

· 研究简报 ·

三峡水库岛屿成岛前的植被特征与物种丰富度

熊高明 谢宗强* 赖江山 申国珍 赵常明

(中国科学院植物研究所植被与环境变化重点实验室, 北京 100093)

摘要: 三峡水库蓄水导致原有生境的岛屿化, 本文调查了三峡水库6个即将形成的岛屿蓄水前的植被特征, 并对这些岛屿上各类群落类型的物种丰富度进行了分析。共调查到群落类型28个, 其中草丛12个, 灌丛7个, 森林9个。研究表明, 绝大多数岛屿自然植被覆盖率低, 植被退化严重。主要表现为森林比重很小, 群落多样性低, 撂荒地上处于次生演替初始阶段的杂类草草丛占了相当大的比例。6个岛屿的植物种数分别为126、157、175、189、242、254; 其中森林群落的平均物种丰富度指数为42.19, 灌、草丛分别为15.96和17.89。杂类草草丛具有较高的丰富度指数, 而演替到较为稳定的退化草丛物种丰富度指数呈下降趋势。各类灌丛之间物种丰富度指数相差不大。在针阔混交林向阔叶林演替过程中, 物种丰富度指数表现为较大的波动性。由于自然植被被严重破坏, 岛屿上外来入侵种形成了较大的灾害。三峡库区即将形成的这些岛屿具有重要的研究价值, 建议选择一些岛屿建立保护区。
关键词: 三峡水库, 岛屿, 植被, 物种丰富度, 岛屿保护区

Vegetation and plant species richness on six pre-islands, the Three Gorges Reservoir

Gaoming Xiong, Zongqiang Xie*, Jiangshan Lai, Guozhen Shen, Changming Zhao

Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093

Abstract: We studied the vegetation on six pre-islands (land areas which will become islands as a result of flooding) in the Three Gorges Reservoir with a focus on plant species richness for each community. A total of 28 community types were found on these pre-islands, comprising of 12 grasslands, 7 shrubs, and 9 forests. The results showed that natural vegetation was characterized by intense degradation, implied low vegetation coverage, restricted distribution of forests, low community diversity and high ratio of ruderal community types. The species richness of wild vascular plants on the six pre-islands was 126, 157, 175, 189, 242, and 254, respectively. The average species richness was 42.9 for forest, 15.96 for shrub, and 17.89 for grassland communities. In all grassland communities, species richness was high in ruderals but was low in typical degraded grasslands. Species richness was generally low in all shrub communities. In the process of secondary succession from conifer-broadleaf forest to broadleaf forest, species richness fluctuated remarkably. Exotic plants significantly impacted the landscape, resulting in degradation of the natural vegetation. These pre-islands are valuable for scientific research, we suggest establishing some nature reserves on them.

Key words: the Three Gorges Reservoir, island, vegetation, plant species richness, island reserve

岛屿生物地理学长期以来一直是生态学研究热点问题。有关研究国内外报道得很多, 如岛屿化的生态学效应对物种多样性的影响(Moody, 2000; 卢剑波等, 2005)、岛屿种群遗传多样性(王中

生等, 2004; 冷欣等, 2005)、岛屿物种丰富度格局(Panitsa *et al.*, 2006)等。但这些研究大多缺乏岛屿化以前的本底资料, 对岛屿化的实证研究还很少报道。

收稿日期: 2007-03-15; 接受日期: 2007-06-15

基金项目: 中国科学院西部行动计划项目(KZCX2-XB2-07)和国家科技支撑计划课题(2006BAC10B01)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: xie@ibcas.ac.cn

三峡水库是举世瞩目的大型水利工程, 水库蓄水后, 水位将升至175 m, 形成一个巨大的水体。同时由于水位升高, 在库区范围内将形成许多大小不一、形状各异的岛屿或半岛, 这给岛屿化实证研究带来了难得的机遇(Wu *et al.*, 2003, 2004; Shen & Xie, 2004)。本项目从2003年启动, 已经在植物水分利用策略(孙双峰等, 2006)、模拟淹水对植物生理生态的影响(衣英华等, 2006)等方面取得了一些研究成果。本文通过设置固定监测样地, 调查了岛屿化生境蓄水前的植被现状, 并且对这些岛屿上各种植被类型的物种丰富度和外来种入侵状况进行了分析, 以期弥补岛屿化研究中本底资料缺乏的不足, 为以后的研究提供参考, 同时可以为大型水利工程实施过程中的生物多样性保护规划提供科学依据。

1 研究区域概况

三峡库区位于重庆东部及湖北西部交界处, 106°–111°50'E, 29°16'–31°25'N。库区处于我国东部平原丘陵区的一级阶梯向西进入中部山区的二级阶梯的过渡区域, 地质结构相当复杂, 东部出露地层以石灰岩、紫色砂岩为主, 西部多为紫色砂岩。山地地貌占库区总面积的68.33%, 丘陵(含台地)为

