

庐山外来植物物种

万慧霖^{1,2}, 冯宗炜^{1,3,*}, 庞宏东²

(1. 北京林业大学资源与环境学院, 北京 100083; 2. 江西省, 中国科学院庐山植物园, 庐山 332900
3. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

摘要:生物入侵正日益成为普遍关注的生态环境问题。在庐山野外调查的基础上, 再结合庐山植物引种记录资料的分析, 发现庐山引入的 2285 种植物中, 有 1301 种是室外栽培的, 其中有 127 种 82 属 35 科逸为野生, 成为庐山的外来物种。通过对这 127 种外来物种从物种组成、生活型、引入时间和方式、原生地和入侵性进一步分析, 可以看出: 外来物种主要由菊科、玄参科、禾本科、石竹科和苋科组成, 这 5 科含种数占到总种数的 63%; 外来物种绝大多数为草本植物, 含 114 种, 占总种数的 86.76%; 原生地主要来源北美洲、其次是欧洲和亚洲, 大部分是有意引进, 引种目的主要用于观赏, 其次是药用; 在庐山 127 种外来物种中, 有 70 种是列于中国 100 主要外来入侵物种, 可见其入侵性还是很强。

关键词:外来物种; 原生地; 生活型; 生境; 入侵性

文章编号: 1000-0933(2008)01-0103-08 中图分类号: Q14, Q948 文献标识码: A

On the exotic plants in Lushan, Jiangxi Province, China

WAN Hui-Lin^{1,2}, FENG Zong-Wei^{1,3,*}, PANG Hong-Dong²

¹ Beijing Forest University, Academy of Resources and Environment, Beijing 100083, China

² Jiangxi Province, Chinese Academy of Sciences, Lushan Botanical Garden, Lushan 332900, China

³ Research center for Eco-Environmental Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(1): 0103 ~ 0110.

Abstract: Biological invasion is becoming a pervasive eco-environmental problem. Based on the record analysis of the introduced plant species in Lushan and investigated in the field, we found that there were 2285 plants species introduced in Lushan, and 127 exotic plants among the 1301 plant species cultivated in the field. It makes up 8.89% of the cultivated and 5.56% of the introduced species. We analyzed the data on floristic composition, biological attributes, native range, and introduced time of the 127 exotic plants. It has been found that Compositae, Scrophulariaceae, Gramineae, Caryophyllaceae and Amarathaceae were the families with the largest species composition because the species in these 5 families accounted for 86.76% of the total exotic plants. There are 114 herbs, making up 86.76%, among 127 exotic plants, so most of the exotics are herbs. Most of the exotics originated from North American, Europe and Asian and preliminary purpose was for ornament and medicine. About 70 species are listed in the 100 most invasive plant species in China.

Key Words: exotic plant; native range; life-form; habit; invasibility

基金项目:江西省庐山科委资助项目; 北京林业大学研究生院资助项目

收稿日期:2007-06-05; **修订日期:**2007-12-17

作者简介:万慧霖(1965~), 男, 江西都昌人, 博士生, 副研究员, 主要从事保护生物学和植物生态学研究. E-mail: Wanhuilin98@sohu.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: Fengzw@mail. Reees. ac. cn

Foundation item: The project was financially supported by Lushan science and technology committee in Jiangxi Province and academy of Beijing Forest University

Received date:2007-06-05; **Accepted date:**2007-12-17

Biography: WAN Hui-Lin, Ph. D. candidate, Associate professor, mainly engaged in biodiversity conservation and plant ecology. E-mail: Wanhuilin98@sohu.com

