

紫茎泽兰迹地上不同替代植物群落植物多样性的变化*

王重云^{1,2} 刘文耀^{1,3**} 刘伦辉¹ 崔建武^{1,2}

(¹ 中国科学院西双版纳植物园昆明分部, 昆明 650223; ² 中国科学院研究生院, 北京 100039; ³ 澳大利亚科廷理工大学, Perth WA 6845)

【摘要】 对20世纪80年代初期在云南双柏县紫茎泽兰迹地上人工营建的3类替代植物群落的结构、物种组成与多样性进行了调查, 并与当地未受紫茎泽兰危害的云南松天然老龄林和未经治理的紫茎泽兰群落进行了比较。结果表明, 3个替代群落木本植物物种丰富度指数为25~28, Shannon Wiener指数为1.06~2.34, Simpson指数为0.36~0.86, Pielous均匀度指数为0.32~0.73; 草本植物的多样性指数分别为6~8, 1.51~1.97, 0.74~0.84, 0.84~0.90, 明显高于未经治理的紫茎泽兰迹地的多样性指数。经过20年的恢复和保护, 各个替代植物群落林木生长良好, 林分郁闭度和植物多样性明显提高。替代群落中又以云南松+木荷+兰桉群落多样性最大。但是, 现阶段这些替代植物群落多样性仍低于云南松天然老龄林。因此, 对这些人工恢复的替代植物群落, 特别是云南松人工林, 在加强保护的同时, 应注意引进、培育乡土阔叶植物和一些乡土的喜阴草本植物种类, 提高群落物种多样性, 促进紫茎泽兰迹地上人工重建植被的进一步恢复和持续发展。

关键词 生物多样性 紫茎泽兰 替代控制 植被恢复 云南双柏县

文章编号 1001-9332(2006)03-0377-07 **中图分类号** S718.54 **文献标识码** A

Plant diversity of different replaced communities after *Eupatorium adenophorum* removal. WANG Chongyun^{1,2}, LIU Wenyao^{1,3}, LIU Lunhui¹, CUI Jianwu^{1,2} (¹Kunming Division, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China; ²Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; ³Curtin University of Technology, GPO Box U1987 Perth, WA 6845, Australia). -Chin. J. Appl. Ecol., 2006, 17(3): 377~383.

In this paper, an investigation on the structure, species composition and plant diversity of replaced communities after the removal of invasive *E. adenophorum* at the beginning of 1980s was made in the Shuangbo County of Yunnan Province, with local aged *Pinus yunnanensis* and unmanaged *E. adenophorum* forests as the reference. The results showed that in replaced communities, the richness, Shannon Wiener, Simpson, and Pielou evenness indices values of woody species were 25~28, 1.06~2.34, 0.36~0.86 and 0.32~0.73, and those of herb species were 6~8, 1.51~1.97, 0.74~0.84 and 0.84~0.90, respectively. In unmanaged *E. adenophorum* community, the corresponding indices values of woody species were 3, 0.14, 0.10 and 0.13, and those of herb species were 3, 0.09, 0.03 and 0.08, respectively, being much lower than those of the replaced communities. The replaced communities dominated by fast growing tree species in *E. adenophorum* forest developed through a 20 years rehabilitation period, under which, there was a clear understory layer dominated by native species. The density and growth rate of *E. adenophorum* was inhibited in the replaced communities. In comparison with the *E. adenophorum* community, the plant diversity of replaced communities was greatly increased. Among the replaced communities, *P. yunnanensis* + *Schima wallichii* + *Eucalyptus globules* community had the greatest plant diversity, but the replaced communities had lower plant diversity than the aged *P. yunnanensis*, with 42, 2.88, 0.92 and 0.77 for woody species, and 8, 2.08, 0.86 and 0.90 for herb species, respectively. It was suggested that more attention should be paid to conserve the rehabilitated communities, especially the *P. yunnanensis* plantation built on the degraded lands invaded by *E. adenophorum*. In addition, the introduction of local broad leaved species and some shade loving herb plants into these plantations and its follow up management were also important for the sustainable development of the revegetation.

Key words Biodiversity, *Eupatorium adenophorum*, Replacement control, Vegetation restoration, Shuangbo County of Yunnan Province.

1 引言

紫茎泽兰(*Eupatorium adenophorum*)属菊科泽兰属,为世界性恶性杂草,原产美洲的墨西哥和哥斯达黎加一带,现已广泛分布于美国夏威夷、澳大利

亚、新西兰、菲律宾、缅甸、越南、泰国、尼泊尔等国家和地区^[1~5,7,23,24]。根据有关文献报道^[17,23],紫茎

* 中国科学院“百人计划”项目(BRJH2002098)和国家重点基础研究发展规划资助项目(2003CB41501)。

** 通讯联系人。

2004-07-12收稿,2005-10-09接受。

泽兰自 20 世纪 40~ 50 年代由中缅边境传入我国后, 现已在云南、贵州、四川、广西、西藏等地广泛分布, 产生严重危害, 仅在云南省发生面积就达 $2.6 \times 10^5 \text{ km}^2$ ^[8, 10, 17, 23, 31, 32], 是目前我国外来有害物种中分布面积较大、危害最为严重的杂草, 已被国家环保局列为我国 16 种外来入侵物种“黑名单”之首. 紫茎泽兰具有生长速度快^[3, 17, 18]、生态适应性广^[10, 19]、繁殖能力强^[3, 18, 25], 并能够分泌化感物质, 抑制其它植物的生长发育^[1, 2, 13, 27, 30]. 自然森林植被遭受严重破坏和土地利用方式不合理的地区, 很容易被外来物种所侵占^[15, 16], 从而给当地农、林、牧业发展造成严重的影响^[17, 23, 28, 31, 32]. 过去几十年来, 国内外许多学者和有关机构对其防治采取了人工或机械铲除, 化学防除、生物防治和替代控制等方式, 取得了一定的效果^[5, 7~ 10, 14].