30.78%, 平地只有0.89%(谢宗强等, 2006)。属于中亚热带湿润气候, 水热条件充足, 年均温15–19℃, 活动积温5,000–6,000℃, 相对湿度60–80%, 无霜期290–340 d, 年均降雨量1,000–1,300 mm。在中国植被地理分区上, 三峡库区位于我国中亚热带北部栲类、槲栎林亚地带, 是以壳斗科、樟科、山茶科等常绿乔木树种所组成的常绿阔叶林为基带的山地植被区域(陈伟烈等, 1994)。

三峡水库蓄水至最终淹没线175 m时, 形成的岛屿以库区中段自重庆忠县至奉节一带最为集中, 而两端形成的岛屿很少。重庆开县因为地势平坦, 蓄水后水面宽阔, 形成的孤岛最多, 达31个, 也是受淹面积最大的区县之一。此外, 忠县形成的岛屿有18个, 云阳15个, 丰都9个。

2 研究方法

在三峡库区蓄水后即将形成的岛屿中, 综合考虑岛屿位置、大小以及植被和人为活动的影响等诸多因素, 我们选择了6个岛屿(图1)作为研究地点, 其中重庆忠县1个(皇华城), 云阳2个(新津口、人头山), 开县2个(王家坡南、王家坡北), 湖北秭归茅坪1个(木鱼岛)。这些岛屿的面积在2.5–195 hm²之间。



图1 调查的6个岛屿在三峡库区中的分布位置

Fig. 1 Map of the Three Gorges Reservoir Area, showing positions of the six investigated islands

样地调查方法: 由于三峡水库最终运行的水位线为冬季175 m, 夏季145 m, 水位145–175 m时淹没的地带为三峡水库的消落带, 因此对这些岛屿上海拔145 m以上现有的自然植被类型进行了全面的取样调查。2003年7–9月, 在6个岛屿上共设置了121个固定样地, 其中森林群落样地21个, 灌丛样地28个, 草丛样地72个。森林群落样地大小为20 m×20 m; 灌丛样地大小为10 m×10 m; 草丛样地大小为5 m×5 m。记录每个样地的经纬度、小地名、海拔、地貌、坡向、坡度、坡位、小地形、基岩、水分条件等环境因子, 以及群落层盖度、层高度, 并采集0–20 cm土壤样品1份。乔木层胸径大于4 cm树种进行每木检尺, 记录坐标、冠幅、胸径、树高等, 灌草层物种记录高度、盖度、多度等。

重要值及丰富度指数计算方法:

乔木层物种重要值=(相对显著度+相对多度+相对频度)/3

灌草层物种重要值=(相对盖度+相对高度)/2

物种丰富度指数=群落中出现的物种数量

根据群落中各物种的重要值, 参考《中国植被》(吴征镒, 1980)的分类方法, 对调查到的群落类型进行分类。

3 结果

3.1 6个岛屿植被概况和土壤特性

在调查的这些岛屿上, 绝大多数自然植被覆盖率低, 仅湖北秭归茅坪木鱼岛保存了一片较大的森林, 重庆忠县皇华城作为风水林零星地保存了几块森林, 其他岛屿几乎见不到森林。重庆云阳新津口保存了较多的灌丛类型, 其他岛屿大部分是一些严重退化的灌草丛及大片的撂荒地。野生植物物种数量以忠县皇华城最多, 这也是6个岛屿中面积最大的一个; 茅坪木鱼岛面积虽只有皇华城的1/30, 但具有接近皇华城的物种数量(图2)。这主要是因为木鱼岛森林覆盖率较高, 在50%以上, 而皇华城不到5%并且呈零星分布状态。在野生植物的物种组成方面, 禾本科、菊科、莎草科的杂草占有很大的比例, 其中有不少是外来种, 如小蓬草(*Conyza canadensis*)、三叶鬼针草(*Bidens pilosa*)、空心莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)、凤眼莲(*Eichhomia crassipes*)等, 而木本植物的比例很小。6个岛屿的植被概况如下:

云阳人头山: 位于30°57'N, 108°39'E。85%以上的面积为旱地作物, 主要为玉米, 移民搬迁后已撂荒。自然植被覆盖率为15%, 在一些较陡峭的地段有一些黄荆(*Vitex negundo*)灌丛, 其他均为杂类草群落。

开县王家坡南: 位于31°11'N, 108°27'E。80%的面积为果园和旱地作物, 移民搬迁后大部分已撂荒。自然植被覆盖率为20%, 仅存一小块枫杨(*Pterocarya stenoptera*)林, 其余均为撂荒地上生长的杂类草群落。

秭归茅坪: 位于30°50'N, 110°58'E。整个岛屿栽培植被面积大约占35%, 其中20%为柑桔园, 5%为茶园, 10%为其他作物。自然植被覆盖率达65%, 以森林为主, 主要为栓皮栎(*Quercus variabilis*)、短柄枹(*Q. serrata* var. *brevipetiolata*)、马尾松(*Pinus massoniana*)组成的混交林。

开县王家坡北: 位于31°11'N, 108°28'E。75%的面积为旱地作物, 移民搬迁后大部分已撂荒。自然植被覆盖率为25%, 仅存一小块马尾松林, 其余均为撂荒地上生长的杂类草群落。

