

黑龙江五大连池的生态价值分析

周志强¹ 徐丽娇¹ 张玉红¹ 夏春梅² 李洪光³ 刘彤^{2*} 马克平⁴

1 (东北林业大学森林植物生态学教育部重点实验室, 哈尔滨 150040)

2 (东北林业大学林学院, 哈尔滨 150040)

3 (五大连池风景区管委会, 黑龙江五大连池 164155)

4 (中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093)

摘要: 黑龙江五大连池处于大小兴安岭和松嫩平原的交错地带, 在过去210万年间经历了7次大规模的火山喷发, 是中国保存最为完好的内陆火山遗迹, 2010年被我国政府遴选为世界自然遗产提名地。为了科学、准确地阐述五大连池生态方面的突出普遍价值, 本文在《实施世界遗产公约操作指南》的框架下, 整合野外调查数据和文献资料, 在与其他相关世界遗产地充分比较的基础上, 较为全面地分析了五大连池的生态价值。五大连池植物地理特征交错, 区系来源广泛; 物种组成相对丰富; 发育在熔岩台地上的矮曲林反映了植物的特殊适应过程; 特有成因形成了陆生和水生两个完整的植被演替序列; 陆生植被演替同时存在普通演替和斑块动态演替两种模式, 在熔岩地貌上斑块动态演替模式更为随机而高效。上述生态特征充分展示了五大连池正在进行的生物生态过程, 体现了五大连池独特的生态价值, 为后续有效保护和深入科学研究提供了支撑。

关键词: 五大连池, 生态价值, 植被演替, 生态交错区, 适应

An analysis of the ecological value of Wudalianchi, Heilongjiang Province, China

Zhiqiang Zhou¹, Lijiao Xu¹, Yuhong Zhang¹, Chunmei Xia², Hongguang Li³, Tong Liu^{2*}, Keping Ma⁴

1 *The Key Laboratory of Forest Plant Ecology, Ministry of Education, Northeast Forestry University, Harbin 150040*

2 *The School of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040*

3 *Wudalianchi Scenic Area and Nature Reserve Management Committee, Wudalianchi, Heilongjiang 164155*

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

Abstract: Wudalianchi is located within the ecotone between the Great Hinggan Mountains, the Less Hinggan Mountains and the forest steppes of the Songnen Plain. As a result of seven volcanic eruptions in the past 2.1 million years, Wudalianchi contains the most well-preserved intra-continental volcanic remains in China, and was nominated in 2010 as a World Heritage Property. In order to state “the outstanding universal values” of the nominated property in terms of biodiversity and ecological processes, we analyzed data from field investigations and scientific literature under the lens of the Operational Guidelines provided by the World Heritage Committee, compared this data with data from other related World Heritage Properties in order to analyze the ecological value of the site. We found the following: the property exhibits intersecting geographic characters of vegetation and extensive floral components; high relative species richness; special adaptations shown by dwarf poplar forests that developed under harsh climatic conditions and poor substrate; two distinct sequences of terrestrial and aquatic vegetation succession that has developed in this area, and patch dynamic succession model on block lava and pahoehoe lava was more random and efficient than the normal succession model. All of the above-mentioned characteristics show the on-going biological and ecological process and the outstanding ecological values of the property. We hope that our results will promote further scientific research and protection in this area.

Key words: Wudalianchi, ecological value, vegetation succession, ecotone, adaptation

自然遗产是大自然创造的瑰宝,是留给人类的宝贵财富。1972年,联合国教科文组织通过了《保护世界文化和自然遗产公约》,规定了各类世界遗产类型的基本定义。2002和2005年,世界遗产委员会两次在申报操作指南中,对世界遗产的标准进行了全面阐述。我国自1985年加入《保护世界文化和自然遗产公约》以来,已有12处自然景观被列入《世界遗产名录》(冷志明和麻先俊,2009; World Heritage Convention, <http://whc.unesco.org/>)。

五大连池地处黑龙江省黑河市,是联合国教科文组织批准的“人与生物圈”自然保护区(2003年)和“世界地质公园”(2004年),是我国政府2010年遴选的世界自然遗产提名地,依据《实施世界遗产公约操作指南》,该提名地同时符合“具有突出的自然美”(标准vii)、“地球历史、地质地貌特征和作用的杰出范例”(标准viii)和“是反映陆地生态系统和动植物群落进化和发展进程中正在进行的生态和生物演化过程的杰出范例”(标准ix)。

五大连池位于大陆中部,远离板块边缘,气候条件相对恶劣,地质地貌变化丰富,地处植被交错区。五大连池特殊的地理位置和成因,形成了独特的生态特征。火山喷发造成已有植被连续毁灭和重生的历史漫长,对生物和生态过程产生了极大影响。因此,该地以不同植物区系的混合、植被演替过程和物种对这种恶劣环境的适应而受到特别关注,是研究火山干扰和植被演替与生物多样性系统发育等诸多科学问题难得的理想场所。

