

长城北京段风景区植被特征及植物多样性

袁 秀, 李景文, 李俊清

(北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083)

摘要: 为了对长城北京段风景区的植被景观恢复重建和生物多样性的保育提供科学依据, 探讨旅游开发对风景区生物多样性的影响, 对长城北京段八达岭、慕田峪、司马台风景区的植物多样性进行了样方调查。结果表明: 八达岭、慕田峪、司马台分别含维管植物 459、626、437 种, 41 个群系; 植物向菊科、禾本科、豆科等世界性大科集中; 八达岭与司马台物种相似性较大, 但与慕田峪群系相似性较大。根据海拔、坡度、坡向、坡位因子对群落进行除趋势典范对应分析 (DCCA), 发现海拔是决定植物群落类型分布的主要因子, 但群落物种多样性与海拔没有明显的关系; 用 Wilson 指数和群落结构变异指数对荆条、油松等常见群落 β 多样性测度发现, 旅游影响降低了风景区内局部地区如海拔 420、490、620 m 等处物种多样性; 八达岭、司马台景区内森林群落还处于森林植被恢复演替初期, 群落不稳定, 应加强封育、抚育。同时, 根据长城景区植物多样性、植被及旅游管理现状提出了相关保护建议。

关键词: 长城; 北京; 生物多样性; 群落类型; DCCA 排序; β 指数

文章编号: 1000-0933(2007)03-0977-12 中图分类号: Q948 文献标识码: A

Attributes of vegetation and status of plant diversity in Great Wall Scenic-spots in Beijing

YUAN Xiu, LI Jing-Wen, LI Jun-Qing

The Key Laboratory for Silviculture and Forest Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Acta Ecologica Sinica 2007, 27(3): 0977~0988

Abstract In order to provide scientific data for vegetation landscape restoration and rehabilitation as well as conservation of biodiversity around Great Wall in Beijing and to analyze the influence of tourism on the biodiversity in scenic-spots, plot measurements were used in Badaling Mutianyu and Simatai scenic-spots in Beijing which are famous for Great Wall. The results show that there are 459 plant species in Badaling, 626 species in Mutianyu, 437 species in Simatai respectively and there are 41 formations in these scenic-spots. In average, 25% of the species in these areas belonged to Compositae, Gramineae, Leguminosae. Similarity analysis revealed that the species in Badaling were most similar to those in Simatai, while the formations in Badaling were most similar to those in Mutianyu. For the detrended canonical correspondence analysis (DCCA) combining the vegetation and environment factors, it expresses that the gradients and the variation characteristics of the community structure and environment are well. The DCCA was used for analysis the slope, slope position, aspect, altitude factors which influence on community. The result shows that altitude is the driven factor to influence the distribution.

基金项目: 北京市教育委员会共建项目建设计划资助

收稿日期: 2006-03-01; 修订日期: 2006-07-21

作者简介: 袁秀 (1981~), 女, 硕士生, 主要从事保护生物学研究. E-mail: yuaxia@163.com

* 通讯作者: Corresponding author. E-mail: lijingwen@bjfu.edu.cn

致谢: 北京市园林科学研究所在外业工作上给予了大力支持, 郎金顶同学在外业过程给予帮助, 北京林业大学林学院 01、02 级梁尧钦、黄宗佩、王德国等 30 多名同学参加了外业调查, 在此表示衷心的感谢!

Foundation item: The project was financially supported by Beijing Municipal Commission of Education.

Received date 2006-03-01; **Accepted date** 2006-07-21

Biography: YUAN Xiu, Master candidate, mainly engaged in conservation biology. E-mail: yuaxia@163.com

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

of community, but the plant biodiversity in a community has insignificant correlation with the altitude. The β index of *Pinus tabulaeformis* community, *Populus davidiana* community, *Quercus mongolica* community, *Vitex negundo* var. *heterophylla* community, *Capinus turczaninowii* community was estimated by Wilson index and Community Structure Variation (CSV), it shows that the tourism has had serious influence on some parts of scenic-spots, especially on the areas with the altitude of 420, 490, 620 m and 910 m, this caused by the environment matrix was changed by tourism. The community succession is initial and instable in Badaling and Simatai, the conservation and artificial tending treatments should be taken. At last, the advices were put forward on biodiversity protection, artificial tending treatments and tourism planning.

Key Words Great Wall, Beijing, biodiversity, community, DCCA, β -index

长城是国家重点风景名胜、世界文化遗产。北京地区的长城在全国历代长城中保存最好,建造艺术水平最高^[1],是北京地区重要的旅游资源。我国学者对北京及局部地区植物群落及相关信息有过详细调查分析^[2-5],对长城本身的长城的防御体系^[6]、建造艺术^[1]、生态分界^[7]等也进行过研究,但对北京段长城景区物种、植物群落状况和特征及人为干扰的影响还没有进行过详细的研究与分析。长城沿线的植物群落不仅是长城风景区重要的风景资源,而且更是保护其生态环境的关键所在。明长城实际上是我国北方农业与畜牧业的分界线^[8],其东段和中段位于暖温带和中温带的交界地带,沿线是半湿润区与半干旱区、季风区与非季风区的过渡地带;在植被条件上,长城也位于过渡性的地区,更替着森林与草原,绿洲与荒漠,这使得长城沿线的生态环境敏感而脆弱^[8],很容易遭到破坏。森林的屏障作用和功能特征衰退,直接影响和遏制遗迹的保护和景区未来的发展。本文根据对八达岭、慕田峪、司马台景区本底调查,较为系统地分析了长城北京段景区植物组成多样性、群系组成、空间分布、分布特征等状况,探讨了景区旅游对植物的影响及植物群落所处的演替阶段和恢复途径,为长城地区植被、景观恢复重建及长城生态环境建设提供基础数据。

1 研究地区概况

北京地区的长城从东向西呈半环形分布,多为砖石砌筑,主要为明代建造,距今 500 多年,是明长城迄今保存最为完整的精华地段,长城经过金山岭、司马台、慕田峪、八达岭、居庸关,总长度为 629km。^[1]此次调查主要选取了八达岭国家级风景名胜区、慕田峪市级风景名胜区、司马台县级风景名胜区为样点,主要沿图 1 所注调查段长城两侧视域内且又属于景区范围的地区进行了调查。

八达岭、慕田峪、司马台景区总面积约 500 km²,景区内包含完整的长城约 80 km,景区地处燕山山脉,土壤以山地褐土为主;八达岭段基岩主要为石灰岩、大理岩、熔砾岩;慕田峪基岩主要是石灰岩和花岗岩,司马台基岩主要为长石岩;它们都属中山地形区,长城八达岭、慕田峪、司马台段最高海拔分别为 1238、1534、986m。受暖温带大陆性季风气候的影响,长城风景区的地带性植被类型为暖温带落叶阔叶林和温带针叶林。北京段长城有其丰富深厚的文化内涵,八达岭、慕田峪、司马台长城分别以其气势雄伟壮丽、秀美、险闻名中外。

