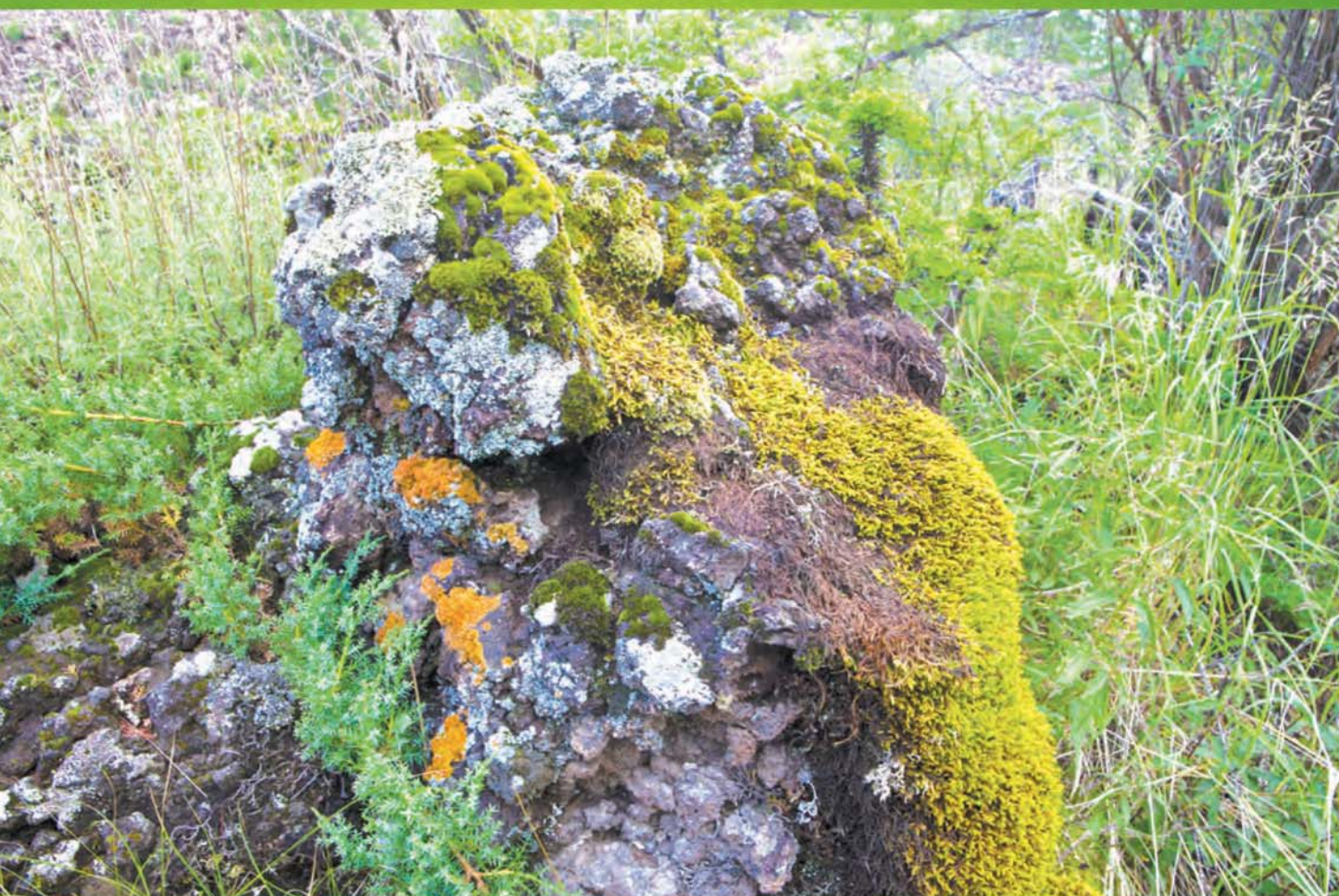


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

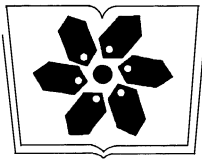
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第6期 Vol.32 No.6 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 6 期

2012 年 3 月 (半月刊)

目 次

高原草被退化程度的遥感定量监测——以甘肃省玛曲县为例.....	周坚华,魏怀东,陈芳,等 (1663)
基于着生藻类的太子河流域水生态系统健康评价.....	殷旭旺,渠晓东,李庆南,等 (1677)
哀牢山常绿阔叶林水源涵养功能及其在应对西南干旱中的作用.....	杞金华,章永江,张一平,等 (1692)
青岛沿岸水体原生生物群落与水质状况的关系.....	杨金鹏,姜勇,胡晓钟 (1703)
增温对青藏高原高寒草甸生态系统固碳通量影响的模拟研究.....	亓伟伟,牛海山,汪诗平,等 (1713)
三峡水库消落带植物叶片光合与营养性状特征.....	揭胜麟,樊大勇,谢宗强,等 (1723)
三峡库区澎溪河鱼类时空分布特征的水声学.....	任玉芹,陈大庆,刘绍平,等 (1734)
强壮前沟藻化感物质分析.....	冀晓青,韩笑天,杨佰娟,等 (1745)
饥饿对中间球海胆 MYP 基因转录表达的影响.....	秦艳杰,孙博林,李霞,等 (1755)
贺兰山牦牛冬春季的生境选择.....	赵宪南,苏云,刘振生,等 (1762)
利用元胞自动机研究一类捕食食饵模型中的斑块扩散现象.....	杨立,李维德 (1773)
转 <i>Cry1Ab</i> 和 <i>Cry1Ac</i> 融合基因型抗虫水稻对田间二化螟和大螟种群发生动态的影响.....	李志毅,隋贺,徐艳博,等 (1783)
光谱和光强度对西花蓟马雌虫趋光行为的影响.....	范凡,任红敏,吕利华,等 (1790)
荧光素对舞毒蛾核型多角体病毒不同地理品系的增效与光保护作用.....	王树娟,段立清,李海平,等 (1796)
不同利用强度下绿洲农田土壤微量元素有效含量特征.....	李海峰,曾凡江,桂东伟,等 (1803)
稻田温室气体排放与土壤微生物菌群的多元回归分析.....	秦晓波,李玉娥,石生伟,等 (1811)
黄土高原典型区域土壤腐殖酸组剖面分布特征.....	党亚爱,李世清,王国栋 (1820)
紫色土菜地生态系统土壤 N_2O 排放及其主要影响因素.....	于亚军,王小国,朱波 (1830)
中国亚热带典型天然次生林土壤微生物碳源代谢功能影响因素.....	王芸,欧阳志云,郑华,等 (1839)
基于 K-均值算法模型的区域土壤数值化分类及预测制图.....	刘鹏飞,宋轩,刘晓冰,等 (1846)
淹水条件下秸秆还田的面源污染物释放特征.....	杨志敏,陈玉成,张赞,等 (1854)
推迟拔节水对小麦氮素积累与分配和硝态氮运移的影响.....	王红光,于振文,张永丽,等 (1861)
江苏省冬小麦温渍害的风险区划.....	吴洪颜,高苹,徐为根,等 (1871)
草原植物根系起始吸水层深度测定方法及其在不同群落状态下的表现.....	郭宇然,王炜,梁存柱,等 (1880)
亚热带 6 种树种细根序级结构和形态特征.....	熊德成,黄锦学,杨智杰,等 (1888)
高寒草原植物群落种间关系的数量分析.....	房飞,胡玉昆,张伟,等 (1898)
菊花近缘种属植物幼苗耐阴特性分析及其评价指标的确定.....	孙艳,高海顺,管志勇,等 (1908)
南方菟丝子寄生对喜旱莲子草生长及群落多样性的影响.....	王如魁,管铭,李永慧,等 (1917)
基于 cDNA 克隆的亚热带阔叶林和针叶林生态系统担子菌漆酶基因多样性及其群落结构研究.....	陈香碧,苏以荣,何寻阳,等 (1924)
细柄阿丁枫和米槠细根寿命影响因素.....	黄锦学,凌华,杨智杰,等 (1932)
基于 TM 遥感影像的森林资源线性规划与优化配置研究.....	董斌,陈立平,王萍,等 (1943)
基于 CFD 的城市绿地空间格局热环境效应分析.....	刘艳红,郭晋平,魏清顺 (1951)
专论与综述	
生态补偿效率研究综述.....	赵雪雁 (1960)
研究简报	
黄河三角洲石油生产对东营湿地底栖动物群落结构和水质生物评价的影响.....	陈凯,肖能文,王备新,等 (1970)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 34 * 2012-03	