近年来,我国在世界自然遗产申报和保护管理中取得了重要进展,积累了一定的经验。但对世界自然遗产申报中“突出普遍价值”的鉴定与评估缺乏科学规范。本文在《实施世界遗产公约操作指南》的框架下,依据现有的研究资料和野外调查数据,在与其他相关的世界自然遗产地深入比较的基础上,比较全面地分析、阐述了五大连池作为世界遗产提名地的生态价值,为五大连池后续的有效保护与深入科学研究提供理论支撑。

1 五大连池概况

五大连池地质公园位于126°00′–126°26′ E, 48°34′–48°43′ N(孙文昌,1980),处于黑龙江省哈尔滨以北385 km、黑河市以南251 km、松嫩平原的丘陵地区。因1722–1723年最新期的两座火山——老

黑山和火烧山爆发,巨量熔岩阻断了白河谷河道,形成了5个溪水相连的串状湖泊而得名,是我国第二大火山堰塞湖。该地属寒温带大陆性季风气候,冬季严寒漫长,夏季凉爽短促。年平均气温-0.5℃,无霜期为121 d。年平均降雨量为476.3 mm,多集中在6–8月。

五大连池核心区面积517.59 km²,缓冲区471.07 km²,总面积达到988.66 km²。最高海拔为602 m,最低海拔为248 m。其地貌以火山碎屑沉积物和熔岩为主,也有一些地方因未被火山沉积物覆盖,保留了白垩纪和第三纪的沉积岩和花岗岩。五大连池火山群突出展现了大陆内单成因火山的特征,在空间上的分布严格受断裂控制,现在所见14座主火山多是排列在北东向断裂上,形成4条北东向火山链。其地带性植被为温带针阔混交林,同时,受大兴安岭寒温带湿润气候和松嫩平原温带半湿润、半干燥气候的综合影响,植物区系中混有寒温带针叶林和温带森林草原成分。

2 研究方法

2010年5–9月,对五大连池开展了植被野外调查。样地的设置采用典型取样法,共设置147块样地。其中,不同演替阶段的典型群落共设置20 m×10 m样地38块;植被斑块演替的样地依据不同斑块类型(苔藓地衣斑块、草本斑块、灌木斑块和乔木斑块)设置,样地大小为斑块实际面积,共设样地109块,包括块状熔岩上的斑块样地64块,结壳熔岩上45块。植被样地的调查内容包括不同群落层片的植物种类、盖度、多度、高度及生境因子(如位置、海拔、土壤基质类型等)的相关指标。此外,还对60株矮化香杨(*Populus koreana*)测定树高和基径,并取树芯测定矮化香杨年龄。动物种类的统计主要依据五大连池自然保护区管理局[®]的相关数据记载。

3 五大连池的生态价值

3.1 植物地理特征的交错性

按照世界自然遗产通常采用的生物地理区划原则(Udvardy, 1975),五大连池北接大兴安岭,南连小兴安岭,西邻松嫩平原最东端,属于古北界满洲—日本生物地理省温带阔叶混交林生物群落区(图1)。

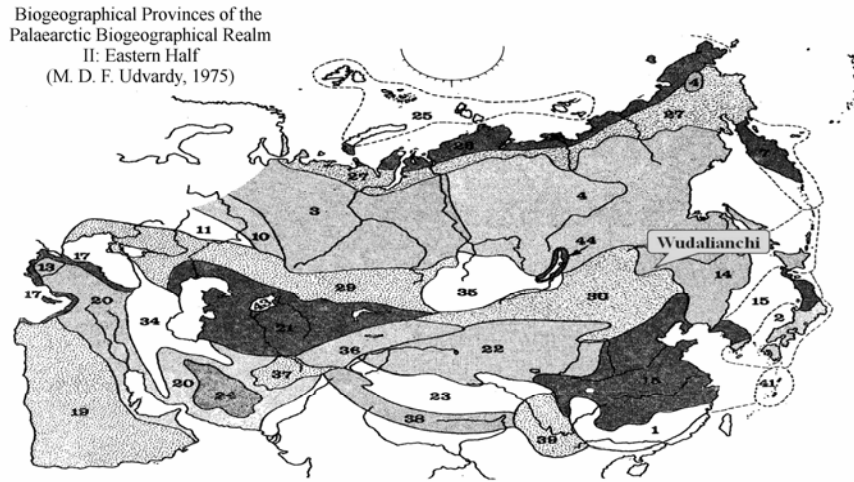


图1 东古北界生物地理区划及五大连池位置(Udvardy, 1975)。图中数字表示不同生物地理省。
 Fig. 1 Biogeographical provinces of the Eastern Half of the Palearctic Biogeographical Realm (Udvardy, 1975). The numbers in the figure mean different biogeographical provinces.

