

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 19 期 Vol.32 No.19 **2012**

中国生态学会
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 19 期

2012 年 10 月 (半月刊)

目次

中国野生东北虎数量监测方法有效性评估	张常智, 张明海, 姜广顺 (5943)
城市居民食物氮消费变化及其环境负荷——以厦门市为例	于洋, 崔胜辉, 赵胜男, 等 (5953)
珠江口水域夏季小型底栖生物群落结构	袁俏君, 苗素英, 李恒翔, 等 (5962)
2010 年夏季雷州半岛海岸带浮游植物群落结构特征及其与主要环境因子的关系	龚玉艳, 张才学, 孙省利, 等 (5972)
阿根廷滑柔鱼两个群体间耳石和角质颞的形态差异	方舟, 陈新军, 陆化杰, 等 (5986)
黄河三角洲滨海草甸与土壤因子的关系	谭向峰, 杜宁, 葛秀丽, 等 (5998)
盘锦湿地净初级生产力时空分布特征	王莉雯, 卫亚星 (6006)
菜豆根瘤菌对土壤钾的活化作用	张亮, 黄建国, 韩玉竹, 等 (6016)
花生植株和土壤水浸液自毒作用研究及土壤中自毒物质检测	黄玉茜, 韩立思, 杨劲峰, 等 (6023)
遮荫对金莲花光合特性和叶片解剖特征的影响	吕晋慧, 王玄, 冯雁梦, 等 (6033)
火干扰对小兴安岭草丛、灌丛沼泽温室气体短期排放的影响	顾韩, 牟长城, 张博文, 等 (6044)
古尔班通古特沙漠南部植物多样性及群落分类	张荣, 刘彤 (6056)
黄土高原樟子松和落叶松与其他树种枯落叶混合分解对土壤的影响	李茜, 刘增文, 米彩红 (6067)
长期集约种植对雷竹林土壤氨氧化古菌群落的影响	秦华, 刘卜榕, 徐秋芳, 等 (6076)
H ₂ O ₂ 参与 AM 真菌与烟草共生过程	刘洪庆, 车永梅, 赵方贵, 等 (6085)
北京山区防护林优势树种分布与环境的关系	邵方丽, 余新晓, 郑江坤, 等 (6092)
旱直播条件下强弱化感潜力水稻根际微生物的群落结构	熊君, 林辉锋, 李振方, 等 (6100)
不同森林类型根系分布与土壤性质的关系	黄林, 王峰, 周立江, 等 (6110)
臭氧胁迫下硅对大豆抗氧化系统、生物量及产量的影响	战丽杰, 郭立月, 宁堂原, 等 (6120)
垃圾填埋场渗滤液灌溉对土壤理化特征和草本花卉生长的影响	王树芹, 赖娟, 赵秀兰 (6128)
稻麦轮作系统冬小麦农田耕作措施对氧化亚氮排放的影响	郑建初, 张岳芳, 陈留根, 等 (6138)
不同施氮措施对旱作玉米地土壤酶活性及 CO ₂ 排放量的影响	张俊丽, 高明博, 温晚霞, 等 (6147)
北方农牧交错区农业生态系统生产力对气候波动的响应——以准格尔旗为例	孙特生, 李波, 张新时 (6155)
辽宁省能源消费和碳排放与经济增长的关系	康文星, 姚利辉, 何介南, 等 (6168)
基于 FARSITE 模型的丰林自然保护区潜在林火行为空间分布特征	吴志伟, 贺红士, 梁宇, 等 (6176)
不同后作生境对玉米地天敌的冬季保育作用	田耀加, 梁广文, 曾玲, 等 (6187)
云南紫胶虫种群数量对地表蚂蚁多样性的影响	卢志兴, 陈又清, 李巧, 等 (6195)
阿波罗绢蝶种群数量和垂直分布变化及其对气候变暖的响应	于非, 王吟, 王绍坤, 等 (6203)
专论与综述	
海水养殖生态系统健康综合评价: 方法与模式	蒲新明, 傅明珠, 王宗灵, 等 (6210)
海草场生态系统及其修复研究进展	潘金华, 江鑫, 赛珊, 等 (6223)
水华蓝藻对鱼类的营养毒理学效应	董桂芳, 解绶启, 朱晓鸣, 等 (6233)
环境胁迫对海草非结构性碳水化合物储存和转移的影响	江志坚, 黄小平, 张景平 (6242)
生态免疫学研究进展	徐德立, 王德华 (6251)
研究简报	
喀斯特峰丛洼地不同森林表层土壤有机质的空间变异及成因	宋敏, 彭晚霞, 邹冬生, 等 (6259)
准噶尔盆地东南缘梭梭种子雨特征	吕朝燕, 张希明, 刘国军, 等 (6270)