生物入侵正日益成为普遍关注的生态环境问题^[1]。广义的外来种(exotic species)指进入一个生态系统的新物种,包括自然入侵、引种及人工培育等途径得到的物种^[2]。在本文中,外来物种是指通过人的活动或别的途径进入并定居庐山,在庐山野外自然条件下能自我更新和繁殖,并已扩散到庐山自然森林生态系统中物种。生物入侵和人类历史的和当前的活动紧密相连^[3],美国 48 个大陆洲所含的外来物种数与欧洲居民在美国的定居进程呈现正相关^[4]。另外,生物入侵还与环境可入侵性紧密相关^[5~8],研究表明岛屿和城市都拥有较高比例的外来物种^[9]。生物入侵不仅对区域生态系统产生影响,导致生物多样性降低^[10~14],同时还可能导致全球物种组成的趋同^[15]。生物入侵还带来了巨大的经济损失^[16],美国每年因外来入侵物种造成的经济损失达 1370 亿美元^[17]。生物入侵已成为关注的焦点。

区域生态系统外来物种组成的调查和编目是认识外来物种入侵的基础,在编目的基础上,从外来物种的组成、生物学和生态学特性、原生地的等方面进一步对外来物种进行全面分析,可以帮助我们认识外来物种的特性与人类活动、区域生态环境的关系。庐山地处中亚热带北缘,是植物南北交汇和迁移的通道。巨大的垂直落差,高度浓缩的山地环境,多种多样的生境为各种植物生存和发展提供了可能。庐山自 1895 年开发起来,人类的活动逐渐加强,在海拔 1000m 以上形成了闻名海内的山城。1934 年中国第一个植物园——庐山植物园的建立,作为物种引种驯化和保育基地,更为外来植物进入庐山提供了可能,使庐山成为我国华东华中外来物种分布重点区的核心,为认识物种入侵与生态环境及其人类活动的关系提供了一个天然的实验平台。调查分析庐山外来物种并对其编目,是认识庐山外来物种的基础,也为进一步研究外来物种并对其加强管理,维护庐山区域生态系统安全提供了一个可以参考的本底资料。

1 研究地概况

庐山位于江西省九江市东南,北临长江,东南濒临鄱阳湖,南北长约 29km,东西宽约 16km,面积约 300km²。位于 115°50'~116°10'E,29°28'~29°45'N。最高峰汉阳峰海拔 1474.8m,相对高差约 1400m,是其周围方圆 60km 范围内最高峰。庐山处于我国东部中亚热带东南季风区,位于海拔 1100m 的牯岭镇,年均温 11.9℃,极端高温 32℃,极端低温 -16.8℃,年平均降水 1918mm,雨日 168d,相对湿度年平均 78% 以上,冬季有短时积雪,常出现雾凇,云雾日 184d,结冰日可达 80d,无霜期仅 135d,年平均日照量 1932.7h,蒸发量 1016.5mm,年平均大风日 163d。山脚年均温度 16.7℃,绝对最高温 41℃,最低温 -7.6℃,年降水量 1300mm,降水日约 130d,雾日 3.5d,结冰日 29d,大风日 35d,无霜期 250d 左右。由于垂直落差大,植被的垂直分布明显,从山脚到山顶依次为常绿阔叶林,常绿落叶阔叶混交林,落叶阔叶林^[18],台湾松林。地带性植被为常绿阔叶林。

庐山土壤的垂直结构类型比较简单,共有 5 个土壤类型:自山麓至山顶,依次分布着红壤和黄壤、山地黄壤、山地黄棕壤、山地棕壤。海拔 400m 以下的广泛分布着纬度地带性的红壤和黄壤;海拔 400~900(800)m,气候湿润暖热,发育着一种具有明显富铝化特征的山地黄壤;海拔 800~1200m,气候温暖湿润,发育着具有山地黄壤性质,又具有山地棕壤特征的山地黄棕壤;海拔 1200m 以上的地区,分布着山地棕壤;山顶部分地区形成山地草甸土;局部洼地,排水不良,形成山地沼泽土^[19]。

庐山自 1895 年开发以来(图 1),在庐山海拔 1000m 以上,人类活动大量增加,外来物种进入庐山。1934 年庐山植物园创立,开始了大规模植物引种,为外来物种进入庐山开通了绿色通道;1955 年、1970 年北山和南山公路的相继开通,把庐山植被一分为二,使整个庐山森林生态系统彻底破碎化。2006 年环山公路的开发更有可能让庐山成为鄱阳湖平原上的孤岛,阻隔了庐山和周围地区的物种交流。

