

空心莲子草入侵对乡土植物群落种间 联结性及稳定性的影响*

郭连金¹ 王 涛^{2,3}

(1. 上饶师范学院 上饶 334001; 2. 新疆大学资源与环境科学学院 乌鲁木齐 830046;

3. 绿洲生态教育部重点实验室 乌鲁木齐 830046)

摘 要 利用方差比率(VR)、 χ^2 检验、Jaccard 指数以及改良的 Godron M.稳定性测度方法分析了江西省上饶市空心莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)入侵后乡土植物群落中 12 个主要种的种间联结性以及乡土群落的稳定性。结果表明:空心莲子草入侵前乡土植物群落总体呈显著正关联,群落中的正联结种对多,存在极显著正联结种对;空心莲子草入侵后,群落总体呈负关联,种对正联结数量较入侵前明显减少,出现显著负联结种对,群落中由于物种的种间竞争增大,导致一些物种在群落中不能稳定存在。根据种间联结性分析结果,空心莲子草入侵后,联结性较强的乡土植物群落明显分为两个生态种组,但两组仍存在一定联系。空心莲子草的入侵导致本地群落稳定性下降,某些物种数量减少,甚至被替代。由此可见,空心莲子草对常见乡土种有很大负面影响,应加强入侵机理及防控研究。

关键词 空心莲子草 生物入侵 外来植物 种间联结 群落稳定性

中图分类号: Q948.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2009)05-0851-06

Impact of invasion of exotic plant *Alternanthera philoxeroides* on interspecies association and stability of native plant community

GUO Lian-Jin¹, WANG Tao^{2,3}

(1. Shangrao Normal University, Shangrao 334001, China; 2. College of Resources and Environment Sciences, Xinjiang University, Urumqi 830046, China; 3. Key Laboratory for Oasis Ecology, Ministry of Education, Urumqi 830046, China)

Abstract *Alternanthera philoxeroides* is an exotic species in China affecting the biodiversity, composition, structure and stability of native communities. The interspecific association of 12 main species and stability of native plant communities invaded by *A. philoxeroides* were analyzed via variance ratio (VR), chi-square (χ^2) correction test, Jaccard index and improved Godron M's measure in Shangrao City. The study shows that the native communities non-invaded by *A. philoxeroides* exhibits positive associations on the whole. There are a number of species pairs with positive associations, and some positive associations are very significant. However, species pairs with negative association appear in native plant communities invaded by *A. philoxeroides*. The number of species pairs with positive associations reduces sharply compared with the un-invaded communities, and the community exhibits negative association on the whole. Competition among species increases in invaded native communities reducing the stability of certain disadvantaged species due to weak competitiveness. Based on the results of interspecific associations, all species with close relations in local communities invaded by *A. philoxeroides* disparts into two distinct ecological groups with certain interconnection. Invasion of *A. philoxeroides* decreases the stability of native community and the number of certain species gradually decreases or are even completely replaced. It is observed that rapid *A. philoxeroides* invasion induces significant negative effect on native species. Controlling measure and invasive mechanism of *A. philoxeroides* should be strengthened.

Key words *Alternanthera philoxeroides*, Biological invasion, Exotic plant, Interspecific association, Community stability

(Received Sept. 16, 2008; accepted Jan. 15, 2009)

生物入侵在全球许多地域产生了严重生态和经济问题,所带来的巨大经济损失以及对生态系统的

稳定性和物种生存的自然平衡所造成的破坏和长期威胁,已引起社会各界的广泛关注,是导致全球生

* 江西省教育厅科技计划项目(GJJ08463)、绿洲生态教育部重点实验室开放课题(XJDX0201-2007-11)和上饶师范学院科研基金项目(0810)资助

郭连金(1976-),男,硕士,主要从事生态学、生物多样性教学和科研工作。E-mail: guolianjin@163.com

收稿日期: 2008-09-16 接受日期: 2009-01-15

生物多样性丧失第 2 大因素^[1,2], 甚至被认为是 21 世纪亟待解决的最棘手的环境问题之一^[3]。入侵生态学因此成为当代生态学的一个新的分支和研究热点^[4,5]。研究生物入侵生态学的危害和机制除研究生物自身的入侵性外, 还必须考虑入侵过程中外来物种对群落中乡土物种的作用及乡土物种对外来物种入侵的反应, 乡土群落中各物种间联结性和稳定性是探讨这一相互作用的重要切入点。

