

五台山景区湿地植被的数量分类和排序

牛莉芹¹, 程占红^{2*}, 季洪伟²

(1. 山西财经大学 环境经济学院, 山西 太原 030006; 2. 山西财经大学 旅游管理学院, 山西 太原 030031)

摘要:利用双向指示种分析方法(TWINSPAN)和除趋势对应分析方法(DCA)对五台山清水河湿地植被进行了数量分类和排序。结果表明:1)TWINSPAN 将 57 个样方分为牡蒿群落、鹅观草群落、地榆+委陵菜群落、水蓼+东方蓼+薄荷群落、水蓼+酸模群落、北水苦蕒+东方蓼群落。2)DCA 第 1 轴主要反映了人为干扰程度因子;DCA 第 2 轴主要反映了海拔因子。在 DCA 图中,湿地植被相应地沿对角线从旱中生的群落类型逐步向湿生群落过渡。3)TWINSPAN 和 DCA 分析结果具有一致性,它们都客观地反映出人为干扰与湿地植被之间的生态关系。

关键词:五台山;人为干扰;湿地植被;TWINSPAN;DCA

中图分类号:S718.54 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2013)04-0016-05

Quantitative Classification and Ordination of the Wetland Vegetation in Wutai Mountain

NIU Li-qin¹, CHENG Zhan-hong^{2*}, JI Hong-wei²

(1. College of Environment Economics, Shanxi University of Finance and Economics, Taiyuan, Shanxi 030006, China;

2. Tourism College, Shanxi University of Finance and Economics, Taiyuan, Shanxi 030031, China)

Abstract: Classification and ordination of wetland vegetation in the Qingshui River of Wutai Mountain were analyzed quantitatively by two-way indicator species analysis(TWINSPAN) and detrended correspondence analysis(DCA). 1) TWINSPAN divided 57 samples into the communities of *Artemisia japonica*, *Roegneria kamoji*, *Sanguisorba officinalis*+*Potentilla chinensis*, *Polygonum hydropiper*+*Polygonum orientale*+*Mentha haplocalyx*, *Polygonum hydropiper*+*Rumex acetosa*, and *Veronica anagallis-aquatica*+*Polygonum orientale*. 2) The first axis of DCA reflected the degree of human disturbance, and the second axis 2 represented elevation. Accordingly, wetland vegetation transited gradually from the xerocole or mesophytic community to the hygic community along the diagonal line in DCA. 3) The results of TWINSPAN were consistent with those of DCA, and both were comparable. Both could show the ecological relationship between human disturbance and wetland vegetation objectively.

Key words: Wutai Mountain; human disturbance; wetland vegetation; TWINSPAN; DCA

五台山位于山西省五台县境内,总面积约 376 km²。其中,北台是华北地区最高的山峰,海拔约 3 058 m。五台山地形相对复杂,大部分山峰一般在 1 500~2 000 m。在气候条件上,也相差悬殊。年平均气温为-4.2℃,1 月份最冷,月平均气温为-19℃,极端最低气温达-44.8℃,7 月份最热,平均

气温在 9.6℃,极端最高气温只有 20℃。全年无霜期只有 75 d。平均年降水量为 966.3 mm,主要集中在夏季。

五台山不仅拥有丰富的自然旅游资源,戴有“国家森林公园”和“国家地质公园”的桂冠,而且其人文旅游资源独特,是我国四大佛教名山之首、国家 5A

收稿日期:2012-11-27 修回日期:2013-03-17

基金项目:山西省基础研究项目(青年科技研究基金:2011021027-2);山西省高等学校旅游管理特色专业建设项目(晋教高[2011]11 号);2012 年度第二批国家级大学生创新创业训练计划项目(201210125005);山西省高校大学生创新创业训练项目(2012187)。

作者简介:牛莉芹,女,硕士,讲师,研究方向:旅游生态学。E-mail:nlq1976@126.com

* 通信作者:程占红,男,博士,教授,研究方向:旅游生态学。E-mail:chengzhanhong@163.com

级旅游景区和世界文化景观遗产地。据 2010 年旅游统计数据显示,五台山当年接待国内外游客达 320 多万人次。这种强烈的旅游活动已使当地的生态环境受到一定的影响。