封面图说: 植物生命演进石——这不是一块普通的火山岩,而是一块集中展示植物“原生演替”过程最有价值的石头。火山熔岩冷却后的玄武岩是无生命无土壤的真正“裸石”,风力使地衣的孢子传入,在一定温湿度环境下,开始出现了壳状地衣,壳状地衣尸体混合了自然风化的岩石碎屑提供的条件使叶状、枝状地衣能够侵入,接着苔藓侵入,是它们启动了土壤的形成,保持了土壤的湿度,并使营养物质反复循环。于是蕨类定居,草丛长了起来,小灌木出现,直到树木生长,最终形成森林。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201102170182

房飞, 胡玉昆, 张伟, 公延明, 柳妍妍, 杨秀娟. 高寒草原植物群落种间关系的数量分析. 生态学报, 2012, 32(6): 1898-1907.

Fang F, Hu Y K, Zhang W, Gong Y M, Liu Y Y, Yang X J. Numerical analysis of inter-specific relationships in Alpine steppe community in Bayanbulak. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(6): 1898-1907.

高寒草原植物群落种间关系的数量分析

房 飞^{1,2}, 胡玉昆^{1,*}, 张 伟^{1,2}, 公延明^{1,2}, 柳妍妍¹, 杨秀娟^{1,2}

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:为了探明新疆巴音布鲁克高寒草原植物群落的物种组成和种间关系,在对其草原群落进行样方调查的基础上,利用方差比率法、 χ^2 检验以及种间关联度指数对物种关联性和相关性进行了分析。结果表明:1) 巴音布鲁克高寒草原植物群落高等植物分属 16 科, 26 属, 36 种; 主要有 14 个常见植物种; 2) 用来检验方差比率(VR)偏离 1 是否显著的统计量 $W = 61.52$, 说明该草原群落内物种整体关联度表现为不显著相关; 表征种间关联程度的 Ochiai 指数(OI 值), 与联结系数 AC 值基本吻合; 3) 伴生种或杂类草与其它物种之间联结显著, 正向或负向, 在群落中表现出很强的依赖性, 分布易受其它物种的影响, 在群落中不能稳定存在且只占据劣势生态位; 4) 根据 14 个优势种群对环境的适应方式和主导生态因素, 可将它们划分为 3 个生态种组, 同一生态种组内, 各种间具有较强的正联结, 而不同组间联结较为松散, 主要是由于他们具有不同的生物学特性, 对生境具有不同的生态适应性和相互分离的生态位所致; 5) 对退化草地的恢复提出了建议。

关键词:巴音布鲁克; 植物群落; 种间联结; 高寒草原; 生态种组

Numerical analysis of inter-specific relationships in Alpine steppe community in Bayanbulak

FANG Fei^{1,2}, HU Yukun^{1,*}, ZHANG Wei^{1,2}, GONG Yanming^{1,2}, LIU Yanyan¹, YANG Xiujuan^{1,2}

1 Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China

2 Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Highland ecosystems are believed to be of vital importance in ecological study, partly due to the rapid climate change worldwide and the highest sensitive feature of this special system, not only its productivity and biodiversity but also its inter-specific relationship, to environmental alterations. The Bayabulak Steppe distributes in the middle part of Tianshan Mountains, and is situated at 42°18'—43°34' N, 82°27'—86°17' E with altitude between 2460—2760 m. Climate here belongs to typical alpine cold climate with yearly mean temperature of $-4.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, yearly mean precipitation here is 276.2 mm, yearly evaporation is $(1\ 135.2 \pm 112.3)$ mm, the snow period in Bayabulak is about 150—180d, and there is no frost-free time in this region. *Stipa purpurea* and *Festuca ovina* grassland are the dominant vegetation types in our study site.

In order to clarify the species composition and inter-specific association of the alpine grassland community of Bayanbulak in Xinjiang, China, variance ratio (VR) of the overall association, association coefficient (AC), Ochiai index (OI) and Spearman rank correlation coefficient, based on the 2×2 contingency table, were used in our quantitative analysis. Field data were collected in July 2009. Three parallel transect were firstly set up and the distance between each of them was 50 m, then 20 plots (0.50 m $\times$ 0.50 m for each unit) were randomly set within each transect, in so doing total of 60 plots were involved in the present work. Our results showed that: 1) There are 36 species with 14 common species of

基金项目:国家重点基础研究发展规划资助项目(2009CB825103)

收稿日期:2011-02-17; 修订日期:2011-08-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: huyk@ms.xjb.ac.cn

plants in Bayinbulak alpine steppe, and they belong to 26 Genus of 16 Family. $W = 61.52$, a statistic index to test whether the VR is significant or not, indicated that the overall correlation of all plant species was positive but not significant. 2) Inter-specific associations of keystone species with others were neutral or not significant. Keystone species showed greater independence and occupied prior ecological niche in the community, and their distributions were not susceptible to other species. Values of OI were basically identical to those of association coefficient; Based on the measuring of OI , 19.79% of total 91 species-pairs composed by 14 common species was significant or very significant, and 72.21% of them showed positive correlation while 27.79% showed negative correlation for those significantly related species-pairs; 3) Inter-specific associations of accompanying species or weeds with others were significant (negative or positive), suggesting higher dependency of accompanying species or weeds on other species, namely they were susceptible to other species and only occupied inferior ecological niche in the community. Furthermore, populations of these plant species are instability in the process of ecosystem development; 4) This study provides new dimensions for the theory of species association. According to their adaptability to the environment and the relationships between plants and environment, the 14 common species were divided into three ecological species groups. Positive correlations occurred among the species in the same ecological species groups, while the negative correlations were found in the different ecological species groups. It mainly due to their different biological features induced by different adaptability to habitats or separated niches; 5) Several suggestions were proposed to promote the ecological restoration of degraded steppe systems in the study region.

Key Words: Bayinbulak; plant community; inter-specific association; alpine steppe; ecological species groups

种间联结是指不同物种在空间分布上的相互关联性,通常是以物种的存在与否为依据^[1]。而这种种间联结性一般是由于群落生境的差异影响了物种分布而引起的^[2-3]。在同一环境条件下,正的联结可以在某种程度上指示相互作用的物种之间对一方或者双方是有利的;负的联结可能表明不利于一方或对双方都不利。所以,种间联结性就是对各个物种在不同生境中相互影响、相互作用所形成的有机联系的反映^[4]。因而,在植物群落学研究中,种间联结的测定与分析对研究物种的相互作用、群落的组成和动态,阐明种群生态学等理论研究方面具有重要意义^[5-8]。近年来,针对种间关系的研究方法以及不同植被类型的优势种种间的联结性,国内外学者做了很多研究^[9-11]。有关草原研究方面,国外主要集中于环境对草甸结构的影响,以及草甸群落的物种组成、结构的变化^[12-13];国内主要集中在青藏高原地区有关高寒草甸植物群落多样性的问题^[14]。

巴音布鲁克草原作为我国第二大草原,面积仅次于内蒙古鄂尔多斯草原^[15],是典型的以中生或旱生草本植物为主要植被类型的草甸草原,是新疆最重要的畜牧业基地之一。本文主要以巴音布鲁克草原高寒草原为研究对象,主要研究了羊茅(*Festuca ovina*)+紫花针茅(*Stipa purpurea*)群落优势种种群间的联结性。研究巴音布鲁克草原优势种的种间关联性和相关性,确定植物种间关系,了解群落的组成,具有重要的生态意义,为可持续利用草原提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