Berger^[6]认为, 控制外来入侵种, 可采取通过火烧、水淹、光照和遮荫等相结合, 并应用生态恢复的原理和方法, 能够取得较好的效果. 就紫茎泽兰防除而言, 不论采取何种防治方法, 在其迹地上重建替代植物群落是最终的目的^[14, 19, 23]. 选择一些生长速度快、具有一定经济价值的植物种类, 在紫茎泽兰迹地上营建不同结构的替代植物群落, 抑制紫茎泽兰种群的建成和发展^[14, 18, 19, 23, 31]. 从 20 世纪 80 年代初期开始, 原中国科学院昆明生态研究所(现为中国科学院西双版纳热带植物园)、西南林学院与受紫茎泽兰危害的地方部门联合开展了较多的防治试验和示范研究^[14, 19, 31]. 其中, 在紫茎泽兰危害较严重的云南省楚雄州双柏县进行了较大面积的定点防治试验与示范. 目前, 经过 20 多年的恢复发展, 这些在紫茎泽兰迹地上营建的各个替代植物群落在物种组成、植物多样性及群落结构等方面发生了明显的变化, 而且对这些替代植物群落也存在后续管理的问题. 然而, 关于紫茎泽兰迹地上替代植物群落结构和植物多样性变化方面的研究目前少有报道. 为此, 对双柏县紫茎泽兰迹地营建的不同类型替代植物群落和未经治理紫茎泽兰地进行了实地调查研究, 拟通过对这些群落的物种组成和多样性的变化的对比分析, 探讨不同替代植物群落控制紫茎泽兰的效果, 及紫茎泽兰群落本身的自然演变趋势, 以期对紫茎泽兰迹地植被的恢复重建与后续管理提供科学依据.

2 研究地区与研究方法

2.1 自然概况

研究地区位于滇中的楚雄州双柏县独田乡($24^{\circ}18' \sim 24^{\circ}$

$37' \text{ N}$, $101^{\circ}18' \sim 101^{\circ}31' \text{ E}$), 土地面积 246.4 km^2 . 本区域地势高差悬殊, 海拔高度 $800 \sim 2450 \text{ m}$, 属于云南哀牢山东麓的支干余脉; 年平均气温 15.8°C , 极端高温 30.9°C , 极端低温 -4.4°C ; 年平均降雨量 927.2 mm , 雨季($6 \sim 10$ 月) 降水量占全年降水量的 86.5% ; 年均相对湿度 73% ; 全年日照时数 2540 h , 无霜期 263 d . 土壤类型在海拔 2300 m 以上以黄棕壤为主, 2300 m 以下以紫色土为主.

双柏县是云南省森林资源较为丰富的地区之一. 其中, 独田乡是该县的重点林区, 自然植被以云南松(*Pinus yunnanensis*) 林、常绿阔叶林和针阔混交林为主, 阔叶树种主要有银木荷(*Schima argentea*)、红木荷(*Schima wallichii*)、旱冬瓜(*Alnus nepalensis*)、南烛(*Lyonia ovalifolia*) 等, 在针、阔叶林内还混生有一定数量的华山松(*Pinus armandii*)、云南油杉(*Keteleeria evelyniana*) 等针叶树种. 林下灌木主要由短序越桔(*Vaccinium brachybotrys*)、马缨花(*Rhododendron delavayi*)、茶梨(*Anneslea fragrans*) 等种类组成; 草本层植物主要包括野把子(*Elsholtzia rugulosa*)、白牛胆(*Inula cappa*)、金发草(*Pogonatherum paniceum*)、紫茎泽兰等. 过去由于不合理的人为活动和木材的过度砍伐, 森林植被遭受严重破坏, 代之而出现了大面积的森林砍伐迹地和荒山荒坡, 给紫茎泽兰的入侵创造了条件. 从 20 世纪 60~ 70 年代以来, 本地区紫茎泽兰大面积蔓延, 对当地农、林、牧业造成了很大的影响^[6, 15].

20 世纪 80 年代初期, 结合紫茎泽兰防治研究课题的开展, 以双柏县独田林场为试点, 对其范围内的紫茎泽兰危害地进行了包括人工拔除、化学、生物防治相结合的综合防除试验与示范, 并选择云南松、华山松和兰桉(*Eucalyptus globulus*) 等物种, 采用直播或营养袋苗移植的方法, 在其迹地上营建了替代植物群落. 经过 20 多年的发展, 大多数人工培育的林木生长良好, 林分基本郁闭. 根据对本区域替代植物生长与分布面积的踏查, 选取了在紫茎泽兰迹地人工恢复的 3 类主要的替代植物群落: 1) 云南松人工林. 独田林场于 1983 年初人工挖除了紫茎泽兰后, 在当年雨季到来时点播云南松和部分华山松, 此后连续 3 年进行人工抚育管理, 现已形成以云南松为主的人工林. 2) 兰桉人工林. 出于营建经济林的目的, 1984 年 1~ 3 月铲除紫茎泽兰后, 林场于当年雨季移植兰桉袋苗, 其后 3 年, 为提炼芳香油每年进行修枝打叶, 兰桉的高度被控制在 2 m 左右, 有部分云南松、木荷等植物种类混生于林内, 形成了以兰桉为主的混交林. 3) 云南松+ 木荷+ 兰桉混交林. 与兰桉人工林毗邻, 在同一时期种植兰桉, $5 \sim 6$ 年后对兰桉进行间伐并补植云南松, 以后由于木荷、红皮水锦树等当地阔叶物种的侵入, 形成了以云南松、木荷和兰桉为优势的针阔混交林. 为了解人工恢复替代植被的结构、物种组成方面的变化, 还选择本区域作为母树林保留的云南松天然老龄林和未经治理的紫茎泽兰地作为对照.