自 1992 年我国加入《关于特别是作为水禽栖息地的国际重要湿地公约》(亦称 Ramsar 公约)^[1] 和 世界环境与发展大会之后,我国制定的《中国 21 世纪议程》^[2] 将湿地保护与合理利用列为议程的优先项目,极大地推动了我国湿地资源调查和研究工作的进行,并有一些研究成果陆续报道^[3-7]。湿地植被作为一种特有的植被景观,不仅是重要的风景资源,而且有着独特的生态功益^[8-9],它对于维护景区的生态环境起着重要的作用。五台山湿地植被资源较少,以往学者的研究工作主要涉及景观生态学^[10-11]、植被生态学^[12-13]、草甸生态学^[14] 和旅游生态学^[15] 的研究,但是关于五台山湿地植被研究报道尚少。为此,以五台山清水河湿地植被为例,在野外调查的基础上,利用数量生态学方法研究湿地植被的分类和排序,以期弥补五台山湿地资源研究的不足,为景区湿地植被的恢复和保护提供有力的证据。

1 材料与方法

1.1 取样调查

五台山湿地植被主要分布在清水河沿岸,清水河自北向南贯穿五台山景区。2010 年 7 月从清水河源头西湾村开始,每隔 50 m 设一样方,沿途经过台怀镇、杨柏峪村,最后到南云村为止,共布设 57 个样方。每个样方面积为 1 m×1 m。测量海拔和群落盖度、植物种的盖度和高度。同时,调查样方附近的村庄人数和寺庙的年均游客量。其中,样方 S1~S10 处于西湾村—碧山寺区段,该区段村落有西湾村、柏枝岩村,无寺庙分布。样方 S11~S19 处于碧山寺—窑子村区段,该区段主要村落有光明寺村、窑子村,寺庙有碧山寺、集福寺。样方 S20~S22 位于窑子村—黛螺顶区段,该区段有东庄村,寺庙有七佛寺、普寿寺。样方 S23~S29 位于黛螺顶—杨林停车场区段,村落有台怀村,该区段寺庙群分布最为集中,有黛螺顶、善财洞、显通寺、菩萨顶、圆照寺、罗睺寺、十方堂、殊像寺等。样方 S30~S46 位于杨林停车场—圆缘宾馆区段,该区段属于旅游服务区,有许多宾馆设施,有杨林村和杨柏峪村,有普化寺、南山寺、梵仙山等寺庙。样方 S47~S50 位于圆缘宾馆—居士林区段,该区段有滩子村,寺庙有镇海寺。样方 S51~S57 位于明月池—南云村区段,该区段村落有黄土咀、白头庵、南云村,寺庙有明月池和白云寺。

1.2 数据处理

由调查数据计算物种重要值。

重要值=(相对盖度+相对高度)/200

人为干扰程度包括村庄常住人口的年活动量和寺庙年均游客的活动量两方面。其中,常住人口每年以 365 d 计算,游客平均停留时间以 2 d 计算,二者之和即为样方区段所受到的人为干扰程度。

1.3 方法

双向指示种分析(TWINSPAN)和除趋势对应分析(DCA)是数量生态学最基本的分析方法^[16]。其中,TWINSPAN 属于分类方法,DCA 属于排序方法。

在湿地调查中,共获取 57 个样方,出现 81 个植物种。在分析时,剔除出现 1 次的种,这样组成 57×54 维的数量矩阵。利用 TWINSPAN 和 DCA 对该数据矩阵分别进行分类和排序。

2 结果与分析

2.1 人为干扰程度的确定

根据各样方所处区段的村庄常住人口数、以及寺庙年均接待的游客量,可以得到各区段的人为干扰活动量(表 1),样方 S23~S29 所受到的人为干扰程度最大,年均达到 3600 000 人·a⁻¹;其次为样方 S30~S46,干扰程度达到 1000 000 人·a⁻¹;人为干扰程度最少的是 S1~S10,年均人为活动量仅为 81 760 人·a⁻¹。人为干扰程度的排序级别越靠前,干扰活动越大。

表 1 五台山各区段的人为干扰程度

Table 1 Human disturbance degree of every district in Wutai Mountain

样方 区段	样方数 /个	村庄常 住人口 /人	寺庙年均 游客量 /人	年均人为 活动量 /(人·a ⁻¹)	人为干扰 程度的排 序级别
S1~S10	10	224	0	81 760	7
S11~S19	9	296	250 000	608 040	3
S20~S22	3	280	100 000	302 200	4
S23~S29	7	263	1 770 000	3 635 995	1
S30~S46	17	1 158	330 000	1 082 670	2
S47~S50	4	148	110 000	274 020	5
S51~S57	7	375	40 000	216 875	6