外来植物空心莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)又名喜旱莲子草, 通称水花生, 是苋科(Amaranthaceae)莲子草属(*Alternanthera*)多年生宿根草本植物。原产于巴西, 现已遍及美洲、澳洲、亚洲及非洲的许多国家和地区, 于 20 世纪 30 年代末随日军侵华引种至我国。空心莲子草生命力强, 主要以克隆繁殖, 扩展迅速, 并且人为引种扩散促进其滋生蔓延。引入半个世纪来, 该草已由最初引入地上海郊区入侵到我国大部分地区, 并成为一种恶性杂草^[6-8]。近年来, 有关空心莲子草入侵对植物生物多样性影响的研究国内已有报道^[9,10]。针对种间关系的研究方法和群落优势种种间联结性以及不同群落的稳定性研究, 国内学者也作了不少工作^[11-16], 但关于入侵植物空心莲子草对乡土物种联结性及稳定性影响的研究尚少见报道。本文对空心莲子草入侵后乡土物种种间联结性和群落稳定性变化进行了分析, 旨在揭示空心莲子草入侵对乡土植物的影响以及入侵过程导致乡土物种群落稳定性的变化趋势, 为全面、正确评估该草入侵导致的环境影响、入侵物种的入侵机制和采取有效控制措施提供理论依据。

1 研究区自然概况

研究区设在江西省上饶市郊区(北纬 28°21'~23', 东经 117°53'~118°04'), 属亚热带湿润气候, 平均气温 16.7~18.2 °C, 年降雨量 1 600~1 800 mm, 光照充足, 无霜期年均 244 d。上饶地貌以中低山地、丘陵为主, 土壤类型为红壤土。整个土层碱砂和细砂较多, 质地疏松, 通气透水性较好, 保水保肥力较差, 土层较浅。空心莲子草主要生长在撂荒地、水道或潮湿地带, 给生态环境及农作物田间管理、生产造成很大影响。该区主要杂草有空心莲子草、结缕草(*Zoysia japonica*)、打碗花(*Calystegia hederacea*)、苦苣菜(*Sonchus oleraceus*)、石芥宁(*Mosla scabra*)、龙葵(*Solanum nigrum*)等。

2 研究方法

2.1 野外样地调查及数据处理

经充分勘察, 选择空心莲子草典型分布区域, 设置固定样地, 选取 20 个有空心莲子草入侵的样方

(1 m×1 m)(下称“一般样方”), 并在与之相距 5 m 处另选取等面积的无或很少空心莲子草植株的对照样方 20 个(为使两者具有可比性, 要求立地条件和植被类型一致)。并于 2007 年 9 月 26 日~10 月 5 日进行样地生态学调查, 包括生境[路边、水边、农田(包括旱地、水田、撂荒地)、山坡等], 所有杂草的种类、盖度、频度和各种杂草的株数、高度, 并记录采集样方的时间和具体位置^[9,10]。为研究空心莲子草入侵对乡土物种联结性的影响, 本研究选取空心莲子草入侵前后两种样方中共有的 12 种优势植物种作为研究对象进行种间联结性分析(表 1)。

表 1 乡土植物群落中 12 个主要植物物种的重要值

Tab. 1 Important value of 12 principal plant species in native community

种号 Species code	植物种 Species	重要值 Important value	
		a	b
1	龙葵 <i>Solanum nigrum</i>	24.85±6.48	12.18±7.33
2	狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	29.61±1.52	12.96±0.64
3	海金沙 <i>Lygodium japonicum</i>	5.36±1.57	2.56±0.32
4	结缕草 <i>Zoysia japonica</i>	42.56±17.38	26.95±15.23
5	空心莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i>	5.33±1.17	62.41±16.09
6	马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	8.17±1.07	6.54±0.90
7	苍耳 <i>Xanthium sibiricum</i>	4.23±1.98	5.52±2.32
8	石芥宁 <i>Mosla scabra</i>	20.03±2.11	10.52±0.81
9	石香薷 <i>Mosla chinensis</i>	12.36±2.72	15.78±1.70
10	打碗花 <i>Calystegia hederacea</i>	8.21±2.37	20.87±5.93
11	紫花地丁 <i>Viola yedensis</i>	3.93±1.14	2.38±0.82
12	苦苣菜 <i>Sonchus oleraceus</i>	13.11±3.25	4.98±1.06

a 为对照样方, b 为一般样方, 下同。a is control plots; b is regular plots. The same below.