巴音布鲁克高寒草原位于新疆巴音郭楞蒙古自治州和静县西北,天山南坡中段($42^{\circ}18' - 43^{\circ}34' \text{ N}$, $82^{\circ}27' - 86^{\circ}17' \text{ E}$),海拔 2460—2760 m。该区域气候属典型的高寒气候类型,干旱、寒冷、多风,年均气温 -4.8°C ,年均降水量 276.2 mm,年蒸发量($1\,135.2 \pm 112.3$) mm,年日平均气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的积温 1250.6°C , $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 的积温为 983.3°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温 227.2°C ,年日照($2\,541 \pm 75$) h,热能为 $1.34 \times 10^5 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,全年积雪日在 150—180 d,无明显无霜期。土壤类型为高寒草原土,成土母质为黄土,表土干燥紧实。植物生长周期短,由 4 月中旬返青,8 月底枯黄,生长期仅 4 个多月。本地有高等植物 16 科、26 个属、36 种,主要物种有羊茅、紫花针茅等^[16]。所选样地于 2003 年围封,围封前均为自由放牧场,放牧率为 5.7 只羊/ hm^2 ,围封后作为春季牧场(3—5 月放牧),放牧率为 5.7 只羊/ hm^2 。

1.2 取样方法

于 2009 年 7 月下旬在中国科学院新疆生态与地理研究所巴音布鲁克草原生态系统定位研究站(42°54' N, 83°43' E)进行野外调查。以羊茅+紫花针茅高寒草原为研究对象,在夏季草场随机选取较平坦的面积为 10 m × 100 m 的 3 条平行样带,样带间距 50 m。在每条样带中随机选取样方 20 个,样方大小为 0.50 m × 0.50 m,共取样 60 个。植物种用重要值作为数量指标^[17],选取 14 个主要植物种(表 1)进行种间联结分析。重要值公式为:

$$IV = (R_c + R_h + R_f) / 300$$

式中, IV 为某一植物种的重要值, R_c 表示相对盖度, R_h 表示相对高度, R_f 表示相对频度。

表 1 高寒草原主要物种、序号及重要值

Table 1 The main species, serial number and the importance value of populations in Alpine Steppe

种名代号 Species code	物种名 Species name	重要值 Importance value	种名代号 Species code	物种名 Species name	重要值 Importance value
Fo	羊茅 <i>Festuca ovina</i>	14.975	Ac	冰草 <i>Agropyron cristatum</i>	5.0809
Sp	紫花针茅 <i>Stipa purpurea</i>	12.163	Ca	白尖苔草 <i>Carex atrofusca</i>	6.9778
As	黄芪 <i>Astragalus</i> sp.	12.675	Pa	鹅绒委陵菜 <i>Potentilla anserina</i>	6.6042
Lt	天山赖草 <i>Leymus tianschanicus</i>	12.719	Ts	蒲公英 <i>Taraxacum</i> sp.	1.9671
Pb	二裂委陵菜 <i>Potentilla bifurca</i>	4.5983	Sc	苏尔芹 <i>Schultzia crinita</i>	2.6421
Pm	多裂委陵菜 <i>Potentilla multifida</i>	3.7664	Ll	火绒草 <i>Leontopodium leontopodioides</i>	4.9314
Kc	蒿草 <i>Koeleria cristata</i>	5.2706	Ha	阿尔泰狗娃花 <i>Heteropappus altaicus</i>	1.104

1.3 关联性分析

1.3.1 多植物种间的总体关联性检验

采用 Schluter 提出的方差比率(VR)进行检验。

其计算公式为:

$$VR = S_T^2 / \delta_T^2$$

其中: $\delta_T^2 = \sum_{i=1}^S P_i(1 - P_i)$; $P_i = n_i/N$; $S_T^2 = 1/N \sum_{j=1}^N (T_j - t)^2$

式中, S 为总物种数, N 为总样方数, T_j 为样方 j 内出现的所研究物种的总数, n_i 为物种 i 出现的样方数, t 为样方中种的平均数, $t = (T_1 + T_2 + \dots + T_n) / N$ 。 VR 值为群落内植物种间的总体联结指数。在独立性假设条件下 VR 期望值为 1, $VR=1$ 则接受原假设即所有种间无关联; $VR>1$ 或 $VR<1$ 拒绝原假设, 接受备择假设即种间表现出净的正关联(亦称为正联结)或负关联(亦称为负联结)。

采用统计量 W 来检验 VR 值偏离 1 的显著程度, $W = VR \cdot N$ 。若种间关联不显著, 则 W 落入由下面 χ^2 分布给出的界限内的概率有 90%, $\chi_{0.05, N}^2 < W < \chi_{0.95, N}^2$ 。

1.3.2 物种间关联性检验

通过 2×2 列联表统计各种对的具体数据(a, b, c, d), 可求出种间的关联系数和测定其关联的显著性。其中, a 表示两个种均出现的样方数, b 表示物种 B 出现而物种 A 不出现的样方数, c 表示物种 A 出现而物种 B 不出现的样方数, d 表示两个物种均不出现的样方数。

根据 2×2 联列表的 χ^2 统计量, 检验物种间的关联性, 建立统计量, 进一步判断关联的显著性。由于取样的非连续性, 采用 Yates 的连续校正公式计算 χ^2 统计量:

$$\chi^2 = \frac{N[|ad - bc| - 0.5N]^2}{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)}$$

式中, N 为取样总数, 若 $\chi^2 > \chi_{0.05, 1}^2$, 则为种对间关联性显著, 否则不显著。查表可得, $\chi_{0.05, 1}^2 = 3.841$, $\chi_{0.01, 1}^2 = 6.635$, 所以 $3.841 < \chi^2 < 6.635$ 为关联显著, $\chi^2 > 6.635$ 为极显著^[18]。关联有正、负关联两种, 即设 $V = ((a+d)$

$-(b+c)/(a+b+c+d)$, 则 $V>0$ 为正关联, $V<0$ 为负关联^[19]。

联结系数 $AC^{[2,7,20]}$ 用来进一步检验由 χ^2 所测出的结果及说明种间联结程度。其计算公式如下:

$$\text{若 } ad \geq bc, \text{ 则 } AC = \frac{ad - bc}{(a+b)(b+d)}$$

$$\text{若 } bc > ad \text{ 且 } d \geq a, \text{ 则 } AC = \frac{ad - bc}{(a+b)(a+c)}$$

$$\text{若 } bc > ad \text{ 且 } d < a, \text{ 则 } AC = \frac{ad - bc}{(b+d)(c+d)}$$

AC 的值域为 $[-1, 1]$ 。 AC 值越趋近于 1, 表明物种间的正联结性越强; 而 AC 值越趋近于 -1, 表明物种间的负联结性越强; AC 值为 0, 则物种间完全独立。

采用 Ochiai 指数 (简称 OI 指数) 测定关联程度大小, 公式为:

$$OI = \frac{a}{(\sqrt{a+b} \cdot \sqrt{a+c})}$$

该指数在无关联时为 0, 在最大关联时为 1^[1,7,21]。

1.4 相关性分析

应用定量数据 (重要值) 对种间关系进行 Spearman 秩相关分析^[1,17,22], 计算公式如下:

$$r(i, k) = 1 - \frac{6 \sum_{j=1}^N d_j^2}{N^3 - N}$$

其中, $d_j = x_{ij} - x_{kj}$

式中, $r(i, k)$ 为 Spearman 秩相关系数; N 为样方数; x_{ij} 和 x_{kj} 分别为种 i 和 k 在样方 j 中的秩 (重要值)。