2.2 TWINSPAN 结果

TWINSPAN 方法把 57 个样方划分为 6 个群落类型(图 1),第 1 次分划的指示种有车前(*Plantago asiatica*)、地榆(*Sanguisorba officinalis*)、北水苦荬(*Veronica anagallis-aquatica*)、东方蓼(*Polygonum orientale*)和水蓼(*Polygonum hydropiper*),第 2 次分划的指示种有委陵菜(*Potentilla chinensis*)、鹅观草(*Roegneria kamoji*)和地榆,第 3

次分划的指示种有薄荷(*Mentha haplocalyx*)、益母草(*Leonurus artemisia*)和北水苦蕒,第4次分划的指示种有小红菊(*Dendranthema chantaii*)和薄荷,第5次分划的指示种有酸模(*Rumex acetosa*)、益母草、薄荷、水蓼和东方蓼。结合野外调查的生态情况,这6个群落类型各自受到的人为干扰程度及其生态特征如下:

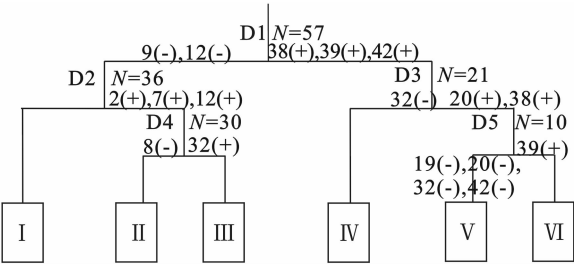


图1 五台山人为干扰下湿地植被的 TWINSpan 分类结果

Fig. 1 Classification of wetland vegetation with human disturbance by TWINSpan in Wutai Mountain

I 牡蒿群落:包括样方 3、4、8、19、36 和 37,共 6 个样方。根据样方在不同干扰级别上出现的频率看,3 个样方出现在干扰程度最少的地段,1 个样方属于干扰程度第 3 级别,2 个样方属于干扰程度第 2 级别。从地理位置上看,该群落主要分布在清水河源头地段和杨林村附近。在源头地段,海拔1 680~1 710 m,群落盖度为 50%,土壤干旱,地下水位较深。样方 36 和 37 处于杨林村附近,海拔1 580 m,群落盖度 80%。该群落结构组成简单,物种较少,主要优势种有牡蒿、益母草和灰绿藜(*Chenopodium glaucum*)等。

II 鹅观草群落:包括样方 1、2、5、6、7、16、20、21、22、52 和 53,共 11 个样方。根据样方在不同干扰级别上出现的频率看,5 个样方出现在干扰程度最少的地段,2 个样方属于干扰程度第 6 级别,3 个样方属于干扰程度第 4 级别,1 个样方属于干扰程度的第 3 级别。从地理位置上看,大部分样方处于清水河源头地段,其他样方处于窑子村到黛螺顶地段和明月池附近。在源头地段,海拔 1 710 m,群落盖度为 70%~80%。在窑子村到黛螺顶地段,海拔 1 620~1 650 m,群落盖度为 80%~85%。在明月池附近,海拔 1 500 m 左右,群落盖度为 70%~80%。该群落类型的结构相对复杂,湿地物种的丰富程度在趋于增加,优势种主要有地榆、鹅观草、兰花棘豆(*Oxytropis coerulea*)、小红菊和早熟禾(*Poa sphondylodes*)等。

III 地榆+委陵菜群落:包括样方 9、10、11、12、13、14、15、17、18、26、30、31、32、34、35、40、45、46 和

51,共 19 个样方。根据样方在不同干扰级别上出现的频率看,2 个样方出现在干扰程度最少的地段,1 个样方属于干扰程度第 6 级别,7 个样方属于干扰程度的第 3 级别,8 个样方属于干扰程度第 2 级别,1 个样方处于干扰程度最大的地段。从地理位置上看,该群落类型主要分布在碧山寺到窑子村区段和杨林停车场到圆缘宾馆区段。在碧山寺到窑子村区段,海拔 1 640~1 680 m,群落盖度为 80%~95%。在杨林停车场到圆缘宾馆区段,海拔 1 520~1 600 m,群落盖度介于 90%~100%之间。该类型群落结构复杂,物种极为丰富,优势种主要有地榆、委陵菜、野燕麦(*Avena fatua*)、老鹳草(*Geranium wilfordii*)、田页蒿(*Carum carvi*)、酸模和车前等。