如按世界自然基金会(WWF)陆地生态区的划分(Olson *et al.*, 2000), 属于温带阔叶混交林, 但也同时受到欧洲—西伯利亚针叶林区 and 欧亚草原区的影响。而根据《中国植被》(吴征镒, 1983)、《中国东北植被地理》(周以良, 1997)、《中国大兴安岭植被》(周以良, 1991)和《中国小兴安岭植被》(周以良, 1994)的植被区划原则, 五大连池虽在植被区划上属温带针阔混交林区域, 但兼有寒温带针叶林区域和温带森林草原区域植被的部分属性, 其森林植被除了以红松(*Pinus koraiensis*)、紫椴(*Tilia amurensis*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)、红皮云杉(*Picea koraiensis*)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)、黄檗(*Phellodendron amurense*)、山槐(*Maackia amurensis*)、花楸(*Sorbus pohuashanensis*)等典型温带针阔混交林树种为优势种外, 还常见寒温带明亮针叶林的主要种类, 如兴安落叶松(*Larix gmelinii*)和兴安圆柏(*Sabina davurica*)等, 以及典型的森林草原区系成分, 如兴安百里香(*Thymus dahuricus*)、直立黄芪(*Astragalus adsurgens*)、贝加尔针茅(*Stipa baicalensis*)。充分体现了植物地理特征的交错性。

3.2 植物适应的特殊性

210万年间多达7次的火山喷发, 形成了面积巨大、缺少土壤基质的玄武岩熔岩台地。这种熔岩台地上缺少植物生长所需的养分与水分, 植物必须改变自身形态才能在这种临界地貌生境中生存, 矮曲林是该区域植物表型变化以适应特殊生境, 进而表

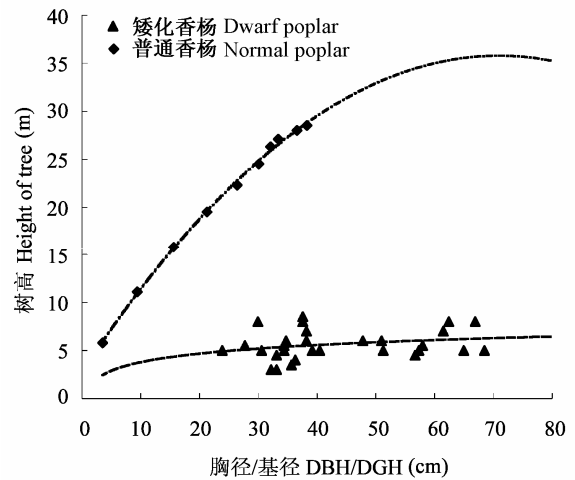


图2 矮化香杨与普通香杨胸径(基径)与树高的关系。矮化香杨数据来自作者实测, 普通香杨数据来自吉林林科所(1976)。
 Fig. 2 Comparison of the relationship between DBH or DGH and height of dwarf poplar and normal poplar. The data of dwarf poplar come from field investigation; the data of normal poplar come from Forestry Institute of Jilin (1976).

型变化的突出范例。香杨、山杨(*P. davidiana*)和白桦(*Betula platyphylla*)这些树种在温带针阔混交林和寒温带针叶林中, 通常发育成十几米至几十米高的高大乔木(吉林林科所, 1976; 李步杭, 2010), 但生长在火山熔岩生境却高度矮化, 形成2-5 m高的矮曲林, 其中以香杨矮化特征最为明显。我们根据香杨的实测数据和文献资料(吉林林科所, 1976; 李步杭, 2010)对比了普通香杨和矮化香杨的胸径(基径)和树高的关系(图2)。从图2中我们可以看出, 普

通香杨树高随胸径增加而逐步增高，而五大连池的矮化香杨，不论基径如何变化，树高均在5 m以下。这是植物长期适应贫瘠的特殊生境的结果，反映了五大连池植物适应过程的特殊性。

3.3 植被演替的原生性与完整性

在火山喷发旋回中，熔岩波及的生态系统都会被摧毁，使植被演替周而复始地进行。五大连池最近的两次火山喷发(16万年前和290年前)形成块状熔岩、壳状熔岩、翻花熔岩和火山屑等4种典型火山熔岩生境，与前5次火山喷发熔岩风化形成的暗棕壤生境一同构成该地陆地生态系统的生境主体，

