

高寒草地群落物种多样性与土壤环境因子的关系

高国刚^{1,2}, 胡玉昆¹, 李凯辉¹, 肖洪亮³, 公延明^{1,2}, 尹伟^{1,2}

(1. 中国科学院 新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039;

3. 乌鲁木齐市 达坂城区 草原监理所, 新疆 乌鲁木齐 830039)

摘要: 对新疆巴音布鲁克高寒草地植物群落 4 个物种多样性指数和 14 个土壤指标进行回归分析, 结果表明, 全盐, HCO_3^- , Ca^{2+} , 速效 N, pH 值, 土壤含水量与物种多样性有显著相关关系 ($P < 0.05$)。全盐, HCO_3^- , Ca^{2+} , 速效 N 和土壤含水量与丰富度指数的最好拟合为二项式, pH 值与丰富度指数的最好拟合为直线回归, 全盐, Ca^{2+} 和 pH 值与 Shannon—Wiener 指数的最好拟合为二项式, 土壤含水量与 Shannon—Wiener 指数的最好拟合为直线回归, 这表明物种多样性与土壤环境因子的关系并不是简单的正相关或负相关关系。

关键词: 高寒草地; 海拔梯度; 物种多样性; 土壤环境因子

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2009)03—0118—05

中图分类号: Q948.113

Relationships Between Species Diversity of Plant Communities and Soil Factors in Alpine-cold Grassland

GAO Guo-gang^{1,2}, HU Yu-kun¹, LI Kai-hui¹, XIAO Hong-Liang³, GONG Yan-ming^{1,2}, YIN Wei^{1,2}

(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi,

Xinjiang 830011, China; 2. The Graduate School of the Chinese Academy of Sciences,

Beijing 100039, China; 3. Xinjiang Department of Steppe Work Management, Urumqi, Xinjiang 830039, China)

Abstract: The plant communities' species diversity of alpine-cold grassland in different elevation gradients was studied. Regression analysis was used to study the relationships between 4 diversity indexes and 14 soil factors. Results indicated that total salt content, HCO_3^- , Ca^{2+} , available nitrogen, pH, and soil moisture content were correlative to species diversity significantly ($P < 0.05$). The relationship among diversity, total salt content, HCO_3^- , Ca^{2+} , available nitrogen, and soil moisture content was best fitted by binomial model. The relationship between pH and richness index was best fitted by linear model. The relationship among Shannon—Wiener index, the total salt content, Ca^{2+} , and pH was best fitted by binomial model. The relationship between soil moisture content and Shannon—Wiener index was best fitted by linear model. The results showed that diversity did not have a simple negative or positive relationship with the soil factors.

Keywords: alpine-cold grassland; elevation gradients; species diversity; soil factor

植被与环境的关系一直是生态学研究的重点问题。在近些年的生态系统功能研究中, 自然状态下的草地生态系统越来越受到关注^[1]。自然群落中的物种组成是物种对环境长期适应的结果^[2]。土壤作为植物生长的重要物质基础, 其物理、化学性质的不同, 土壤母质的不同, 都可能影响生长于其中的植物^[3], 从而影响到物种多样性。

本文以天山中部的巴音布鲁克高寒草地为研究对象。巴音布鲁克高寒草地是开都河上游的源流区, 这里发育的高寒草原、高寒草甸以及沼泽化高寒草甸等植被类型在水源涵养和水土保持方面发挥着重要作用, 在南疆塔里木河流域的生态安全中占有重要地位^[4]。目前有关天山植被与环境梯度分析的研究只是零星报道, 且侧重于大尺度条件下环境因子对山地

收稿日期: 2008-10-09

修回日期: 2008-11-24

基金项目: 中国科学院新疆生态与地理研究所前沿领域项目(20049016); 全球环境基金新疆草地资助项目(GEF)

作者简介: 高国刚(1981—), 男(汉族), 河北省石家庄市人, 硕士, 主要从事植物生态学和恢复生态学研究。E-mail: gaoguogang_81@163.com。

通信作者: 胡玉昆(1957—), 男(汉族), 山东省淄博市人, 研究员, 长期从事草地生态学研究。E-mail: huyk@ms.xjb.ac.cn。

植被的影响^[5],而在小尺度上,土壤环境因子对植物群落和物种的影响如何,仍需进一步研究。本文对土壤环境因子与群落多样性关系做了一些深入研究,在此基础上探讨了影响群落多样性的主要土壤环境因子。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

