

河北坝上草原东沟植物群落生态梯度的数量分析*

朱源¹ 邱扬^{1**} 傅伯杰² 张英¹

(¹北京师范大学资源与环境科学系,北京 100875;²中国科学院生态环境研究中心系统生态开放实验室,北京 100085)

【摘要】 运用 DCCA 排序轴分类,将河北坝上草原东沟的植物群落划分为 8 类,效果较好.排序图表达了植物群落的环境梯度、结构梯度和人为干扰.第 1 轴反映了群落在海拔和坡度方面的空间梯度,第 2 轴反映了群落的坡向分异格局,两轴综合反映了群落沿水分梯度的空间分异.群落的层片构成和各层片物种组成也表现出相应的空间分布格局.白桦局限在阴坡高海拔陡峭处.阴坡灌木与草本层片优势种分别为金露梅与细叶苔草,阳坡则为蒿类和冰草.阳坡群落各层片优势种还存在海拔和坡度分布格局.另外,放牧、耕作和伐树等人为干扰对群落时空分布也有显著影响.一般来说,生境条件较好的群落,人为干扰较严重.

关键词 坝上草原 东沟 DCCA 排序 排序轴分类 梯度分析 人为干扰

文章编号 1001-9332(2004)05-0799-04 **中图分类号** Q948 **文献标识码** A

Numerical analysis on ecological gradient of plant communities in Donggou catchment, Hebei Province, China. ZHU Yuan¹, QIU Yang¹, FU Bojie², ZHANG Ying¹ (¹Department of Resources and Environmental Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; ²Department of Systems Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2004, 15(5): 799~802.

Based on DCCA-OAC, the plant communities in Donggou catchment, Bashang region, Hebei Province, were classified into 8 types of community. The environmental gradient, structural gradient and human-disturbance could be well expressed in the ordination plot. Axis 1 reflected the spatial pattern of plant communities along the gradient of altitude and slope, while axis 2 showed the plant community distribution on different aspects. The plant communities showed a distribution gradient along moisture gradient as shown by the combination of both axes of DCCA. The communities exhibited different trends in the synusia and species composition. *Betula platyphylla* was only existed on the high and steep northern aspect. The dominate species of shrub and herbaceous synusia on northern aspect were *Potentilla fruticosa* and *Carex rigescens* respectively, while on southern aspect were *Artemisia* spp. and *Agropyron cristatum*. The distribution along altitude and slope also existed among dominate species of each synusia on southern aspect. In addition, human disturbance, including grazing, farming and logging, had significant influence on the temporal and spatial distribution of communities. In general, the better the habitat, the more intensive the human disturbance.

Key words Bashang region, Donggou, DCCA, OAC, Gradient analysis, Human disturbance.

1 引言

排序和分类是研究植物群落生态关系的重要数量方法^[1,15,19].排序也叫梯度分析(gradient analysis),主要用于分析群落之间的连续性.分类则适用于分析群落之间的间断性.排序与分类是互相补充的,并能以各种组合方式,更有效地分析和说明植物群落之间及其与环境的相互关系.除趋势典范对应分析(detrended canonical correspondence analysis, DCCA)是一种较为成熟的排序方法,它不仅能同时结合植被因子和环境因子,还能消除“弓形效应”,已有较多的应用.排序轴分类法(ordination axes clustering, OAC)是一种以排序轴为基础的分类方法. DCCA 排序轴分类正是这两种方法的结合.梯度分析能反映群落之间的差异性和过渡性,有助于推测

群落的过去,了解群落的现状,以及预测群落的未来^[10~12].

2 研究地区与研究方法

2.1 研究地区自然概况

研究区域位于河北省丰宁县大滩镇营坊东沟自然村,气温低,雨量少,风速大,蒸发强,冰雹霜冻严重,因此对当地的植物生长有极大的限制.该区植被以草原为主,土壤以栗钙土为主^[7-9].

2.2 取样与调查

2002年7月,我们选择了两山夹一沟(东沟)为研究地,沿南北向,间隔 30 m,均匀取样,样地大小以最小面积曲线

* 国家自然科学基金项目(40201003)、国家自然科学基金重大项目(90102018)、北京师范大学本科生科学研究与创新活动项目及地理学人才培养基地基金资助项目.

** 通讯联系人.

2002-10-12 收稿,2003-02-28 接受.