2 研究方法

2.1 调查方法

于 2004 年 7 月 ~ 2005 年 9 月选定长城北京段八达岭、慕田峪、司马台风景区作为样点,在景区范围内对植物进行了全面调查,以确定不同景区的植物物种的丰富度;同时在景区内采用典型样地法布置样方,进行群落多样性调查;取样面积为:乔木样地 20m × 20m,乔木样地内设置 5 个 2m × 2m 的灌木样方和 10 个 1m × 1m



图 1 调查长城段位置示意图

Fig. 1 Diagram of the segment of Great Wall investigated

的草本样方, 灌木样方分布于样地四角与中心, 草本样方随机分布于样地内; 灌丛样地为 $10\text{m} \times 10\text{m}$, 在样地四角与中心设置 5 个 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 的草本样方。记录项目主要包括: (1) 乔木的名称、胸径、高度、盖度; (2) 灌木和草本的植物名称、株数、高度、盖度; (3) 生境因子如海拔、坡向、坡度、坡位、土壤类型、干扰强度和类型等。在 3 个景区内共调查样地 226 个, 其中乔木样地 136 个, 灌木样地 90 个。

2.2 数据处理

群落类型的划分: 根据森林群落中乔木层的重要值和灌丛中灌木的重要值, 用 spss 13.0 对群落进行聚类分析, 对各风景名胜区的植被进行分类:

$$\text{乔木重要值} = \text{相对密度} + \text{相对高度} + \text{相对显著度} \quad (1)$$

$$\text{灌木和草本重要值} = \text{相对盖度} + \text{相对频度} + \text{相对密度} \quad (2)$$

式中, 相对显著度为样方内乔木胸高断面面积之和 / 所有乔木种群胸高断面面积之和。

用相似性系数 Sorensen 指数^[9]测定长城北京段不同景区之间的物种及群落相似程度, Sorensen 指数:

$$C = 2j / (a + b) \quad (3)$$

式中, C 为相似系数, j 为两景区共有的物种或群落数; a 和 b 分别为景区 A 和景区 B 的物种数或群落数。

采用国际通用的 Braak 设计的 CANOCO 4.5 软件包标准程序中的 DCCA 对景区内植物群落进行排序。DCCA 排序^[10]要求的两个原始数据矩阵: 种类组成矩阵和环境因子数据矩阵。此次研究的种类组成为 $P \times N$ 维的物种重要值矩阵, 其中 P 为植物的种数 (乔木 50 个, 灌木 99 个), N 为样地数 (乔木 94 个, 灌木 72 个), 环境因子包括海拔、坡度、坡向、坡位 4 个因子。坡位以数字表示, 其中 -2, -1, 0, 1, 2 分别代表沟谷、下坡、中坡、上坡、山顶, 数字越大坡位越高; 坡向原始记录是以朝西为起点 (即为 0°), 顺时针旋转的角度表示。数据处理时采取每 45° 为一个区间的划分等级制的方法, 以数字表示各等级, 0 表示西坡 ($317.15^\circ \sim 22.15^\circ$) 和东坡 ($157.15^\circ \sim 202.15^\circ$), 1 表示西南坡 ($292.15^\circ \sim 317.15^\circ$) 和东南坡 ($202.15^\circ \sim 247.15^\circ$), 2 表示南坡 ($247.15^\circ \sim 292.15^\circ$), -1 表示东北坡 ($112.15^\circ \sim 157.15^\circ$) 和西北坡 ($22.15^\circ \sim 67.15^\circ$), -2 表示北坡 ($67.15^\circ \sim 112.15^\circ$), 数字越大, 表示越向阳。

β 多样性的测度分别采用了二元属性数据测度法中的 Wilson 和 Shmida 指数^[9]和数量数据测度方法中的群落结构变异指数^[11], Wilson 和 Shmida 指数 (β_r):

$$\beta_r = g(H) + l(H) / 2a \quad (4)$$

式中, $g(H)$ 是延生境梯度 H 增加的物种数目, $l(H)$ 是沿生境梯度 H 失去的物种数目, a 为各样方或样本的平均物种数。

群落结构变异指数 (CSV):

$$CSV = (I + O) / 2 \quad (5)$$

式中, I 为沿生境梯度增加物种的重要值, O 是沿生境梯度丢失物种的重要值, 2 是两个相邻样方的重要值之和。CSV 指数不但反映了物种数目的空间变异, 而且揭示出变异物种在群落中地位和作用的变化。对群落 β 多样性的揭示定量化, 更加准确, 并对分母 2 赋予生态意义。

3 结果与分析

3.1 植物区系物种多样性

植物科属种的多样性反映了植物区系的多样化。^[12]通过对景区内维管植物类群组成的比较, 以揭示其植物多样性特征。本文根据恩格勒系统对长城景区植物丰富度进行了统计, 其结果见表 1。

由表 1 可以看出, 司马台景区植物种类最少, 八达岭景区次之, 慕田峪景区物种最多。在调查中发现慕田峪景区内国家二级保护植物黄檗 (*Phellodendron amurense*)、紫椴 (*Tilia amurensis*)、野大豆 (*Glycine soja*), 其他保护植物胡桃楸 (*Juglans mandshurica*)、刺五加 (*Acanthopanax senticosus*), 6 种兰科 (*Orchilaceae*) 植物。在八达岭景区, 伴人植物较多, 如构树 (*Broussonetia papyifera*)、车前 (*Plantago asiatica*) 等, 也有保护植物胡桃楸、紫椴。各景区植物物种数与北京及其邻近山区、华北地区的物种数相比, 还有差异, 主要因为长城景区海拔

主要在 200~ 1400m,基本上无高山植物,且水生植物种类较少;另河北雾灵山和北京东灵山是河北和北京地区保护较好、物种最丰富的地区之一,所以相比之下长城景区内植物物种丰富度较低。

表 1 长城维管植物各类群数量与相应区系的比较

Table 1 The comparision of different groups and rehted flora in Great wall of Beijing																		
植物类群 Plant group	八达岭 Badalin			慕田峪 Mutianyu			司马台 Simatai			八达岭 Badalin			东灵山 ^[14] Donglingshan			华北 ^[15] North of China		
	科	属	种	科	属	种	科	属	种	科	属	种	科	属	种	科	属	种
蕨类 Dryopteridaceae	8	10	13	12	14	24	4	4	8	15	24	66	13	22	38			
裸子植物 Gymnosperm	3	4	7	2	5	7	1	2	2	2	5	7	2	2	3	5	11	32
被子植物 Angiosperm	77	253	439	93	338	595	68	241	427	100	491	1459	92	393	856	146	903	3893
合计 Total	88	267	459	107	357	626	73	247	437	117	520	1532	107	417	897	151	914	3925
科 Family, 属 Genera, 种 Species																		

