

千岛湖库区岛屿面积对植物分布的影响 及植物物种多样性保护研究

孙 雀¹ 卢剑波^{1*} 鄢建国^{1,2} 张凤凤¹

1 (浙江大学生命科学学院, 杭州 310058)

2 (School of Life Sciences, Arizona State University, Tempe, AZ 85287, USA)

摘要: 修建大坝形成水库蓄水是造成景观破碎化的原因和形式之一。本研究选取了浙江千岛湖库区景观破碎化的典型区域小金山林场, 调查了74个大小不一的岛屿, 研究了面积对植物物种分布的影响, 并比较了使物种多样性最大化的几种植物物种保护方案: 小岛组合、中岛组合、大岛组合、大中小组合岛。调查共记录到乔木物种56种, 灌木物种79种。将岛屿按照面积由大到小排序, 将相对应分布的乔木、灌木绘制成植物物种分布表。结果显示: 乔木中分布不受面积影响的物种有15种, 受面积影响的有11种, 介于两者之间的有30种; 灌木物种中不受面积影响的有24种, 受面积影响的有16种, 介于两者之间的有39种。将乔木、灌木和总物种数分别累加, 同时将相对应的岛屿面积按不同组合累加, 绘制累加物种和面积关系图, 发现在特定的相同累加面积下, 组合岛的累加乔木、灌木、总物种数最多, 小岛组合次之, 大岛组合最少。因此, 建立相同面积的保护区时, 组合岛有利于保护更多的物种。

关键词: 千岛湖库区, 景观破碎化, 植物分布, SLOSS, 乔木, 灌木

Effects of island area on plant species distribution and conservation implications in the Thousand Island Lake region

Que Sun¹, Jianbo Lu^{1*}, Jianguo Wu^{1,2}, Fengfeng Zhang¹

1 College of Life Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China

2 School of Life Sciences, Arizona State University, Tempe AZ 85287, USA

Abstract: Numerous human activities have resulted in landscape fragmentation, and dam construction is one of them that often leads to drastic changes in biodiversity and ecosystem functioning on local and regional scales. In this study, we investigated how island area size affected the distribution of plant species in the Thousand Island Lake region. Also, we compared several conservation scenarios for maximizing plant species diversity. We found 56 tree species and 79 shrub species in 74 islands that were surveyed. These islands and the tree and shrub species they contained were tabulated by island size and analyzed consequently. Our results showed that 11 tree species were affected by island area while 15 were not, and 30 in between being affected and unaffected. For shrubs, 24 species were unaffected, 16 were affected, and 39 species were in between being affected and unaffected to variability in island size. Comparing the cumulative numbers of tree, shrub, and all species in different scenarios of aggregating individual islands by small, medium, large, and mixed categories, respectively, we were able to examine how species richness changed with the increasing total area of habitat and which combination gave rise to the highest species richness. Our analysis revealed that, for a given total area of island habitat, mixing islands of different sizes gave rise to the highest cumulative plant species richness in terms of tree, shrub, or total species richness. The agglomeration of smaller islands resulted in the second highest species richness whereas large islands supported the lowest species richness for the same total area of habitat. Thus, our results suggest that islands of all sizes need to be considered for biodiversity conservation in the Thousand Island Lake region.

收稿日期: 2007-06-25; 接受日期: 2007-10-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30570320)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: jianbo.lu@zjuem.zju.edu.cn

Key words: Thousand Island Lake region, landscape fragmentation, plant distribution, SLOSS, tree, shrub

景观破碎化被认为是导致生物多样性丧失的最主要因子(Baguette *et al.*, 2003), 是保护生物学几十年来研究的热点问题。景观破碎化主要表现为斑块数量增加而面积缩小, 斑块形状趋于不规则, 内部生境面积缩小, 廊道被截断以及斑块彼此隔离(覃凤飞等, 2003)。其中生境面积的大小以及相似斑块的隔离程度是影响岛屿物种生存的两个主要因素(陈小勇和宋永昌, 2004)。