而最后一次火山喷发形成相连的5个堰塞湖是该地的主要淡水生境。

在陆生和水生生境中，发育着不同演替序列、不同演替阶段的各类植物群落，由于水生演替和陆生演替(图3, 4)均始于火山喷发后的原生裸地和水体，不同基质、不同阶段、不同类型的植物群落组成了植被演替的完整序列，体现了五大连池植被演替的原生性与完整性，展示了火山喷发后陆生和水生植被演替发育的整个过程，也很好地吻合了世界自然遗产标准ix关于提名地“自然生物、生态过程完整展示”的要求。

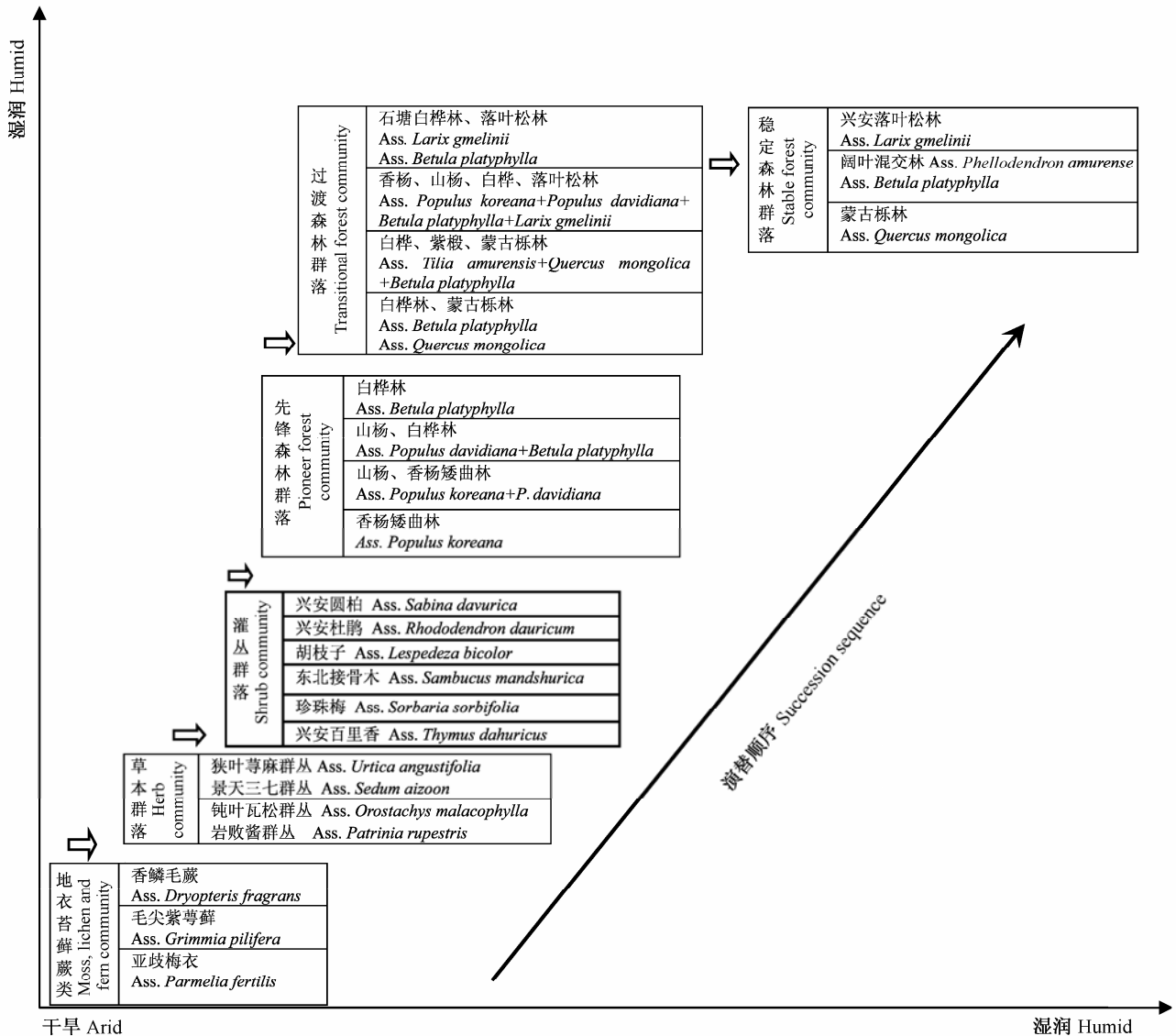


图3 陆生演替序列及其代表性群丛

Fig. 3 The sequence of terrestrial vegetation succession and the representative associations