八达岭景区内物种较多的科依次是菊科 (Compositae)、禾本科 (Gramineae)、豆科 (Leguminosae)、蔷薇科 (Rosaceae)、毛茛科 (Ranunculaceae)、百合科 (Liliaceae)、唇形科 (Labiata)、莎草科 (Cyperaceae)、虎耳草科 (Saxifragaceae)、蓼科 (Polygonaceae), 含 131 属, 237 种; 该区内区域性单种科 27 个。物种较多的属依次是蒿属 (*Artemisia*)、苔草属 (*Carex*)、堇菜属 (*Viola*)、栎属 (*Quercus*)、胡枝子属 (*Lepedeza*)、黄耆 (*Astragalus*)、蓼属 (*Polygonum*), 含 56 种; 区域性单种属却多达 171 个。慕田峪景区物种较多的科依次是菊科、禾本科、豆科、蔷薇科、唇形科、百合科、毛茛科, 含 141 属, 264 种。司马台景区内包含植物较多的科依次是菊科、豆科、禾本科、蔷薇科、毛茛科、百合科、伞形科 (Umbelliferae)、唇形科、萝藦科 (Asclepiadaceae)、十字花科 (Cruciferae)、玄参科 (Scrophulariaceae), 含 231 种, 仅菊科已含 63 种; 区域性单种科 21 个。包含的植物种数较多的属依次是蒿属、鹅绒藤属 (*Cynanchum*)、堇菜属、委陵菜属 (*Potentilla*)、蓼属、鼠李属 (*Rhamnus*)、胡枝子属、藜属 (*Chenopodium*), 含 62 种; 区域性单种属 159 个。可以看出, 长城维管植物的种既有向菊科、禾本科、豆科、蔷薇科、百合科等一些世界性大科集中的倾向, 同时又向占 70% 左右的少种科和单种科分散, 单种科和少种科占有相当大比例; 属的分析结果则表明少种属和单种属在本区占有绝对优势。这说明了本区维管束植物分类群特征表现出一定的变异性。虽然菊科、禾本科、百合科等在植物区系组成中起着重要作用, 但是多为草本植物, 难以形成森林乔木层, 一些含属、种较少的蔷薇科、杨柳科 (Salicaceae)、榆科 (Ulmaceae)、壳斗科 (Fagaceae)、桦木科 (Betulaceae) 反而成为区内植物区系的主要成员, 构成长城景区地带性植被的优势科。

通过 Sorenson 相关性指数分析, 发现八达岭与司马台相似性指数最大, 这可能是由于八达岭和司马台生境 (景区内有较多裸岩, 且海拔不是很高, 土壤较贫瘠) 较为相似, 且都处于植被恢复的初期, 植物群落以灌草丛为主。慕田峪与八达岭、司马台的相似性都不是很高。

3.2 群落类型多样性

植被是一定地域各种自然要素相互作用的最直接表现, 它能充分客观地反映其生态环境的质量优劣。^[16] 景区在植被区划中属于暖温带半湿润区阔叶落叶林区域, 冀辽山地油松、栎类林区, 由于环境异质性、自然和人为因素造成景区内植被类型多样性较高。经调查聚类分析得出长城北京段景区有植被型 5 个, 群系 41 个; 其中八达岭有 4 个植被型, 39 个群系; 慕田峪有 5 个植被型, 38 个群系; 司马台有 5 个植被型, 19 个群系。包括北京地区常见的群系: 1 油松人工林 (Fom. *Pinus tabulaeformis*)、2 侧柏人工林 (Fom. *Platycladus orientalis*)、3 蒙古栎林 (Fom. *Quercus mongolica*)、4 臭椿林 (Fom. *Ailanthus altissima*)、5 山桃矮林 (Fom.

表 2 各长城景区物种相似性 (Sorenson 指数)

Table 2 Species coefficient in different segment of Great Wall		
景区名称 Name of scenic spot	慕田峪 Mutianyu	司马台 Simatai
司马台 Simatai	0.553	
八达岭 Badalin	0.549	0.643

prunus daciliana)、6山杏矮林 (Fom. *Ameniaca vulgaris* var *ansu*)、7绣线菊灌丛 (Fom. *Amygdalus davidiana*)、8平榛灌丛 (Fom. *Corylus heterophylla*)、9毛榛灌丛 (Fom. *Corylus mandshurica*)、10胡枝子灌丛 (Fom. *Lespedeza bicolor*)、11蚂蚱腿子灌丛 (Fom. *Myrica dioica*)、12小叶鼠李灌丛 (Fom. *Rhamnus parvifolia*)、13荆条灌丛 (Fom. *Vitex negundo* var *heterophylla*)、14酸枣灌丛 (Fom. *Ziziphus jujube* var *spinosa*)、15杭子梢灌丛 (Fom. *Campylotropis macrocarpa*)、16荆条、酸枣、黄背草灌草丛 (Fom. *Vitex negundo* var *heterophylla*, *Ziziphus jujuba* var *spinosa*, *Thymela triandra* var *japonica*)、17荆条、酸枣、白羊草灌草丛 (Fom. *Vitex negundo* var *heterophylla*, *Ziziphus jujuba* var *spinosa*, *Bothriochloa ischaemum*)、18刺槐人工林 (Fom. *Robinia pseudoacacia*)等。以及在北京地区较为稀有的群系: 1华北落叶松人工林 (Fom. *Larix principis-rupprechtii*)、2栓皮栎林 (Fom. *Quercus variabilis*)、3槲栎林 (Fom. *Quercus aliena*)、4槲树林 (Fom. *Quercus dentata*)、5胡桃楸林 (Fom. *Juglans mandshurica*)、6鹅耳栎林 (Fom. *Capinus turczaninawii*)、7椴树林 (Fom. *Tilia* spp.)、8旱柳林 (Fom. *Salix matsudana*)、9黑桦林 (Fom. *Betula dahurica*)、10山杨林 (Fom. *Populus davidiana*)、11暴马丁香林 (Fom. *Syringa reticulata* var *mandshurica*)、12葛灌丛 (Fom. *Pueraria lobata*)。

八达岭风景区森林植被主要集中在八达岭林场附近,沿八达岭长城到居庸关长城两侧植被主要为荆条灌丛,以及绣线菊、李灌丛和人工种植的臭椿、火炬树等。局部区域有杂木林,还有由油松、刺槐、元宝枫、山杨、山杏、黄榆等组成的群落类型。

在慕田峪景区植物群落形成了以人工林和萌生灌丛为主的植被分布格局,景区部分地段灌丛植被已演化为次生幼林或正在向此方向发展;同时人工林也面积不断扩大。在坡度较大的低山阴、阳坡,早期人为干扰强烈,植被通常以荆条灌丛为主,在靠近居民区附近的山坡下部低洼平缓处常分布有人工种植的板栗、杏 (*Ameniaca vulgaris* var *vulgaris*)为主的经济林,在海拔 600m 以上的较为偏远的地段,由于植被近些年得到较好的保护,形成了天然次生落叶阔叶林为主的多种群落类型;在牛犄角边、慕田峪关等海拔高于 1000m 的地段,森林群落类型以蒙古栎林、杂木林为主,生长良好。北京结景区海拔 300~ 950m 间均有山杨林分布,以旧水坑向北至九眼楼地段和北京结至牛犄角边长城段所在山脊的北坡分布面积较大,林相整齐,生长状况良好。紫椴林主要分布于海拔约 1110~ 1400m 间,在九眼楼到北结点黑陀山长城段山脊的东坡,形成以紫椴建群种的群落类型;在慕田峪牛犄角边至油篓顶长城段的北侧山坡,蒙古栎与紫椴、糠椴 (*Tilia mandshurica*)形成共建优势群落;九眼楼到黑陀山长城段的紫椴林生长状况良好,目前未受到人为干扰。北京结景区和慕田峪关景区长城北侧山地的阳坡蒙古栎林分布较广。慕田峪关景区 14~ 15号楼南侧的山坡上 (海拔 100~ 600m)、神堂峪旅游景区内千里沙滩 (海拔 200m)附近的沟谷中有胡桃楸分布。在景区阳坡、半阳坡葛藤广泛分布,在葛藤灌丛下其他灌木、草本较少;其它如荆条灌(草)丛、包括小叶白蜡树 (*Fraxinus bungeana*)、槭、榆、椴杂灌丛也在慕田峪分布较广。