2.2 分析方法

2.2.1 多物种间的总体关联性检验

采用 Schluter^[17]提出的方差比率检验某地出现的多个物种间是否存在显著联结性, 计算公式为:

$$VR = \frac{S_T^2}{\sigma_T^2} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (T_j - t)^2}{\sum_{i=1}^S P_i (1 - P_i)} \quad (1)$$

式中, N 为总样方数, S 为总物种数, T_j 为样方 j 内出现的物种总数, t 为样方中种的平均数, P_i 为物种 i 出现的样方数与总样方数的比值, T 为群落总体。VR 为群落内植物种间的总体联结指数。VR=1, 接受零假设即所有种间无关联; VR>1 或 VR<1 否定零假设, 接受备择假设即种间表现出正联结或负联结。由于种间正负关联可相互抵消, 故采用统计量 $W(W=N \times VR)$ 检验 VR 值偏离 1 的显著程度, 若物种不显著相

关联, 则 W 落入由 χ^2 分布给出的界限的概率为 90%, $\chi^2_{(0.95, N)} < W < \chi^2_{(0.05, N)}$, 反之物种间显著联结。

2.2.2 种间联结性的 χ^2 检验

根据取样资料, 建立种对间的 2×2 列联表, 分别统计出 a 、 b 、 c 、 d 值。其中, a 为种 A 和种 B 均出现的样方数, b 为仅有种 A 出现的样方数, c 为仅有种 B 出现的样方数, d 为两个种均不出现的样方数。由于取样为非连续性取样, 因此, 采用 Yates 的连续校正系数纠正^[9,18], 检验种对间关联的显著性, 公式为:

$$\chi^2 = \frac{(|ad-bc|-0.5n)^2 n}{(a+b)(a+c)(b+d)(c+d)} \quad (2)$$

式中, n 为样方总数。当 $\chi^2 < 3.841$ 时, 种间无显著联结; 当 $3.841 < \chi^2 < 6.635$ 时, 种间联结显著; 当 $\chi^2 > 6.635$ 时, 种间联结极显著。 χ^2 本身没有负值, 判断种间正、负联结的方法是: 若 $ad-bc > 0$ 时为正联结, 若 $ad-bc < 0$ 时为负联结; 若 $ad-bc = 0$ 时, 种间相互独立。

2.2.3 种间联结程度的测定

采用 Jaccard 指数(JI)即共同出现百分率来描述种间联结程度, 其测定公式为:

$$JI = \frac{a}{a+b+c} \quad (3)$$

式中, JI 为共同出现百分率, 其值域为 $[0, 1]$ 。a、b、c 同式(2)。 JI 值越接近于 1, 则表明该种对的正联结性越紧密^[15,19]。

2.2.4 群落稳定性测度方法

Godron M. 稳定性测定方法是由所研究的植物群落中所有种类的数量和这些种类的频度进行计算^[20]。将植物种类百分数同累积相对频度一一对应, 画出散点图, 并将各点以一条平滑曲线连接起来, 在两个坐标轴的 100 处连一直线, 与曲线的交点即为所求点。Godron M. 稳定性测定方法存在一定缺陷, 郑元润^[14]提出如下改进方法, 即首先建立数学模型, 模糊散点图平滑曲线:

$$\text{平滑曲线模拟模型为: } y = ax^2 + bx + c \quad (4)$$

$$\text{直线方程为: } y = 100 - x \quad (5)$$

再将(5)代入(4)得: $ax^2 + (b+1)x + c - 100 = 0$

$$\text{求解得: } x = \frac{-(b+1) \pm \sqrt{(b+1)^2 - 4a(c-100)}}{2a}$$

式中, y 为某一群落中物种的累计相对频度, x 为群落中物种总数倒数的累积, a 、 b 、 c 分别为回归曲线模型的参数。方程有两个解, 一个解远大于 100, 另一个解应在 0~100 之间, 根据研究情况, 交点 x 轴的坐标应大于 0 小于 100, 故采用数值在 0~100 间的解。 x/y 值越接近 20/80, 表示群落越稳定, 否则越不稳定。