云阳新津口: 位于30°55'N, 108°56'E。70%的面积为旱地作物, 移民搬迁后大部分已撂荒。自然植被覆盖率为30%, 分布有较大面积的黄荆、糯米条

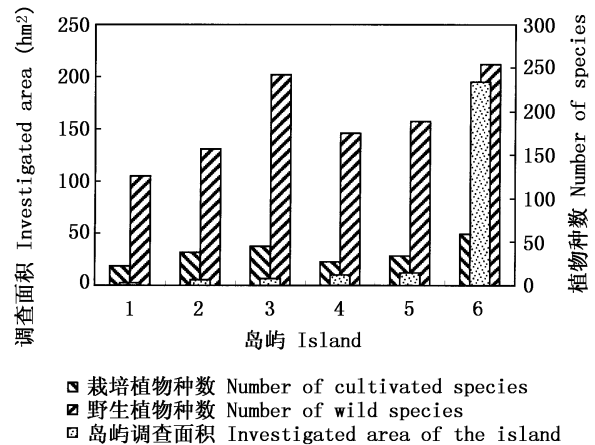


图2 6个岛屿的面积和物种数量

1: 云阳人头山; 2: 开县王家坡南; 3: 秭归茅坪; 4: 开县王家坡北; 5: 云阳新津口; 6: 忠县皇华城

Fig. 2 Area and species richness of the six islands. 1, Rentoushan, Yunyang; 2, Southern Wangjiapo, Kaixian; 3, Maoping, Zigui; 4, Northern Wangjiapo, Kaixian; 5, Xinjinkou, Yunyang; 6, Huanghuacheng, Zhongxian.

(*Abelia chinensis*) 灌丛, 以及大片的黄茅 (*Heteropogon contortus*)、白茅 (*Imperata cylindrica*)、茅叶荩草 (*Arthraxon lanceolatus*) 草丛。

忠县皇华城: 位于30°20'N, 108°05'E。65%以上的面积为栽培植物, 主要为水稻和玉米, 还有一些蔬菜。自然植被覆盖率为35%, 仅在岛屿四周比较陡峭的地段, 保存了几片较好的短柄枹、栓皮栎、柏木 (*Cupressus funebris*) 林。

6个岛屿的土壤类型和土壤理化特性如表1所示。秭归木鱼岛为花岗岩发育的黄壤土, 忠县皇华城为砂岩发育的黄壤, 其他几个岛屿为紫色砂岩发育的紫色土, 或砂岩上发育的黄壤。pH值为4.57–7.54, 土壤有机质及各主要元素含量较低(表1)。

3.2 主要群落类型的基本特征

在121个样地中共调查到28个群落类型, 其中草丛12个, 灌丛7个, 森林9个。

3.2.1 草丛

小蓬草草丛: 分布在开县王家坡南、王家坡北以及忠县皇华城3个岛屿上, 基岩为紫色砂岩和砂岩。层盖度25–60%, 层高度1.0–1.5 m。小蓬草的重要值为15.83–49.87, 高可达1.5 m, 是一种菊科外来入侵种, 原产北美洲, 繁殖非常快, 为恶性杂草。次优势种主要有三叶鬼针草、叶下珠 (*Phyllanthus urinaria*)、狗尾草 (*Setaria viridis*)、紫花香薷 (*Elsholtzia argyi*)、三脉紫菀 (*Aster ageratoides*) 等。这类群落主要分布在撂荒地以及田间空旷地上, 而在已经建立的郁闭度较高的群落中, 小蓬草难于入侵。

茅叶荩草草丛: 这类群落在多个岛屿上均有分布, 生长在撂荒地以及田间空旷地上。基岩为紫色砂岩和砂岩。层盖度为35–80%, 层高度为0.4–0.7 m。茅叶荩草重要值为24.38–55.68。在林下、灌丛及其他郁闭度较高的草丛中, 茅叶荩草也能生长。次优势种有小蓬草、白茅、艾 (*Artemisia argyi*)、青蒿 (*A. apiacea*)、狼尾草 (*Pennisetum alopecuroides*)、三脉紫菀、野胡萝卜 (*Daucus carota*)、求米草 (*Oplismenus undulatifolius*) 等。

艾草丛: 分布在云阳新津口, 土壤为紫色砂岩发育的紫色土。层盖度为35–80%, 层高度为0.6–1.0 m。艾的重要值为22.78, 次优势种为茅叶荩草和黄茅。艾为菊科的一种多年生草本植物, 在我国南方端午节, 民间有用其避邪的风俗, 因此这类群落的形成可能与人类活动有较大的关系。

叶下珠草丛: 分布在忠县皇华城, 通常出现在一些由于放牧等受到严重人为干扰的地段(如路边和荒坡), 基岩为砂岩。层盖度为60%。叶下珠的重要值为30.10, 高仅10 cm左右。次优势种为三叶鬼针草。

青蒿草丛: 分布于云阳人头山的撂荒地上, 基岩为紫色砂岩。层盖度为40%, 层高度为0.6 m。青蒿的重要值为18.63, 次优势种有白茅、野胡萝卜。这类群落物种组成较丰富, 优势种不显著。