封面图说: 岸边的小白鹭——鹭科白鹭属共有 13 种, 其中有大白鹭、中白鹭、白鹭 (小白鹭)、黄嘴白鹭等, 体羽皆是全白, 世通称白鹭。夏季的白鹭成鸟繁殖时枕部着生两条狭长而软的矛状羽, 状若双辫, 肩和胸着生蓑羽, 冬季时蓑羽常全部脱落, 白鹭虹膜黄色, 嘴黑色, 脚部黑色, 趾呈黄绿色。小白鹭常常栖息于稻田、沼泽、池塘水边, 以及海岸浅滩的红树林里。白天觅食, 好食小鱼、蛙、虾及昆虫等。繁殖期 3—7 月。繁殖时成群, 常和其他鹭类在一起, 雌雄均参加营巢, 次年常到旧巢处重新修葺使用。

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

DOI: 10.5846/stxb201109021289

张荣, 刘彤. 古尔班通古特沙漠南部植物多样性及群落分类. 生态学报, 2012, 32(19): 6056-6066.

Zhang R, Liu T. Plant species diversity and community classification in the southern Gurbantunggut Desert. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(19): 6056-6066.

古尔班通古特沙漠南部植物多样性及群落分类

张 荣, 刘 彤*

(石河子大学生命科学学院, 石河子 832003)

摘要: 采用分层取样的方法, 以 1000m²/样地为最小观测面积, 对古尔班通古特沙漠南部 61 样地植物多样性进行了调查。发现 92 个物种, 隶属于 22 科 71 属, 单种科、单种属多, 区系优势现象明显。草本植物占总物种数的 81.5%, 短命植物占 43.5%, 对物种丰富度和盖度的空间变化起决定作用。属的区系成分分析表明地中海、西亚至中亚分布型成分占大多数, 具有典型的地中海旱生植物区系分布特征。总物种数, 草本物种数, 短命植物物种数与纬度显著负相关, 与经度和海拔显著正相关。从南到北, 总盖度、草本盖度和短命植物的盖度显著下降, 灌木的盖度则增加, 从西到东, 总盖度、草本盖度和短命植物的盖度显著增加, 而灌木的盖度则减少。采用多元回归树 (Multivariate regression trees, MRT) 方法, 根据纬度、土壤 pH 值和海拔, 将 61 样地分为 4 个群落。结合降水在古尔班通古特沙漠由西到东, 由南到北梯度变化所导致的物种多样性的变化, 推测如果未来降水持续增加, 古尔班通古特沙漠草本植物的优势将更加明显。

关键词: 沙漠; 物种丰富度; 群落; 区系分析; 多元回归树

Plant species diversity and community classification in the southern Gurbantunggut Desert

ZHANG Rong, LIU Tong*

College of Life Science, Shihezi University, Shihezi 832003, China

Abstract: Gurbantunggut desert is the second largest desert in China after Taklimakan desert, with an area of 48,800 square kilometers, of which 97% is covered with fixed and semi-fixed sand dunes. From May to June in 2009, plant diversity was surveyed in 61 sites in the southern Gurbantunggut Desert using a stratified random sampling design. The sampling plot at each site is 1000 m². 92 plants belonging to 71 genera and 22 families were observed. With many families and genera including only one species, the flora dominance is obvious. Among these species, 75 species are herbs, accounted for 81.5% of the total number of species; 40 species are ephemeral plants, accounted for 43.5% of the total number of species, and the cover accounted for 54% of total canopy cover of the desert. The flora analysis showed that most species belonged to Mediterranean, and West Asia to Central Asia (areal-type 12) areal-types, reflecting the arid and semi-arid geographical features of the area. The total number of species, the number of herbs and the number of ephemeral plants correlated negatively with latitude but positively correlated with longitude and altitude. From south to north, total coverage, herb coverage and the coverage of ephemeral plants declined significantly, but the coverage of shrubs increased. From west to east, total coverage, herb coverage and the coverage of ephemeral plants increased, shrub coverage is on the contrary. Multivariate regression trees were used to expound on the relationships between plant communities and 18 environmental variables (including soil, geography and climate). The MRT categorized communities into four groups in terms of latitude,

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划资助项目 (2007BAC17B03)

收稿日期: 2011-09-02; 修订日期: 2012-01-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liutong1968@yahoo.com.cn

pH of soil and elevation. The community group in higher precipitation had higher species richness. Taking the variation in species richness and coverage caused by precipitation difference in the spatial into consideration, it is predicted that the herbs advantage will be more obvious with increased precipitation in the future.