2 结果与分析

2.1 种间关联性

种间总体关联性描述了物种之间的静态关系, 反映了群落的稳定性, 不仅包括空间分布关系, 同时也隐含物种之间的功能。正或负的种间联结对群落的演替起着一定的作用, 分析群落的种间关联有利于认识群落演替的方向^[21,23]。一般来说, 随着植被群落演替的进展, 群落结构及其种类组成将逐渐趋于完善和稳定, 种间关系也将逐步趋向于正相关, 以求得物种间的稳定共存^[1]。本文根据 14 个主要种群之间的 2×2 列联表, 计算得 $VR=1.03>1$, $W=61.52$ 。因为 $VR>1$, 说明 14 种植物间整体表现出正关联, 但是由于 W 值在 $(\chi_{0.95,60}^2, \chi_{0.05,60}^2)$ 之间, 所以这 14 种植物间的正相关性不显著 (表 2)。种间总体关联反映了群落的稳定性, 羊茅+紫花针茅群落中种间表现出正联结性, 反映了该群落处于相对稳定的阶段。

表 2 群落总体关联性变化

Table 2 Dynamics of associations in the alpine steppe of Bayanbulak

方差比率 Variance ratio	检验统计量 Statistic W	χ^2 临界值 [$\chi_{0.95,60}^2, \chi_{0.05,60}^2$]	检验结果 Results
1.03	61.52	(43.19, 79.08)	正相关

χ^2 检验统计显示 91 对草原主要植物种对中极显著正关联 ($\chi^2>6.635, V>0$)、显著正关联 ($3.841<\chi^2<6.635, V>0$)、正关联 ($\chi^2<3.841, V>0$)、极显著负关联 ($\chi^2>6.635, V<0$)、显著负关联 ($3.841<\chi^2<6.635, V<0$)、负关联 ($\chi^2<3.841, V<0$) 及无关联 ($V=0$) 的种对数所占的百分比分别为 3.30%、10.99%、38.46%、3.30%、2.20%、37.36%、4.40% (图 1), 正、负关联的种对数相差较小。极显著正相关的种对有 $Fo-Sp$ (羊茅-紫花针茅)、 $Lt-Pb$ (天山赖草-二裂委陵菜)、 $Lt-Ts$ (天山赖草-蒲公英), 显著正相关的种对有 $Fo-Ll$ (羊茅-火绒草)、 $Fo-Kc$ (羊茅-溲草)、 $Sp-Ac$ (紫花针茅-冰草)、 $As-Pb$ (黄芪-二裂委陵菜)、 $As-Pm$ (黄芪-多裂委陵菜)、 $As-Kc$ (黄芪-溲草)、 $Lt-Sc$ (天山赖草-苏尔芹)、 $Pb-Sc$ (二裂委陵菜-苏尔芹)、 $Pm-Ac$ (多裂委陵菜-冰草)、 $Ca-Ll$ (白尖

苔草-火绒草),以上 13 个种对在群落中共同出现几率较大,生态位重叠大,生活型相似,对环境因子适应性相近,利用自然资源的方式相同。极显著负相关的种对有 *As-Ll*(黄芪-火绒草)、*Pb-Ll*(二裂委陵菜-火绒草)、*Kc-Ll*(洛草-火绒草),显著负相关的种对有 *Lt-Ca*(天山赖草-白尖苔草)、*Lt-Ll*(天山赖草-火绒草),表明以上 5 个种对间生态位重叠较小,生活型差异较大,对资源环境需求差异大。

种间关联性指数 AC 的值域为 $[-1,1]$ 。 AC 值越趋近于 1,表明物种间的正联结性越强;而 AC 值越趋近于-1,表明物种间的负联结性越强; AC 值为 0,则物种间完全独立。由 AC 可以看出(图 2),种对 *Fo-Sp*(羊茅-紫花针茅)、*Fo-Ac*(羊茅-冰草)、*Sp-Ac*(紫花针茅-冰草)、*Lt-Pb*(天山赖草-二裂委陵菜)在 $0.4 < AC \leq 1.0$ 范围内,而在 $-1.0 \leq AC \leq -0.6$ 内的种对有 16 个、在 $-0.6 < AC \leq -0.4$ 内的种对有 7 个,是 $0.4 < AC \leq 1.0$ 范围内的 5.75 倍,并且在 $-0.1 < AC \leq 0.1$ 内的种对占总种对的 35.16%,群落中大部分种对间正或负关联性不明显,群落在受到牲畜选择性采食及人为干扰,易发生逆向演替。

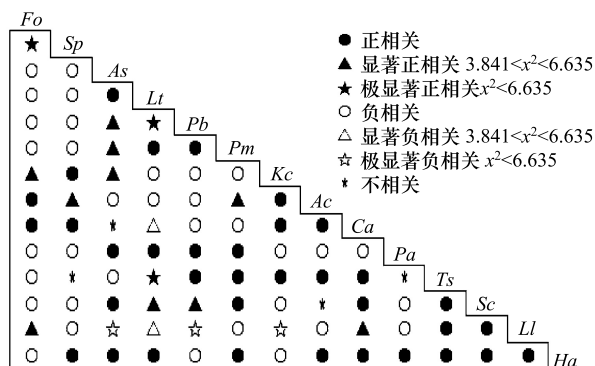


图 1 种间关联性的校正 χ^2 检验值半矩阵图

Fig. 1 The semi-matrix of χ^2 correction test of associations of 14 dominant species in the alpine steppe of Bayanbulak

种名代号见表 1

采用 Ochiai 指数(简称 OI 指数)测定关联程度大小,在无关联时为 0,在最大关联时为 1。由图 3 可以看出,在 $0.4 \leq OI \leq 1.0$ 内的种对数占总对数的 81.32%,其中, $0.8 \leq OI \leq 1.0$ 的范围内有种对 25 个,占总数的 27.47%。 OI 指数与 AC 值基本吻合,结合 χ^2 检验结果,表明羊茅+紫花针茅群落稳定性好,表现在群落原生优势物种羊茅、紫花针茅的抗逆性较强,耐践踏。但由于超载放牧等人为因素,以及自然气候影响,随着草原退化加重,一些根茎型、不可食的植物(如天山赖草、黄芪等)得到大量繁殖,扩展。因此,控制草原载畜量,采取休牧、轮牧、禁牧和补播等恢复措施对研究区草原恢复具有积极地作用。

2.2 种间相关性

应用定量数据(重要值)对种间关系进行 Spearman 秩相关分析(图 4),种对 *Fo*(羊茅)-*Sp*(紫花针茅)、*Fo*(羊茅)-*Pa*(二裂委陵菜)、*Pm*(多裂委陵菜)-*Ac*(冰草)、*Kc*(洛草)-*Ha*(阿尔泰狗娃花),共 4 个种对极显著正相关($P < 0.01$)。种对 *Sp*(紫花针茅)-*Ac*(冰草)、*Sp*(紫花针茅)-*Lt*(天山赖草)、*Pb*(二裂委陵菜)-*Ac*(冰草)、*Kc*(洛草)-*Ac*(冰草)、*Ac*(冰草)-*Pa*(二裂委陵菜)、*Ca*(白尖苔草)-*Ll*(火绒草),共 6 个种对显著正相关($P < 0.05$)。

极显著负相关($P < 0.01$)的种对有 4 个,有 *Fo*(羊茅)-*As*(黄芪)、*Sp*(紫花针茅)-*Ll*(火绒草)、*As*(黄芪)-

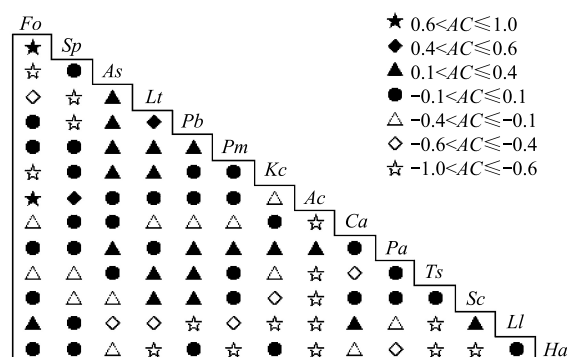


图 2 种间关联性指数 AC

Fig. 2 The values of AC for 14 dominant species in the alpine steppe of Bayanbulak