2.2 研究方法

2.2.1 野外调查 于 2003 年 10 月, 我们对独田林场 1983 年以来在紫茎泽兰迹地上营建的 3 类人工群落、云南松天然老

龄林和未经治理的紫茎泽兰地进行了调查. 在以上各个类型群落的典型地段上, 分别选取 1 hm² 的样地各 1 个. 结合本区域人工营建群落的林分年龄结构较一致的特点, 参照有关的研究报道^[13], 在 1 hm² 大样地上, 为了减少边缘效应, 从距离样地边线 15 m 处起, 设立 1 个 10 m × 10 m 的小样地, 然后分别按水平和垂直方向, 每隔 10 m 各设立一个 10 m × 10 m 小样地, 共计设立 16 个的小样地. 在每个小样地内, 对胸径 ≥ 2.5 cm 树木进行每木调查, 测量树高、胸径、基径和冠幅; 同时, 在每个样方中心分别设置 2 m × 2 m 和 1 m × 1 m 的小样方, 在 2 m × 2 m 的小样方内调查所有胸径 ≥ 2.5 cm 的木本植物的种名、株数、高度和盖度, 在 1 m × 1 m 的小样方内调查所有草本植物的种名、株数、高度和盖度.

2.2.2 数据处理 为评价各种植物在替代群落中的作用, 对各个植物种群的重要值进行了计算. 木本的重要值 (IVI_m) 和草本的重要值 (IVI_c) 计算公式为:

$$IVI_m = R_D + R_F + R_O$$

(1)

$$IVI_c = R_D + R_F + R_E$$

(2)

式中, R_D 为相对密度, R_F 为相对频度, R_O 为相对优势度, R_E 为相对盖度. 采用丰富度指数、Simpson 指数、Shannon Weiner 指数和 Pielou 均匀度指数, 比较和评价各个群落物种多样性方面的差异^[21]. 各个指数的计算方法如下:

$$H = - \sum P \ln P$$

(3)

$$D = 1 - \sum P^2$$

(4)

$$J = (- \sum P \ln P) / \ln S$$

(5)

式中, H 为 Shannon Wiener 指数, D 为 Simpson 指数, J 为 Pielou 均匀度指数, P 为种的个体数占所有物种个体总数的比例, S 为样方的植物种总数, 即丰富度指数.

此外, 用 Jaccard 相似性系数 C 来度量两个群落之间物种组成上的差异, 其算式为: $C = j / (a + b - j)$ ^[21]. 其中, j 是两样地共有种数量, a 、 b 分别是两样地间的物种数量.

3 结果与分析

3.1 不同替代植物的群落结构

经过 20 年的恢复和保护, 在紫茎泽兰迹地上人工营建的各类替代植物群落均已基本郁闭, 但是由于营建与管理方式的不同, 在群落结构上存在一定的差异(表 1). 云南松人工林密度达 5 394 株 · hm⁻², 平均高 8~ 10 m, 平均胸径 8.9 cm, 林木径级差异较小, 群落的层次结构不明显. 由于林木密度大, 覆盖度高, 林下草本植物分布不均匀, 盖度为 30%~ 40%, 紫茎泽兰多出现在林缘. 兰桉人工林现存密度为 2 113 株 · hm⁻², 但是出于提炼桉叶油的经济目的, 植株被人为砍梢、取枝叶, 高生长被抑制(在 2 m 以下), 表现出较高的径级生长, 平均胸径 12.4 cm, 在人工林中最大. 林内存在一些零星生长的木本植物, 群落覆盖度较低, 林木高度参差不齐, 紫茎泽兰在林隙空间较大的地段仍然生长旺盛, 高度 0.5~ 0.8 m. 在兰桉人工林附近的另一片同一时期人工恢复植物群落, 5~ 6 年后对兰桉进行间伐, 补植云南松, 以后由于木荷、红皮水锦树等当地阔叶物种的侵入, 形成以云南松、木荷和兰桉为优势的针阔混交林, 密度为 2 825 株 · hm⁻², 高度为 10~ 12 m, 其林木胸径变异大, 林下紫茎泽兰明显比兰桉人工林少. 作为林场母树林保留的云南松天然老龄林, 密度为 3 481 株 · hm⁻², 林木基面积最大(75.2 m² · hm⁻²), 林木胸径变化大, 云南松最大的胸径达到 49.5 cm, 林下植物生长良好, 盖度达 60% 左右, 由于林下光照强度低, 紫茎泽兰稀少. 未经治理的紫茎泽兰地, 其盖度达 95%, 高度 1.5~ 2.0 m, 附近有个