IV 水蓼+东方蓼+薄荷群落包括样方 25、29、41、42、44、49、50、54、55、56 和 57,共 11 个样方。根据样方在不同干扰级别上出现的频率看,4 个样方属于干扰程度第 6 级别,2 个样方属于干扰程度的第 5 级别,3 个样方属于干扰程度第 2 级别,2 个样方处于干扰程度最大的地段。从地理位置上看,该群落类型主要分布在台怀村附近、杨林村附近、以及居士林到南云村区段。在台怀村附近,海拔 1 600 m 左右,群落盖度 90%~100%,物种组成简单。在杨林村附近,海拔 1 520~1 540 m,群落盖度 80%~95%,物种也比较简单。在居士林到南云村区段,海拔 1 480~1 520 m,群落盖度 95%~100%,物种较为丰富。在该群落类型中,主要优势种有水蓼、东方蓼、薄荷、无芒稗(*Echinochloa crusgali*)、酸模和假苇拂子茅(*Calamagrostis pseudophragmites*)等。

V 水蓼+酸模群落:包括样方 27、28、33、38、47 和 48,共 6 个样方。根据样方在不同干扰级别上出现的频率看,2 个样方属于干扰程度的第 5 级别,2 个样方属于干扰程度第 2 级别,2 个样方处于干扰程度最大的地段。从地理位置上看,该群落类型主要分布在台怀村附近、杨林村附近和圆缘宾馆附近。在台怀村附近,海拔 1 600 m,群落盖度 100%,物种组成非常简单,仅有 3 个物种。在杨林村附近,海拔 1 550~1 600 m,群落盖度 95%,物种较为丰富。在圆缘宾馆附近,海拔 1 520 m,群落盖度 80%~95%,物种组成较为丰富。在该群落类型中,主要优势种有水蓼、酸模、益母草、薄荷和北水苦蕒等。

VI 北水苦蕒+东方蓼群落:包括样方 23、24、39 和 43,共 4 个样方。根据样方在不同干扰级别上出现的频率看,2 个样方属于干扰程度第 2 级别,2 个样方处于干扰程度最大的地段。从地理位置上看,该群落类型主要分布在台怀村附近和杨林村附近。在台怀村附近,海拔 1 610~1 620 m,群落盖度

80%~90%，物种组成简单。在杨林村附近，海拔 1 520~1 540 m，群落盖度 80%~90%，物种较为少。在该群落类型中，主要优势种有北水苦荬和东方蓼等。

TWINSPAN 分类图反映了一个明显的环境梯度，即从左到右，人为干扰程度在不断增加，海拔趋于减小，相应地，湿地植被从旱中生的群落类型向湿生的群落类型逐步过渡，群落盖度也趋于增大。其中，从群落Ⅰ到群落Ⅲ，群落结构趋于复杂，物种多样性趋于增加，并达到最大值。而从群落Ⅲ到群落Ⅵ，群落结构又趋于简单，物种多样性又逐渐减小。这种分类结果说明 TWINSPAN 是一种很好的分类方法。

2.3 DCA 排序

利用 DCA 的前 2 个排序轴做出排序图(图 2)，在图中 TWINSPAN 所划分的 6 个群落类型均有各自相对分布范围和界线，说明了 DCA 较好地反映了各群落类型之间的生态关系。