法得到.共调查了57个样地,其中草本样地(1 m×1 m)47个,灌丛样地(2 m×2 m)5个,乔木样地(10 m×10 m)5个.在乔木样地的4个角和中心,分别设2 m×2 m样地5个,调查下层植被.

调查样地中的全部物种,分层片(乔木层片、灌木层片和草本层片)记载物种的高度、盖度、多度等指标,同时记载样地的环境指标.草原是当地地带性植被,木本植物很少,故将具灌木或半灌木性质的植物划到灌木或小半灌木层片^[2,5,13,22](简称“灌木层片”).

2.3 数据预处理

分层片计算样地中每个物种的相对密度、相对多度和相对高度.然后,分别计算乔木、灌木和草本的重要值.对坡向的原始数值(正北为起点顺时针旋转的角度)进行处理,分别为 $1 + \sin(\text{坡向度})$ 和 $1 + \cos(\text{坡向度})$ (可见两者的值都是属于 $[0, 2]$).由此可见, $1 + \sin(\text{坡向度})$ 的值越大,表明越朝东; $1 + \cos(\text{坡向度})$ 的值越大,表明越朝北.坡形分7级,用0~6的数值表示,0表示横向和纵向均是凹,6表示横向和纵向均是凸.由此可见,数值越大,坡形越凸,水分条件越差.

2.4 DCCA 排序及其排序轴分类法(OAC)

DCCA 需要一个植被数据矩阵和一个环境因子数据矩阵.植被数据矩阵为 $P \times N$ 维的物种重要值矩阵,其中 P 为植物的种数(136种), N 为样地数(57个),环境因子有海拔(m)、坡度(°)、坡形、 $1 + \sin(\text{坡向度})$ 和 $1 + \cos(\text{坡向度})$.本文运用国际通用软件CANOCO进行DCCA排序^[20,21].为了提高分类的准确性,采用“先定性,再定量”的办法,将所有样地划分为乔木、灌丛、农田和草本群落.乔木、灌丛和农田3种群落类型相当清楚,不需再向下划分.草本群落内部异质性较大,需要用排序轴分类法^[12,17]进一步划分.先对第1轴进行划分,将草本群落分为左右两部分,在“中性带”有4个较邻近的样地,独立成一种群落类型.再对第2轴进行划分.一共得到5种草本群落类型.

3 结果与分析

3.1 DCCA 排序轴分类与群落类型

通过DCCA排序轴分类,共得到8种群落类型.群落的命名主要考虑群落的优势种或建群种,命名法则参考《中国植被》^[14].8种群落类型(群丛)如下:群落I₁,猪毛菜+狗尾草-(金露梅)群落(Ass. *Salsola collina* + *Setaria viridis*-*Potentilla fruticosa*),简称猪毛菜群落(*Salsola collina* Comm.),包含样地9、11~13;群落I₂,冰草+猪毛菜-茵陈蒿群落(Ass. *Agropyron cristatum* + *Salsola collina*-*Artemisia capillaris*),简称冰草-茵陈蒿群落(*Agropyron cristatum*-*Artemisia capillaris* Comm.),包含样地3~8、10、14、26、38;群落I₃,冰草+克氏针茅-冷蒿群落(Ass. *Agropyron cristatum* + *Stipa krylovii*-*Artemisia frigida*),简称冰草-冷蒿群落(*Agropyron cristatum*-*Artemisia frigida* Comm.),包含

样地15、16、18、19;群落I₄,冰草+克氏针茅-铁杆蒿群落(Ass. *Agropyron cristatum* + *Stipa krylovii*-*Artemisia sacrorum*),简称冰草-铁杆蒿群落(*Agropyron cristatum*-*Artemisia sacrorum* Comm.),包含样地17、20~23;群落I₅,细叶苔草+狼毒-金露梅+百里香群落(Ass. *Carex rigescens* + *Stellera chamaejasme*-*Potentilla fruticosa* + *Thymus mongolica*),简称细叶苔草群落(*Carex rigescens* Comm.),包含样地24、46~50、56、57;群落II,散穗早熟禾+灰菜-柳树灌木群落(Ass. *Poa subfastigiata* Trin. + *Chenopodium album*-*Salix* spp.),简称柳树灌丛(*Salix* shrub),包含样地1、2、25;群落III,莠麦+荞麦-(金露梅)群落(Ass. *Avena nuda* + *Fagopyrum esculentum*-*Potentilla fruticosa*),简称农田群落(Field),包含样地27~37、39~45;群落IV,细叶苔草-金露梅-白桦群落(Ass. *Carex rigescens*-*Potentilla fruticosa*-*Betula platyphylla*),简称白桦林(*Betula platyphylla* forest),包含样地51~55.