表 1 不同替代植物群落、云南松天然老龄林和紫茎泽兰地的基本特征
Table 1 Vegetative characteristics of different replaced communities, *P. yunnanensis* old growth forest and *E. adenophorum* community

项目 Item	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
森林覆盖度 Forest cover(%)	95	70	95	95	< 5
平均胸径±偏差 Mean dbh±S. D. (cm)	8.9±2.9	12.4±6.9	9.0±5.4	12.6±9.6	9.8±4.16
胸径变异系数 Coefficient of variation of dbh(%)	32.6	55.6	60.0	76.2	42.4
木本植物密度 Density of woody plant species(plant·hm ⁻²)	5394	2113	2825	3481	62
幼树密度 Density of seedlings(plant·hm ⁻²)	319	350	400	419	44
基面积 Basal area(m ² ·hm ⁻²)	48.6	32.7	28.1	75.2	0.3
木本植物优势种 Dominant woody plant species	云南松 ¹⁾	兰桉 ²⁾	云南松+ 木荷 + 兰桉 ³⁾	云南松	旱冬瓜 ⁴⁾
优势种基径比率 Percentage of dominant specie's basal area(%)	85.9	73.1	77.2	55.6	77.6
紫茎泽兰密度 Density of <i>E. adenophorum</i> (plant·hm ⁻²)	2344	3281	4063	1031	387500

C₁: 云南松人工林 *P. yunnanensis* plantation; C₂: 兰桉人工林 *E. globules* plantation; C₃: 云南松+ 木荷+ 兰桉群落 *P. yunnanensis*+ *S. wallichii* + *E. globules* community; C₄: 云南松天然老龄林 Old growth forest of *P. yunnanensis*; C₅: 紫茎泽兰群落 *E. adenophorum* community. 1) *P. yunnanensis*; 2) *E. globules*; 3) *P. yunnanensis*+ *S. wallichii* + *E. globules*; 4) *A. nepalensis*. 下同 The same below.

别的旱冬瓜树分布.

3.2 不同替代植物群落的物种组成

调查结果表明,不同替代植物群落的物种组成也存在较大的差异.从表2中可以看出,在所调查的5个群落中,共有73个种,分属66属及39科.其中,云南松天然老龄林群落物种最多,有50种植物,占总调查物种数的68%;其次为云南松人工林,为36种;云南松+木荷+兰桉混交林和兰桉人工林均为28种;紫茎泽兰群落只有6种.显然,与紫茎泽兰地相比,营建的替代植物群落植物种类数量已经有明显的增加,但3个恢复的替代植物群落物种数量低于云南松天然老龄林.

表2 不同替代植物群落、云南松天然老龄林和紫茎泽兰地中的种、属、科的数量

Table 2 Number of plant species, genera, and families represented in the different replaced communities, *P. yunnanensis* old-growth forest and *E. adenophorum* community

类型 Type	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	合计
种 Species	36(49%)	31(42%)	31(42%)	50(68%)	6(8%)	73(100%)
属 Genera	29(44%)	26(39%)	28(42%)	33(50%)	5(8%)	66(100%)
科 Families	19(49%)	18(46%)	21(54%)	23(59%)	4(10%)	39(100%)

云南松是双柏地区主要的乡土树种,生长速度快,对环境的适应能力强.从表3可以看出,在作为母树林保存的云南松天然老龄林中,云南松的重要值为22.2,南烛、高山栲和云南油杉等也有较高的重要值,而且它们之间的差异较小,反映出林木种类组成较为丰富,分布也较均匀.在3个恢复的替代植物群落中,除了兰桉人工林外,云南松重要值范围为19.7~58.0,优势十分明显.在兰桉人工林和云南松+木荷+兰桉群落中,兰桉重要值分别为40.1和17.3;红木荷在这两个群落中也有较高的重要值,为19.7和21.9;其它木本植物都小于6.5.在人工恢复的替代植物群落中,随着林地环境条件(光照、水分和温度等)的改善,林下已有一批短序越桔、红木荷、南烛等种类的幼苗、幼树.但是,与云南松天然老龄林相比,这些恢复的替代植物群落物种组成与分布,还存在较大的差距.在紫茎泽兰地中,群落边缘零星分布的旱冬瓜及其萌生的幼树,是该群落的主要木本植物种类.

森林群落中草本植物种类较少,常见的物种有紫茎泽兰、白牛胆、阴地蕨等.其中,紫茎泽兰在各群落中的重要值高于其它草本植物,但在不同群落中差异较大,在云南松天然林和紫茎泽兰群落中的重要值差值接近70%.在5个群落中,紫茎泽兰重要值大小顺序为:紫茎泽兰地>兰桉人工林>云南松+木荷+兰桉群落>云南松人工林>云南松天然林.

3.3 群落的物种多样性

3个替代植物群落、云南松老龄林及紫茎泽兰地木本和草本植物的多样性水平见表4.从表4可以看出,3个替代植物群落的物种丰富度指数变化较小.其中,云南松人工林有木本植物28种,草本8种.兰桉人工林和云南松+木荷+兰桉群落的先期人工种植树种相同,而现阶段2个群落中木本植物和草本植物分别有25和6种.3个替代植物群落物种丰富度指数均低于云南松老龄林(木本及草本植物分别为42和8种).在相同的调查面积内,紫茎泽兰群落只有木本和草本植物各3种.