千岛湖是建坝蓄水形成的人工湖, 因其湖内岛屿众多, 湖面宽阔, 边界十分清楚, 且岛屿生境的破碎化时间一致, 因此为研究破碎化生态系统的自然变化提供了极好的条件(张欣等, 2007)。同时由于千岛湖的岛屿大小不一, 在具体的保护实践中, 涉及到一个基本问题: 是建立一个大型自然保护区, 还是总面积与此相等的多个小型保护区? 哪种方案能最大限度保护物种多样性(McNeill & Fairweather, 1993; Virolainen *et al.*, 1998; 陈水华和王玉军, 2004)? 这是保护生物学界一个有争议的问题, 也就是著名的“SLOSS” (Single Large Or Several Small) 争论。本研究选取千岛湖库区典型破碎化区域, 研究了水库形成后引起的景观破碎化对植物物种的影响, 分析面积对植物分布的影响, 研究岛屿面积累加不同组合和植物物种数的关系, 比较了各种保护方案, 目的在于为千岛湖的植物物种保护提供科学依据。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区域概况

千岛湖原名新安江水库, 地处 $29^{\circ}22' - 29^{\circ}50' N$, $118^{\circ}34' - 119^{\circ}15' E$, 是1959年新安江大坝建成蓄水后形成的人工湖泊, 因湖内有 $2,500 m^2$ 以上的岛屿1,078个而得名。库区水域面积 $575 km^2$, 东西长60 km, 南北宽50 km, 平均水深34 m, 能见度9-14 m, 湖内岛屿面积 $409 km^2$, 森林覆盖率达到82.6%。湖区地形复杂, 以低山丘陵为主, 绝大多数海拔在120-600 m之间, 最高海拔967 m。地带性土壤为山地红壤, 多数土壤为黄红壤亚类, 母质为酸性岩浆岩及砂岩风化体, 厚度中等, 肥力良好。由于地处亚热带季风气候区的北缘, 森林覆盖率高, 一年四

季分明, 年平均气温为 $17^{\circ}C$, 年平均降水量为1,429.9 mm, 蒸发量为1,381.5 mm, 相对湿度76%。

本研究选取了千岛湖库区景观破碎化典型区域小金山林场作为研究区域。该林场位于千岛湖库区的中部, 中心湖区北侧, 东西长13 km, 南北宽12 km, 由106个大小岛屿及附近陆地组成, 总面积 $4,000 hm^2$ 。该林场在形成水库后, 原来的陆地(主要是山地)被水面取代, 残存的陆地形成了岛屿和半岛, 并且当时的山林几乎砍伐殆尽(徐高福, 1999; 丁立仲等, 2004)。经过40余年的封山育林, 该林场现有森林植被以天然次生马尾松(*Pinus massoniana*)林为主, 马尾松林内常绿阔叶树种不断增加; 部分天然阔叶林经过封山育林, 正向地带性常绿阔叶林植被演替(徐高福, 2007)。研究区域的地理位置见图1。

1.2 研究方法

1.2.1 数据获取

在2004年春季、2006年3-6月、2006年8月和10月进行野外调查。据Terborgh等(2001)的研究方法, 结合研究区域实际状况, 把千岛湖内岛屿按面积大小分为小型岛屿($0.01 hm^2 < S \leq 1 hm^2$)、中型岛屿($1 hm^2 < S \leq 5 hm^2$)和大型岛屿($S > 5 hm^2$)三个等级。选取了49个小型岛屿、21个中型岛屿和4个大型岛屿作为样地。在岛屿中设 $30 m \times 30 m$ 的样方调查乔木的种类和数量, 再将乔木样方分为36个 $5 m \times 5 m$ 的小样方, 随机抽取一个来调查灌木的种类和数量。根据栅格取样, 对于面积小于 $1 hm^2$ 的小岛进行普查, 面积在 $1-4 hm^2$ 的岛屿设一个样方, 面积在 $4-8 hm^2$ 的岛屿设2个样方, 以此类推, 共设了乔木和灌木样方各96个。

基本地理数据源自浙江省淳安县新安江开发总公司2003年绘制的比例尺为1:10,000的千岛湖小金山林场山林现状图。

1.2.2 数据处理和分析

将野外调查所获得的植物种类和数量进行汇总。用地理信息系统(GIS)软件将地图数字化后进行拼接处理和分析, 并计算出各岛屿面积。本研究中GIS软件采用北京大学的Citystar 4.0。