2 研究方法

2.1 资料收集和分析

本论文用于分析的所有外来物种是在收集和整理《庐山栽培植物手册》、《庐山植物》、《江西森林》和《江西植物志》以及以往发表的关于庐山引种方面的文章而来的。生活型分析采用《中国植被》(1980 年)制定的生活型系统。

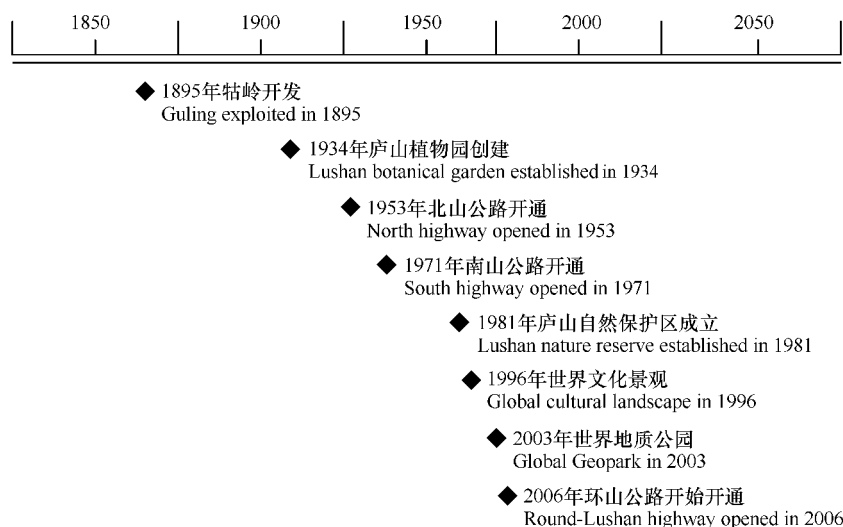


图1 庐山大事记

Fig. 1 Major historical events of Mt. Lushan involving importation or exploration relevant to the introduction of alien plant species

2.2 野外调查

野外调查采用样方法和样线法相结合的方法,调查外来物种在庐山的分布范围、物种丰富度、入侵强度。

3 结果与分析

3.1 物种引入史

庐山外来物种的累积和人类的生活、生产、科研活动密切相关^[20],外来物种在庐山的累积经过3个明显的时间段,第一阶段是1895~1934年,伴随庐山牯岭的开发,庐山居民的增多,外来物种也随着增加,其中有观赏植物,也有作为优良树种引入的如日本扁柏(*Chamaecyparis obtusa*) (1919)、日本冷杉(*Abies firma*) (1928)。第二个阶段是1934~1949年,庐山植物园的创立初期,基于物种引种驯化和物种保存等科学研究活动,大量的物种被引入到庐山。第三个阶段在1950年以后,国民经济全面恢复,生产和科研活动又得以发展,植物引种进入一个持续稳定的增长阶段。

3.2 物种引入与物种入侵

庐山自1895年开发以来,据不完全统计,共引入物种约2285种,隶属于169科851属,其中蕨类植物19科28属40种,种子植物150科823属2245种。相当于引入了整个一个庐山植物区系的物种数(图2)。在引入的物种中有124科、521属、1301种是在野外栽种的,分别占总引入物种数科的78.11%,属的65.33%和种的62.49%。经过多年的野外调查,发现在野外栽培的引入物种中约有35科、82属、127种逸为野生(表1),已逃脱了人的控制变成庐山外来物种,它们在野外能实现自我更新,并且正在向庐山自然森林生态系统扩散,但它们大多数在干扰比较强烈的生境出现,如停车场、路边、旅游景点开阔区。

表1 物种概况

Table 1 General information about introduced species in Mt. Lushan

项目 Item	引种总数 No. of introduced	野外栽培总数 No. of cultured in the field	外来总数 No. of the exotic	外来的占野外栽培的比例 The ratio of the exotic to the cultured in field (%)	外来的占引种的比例 The ratio of the exotic to the introduced (%)
科 Family	169	132	35	26.52	20.71
属 Genera	851	556	82	14.75	9.64
种 Species	2285	1428	127	8.89	5.56