Key Words: desert; species richness; community; flora analysis; Multivariate Regression Tree

古尔班通古特沙漠位于准噶尔盆地的中心,是我国第二大沙漠,并且是我国最大的固定与半固定沙漠。因其南部靠近绿洲,因此受绿洲气候的影响,植被较其它同纬度的沙漠丰富^[1]。该沙漠分布着丰富的短命植物^[2-4],是我国重要的抗旱、耐热、耐盐碱种质资源库^[5]。研究古尔班通古特沙漠植物多样性特点,对于保护和恢复沙漠植被具有重要意义。

20 世纪 50 年代以来由于大面积垦荒、过度樵采、放牧,古尔班通古特沙漠植被受到严重破坏,进入 70 年代以后,道路、油田工程建设,以及输入沙漠的最大河流——玛纳斯河断流,对古尔班通古特沙漠南部植被产生重要影响。特别是地下水下降,导致梭梭种群退化^[6]。有研究表明过去 50 a 中亚地区的降水显著增加^[7-8],在全球气候变化的背景下,这将对古尔班通古特的沙漠植被产生怎样的影响值得重点关注。目前,关于古尔班通古特沙漠植被的研究主要集中在植物群落分布特征^[9],群落物种组成^[1],生境对植物群落格局的影响^[10-12]等方面。但受沙漠调查交通条件的限制,样点的布置、样方大小(最小样方)^[13]和取样数量等存在不足,对古尔班通古特沙漠南部植被物种多样性和群落结构特征缺乏系统全面的了解和认识。

植物群落是不同物种在长期相互作用下对环境适应的整体反映^[14]。群落内的物种相互依存、相互竞争从而达到一种相对平衡状态,然而随着环境的改变植物群落结构在物种组成及空间密度上发生着适应性的改变^[15-16]。因此通过调查物种分布的方式来理解什么环境因素控制了物种的局域分布因而组成了植物的群落结构^[17-20],从而解释群落的组成以及群落结构的环境梯度变化,这是维持物种多样性的基础,也是预测植物对于环境的改变将可能引起的反应,并且找出最有效的制度对物种多样性持续保护和持续利用。因此,以古尔班通古特沙漠南部为重点,采用分层取样的方法,对 61 个永久样地的物种多样性进行全面调查,对比分析该区域的物种组成和分布特点。并采用空间代替时间的方法^[21-22],研究全球气候变化下,降水增多对古尔班通古特沙漠物种多样性和群落结构可能产生的影响。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于古尔班通古特沙漠南部,44°23'52"—45°31'57"N,84°54'37"—88°50'03"E,海拔 255—699 m,自西向东逐渐升高。受气流、盆地地形、水文和植被等因素的影响,沙漠地貌形态出现明显的东西和南北方向上的分异^[23]。沙垄多呈南北延伸,长度达到几十公里,南北方向地貌形态变化不大,东西向沙地地貌变异强烈。新月型沙丘链、蜂窝状沙丘,各种形态的沙垄呈无序分布,高度 10—50 m。研究区中西部为老玛纳斯湖的湖盆地,以沙丘高度小于 5m 的平原为主,整个研究区景观类型多样。

沙漠区为温带干旱荒漠气候,年平均温度 5—5.7℃,极端最高气温 40℃以上,极端最低气温小于 40℃,年蒸发量 2000—2800 mm,>17.2 m/s 的大风天数沙漠中部到边缘 25—77 d 不等,沙漠年降水量为 80—160 mm,南和东南的年平均降水量高于西和西南部,冬季一般积雪深度 10—30 cm,沙漠中几乎无地表径流,地下水位较深,边缘地下水 5—16 m,沙漠腹地>16 m^[1,10-12]。沙漠土壤以固定、半固定风沙土占绝对优势。固定风沙土主要出露于垄间低地及沙垄中下部,半固定风沙土多分布于沙垄中部和中上部。在老玛纳斯湖相地带,积水洼地较多,土壤表层形成一层物理结皮,样地表层聚盐现象十分严重,形成一层坚硬的盐结壳,盐渍化程度较高。土壤主要为龟裂性盐化粘土,部分为沙壤土,砾石土。