巴音布鲁克草场位于中天山山脉南坡中部,地处 $82^{\circ}27' - 86^{\circ}17' E$,北纬 $42^{\circ}18' - 43^{\circ}34' N$ 。由大尤尔都斯盆地、小尤尔都斯盆地和丘陵草场组成,四周环山围绕。整个地域东西长270 km,南北宽136 km,总面积为 $2.38 \times 10^7 \text{ hm}^2$,海拔高度在2400~3600 m之间。年平均气温 $-4.8^{\circ}C$,1月最低气温可达 $-48^{\circ}C$ 。年降水量276.2 mm,年蒸发量高达1247.5 mm,全年积雪日达150~180 d,无绝对无霜期,属典型的高寒气候。该区域拥有植物种类262种,分属50科160属。发育的草地类型有高寒草原、高寒草甸化草原、高寒草原化草甸、高寒草甸、山地灌丛草甸和沼泽化高寒草甸。

1.2 样地设置

在巴音布鲁克高寒草地大尤尔都斯盆地内,以盆地底部的中国科学院巴音布鲁克草原生态研究站(海拔2460 m)为基点,自西向东设置样带,样带内按照海拔每升高100 m设置一块样地,共9块样地,样地为 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$,最高到达海拔3260 m。

随着海拔的升高,草地类型依次为紫花针茅(*Stipa purpurea*) + 羊茅(*Festuca ovina*)高寒草原,羊茅 + 紫花针茅高寒草原,羊茅 + 紫花针茅高寒草原,紫花针茅 + 羊茅高寒草原,线叶嵩草(*Kobresia capillifolia*) + 紫花针茅高寒草原化草甸、细果苔草(*Carex stenocarpa*) + 线叶嵩草高寒草甸,天山羽衣草(*Alchemilla tianschanica*) + 细果苔草高寒草甸,线叶嵩草 + 细果苔草高寒草甸,线叶嵩草 + 珠芽蓼(*Polygonum viviparum*)高寒草甸。用GPS测定每个样地经度、纬度及海拔高度。

1.3 取样

样地内沿2条对角线设置 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 样方5个,记录样方内出现的植物种类。目测法测定物种盖度,卷尺测量每个物种的垂直高度,在样地内随机抛掷频度圈10次,记录每次出现的物种数,用于计算频度。调查于2005年7月进行。

在每个样方中心,除去腐殖质层在大约0~30 cm土层中取土样,混合均匀用四分法取部分土样,在实验室分析测定有机质、电导率、pH值、全盐、速效

N、速效P、速效K、硫酸根、碳酸氢根、氯离子、镁离子、钙离子12个土壤环境因子。

土壤容重采用环刀法于7月测定,按5 cm为一层,共6层30 cm深,每个样地重复3次取样。土壤含水量测定分别在7、8月,在每个样地内随机选取3个样点采集土壤样品。每个样点土壤剖面分成5层,即0~10,10~20,20~30,30~40和40~50 cm,每层取一定量土壤放入铝盒称其湿重(W_1),在 $105^{\circ}C$ 下连续烘干至恒重(W),称其干重,取其平均值用于数据分析,土壤含水量(SWC)计算公式:

$$SWC = [(W_1 - W) / W] \times 100\% \quad (1)$$

1.4 数据处理

(1) Pielou, Whittaker等学者建议采用相对盖度、重要值和生物量等作为多样性测度的指标,本文的物种多样性全部采用重要值。

重要值 = (相对盖度 +

$$\text{相对高度} + \text{相对频度}) / 300 \quad (2)$$

(2) 物种多样性测定

$$\text{①丰富度指数: } R = S \quad (3)$$

②综合多样性指数

$$\text{Simpson 指数 } D = \sum_{i=1}^s \left(\frac{N_i}{N} \right)^2 \quad (i = 1, 2, \dots, s) \quad (4)$$