三叶鬼针草草丛: 分布在忠县皇华城, 为外来种群落。分布于水分条件中等的阳坡, 土壤为黄壤, 粘性较大, 基岩为砂岩。层盖度为30–40%, 层高度为0.6–0.8 m。三叶鬼针草的重要值为14.27–28.66, 次优势种为地瓜 (*Ficus tikoua*) 和小蓬草。

表1 六个岛屿上的土壤样品分析

Table 1 Analysis of soil nutrition on the six pre-islands

地点 Location	基岩类型 Basement rock	有机质 Organic matter (%)	全氮 Total N (%)	速效氮 Valid N (%)	全碳 Total C (%)	全磷 Total P (ppm)	全钾 Total K (ppm)	pH
秭归茅坪 Maoping, Zigui	花岗岩 Granite	0.4108	0.079	0.0118	0.786	13.63	54.18	5.61
忠县皇华城 Huanghuacheng, Zhongxian	砂岩 Sandstone	0.5431	0.123	0.0139	1.327	12.60	68.23	4.57
开县王家坡南 Southern Wangjiapo, Kaixian	砂岩、紫色砂岩 Sandstone, purple sandstone	0.5592	0.095	0.0112	0.961	9.01	56.09	5.74
开县王家坡北 Northern Wangjiapo, Kaixian	紫色砂岩 Purple sandstone	0.6086	0.128	0.0097	1.035	6.52	65.68	6.15
云阳新津口 Xinjinkou, Yunyang	紫色砂岩 Purple sandstone	0.6170	0.243	0.0031	3.315	10.61	82.61	7.54
云阳人头山 Rentoushan, Yunyang	紫色砂岩 Purple sandstone	0.5756	0.149	0.0106	2.533	9.62	40.73	6.76

酢浆草(*Oxalis corniculata*)草丛: 分布在忠县皇华城。位于湿润的河岸边, 土壤质地板结, 基岩为砂岩。层盖度为45%, 层高度为0.1–0.2 m。酢浆草的重要值为20.50。群落物种组成丰富, 常见小蓬草、一年蓬(*Erigeron annuus*)、蜈蚣草(*Pteris vittata*)等。

野菊(*Dendranthema indicum*)草丛: 分布在云阳人头山, 基岩为紫色砂岩。层盖度为30–60%, 层高度为0.6–1.0 m。野菊的重要值为14.44–69.12, 次优势种有硬杆子草(*Capillipedium assimile*)、白茅、茅叶荩草、野胡萝卜等。

野胡萝卜草丛: 主要分布在云阳人头山的撂荒地上, 基岩为紫色砂岩。层盖度为40–70%, 层高度为0.8–1.5 m。野胡萝卜的重要值为13.52–46.98, 是伞形科的一种一年生植物, 高度可达1.5 m, 其种子小而多, 能广泛散布, 通常和茅叶荩草及野菊组成共优群落。

马唐(*Digitaria sanguinalis*)草丛: 分布于云阳新津口, 基岩为紫色砂岩。层盖度为50–65%, 层高度为0.7–0.8 m。马唐的重要值在22.25–45.15之间, 次优势种主要有黄茅、白茅、茅叶荩草。马唐是禾本科的多年生植物, 常以伴生种出现于其他群落中, 在局部地段可形成优势群落。

黄茅草丛: 分布在云阳新津口, 基岩为紫色砂岩。层盖度为40–60%, 层高度为0.7–0.9 m。黄茅重要值为18.66–57.70, 黄茅草丛是三峡库区分布最广泛的退化草丛之一, 在一些干旱瘠薄的土壤上, 能形成很纯的单优群落。在这个岛屿上, 黄茅常与白茅、丛毛羊胡子草(*Eriophorum comosum*)组成共优群落。

白茅草丛: 在多个岛屿上有分布, 基岩为紫色砂岩和砂岩。层盖度为50–95%, 层高度为0.6–0.8 m。白茅的重要值为19.48–59.47, 生活力很强, 可以在不同的生境条件下出现, 因此以白茅为优势种的草丛是库区分布最广泛的退化草丛之一。白茅能和多个物种组成共优群落, 如黄茅、蕨菜(*Pteridium aquilinum*)、茅叶荩草、马唐、硬杆子草(*Capillipedium assimile*)等, 也能形成单优群落。

3.2.2 灌丛

化香(*Platycarya strobilacea*)灌丛: 分布于秭归木鱼岛, 基岩为花岗岩。层盖度为50%, 层高度为4

m。化香的重要值为60.68, 次优势种为盐肤木(*Rhus chinensis*)。化香是一种乔木树种, 由于生境受到严重破坏才退化成灌丛, 如果条件适宜可以直接演替到森林阶段。

糯米条灌丛: 分布于云阳新津口, 基岩为紫色砂岩。层盖度为45%, 层高度为0.8 m。糯米条的重要值为32.69, 次优势种为毛黄栌(*Cotinus coggygia* var. *pubescens*)。糯米条是库区常见的一种灌木, 通常是作为次优种或伴生种出现, 局部地段能形成优势群落。