表3 不同替代植物群落、云南松天然老龄林和紫茎泽兰地的主要物种及其重要值

Table 3 Main species and their importance values of the different replaced communities, *P. yunnanensis* old-growth forest and *E. adenophorum* community

物种 Species	重要值 Importance value				
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
木本植物 Woody species					
云南松 <i>Pinus yunnanensis</i>	58.0	2.4	19.7	22.2	
南 烛 <i>Lyonia ovalifolia</i>	2.4	0	0	10.3	
高山栲 <i>Castanopsis delavayi</i>	0.7	0	0.5	9.1	
云南油杉 <i>Keteleeria ewingiana</i>	0.4	0	0	8.9	
短序越桔 <i>Vaccinium brachybotrys</i>	3.7	1.0	0.7	6.0	
黄毛青冈 <i>Cyclobalanopsis delavayi</i>	2.0	2.1	5.7		
齿叶槲栎 <i>Quercus aliena</i>		1.7	4.0	5.5	
马樱花 <i>Rhododendron delavayi</i>			0	4.5	
茶 梨 <i>Anneslea fragrans</i>	5.0		1.7	4.5	
麻 栎 <i>Quercus acutissima</i>	0.7	3.2	2.5	2.8	11.5
巴豆藤 <i>Craspedolobium schodii</i>	0.4	0.5		2.7	
水红木 <i>Viburnum cylindricum</i>	0.4			1.9	
马樱花 <i>Rhododendron delavayi</i>	0.4			1.7	
地槽香 <i>Gaultheria forrestii</i>	0.3			1.6	
毛杨梅 <i>Myrica esculenta</i>	2.0	1.5	0.8	1.4	
纤毛杜鹃 <i>Rhododendron</i> sp.				1.3	
多穗石栎 <i>Lithocarpus polystachyus</i>				0.9	
假木荷 <i>Craibiodendron stellatum</i>			1.9	0.8	
大白花杜鹃 <i>Rhododendron decorum</i>				0.7	
红木荷 <i>Schima wallichii</i>	1.5	21.9	19.5	0.7	
印度木荷 <i>Schima khasiana</i>	1.2	0		0.6	
川梨(棠梨刺) <i>Pyrus pashia</i>	0.9	1.5	0.4	0.5	
旱冬瓜 <i>Alnus nepalensis</i>	4.7	4.3	6.1	0.5	70.0
兰 桉 <i>Eucalyptus globules</i>		40.1	17.3		
草本植物 Herb species					
紫茎泽兰 <i>Eupatorium adenophorum</i>	36.6	46.9	37.7	26.2	96.1
金发草 <i>Pogonatherum panicum</i>		11.6	18.0		
白牛胆 <i>Inula cappa</i>	8.1	3.3	11.0	22.5	
野把子 <i>Elsholtzia rugulosa</i>				11.8	
阴地蕨 <i>Botrychium virginianum</i>	13.9		7.5	8.8	

为了便于比较,表中各个物种重要值大小及其排序的选取,统一以云南松天然老龄林为基础. In order to easy comparison the difference among different communities, arrange of important value in the table was based on the IV decrease in order in the old forest of *P. yunnanensis*.

替代植物群落物种多样性指数计算结果表明(表4),在所调查的5个群落中,木本植物的Shannon-Wiener指数(*H'*)大小依次为:云南松天然老龄

林(2.88) > 云南松+ 木荷+ 兰桉群落(2.34) > 兰桉人工林(2.02) > 云南松人工林(1.06) > 紫茎泽兰地(0.14). 草本植物 Shannorr Wiener 指数的大小排序为: 云南松天然老齡林(2.08) > 云南松人工林(1.97) > 云南松+ 木荷+ 兰桉群落(1.58) > 兰桉人工林(1.51) > 紫茎泽兰地(0.09). 3 个人工恢复的替代植物群落的 Shannorr Wiener 指数低于云南松天然老齡林, 紫茎泽兰地 Shannorr Wiener 指数最小. Pielous 均匀度指数反映物种的均匀程度, 其变化规律与 Shannorr Wiener 指数一致. 在 3 个替代植物群落中, 云南松+ 木荷+ 兰桉群落均匀度指数高于其它两个群落, 说明该群落物种分布较均匀, 但都低于云南松天然老齡林. 紫茎泽兰群落木本及草本植物 Pielous 均匀度指数都很小. 所调查群落的 Simpson 指数变化与 Shannorr Wiener 指数相似.

表 4 不同替代植物群落、云南松天然老齡林和紫茎泽兰地物种多样性比较

Table 4 Comparison of plant diversity among different replaced communities, *P. yunnanensis* old growth forest and *E. adenophorum* community

类型 Type	木本植物 Woody species				草本植物 Herb species			
	S	H	D	J	S	H	D	J
C ₁	28	1.06	0.36	0.32	8	1.97	0.84	0.90
C ₂	25	2.02	0.77	0.63	6	1.51	0.74	0.84
C ₃	25	2.34	0.86	0.73	6	1.58	0.75	0.88
C ₄	42	2.88	0.92	0.77	8	2.08	0.86	0.90
C ₅	3	0.14	0.10	0.13	3	0.09	0.03	0.08

3.4 群落间的相似性

虽然人工林先期种植的树种及种植后人为干扰的程度不同, 但是在相似环境条件下, 随着群落恢复时间的推进, 在各群落中出现了一部分共有植物种类. 以每 2 个群落进行比较, 其共有种的数量为 4~20 种(表 5). 其中, 云南松天然老齡林和云南松人工林, 兰桉人工林和云南松+ 木荷+ 兰桉群落群落中共有的种的数量最多, 达 20 种. 在 5 个群落中都出现的物种有旱冬瓜、麻栎和紫茎泽兰.