1.2 研究方法

1.2.1 样点设置与植被调查

于 2009 年 5 月底 6 月初,对古尔班通古特沙漠南部的 61 个样地进行定点调查,采用分层取样的方法,针

对不同生境类型,分别对古尔班通古特沙漠南部的西部、中部和东部设点。由于沙漠中部莫索湾地区短命植物丰富^[24],所以对该地区重点抽样。在达到最小抽样面积基础上,每个样地根据沙垄的大小和高度以垂直于沙垄走向的方向设置 10 m × 100 m 的样带,将样带划分成 10 个 10 m × 10 m 的样方,记录每个样方中的物种数、冠幅、高度、多度。

1.2.2 环境变量的选取

由于降水是荒漠的主要限制因子,沙漠东西降水差异较大,因此根据德国气象局全球降水气候中心 (Global Precipitation Climatology Centre, GPCC) 网站的气象资料得到研究地 30a (1978—2007 年) 的降水数据,精确度为 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$,利用二维三次样条插值使得精确度达到 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$,以此基准数据为基础,对比观测样点附近 10 个团场气象站 30a 对应空间位置的实测降水记录,求得差异数据。对差异数据在二维网格上进行二维散乱数据点的 3 次样条插值,将得到的结果与 GPCC 基准数据合成,得出经过实测数据校正的样点 1978—2007 年的降水数据。GPCC 采用 SPHEREMSAP 方法 (球坐标距离和角加权方案) 将气象站获得的常规观测资料内插到规则的 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 经纬度网格上,获得每个样地的降水资料。此方法已经在气候学、水文学中得到应用^[25-26]。

每一样地都用 GPS 进行定位,得到经度、纬度和海拔参数。在每个样地中下部采集 0—10 cm 土壤样品 (3 次重复),用常规方法测得土壤有机质 (SOM)、全氮 (TN)、钠 (Na^+)、全磷 (TP)、有效钾 (AK)、有效磷 (AP)、 SO_4^{2-} 、pH、 Cl^- 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 和电导率 (EC)^[27]。

1.2.3 数据处理方法

重要值和频度是衡量物种生态优势度的两个重要指标^[28],对调查到的植物进行了重要值的计算。公式为:重要值 (%) = (相对密度 + 相对频度 + 相对盖度) / 3,以此作为依据来判断沙漠的优势种。相对频度 (rf),公式为 $rf = n_i / N$, n_i 表示 i 物种出现的样地数, N 表示总样地数。

多元回归树是一种新的用于研究群落与环境之间关系的统计方法,它是按照一定的规则通过重复分解自变量 (环境变量) 来减少样地中群落的非相似性,以此来解释、描述和预测多物种数据和多个环境特征之间的关系^[29]。与一般的回归相比,多元回归树在树的构建过程中会自动选择最优变量作为节点,并且在树的生成后利用交叉验证对结果进行剪枝。通过对整个群落组物种成数据的分析,得到物种分布与环境变化的对应信息,因而能更好地反映异质环境下群落的结构特征。本研究采用 MRT 将古尔班通古特沙漠南部 61 样地的群落进行分类,因变量为样地内 92 种植物在 61 样地的多度,是个 92×61 的物种-样地矩阵。自变量为各样地的 30a 年均降水、经度、纬度、海拔、土壤有机质、全氮、全磷、有效钾、有效磷、 Na^+ 、 SO_4^{2-} 、pH、 Cl^- 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 和电导率,是个 18×61 的环境变量-样地矩阵。所有的分析用 R2.12.1 (R Development Core Team 2011) 完成,程序包有 *vegan*^[30] 和 *mvpart*^[31]。Original 7.5 画图。