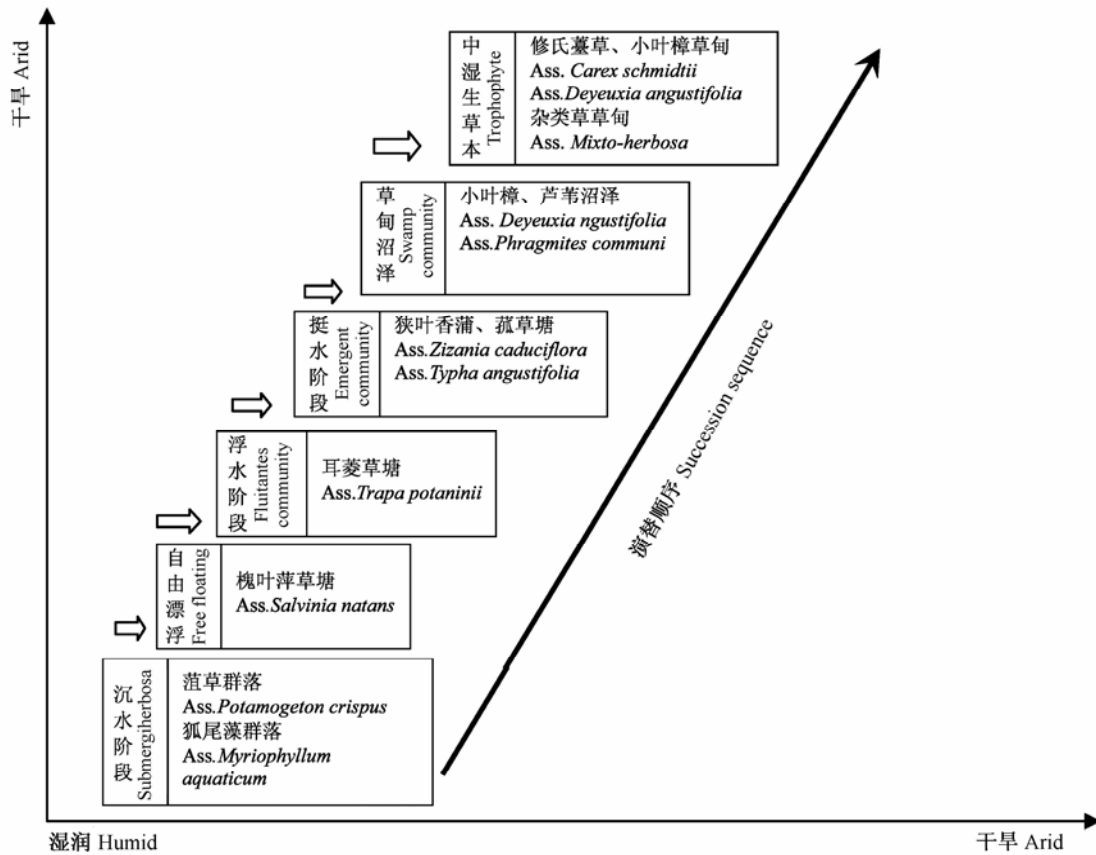


图4 水生演替序列及其代表性群丛
 Fig. 4 Sequence of aquatic vegetation succession and the representative associations

3.4 陆生植被演替模式的特有性

从植被陆生演替来看, 五大连池的植被演替分为两种不同的模式:

(1)普通演替模式。从裸岩上开始发育, 经过地衣苔藓群落、草本群落、灌木群落、先锋森林群落、过渡森林群落, 最终形成了3个与当地气候条件、地质条件、土壤条件相适应的稳定森林群落。即兴安落叶松(*Larix gmelinii*)林、阔叶混交林和蒙古栎(*Quercus mongolica*)林。但是限于火山熔岩地貌贫瘠的土壤和水分条件, 演替进程相当缓慢, 在火山喷发后几百年乃至几万年后, 植被演替仍可能停留在地衣苔藓阶段。

(2)斑块动态演替模式。相对于普通演替模型, 斑块动态演替模型是一种随机、快速、高效的演替方式, 该方式在块状和壳状熔岩台地较为普遍, 其中16-37万年前火山喷发形成的块状熔岩台地上和

290年前火山喷发形成的壳状熔岩台地上最为突出。斑块地貌主要受壳状熔岩的风化、水流切割与搬运、温度变化(昼夜和季节变化)而引起的崩裂等物理切割作用。块状熔岩的间隙有利于水分和土壤的聚积, 当土壤基质积累到一定程度, 风或动物搬运使得植物种子在这些基质上定居, 形成了最初的植被斑块。斑块的形成是随机的, 取决于种子的来源和性质, 可能是草本, 亦或是树木。随着植物的定居, 最初的植被斑块更容易固定和积累(凋落物)土壤基质, 形成更大的斑块, 并成为相邻斑块的种源。由于生境的不断扩大和植物的竞争作用, 植被在斑块上的演替可能是跳跃性的, 而非遵从一般的演替规律。当斑块扩大到一定规模并彼此相连, 就形成了相对稳定的森林生境, 植被开始了相对平稳的森林演替过程, 并最终形成与气候和土壤条件相适应的稳定森林群落(图5)。在290年前火山喷发形