各群落类型的环境与结构特征可见表1.2.草本植物群落为该地景观的本底.该地的植物群落类型多样,空间分异明显,主要由群落环境、群落结构和外部干扰共同作用形成.

表1 群落的环境特征

Table 1 Environmental characteristics of communities

类型 Type	平均海拔 Average altitude (m)	平均坡度 Average slope (°)	平均坡形 Average curvature	平均(1+sin (坡向度)) Average 1+sin(asp)	平均(1+cos (坡向度)) Average 1+cos(asp)
I ₁	1627.50 ^A	9.75 ^E	4.25 ^{HI}	1.22 ^{JKL}	0.03 ^N
I ₂	1607.70 ^{AB}	15.40 ^F	3.10 ^H	1.00 ^{JKL}	0.22 ^N
I ₃	1660.75 ^C	19.50 ^{FG}	4.00 ^{HI}	0.73 ^{JM}	0.20 ^N
I ₄	1685.40 ^D	21.40 ^G	4.40 ^I	1.42 ^K	0.42 ^N
I ₅	1654.50 ^C	16.75 ^{FG}	3.13 ^{HI}	1.17 ^{JKL}	1.73 ^O
II	1589.00 ^B	4.07 ^E	3.67 ^{HI}	0.34 ^M	0.58 ^N
III	1603.61 ^B	5.07 ^E	3.56 ^{HI}	0.97 ^{IL}	1.67 ^O
IV	1673.00 ^{CD}	20.40 ^G	2.80 ^H	1.32 ^{KL}	1.95 ^O
F	24.776 ^{**}	16.477 ^{**}	1.387	2.560 [*]	16.925 ^{**}

表中字母表示不同群落类型之间的多重比较结果.两两之间若有一个字母相同,表示两者差异不显著($P > 0.05$). Alphabets represent the results from multiple comparison between different community types. If there is the same alphabet between two types, the difference between these two types is not significant ($P > 0.05$). 下同 The same below.

3.2 群落的环境梯度分析

DCCA排序轴同时结合了植被因子和环境因子.图1中箭头代表各个环境因子,箭头所处的象限代表环境因子和排序轴的正负相关性;箭头连线的长度表示环境因子与排序轴的相关性大小.

从图1来看,第1轴与海拔和坡度表现出较显著的正相关(海拔与坡度成显著的正相关),与 $1 + \sin(\text{坡向度})$ 和 $1 + \cos(\text{坡向度})$ 也成正相关,但不显著.沿第1轴,样地排列呈现朝向陡峭(干燥)和高海

表 2 群落主要物种的重要值

Table 2 Importance values of main species in communities

物种 Species	群落 I ₁ Comm. I ₁	群落 I ₂ Comm. I ₂	群落 I ₃ Comm. I ₃	群落 I ₄ Comm. I ₄	群落 I ₅ Comm. I ₅	群落 II Comm. II	群落 III Comm. III	群落 IV Comm. IV
样地数 No. of plots	4	10	4	5	8	3	18	5
白桦 <i>Betula platyphylla</i>								1.000
柳灌丛 <i>Salix</i> spp.						1.000		
金露梅 <i>Potentilla fruticosa</i>	0.250				0.377		0.001	0.262
茵陈蒿 <i>Artemisia capillaris</i>		0.516						
冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>		0.100	0.678	0.055				0.058
铁杆蒿 <i>Artemisia sacrorum</i>		0.072	0.598					
农作物 Crops	0.066						0.184	
猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	0.274	0.128	0.185	0.069	0.070	0.073	0.017	0.004
冰草 <i>Agropyron cristatum</i>	0.030	0.198	0.348	0.199				
克氏针茅 <i>Stipa krylovii</i>		0.009	0.218	0.154	0.011		0.010	
细叶苔草 <i>Carex rigescens</i>		0.012		0.063	0.228			0.160