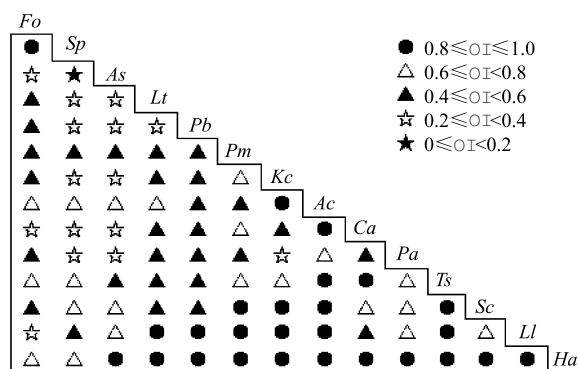


图 3 种间联结系数 OI

Fig. 3 The values of OI for 14 dominant species in the alpine steppe of Bayanbulak

Pa(鹅绒委陵菜)、*Lt*(天山赖草)-*Ca*(白尖苔草)。显著负相关($P < 0.05$)的种对有 3 个,是 *Sp*(紫花针茅)-*As*(黄芪)、*Lt*(天山赖草)-*Ha*(阿尔泰狗娃花)、*Pb*(二裂委陵菜)-*Ll*(火绒草)。

物种间表现出显著正相关有两种可能:一是生活型相近,资源利用相似、竞争较为激烈,这些物种对生境有相似的适应和相互重叠的生态位,随着退化演替的进行,种对间会被对方取代,成为群落优势种,如 *Sp*(紫花针茅)-*Ll*(火绒草)、*Fo*(羊茅)-*Pa*(二裂委陵菜)、*Sp*(紫花针茅)-*Lt*(天山赖草)、*Pm*(多裂委陵菜)-*Ac*(冰草)等;二是两物种在长期协同进化中,相互依存,共同利用资源,达到共生,如:*Fo*(羊茅)-*Sp*(紫花针茅)、*Sp*(紫花针茅)-*Ac*(冰草)、*Kc*(落草)-*Ac*(冰草)等。而种对显著负相关,表明两个物种资源利用方式不同,对生境要求相异,出现生态位的分离,在群落中同时出现的机率很小,如:*Fo*(羊茅)-*As*(黄芪)、*Sp*(紫花针茅)-*Ll*(火绒草)、*Lt*(天山赖草)-*Ca*(白尖苔草)等,羊茅、紫花针茅为原生高寒草原的建群种,处于未退化阶段,而天山赖草、黄芪、火绒草则是重度退化阶段的主要物种。

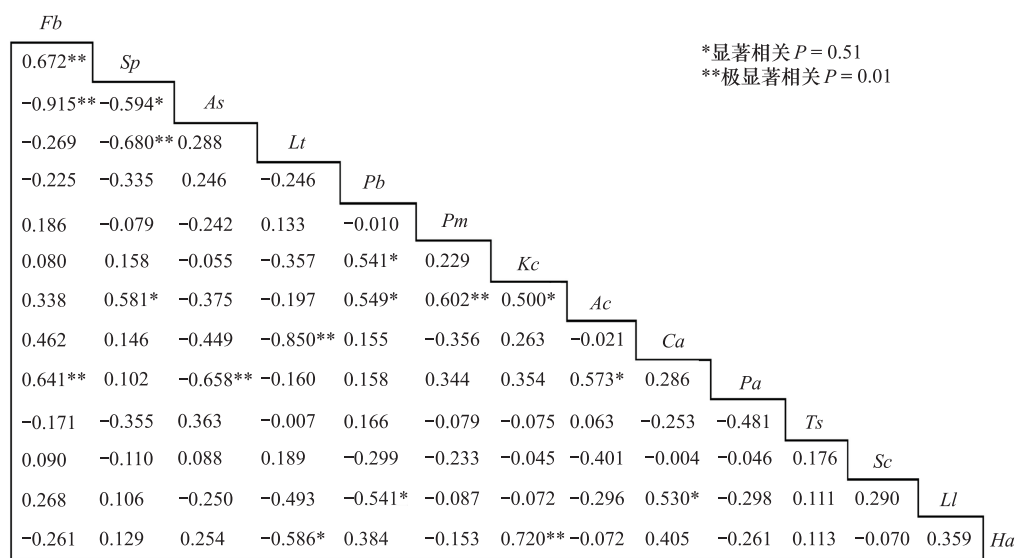


图 4 物种种间 Spearman 秩相关系数半矩阵图

Fig. 4 The semi-matrix of Spearman rank coefficients for the 14 dominant species in the alpine steppe of Bayanbulak

2.3 生态种组

为了更真实可靠的反映群落的种间关联以及群落退化演替方向,依据群落种间 Spearman 秩相关分析结果(图 5)和主要植物的生态习性及分布生境,以显著负相关性作为划分种组的界限,同一组内两两之间有尽可能大的正相关性为原则,群落中生态习性相似的种可以联合为一生态种。将 14 个主要植物种划分为 3 个生态种组,各组植物都具有基本相似的生态要求和生活习性,在同一生态种组的种,具有较大的关联性和相关性,对环境的适应能力、对资源的利用能力、对群落所起的功能作用等均有一致性^[24]。

第 1 生态种组主要为群落原生物种,包括羊茅(*Fo*)、紫花针茅(*Sp*)、落草(*Kc*)、冰草(*Ac*)、鹅绒委陵菜(*Pa*)、多裂委陵菜(*Pm*)、二裂委陵菜(*Pb*)、阿勒泰狗娃花(*Ha*)。第 2 生态种组主要为退化演替过渡物种,包括白尖苔草(*Ca*)、火绒草(*Ll*)、蒲公英(*Ts*)。第 3 生态种组为退化演替顶级群落物种,主要包括天山赖草(*Lt*)、黄芪(*As*)、苏尔芹(*Sc*)。生态种组内物种具有相近的生物学特性,对生境具有相似的生态适应性和相互分离的生态位;而生态种组间各物种具有不同的生物学特性,对生境具有不同的生态适应性和相互重叠的生态位。随着逆向演替的进行,群落由羊茅、紫花针茅等牲畜喜食的原生优势种群退化为天山赖草、黄芪等不可食的物种,群落结构发生改变。

3 结论

(1) 种间总体关联性表现出 14 个种群间的正关联,差异不显著。 χ^2 检验统计显示 91 对草原主要植物种

对中正、负关联的种对数相差较小。*OI* 指数与 *AC* 值基本吻合。

(2) 依据群落种间 Spearman 秩相关分析结果, 可以将 14 个主要植物种划分为 3 个生态种组。

(3) 主要优势种羊茅和紫花针茅与频度较大的前几个物种间均形成正关联, 且有很高的关联指数, 说明优势种能与主要伴生种协同利用水分、土壤养分等非限制性资源; 同时, 也是与总体关联相一致的原因。总体上, 巴音布鲁克草原目前处于一个退化演替相对稳定的阶段。

4 讨论

4.1 群落演替与种间关联

种间联结理论认为, 正联结是: 1) 由于一个物种依赖于另一个物种; 2) 由于在异质的环境内, 几个物种对环境条件有相似的适应和反应而产生正联结。负联结是: 1) 二者在竞争资源中互相排斥; 2) 环境需求的不相似性^[25-26]。对于草地的群落发展演替与植物间关联性的变化究竟具体有何关系, 学者对此具有不同的看法。徐松鹤等^[3]对黄河源区高寒草地进行的研究, 表明退化明显影响到其植物群落物种间的联结性, 随着草地退化程度的加剧, 群落中主要优势物种的总体种间联结性由显著负相关过渡到无关联, 物种由互生转为竞争; 认为以毒杂草为优势的重度退化高寒草地“黑土滩”植物群落属于一种不稳定的次生植被。杜道林等^[11]认为随着植被的进展演替, 群落结构及种类组成逐渐趋向于完善和稳定, 种间关系也将趋向于正联结; 李育中等^[6]认为随着演替的发展, 种间关系最后将向无关联方向发展。本实验研究区域是较为独特的亚高山草地类型, 自古以来就只孕育了草本植物群落, 群落组成简单^[27]。人们经过长期的研究确定了一些物种作为群落退化的标志, 从而将退化草地划分为严重退化、轻度退化等阶段, 与张金屯^[1]所说的一般草本植物群落的顶极群落的演替并不一致。在本研究中, 原始生态种之间多成正联结, 处于退化阶段的物种则表现出无连接或负联结, 这也与当前适口性较好的中生草逐渐减少或消失, 适口性较差的草类大量生长有关, 一定程度上反映了群落演替的逆向过程。这主要是在长期的演替过程中, 由于种内种间的竞争, 群落的组成成分基本稳定, 在进一步分化了的生态位中, 各个物种都占据有利的位置, 和谐共处, 相互依赖和相互竞争大为降低和减弱, 所以多数种对联结程度不强, 关系松散, 独立性强^[28]。通过静态地对群落内物种间的关联性研究就可推测群落的演替动态和趋势, 其结果有助于正确认识群落的基本结构与本质特征, 并为植物生态环境的保护和优化利用物种资源等提供依据^[29]。