3 结果分析

3.1 种间总体关联性

空心莲子草入侵植物群落物种数(37 种)比未入侵的植物群落(49 种)减少了 12 种。经计算得对照样方多物种间联结指数 $VR=4.55 > 1$, 且显著统计量 ($W=90.94$) 不在 $\chi^2_{(0.95, 20)}=10.85$, $\chi^2_{(0.05, 20)}=31.41$ 区间内, 表明空心莲子草未入侵时乡土群落各物种间总体上显著正关联。而一般样方群落总体联结指数 $VR=0.72 < 1$, 且 $W=14.48$, 在 $\chi^2_{(0.95, 20)}=10.85$, $\chi^2_{(0.05, 20)}=31.41$ 区间内, 表明空心莲子草入侵后群落中各物种间总体上呈不显著负相关。

3.2 种间联结性

图 1 是空心莲子草入侵前后的乡土植物群落主要物种种间联结 χ^2 的半矩阵图。由图 1 可看出, 对照样方中正联结种对(53 个)多于负联结种对(13 个), 存在极显著正联结种对, 对照样方物种总体上呈现正联结趋势。一般样方中负联结种对(37 个)多于正联结种对(29 个), 且不存在极显著正联结种对, 12 个物种总体呈现负联结趋势。

空心莲子草入侵导致乡土群落 12 个优势物种的种间联结性发生改变, 大部分种对种间联结性下降: 由极显著正联结转变为不显著正联结的种对有结缕草+马唐、马唐+石芥宁; 由显著正联结转变为不显著正联结的种对有结缕草+空心莲子草、苦苣菜+空心莲子草; 由显著正联结转变为不显著负联结的种对有龙葵+紫花地丁、狗尾草+结缕草、石芥宁+结缕草; 由显著正联结转变为显著负联结的种对有龙葵+狗尾草; 22 个种对(占总种对的 33.3%)由不显著正联结转变为不显著负联结(龙葵+海金沙、龙葵+马唐、狗尾草+空心莲子草等)。而某些种对在空心莲子草入侵后其联结性上升, 由不显著负联结转变为不显著正联结的种对有龙葵+苍耳、龙葵+打碗花、海金沙+空心莲子草和苍耳+紫花地丁。

3.3 种间联结程度

根据对照样方和一般样方的 12 个物种 Jaccard 关联指数结果绘制半矩阵图(图 2)和星座图(图 3), 可以看出这两个组的种间联结程度分析与 χ^2 检验结果大致相同。图 3 清晰地反映了各种群间存在联系, 从而使星座图成为一个不具有明显间断的连续体, 从该连续的变异体中, 可以看到不同植物种具有不同的生态需求^[21]。群落中生态习性相似的种可以联合为一生态种组, 同组内两两之间有尽可能大的正联结^[22,23]。由对照样方的半矩阵图和星座图可以看出, 在空心莲子草入侵前, 样地的 12 物种联系非常密切, 形成一个生态种组。而当空心莲子草入侵后样方中各物种分为两个生态种组, 第 1 生态种组以

空心莲子草为主要建群种, 主要伴生种为生活于山坡或路旁的物种(海金沙、苍耳、结缕草、石香薷等);