对各个岛屿上乔木和灌木的物种种类和数量

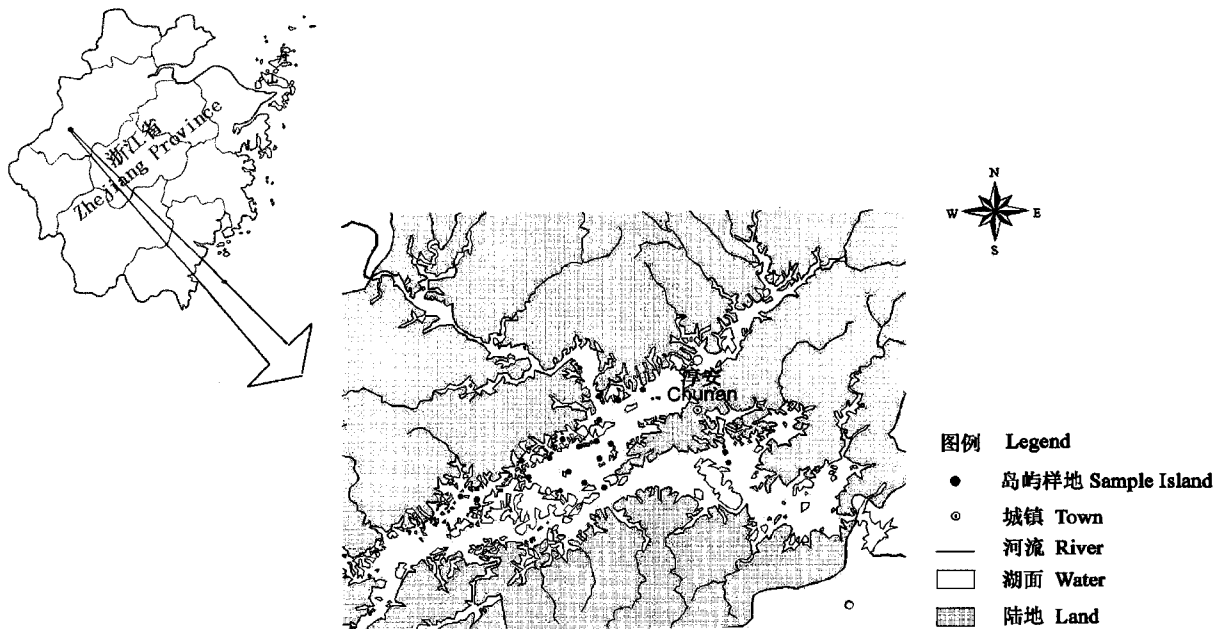


图1 研究区域地图

Fig. 1 Location map of the study area

进行统计,将岛屿按照面积由大到小排序,与相对应的植物物种绘制成表格,研究面积大小对物种分布的影响。按受面积影响程度将植物物种分为三类:第一类不受面积影响,在各类型岛上都有分布;第二类受面积影响较大,主要分布在面积较大的岛上;第三类在各类型岛屿上分布没规律,出现频率较低,很多植物在岛屿上只出现一次。

将灌木物种、乔木物种、岛屿面积分别进行累加。小岛组合由49个小岛组成,中岛组合由21个中岛组成,大岛组合由4个大岛组成,组合岛由32个小岛、5个中岛和1个大岛组成,组合岛累加面积共41.83 hm²,小岛、中岛和大岛分别约占总累加面积的1/3。绘制植物物种和面积关系图,分析各种岛屿组合与植物物种数量的关系,比较保护方案。

2 结果

2.1 面积对植物物种分布的影响

2.1.1 面积对乔木物种分布的影响

所调查的岛屿上共有乔木56种,分属29个科,其中物种数目较多的科为壳斗科、冬青科、蔷薇科等。乔木物种与面积的关系主要体现为(附录I): (1)白栎(*Quercus fabri*)、白檀(*Symplocos paniculata*)、