Shannon - Wiener 指数

$$H = - \sum_{i=1}^s (P_i \ln P_i) \quad (5)$$

$$\text{③均匀度指数: } J = (- \sum P_i \ln P_i) / \ln s \quad (6)$$

式中: N_i ——种 i 相对重要值; N ——群落物种的重要值之和; s ——群落物种数。

(3) 群落相似性指数

$$\text{Sorensen 相似性指数: } C_s = 2c / (a + b) \quad (7)$$

式中: c ——两样地或群落共有的物种数; a, b ——分别为样地 A 和 B 的物种数。

2 结果分析

2.1 不同海拔梯度主要植物种类组成及群落相似性

2.1.1 不同海拔梯度主要种类组成

从表1中可以看出,高寒草原和草甸的主要植物种类明显不同,在高寒草原和草原化草甸形成明显的分化。高寒草原上的主要植物种包括羊茅、紫花针茅、天山赖草、多裂委陵菜,草甸上的主要植物种为细果苔草、线叶嵩草、珠芽蓼。随着海拔梯度的升高,高寒草原各海拔梯度重要值在0.1以上的物种数先增加后减少。

高寒草甸表现较为稳定,在海拔最高的线叶嵩草 + 珠芽蓼高寒草甸最多,达到5种。细果苔草在羊茅 + 紫花针茅高寒草原到线叶嵩草 + 珠芽蓼高寒草甸

很大的海拔跨度内重要值都在 0.2 以上。整个海拔梯度上,除天山羽衣草+ 细果苔草高寒草甸和线叶蒿草+ 细果苔草高寒草甸的总物种数为 17 种和 16 种较高外,其它群落的物种数相差很小,都在 12 左右,上下相差仅为 1 种。

2.1.2 不同海拔梯度草地群落相似性 表 2 中相似性指数的计算结果表明,每一群落总是与其相邻

海拔梯度的群落具有最高的相似性,相似性指数都在 0.65 以上,与群落海拔相差越大相似性指数越小。

相邻海拔间的相似性指数较大,表明海拔梯度上相邻群落的植物种类增加和减小的幅度较小,但是相差较大时群落的植物种类差别就越来越明显,群落类型也就发生根本性的变化,依次为高寒草原、高寒草原化草甸、高寒草甸。

表 1 不同海拔梯度主要植物种类组成与重要值变化

海拔梯度	1	2	3	4	5	6	7	8	9
羊茅(<i>Festuca ovina</i>)	0.11	0.18	0.16	0.15	—	—	—	—	—
紫花针茅(<i>Stipa purpurea</i>)	0.24	—	0.12	0.34	—	—	—	—	—
天山赖草(<i>Leymus tianschanicus</i>)	0.20	0.14	0.13	—	—	—	—	—	—
多裂委陵菜(<i>Potentilla multifida</i>)	0.11	0.19	0.11	0.10	—	—	—	—	—
冰草(<i>Agropyron cristatum</i>)	—	0.17	—	—	—	—	—	—	—
洽草(<i>Koeleria cristata</i>)	—	0.17	—	—	—	—	—	—	—
黄花棘豆(<i>Oxytropis ochrantha</i>)	—	—	0.12	—	—	—	—	—	—
细果苔草(<i>Carex stenocarpa</i>)	—	—	0.27	—	0.33	0.26	0.24	0.23	0.20
线叶蒿草(<i>Kobresia capillifolia</i>)	—	—	—	—	0.24	0.17	—	0.24	0.20
珠芽蓼(<i>Polygonum viviparum</i>)	—	—	—	—	—	0.11	—	0.14	0.17
矮火绒草(<i>Leontopodium nanum</i>)	—	—	—	—	—	—	—	—	0.13
轮叶马先蒿(<i>Pedicularis verticillata</i>)	—	—	—	—	—	—	—	—	0.11
天山羽衣草(<i>Alchemilla tianschanica</i>)	—	—	—	—	—	—	0.21	—	—
物种数/总物种数	12	11	11	12	13	13	17	16	11

表 2 不同海拔梯度草地群落相似性

海拔梯度	1	2	3	4	5	6	7	8
2	0.727 3							
3	0.695 7	0.666 7						
4	0.666 7	0.636 4	0.695 7					
5	0.640 0	0.608 7	0.583 3	0.720 0				
6	0.480 0	0.347 8	0.333 3	0.480 0	0.692 3			
7	0.275 9	0.370 4	0.285 7	0.444 4	0.533 3	0.689 7		
8	0.285 7	0.230 8	0.222 2	0.357 1	0.482 8	0.533 3	0.848 5	
9	0.347 8	0.190 5	0.272 7	0.347 8	0.500 0	0.666 7	0.571 4	0.740 7