第 2 生态种组以狗尾草为主要建群种, 主要伴生种较多生活在田间或草地, 有马唐、苦苣菜、石芥宁、

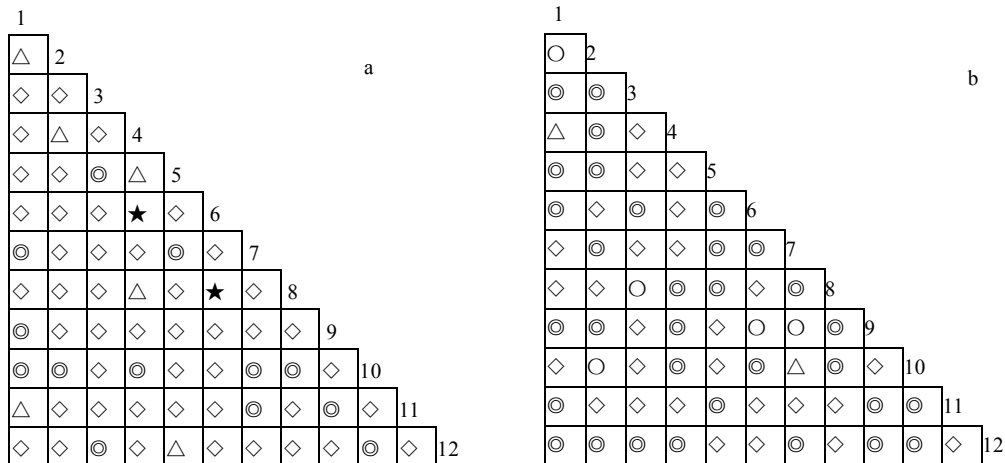


图 1 空心莲子草入侵前(a)后(b)乡土植物群落 12 个主要种间联结的 χ^2 值半矩阵图

Fig. 1 The semimatrix of χ^2 values for 12 principal species in native community before (a) and after (b) *A. philoxeroides* invasion
正联结 Positive association: ★ $\chi^2 > 6.635$ (极显著 Very significant); △ $3.841 < \chi^2 < 6.635$ (显著 Significant); ◇ $\chi^2 < 3.841$ (不显著 Not significant). 负联结 Negative association: ○ $3.841 < \chi^2 < 6.635$ (显著 Significant); ◎ $\chi^2 < 3.841$ (不显著 Not significant)

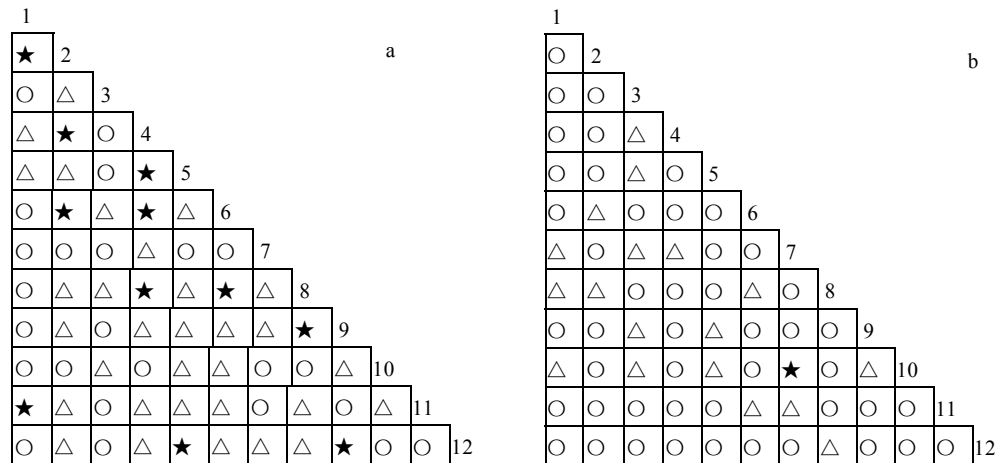


图 2 空心莲子草入侵前(a)后(b)乡土植物群落 12 个主要种间 Jaccard 关联指数半矩阵图

Fig. 2 The semimatrix of Jaccard index for 12 principal species in native community before (a) and after (b) *A. philoxeroides* invasion
★ $0.5 \leq JI$; △ $0.2 \leq JI < 0.5$; ○ $0 \leq JI < 0.2$.

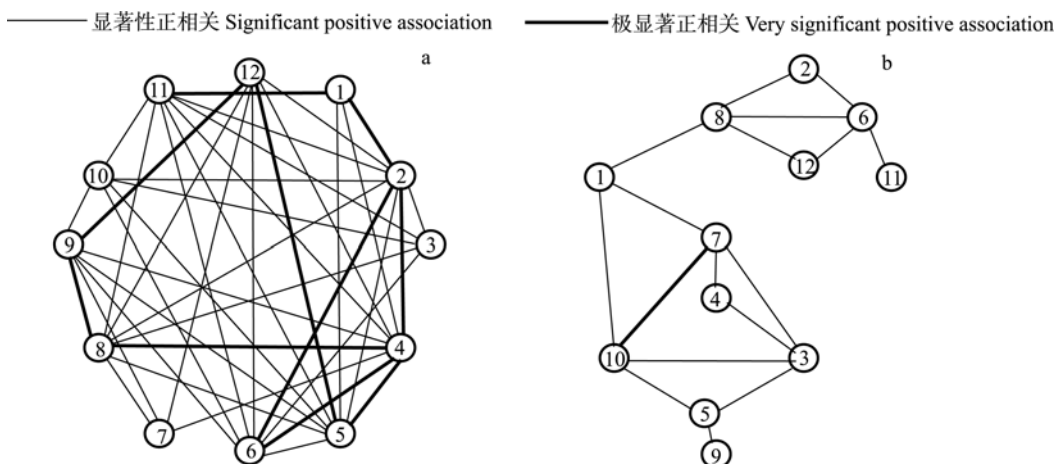


图 3 空心莲子草入侵前(a)后(b)乡土植物群落 12 个主要种间 Jaccard 关联指数星座图

Fig. 3 The constellation diagram of Jaccard index for 12 principal species in native community before (a) and after (b) *A. philoxeroides* invasion