在司马台景区植物群落类型较少,在阳坡和半阳坡主要为人工侧柏林,受极端恶劣生态基质的限制,乔木层侧柏生长不良,呈灌丛状,高度在 3m 以下,呈零散分布;在水分较充足、土壤层较厚的小生境与小叶白蜡混生,小叶白蜡高度在 3m 下。灌木层物种较少,以荆条占优势,蔷薇科、豆科、鼠李科 (*Rhamnaceae*)植物占一定比例;草本层以菊科和禾本科种类为主,禾本科的白羊草居优势地位,草本层代表植物有狗尾草、鬼针草 (*Bidens pilosa*)、荩草 (*Arthraxon hispidus*)等。阴坡主要是蒙古栎林及其它落叶阔叶树林。

群落相似性是群落分析的一个重要基础,它作为一定量数据,超出区系植物对比范围,对植被分析有着更大意义^[17]。从植被相似性比较可以看出,八达岭与慕田峪景区群落相似性较高,司马台群落类型较为不同,主要是因为司马台生境条件较为恶劣、以前破坏较为严重,导致群落类型较少,植被恢复较为缓慢,天然恢复基本很困难。3个景区都有分布且较多的是荆条灌丛(包括荆条灌草丛)、蒙古栎林(包括萌生矮

表 3 各长城景区植物群落相似性 (Sorenson 指数)

Table 3 Community coefficient in different segment of Great Wall		
景区名称 Name of scenic spot	慕田峪 Mutianyu	司马台 Simatai
司马台 Simatai	0.69	
八达岭 Badaling	0.88	0.67

林)、人工油松林、杂木林等。荆条灌丛抗旱耐贫瘠,主要生长在山坡、林缘;它是落叶阔叶林破坏后而出现的次生灌丛。在司马台景区阳坡、八达岭及居庸关的阳坡、半阳坡,这类群落分布广泛;当群落达到相对稳定阶段,植物体高大,覆盖度较高,群落中出现阔叶树种的萌生苗,若加以保护和抚育,群落逐渐会向森林演替。在慕田峪景区内的荆条灌丛群落内萌生较多的蒙古栎;在司马台的北坡(阴坡)这种群落也较为常见,灌丛中还出现鹅耳枥、臭椿、大叶白蜡树(*Fraxinus rhynchophylla*)、刺槐等。蒙古栎林群落具有较强的抗旱性和萌芽力,在局部地区占有较大优势;在干旱的生境下,亦能形成灌丛状的“蒙古栎矮林”。人工油松林在景区也较为常见,从其灌木与草本多样性看,其群落结构和种类组成同自然油松林类似,已归化为半自然状态。山杨林在慕田峪低山、八达岭都有分布,慕田峪地区山杨林几近纯林。山杨林是其他森林植物破坏后形成的次生类型,在慕田峪景区内山杨林为近纯林,说明处于群落演替的早期阶段,随着随着林龄增大,山杨混交林的比例应该增大。在八达岭、慕田峪、司马台景区杂木林分布较广,主要由色木槭(*Acer mono*)、紫椴、糠椴、胡桃楸、李、榆等组成,群落组成复杂,变异很大,极少为单优势种结构,大多为多优势种及复层结构。杂木林是森林砍伐后或破坏后的迹地上次生演替的产物,因此,色木槭、紫椴、糠椴林的分布范围和生境条件,都和栎、椴、桦混交林相一致。

3 3 群落 DCCA 排序

目前, DCCA 是分析植被 - 环境关系最适用的多元分析技术。由于 DCCA 同时结合植被数据和环境来计算排序值,更有利于排序轴生态意义的解释,而成为现代植被梯度分析与环境解释的趋势性方法^[18]。这里采用 DCCA 对长城两侧森林群落和灌丛分别进行了分析,以研究景区植被与环境的关系。

表 4 各群落环境因子与 DCCA 前 2 个排序轴的相关系数

环境因子 Environment factor	Table 4 Correlation coefficients of environment variables with the first two axes of DCCA							
	SP X ₁ (shrub)	SP X ₂ (shrub)	EN X ₁ (shrub)	EN X ₂ (shrub)	SP X ₁ (tree)	SP X ₂ (tree)	EN X ₁ (tree)	EN X ₂ (tree)
坡向 Aspect	- 0. 156	0. 164	- 0. 194	0. 254*	0. 431**	0. 283*	0. 574*	0. 5364**
坡度 Slope	- 0. 227	0. 489*	- 0. 283*	0. 759**	- 0. 089	0. 445*	- 0. 1187	0. 8457**
坡位 Slope-position	0. 139	0. 339*	0. 1731	0. 526**	- 0. 091	- 0. 048	- 0. 1217	- 0. 090
海拔 Elevation	0. 748**	0. 183	0. 9303**	0. 285*	- 0. 578**	0. 117	- 0. 770*	0. 221*

** $p < 0. 01$ 表示极显著相关 Means very significant * $p < 0. 05$ 表示显著相关 Means significant SP X₁、SP X₂: 前 2 轴的物种信息 The information of species compositions on the first 2 axes EN X₁、EN X₂: 前 2 轴的环境信息 The information of environment on the first 2 axes