盐肤木灌丛: 分布于开县王家坡, 为单优群落, 基岩为砂岩。层盖度为40%, 层高度为0.6 m。盐肤木的重要值达100, 是一种乔木树种。和化香灌丛一样, 是在砍伐的迹地上形成的次生类型。

野花椒(*Zanthoxylum simulans*)灌丛: 分布于云阳新津口, 土壤为紫色土, 基岩为紫色砂岩。层盖度为60%, 层高度为1.8 m。野花椒的重要值为14.40, 位于长期弃耕的荒坡, 群落中常出现鸡矢藤(*Paederia scandens*)这种层间植物。

马桑(*Coriaria nepalensis*)灌丛: 仅分布于云阳新津口, 基岩为紫色砂岩。层盖度为35–60%, 层高度为1.5 m。马桑的重要值为21.28–60.39, 常和地瓜、黄荆组成共优群落。马桑灌丛是库区石灰岩山地典型退化灌丛之一。

毛黄栌灌丛: 分布于云阳新津口, 基岩为紫色砂岩。是库区典型退化灌丛之一, 在三峡库区中低山丘陵分布广泛。层盖度为40–50%, 层高度为1.2 m。毛黄栌的重要值为59.10–62.57, 常和黄荆、插田泡(*Rubus coreanus*)组成共优群落。

黄荆灌丛: 分布于云阳新津口和人头山, 基岩为紫色砂岩。层盖度为45–70%, 层高度为2.5 m。黄荆的重要值为26.60–100。层间植物常见蛇葡萄(*Ampelopsis* sp.)。黄荆灌丛是库区石灰岩山地典型退化灌丛之一, 在其他基岩发育的土壤上也有分布。黄荆能耐受一定干旱, 但在具有较好水湿条件的地段生长良好。黄荆在群落中占绝对优势, 伴生种常见插田泡、金丝桃(*Hypericum monogynum*)、鸡矢藤等。

3.2.3 森林

马尾松+短柄枞林: 分布于秭归茅坪木鱼岛, 开县王家坡北也有一小块, 基岩为花岗岩和砂岩。

层盖度为70–85%，层高度为8–12 m。马尾松的重要值为54.12–72.65。马尾松林是三峡库区分布面积最大的森林类型，马尾松和短柄枹等组成的针阔混交林在库区也广泛分布，是一种由针叶林向阔叶林演替的过渡类型。

马尾松+栓皮栎林：分布于秭归木鱼岛，在三峡库区常见，基岩为花岗岩。层盖度为80%，层高度为10 m。马尾松的重要值为53.05–76.93。这也是一种由针叶林向阔叶林演替的过渡类型。

柏木+短柄枹+栓皮栎林：分布于重庆忠县皇华城，基岩为砂岩。层盖度为80–85%，层高度为8–9 m。柏木的重要值为37.47–48.10。柏木林是三峡库区分布面积第二大的森林类型，柏木、短柄枹、栓皮栎组成的针阔混交林也是一种过渡类型。

短柄枹+马尾松林：在秭归木鱼岛有分布，基岩为花岗岩。层盖度为75–80%，层高度为8–10 m。短柄枹的重要值为52.38–72.55。这类群落中，阔叶的短柄枹占据了优势地位，因此在演替系列上处于马尾松+短柄枹林之后。

栓皮栎+马尾松林：分布于茅坪木鱼岛，基岩为花岗岩。层盖度为70–85%，层高度为8–10 m。栓皮栎的重要值为39.71–69.98。这类群落中，阔叶的栓皮栎占据了优势地位，因此在演替系列上处于马尾松+栓皮栎林之后。

短柄枹+栓皮栎林：忠县皇华城和秭归木鱼岛均有分布，基岩为砂岩和花岗岩。层盖度为80–90%，层高度达8 m左右。短柄枹的重要值为35.52–68.99。这类群落中，阔叶树种占据了较大优势，在演替系列上位于短柄枹+马尾松林和栓皮栎+马尾松林之后。

栓皮栎+短柄枹林：分布于忠县皇华城，基岩为砂岩。层盖度为85%，层高度为8 m。栓皮栎的重要值为44.30。这类群落在演替系列上位于短柄枹+马尾松林和栓皮栎+马尾松林之后，和短柄枹+栓皮栎林处于大致相同的位置。

枫杨林：分布在开县王家坡南，基岩为紫色砂岩。层盖度为40%，层高度为5 m。枫杨的重要值达100，为纯林，喜生于水边湿润的环境中。

黄连木(*Pistacia chinensis*)林：分布在云阳新津口，基岩为紫色砂岩。层盖度为60%，层高度为10 m。黄连木的重要值为64.74。生长于阴坡、半阳坡，具有一定水分条件的地段，伴生种有山合欢(*Albizia*

julibrissin)和苦楝(*Melia azedarach*)。

3.3 主要群落类型的物种丰富度

调查的6个岛屿植物种数分别为126、157、175、189、242、254。在6个岛屿上调查到的28个群落类型中，对其中样地数量 ≥ 2 的17个群落类型的平均物种丰富度进行分析(图3)。其中森林群落的平均物种丰富度指数为42.19，灌、草丛分别为15.96和17.89。