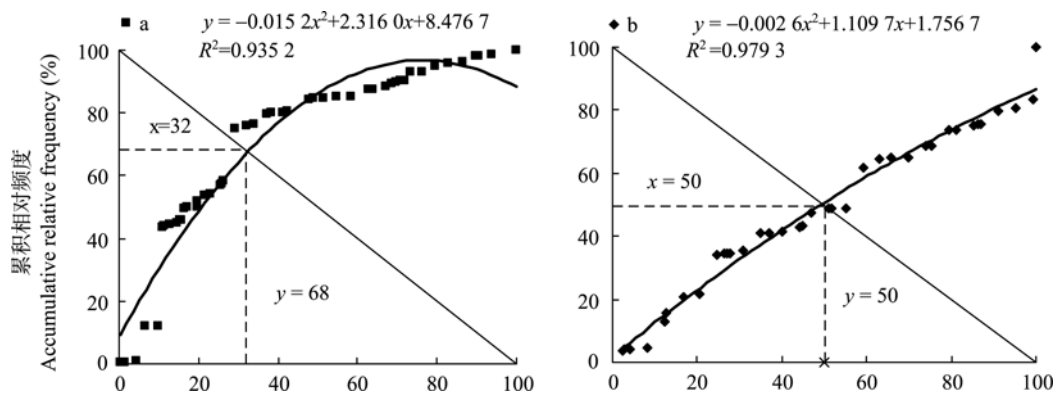


图4 空心莲子草入侵前(对照样方, a)与入侵后(一般样方, b)稳定性图解

Fig. 4 The stability graphs for the control plots (a, non-invaded by *A. philoxeroides*) and regular plots (b, invaded by *A. philoxeroides*)

紫花地丁等。整个星座虽然分为两个生态种组, 但此两生态种组并无明显界限, 如紫花地丁既生活在路边也生活在草地。

3.4 群落稳定性

由图4可知, 对照样方和一般样方植物群落的交点坐标均远离20/80的稳定交点坐标, 即均处于一定的不稳定状态, 但经空心莲子草入侵后, 乡土植物群落的交点坐标由原来的32/68变为50/50, 说明其稳定性明显下降。

4 结论与讨论

4.1 空心莲子草入侵对乡土群落植物种组成及种间联结性的影响

种间总体关联性和多种对间联结性可反映群落的演替阶段。一般认为, 随着植被群落演替的进展, 群落的结构组成逐步趋于完善, 种间联结性由刚形成群落的负联结关系、独立分布逐步趋于正联结, 以求得多物种间的稳定共存^[12,13]。而外来物种成功入侵, 则改变了群落的物种组成, 致使物种多样性减少, 对整个群落结构有重大影响^[24]。外来入侵杂草生长速度比较快, 乡土群落极易形成单优群落, 其他物种很难适应与其共同生长。本研究所调查的乡土植物群落为已撂荒多年或从未人为破坏过的荒草地, 群落由49个物种组成。当经空心莲子草入侵后, 12个物种消失, 群落组成逐步趋于简单化。经种间联结性分析表明, 未入侵的乡土群落整体呈显著正相关, 样方中正联结种对占总数的80.3%, 显著和极显著正联结种对达12.1%, 且群落各优势种形成一个关联性强的生态种组, 说明乡土群落中各物种关联紧密, 相互间已形成互惠互利的关系, 该群落已处于和当地环境条件相适应的相对稳定阶段。空心莲子草入侵后, 群落总体呈负联结, 正联结种对中有45.5%逐步产生排斥现象, 趋于负联结, 并出现5对显著负联结种对, 群落各物种由1个联系紧密的

生态种组分为2个小的生态种组, 植物种间联结性明显下降。曹培健等^[25]认为水盾草入侵沉水植物群落后主要种群种间联结大部分趋于独立, 仅与金鱼藻、黑藻和苦草存在正联结。本研究发现, 随着空心莲子草入侵时间的推移, 乡土植物种间及空心莲子草与乡土植物间联结性并非一成不变, 而是均发生着动态变化, 乡土物种间联结性由正联结逐步趋于负联结, 空心莲子草与乡土物种间的联结性也存在类似变化。