表 5 不同替代植物群落、云南松天然老齡林和紫茎泽兰地之间的共有种与相似性

Table 5 Number of co occurring species and the similarity among different replaced communities, *P. yunnanensis* old growth forest and *E. adenophorum* community

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
C ₁	—	0.2	0.27	0.38	0.09
C ₂	10	—	0.54	0.24	0.10
C ₃	13	20	—	0.35	0.09
C ₄	20	13	18	—	0.07
C ₅	4	3	3	3	—

表中对角线上部为群落相似性系数, 下部为群落共有种数 Values above the diagonal line in the table are the number of co occurring species, while the values below the diagonal line are the coefficient of similarity between tow communities.

群落相似性系数与群落间共有种的数量变化趋势相同. 在 3 个人工恢复的替代植物群落中, 兰桉人工林和云南松+ 木荷+ 兰桉群落之间的相似性系数最高, 达 0.54, 这可能与两群落种植初期种植树种相同、立地条件更相似有关. 云南松人工林和兰桉人工林相似性系数最低, 仅为 0.2. 紫茎泽兰群落出现的物种较少, 因此和其它群落的相似性系数也最低, 最高仅为 0.1. 从 3 个恢复的替代植物群落与云南松天然老齡林的相似性系数分析可以看出, 现阶段这些替代群落在物种组成与结构上与云南松天然老齡林还存在较大的差距, 仍需要较长时间的恢复、发展和保护.

4 讨 论

为控制紫茎泽兰的危害, 我国于 20 世纪 80 年代以来, 对入侵我国西南地区的紫茎泽兰开展了防治工作, 先后采用了机械防除、化学防除、生物防除、替代控制等方法和措施, 取得了一定的效果^[8, 10, 19, 23]. 但是, 通过实践表明, 靠单一的防治方法来控制紫茎泽兰危害是很困难的, 其长期防治效果并不明显, 在缺乏后续管理措施条件下, 治理山地很容易发生紫茎泽兰的再侵入, 难以实现自然更新^[10, 14, 15]. 因此, 结合人工或机械、化学及生物防治措施的应用, 选择具有一定经济价值的植物种类, 并与当地农、林、牧业生产发展目标相结合, 在紫茎泽兰迹地上构建不同类型的替代植物群落, 是控制紫茎泽兰的有效方法^[14, 19, 20, 23, 28].

去除外来入侵物种后, 对其迹地的成功重建包括森林群落物种多样性的恢复^[15, 16, 23, 26]. 20 世纪 80 年代在双柏县开展的控制紫茎泽兰的试验与示范研究, 就是结合林场营林与更新的工作, 在人工和机械铲除紫茎泽兰后, 选择一些林木种类, 营建替代植物群落. 本项调查结果表明, 所营建的替代植物群落的林木生长良好, 已形成郁闭的森林环境, 与未经治理的紫茎泽兰地相比较, 它们在物种组成、结构和多样性方面均有显著的提高, 共计已有 57 个物种出现, 林下出现了大量的乡土木本植物的幼苗、幼树, 反映出这些人工群落植物多样性增加, 呈现出逐渐向良性循环方向发展的趋势.

由于在物种选择、造林方式和后期管理方式的不同, 所形成的各个替代植物群落在结构、物种组成和多样性变化方面有所差异. 结合林场营林与更新工作, 在紫茎泽兰迹地上通过整地后直播云南松种子营建起来的云南松人工林, 经过前期的人工抚育

管理, 林木长势整齐, 密度高, 因林下光强低, 紫茎泽兰稀少, 仅在林缘附近有分布, 林内有 36 个物种出现, 说明作为乡土用材树种的云南松能够较好地控制紫茎泽兰生长。但是, 前期的人工辅助管理是必须的, 因为云南松幼苗阶段生长速度较慢, 造林地容易被紫茎泽兰侵入和危害。然而, 云南松种植密度过大, 使林木径级生长受到影响, 而且也对其它植物的生长产生了一定的抑制作用, 出现于林下的植物种类、数量较少。因此, 建议对该类云南松人工林进行适当的抚育间伐, 改善林内光照条件, 同时引种部分阔叶树种和一些乡土的喜阴草本植物, 提高群落的植物多样性和生产力, 促进其向多层结构的针阔混交林方向发展。

以在较短时间内实现较高经济效益为目的而营建的兰桉人工林而言, 由于人们对其进行过度的砍枝叶去炼油, 林内空地面积大, 光照条件较为充足, 有利于紫茎泽兰的再次侵入^[3, 18, 19, 23, 25], 从而该群落内紫茎泽兰仍然呈现块状密集分布, 抑制了其周围其它植物的生长, 植物多样性较低。关于桉树人工林生物多样性低的原因还可能与该类植物具有排它性有一定的关系^[11, 12]。虽然兰桉人工林的物种数量较少, 但是因为林地光照条件的改善, 也有一些当地的木本植物(例如红木荷、旱冬瓜等)出现, 其中红木荷在群落中具有较高的数量, 建议对该类群落应该减少砍枝强度和其它人为干扰。同时, 在条件允许的情况下, 建议采用人工挖除或喷施化学除草剂的方法, 去除在林内局部占优势的紫茎泽兰, 引入乡土植物并加以抚育, 增加种的多样性, 促进群落结构的稳定^[16, 18, 23]。