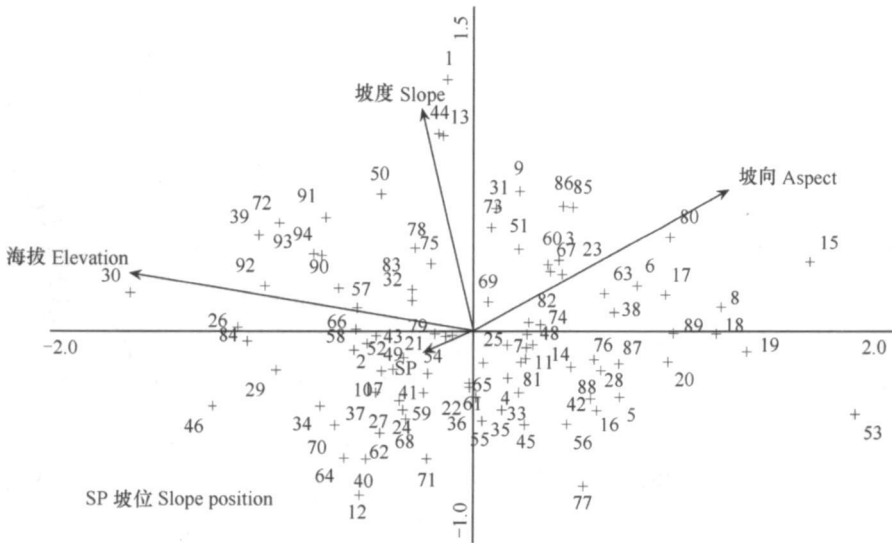


图 2 94 个森林群落 (乔木) 样地的 DCCA 二维排序图

Fig. 2 Two-dimensional DCCA ordination diagram of the 94 forest samples

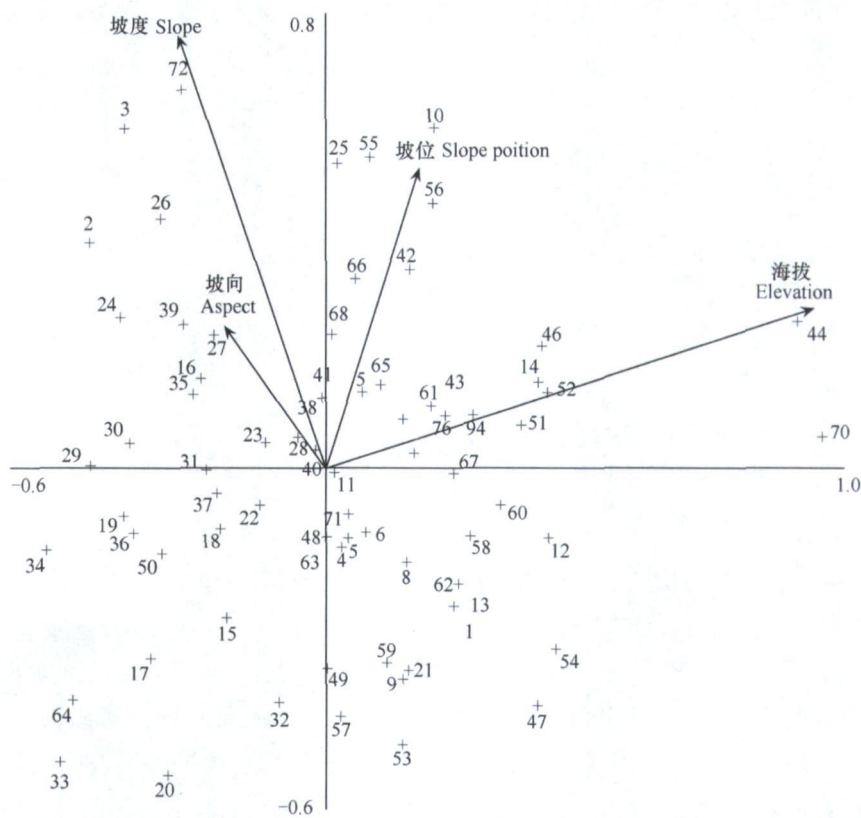


图 3 72个灌丛(灌木)群落样地的 DCCA 二维排序图

Fig 3 Two-dimensional DCCA ordination diagram of the 72 shrub samples
1, 2, 3 ..., 72 代表各样方编号 1, 2, 3 ..., 72 is the number of samples

采用 CANOCO 提供的 Monte Carlo 方法对排序的第一轴和总体进行检验: 乔木排序的中 axis 1 的检验结果: $F = 4.379 < F_{0.01}(1, 94 - 4 + 1) = 6.93$ 。总体排序轴的检验结果: $F = 1.901 < F_{0.01}(4, 94 - 4 + 1) = 3.53$ 。灌木排序的中 axis 1 的检验结果: $F = 5.236 < F_{0.01}(1, 72 - 4 + 1) = 7.021$ 。总体排序轴的检验结果: $F = 2.533 < F_{0.01}(4, 72 - 4 + 1) = 3.604$ 。表明乔木、灌木 DCCA 排序第一轴的效果和总体的效果都是高度显著。

图 2 图 3 中, 箭头表示环境因子, 箭头连线的长短表示植物群落的分布与该环境因子相关性的大小, 箭头连线在排序中的斜率表示环境因子与排序轴相关性的大小, 箭头所处的象限表示环境因子与排序轴之间相关性的正负。各样地在坐标轴上的平面位置反映了样地所在群落的生态学特性。^[10] 排序轴相关系数表示的是各排序轴与真实环境梯度之间的相关性, DCCA 所得的植物群落排序轴和环境排序轴之间的相关系数较高, 表明它们对植被与气候之间的关系分析较好。由图 2 可看出, 第一轴基本上反映各森林群落所在环境的海拔梯度和坡向变化趋势, 即沿 DCCA 第一轴从左到右, 海拔逐渐降低, 群落越向阳, 第二轴基本上表现出植物群落所在环境的坡度的变化趋势, 即沿 DCCA 第二轴从上到下, 坡度渐缓。海拔梯度是所有因子中对森林群落分布起决定性作用的环境因子。从图 3 可以看出, 第一轴也是反映了灌丛群落所在环境的海拔梯度变化趋势, 且海拔与灌丛群落的关系为正相关, 即第一轴从左至右, 海拔逐渐升高。第二轴基本上表现了灌丛群落所在环境的坡度和坡位的变化趋势, 沿 DCCA 第二轴从下到上坡度逐渐增大, 坡位也越高。根据森林群落和灌丛群落与环境因子的相关性排序, 不难看出, 海拔梯度是所有因子中对长城景区植物群落分布起决定性作用的环境因子; 其次是坡度; 坡位与森林群落分布的相关性很小, 但在灌丛群落中坡位与其分布很有关; 坡向对森林群落的分布有较大关系, 但对灌丛群落分布的关系不太大。同时, DCCA 排序图很好的反映出长城各植物群落所在生境的环境状况。

通过排序表明: 森林群落主要分布在海拔较高, 坡度较缓的阴坡, 这说明人为干扰对低山地区的森林植被

的影响较大; 低山地区形成了以山杨林为主的森林植被和平榛、丁香、鼠李等组成的杂灌丛, 说明近期人为破坏较小。

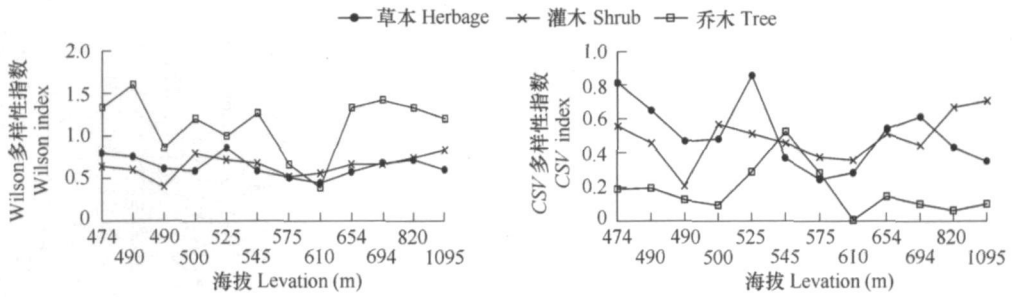


图 4 油松林群落相邻样地 β 多样性指数与海拔梯度变化的关系

Fig 4 The relationship between β diversity index of *Pinus tabulaeformis* community and the gradient of elevation