根据记录,在被引入英国的维管植物中,至少约有20%已经成功定居和广泛扩散,这其中又有25%的植物已经产生危害^[22],和英国的记录相比,庐山外来物种在引入物种的比例还是比较低,不到引入物种总数的

6%,也不到野外栽培的9%。

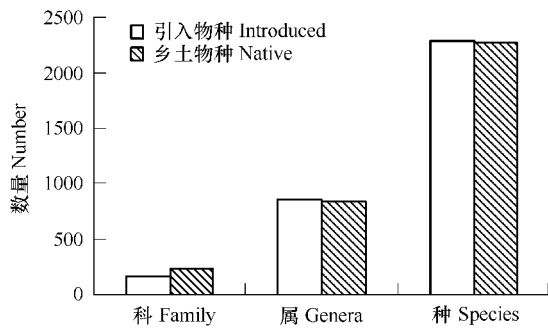


图2 庐山引入物种数和乡土物种数的比较

Fig. 2 Comparison of No. of species between native and introduced

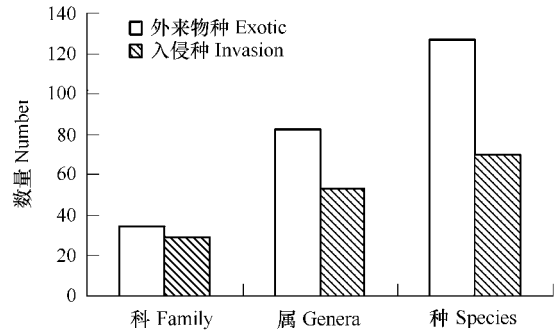


图3 外来物种数和入侵物种数比较

Fig. 3 Comparison between the alien species and the invasions in Mt. Lush

3.3 外来物种组成分析

在庐山外来物种中,含种数排在前10位的科分别是菊科(种数47种,占入侵种比例37.01%(以下同))、玄参科(11种,8.66%)、禾本科(9种,7.09%)、石竹科(8种,6.30%)、苋科(5种,3.94%)、柏科(4种,3.15%)、十字花科(3种,2.36%)、大戟科(3种,2.36%)、柳叶菜科(3种,2.36%)和蝶形花科(3种,2.36%),这前10科所含物种数占外来物种总数75.59%(见表2)。在前10科中,除柏科是裸子植物外,其它9科都是比较进化的科,反映了比较进化的科更能适应环境的变化,由此可以说植物区系组成是大自然环境选优过程的结果。只是到了近代,人类由于生产力的发展,才大量参与了自然界选优过程,并加速或减慢其进程。排在前10位的属分别是金鸡菊属(8种,6.30%)、向日葵属(6种,4.72%)、一枝黄花属(6种,4.72%)、苋属(4种,3.15%)、扁柏属(4种,3.15%)、紫菀属(3种,2.36%)、金光菊属(3种,2.36%)、毛地黄属(3种,2.36%)、婆婆纳属(3种,2.36%)和决明属(2种,1.57%),它们共含种数占外来种数的33.07%。

表2 含种数在前10位的科属
Table 2 Families and genera included the exotic species in the top ten order

科名 Family	种数 No. of Species	百分比(%) Percent	属数 No. of genera	百分比(%) Percent	属名 Genera	种数 No. of species	百分比(%) Percent
菊科 Compositae	47	37.01	22	26.83	金鸡菊属 Coreopsis	8	6.30
玄参科 Scrophulariaceae	11	8.66	5	6.10	向日葵属 Helianthus	6	4.72
禾本科 Gramineae	9	7.09	8	9.76	一枝黄花属 Solidago	6	4.72
石竹科 Caryophyllaceae	8	6.30	7	8.54	苋属 Amaranthus	4	3.15
苋科 Amaranthaceae	5	3.94	2	2.44	扁柏属 Chamaecyparis	4	3.15
柏科 Cupressaceae	4	3.15	1	1.22	紫菀属 Aster	3	2.36
十字花科 Cruciferae	3	2.36	3	3.66	金光菊属 Rudbeckia	3	2.36
大戟科 Euphorbiaceae	3	2.36	2	2.44	毛地黄属 Digitalis	3	2.36
柳叶菜科 Onagraceae	3	2.36	2	2.44	婆婆纳属 Veronica	3	2.36
蝶形花科 Papilionaceae	3	2.36	2	2.44	决明属 Cassia	2	1.57
合计 Sum	96	75.59	54	65.85	合计 Sum	42	33.07