短柄枹栎(*Quercus serrata* var. *brevipetiolata*)、枫香(*Liquidambar formosana*)、黄檀(*Dalbergia hupeana*)、苦槠(*Castanopsis sclerophylla*)等15个物种不受面积的影响,在大岛、中岛和小岛上都有分布,但其中的花榈木(*Ormosia henryi*)、榔榆(*Ulmus parvifolia*)和杉木(*Cunninghamia lanceolata*)这3个物种在岛屿上出现的频率很低,可能有其他的生境因素影响了它们的分布。(2)白背叶(*Mallotus apelta*)、冬青(*Ilex chinensis*)、构树(*Broussonetia papyrifera*)、化香树(*Platycarya strobilacea*)、黄连木(*Pistacia chinensis*)、木荷(*Schima superba*)等11个物种受面积影响较大,主要出现在面积较大的岛屿上,在小岛上较少发现。当面积减小到一定程度时,它们的生存就会受到威胁,甚至灭绝。如白背叶,在面积小于0.29 hm²的岛屿上就没有发现。(3)大叶冬青(*Ilex latifolia*)、八角枫(*Alangium chinense*)、浙江柿(*Diospyros japonica*)、豹皮樟(*Litsea coreana* var. *sinensis*)、臭辣树(*Evodia fargesii*)、大果冬青(*I. macrocarpa*)、黄山木兰(*Magnolia cylindrica*)等30种分布没有规律,会集中出现在大岛或中岛或小岛上,它们大都出现频率很低,有的在74个岛屿中只出现过一次,因此不能判定面积对其分布的影响。有可能是这些乔木种

对生境很敏感, 岛屿化使它们濒临灭绝, 也有可能是种子随机飘到岛屿上, 而存活下来。

2.1.2 面积对灌木物种分布的影响

所调查的岛屿上共有灌木物种79种, 分属33个科, 其中物种数目较多的科为杜鹃花科、蔷薇科、豆科等。灌木物种与面积的关系主要体现为(附录II): (1)小果菝葜(*Smilax davidiana*)、扁担杆(*Grewia biloba*)、冻绿(*Rhamnus utilis*)、无梗越桔(*Vaccinium henryi*)、格药柃(*Eurya muricata*)、细梗胡枝子(*Lespedeza virgata*)、欏木(*Loropetalum chinense*)等24个物种在大岛、中岛和小岛上都有分布, 不受面积大小的影响, 在较小的岛屿上也能生存。但其中的醉鱼草(*Buddleja lindleyana*)、具柄冬青(*Ilex pedunculosa*)、山榿(*Lindera reflexa*)、山油麻(*Trema dielsiana*)这4个物种在岛屿上出现的频率很低, 可能其他的生境因素影响了它们的分布。(2)赤楠(*Syzygium buxifolium*)、菝葜(*Smilax china*)、枸骨(*Ilex cornuta*)、短尾越桔(*Vaccinium carlesii*)、尖连蕊茶(*Camellia cuspidata*)、柳叶蜡梅(*Chimonanthus salicifolius*)、六月雪(*Serissa japonica*)等16种灌木易受面积影响, 一般都需要较大的生存面积, 在面积减小到一定程度时就有可能灭绝。但在调查中发现, 山矾(*Symplocos sumuntia*)分布在面积较小的岛屿上, 在大岛上没有发现。(3)大青(*Clerodendrum cyrtophyllum*)、大芽南蛇藤(*Celastrus gemmatus*)、斑竹(*Phyllostachys bambusoides f. lacrima-deae*)、豆腐柴(*Premna microphylla*)、刚竹(*Phyllostachys viridis*)、葛藤(*Pueraria montana var. lobata*)、枸桔(*Poncirus trifoliata*)等39种物种分布没有规律, 会集中出现在大岛上, 也会集中出现在中岛或小岛上, 但出现的频率都很低, 很多物种在74个岛屿中只出现过一次, 因此不能判定面积对其分布的影响, 可能有其他的因素影响这些物种分布。

2.2 植物物种保护方案分析

2.2.1 岛屿累加面积和乔木物种数的关系

随着岛屿累加面积的增加乔木物种数增加, 其中组合岛增加速率最快, 小岛组合次之, 大岛组合的增加速率最慢。在累加面积相等的情况下, 乔木物种数表现为组合岛 > 小岛组合 > 中岛组合 > 大岛组合; 但在累加面积为3-6 hm^2 和10.5-14 hm^2 时, 小岛组合的累加物种数多于组合岛及其他岛屿组合; 随着累加面积的增加, 组合岛的累加物种数明