4.2 种间竞争与种间关联

依据群落种间 Spearman 秩相关分析结果, 将 14 个主要植物种划分为 3 个生态种组。第 1 生态种组物种大多数为禾本科和菊科植物, 生长季较早, 且在巴音布鲁克特有寒冷、干旱多风的大环境下, 植物种类稀少, 草群稀疏低矮、结构外貌单调、生长期短, 禾本科植物直立生长不会影响菊科植物的正常发育, 在资源利用上互补, 彼此之间存在正关联; 第 2 生态种组是处于自由放牧和围封的过渡阶段, 拥有适应退化和恢复两个方向的物种, 当放牧强度加大时, 退化趋势会加强, 物种组成向第 3 生态种组演替, 而当加强管理, 延长围封年限, 退化指示植物会慢慢退出群落, 物种组成会向第 1 生态种组演替; 第 3 生态种组的形成主要受素有“酥油草”之称的羊茅和紫花针茅因被家畜啃食而生长受到抑制时, 天山赖草、黄芪和苏尔芹无论从植物的可食性或适口性方面都是最差的, 生长不受影响, 这也是为什么它们在群落中的重要值那么高的原因之一。

4.3 干扰与种间关联

种间关联测定结果在一定程度上反映了物种间的相互关系及其与环境因子的关系, 物种对温度、光照、水

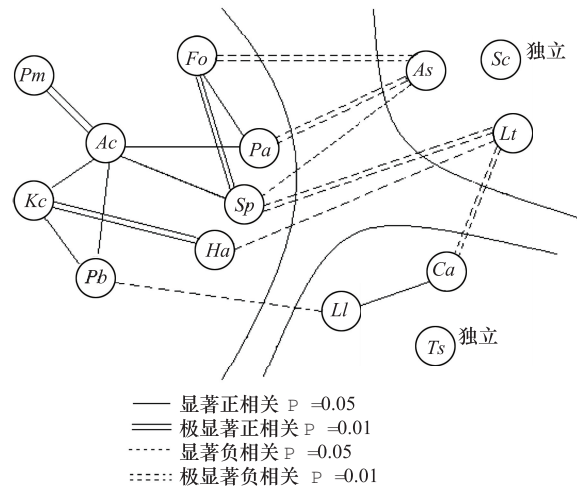


图5 Spearman 秩相关系数星座图

Fig. 5 The Constellation diagrams of Spearman rank coefficients for the 14 dominant species in the alpine steppe of Bayanbulak

分和土壤等诸多环境因子的反应差异可能不同程度地影响了物种间的关系。巴音布鲁克草原受地势高、气温低、干旱等因素的限制,植被发育趋向低矮,造成产量不高、载畜能力低。如羊茅、紫花针茅、冰草等植物的株高不过 20 cm,一般多在 5—15 cm 之间^[30]。在羊茅+紫花针茅草原上,当植被群落遭受轻度或中度干扰时,群落组成发生改变,出现火绒草、黄芪等物种,过度放牧后,首先增加苔草一类的小根茎莎草科植物,如果 2—3 个星期不下雨,它会很快枯黄^[31]。其次,两三年后,天山赖草会增加,其耐牧程度会增加。由于牲畜的频繁啃食和践踏,损伤丛生禾草植物的休眠等,造成草丛分蘖减少,生育期不能完成。出现草丛盖度减少,加速土壤水分蒸发,表土干燥板结,严重地影响了丛生禾草的生长发育。分析原因为在放牧、气候等影响下,土壤物理性状发生改变,不利于群丛型禾草(原生种)生长,而根茎型物种入侵生长分布。

4.4 草地保护与种间关联

在研究区,原生稳定群落的建群种为羊茅和紫花针茅,两物种极显著正关联,表明在无人为干扰情况下高寒草原原生群落基本稳定,控制载畜量,合理利用草场可使高寒草原得到良性发展。根据研究结果,对本区退化草原进行改良提出以下措施:一是合理调节季节牧场,降低春、秋场压力。调查表明作为夏季、冬季放牧的高山草甸和沼泽草甸生产力较高,而主要用于春季放牧的高寒草原生产力却较低,说明夏场和冬场尚有较大潜力。二是采取人工措施,提高草场生产力。包括建立人工草地,进行草场灌溉、施肥补播牧草,严格实行划区轮牧等。羊茅作为当地优良的牧草,其草群由密丛禾草层片、苔草层片和多年生杂草类层片组成,产草量高,适口性好,耐践踏、耐寒、耐旱,可作为退化草场补播的植物材料;而在过度放牧下,原生优质牧草,如羊茅、紫花针茅等被啃食殆尽,土壤理化性质改变,原生种趋于消失,天山赖草等根茎型物种大量入侵,繁衍,成为优势物种。这个阶段为重度退化阶段,建议采用建植人工草地的措施对草场进行改良,播种物种建议采用垂穗披碱草(*Elymus nutans* Griseb),建植垂穗披碱草人工草场已在研究区获得成功,并以推广^[32]。三是进一步加强划区轮牧的管理,畜牧布局 and 草场类型要匹配。个别单位的季节草场常变化,因而经常出现经营混乱。在水源附近,地势平坦,交通方便的草场压力大,造成退化。在高山草甸上一般适宜放牛、马,而在高寒草原上适合养羊,但是这种规律没有得到合理利用,因为每一个单位发展畜牧业的经营重点和方向不明确,有什么牲畜就发展什么牲畜,各草场类型和牧业单位的季节草场不匹配,在这种情况下应该严格执行轮牧、休牧、禁牧,恢复高寒草原植被。

References:

- [1] Zhang J T. Quantitative Ecology. Beijing: Science Press, 2004.
- [2] Peng S L, Zhou H C, Guo S C, Huang Z L. Studies on the changes in interspecific association of zonal vegetation in Dinhuashan. Acta Botanica Sinica, 1999, 41(11): 1239-1244.
- [3] Xu S H, Shang Z H, Ma Y S, Long R J. Analysis of interspecific association in degraded meadow communities in the headwater area of Yellow River on Tibetan Plateau. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2008, 28(6): 1222-1227.
- [4] Guo Z H, Zhuo Z D, Chen J, Wu M F. Interspecific association of trees in mixed evergreen and deciduous broadleaved forest in Lushan Mountain. Acta Phytocologica Sinica, 1997, 21(5): 424-432.
- [5] Wang B S. Phytosociology. Guangzhou: Sun Yat-sen University Press, 1989.
- [6] Li Y Z. Determination and comparison of plant species interconnections in three types of grassland. Chinese Journal of Ecology, 1991, 10(6): 6-10.
- [7] Zhou X Y, Wang B X, Li M G, Zan Q J. An analysis of inter-specific associations in secondary succession forest communities in Heishiding Natural Reserve, Guangdong Province. Acta Phytocologica Sinica, 2000, 24(3): 332-339.
- [8] Wu D L, Shangguan T L, Xue H X. Study on interspecific relationship of the plant communities of wetland in Hutuo River Valley, Shanxi. Journal of Shanxi University: Natural Science Edition, 2003, 26(1): 71-75.
- [9] Jiang Y X. Ecological analysis of flora, species correlation and ordination of subalpine forest vegetation in western Sichuan. Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica, 1982, 6(4): 281-301.
- [10] Yang Y C, Zhuang P, Li X R. Ecological studies on the forest community of *Castanopsis platyacantha*-*Schima sinensis* on Emei Mountain. Acta Phytocologica Sinica, 1994, 18(2): 105-120.