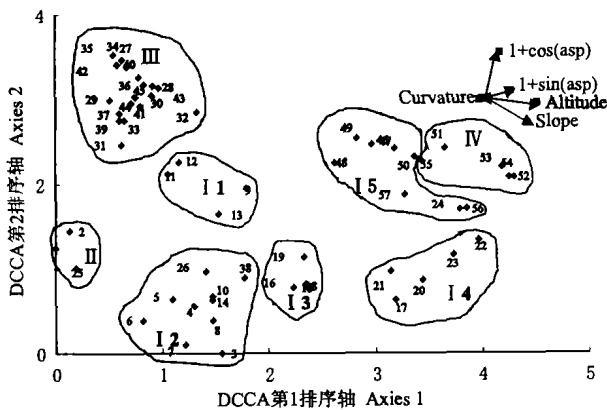


图 1 DCCA 二维排序图
Fig. 1 DCCA ordination plot of 57 samples.

拔(干燥)方向的一个水分梯度. 第 2 轴与 $1 + \cos(\text{坡向度})$ (朝北的程度, 越朝北越冷湿)表现出显著的正相关, 与其他因子的相关性都较小.

从群落类型来看(图 1、2), 各群落类型在排序图上的分布有规律. 排序图可分为上、中、下 3 部分, 反映群落的坡向分异格局. 上部的农田群落 III、细叶苔草群落 I₅ 和白桦林 IV 分布在阴坡, 平均 $1 + \cos(\text{坡向度})$ 均大于 1.5(表 1). 下部的猪毛菜群落 I₁、冰草-茵陈蒿群落 I₂、冰草-冷蒿群落 I₃ 和冰草-铁杆蒿群落 I₄ 主要分布在阳坡, 平均 $1 + \cos(\text{坡向度})$ 均小于 0.5(表 1). 中部柳树灌丛 II 处在阴阳坡的分界线上. 沿第 1 轴, 从左至右, 随着海拔和坡度增大, 上半部(阴坡)群落 III、I₅ 和 IV 依次排列; 下半部(阳坡)群落 I₂、I₃ 和 I₄ 依次排列. 这主要反映了群落随海拔和坡度增大的梯度变化格局(表 1). 由此可见, 沿第 1 轴, 海拔和坡度增大, 水分条件变差; 沿第 2 轴, 坡向由阳坡转为阴坡, 水分条件变好. 综合两个排序轴可知, 水分梯度为该地影响植物群落分布的综合生态梯度.

3.3 群落的结构梯度分析

从群落的层片构成来看(表 2), 白桦林 3 个层

片(乔灌草)齐全, 每个层片的物种数多且盖度较大, 反映了森林群落结构和功能的复杂性. 草本植物群落为该地的主要群落类型. 群落类型和分布的生境多样, 草本层片的盖度较大, 物种数也较多, 表明草本群落结构和功能也较复杂. 农田群落为人工群落, 层次单一, 物种组成简单(以农作物为主, 其次为田间杂草). 柳树灌丛分布在河漫滩的特殊生境上, 物种组成与其它群落相差较大, 以喜湿的植物物种为主. 群落结构梯度主要表现为物种组成的差异, 这主要受生境特征和人为干扰的共同影响.

从群落优势种来看(图 2 和表 2), 白桦局限在阴坡上部, 柳树局限在沟谷两侧, 农作物主要分布在阴坡中下部平缓处. 从坡向分异来看(图 3a、b), 金露梅为阴坡灌木层片优势种, 阳坡则为蒿类; 细叶苔草为阴坡草本层片优势种, 阳坡则为冰草. 从海拔和坡度梯度来看, 随着海拔和坡度增大, 阳坡灌木层片优势种依次为茵陈蒿、冷蒿和铁杆蒿(图 3c); 阳坡草本层片次优势种依次为猪毛菜和克氏针茅(图 3d).

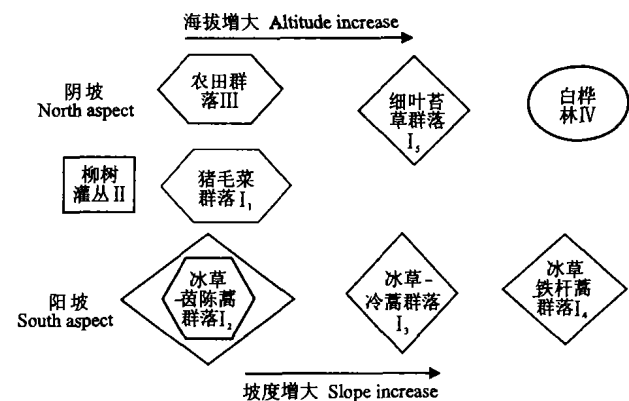


图 2 植物群落时空分布图

Fig. 2 Temporal and spatial distribution of plant communities.