草丛类型中，以三叶鬼针草草丛物种多样性最高，其次是野菊草丛、野胡萝卜草丛、小蓬草草丛；这4种类型群落物种丰富度指数均高于草丛的平均值，其群落均处于撂荒地上次生演替系列的早期阶段，物种组成多为一、二年生杂草，以菊科的种类为最多，群落很不稳定。茅叶荩草草丛的物种丰富度指数接近草丛的平均水平，也是撂荒地上次生演替的一种早期类型。马唐草丛、黄茅草丛、白茅草丛均低于草丛的平均值，其中马唐草丛和黄茅草丛最低，这3类群落主要优势种均为禾本科多年生植物，是发育比较成熟的草本群落，虽然也是次生演替的类型，但却具有较高的稳定性。

灌丛类型中，毛黄栌灌丛丰富度指数最低，马桑灌丛和黄荆灌丛相差不大。总的看来，各类灌丛之间的物种丰富度差异要比草丛和森林小得多。

森林类型中，柏木+短柄枹+栓皮栎林的物种丰富度指数最高，其次为短柄枹+栓皮栎林、马尾松+短柄枹林，栓皮栎+马尾松林最低，马尾松+栓皮栎林接近森林的平均水平。从整个趋势看，在针叶树为主的针阔混交林(图3中12、13、14)–阔叶树为主的针阔混交林(图3中15、16)–阔叶林(图3中17)的次生演替过程中，物种丰富度指数表现出先下降再升高的趋势，具有较大的波动性。

4 讨论和保护建议

本文调查的几个库区未来岛屿均处于海拔300 m以下，由于强烈的人类干扰，植被退化严重。主要表现为森林群落面积很小，群落多样性低，仅存留少数马尾松、柏木、栓皮栎和短柄枹组成的针阔混交林，其他类型已很难发现。即使是在库区广泛分布的一些典型退化灌草丛，在这些岛屿上也很少分布，更多的是移民搬迁后的撂荒地上形成的杂类草草丛。三峡库区的草丛是退化草地的一种类型，基本上都是由火烧、农田弃耕而成(陈伟烈等，1994；

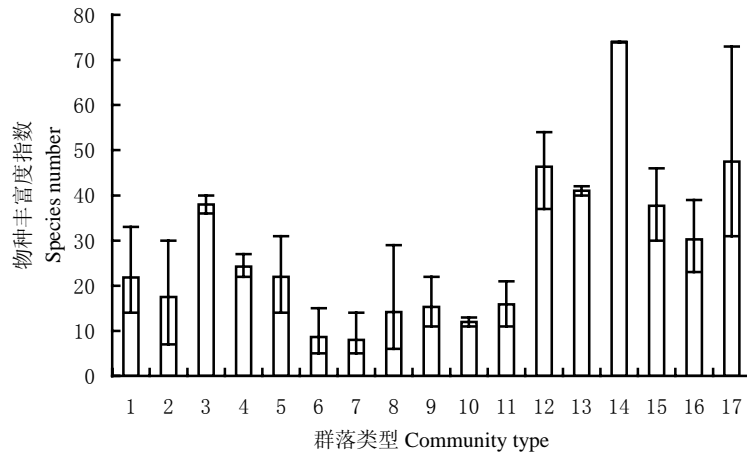


图3 各类群落的物种丰富度指数

Fig. 3 Species richness of different community types on the six islands

群落类型: 1: 小蓬草丛; 2: 茅叶荩草丛; 3: 三叶鬼针草丛; 4: 野菊草丛; 5: 野胡萝卜草丛; 6: 马唐草丛; 7: 黄茅草丛; 8: 白茅草丛; 9: 马桑灌丛; 10: 毛黄栌灌丛; 11: 黄荆灌丛; 12: 马尾松+短柄枹林; 13: 马尾松+栓皮栎林; 14: 柏木+短柄枹+栓皮栎林; 15: 短柄枹+马尾松林; 16: 栓皮栎+马尾松林; 17: 短柄枹+栓皮栎林

Community types: 1, *Conyza canadensis* hassock; 2, *Arthraxon lanceolatus* hassock; 3, *Bidens pilosa* hassock; 4, *Dendranthema indicum* hassock; 5, *Daucus carota* hassock; 6, *Digitaria sanguinalis* hassock; 7, *Heteropogon contortus* hassock; 8, *Imperata cylindrica* hassock; 9, *Coriaria nepalensis* shrub; 10, *Cotinus coggygria* var. *pubescens* shrub; 11, *Vitex negundo* shrub; 12, *Pinus massoniana* + *Quercus serrata* var. *brevipetiolata* forest; 13, *Pinus massoniana* + *Quercus variabilis* forest; 14, *Cupressus funebris* + *Quercus serrata* var. *brevipetiolata* + *Quercus variabilis* forest; 15, *Quercus serrata* var. *brevipetiolata* + *Pinus massoniana* forest; 16, *Quercus variabilis* + *Pinus massoniana* forest; 17, *Quercus serrata* var. *brevipetiolata* + *Quercus variabilis* forest