- [11] Du D L, Liu Y C, Li R. Studies on the interspecific association of dominant species in a subtropical *Catanopsis fargesii* forest of Jinyun Mountain, China. *Acta Phytoecologica*, 1995, 19(2): 149-157.
- [12] Henry G H R. Environmental influences on the structure of sedge meadows in the Canadian High Arctic. *Plant Ecology*, 1998, 134(1): 119-129.
- [13] Grechanichenko T E. Changes in the carabid fauna (*Coleoptera*, *Carabidae*) of meadow steppes during the past decades. *Russian Journal of Ecology*, 2001, 32(2): 117-121.
- [14] Yang L J, Li X L, Shi D J, Sa W J. Study on the biodiversity of alpine plant communities in the higher altitude area of south Qinghai. *Grassland and Turf*, 2000, 89(2): 32-35.
- [15] Wang K, Ma J Z, Zhang G L, Liu Y K, Song C S. *National Nature Reserve in China*. Hefei: Anhui Science & Technology Publishing House, 2003.
- [16] Gong Y M, Hu Y K, Adeli M, Li K H, Gao G G, Yin W. Alpine grassland community characteristics at the different stages of degenerating succession in Bayanbulak. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2010, 24(6): 149-152.
- [17] Zhang F, Shangguan T L. Numerical analysis of inter-specific relationships in an *Elaeagnus mollis* community in Shanxi. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2000, 20(3): 351-355.
- [18] Liu J F, Hong W, Fan H B, Lin R F. Study on the inter-specific association of species in the vegetation layer in *Castanopsis kawakamii* forest. *Scientia Silvae Sinicae*, 2001, 37(4): 117-123.
- [19] Xing S H, Zhao B, Cui G F, Wang J Z, Zheng W J. Inter-specific association of dominant species in Baihua Mountain meadow of Beijing. *Journal of Beijing Forestry University*, 2007, 29(3): 46-51.
- [20] Wang B S, Peng S L. Studies on the measuring techniques of inter-specific association of lower-subtropical ever-green-broadleaved forests. I. The exploration and the revision on the measuring formulas of interspecific association. *Acta Phytoecologica et Geobotanica Sinica*, 1985, 9(4): 274-285.
- [21] Greig-Smith P. *Quantitative Plant Ecology*. 3rd ed. Blackwell: Scientific Publications, 1983.
- [22] Zhang F, Zhang J T, Shangguang T L. Plant diversity of forest community in Zhuweigou of Lishan Mountain nature reserve. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2002, 26(S1): 52-56.
- [23] Yin L K, Li T. Interspecific relationship analysis of desert riparian forest plant communities in the middle and lower reaches of the Tarim River. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2005, 29(2): 226-234.
- [24] Wang F L, Niu J M, Zhang Q. Study on interspecific relationships among main species of *Stipa breviflora* communities. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2009, 24(1): 159-164.
- [25] Hurlburt S H. A coefficient of interspecific association. *Ecology*, 1969, 50(6): 1-9.
- [26] Sun Z W, Zhao S D. Interspecific association and correlation of lime-broad leaved Korean pine forest on the northern slope of Changbai Mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1995, 15(S1): 56-60.
- [27] Hu Y K, Gao G G, Li K H, Gong Y M, Yin W, Wang J Y, Chen A L. The succession of plant communities in alpine grasslands in different ages of enclosing. *Journal of glaciology and Geocryology*, 2009, 31(6): 1186-1194.
- [28] Lou Y J, Zhao K Y. Analysis of interspecific associations of *Carex lasiocarpa* community in recent 30 year succession in Sanjiang Plain. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(4): 509-513.
- [29] Liu Y H, Gao H, Zhang L H, Chen L P, Zhao N X, Gao Y B. Comparative analysis of inter-specific association within the *Stipa grandis*-*S. krylovii* community in typical steppe of Inner Mongolia, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(9): 1016-1024.
- [30] Erdawlat · Merey, Adil. Analysis on environmental condition and suitable utilization of grassland in Bayinbulak. *Arid Zone Research*, 1989, 6(S1): 5-21.
- [31] Erdawlat · Merey, Adil. The research of degeneration of Bayinbulak grassland in Xinjiang. *Arid Zone Research*, 1989, 6(S1): 33-39.
- [32] Zhou H K, Zhao X Q, Zhao L, Han F, Gu S. The community characteristics and stability of the *Elymus nutans* artificial grassland in alpine meadow. *Chinese Journal of Grassland*, 2007, 29(2): 13-25.

参考文献:

- [1] 张金屯. 数量生态学. 北京: 科学出版社, 2004.
- [3] 徐松鹤, 尚占环, 马玉寿, 龙瑞军. 黄河源区退化高寒草地植物种间联结性分析. *西北植物学报*, 2008, 28(6): 1222-1227.
- [4] 郭志华, 卓正大, 陈洁, 吴梅凤. 庐山常绿阔叶、落叶阔叶林混交林乔木种群种间联结性研究. *植物生态学报*, 1997, 21(5): 424-432.
- [5] 王伯荪. 植物种群学. 广州: 中山大学出版社, 1989.
- [6] 李育中. 三种类型草地植物种间关联的测定与比较. *生态学杂志*, 1991, 10(6): 6-10.
- [7] 周先叶, 王伯荪, 李鸣光, 咎启杰. 广东黑石顶自然保护区森林次生演替过程中群落的种间联结性分析. *植物生态学报*, 2000, 24(3):

332-339.