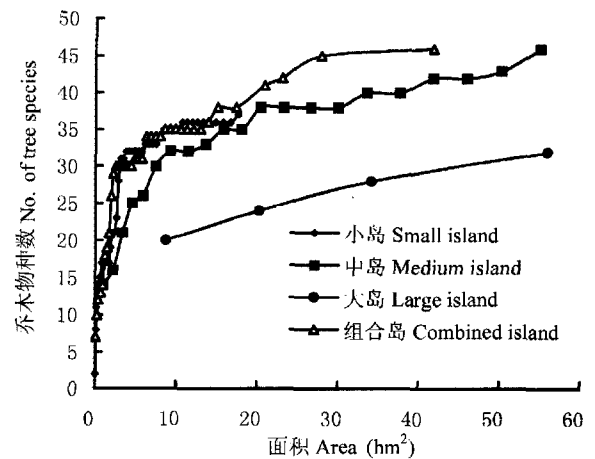


图2 累加面积与乔木累加物种数

Fig. 2 The relationships between the cumulative species richness for trees and the total area of islands of various sizes agglomerated in four different ways.

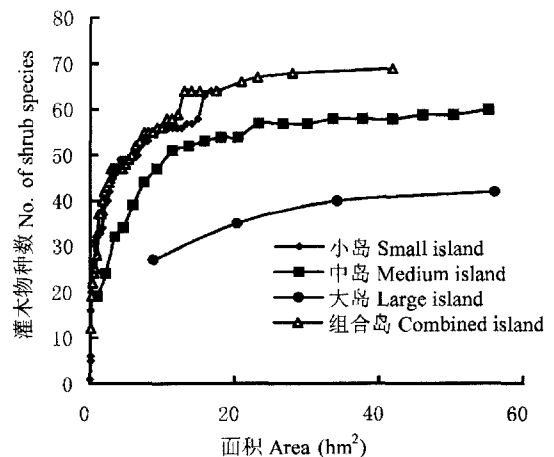


图3 累加面积与灌木累加物种数

Fig. 3 The relationships between the cumulative species richness for shrubs and the total area of islands of various sizes agglomerated in four different ways.

显多于其他岛屿组合。因此, 就乔木而言, 建立总面积相等的保护区时, 保护由小岛、中岛、大岛组成的组合岛优于保护少数几个中岛、大岛, 保护数个小岛(小岛组合)比保护少数几个中岛或大岛好。如在面积15 hm^2 左右时, 组合岛有约38个乔木物种, 小岛组合约36个, 中岛组合约34个, 而大岛组合才22个左右(图2)。

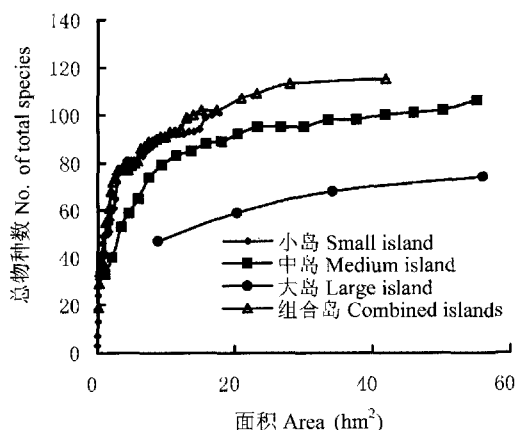


图4 累加面积和植物物种

Fig. 4 The relationships between the cumulative species richness for plant and the total area of islands of various sizes agglomerated in four different ways.

2.2.2 岛屿累加面积和灌木物种数的关系

随着岛屿累加面积的增加灌木物种数也呈增加趋势,其中组合岛的增加速率最快,小岛组合次之,但和组合岛很接近,大岛组合的增加速率最慢(图3)。在累加面积相等的情况下,组合岛累加的物种数比小岛组合、中岛组合、大岛组合多,但小岛组合和组合岛的物种数很接近;只在面积为13 hm²左右时,组合岛累加的物种数才明显多于小岛。因此,就灌木而言,设立总面积相同的保护区时,保护组合岛比保护少数几个中岛和大岛好,也可以考虑保护数个小岛(小岛组合)(图3)。