4.2 空心莲子草入侵对乡土群落稳定性的影响

群落稳定性是在正负反馈作用下的复杂过程, 是种群自身调节及种间竞争的集中反映^[14]。曹培健等^[25]认为水盾草入侵沉水植物群落中各种群间已经达到一种稳定的平衡关系, 群落结构较稳定。但空心莲子草则不然, 它一旦入侵到某一群落, 通常会形成大小不等的斑块状群落镶嵌体^[26]。随着入侵时间的推移, 通过快速的克隆分枝使其盖度迅速增加^[27], 短期内在定居点形成单优种群。因此空心莲子草入侵对乡土植物群落的危害是致命的, 将严重影响群落的稳定。本研究检测结果进一步证明了这一点。空心莲子草入侵后, 乡土植物群落的交点坐标由原来的32/68变为50/50, 远离20/80, 说明其入侵导致乡土群落稳定性明显下降, 该入侵群落处于不稳定状态。空心莲子草入侵的过程为乡土植物群落生物多样性丧失以及群落稳定性逐步下降的过程。

4.3 空心莲子草的危害及建议

空心莲子草抗逆性强, 耐高温和干旱, 对低温胁迫不敏感, 且适应能力极强。当开始入侵乡土植物群落时, 空心莲子草与乡土群落中部分植物可以相互兼容、互利共生, 并且群落中可利用资源相对丰富没有产生竞争, 故空心莲子草和部分植物呈正相关, 甚至显著正相关。一旦成功入侵, 它利用克隆繁殖和克隆生长, 其根系发达, 地上部分繁茂, 与乡土植物争夺阳光、水分、肥料以及生长空间, 抑

制和排挤了乡土植物,原来建立的种间正关联逐步减弱趋于独立,甚至相互排斥,造成乡土物种生长衰弱,逐步退出群落,使原有的多物种的乡土植物群落逐步成为单优群落,从而导致群落物种单一化,生物多样性降低,群落趋于不稳定,对生态系统造成不可逆转的破坏,给我国农业生产和经济建设带来极大危害。据不完全统计,目前空心莲子草每年在我国造成的经济损失高达 6 亿元^[28]。

入侵植物入侵成活后,一般先经过一个较长的滞后阶段,而后进入爆发性的扩展阶段。对其进行控制,一般应在扩展前采取措施。空心莲子草的快速克隆生长特性是它能够入侵成功并且造成严重危害的原因之一^[29],对其植株的根除成为防除其扩散乃至入侵的关键。目前控制外来种的方法尚存在一定的局限性,化学防治无法除去其地下部分,伤及其他生物,且易造成污染;农业机械措施效果尽管明显,但费时费力^[30]。目前,尽管最有希望的方法是生物防治^[24],但空心莲子草的某些天敌存在一定的弱点,如没有滞育期,食性单一,冬季大量死亡^[31]。因此在采取控制措施时,要因地制宜,尽量采用多种方法相结合,取长补短,并加大宣传以免人为造成入侵种的扩散。另外需加强空心莲子草等入侵生物物的入侵生态学机理及可持续的生物防治等相关研究,以达到一劳永逸,解除生物入侵带来的危害。