- [8] 吴东丽,上官铁梁,薛红喜. 淳沱河湿地植物群落的种间关系研究. 山西大学学报:自然科学版, 2003, 26(1): 71-75.
- [9] 蒋有绪. 川西亚高山森林的区划种间关联和群落排序的生态分析. 植物生态学与地植物学丛刊, 1982, 6(4): 281-301.
- [10] 杨一川,庄平,黎系荣. 峨眉山峨眉栲、华木荷群落研究. 植物生态学报, 1994, 18(2): 105-120.
- [11] 杜道林,刘玉成,李睿. 缙云山亚热带栲树林优势种群间联结性研究. 植物生态学报, 1995, 19(2): 149-157.
- [14] 杨力军,李希来,石德军,洒文君. 青南高海拔地区高寒草甸植物群落多样性的研究. 草原与草坪, 2000, 89(2): 32-35.
- [15] 王恺,马建章,张观礼,刘玉凯,宋朝枢. 中国国家级自然保护区. 合肥:安徽科学技术出版社, 2003.
- [16] 公延明,胡玉昆,阿德力·麦地,李凯辉,尹伟. 巴音布鲁克高寒草地退化演替阶段植物群落特性研究. 干旱区资源与环境, 2010, 24(6): 149-152.
- [17] 张峰,上官铁梁. 山西翅果油树群落种间关系的数量分析. 植物生态学报, 2000, 24(3): 351-355.
- [18] 刘金福,洪伟,樊后保,林荣福. 天然格氏栲林乔木层种群种间关联性研究. 林业科学, 2001, 37(4): 117-123.
- [19] 刑韶华,赵勃,崔国发,王九中,郑万建. 北京百花山草甸优势种的种间关联性分析. 北京林业大学学报, 2007, 29(3): 46-51.
- [20] 王伯荪,彭少麟. 南亚热带常绿阔叶林种间联结测定技术研究 I. 种间联结测式的探讨与修正. 植物生态学与地植物学丛刊, 1985, 9(4): 274-285.
- [22] 张峰,张金屯,上官铁梁. 历山自然保护区猪尾沟森林群落植物多样性研究. 植物生态学报, 2002, 26(增刊): 52-56.
- [23] 尹林克,李涛. 塔里木河中下游地区荒漠河岸林群落种间关系分析. 植物生态学报, 2005, 29(2): 226-234.
- [24] 王凤兰,牛建明,张庆. 短花针茅群落主要物种种间关系的研究. 华北农学报, 2009, 24(1): 159-164.
- [26] 孙中伟,赵士洞. 长白山北坡极树阔叶红松林群落乔木种间关联比较研究. 应用生态学报, 1995, 15(增刊): 56-60.
- [27] 胡玉昆,高国刚,李凯辉,公延明,尹伟,王吉云,陈爱莲. 巴音布鲁克草原不同围封年限高寒草地植物群落演替分析. 冰川冻土, 2009, 31(6): 1186-1194.
- [28] 娄彦景,赵魁义. 三江平原毛苔草群落近 30 年演替过程中的种间联结性分析. 生态学杂志, 2008, 27(4): 509-513.
- [29] 刘珏宏,高慧,张丽红,陈丽萍,赵念席,高玉葆. 内蒙古锡林郭勒草原大针茅-克氏针茅群落的种间关联特征分析. 植物生态学报, 2010, 34(9): 1016-1024.
- [30] 叶尔道来提·麦来,阿德勒. 巴音布鲁克草场环境条件及合理利用探讨. 干旱区研究, 1989, 6(S1): 5-21.
- [31] 叶尔道来提·麦来,阿德勒. 巴音布鲁克草场退化的研究. 干旱区研究, 1989, 6(S1): 33-39.
- [32] 周华坤,赵新全,赵亮,韩发,古松. 高山草甸垂穗披碱草人工草地群落特征及稳定性研究. 中国草地学报, 2007, 29(2): 13-25.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 6 March, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Quantitatively monitoring undergoing degradation of plateau grassland by remote sensing data; a case study in Maqu County, Gansu Province, China	ZHOU Jianhua, WEI Huaidong, CHEN Fang, et al (1663)
Using periphyton assemblages to assess stream conditions of Taizi River Basin, China	YIN Xuwang, QU Xiaodong, LI Qingnan, et al (1677)
Water-holding capacity of an evergreen broadleaf forest in Ailao Mountain and its functions in mitigating the effects of Southwest China drought	QI Jinhua, ZHANG Yongjiang, ZHANG Yiping, et al (1692)
The relationship between protistan community and water quality along the coast of Qingdao	YANG Jinpeng, JIANG Yong, HU Xiaozhong (1703)
Simulation of effects of warming on carbon budget in alpine meadow ecosystem on the Tibetan Plateau	QI Weiwei, NIU Haishan, WANG Shiping, et al (1713)
Features of leaf photosynthesis and leaf nutrient traits in reservoir riparian region of Three Gorges Reservoir, China	JIE Shenglin, FAN Dayong, XIE Zongqiang, et al (1723)
Spatio-temporal distribution of fish in the Pengxi River arm of the Three Gorges reservoir	REN Yuqin, CHEN Daqing, LIU Shaoping, et al (1734)
Analysis on allelochemicals in the cell-free Filtrates of <i>Amphidinium carterae</i>	JI Xiaoqing, HAN Xiaotian, YANG Baijuan, et al (1745)
Effect of starvation on expression patterns of the MYP gene in <i>Strongylocentrotus intermedius</i>	QIN Yanjie, SUN Bolin, LI Xia, et al (1755)
Habitat selection of feral yak in winter and spring in the Helan Mountains, China	ZHAO Chongnan, SU Yun, LIU Zhensheng, et al (1762)
Using cellular automata to study patchy spread in a predator-prey system	YANG Li, LI Weide (1773)
Effects of insect-resistant transgenic <i>Bt</i> rice with a fused <i>Cry1Ab+Cry1Ac</i> gene on population dynamics of the stem borers, <i>Chilo suppressalis</i> and <i>Sesamia inferens</i> , occurring in paddyfield	LI Zhiyi, SUI He, XU Yanbo, et al (1783)
Effect of spectral sensitivity and intensity response on the phototaxis of <i>Frankliniella Occidentalis</i> (Pergande)	FAN Fan, REN Hongmin, LU Lihua, et al (1790)
The synergistic action and UV protection of optical brightener on three different geographic isolates of Asian Gypsy Moth Nucleopolyhedrovirus (LdMNPV)	WANG Shujuan, DUAN Liqing, LI Haiping, et al (1796)
The availability of trace elements in an oasis soil under different utilization intensity in an arid area in China	LI Haifeng, ZENG Fanjiang, GUI Dongwei, et al (1803)
Multivariate regression analysis of greenhouse gas emissions associated with activities and populations of soil microbes in a double-rice paddy soil	QIN Xiaobo, LI Yu'e, SHI Shengwei, et al (1811)
Distribution characteristics of humus fraction in soil profile for the typical regions in the Loess Plateau	DANG Ya'ai, LI Shiqing, WANG Guodong (1820)
N ₂ O emissions from vegetable farmland with purple soil and the main factors influencing these emissions	YU Yajun, WANG Xiaoguo, ZHU Bo (1830)
Relationships between carbon source utilization of soil microbial communities and environmental factors in natural secondary forest in subtropical area, China	WANG Yun, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (1839)
Numerical soil classification using fuzzy K-means algorithm and predictive soil mapping at regional scale	LIU Pengfei, SONG Xuan, LIU Xiaobing, et al (1846)
Releasing characteristics of nonpoint source pollutants from straws under submerging condition	YANG Zhimin, CHEN Yucheng, ZHANG Yun, et al (1854)
Effects of delayed irrigation at jointing stage on nitrogen accumulation and its allocation, and NO ₃ -N migration in wheat	WANG Hongguang, YU Zhenwen, ZHANG Yongli, et al (1861)
Risk division on winter wheat suffering from spring wet damages in Jiangsu Province	WU Hongyan, GAO Ping, XU Weigen, et al (1871)
Determination of the initial depth of water uptake by roots of steppe plants in restored and overgrazed communities, Inner Mongolia, China	GUO Yuran, WANG Wei, LIANG Cunzhu, et al (1880)
Fine root architecture and morphology among different branch orders of six subtropical tree species	XIONG Decheng, HUANG Jinxue, YANG Zhijie, et al (1888)
Numerical analysis of inter-specific relationships in Alpine steppe community in Bayanbulak	FANG Fei, HU Yukun, ZHANG Wei, et al (1898)
Analysis of shade-tolerance and determination of evaluation indicators of shade-tolerance in seedlings of <i>Chrysanthemum grandiflorum</i> and its closely related genera	SUN Yan, GAO Haishun, GUAN Zhiyong, et al (1908)
Effect of the parasitic <i>Cuscuta australis</i> on the community diversity and the growth of <i>Alternanthera philoxeroides</i>	WANG Rukui, GUAN Ming, LI Yonghui, et al (1917)
Diversity and community structure of basidiomycete laccase gene from subtropical broad-leaved and coniferous forest ecosystems based on cDNA cloning	CHEN Xiangbi, SU Yirong, HE Xunyang, et al (1924)
Fine root longevity and controlling factors in subtropical <i>Alingia grilipes</i> and <i>Castanopsis carlesii</i> forests	HUANG Jinxue, LING Hua, YANG Zhijie, et al (1932)
Linear programming and optimal distribution of the forest resources based on TM remote sensing images	DONG Bin, CHEN Liping, WANG Ping, et al (1943)
Urban green space landscape patterns and thermal environment investigations based on computational fluid dynamics	LIU Yanhong, GUO Jinping, WEI Qingshun (1951)
Review and Monograph	
Review of the ecological compensation efficiency	ZHAO Xueyan (1960)
Scientific Note	
The effects of petroleum exploitation on water quality bio-assessment and benthic macro-invertebrate communities in the Yellow River Delta wetland, Dongying	CHEN Kai, XIAO Nengwen, WANG Beixin, et al (1970)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 6 期 (2012 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 6 2012

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元