3.4 群落 β 多样性分析

通过对植物群落的排序, 发现长城北京段植物群落的分布与海拔有很大的关系, 为了探讨群落沿海拔其物种组成的差异及旅游对其的影响, 现在对长城地区主要的植物群落 β 多样性进行分析。 β 多样性是沿着某一环境梯度物种替代的程度或速率、物种周转率、生物变化速度等, 它反映了不同群落间物种组成的差异; 还可以反映生境变化的程度或指示生境被物种分隔的程度, β 多样性的高低可以用来比较不同地点的生境多样性^[19]。植物群落的 β 多样性分析主要针对整个植物群落总体沿某特定环境梯度的变化情况, 但由于各种群落对环境的适应条件不同, 总体结合时, 对植物群落沿环境梯度变化的表现有一定的局限性, 本文针对慕田峪长城景区内特定的几个群落沿海拔梯度的变化进行了分析。

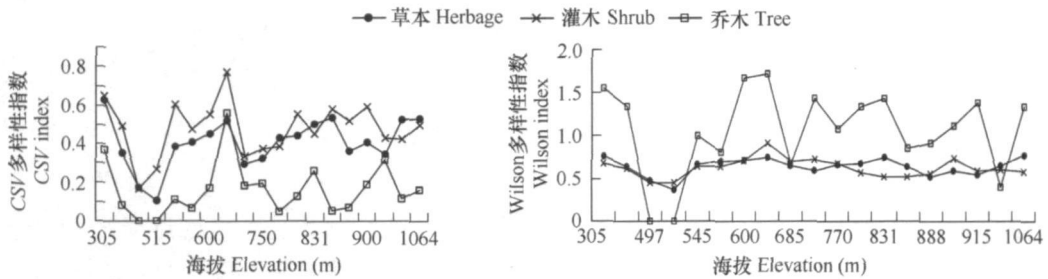


图 5 山杨林群落相邻样地 CSV多样性指数与海拔梯度变化的关系

Fig 5 The relationship between β diversity index of *Populus davidiana* community and the gradient of elevation

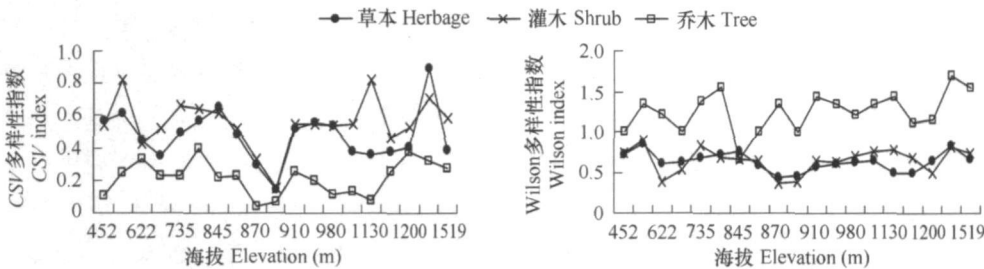


图 6 蒙古林群落相邻样地 β 多样性指数与海拔梯度变化的关系

Fig 6 The relationship between β diversity index of *Quercus mongolica* community and the gradient of elevation

β 多样性指数是一个相对的值, 通过对 β 多样性随环境梯度变化而变化的速率和趋势进行比较, 才能得到能够符合客观规律的结论。由于二元属性数据仅对物种的存在与否进行测度, 其测度结果对反映群落的变化, 尤其是人类活动干扰所引起的变化是不敏感的。而数量属性数据不仅对物种的存在与否, 而且还对物种

水平的有关数量特征进行测度, 所以对环境, 特别是由于人类活动所引起的群落变化相当敏感, 测度的结果与二元属性数据测度的结果比较可以说明, 两种属性数据所测度的 β 多样性变化趋势的差异, 是对生境破碎化的一种反映^[9]。凡是两种属性数据测度的 β 多样性指数变化动态不一致的地方, 都是人类活动干扰较频繁的地带, 在慕田峪景区, 现在人为的干扰主要为旅游。

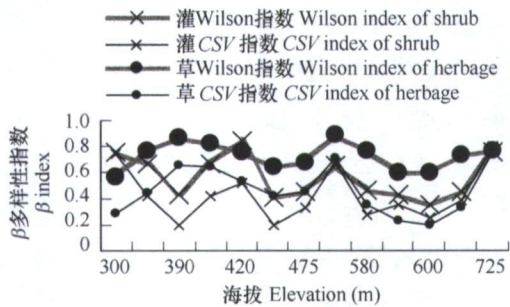


图 7 荆条灌丛相邻样地 β 多样性指数与海拔梯度变化的关系

Fig 7 The relationship between β diversity index of *Vitis negundo* var. *heterophylla* shrubland and the gradient of elevation

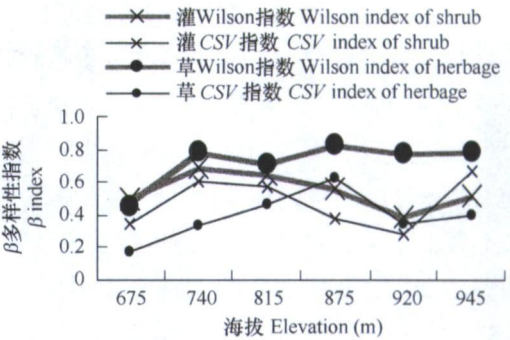


图 8 三裂绣线菊灌丛相邻样地 β 多样性指数与海拔梯度的关系

Fig 8 The relationship between β diversity index of *Spiraea trilobata* var. *trilobata* shrub and the gradient of elevation

油松林群落在长城北京段较为常见, 也是现今北京地区在植被恢复过程中用得较广的物种, 主要分布在北京的低山阳坡和高山阴坡地区。分析中特选取了分布在山体中坡位和上坡位、阴坡的油松林, 对其沿海拔梯度进行了分析。由图 4 分析发现油松林在海拔 490m 左右的地方受旅游干扰较严重。油松林在海拔 700m 左右的阴坡生物多样性较高, 生长较好。

山杨林是植被恢复初期的先锋树种, 由图 5 可以看出慕田峪景区内的山杨林受旅游干扰较少, 但沿海拔梯度变化几乎无规律, 受其它环境影响较大。

作为地带性植被之一的蒙古栎林, 在北京地区也占据较高的地位, 由图 6 可以看出, 蒙古栎林随海拔梯度的变化并不太明显, 但在海拔 850~950m 左右的地方, 蒙古栎林受旅游干扰较严重, 主要是慕田峪长城 23 号楼、南大楼等主要炮楼周围地区。

灌丛中, 由图 7 可以看出荆条灌丛在海拔 600m 处受人为影响较大; 由图 8 可以看出三裂绣线菊在海拔 820m 处受干扰较严重; 由图 9 可以看出鹅耳枥灌丛在海拔 800m 处也受到旅游的影响。

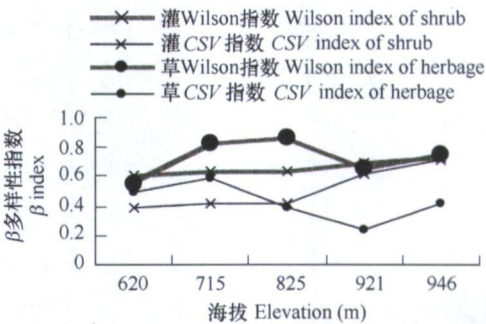


图 9 鹅耳枥灌丛相邻样地 β 多样性指数与海拔梯度变化的关系

Fig 9 The relationship between β diversity index of *Carpinus turczaninavii* shrub and the gradient of elevation

