YIN Z Y, HE L P, et al. The effect of intervening artificially *Mikania micrantha* population [J]. *J Fujian Coll For*, 2003, 23(3): 214–218. doi: 10.13324/j.cnki.jfcf.2003.03.006.
- 李小川, 殷作云, 何立平, 等. 人为干预群落对薇甘菊的影响 [J]. *福建林学院学报*, 2003, 23(3): 214–218. doi: 10.13324/j.cnki.jfcf.2003.03.006.
- [27] ADDO-FORDJOUR P, RAHMAD Z B, SHAHRUL A M S. Effects of human disturbance on liana community diversity and structure in a tropical rainforest, Malaysia: Implication for conservation [J]. *J Plant Ecol*, 2012, 5(4): 391–399. doi: 10.1093/jpe/rts012.
- [28] LENDA M, SKÓRKA P, KNOPS J, et al. Multispecies invasion reduces the negative impact of single alien plant species on native flora [J]. *Divers Distrib*, 2019, 1–12. doi: 10.1111/ddi.12902.
- [29] McGRANNACHAN C M, McGEOCH M A. Multispecies plant invasion increases function but reduces variability across an understorey meta-community [J]. *Biol Invasions*, 2018: 1–15. doi: 10.1007/s10530-018-1883-0.
- [30] TILMAN D. Niche tradeoffs, neutrality, and community structure: A stochastic theory of resource competition, invasion, and community assembly [J]. *Proc Nat Acad Sci USA*, 2004, 101(30): 10854–10861. doi: 10.1073/pnas.0403458101.