II. *Salix* shrub, III. Field, IV. *Betula platyphylla* forest, I₁. *Salsola collina*, I₂. *Agropyron cristatum*-*Artemisia capillari* Comm, I₃. *Agropyron cristatum*-*Artemisia sacrorum* Comm, I₄. *Agropyron cristatum*-*Artemisia sacrorum* Comm, I₅. *Carex rigescens* Comm.

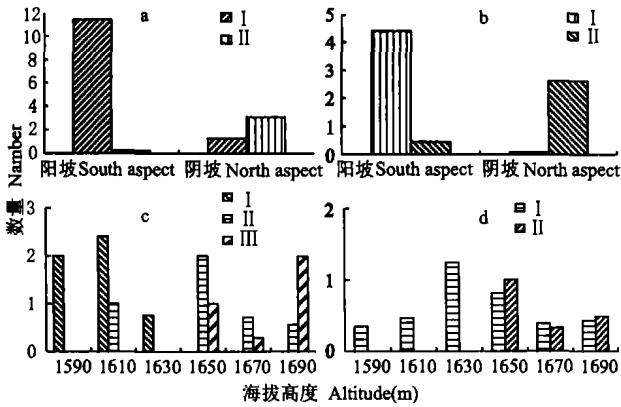


图3 主要物种空间分布图

Fig. 3 Spatial distribution of dominate species.

y轴表示物种重要值 Axis y represents importance value of dominate species. a) I. 蒿类 *Artemisia* spp., II. 金露梅 *Potentilla fruticosa*, b) I. 冰草 *Agropyron cristatum*, II. 细叶苔草 *Carex rigescens*, c) I. 茵陈蒿 *Artemisia capillaris*, II. 冷蒿 *Artemisia frigida*, III. 铁杆蒿 *Artemisia sacrorum*, d) I. 猪毛菜 *Salsala collina*, II. 克氏针茅 *Stipa krylovii*.

3.4 群落的人为干扰分析

由于多年的人为干扰,整个景观的植被都表现出退化的特征(图2)。一般来说,生境条件(主要是水分条件)较好的地段,人为干扰较严重。

放牧主要影响草本植物群落(图2,菱形,图形大小表示干扰强度)。冰草-铁杆蒿群落主要分布在高海拔陡峭的阳坡,水分条件最差,放牧干扰也最弱。在阳坡,随海拔和坡度的增大,灌木层片的优势种分别是茵陈蒿、冷蒿和铁杆蒿。茵陈蒿反映干扰开始不久的情况^[3,4];冷蒿反映放牧干扰后,“偏途演替”较稳定的状态^[5,8,18];铁杆蒿反映放牧干扰后恢复较长时间的状态^[16]。在阴坡的细叶苔草群落中指示草原退化的狼毒(*Stellera Chamaejasme*)^[8,9]优势度较高。农田群落为人工群落,耕作干扰最严重(图2,六边形)。猪毛菜群落与冰草-茵陈蒿群落表现出弃耕地^[6]特征。

调查发现,现存白桦林周围,有白桦树的伐桩;东沟深处人类活动较少的地段,白桦林分布的下限更低。细叶苔草群落分布在现存白桦林周围,两群落都分布在阴坡的较高海拔地区陡峭处(表1),且下层植被组成相似(表2)。据此推测,采伐造成白桦林萎缩,细叶苔草群落扩展(图2,圆形)。另外,该地区各种人为干扰方式相互作用,如弃耕恢复过程中,尽管耕作干扰减弱,但放牧干扰可能增强。

参考文献

1 Guan W-B(关文彬), Zeng D-H(曾德慧), Fan Z-P(范志平), et al. 2001. Ecological studies on relationship between the process of desertification and vegetation dynamics in the west of northeast China: Vegetation ordination. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 12(5): 687~691(in Chinese)