图5 块状熔岩上的植物斑块演替模式

Fig. 5 Vegetation patch dynamic succession model on the site of block lava

成的壳状熔岩地貌上的植被斑块动态演替过程与块状熔岩上的相类似。

根据野外调查的109个熔岩地貌上的植被斑块数据,我们整理了苔藓地衣斑块25块、草本斑块16块、灌木斑块54块和乔木斑块14块等样地的基本信息,可以较为直观地看出不同类型斑块的差异(表1)。

五大连池火山熔岩地貌上的植被斑块动态演替模式与普通植被演替模式的区别在于:这种演替模式仅发育在火山喷发形成的玄武岩熔岩地貌上,而且演替过程呈现明显的随机性、跳跃性和高效性。这种特殊生境下的植被演替模式不仅可以加速原生裸地上的植被演替进程,更体现了五大连池火山地貌生物生态过程在极端环境下的特有性。斑块动态演替规律的深入科学分析我们将另文阐述。

3.5 物种组成的相对丰富性

关于五大连池生物多样性的研究,早在19世纪30年代,俄罗斯学者T. П高尔捷也夫和B. H. 热尔纳科夫就在五大连池采集了大量植物标本,并经日本学者北川政夫鉴定后发表了相关研究结果(高尔捷也夫, 1960)。近年来,相关学者专家对五大连池的生物多样性开展了野外调查,结果显示:该地7个动植物类群种数达1,024种(表2),且孑遗植物较多,如红松、水曲柳、黄檗、胡桃楸、紫椴、五味子等6个种属于第三纪孑遗植物。中国特有植物有刺五加(*Radix acanthopanacis*)和野大豆(*Glycine soja*)2种。列入《国家重点保护野生植物名录》(国家林业局和农业部, 1999)中的有17种植物:其中斑花杓兰(*Cypripedium guttatum*)、大花杓兰(*C. macranthum*)、十字兰(*Habenaria schindleri*)、角盘兰(*Herminium monorchis*)、手掌参(*Gymnadenia conopsea*)、二叶舌唇兰(*Platanthera chlorantha*)、密花舌唇兰(*P. hologlottis*)、蜻蜓兰(*Tulotis fuscescens*)和绶草(*Spiranthes sinensis*)等9种兰科植物属于国家I级重点保护野生植物,红松、水曲柳、黄檗、紫椴、软枣猕猴桃、五味子、刺五加和野大豆等8种植物属于国家II级重点保护野生植物。这17种野生植物中除9种兰科植物和红松、软枣猕猴桃种群数量较少、偶见外,其他的几种植物都较为常见。

4 与相关世界自然遗产地的对比分析

4.1 与根据标准viii和ix入选的世界自然遗产地的比较

目前,《世界自然遗产名录》中有59处属于重要火山地质特征的遗产地,其中有27处与五大连池

表1 不同类型的植被斑块的基本信息

Table 1 Basic information of different vegetation patches

类型 Type	地衣、苔藓斑块 (25块) Patch of lichen and moss (n=25)			草本斑块 (16块) Patch of herb (n=16)			灌丛斑块 (54块) Patch of shrub (n=54)			乔木群落 (14块) Patch of tree (n=14)		
	斑块面积 (m ²) Area	平均高(m) Average height	物种 丰富度 Species richness	斑块面积 (m ²) Area	平均高(m) Average height	物种 丰富度 Species richness	斑块面积 (m ²) Area	平均高(m) Average height	物种 丰富度 Species richness	斑块面 积(m ²) Area	平均高(m) Average height	物种 丰富度 Species richness
结壳熔岩 Pahoehoe lava	7.92	0.02	7	8.02	0.44	12	6.90	1.18	11	16.20	2.35	11
块状熔岩 Block lava	18.65	0.03	10	14.32	0.26	14	19.40	1.71	12	49.9	9.93	16

表2 五大连池生物多样性特征(植物数据来自于作者野外调查, 动物数据来自于五大连池自然保护区管理局^①)

Table 2 Biodiversity characteristic of Wudalianchi (Data of plants come from field investigation and data of animals come from the report "Scientific investigation report of Wudalianchi Nature Reserve")