2.2 多样性指数与土壤环境因子的相关分析

2.2.1 多样性指数与土壤环境因子的相关分析 表 3 是 4 个多样性指数与 14 个土壤环境因子的相关系数。丰富度指数与全盐, HCO_3^- , Ca^{2+} , pH 值有显著负相关关系($P < 0.05$),其中与 pH 为极显著相关关系($P < 0.01$),与速效 N, 土壤含水量有显著正相关关系($P < 0.05$); Shannon—Wiener 指数与全盐, Ca^{2+} , pH 具有负相关关系($P < 0.05$),其中与 Ca^{2+} 为极显著相关关系($P < 0.01$),与土壤含水量为显著正相关关系($P < 0.05$); Simpson 指数和均匀度指数

与所有环境因子之间的关系均未达到显著水平。分析表明,海拔梯度上盐分因子对多样性指数具有重要影响,而养分因子(除速效 N 外)与多样性指数均无显著性相关关系。

2.2.2 群落多样性与土壤环境因子的回归分析

(1) 单因子回归分析。从图 1 中可以看出,全盐, HCO_3^- , Ca^{2+} , 速效 N 和土壤含水量与丰富度指数的最好拟合为二项式, pH 值与丰富度指数的最好拟合为直线回归;从图 2 中可以看出,全盐, Ca^{2+} 和 pH 值与 Shannon—Wiener 指数的最好拟合为二项

式, 土壤含水量与 Shannon—Wiener 指数的最好拟合为直线回归, 表明物种多样性与土壤环境因子的关系并不是简单的正相关或负相关关系。

表 3 多样性指数与土壤环境因子的相关系数

环境因子	丰富度指数	Simpson	Shannon—Wiener	均匀度指数
全盐	-0.716*	0.469	-0.686*	-0.125
HCO ₃ ⁻	-0.727*	0.467	-0.651	-0.122
Cl ⁻	-0.276	0.604	-0.574	0.018
SO ₄ ²⁻	-0.297	-0.387	-0.165	-0.124
Ca ²⁺	-0.688*	0.613	-0.862*	-0.262
Mg ²⁺	-0.434	0.343	-0.382	-0.228
有机质	0.448	0.048	-0.010	-0.059
速效 N	0.764*	-0.162	0.342	-0.104
速效 P	-0.139	0.299	-0.528	-0.244
速效 K	-0.341	0.468	-0.474	-0.165
pH 值	-0.815**	0.318	-0.758*	-0.113
土壤含水量	0.910*	-0.410	0.686*	0.087
电导率	-0.657	0.121	-0.408	-0.297
土壤容重	0.547	-0.566	0.587	-0.138

注: * 表示 $P < 0.05$ 水平显著; ** 表示 $P < 0.01$ 水平显著。

(2) 多元回归分析。表 4 是 2 个群落多样性指数与土壤环境因子的最佳多元线性回归状况。Simpson 指数和均匀度指数与所有土壤环境因子在相关性分析中都不显著, 并且在回归分析中 $P > 0.05$, 所以在表 4 中并未列出。从表 4 中可以看出, Stepwise regression 回归的显著性比 Backward regression 的效果要好, R 值相差不大, F 值 Stepwise regression 回归要比 Backward regression 回归的高, 说明 Stepwise regression 在群落多样性和土壤环境因子的回归性拟合上较为适用。pH 值, 全盐与两个指数都相关, 说明它们对群落多样性的影响较大。

3 结论

(1) 海拔梯度是一个复合梯度, 在海拔梯度变化的同时, 降水量、气温、土壤理化性质等都会相应发生

变化。海拔梯度上, 群落类型的变化主要受降水量和气温的影响^[6]。不同的研究区域, 各群落类型出现的海拔高度不同, 但随海拔高度出现的先后顺序基本一致, 依次为草原、草甸化草原、草原化草甸和草甸。本研究区域处于中天山山脉南坡中部的大尤尔都斯盆地, 气候属于典型的高寒气候。高寒草原主要分布在海拔 2 460 ~ 2 760 m, 高寒草原化草甸分布在 2 860 m, 高寒草甸分布在海拔 2 960 m 以上, 而青海湖湖盆南部的草原都在海拔 3 210 m 以上, 比本研究区域高了近 1 000 m。