表 3 外来物种生活型

Table 3 The life-form of exotic species in Mt. Lusha

生活型 Life-form	物种数 No. of species	百分比(%) Percent	生活型 Life-form	物种数 No. of species	百分比(%) Percent
乔木 Tree	8	6.30	常绿乔木 Evergreen tree	7	5.51
			落叶乔木 Deciduous tree	1	0.79
灌木 Shrub	4	3.15	落叶灌木 Deciduous shrub	2	1.57
			常绿灌木 Evergreen shrub	2	1.57
藤本 Liana	1	0.79	落叶木质藤本植物 Deciduous woody liana	1	0.79
草本 Herb	114	89.76	1 年生草本植物 Annual herb	38	29.92
			多年生草本植物 Perennial herb	76	59.84
合计 Total	127	100	合计(Total)	127	100

3.4 外来物种生活型分析

从外来物种生活型分析可以看到(表3),在庐山分布的外来物种中,草本植物物种数高达114种,占外来物种总数89.76%,其中多年生草本76种,占外来物种总数的59.84%,1年生草本38种,占外来物种总数的29.92%。草本植物是适应年温差较大的气候而兴起的,反映了草本植物对环境的适应性和较强的入侵性。

3.5 外来物种引入时间、引种原生地的分析

从表4中可以看出,依照外来物种的数量,各洲的排列顺序是:北美洲(55种,43.31%),欧洲(23种,18.11%),亚洲(19种,14.96%)、热带非洲(7种,5.51%)、热带美洲(4种,3.15%)、大洋洲(3种,2.36%)和南美洲(3种,2.26%)。在外来物种中,来自北美洲的物种最多,由于北美洲和亚洲同处于北半球,而且纬度相近,所以如果没有太平洋的天然隔离,两洲之间物种的自然扩散和迁移,应该是正常的。在更新世冰期以后,随着气温的回升,就出现过亚洲物种通过白令海峡的陆桥,向美洲大量迁移和扩散的现象。其它各洲在庐山的入侵物种虽然没有北美洲的多,但也有分布,反映庐山生境的多样性。庐山最高峰海拔高达1474.8m,在低海拔区是亚热带气候,在海拔1200m以上则属于温带气候,海拔垂直梯度气温的变化为各种植物营造了适应的环境,也为外来物种提供了理想的场地,所以热带和温带的外来物种成分都有,虽然热带成分没有温带成分多,主要是庐山处于中亚热带北缘的原因。其次,在物种引入时,也考虑到物种的生存适应,特别是在科研活动中,物种引入时都是采用生境相似原理,这等于在物种引种时就进行了物种的筛选。现代人通过物种引种和旅游把各洲物种引到庐山来,物种迁移搭了便车,人类也刚好起着各洲之间“陆桥”的作用。

从庐山外来物种引入时间来看,跟人类的科研、生产和生活等各种活动密切相关,对庐山来说,科研活动起着更重要的作用。通常情况下,物种引入和物种入侵之间有一个时间滞后期,虽然各个具体物种有所不同。遗憾的是,由于未对外来物种进行监测,缺少外来物种的入侵时间资料,所以对各个外来物种入侵的时滞难能有深入的了解。