- 2 Hebei Florae Redaction Committee(河北植物志编辑委员会). 1986. Flora Hebeiensis. Hebei; Hebei Science and Technology Press. (in Chinese)
- 3 Hou F-J(侯扶江), Xiao J-Y(肖金玉), Nan Z-B(南志标). 2002. Eco-restoration of abandoned farmland in the Loess Plateau. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 13(8): 923~929(in Chinese)
- 4 Jordan WR, Gilpin ME, Aber JD. 1987. Restoration Ecology. Cambridge: Cambridge University Press.
- 5 Li B(李博), Yong S-P(雍世鹏), Li Y(李瑶). 1990. Chinese Grassland. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- 6 Li J(李进), Zhao X(赵雪), Baoyan T-G-T(宝音陶格涛). 1994. Successional characteristics of vegetation on old-field and effects of environment factors on the vegetation. *J Des Res* (中国沙漠), 14(4): 15~22(in Chinese)
- 7 Liu L(刘濂). 1965. Vegetative Surveys of Bashang Grassland in Hebei Province. *Acta Phytocol Geobot Sin* (植物生态学与地植物丛刊), 3(2): 307~316(in Chinese)
- 8 Liu L(刘濂). 1982. Resource and its utilization of grassland vegetation on Bashang Grassland in Hebei Province from the perspective of ecosystem. *Nat Resour* (自然资源), (2): 64~72(in Chinese)
- 9 Liu L(刘濂). 1985. Characteristics of grassland resource and its transformation and utilization on Bashang Grassland in Hebei Province. *Geogr Land Res* (地理学与国土研究), 1(1): 13~18(in Chinese)
- 10 Qian H(钱宏). 1990. Numerical classification and ordination of plant communities on the alpine tundra of Mt. Changbai. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 1(3): 254~263(in Chinese)
- 11 Qiu Y(邱扬), Zhang J-T(张金屯). 1999. Quantitative analysis to the gradients of space and time of natural plant communities in Bashuigou of the Guandi Mountain. *Chin J Appl Environ Biol* (应用与环境生物学报), 5(2): 113~120(in Chinese)
- 12 Qiu Y(邱扬), Zhang J-T(张金屯). 2000. The ordination axes clustering based on detrended canonical correspondence analysis ordination and its application to the analysis of the ecological gradients of plant communities. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 20(2): 199~206(in Chinese)
- 13 The Integrative Investigation Team for Inner Mongolia and Ningxia organized by the Chinese Academy of Sciences(中国科学院内蒙古宁夏综合考察队). 1985. Vegetation of Inner Mongolia. Beijing: Science Press. 467~644(in Chinese)
- 14 Vegetation Sinicae Agendae Edita(中国植被编辑委员会). 1980. Vegetation Sinicae. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- 15 Wang B-X(王伯荪). 1987. Plant Community. Beijing: High Education Press. (in Chinese)
- 16 Wang G-L(王国梁), Liu G-B(刘国彬). 2002. Study on the interspecific association of the *Artemisia sacrorum* community in loess hilly region. *Grassland Chin* (中国草地), 24(3): 1~6(in Chinese)
- 17 Wei Y-L(魏玉莲), Ji L-Z(姬兰柱), Wang M(王淼), et al. 2002. CCA of water beetles' distribution and environmental factors in lentic samples of North Changbai Mountain. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 13(1): 91~94(in Chinese)
- 18 Yang C(杨持), Baoyan T-G-T(宝音陶格涛), Li L(李良). 2001. Variation of module of *Artemisia frigida* population under different grazing intensities. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 21(3): 405~408(in Chinese)
- 19 Zhang J-T(张金屯). 1992. Fuzzy set ordination and its applications. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 12(4): 325~331(in Chinese)
- 20 Zhang J-T(张金屯). 1994. Ordination axes partitioning and its applications. *Chin J Ecol* (生态学杂志), 13(3): 73~75(in Chinese)
- 21 Zhang J-T(张金屯). 1995. Ecological Method of Vegetational Quantity. Beijing: China Science and Technology Press. (in Chinese)
- 22 Zhang Q(张强), Zhao X(赵雪), Zhao H-L(赵哈林). 1998. Deserts Areas of China. Beijing: Meteorological Press. (in Chinese)

作者简介 朱源,男,1983年出生,就读于北京师范大学资源与环境科学系。E-mail: qiuyang69@263.net