(2) 土壤中各环境因子并不是单独起作用的, 它们之间存在着某种影响和制约关系, 并且研究区域的大气候环境也制约着土壤环境因子起作用的范围。因此, 尽管关于多样性指数与土壤环境因子的研究已有很多, 但是并没有形成统一的结论。一些人认为有机质、养分的积累有利于提高多样性指数, 而土壤含水量对多样性的影响不明显^[7]。也有人认为有机质和 N 增加, 物种多样性却减少^[8,9]。有人认为养分与多样性的关系不显著^[10]。李新荣等^[7]对沙漠群落研究表明, 一年生短命植物只需要雨季很少的降水就能完成生活史, 因此, 土壤含水量的变化对多样性的影响不明显, 而土壤养分与多样性成正相关关系。王琳等^[9]等对历山山地草甸的研究表明, 由于放牧引起的牲畜的大量粪便, 导致土壤中有机质和 N 含量较高, 放牧导致多样性减少的程度, 超过了土壤肥力增加对于多样性的影响。这两个研究都存在一个非土壤本身的环境因子(沙漠和放牧)的影响, 而本研究中, 由于环境温度低限制了土壤微生物的分解速度, 因此, 尽管土壤中有有机质等养分的含量不低, 但是并没有转化成植物可以吸收的状态。由于干旱的原因, 土壤含水量对多样性的影响较为明显。水分作为生命活动所必需的成分, 在影响土壤中各种活动的同时, 也与地上植物群落的多样性具有显著的相关关系。各种植物对土壤 pH 值的要求不同也决定了它与多样性的相关程度。

表 4 群落多样性指数与土壤环境因子的多元线性回归

多样性指数	回归方程	R^2	P	F
R	$Y_1 = 10.001SWC + 11.031$	0.829	0.001	33.856
	$Y_2 = -0.973pH^2 + 14.562T_s^2 - 17.183(HCO_3^-)^2 + 10.013SWC^2 + 16.636$	0.894	0.032	8.397
H	$Y_1 = -2.407Ca^{2+} + 2.308$	0.744	0.003	20.311
	$Y_2 = -0.026pH^2 + 0.248T_s^2 - 3.222(Ca^{2+})^2 + 2.469$	0.787	0.039	6.153

注: Y_1 为 Stepwise regression 回归方程; Y_2 为 Backward regression 回归方程; SWC 为土壤含水量; T_s 为全盐含量。