	地衣 Lichen	苔藓 Moss	维管束植物 Vascular plant	鱼类 Fish	两栖类 Amphibians	鸟类 Bird	脊椎动物 Mammal
科数 No. of family	8	42	103	9	8	40	16
属数 No. of genus	18	85	316	-	-	-	-
种数 No. of species	40	116	560	41	14	207	46

一样有全新世火山。在这27处全新世遗产地中, 14处是根据标准(viii)入选的, 13处是根据标准(ix)入选的。同时根据标准(viii)和标准(ix)入选的全新世火山遗产地有5处, 即澳大利亚的赫德岛和麦克唐纳群岛、厄瓜多尔的桑盖国家公园、厄瓜多尔的加拉帕戈斯群岛、俄罗斯的堪察加火山、美国的黄石国家公园)(World Heritage Convention, <http://whc.unesco.org>)。

澳大利亚的赫德岛和麦克唐纳群岛是亚南极唯一的活火山群岛, 其主要植物群落类型是丛生草甸和沼泽。它展示了正在进行的地貌变化和冰河运动, 该遗产地的突出生态价值在于保留了世界罕见的未受到来自本生态系统外的生物影响, 也没有受到过人类影响的早期岛屿生态系统。厄瓜多尔桑盖国家公园向人们展现了一个从热带雨林延展到冰川完整系列的生态系统, 以及在当地孤立的环境中的特有生物, 如山貘(*Tapirus pinchaque*)和安第斯秃鹫(*Vultur gryphus*)等。厄瓜多尔加拉帕戈斯群岛被称作独一无二的“活的生物进化博物馆和陈列室”, 由于该遗产地处于三大洋流的交汇处, 是海洋生物的“大熔炉”, 持续的地震和火山活动反映了群岛的形成过程。同时, 群岛与世隔绝的地理位置, 促使群岛内进化出许多奇异的动物物种, 例如陆生鬣蜥(*Conolophus subcristatus*)、巨龟(*Aldabrachelys gigantea*)和多种类型的雀类。俄罗斯的堪察加火山是世界上最著名的火山区之一, 它拥有高密度的活火山, 而且类型和特征各不相同。美国黄石国家公园拥有已知地球地热资源种类的一半, 且集中了地球总数三分之二的间歇泉(Stout, 1997)。同时, 其生物多样性闻名于世, 包括灰熊(*Ursus arctos horribilis*)、狼(*Canis lupus*)、野牛和麋鹿(*Elaphurus*

dauricus)等。

五大连池从气候特征、地貌演化地质作用、正在进行的生物生态过程等方面均与上述世界自然遗产地存在显著差异, 其特有且保存完好的内陆单成因火山地貌、原生而完整的植被生态演替过程是上述遗产地所不具备的特征。

4.2 与根据标准ix入选的世界自然遗产地的比较

现有世界自然遗产地中, 依据标准ix入选的大多是全球生物多样性“热点区域”, 主要以展示濒危野生动植物种类、特有动植物栖息地等为主, 很少有展示正在进行的生物和生态过程的范例(张丽荣, 2009)。在展示正在进行的生物生态过程方面, 较为突出的范例是冰岛苏特塞火山岛和印度尼西亚马戎格库龙国家公园, 二者均是学界较为公认的研究植物和动物定居过程的“实验室”。但比较它们与五大连池的差异, 我们发现, 苏特塞火山岛虽为研究火山喷发后裸地生境下的植物定居过程的重要地域, 但该火山岛处于温带海洋性气候区, 面积较小(3,370 ha), 且植物定居和植被演替的时间相对较短(1963–1967年喷发, 至今仅53年)(New, 2008), 这与处于半干旱半湿润季风气候、从原生裸地开始植被演替持续了近290年的五大连池显著不同。印尼的乌戎库隆火山1883年最后一次喷发, 残存的低地热带雨林和红树林, 以及高度濒危的爪哇犀牛(*Rhinoceros sondaicus*)(50–60只, 全球唯一栖息地)和巨蜥“科莫多龙”(*Varanus komodoensis*)是该遗产地最为显著的特征(Hommel, 1990)。而五大连池作为提名地, 展示的是正在进行温带森林植被演替过程及独特的植被演替模式和植物适应过程, 对于人类认识植被演替过程和生物适应过程提供了极好的范例。

① 五大连池自然保护区管理局 (2005) 五大连池自然保护区科学考察报告。

4.3 与处于相同生物地理省的世界遗产地的比较

迄今为止,在世界遗产委员会认可的生物地理区划(Udvardy, 1975)框架下,古北界满洲-日本生物地理省范围内,有两处世界遗产地,分别是俄罗斯联邦符拉迪沃托克东北面的斯霍特特阿兰山脉和日本的知床,但二者都作为海岸和海洋混合遗产地,虽然与五大连池纬度接近且在同一生物地理省,但处于不同的生态区(biome),在展示地质与生物生态过程方面差异显著。