陈灵芝和陈伟烈, 1995)。

森林群落的物种丰富度指数(42.19)远远高于灌、草丛(15.96和17.89)类型, 其中又以灌丛最小, 但与草丛相差不大。这主要是因为本次调查到较多的杂类草丛具有较高的物种数量。如果用马唐草丛、黄茅草丛和白茅草丛这3种库区比较稳定的退化草从来与灌丛比较, 则灌丛的物种丰富度指数是高于草丛的, 这与前人在三峡库区其他地方调查的结果类似(贺金生等, 1998)

就调查到的草丛群落类型来看, 在撂荒地上处于次生演替初级阶段的杂类草丛具有较高的丰富度指数, 而演替到较为稳定的典型退化草丛物种多样性指数呈下降趋势。这主要是因为撂荒地上具有较大的生境空间, 利于多种物种的迁入。在典型退化草丛中, 黄茅草丛和白茅草丛是库区分布最广的两类草丛, 两者在一定条件下均能形成很纯的单优群落, 因此物种丰富度指数较低。尤其是白茅草丛一旦建立后, 由于其地下茎相互交织成网, 其他物种很难侵入(吴征镒, 1980)。各类灌丛之间物种

丰富度指数相差不大, 说明在灌丛的演替过程中, 物种丰富度的变化是相对稳定的。在森林群落类型中, 随着针阔混交林向阔叶林演替, 物种丰富度指数则表现为较大的波动性, 这可能与人为活动的强度有关(贺金生等, 1998)。

由于自然植被受到严重破坏, 一些外来入侵种如小蓬草、野胡萝卜、三叶鬼针草形成了较大的危害。小蓬草和野胡萝卜是三峡库区撂荒地上常见的杂草, 高度可达1.5 m; 三叶鬼针草是一种外来入侵种, 原产热带美洲, 是一种恶性杂草(朱世新等, 2005), 已经在库区形成了较大的危害。关于外来种和本地种的关系存在两种相反的学说, 一种观点认为, 在一定空间尺度上, 外来种数量和本地种负相关, 因为本地种多样性高则外来种入侵的生境空间相对少(Levine & D'Antonio, 1999; Levine, 2000; Kennedy *et al.*, 2002; Fargione & Tilman, 2005); 另一种观点则认为在一个较大的空间尺度上, 外来种和本地种多样性存在着一种很强的正相关关系, 因为外来种和本地种对影响物种多样性的过程表现

出的反应是相似的(Lonsdale, 1999; Stohlgren *et al.*, 2005; Davies *et al.*, 2005; Gilbert & Lechowicz, 2005; Stark *et al.*, 2006)。本文没有比较这些岛屿上的外来种和本地种数量,但从调查到的群落类型来看,以外来种为优势的群落占了相当大的比例,这至少表明,从群落学角度,外来种群落多样性和本地群落具有负相关关系,原生植被严重破坏后形成的撂荒地和空旷地为外来种的大规模入侵创造了生境空间。

三峡水库修建形成的这些岛屿是岛屿生物地理学实证研究的极好材料。同时由于移民搬迁,在这些岛屿上形成了大量的撂荒地,也是研究恢复生态学的好材料。在全球变化备受人们关注的今天,岛屿也为研究生态系统的生物驱动机制提供了一个现实的平台,在全球变化对陆生生态系统的影响方面,岛屿研究具有重要的潜力(Wardle, 2002)。三峡水库岛屿化对研究物种灭绝和存活机制、物种丰富度和种-面积关系、土地利用变化和生物群落动态等方面是一个很好的机遇(Wu *et al.*, 2004)。而且这些岛屿大多数处于库区未来景区极有显示度的位置,保护好这些岛屿,是向中外游客宣传库区生态环境保护的很好窗口。然而大多数岛屿已纳入当地部门的旅游开发计划,有些已经在实施之中。因此,我们建议选择一些岛屿,停止开发计划,建立岛屿自然保护区,这将具有十分重要的意义。

致谢: 参加野外调查的还有三峡大学生命与技术科学学院陈芳清、张丽萍、梅光舟、陈磊、徐佳峰和丁华等,潘家寿高级实验师协助土壤分析、澳大利亚来访学者Thomas New先生帮助修改英文摘要,谨此一并致谢!