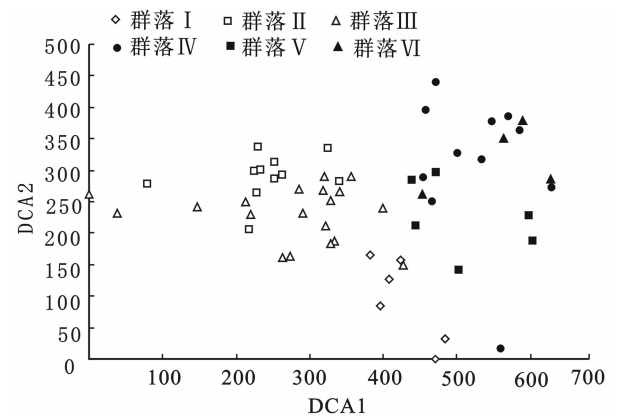


图 2 五台山人为干扰下 57 个样方的 DCA 排序

Fig. 2 DCA ordination of 57 samples with human disturbance in Wutai Mountain

结合 TWINSPAN 分类中各个群落类型的特征，从排序轴来看，第 1 轴主要反映了样方所受到的人为干扰程度，即从左到右，人为干扰程度表现出逐渐增加的趋势；第 2 轴主要反映了样方所处的海拔高度，即从下到上，海拔趋于降低。在这 2 种主要因子的作用下，湿地植被相应地发生变化，即沿对角线从左下角向右上角的方向，由旱中生的群落类型逐步向湿生群落过渡。其中，左下部分以旱中生的群落类型为主，右上部分以湿生群落为主。

3 结论与讨论

3.1 湿地植被的类型划分

五台山湿地分布范围相对较小，主要分布在清水河的河漫滩上。清水河流量具有明显的季节变化规律，夏秋季流量明显大于冬春季。湿地植被发展

的主导生态因素是水分，湿地水分充分与否，往往决定了其发育程度。湿地水分相对充分则其发育良好，如在清水河台怀村以下区段，地势较缓，河流流速降低，尤其是下游地段，水面加宽，河漫滩发育典型，水分充余，水蓼群落、北水苦荬群落等湿生型的群落出现，其建群种和优势种以中生和湿中生植物分布较多，如水蓼、酸模、东方蓼、假苇拂子茅、旋覆花等。而在清水河的上游地段，如西湾村一碧山寺区段，除夏秋季的阵雨能形成径流外，大部分时间处于断流状态，再加上地形落差大，河流流速较快，湿地植被的类型和组成与台怀村以下区段的湿地类型就有明显的区别，主要表现是形成以旱中生和中生为主的群落类型，如牡蒿群落、鹅观草群落，建群种和优势种也以中生和旱中生植物占大多数，而且群落的盖度和高度相对较小，长势较差，这充分反映了湿地水分对植被类型和组成的支配作用。本研究使用 TWINSPAN 方法对 57 个样方进行分析，得到了与客观实际比较一致的分类结果，分为 6 个群落类型，主要有牡蒿群落、鹅观草群落、地榆+委陵菜群落、水蓼+东方蓼+薄荷群落、水蓼+酸模群落、北水苦荬+东方蓼群落。TWINSPAN 能够准确迅速地每一级分类给出明确的划分，其划分原则是依据各因子的综合信息，其划分结果明显优于单纯依据一个因子划分的结果。这说明 TWINSPAN 是一种较好的数量分类方法。

3.2 湿地植被类型与地理因子的关系

主导湿地植被发展的因子是水分，在本研究中，由于试验条件所限，主要记录了与湿地环境密切相关的 2 类因子，即海拔和人为干扰活动量。其实，本研究中的海拔因素就与群落环境中的水分因素密切相关。在 TWINSPAN 分类图中，湿地植被从群落Ⅰ到群落Ⅵ的变化，不仅反映了群落环境中的水分因素逐步增多，而且也反映了样方所处的海拔也在逐渐降低。这说明在本研究中海拔因子与水分因子具有相同的生态指示意义。DCA 方法是一种只需要物种重要值数据矩阵而不需要环境因子数据矩阵就可以进行运算的方法，其排序结果需要根据物种或者群落的生态特性来识别。DCA 第 1 轴主要反映了人为干扰程度因子；DCA 第 2 轴主要反映了海拔因子。在这 2 种因子的作用下，湿地植被相应地沿对角线从旱中生的群落类型逐步向湿生群落过渡。如果要更详细地分析湿地植被与各种因子的生态关系，一方面，在基础数据上还需要测量诸多的环境因子，如土壤的含水量、pH 值、电导率等因素，另一方面，在方法选择上需要借助典范对应分析方法和除趋势典范对应分析方法等数量生态学方法^[16]。

3.3 TWINSPAN 和 DCA 方法的比较

TWINSpan 是一种用来进行植被类型划分的方法,DCA 是一种将物种或群落按照一定的生态梯度进行排序的方法,2 种方法的用途明显不同,但是它们所反映的生态意义却是相同的。这是因为两者在算法上具有共同点,即它们都是基于 RA/CA 第 1 排序轴基础上进行计算的。

参考文献:

[1] 林业部野生动物和森林植物保护司. 湿地保护与合理利用指南[M]. 北京:中国林业出版社,1994.