3.6 外来物种引入的目的分析

外来物种的引入和人类的活动息息相关(表5),有人将外来物种称之为搭便车者。如果把作为自然中的一员,那么人和动物在传播种子,帮助物种迁移和扩散的作用没有什么两样,只不过在现代人的作用影响比动物大得多而已。引入到庐山的外来物种按人类的需要划分:观赏植物最多(种数64种,占外来物种的比例50.39%,(以不同))、其次是药用植物(13种,10.24%)、其它依次是牧草(7种,5.51%)、材用(3种,2.36%)、食用(2种,1.57%)和物种保存(2种,1.57%)。看来观赏植物由于人类的偏爱,它们在花、果、叶和形等方面基因表现型的选择为它们的生存空间产生了许多有利影响,因为它们的美丽,不仅吸引了它们的目的传播者为它们传播种子和花粉,也吸引了人类的加入。在这些外来物种中,有意引进的(55种,43.41%),无意引进的(14种,11.02%),还有(56种,44.09%)的物种由于原始记录不全。不管是有意还是无意被引入到庐山,它们现在都在和庐山乡土物种展开生存竞争,重新构建庐山植物区系。

表 4 外来物种引入时间和原产地

Table 4 Introduced time and origin place of the exotic species in Mt. Lushan

引入时间 Introduced time	物种数量 No. of species	百分比(%) Percent	原产地 Native range	物种数量 No. of species	百分比(%) Percent
1919	1	0.79	北美洲 North America	55	43.31
1928	1	0.79	大洋洲 Pacific	3	2.36
1935	2	1.57	非洲 Africa	2	1.57
1936	37	29.13	美洲热带 Tropical America	4	3.15
1947	1	0.79	南美洲 South America	3	2.36
1948	3	2.36	欧亚 Eurasia	4	3.15
1951	4	3.15	欧洲 Europe	23	18.11
1952	1	0.79	热带非洲 Tropical Africa	7	5.51
1955	1	0.79	亚洲 Asia	19	14.96
未知 Unclear	76	59.84	未知 unclear	7	5.51
合计 Total	127		合计 Total	127	

表 5 外来物种引入方式和目的

Table 5 Ways and aims of the exotic introduction in Lushan

引入目的 Aim of introduced	物种数 No. of species	百分比(%) Percent	引入方式 Mode of introduced	物种数 No. of species	百分比(%) Percent
食用 Food	2	1.57	有意引进 Intention	55	43.31
材用 Wood	3	2.36	无意引进 No intention	14	11.02
观赏 Ornament	64	50.39	自然扩散 Natural dispersal	2	1.57
物种保存 Species conservation	2	1.57	不详 Unclear	56	44.09
药用 medicine	13	10.24			
牧草 Forage	7	5.51			
未知 Unclear	43	33.86			
合计 Total	127	100	合计 Total	127	100

3.7 庐山外来物种的入侵性

在庐山 127 种外来物种中,有 70 种是列于中国 100 主要外来入侵物种(图 3),70 种入侵物种隶属于 29 科 53 属,分别占到外来物种科数的 82.86% 属数的 64.63% 和种数的 55.12%。在庐山的外来物种中,入侵物种还是占有很大比例,其入侵性是很强的。加强外来物种,特别是入侵物种的监测,有利于维护庐山自然生态系统安全,防止入侵物种的大规模爆发。

4 结论与讨论

(1) 外来物种改变了庐山森林景观,在庐山海拔 1000m 以上,地带性植被为落叶阔叶林。但由于人工栽种了大量常绿针叶树,如日本扁柏、日本柳杉(*Cryptomeria japonica*),日本冷杉,形成了今天庐山山顶大面积的常绿针叶林,让人难以见到庐山真面目。另外引自北美的几种金鸡菊(*Coreopsis* spp.),沿公路两旁、主要旅游路线两侧自然扩散分布,从七月到九月形成庐山遍地黄花的特殊景观。

(2) 外来物种减少了庐山乡土植物多样性,在外来物种入侵地,外来植物往往形成单优群落,导致本土植物难以恢复和生长,如路旁的金鸡菊、撂荒地的小酸模(*Rumex acetosella*);另外人工栽种的日本扁柏、日本柳杉和日本冷杉在庐山自然更新良好,在人工林的林窗内、林缘或附近的地方都可以见到它们大量的幼苗,导致本土物种难以和它们形成竞争,如果不加以控制,在它们适合生长地方,乡土植物有可能被逐渐驱出。