2.2.3 岛屿累加面积和乔木、灌木物种数的关系

随着岛屿累加面积的增加,累加植物物种数也增加,组合岛和小岛组合增加速率较快,中岛组合次之,大岛组合最慢。在累加面积相等的情况下,组合岛的累加总物种数>中岛组合>大岛组合。但在有些面积下,小岛组合的物种数高于组合岛。因此,建立相同面积的保护区时,可以优先考虑组合岛和数个小岛(小岛组合)的保护,以利于保护更多的植物物种(图4)。

3 讨论

3.1 面积对物种分布的影响

面积对物种分布的影响实质是生境多样性和景观空间的异质性对物种多样性的影响,但由于在

实际的研究中对生境的类型划分缺乏统一的标准,而且许多生境要素在野外难以获取,而生境的多样性与面积是相关的,因此在本研究中采用面积这一较容易获取的环境因子进行分析。根据本研究的结果,面积对物种的影响分为3种情况:(1)没有影响,(2)影响较大,(3)没有规律。

在没有影响的一类中,一是对生境要求非常低的物种,如马尾松、黄檀、白栎、榿木、杜鹃(*Rhododendron simsii*)等是千岛湖地区优势物种,适应性强,对生境不敏感。二是对生境有要求的,其中有3种乔木(花榈木、榔榆、杉木)和4种灌木(醉鱼草、具柄冬青、山榿、山油麻)只出现在具有适合其生长生境各类型岛屿。如花榈木,只在7个岛屿上有发现,属国家二级濒危保护物种,深根性中性树种,喜欢肥沃湿润环境,苗期喜荫,长大后需要阳光(江昌志,2004),因此它只分布在符合这种生境条件的岛屿上。调查中约有20%的乔木和灌木物种分布受面积影响较大。面积越大,对应的生境类型和数量也越多,因此对生境类型有要求的物种多分布在大、中型岛屿上。如白背叶,多生长于向阳的沟谷中,沟谷中很少有高大乔木遮盖,而在中、小型岛屿上极少有适合它们生长的向阳沟谷(徐高福,2004);再如黄连木,生长于阴坡、半阳坡具有一定水分条件的地段(熊高明等,2007)。生境面积减小时,只能维持较小种群的生存,小种群比大种群更易受到统计随机性、环境随机性、自然灾害和遗传随机性的影响,并且当种群大小低于一定程度时,个体授粉十分困难,繁殖率降低,容易造成近交衰退和遗传漂变(陈小勇,2000; Kahmen & Poschlod, 2000; Lienert, 2004; 李静等, 2005),最终可能使小种群局部灭绝。因此,面积对大种群物种和繁殖要求较高的物种影响较大。面积越大,物种生存的可能性越大,在调查中,绝大多数物种分布在面积较大的岛上,符合上述原理,但山矾反而分布在面积较小的岛屿上,这可能是由于山矾喜光,小岛上有充足的阳光促进它的生长。小岛上马尾松分布比较疏散,它下层的植物就能接收到更多的阳光,另外小岛上边缘面积占总小岛面积的比例较大,边缘的产生使光照增加,从而促进喜光植物的生长(渠春梅等,2000)。

没有规律的一类中,主要是出现的频率较低,有的还是濒危物种,如黄山木兰,因此可能的原因

一是对生境高度敏感,残存在某些岛屿上,二是非常见物种,分布稀少,不能判断其对生境敏感的程度。

3.2 SLOSS的验证

对于扩散、迁移和定殖能力强的物种,当几个小保护区的面积之和等于一个大保护区时,小保护区拥有的物种可能较多;而对于扩散、迁移和定殖能力很弱的物种,大保护区拥有的物种可能较多(Virolainen *et al.*, 1998; Cagnolo *et al.*, 2006; 高增祥等, 2007)。调查发现,在特定的相同累加面积下,乔木、灌木和总物种数都是组合岛最高,小岛组合次之,大岛组合最少,说明在建立相同面积的保护区时,并不是大保护区最好,也不是几个小保护区最好,而是大、中、小型保护区组合在一起最好。