[2] 中国 21 世纪议程管理中心. 中国 21 世纪议程—中国 21 世纪人口、环境及发展白皮书[M]. 北京:中国环境科学出版社,1994.

[3] 陈宜瑜. 中国湿地[M]. 长春:吉林科学技术出版社,1995.

[4] 杨朝飞. 中国湿地现状及其保护对策[J]. 中国环境科学,1995,15(6):407-412.
YANG C F. Current status and conservation strategy of China's wetland[J]. China Environmental Science, 1995, 15(6): 407-412. (in Chinese)

[5] 殷康前,倪晋仁. 湿地研究综述[J]. 生态学报,1998,18(5):539-546.
YIN K Q, NI J R. Review of wetland studies[J]. Acta Ecologica Sinica, 1998, 18(5): 539-546. (in Chinese)

[6] 倪晋仁,殷康前,赵智杰. 湿地综合分类研究[J]. 自然资源学报,1998,13(3):214-220.
NI J R, YIN K Q, ZHAO Z J. Comprehensive classification for wetlands[J]. Journal of Natural Resources, 1998, 13(3): 214-220. (in Chinese)

[7] 张峰,上官铁梁. 山西湿地资源及可持续利用研究[J]. 地理研究,1999,18(4):420-427.
ZHANG F, SHANGGUAN T L. A study on the wetland resources in Shanxi and their sustainable utilization [J]. Geographical Research, 1999, 18(4): 420-427. (in Chinese)

[8] 邓立斌. 南四湖湿地生态系统服务功能价值初步研究[J]. 西北林学院学报,2011,26(3):214-219.
DENG L B. Valuation of ecosystem services in Nansi Lake wetland[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011,

26(3):214-219. (in Chinese)

[9] 芦晓峰,苏芳莉,周林飞,等. 芦苇湿地生态功能及恢复研究[J]. 西北林学院学报,2011,26(4):53-58.
LU X F, SU F L, ZHOU L F, *et al.* Ecological function and restoration of reed wetland[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26(4): 53-58. (in Chinese)

[10] 牛莉芹,程占红. 五台山风景名胜区旅游开发影响下景观特征的变化[J]. 西北林学院学报,2012,27(5):272-276.
NIU L Q, CHENG Z H. Changes of landscapes characteristics for Wutai Mountain scenic area with tourism development [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(5): 272-276. (in Chinese)

[11] 曹燕丽,崔海亭,刘鸿雁,等. 五台山高山带景观的遥感分析[J]. 地理学报,2001,56(3):297-306.
CAO Y L, CUI H T, LIU H Y, *et al.* Remote sensing analysis of alpine landscape of Wutai Mountains, Shanxi [J]. Acta Geographica Sinica, 2001, 56(3): 297-306. (in Chinese)

[12] 茹文明,张峰. 山西五台山种子植物区系分析[J]. 植物研究,2000,20(1):36-47.
RU W M, ZHANG F. Analysis on the flora of seed plants of Wutai Mountains, Shanxi [J]. Bulletin of Botanical Research, 2000, 20(1): 36-47. (in Chinese)

[13] 戴君虎,潘娜,崔海亭,等. 五台山高山带植被对气候变化的响应[J]. 第四纪研究,2005,25(2):216-223.
DAI J H, PAN Y, CUI H T, *et al.* Impacts of climate change on alpine vegetation on Wutai Mountains [J]. Quaternary Science, 2005, 25(2): 216-223. (in Chinese)

[14] 张金屯,米湘成,郑凤英,等. 五台山亚高山草甸群落生态关系分析[J]. 草地学报,1997,5(3):181-186.
ZHANG J T, MI X C, ZHENG F Y, *et al.* Analyses of ecological relations of subalpine meadow on Wutai Mountains [J]. Acta Agrestia Sinica, 1997, 5(3): 181-186. (in Chinese)

[15] 程占红,吴必虎. 五台山南台旅游活动对山地草甸的影响[J]. 干旱区资源与环境,2006,20(5):125-127.
CHENG Z H, WU B H. The impact of tourism activities on subalpine meadow of south top of Wutai Mountains [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2006, 20(5): 125-127. (in Chinese)

[16] 张金屯. 数量生态学[M]. 北京:科学出版社,2004.