由图 4~9 可以看出, 2 条 β 多样性曲线不仅具有一致性的变化趋势, 而且具有很大的相似性, 其变化趋势与梯度变化趋势一致, 说明这 2 种 β 多样性测度方法生态学意义明显, 有较高的实用价值。由各群落多样性指数图可以看出, 在海拔 420、490、620、910 m 处 β 多样性指数都较低; 这是由于在该处人为破坏及旅游严重, 特别是旅游的影响, 因而使得与周围群落的环境不同, 说明旅游对景区内局部地区有较强的影响。森林群落物种多样性随海拔梯度波动较大, 灌丛群落变化波动较少。森林群落 β 多样性指数随海拔波动较大, 说明了人为干扰对当地的环境造成了影响。当地海拔虽然对植物群落的分布起着重要的作用, 但对物种多样性的影响并无明确规律。样带上物种多样性的变化同海拔梯度的变化表现出空间相关性不大。由 β 多样性指数曲线可以看出群落内各生长型随海拔梯度的变化具有相关性, 即乔木层、灌木层、草本层之间有一定的影响。

4 建议

长城景区植物资源相对丰富, 但分布很不均匀, 栖息地的片段化现象比较突出, 一些较珍贵的资源只分布

在少部分地区;由于长期的人为影响各景区植被类型以荆条灌丛和油松、侧柏、臭椿等单一林型为主,特别是八达岭、司马台段景区土壤贫脊、林龄较小,需要加快恢复自然植被,以减少生态系统的脆弱性,减少裸地片段性的发展,增加物种在各区内的有效基因交流。面对华北地区的持续干旱的问题,控制破坏性服务设施的修建,尽快使裸地变绿也是非常必要的。针对这些问题,应通过对现有植被的调整改造,使植被与周围环境更加协调,并尽快恢复为具有当地特色的天然次生植被,形成的自然森林景观,营造既具有较高景观价值又具有水源涵养功能的各类混交林。对自然次生植被较好、珍稀物种较多地区化为保护小区,进行特殊保护;对现有幼林、残林地实行封山育林地区;对次生且较稳定的灌(草)丛,根据情况在适宜地段成片栽种乔木,改造成混交林,以增加景观层次,同时可防止水土流失;对部分荒地尽快绿化,包含长城及其生态环境。

DCCA 排序结果较好地反映了植物群落之间及植物群落与环境因子之间的相互关系,同时根据景区植物群系类型及北京的地带性植被,初步判断长城北京段景区内植被处于植被恢复期,司马台、八达岭都处于进展演替阶段初期,以荆条、酸枣灌(草)丛为主,荆条灌丛已经向矮林方向发展,群落内间或一些槭树、栎树、槲树等萌生矮林,具有相对的稳定性,但演替较为缓慢,在保护和抚育下,可以向栎林发展,应该加大人工抚育。慕田峪景区内由于近期砍伐、破坏较少,在离居住区较远、海拔较高的地区,以蒙古栎、槭树、椴树林为主,群落较稳定,低山地区山杨也接近近熟林。在八达岭、慕田峪景区人工油松林基本处于向天然化发展阶段,演替较好,说明在北京山区栽培抚育油松林是可行的。

八达岭景区内植物处于较为敏感脆弱的阶段,容易遭到破坏,应该对其保护的情况下,适当抚育。八达岭景区内特别是八达岭到居庸关长城两侧主要植被是荆条灌丛,荆条灌丛有一定的稳定性,进展演替很缓慢,因此对八达岭长城的景观、植被恢复应该进行人工的抚育,荆条灌丛可以适当割一些,利于播种的植物如臭椿、槐树的生长,但不能割得太多,使环境质量变差。八达岭长城段两侧火炬树较多,火炬树因其较强的生存和适应能力,很不利于其它地带性植被生长,应该少用或不用,在八达岭景区建议不用。

慕田峪景区内植物物种多样,珍稀保护植物较多,植被类型多样,植被覆盖率较高,有北京保护群落胡桃楸、紫椴林,具有长城中的较为有特色的景点,例如:涧扣、鹰飞倒仰、牛犄角、北京结等,建议提升其保护地位及关注程度。沿长城两侧植被较好特别是有珍稀植被的地方建议划为加强保护,减少人为干扰;如北京结至牛犄角边长城两侧林相整齐,还有有紫椴林、蒙古栎林、珍稀植物党参的分布,可以建立保护小区,这样既保护了植物群落和景观,又可以在其它地区开发旅游,减少人为对环境的影响。慕田峪景区内葛藤灌丛较多,在低山阳坡和半阳坡大面积的生长,很不利用其它植被的生长,葛藤虽有一定水土保持功能,但大面积的葛藤灌丛并不利用生态系统的稳定,应给予管理。另外,慕田峪关景区内约 800m 的长城段内就建立了两个索道和一个滑道,对长城的景观造成了严重的影响,对长城文化也是一种破坏;建议景区内旅游开发应该适当,以保护长城的文化和景观为前提。

司马台景区植被处于恢复初期,由于自然环境条件较为恶劣,植被恢复缓慢,自然恢复很困难,应加强人工抚育。司马台段长城有长城中较有特色的水关长城,且“修旧如旧”,有较著名的“望京楼”,有一定的保护意义。

旅游活动对长城及其环境都有较大影响,因此应该对长城旅游有系统的规划和管理,北京市已经颁布《北京市长城保护管理办法》,但违反该办法的活动时有发生,如在长城主体上设置摊点,攀登未批准为参观游览场所的长城等。另外,一些该办法没涉及到的影响长城的活动仍在发生,例如沿长城两侧有许多小路可以通往长城上,有些小路穿过的地方通常较为平缓,此前是一些物种生存的良好环境,当小路穿过后,生存环境受到践踏,植物受到破坏,导致了某些种的消失;同时,有些个人、旅游接待机构正在将一些环境较好地段开发作为停车场、道路或其它建筑用地,使植物的生存环境受到较大破坏;随着游客对山野菜的需求增多,对当地野生植物资源造成较大的压力;因此最好对该办法进行完善并加大执法力度。在旅游开发规划、管理中应该特别强调长城文化和景观的保护,对景观和文化造成不良影响的行为活动应该坚决禁止,长城是我国重要的文化遗产,是不可再生的资源,应该加强保护。