组合岛中的大中岛为那些需要大面积连续生境、扩散能力差的物种提供了保护地,如苦楮种子为重力散布,水对苦楮种子散布几乎是不可逾越的障碍(张欣等, 2007); 小岛虽然易受到环境变化、偶然干扰、隔离和种内竞争等多因素的影响(Botsaris, 1996; Losos, 1996; Lomolino, 2000),但可以为扩散、迁移和定殖能力强的物种提供保护地,如马尾松拓殖能力很强,能在干旱瘠薄、土壤肥力较低的生境中扩散并占据优势(徐高福等, 2005)。此外,组合岛中多个小型岛屿,就有多种生境,可以保护不同的微环境和那些只需要较小面积就能生存的植物(Baz & Garcia-Boyer, 1996; Virolainen *et al.*, 1998),如黄山木兰、大果冬青、溲疏(*Deutzia scabra*)等一些物种在小岛上发现,在大中岛上没有发现,可能是小岛上适合这些植物生长的特殊生境。因此,在调查中,组合岛的物种数最多,而小岛组合的物种数也较高。

选择不同类型的岛屿一起保护,综合了各类型岛屿的优点,可以比较好地保护生物多样性。因此在千岛湖地区对物种进行保护时,要对大岛、中岛和小岛同时进行保护,避免只对大岛进行保护,同时应考虑岛屿之间的距离,以使小岛成为大岛与大岛、或大岛与陆地之间的踏脚石(Stepstone)。

3.3 关于外来物种的问题

景观破碎化容易造成繁殖能力强、适应干扰的外来种快速占据破碎化生境中的空地并迅速繁衍;同时一些抗干扰能力弱的本地物种因不能适应变化了的生境而逐渐退化(覃凤飞等, 2003)。由于所研

究的岛屿上草本很少,本研究只对乔木和灌木进行了调查,把调查的植物物种与中国外来入侵种名录进行核对(李振宇和解焱, 2002),发现没有外来入侵物种。

参考文献

- Baguette MG, Mennechez G, Petit S, Schtickzelle N (2003) Effect of habitat fragmentation on dispersal in the butterfly *Proclissiana eunomia*. *Comptes rendus Biologies*, **326**, 200–209.
- Baz A, Garcia-Boyer A (1996) The SLOSS dilemma: a butterfly case study. *Biodiversity and Conservation*, **5**, 493–502.
- Botsaris I (1996) *The Biogeography of Terrestrial Molluscs on the Islands and Islets of Saronikos Gulf*. PhD thesis, University of Athens, Athens.
- Cagnolo L, Cabido M, Valladares G (2006) Plant species richness in the Chaco Serrano Woodland from central Argentina: ecological traits and habitat fragmentation effects. *Biological Conservation*, **132**, 510–519.
- Chen XY (陈小勇) (2000) Effects of habitat fragmentation on genetic structure of plant populations and implications for the biodiversity conservation. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **20**, 884–892. (in Chinese with English abstract)
- Chen SH (陈水华), Wang YJ (王玉军) (2004) Nestedness pattern of insular community assemblages and its applications. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), **23** (3), 81–87. (in Chinese with English abstract)
- Chen XY (陈小勇), Song YC (宋永昌) (2007) Types of damaged ecosystem and the critical factors leading to degradation. *Resources and Environment in the Yangtze Basin* (长江流域资源与环境), **13**, 78–83. (in Chinese with English abstract)
- Ding LZ (丁立仲), Lu JB (卢剑波), Xu GF (徐高福), Wu JG (邬建国) (2004) Effects of ecological protection and development on landscape pattern in the Thousand-Island Lake region, Zhejiang Province. *Biodiversity Science* (生物多样性), **12**, 473–480. (in Chinese with English abstract)
- Gao ZX (高增祥), Chen S (陈尚), Li DM (李典谟), Xu RM (徐汝梅) (2007) Origin and essence of island biogeography and metapopulation theory. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **27**, 304–313. (in Chinese with English abstract)
- Jiang CZ (江昌志) (2004) Nursery technology of *Ormosia henryi*. *Forest Science and Technology* (林业实用技术), **9**, 26. (in Chinese)
- Kahmen S, Poschlod P (2000) Population size, plant performance, and genetic variation in the rare plant *Arnica montana* L. in the Rhon, Germany. *Basic and Applied Ecology*, **1**, 43–51.
- Li J (李静), Ye WH (叶万辉), Ge XJ (葛学军) (2005) The genetic consequences of habitat fragmentation on plant.

- Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni* (中山大学学报自然科学版), **44** (Suppl.), 193–199. (in Chinese with English abstract)
- Li ZY (李振宇), Xie Y (解焱) (2002) *Invasive Alien Species in China* (中国外来入侵种). China Forestry Publishing House, Beijing. (in Chinese)
- Lienert J (2004) Habitat fragmentation effects on fitness of plant populations—a review. *Journal for Nature Conservation*, **12**, 53–72.
- Lomolino MV (2000) Ecology's most general, yet protean pattern: the species–area relationship. *Journal of Biogeography*, **27**, 17–26.
- Losos JB (1996) Ecological and evolutionary determinants of the species–area relation in Caribbean anoline lizards. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, **351**, 847–854.
- McNeill SE, Fairweather PG (1993) Single large or several small marine reserves? An experimental approach with seagrass fauna. *Journal of Biogeography*, **20**, 429–440.
- Qu CM (渠春梅), Han XG (韩兴国), Su B (苏波) (2000) Edge effects in fragmented forests: implications for design and management of natural reserves. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **20**, 160–167. (in Chinese with English abstract)
- Qin FF (覃凤飞), An SQ (安树青), Zhuo YN (卓元午), Xiang HJ (项华均), Zheng JW (郑建伟), Chen XL (陈兴龙) (2003) Effect of landscape fragmentation on plant population. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), **22**, 43–48. (in Chinese with English abstract)
- Terborgh J, Lopez L, Nuñez P, Rao M, Shahabuddin G, Orihuela G, Riveros M, Ascanio R, Adler GH, Lambert TD, Balbas L (2001) Ecological meltdown in predator-free forest fragments. *Science*, **294**, 1923–1926.
- Triantis KA, Vardinoyannis K, Tsolaki EP, Botsaris I, Lika K, Mylonas M (2006) Re-approaching the small island effect. *Journal of Biogeography*, **33**, 914–923.
- Virolainen KM, Suomi T, Suhonen J, Kuitunen M (1998) Conservation of vascular plants in single large and several small mires: species richness, rarity and taxonomic diversity. *Journal of Applied Ecology*, **35**, 700–707.
- Xiong GM (熊高明), Xie ZQ (谢宗强), Lai JS (赖江山), Shen GZ (申国珍), Zhao CM (赵常明) (2007) Vegetation and plant species richness on six pre-islands, the Three Gorges Reservoir. *Biodiversity Science* (生物多样性), **15**, 533–541. (in Chinese with English abstract)
- Xu GF (徐高福) (1999) Elementary report on benefits of forest protection and management during 40 years in Thousand-island Lake regions. *Forest Resources Management* (林业资源管理), **5**, 27–29. (in Chinese)
- Xu GF (徐高福) (2004) Effects of landscape fragmentation on biology diversity in Thousand-island Lake region. *Forest Inventory and Planning* (林业调查规划), **29**, 156–161. (in Chinese)
- Xu GF (徐高福) (2007) Situation and countermeasures on the management of forest ecological environment in Thousand-island Lake. *Protection Forest Science and Technology* (防护林科技), **1**, 53–54, 57. (in Chinese)
- Xu GF (徐高福), Zhang LG (张立功), Yu JL (余觉来), Shao TY (邵德钰) (2005) Forest plant resources in Thousand-island Lake region and its eco-economical effects. *Forest Inventory and Planning* (林业调查规划), **30**(Suppl.), 21–23. (in Chinese)
- Zhang X (张欣), Xu GF (徐高福), Shen DW (沈栋伟), Gu YJ (顾泳洁), Gao H (高辉), Luo XH (罗小华), Chen XY (陈小勇) (2007) Maintenance and natural regeneration of *Castanopsis sclerophylla* populations on islands of Qian-dao Lake region. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **27**, 425–431. (in Chinese with English abstract)

(责任编辑: 谢宗强 责任编辑: 周玉荣)

附录I 岛屿面积与相应乔木物种在岛屿上的分布

Appendix I Island size and tree species distribution in the Thousand Island Lake region

(<http://www.biodiversity-science.net/PCN/qikan/manage/wenzhang/070168.pdf>)

附录II 岛屿面积与相应灌木物种在岛屿上的分布

Appendix II Island size and shrub species distribution in the Thousand Island Lake region

(<http://www.biodiversity-science.net/PCN/qikan/manage/wenzhang/070168.pdf>)