(3) 庐山的外来植物主要是人工有意引进,少数是由附近地区自然扩散而来,如:豚草(*Ambrosia artemisiifolia*)、一年蓬(*Erigeron annuus*)等。庐山的外来物种主要是草本植物组成,其入侵性也很强,所以在进行植物引种时,一定要在引种前进行物种生态安全评估,在引种后建立起引种植物数据库,并定期进行物种

监测和管理。

(4) 庐山外来植物分布区除人工栽培外,主要分布在主要景区、景点、旅游路线和撂荒地等人工干扰比较强烈的地区,如小酸模在庐山整个地区都有分布,从野外调查可以发现,小酸模在撂荒地往往形成单优群落,严重阻碍当地草本植物的恢复和生长,导致入侵地草本植物多样性减少。建议在开发新的景区时,在尽量减少当地植被破坏的同时,尽快恢复乡土植被,让外来物种无可乘之机。

(5) 目前,由于缺少对庐山外来物种的生态安全的评估,和相应的经济损失的估算,外来物种对庐山森林生态系统造成的影响和损失难于估算。所以外来物种对庐山的森林生态系统影响的研究还有待加强。但可以看出庐山外来物种对庐山森林生态系统的影响是潜在的、深远的。要恢复庐山自然森林生态系统将是一个长远的、艰巨的而又细致的工作,有待科研工作从生态系统各个方面提供理论支撑。考虑到庐山外来物种的现状,对外来物种的监测和管理刻不容缓。

(6) 庐山处于鄱阳湖平原,形成了岛屿效应,又由于庐山拥有中国第一个植物园,庐山植物园的植物引种驯化和保育为大量的外来物种进入庐山提供了可能,形成了庐山现在乡土物种和外来物种共存和竞争的格局,这也为研究外来物种入侵规律和区域植物区系演化提供了一个天然实验平台。建议依托庐山植物园建立外来物种监测站。

References:

- [1] Xu K Y, Ye W H, Cao H L, *et al.* An experimental study on the relationship between biodiversity and invisibility of plant communities. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(3):385—391.
- [2] Wu T, Li J X, Wai J, *et al.* Floristic characteristics and spatial distribution patterns of alien plants in Shandong Province. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(4):489—494.
- [3] Katharina D S. Alien species reflecting history:medieval castles in Germany. *Diversity and Distribution*,2004,10:147—151.
- [4] McKinney M L. Effects of human population, area, and time on non-native plant and fish diversity in the United states. *Biological Conservation*, 2001,100,243—252.
- [5] Huang J H, Han X G, Yang Q E, *et al.* Fundamentals of invasive species biology and ecology. *Biodiversity Science*, 2003,11(3):240—247.
- [6] Huang H J, Ye W H. Exotic invasion and species diversity. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(2):121—126.
- [7] Zhang L Y, Ye W H. Community invisibility and influencing factors. *Acta Phytocologica Sinica*,2002,26(1):109—114.
- [8] Fan J H,Jiang L,Cheng G W. Alien species invasion in southern China and its countmeasures. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(3):568—572.
- [9] Elton C. *The Ecology of Invasion by plant and animal*. London:Methuen, 1958.
- [10] Peng S L, Xiang Y C. The invasion of exotic plants and effects of ecosystems. *Acta Ecologica Sinica*,1999,19(4):560—568.
- [11] Xie Z Q, Chen Z G, Fan D X, *et al.* Global consequences and control strategies of biological invasion. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(10):1795—1798.
- [12] Chen H L, Li Y J, Li B, *et al.* Impacts of exotic plant invasions on soil biodiversity and ecosystem processes. *Biodiversity Science*, 2005, 13(6):555—565.
- [13] Wang P, Liang W J, Kong C H, *et al.* Chemical mechanism of exotic weed invasion. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004,15(4):707—711.
- [14] Wu J R, Peng S L. Allelopathy: “Novel Weapons” of invasive plants. *Acta Ecology Sinica*, 2005,25(11):3093—3097.
- [15] Lövel G L. Global change through invasion. *Nature*,388:627—628.
- [16] Xiang Y C,Peng S L, ZHOU H C, *et al.* Biological Invasion and It's Impacts. *Ecologica Science*, 2001,20(4):68—72.
- [17] Printel D, Lach L, Zuniga R, *et al.* Environmental and economic costs of nonindigenous species in the United States. *Bioscience*, 2000, 50:53—65.
- [18] Zhou Z D, Zhang H J, Xu S J. Study on the vertical zone of vegetation in the Lushan mountain. In *The geographical society of China, Speciality of Physical geography, Utilization and protection of the biological and soil resources*. Beijing:Science Press, 1993. 6—11.
- [19] Hwang S T, Tai C H, Chen P P, *et al.* Characteristics of the soils of the Lushan area, central China. *Acta Pedologica Sinica*, 1957,5(2):117—135
- [20] Katharina D S. Alien species reflecting history:medieval castles in Germany. *Diversity and Distribution*, 2004,10:147—151.
- [21] Wu S H, Hsieh C F, Chaw S M, *et al.* Plant invasions in Taiwan:Insights from the Flora of casual and naturalized alien species. *Diversity and*