云南松+ 木荷+ 兰桉群落是另一类人工营建的替代植物类型。该群落种植兰桉人工林后的 2~ 3 年内, 人为地疏伐兰桉后补植了云南松, 以后对兰桉的砍枝强度和其它人为干扰减少, 使林木生长茂密, 具有明显的层次结构, 群落保持了较高的郁蔽度, 林木径级大小差异较大, 其变异系数达到 60.0, 与云南松天然老龄林最接近。该群落林木长势良好, 平均胸径值超过了先期种植的云南松人工林; 林下紫茎泽兰生长较差, 呈零星分布; 植物多样性指数较高, 群落中出现的植物种、属、科数量均高于兰桉人工林, 是一类具有良好层次结构、物种组成丰富的人工群落。基于现阶段其群落的结构与组成特征, 对于该类替代群落的管理应该尽量减少人为干扰和破坏。

与云南松天然老龄林相比较, 本研究所调查的 3 类替代植物群落, 在群落结构、物种丰富度和多样

性指数上还存在一定的差距。这一方面与群落恢复时间的长短或演替阶段有关; 另一方面, 这种多样性水平较低的状况与本地区造林过程中较多地采用单一的乡土树种(云南松)或外来的经济植物种类(如兰桉等), 以期在短时间内实现一定的经济效益有很大关系。由于所选择的这些树种生长速度快, 特别是在采用高密度种植后, 对林下其它植物的生长可能造成了较大的影响。有关的研究报道证明, 速生树种种植后可能对下层植被的建立产生负面影响。在伊比利亚半岛(Iberian Peninsula)人工营建的兰桉林中发现, 下层植物种类明显地比其它乡土植物群落要低^[11]。对于大多数恢复的植物群落而言, 下层植物丰富程度对整个群落物种多样性有明显的影响。

5 结 论

5.1 采取以替代控制为主的综合防治方法是控制紫茎泽兰危害的有效方法。结合本地区农、林业的发展目标和紫茎泽兰防治工作, 通过选择适宜的乡土植物, 并引进速生的树种, 应用合理的营林和紫茎泽兰防治方法, 在紫茎泽兰迹地上营建替代植物群落, 能够较为有效地控制紫茎泽兰, 逐步恢复其迹地的物种多样性。

5.2 从植被调查的情况来看, 虽然在紫茎泽兰迹地营建的替代植物群落在控制紫茎泽兰和恢复物种多样性方面已取得了较好的效果, 但目前各个替代群落的物种多样性的恢复和发展水平存在差异; 在替代群落营建初期, 采取高密度种植单个或几个树种的方法, 虽然取得了较好的防治效果, 但是随着群落的发展, 单一树种的密集生长不利于整个群落物种多样性和生产力的提高。因此, 在后续抚育管理过程中, 结合林分的抚育间伐, 应注意引进、培育乡土阔叶植物种类, 以促进人工生态系统的进一步恢复和发展。此外, 从调查中也注意到, 紫茎泽兰的入侵、蔓延及危害主要发生在光照条件充足的森林砍伐迹地、稀疏灌草地、丢荒轮歇地、粗放管理的牧草地等地段。因此, 加强地表植被特别是森林植被的保护, 是防治紫茎泽兰入侵的重要工作内容之一。

参考文献

- 1 Angiras NN, Singh SD, Singh CM. 1988. Allelopathic effects of weeds on germination and seedlings growth of maize and soybean. *Ind J Weed Sci*, 20(2): 82~ 87
- 2 Angiras NN, Singh SD, Singh CM. 1989. Allelopathic effects of some weeds on germination and growth of chickpea(*Cicer arietinum* L.). *Ind J Weed Sci*, 21(1): 85~ 87
- 3 Auld BA, Martin PM. 1975. The autecology of *Eupatorium adenophorum* Spreng in Australia. *Weed Res*, 15(1): 27~ 32