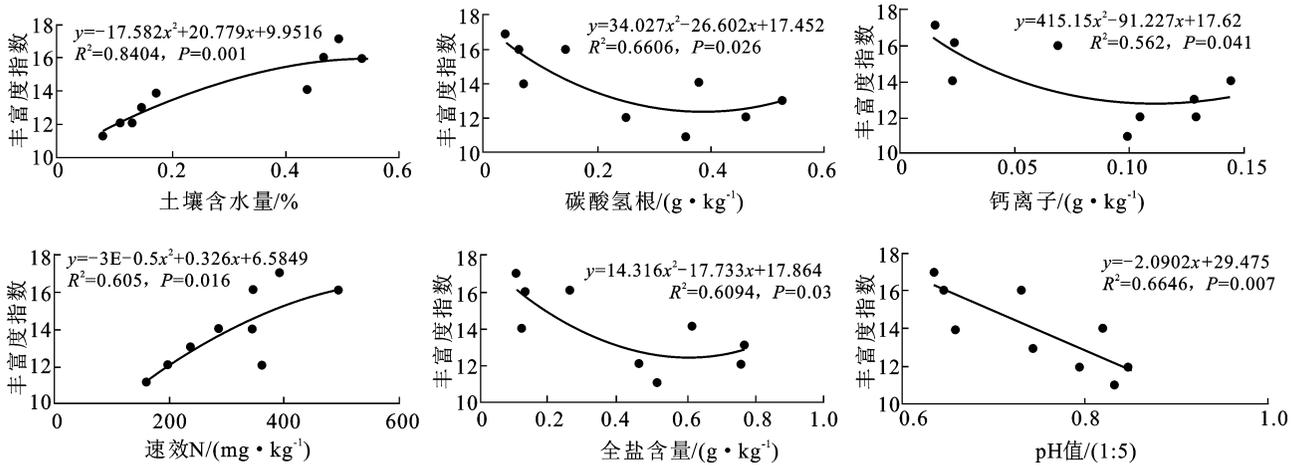


图 1 土壤环境因子与丰富度指数的关系

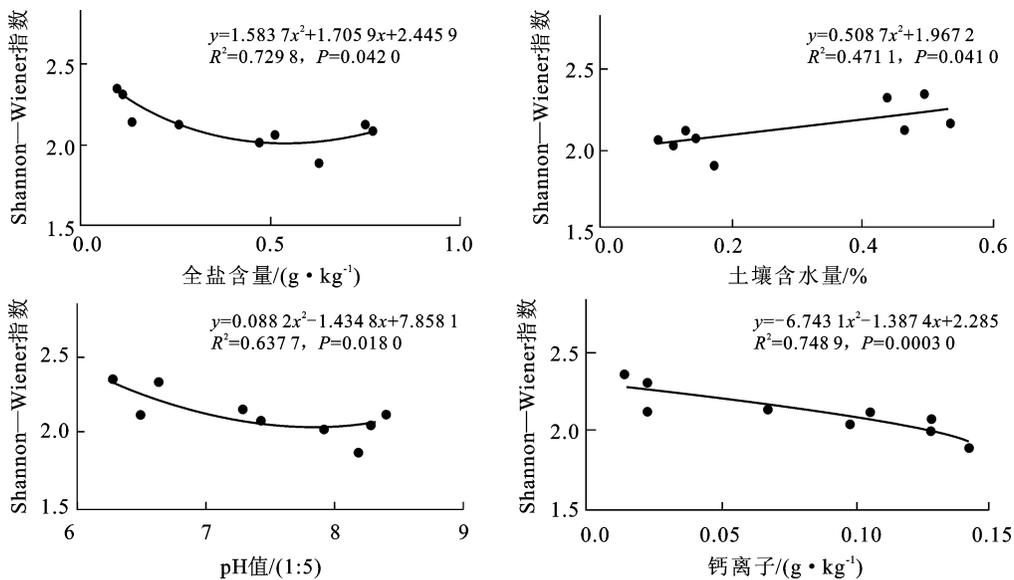


图 2 土壤环境因子与 Shannon-Wiener 指数的关系

[参 考 文 献]

- [1] 王长庭, 王启基, 龙瑞军, 等. 高寒草甸群落植物多样性和初级生产力沿海拔梯度变化的研究[J]. 植物生态学报, 2004, 28(2): 240-245.
- [2] 宋理明, 姜海萍. 环青海湖地区天然草地土壤水分动态研究[J]. 中国农业气象, 2006, 27(2): 151-155.
- [3] Tilman D, Wedin D, Knops J. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems [J]. Nature, 1996, 379(22): 718-720.
- [4] 宋宗水. 巴音布鲁克草原生态恢复与综合治理已迫在眉睫[J]. 中国农业资源与区划, 2006, 27(1): 21-25.
- [5] 姜安如. 天山中段山地植被的生态梯度分析及环境解释[J]. 植物生态学报, 1998, 22(4): 364-372.
- [6] 淮虎银, 周立华. 青海湖湖盆南部的植被与海拔梯度[J]. 西北植物学报, 1997, 17(4): 522-527.
- [7] 李新荣, 张景光, 刘立超, 等. 我国干旱沙漠地区人工植被与环境演变植物多样性的研究[J]. 植物生态学报, 2000, 24(3): 257-261.
- [8] 杨晓波, 张桃林, 吴庆书. 海南琼北地区不同植被类型物种多样性与土壤肥力的关系[J]. 生态学报, 2002, 22(2): 190-196.
- [9] 王琳, 张金屯, 上官铁梁, 等. 历山山地草甸的物种多样性及其与土壤理化性质的关系[J]. 应用与环境生物学报, 2004, 10(1): 18-22.
- [10] 郭道宇, 张金屯, 宫辉力, 等. 安泰堡矿区复垦地植被恢复过程多样性变化[J]. 生态学报, 2005, 25(4): 763-770.