References

- [1] Gu S L. Structure art of the Great Wall in the areas of Beijing. *Haidian University Journal* 2004, 66(2): 39-42
- [2] Gao X M, Ma K P, Chen L Z, *et al*. The effects of tourism on species diversity of subalpine meadows in Dongling mountainous area. *Beijing Biodiversity Science* 2002, 10(2): 189-195
- [3] Li L P, Xing S H, Zhao B, *et al*. Comparative analysis of plant diversity of *Pinus tabulaeformis* forests in ten regions of Beijing mountainous areas. *Journal of Beijing Forestry University* 2005, 27(4): 12-16
- [4] Cui G F, Cheng K W, Shen G Z, *et al*. Status and classification of vegetation in Labagoumen forest region in Beijing. *Journal of Beijing Forestry University* 2000, 22(4): 46-51.
- [5] Xing S H, Lin D Y, Yuan X, *et al*. Study on regional plan of plant diversity protection in Beijing Mountain Area. *Forest Inventory and Planning* 2005, 30(6): 1-5
- [6] Zhang Y K, Li Y. Illustration on the Defense System Distribution of the Nine Important Defense Areas in the Great Wall of Ming Dynasty. *Architectural History* 2005, 25(2): 116-119
- [7] Yan S J, Liu J G, Yan F Y. A holistic approach towards assessment of severity of land degradation along the Great Wall in northern Shaanxi Province. *China Environmental Monitoring and Assessment* 2003, 82: 187-202
- [8] Guo D Z, Yang S Y. Investigation of the Great Wall for Ecology in Northern China. 2005, 1: 46-48
- [9] Gao X M, Ma K P, Huang J H, *et al*. Studies on plant community diversity in Dongling Shan Mountain, Beijing, China. The β diversity of mountain meadow. *Acta Ecologica Sinica* 1998, 18(1): 24-32
- [10] Zhang J T. Quantitative ecology. Beijing: Science Press, 2004. 163~165
- [11] Ma K P, Ye W H, Sang W G, *et al*. Study on plant community diversity in Donglingshan Mountain, Beijing, China. X. β diversity and fractal analysis on transect on different scales. *Acta Ecologica Sinica* 1997, 17(6): 626-634
- [12] Zhu J M, Jiang Z L, Zheng Q R, *et al*. Species Diversity in the Forest Community of Wamul in Nature Reserve, Fujian Province. *Chinese Journal of Ecology* 1997, 16(2): 1-6
- [13] Feng T J, Wang D E Y, Li D Y, *et al*. Research on the tracheophyta flora in nature reserve of Wulin Mountain. *Bulletin of Botanical Research* 1999, 19(3): 259-267
- [14] Lou A R. A preliminary analysis of characteristic of plant communities and their floristic composition in Dongling Mountain of Beijing. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)* 2004, 40(4): 507-512
- [15] Wang H S. The evolution and sources of north China's Flora. *Acta Geographica Sinica* 1999, 54(3): 213-223.
- [16] Cheng Z H, Zhang J T. Impacts of Tourist Development on Vegetation in Tianlong Mountains. *Scientia Geographica Sinica* 2000, 20(2): 144-147.
- [17] Yu S L, Chen L Z, Zhang C J. The Research on the Similarity of *Quercus mongolica* Community in Different Sites. *Chinese Bulletin of Botany* 2000, 17(6): 554-558.
- [18] Zhang F, Zhang J T, Zhang F. Pattern of forest vegetation and its environmental interpretation in Zhuweigou, Lishan Mountain in Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica* 2003, 23(3): 421-427.
- [19] Ma K P. Measurement of biodiversity. In: Biodiversity Committee of the Chinese Academy of Sciences eds. *Principles and Methods in the Study on Biodiversity*. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1994. 141~165.
- [20] He S Y, Xing Q H, Yin Z T. Flora of Beijing. Beijing: Beijing Publishing House, 1992
- [21] Wu Z Y. Distribution type of spermatophytic family to China. *Acta Botanica Yunnanica* 1999(supplement): 1~139
- [22] Chen L Z, Bao X C, Chen Q L, *et al*. Study on vegetation ecology in Tianjin and Beijing region. In: Institute of Botany and Institute of Zoology, CAS eds. *Study on the Biology and Ecology in Tianjin and Beijing Region*. Beijing: Marine Press, 1990. 1-14.

参考文献:

- [1] 谷上礼. 万里长城北京段的建造艺术. 海淀走读大学学报, 2004, 66(2): 39~42
- [2] 高贤明, 马克平, 陈灵芝, 等. 旅游对北京东灵山亚高山草甸物种多样性影响的初步研究. 生物多样性, 2002, 10(2): 189~195
- [3] 李利平, 邢绍华, 赵勃, 等. 北京山区不同区域油松林植物多样性比较研究. 北京林业大学学报, 2005, 27(4): 12~16
- [4] 崔国发, 成克武, 申国珍, 等. 北京喇叭沟门林区森林植被现状及分类. 北京林业大学学报, 2000, 22(4): 46~51.
- [5] 邢绍华, 林大影, 袁秀, 等. 北京山区植物多样性保护区域规划研究. 林业调查规划, 2005, 30(6): 1~5
- [6] 张玉坤, 李严. 明长城九边重镇防御体系分布图说. 建筑艺术, 2005, 25(2): 116~119

- [8] 郭德政, 杨姝影. 中国北方长城的生态学考察. 自然生态保护, 2005, 1: 46~ 48
- [9] 高贤明, 马克平, 黄建辉, 等. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究——山地草甸 β 多样性. 生态学报, 1998, 18(1): 24~ 32
- [10] 张金屯. 数量生态学. 北京: 科学出版社, 2004 163~ 165
- [11] 马克明, 叶万辉, 桑卫国, 等. 北京东灵山地区植物群落多样性研究——不同尺度下群落样带的 β 多样性及分形分析. 生态学报, 1997, 17(6): 626~ 634.
- [12] 朱锦懋, 姜志林, 郑群瑞, 等. 福建万木林自然保护区森林群落物种多样性. 生态学杂志, 1997, 16(2): 1~ 6
- [13] 冯天杰, 王德义, 李东义, 等. 雾灵山自然保护区维管植物区系的研究. 植物研究, 1999, 19(3): 259~ 267
- [14] 娄安如. 北京东灵山地区植物群落及其组成成分特性的分析. 北京师范大学学报 (自然科学版), 2004, 40(4): 507~ 512
- [15] 王荷生. 华北植物区系的演变和来源. 地理学报, 1999, 54(3): 213~ 223.
- [16] 程占红, 张金屯. 天龙山旅游开发对植被的影响. 地理科学, 2000, 20(2): 144~ 147
- [17] 于顺利, 陈灵芝, 张承军. 不同地点蒙古栎群落相似性的研究. 植物学通报, 2000, 17(6): 554~ 558.
- [18] 张峰, 张金屯, 张峰. 历山自然保护区猪尾沟森林群落植被格局及环境解释. 生态学报, 2003, 23(3): 421~ 427
- [19] 马克平. 生物群落多样性的测度方法. 生物多样性研究的原理与方法. 中国科学院生物多样性委员会编. 北京: 中国科学技术出版社, 1994 141~ 145
- [20] 贺士元, 邢其华, 尹祖棠. 北京植物志. 北京: 北京出版社, 1992
- [21] 吴征镒. 中国种子植物属的分布区类型. 云南植物研究, 1991 (增刊): 1~ 139.
- [22] 陈灵芝, 鲍显诚, 陈清朗, 等. 京津地区的植被生态学研究. 见: 中国科学院植物研究所和中国科学院动物研究所主编. 京津地区生物生态学研究. 北京: 海洋出版社, 1990. 1~ 41.