- 4 Auld BA. 1969. The distribution of *Eupatorium adenophorum* Spreng. in New Zealand. *N Z J Sci*, **3**(3): 200~ 208
- 5 Auld BA. 1972. Chemical control of *Eupatorium adenophorum*, Crofton weed. *Trop Grassland*, **6**: 55~ 60
- 6 Berger JJ. 1993. Ecological restoration and nonindigenous plant species: A review. *Restor Ecol*, **2**(4): 74~ 82
- 7 Bess HA, Haramoto FH. 1959. Biological control of pamakani *Eupatorium adenophorum* in Hawaii by a tephritid gall fly, *Procecidochares utilis* II. Population studies of the weed, the fly and parasitoid sites of the fly. *Ecology*, **40**: 244~ 249
- 8 Chen X-D(陈旭东), He D-Y(何大愚). 1990. Study on the strategy of biological control of *Eupatorium adenophorum* by using *Procecidochares utilis*. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **1**(4): 315~ 321(in Chinese)
- 9 Dodd AP. 1961. Biological control *Eupatorium adenophorum* in Queensland. *Aust J Sci*, **23**: 356~ 365
- 10 Duan H(段 惠), Qiang S(强 胜), Wu H-R(吴海荣), et al. 2003. *Eupatorium adenophorum* Spreng. *Weed Sci* (杂草科学), **2**: 36~ 38(in Chinese)
- 11 Fabião AM, Martins C, Cerveira C, et al. 2002. Influence of soil and organic residue management on biomass and biodiversity of understory vegetation in *Eucalyptus globules* Labill plantation. *For Ecol Manage*, **171**: 87~ 100
- 12 Geldenhuys CJ. 1997. Native forest regeneration in pine and eucalypt plantations in Northern Province, South Africa. *For Ecol Manage*, **99**: 101~ 115
- 13 He A-J(和爱军), Liu L-H(刘伦辉). 1990. Effect of water extract of *Eupatorium adenophorum* on the germination of several plants. *Weed Sci* (杂草科学), **4**(4): 35~ 38(in Chinese)
- 14 He D-Y(何大愚), Liang J-S(梁家社). 1988. Progress of control for *Eupatorium adenophorum* Spreng. *Ecol Prog* (生态学进展), **5**(3): 163~ 168(in Chinese)
- 15 Hobbs RJ. 2000. Land use change and invasive. In Mooney HA, Hobbs RJ, eds. *Invasive Species in a Changing World*. Washington, DC: Island Press. 55~ 64
- 16 Hobbs RJ, Huenneke LF. 1992. Disturbance, diversity and invasions: Implication for conservation. *Cons Biol*, **6**: 324~ 337
- 17 Liu L-H(刘伦辉), Xie S-C(谢寿昌), Zhang J-H(张建华). 1985. Distribution, harmfulness of Pamakani (*Eupatorium adenophorum*) and discussion on the prevention strategies. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **5**(1): 1~ 6(in Chinese)
- 18 Liu L-H(刘伦辉), Liu W-Y(刘文耀), Zheng Z(郑 征), et al. 1989. The characteristic research of autecology's of Pamakani(*Eupatorium adenophorum*). *Acta Ecol Sin* (生态学报), **9**(1): 56~ 60(in Chinese)
- 19 Liu W-Y(刘文耀), Liu L-H(刘伦辉), Zheng Z(郑 征). 1988. Photosynthetic characteristics of *Eupatorium adenophorum* and their ecological significance. *Acta Bot Yunnanica* (云南植物研究), **10**(2): 175~ 181(in Chinese)
- 20 Lugo AE. 1997. The apparent paradox of reestablishing species richness on degraded lands with tree monocultures. *For Ecol Manage*, **99**: 9~ 19
- 21 Magurran AE. 1988. *Ecological Diversity and Its Measurement*. New Jersey: Princeton University Press.
- 22 Naeem S. 2000. Plant diversity increases resistance to invasion in the absence of covarying extrinsic factors. *Oikos*, **91**: 97~ 108
- 23 Qiang S(强 胜). 1998. The history and status of the study on crofton weed(*Eupatorium adenophorum* Spreng.) a worst world wide weed. *J Wuhan Bot Res* (武汉植物学研究), **16**(4): 366~ 372(in Chinese)
- 24 Rahman O, Agarwall ML. 1991. Biological control of Crofton weed (*Eupatorium adenophorum* Spreng) by a fruit fly *Procecidochares utilis* Stone in eastern Himalayas. *Ind J Weed Sci*, **22**(1~ 2): 98~ 101
- 25 Shen Y-X(沈有信), Liu W-Y(刘文耀). 2004. Persistent soil seed bank of *Eupatorium adenophorum*. *Acta Phytoecol Sin* (植物生态学报), **28**(6): 768~ 772(in Chinese)
- 26 Sinclair ARE, Hik DS, Schmitz OJ. 1995. Biodiversity and the need for habitat renewal. *Ecol Appl*, **5**: 579~ 587
- 27 Song Q-S(宋启示), Fu Y(付 昀), Tang J-W(唐建维), et al. 2000. Allelopathic potential of *Eupatorium adenophorum*. *Acta Phytoecol Sin* (植物生态学报), **24**(3): 362~ 365(in Chinese)
- 28 Xiang Y-X(向业勋). 1991. Distribution and harmfulness of *Eupatorium adenophorum* and its control. *Weed Sci* (杂草科学), **5**(4): 10~ 11(in Chinese)
- 29 Young SS, Wang ZJ. 1989. Comparison of secondary and primary forests in the Ailao Shan Region of Yunnan, China. *For Ecol Manage*, **28**: 281~ 300
- 30 Zeng R-S(曾任森), Li P-W(李蓬为). 1997. Allelopathic effects of *Eucalyptus exserta* and *E. uruophylla*. *J South China Agric Univ* (华南农业大学学报), **18**(1): 6~ 10(in Chinese)
- 31 Zhao G-J(赵国晶), Ma Y-P(马云萍). 1989. Investigation of the distribution and harmfulness of Pamakani(*Eupatorium adenophorum*) in Yunnan. *Weed Sci* (杂草科学), **3**(2): 37~ 40(in Chinese)
- 32 Zhou S(周 俗), Xie Y-L(谢永良). 1999. The investigation report on the poisonous and injurious plant — *Eupatorium adenophorum* Spreng in Sichuan Province. *J Sichuan Grassland* (四川草原), **(2)**: 39~ 42(in Chinese)

作者简介 王重云,男,1976年生,硕士研究生.主要从事恢复生态、外来有害植物控制研究. Tel: 0871 5142055; E-mail: wwwcy000@xtbg.ac.cn

责任编辑 李凤琴