综合前文的分析,我们不难发现,五大连池作为世界自然遗产提名地,与其他世界遗产地的差异不仅在地质现象和地质过程上,而且在于动物区系和植物区系特点,以及相关的生物生态过程上。提名地处在典型的生态交错区,严酷的气候特征和贫瘠的土壤基质形成了特殊的生物适应过程与矮曲林景观,在多次火山喷发形成的原生裸地上,发育着不同阶段、不同类型的植物群落,并构成了完整的植被演替序列,同时,其独特的生境也形成了特有的植被斑块动态演替模式。它优美的自然景观、特殊的火山成因和火山地貌,以及独特的生态现象和生物生态过程,不仅是展示火山地貌及其生态过程的绝佳区域,更是研究物种适应和生物群落演化的绝佳地区,体现出五大连池无可取代的重要生态价值。

参考文献

- Forestry Institute of Jilin (吉林林科所) (1976) Preliminary study on artificial regeneration in logged area of *Populus ussuriensis* (including *Populus koreana*) in Changbai Mountain. *Journal of Jilin Forestry Science and Technology* (吉林林业科技), (2), 7–17. (in Chinese)
- Hommel PWF (1990) A phytosociological study of a forest area in the humid tropics (Ujung Kulon, West Java, Indonesia). *Plant Ecology*, **89**, 39–54.
- Leng ZM (冷志明), Ma XJ (麻先俊) (2009) Protection and utilization of china's world natural heritage. *Economic Geography* (经济地理), **29**, 668–672. (in Chinese with English abstract)
- Li BH (李步杭), Wang XG (王绪高), Zhang J(张健), Bai XJ (白雪娇), Ye J (叶吉), Hao ZQ (郝占庆)(2010) *Changbaishan Temperate Forest Dynamic Plots—Broad-leaved Korean Pine Mixed Forest and Secondary Poplar-birch Forest Species Composition and Their Spatial Patterns* (长
- 白山温带森林-阔叶红松林及其次生杨桦林的物种组成及其分布格局). China Forestry Publishing House, Beijing. (in Chinese)
- New TR (2008) Insect conservation in early succession on islands: lessons from Surtsey, Iceland, and the Krakatau Archipelago, Indonesia. *Journal of Insect Conservation*, **12**(3-4), 307–312
- Olson D, Dinerstein E, Abell R, Allnutt T, Carpenter C, McClenachan L, D'Amico J, Hurley P, Kassem K, Strand H, Taye M, Thieme M (2000) *The Global 2000: a representation approach to conserving the earth's distinctive ecoregions*. World Wildlife Fund, Washington, DC.
- State Forestry Administration and the Ministry of Agriculture, P. R. C. (国家林业局和农业部) (1999) *List of Wild Plants Under State Protection (First Batch)*. Decree No. 4. http://www.gov.cn/gongbao/content/2000/content_60072.htm. (in Chinese)
- Stout RG, Summers M L, Kerstetter T, McDermott TR (1997) Heat- and acid-tolerance of a grass commonly found in geothermal areas within Yellowstone National Park. *Plant Science*, **130**, 1–9.
- Sun WC (孙文昌) (1980) Natural geographical landscape of volcano in the area of Wudalianchi. *Journal of Northeast Normal University (Natural Science Edition)*(东北师大学报自然科学版), (4), 84–95. (in Chinese with English abstract)
- Udvardy MDF (1975) *A Classification of the Biogeographical Provinces of the World, Contribution to UNESCO's Man and the Biosphere Programme Project No.8* (IUCN Occasional Paper No.18)
- Wu ZY (吴征镒) (1983) *Vegetation of China* (中国植被 第二次印刷). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Zhang LR (张丽荣), Cheng WJ (程文娟), Xue DY (薛达元) (2009) Progress and trends for implementation of the convention on biological diversity. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **29**, 5636–5643. (in Chinese with English abstract)
- Zhou YL (周以良) (1997) *Geography of the Vegetation in Northeast China* (中国东北植被地理). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Zhou YL (周以良) (1991) *Vegetation of Great Hinggan Mountain in China* (中国大兴安岭植被). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Zhou YL (周以良) (1994) *Vegetation of Less Hinggan Mountain in China* (中国小兴安岭植被). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Гордеев ТП (高尔捷也夫 ТП), ЖЕРПЯКОВ ВН (热尔纳科夫 ВН) (translated by Wu ZS (吴忠恕), Zhu TC (祝廷成)) (1960) *The Natural Situation of Wudalianchi Volcanic Regions in Heilongjiang Province* (黑龙江五大连池火山地区的自然概况). Science Press, Beijing. (in Chinese)