Distribution, 2004, 10: 349—362

[22] Williamson M. Biological invasions. Chapman and Hall, London, 1996.

参考文献:

- [1] 许凯扬, 叶万辉, 曹洪麟, 等. 植物群落的生物多样性及其可入侵性关系的实验研究. 植物生态学报, 2004, 28(3): 385 ~ 391.
- [2] 吴彤, 李俊祥, 戴洁, 等. 山东省外来植物的区系特征及空间分布. 生态学杂志, 2007, 26(4): 489 ~ 494.
- [5] 黄建辉, 韩兴国, 杨亲二, 等. 外来物种入侵的生物学与生态学基础的若干问题. 生物多样性, 2003, 11(3): 240 ~ 247.
- [6] 黄红娟, 叶万辉. 外来种入侵与物种多样性. 生态学杂志, 2004, 23(2): 121 ~ 126.
- [7] 张林艳, 叶万辉. 群落可入侵性及其影响因素. 植物生态学报, 2002, 26(1): 109 ~ 114.
- [8] 范继辉, 蒋莉, 程根伟. 我国南方生物入侵的问题与对策. 应用生态学报, 2005, 16(3): 568 ~ 572.
- [10] 彭少麟, 向言词. 植物外来种入侵及其对生态系统的影响. 生态学报, 1999, 19(4): 560 ~ 568.
- [11] 谢宗强, 陈志刚, 樊大勇, 等. 生物入侵的危害与防治对策. 应用生态学报, 2003, 14(10): 1795 ~ 1798.
- [12] 陈慧丽, 李玉娟, 李博, 等. 外来植物入侵对土壤生物多样性和生态系统过程的影响. 生物多样性, 2005, 13(6): 555 ~ 565.
- [13] 王朋, 梁文举, 孔垂华, 等. 外来杂草入侵的化学机制. 应用生态学报, 2004, 15(4): 707 ~ 711.
- [14] 吴锦容, 彭少麟. 化感——外来入侵植物的“Novel Weapons”. 生态学报, 2005, 25(11): 3093 ~ 3097.
- [16] 向言词, 彭少麟, 周厚诚, 等. 生物入侵及其影响. 生态科学, 2001, 20(4): 68 ~ 72.
- [18] 卓正大, 张宏建, 徐颂军. 庐山植被垂直带的研究. 见: 中国地理学会自然地理专业委员会. 生物与土壤资源利用和保护. 北京: 科学出版社, 1993. 6 ~ 10.
- [19] 黄瑞采, 戴朱恒, 陈邦杰, 等. 庐山区土壤的特征. 土壤学报, 1957, 5(2): 117 ~ 135.