参考文献

- [1] Mack R. N., Simberloff D., Lonsdale W. M., *et al.* Biotic invasions: Causes, epidemiology, global consequences, and control[J]. *Ecological Applications*, 2000, 10: 689–710
- [2] 郭勤峰. 跨太平洋生物入侵研究展望[J]. *植物生态学报*, 2002, 26(6): 724–730
- [3] Pimentel D., Lach L., Zuniga R., *et al.* Environmental and economic costs of nonindigenous species in the United State[J]. *BioScience*, 2000, 50(1): 53–65
- [4] 李博, 陈家宽. 生物入侵生态学: 成就与挑战[J]. *世界科技研究与发展*, 2002, 24(2): 26–36
- [5] 章家恩, 方丽. 关于我国农田福寿螺生物入侵需要加以研究的生态学问题[J]. *中国生态农业学报*, 2008, 16(6): 1585–1589
- [6] 王韧, 王远. 我国南方水花生发生危害及生物防治调查[J]. *杂草学报*, 1988, 2(1): 38–40
- [7] 林冠伦, 杨益众, 胡进生. 空心莲子草生物学及防治研究[J]. *江苏农学院学报*, 1990, 11(2): 57–62
- [8] 张格成, 李继祥, 陈秀华. 空心莲子草主要生物学特性研究[J]. *杂草科学*, 1993 (2): 10–12
- [9] 林金成, 强胜, 吴海荣. 外来入侵杂草空心莲子草对植物生物多样性的影响[J]. *农村生态环境*, 2005, 21(2): 28–32
- [10] 林金成, 强胜. 空心莲子草对南京春季杂草群落组成和物种多样性的影响[J]. *植物生态学报*, 2006, 30(4): 585–592
- [11] 王祥荣, 宋永昌. 浙江天童国家森林公园常绿阔叶林种间相关的研究[J]. *应用生态学报*, 1994, 5(2): 113–119
- [12] 王新功, 洪伟, 吴承祯, 等. 武夷山米槠林优势种种间联结性研究[J]. *中国生态农业学报*, 2003, 11(3): 25–28
- [13] 阳小成, 钟章成. 绵阳官司河流域防护林优势种群间的联结性研究[J]. *西南师范大学学报: 自然科学版*, 1994, 19(3): 290–297
- [14] 郑元润. 森林群落稳定性研究方法初探[J]. *林业科学*, 2000, 36(5): 38–32
- [15] 汪建华, 李旭光. 重庆四面山常绿阔叶林主要乔木种群种间联结关系研究[J]. *渝州大学学报: 自然科学版*, 2001, 18(3): 58–62
- [16] 苏小青, 林思祖, 黄石德. 干扰状态下闽楠林乔木层主要种群种间联结性的研究[J]. *中国生态农业学报*, 2007, 15(5): 7–10
- [17] Schluter D. A variance test for detecting species association with some example application[J]. *Ecology*, 1984, 65(3): 998–1005
- [18] Greig-Smith P. *Quantitative Plant Ecology*(3rd ed.)[M]. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1983: 105–112
- [19] 郭连金, 张文辉, 刘国彬. 黄土丘陵区沙棘人工林发育过程中物种多样性及种间关联变化[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(1): 9–15
- [20] Godron M. Some aspects of heterogeneity in grasslands of Cantal[J]. *Statistical Ecology*, 1972, 3: 397–415
- [21] 李伟, 钟扬. 湖北斧头湖湖滨湿地植物的联结与相关分析[J]. *武汉植物学研究*, 1995, 13(1): 65–69
- [22] 史作民, 刘世荣, 程瑞梅, 等. 宝天曼落叶阔叶林种间联结性研究[J]. *林业科学*, 2001, 37(2): 29–35
- [23] Mueller-Dombois D., Ellenberg H. 著(鲍显诚等译). *植被生态学的目的和方法*[M]. 北京: 科学出版社, 1986: 206–215
- [24] 彭少麟, 向言词. 植物外来种入侵及其对生态系统的影响[J]. *生态学报*, 1999, 19(4): 560–568
- [25] 曹培健, 于明坚, 金孝锋, 等. 水盾草入侵沉水植物群落主要种群生态位和种间联结研究[J]. *浙江大学学报: 农业与生命科学版*, 2006, 32(3): 334–340
- [26] 张光富, 陈瑞冰. 外来入侵植物喜旱莲子草的研究进展[J]. *安徽大学学报: 自然科学版*, 2005, 29(6): 87–93
- [27] 淮虎银, 高红明, 张彪. 外来植物空心莲子草入侵人工草坪中种群特征变化研究[J]. *草原与草坪*, 2003 (4): 36–38
- [28] 李振宇, 解焱. *中国外来入侵种*[M]. 北京: 中国林业出版社, 2002: 1–211
- [29] 王炳锐, 王建波. 外来种喜旱莲子草的克隆生长特性[J]. *武汉大学学报: 理学版*, 2005, 51(6): 771–775
- [30] 王丽红, 周青. 生物入侵对城镇生态系统稳定性影响及防治对策[J]. *中国生态农业学报*, 2006, 14(3): 151–153
- [31] 吴珍泉, 蔡元呈, 郭振铎, 等. 温、湿度对空心莲子草叶甲生长发育的影响[J]. *福建农林大学学报: 自然科学版*, 1994, 23(1): 46–50