参考文献

- Chen LZ (陈灵芝), Chen WL (陈伟烈) (1995) *Studies on Degraded Ecosystems in China* (中国退化生态系统研究), pp. 24–61. Chinese Science and Technology Press, Beijing. (in Chinese)
- Chen WL (陈伟烈), Zhang XQ (张喜群), Liang SJ (梁松筠), Jin YX (金义兴), Yang QX (杨启修) (1994) *Plant and Agroforest Ecosystem in the Three Gorges Reservoir Area* (三峡库区的植物与复合农业生态系统), pp. 11–17. Science Press, Beijing. (in Chinese)
- 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**, 1602–1610.
- Fargione JE, Tilman D (2005) Diversity decreases invasion via both sampling and complementarity effects. *Ecology Letters*, **8**, 604–611.
- Gilbert B, Lechowicz MJ (2005) Invasibility and abiotic gradients: the positive correlation between native and exotic plant diversity. *Ecology*, **86**, 1848–1855.
- He JS (贺金生), Chen WL (陈伟烈), Jiang MX (江明喜), Jin YX (金义兴), Hu D (胡东), Lu P (路鹏) (1998) Plant species diversity of the degraded ecosystems in the Three Gorges Region. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **18**, 399–407. (in Chinese with English abstract)
- Kennedy TA, Naem S, Howe KM, Knops JMH, Tilman D, Reich P (2002) Biodiversity as a barrier to ecological invasion. *Nature*, **417**, 636–638.
- Leng X (冷欣), Wang ZS (王中生), An SQ (安树青), Feng J (冯珏), Liu YH (刘玉虹), Wang GM (王国明) (2005) ISSR analysis of genetic diversity of *Ilex integra*, an insular endemic plant. *Biodiversity Science* (生物多样性), **13**, 546–554. (in Chinese with English abstract)
- Levine JM (2000) Species diversity and biological invasions: relating local process to community pattern. *Science*, **288**, 852–854.
- Levine JM, D'Antonio CM (1999) Elton revisited: a review of evidence linking diversity and invasibility. *Oikos*, **87**, 15–26.
- Lonsdale WM (1999) Global patterns of plant invasions and the concept of invasibility. *Ecology*, **80**, 1522–1536.
- Lu JB (卢剑波), Ding LZ (丁立仲), Xu GF (徐高福) (2005) Effects of islanding on plant species diversity in Thousand-island Lake region. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **16**, 1672–1676. (in Chinese with English abstract)
- Moody A (2000) Analysis of plant species diversity with respect to island characteristics on the Channel Islands, California. *Journal of Biogeography*, **27**, 711–723.
- Panitsa M, Tzanoudakis D, Triantis KA, Sfenthourakis S (2006) Patterns of species richness on very small islands: the plants of the Aegean archipelago. *Journal of Biogeography*, **33**, 1223–1234.
- Shen GZ, Xie ZQ (2004) Three Gorges Project: chance and challenge. *Science*, **304**, 681.
- Stark SC, Bunker DE, Carson WP (2006) A null model of exotic plant diversity tested with exotic and native species-area relationships. *Ecology Letters*, **9**, 136–141.
- Stohlgren TJ, Barnett D, Flather C, Kartesz J, Peterjohn B (2005) Plant species invasions along the latitudinal gradient in the United States. *Ecology*, **86**, 2298–2309.
- Sun SF (孙双峰), Huang JH (黄建辉), Lin GH (林光辉), Han XG (韩兴国) (2006) Contrasting water use strategy of co-occurring *Pinus-Quercus* trees in Three Gorges Reservoir. *Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), **30**, 57–63. (in Chinese with English abstract)
- Wang ZS (王中生), An SQ (安树青), Leng X (冷欣), Ding FM

- (丁方明), Zheng JW (郑建伟), Chen L (陈琳) (2004) Population genetic diversity of the insular plant *Neolitsea sericea* based on random amplified polymorphic DNA (RAPD). *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **24**, 414–422. (in Chinese with English abstract)
- Wardle DA (2002) Islands as model systems for understanding how species affect ecosystem properties. *Journal of Biogeography*, **29**, 583–591.
- Wu JG, Huang JH, Han XG, Gao XM, He FL, Jiang MX, Jiang ZG, Primack RB, Shen ZH (2004) The Three Gorges Dam: an ecological perspective. *Frontiers in Ecology and the Environment*, **2**, 241–248.
- Wu JG, Huang JH, Han XG, Xie ZQ, Gao XM (2003) Three-Gorges Dam—experiment in habitat fragmentation? *Science*, **300**, 1239–1240.
- Wu ZY (吴征镒) (1980) *Vegetation of China* (中国植被), pp. 262–263, 494–504. Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Xie ZQ (谢宗强), Wu JQ (吴金清), Xiong GM (熊高明) (2006) *Conservation Ecology of Rare and Endangered Plants in the Three Gorges Reservoir Area* (三峡库区珍稀特有植物保护生态学研究), pp. 8–29. China Water-Power Press, Beijing. (in Chinese)
- Yi YH (衣英华), Fan DY (樊大勇), Xie ZQ (谢宗强), Chen FQ (陈芳清) (2006) Effects of waterlogging on the gas exchange, chlorophyll fluorescence and water potential of *Quercus variabilis* and *Pterocarya stenoptera*. *Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), **30**, 960–968. (in Chinese with English abstract)
- Zhu SX (朱世新), Qin HN (覃海宁), Chen YL (陈艺林) (2005) Alien species of Compositae in China. *Guihaia* (广西植物), **25**, 69–76. (in Chinese with English abstract)

(责任编辑: 闫文杰)