2 结果与分析

2.1 物种组成与区系特征

在 61 个样地共调查到 92 种植物隶属于 22 科 71 属 (表 1),其中藜科植物 14 属 20 种,占调查样地物种数的 21.7%;菊科植物 14 属 15 种,占 16.3%;十字花科 7 属 10 种,占 10.9%。豆科植物 4 属 9 种,占 9.8%。其中豆科的黄耆属种数最多,有 6 种。92 种物种中,优势物种为尖喙牻牛儿苗 *Erodium oxyrrhynchum*、齿稈草 *Schismus arabicus*、白梭梭 *Haloxylon persicum*、倒披针叶虫实 *Corispermum lehmannianum*、早熟猪毛菜 *Salsola praecox*、淡枝沙拐枣 *Calligonum leucocladum*、狭果鹤虱 *Lappula semiglabra*、对节刺 *Horaninowia ulicina*、弯曲四齿芥 *Tetracme recurvata* 和囊果苔草 *Carex physodes*。其中白梭梭和早熟猪毛菜分布最广,相对频度都为 81.97%。倒披针叶虫实、狭果鹤虱、淡枝沙拐枣、对节刺、弯曲四齿芥、齿稈草、硬萼软紫草 *Arnebia decumbens*、沙蓬 *Agriophyllum squarrosum*、白茎绢蒿 *Seriphidium terraealbae*、疏齿千里光 *Senecio subdentatus*、镰荚黄耆 *Astragalus arpilobus*、角果藜 *Ceratocarpus arenarius*、东方旱麦草 *Eremopyrum orientale*、尖喙牻牛儿苗、蓝刺头 *Echinops sphaerocephalus*、卷果涩芥 *Malcolmia scorpioides*、羽毛针禾、涩芥、小花荆芥、椭圆叶天芥菜

Heliotropium ellipticum 和假狼紫草 *Nnoea caspica* 等相对频度均在 50% 以上, 占整个沙漠南部物种的 25%。相对频度大于 30% 以上的物种 37 个, 占整个沙漠南部物种的 40.2%。除 4 种乔灌木外, 33 个物种是 1 年生和多年生草本植物, 即古尔班通古特沙漠南部植物区系和生态功能主要是由少数物种作用产生的, 这是本沙漠植物多样性的重要特征。

表 1 61 样地 92 种植物的科, 属特征以及相对频度 (*rf*) 和重要值 (*IV*)

Table 1 The family and genera of 92 vascular plant species and their relative frequency (*rf*) and important value (*IV*) in 61 sites

科 Family	属 Genera	种 Species	相对频度 <i>rf</i> /%	重要值 <i>IV</i> /%
藜科	驼绒藜属	1 小叶驼绒藜 <i>Ceratoides ewersmanniana</i> D	1.64	0.76
	梭梭属	2 梭梭 <i>Haloxylon ammodendron</i> A	18.03	9.15
		3 白梭梭 <i>Haloxylon persicum</i> ABCD	81.97	34.66
		4 沙蓬 <i>Agriophyllum squarrosum</i> ABCD	65.57	22.57
	猪毛菜属	5 钠猪毛菜 <i>Salsola nitraria</i> ABD	19.67	6.59
		6 长刺猪毛菜 <i>Salsola paulsenii</i> AB	11.48	3.83
		7 早熟猪毛菜 <i>Salsola praecox</i> ABCD *	81.97	29.21
	碱蓬属	8 刺沙蓬 <i>Salsola ruthenica</i> A	1.64	0.55
		9 碱蓬 <i>Suaeda glauca</i> A	1.64	0.55
		10 小叶碱蓬 <i>Suaeda microphylla</i> A	3.28	1.1
	对节刺属	11 对节刺 <i>Horaninowia ulicina</i> ABCD	77.05	26.73
	叉毛蓬属	12 叉毛蓬 <i>Petrosimonia sibirica</i> B	3.28	1.12
	藜属	13 灰绿藜 <i>Chenopodium glaucum</i> BD	3.28	1.1
	地肤属	14 尖翅地肤 <i>Kochia odontoptera</i> ABCD	47.54	16.19
		15 伊朗地肤 <i>Kochia iranica</i> A	1.64	0.55
	角果藜属	16 角果藜 <i>Ceratocarpus arenarius</i> ABCD	62.3	23.54
	滨藜属	17 犁苞滨藜 <i>Atriplex dimorphostegia</i> ABCD	27.87	9.46
	雾冰藜属	18 雾冰藜 <i>Bassia dasyphylla</i> A	1.64	0.55
	虫实属	19 倒披针叶虫实 <i>Corispermum lehmannianum</i> ABCD *	78.69	31.45
	假木贼属	20 无叶假木贼 <i>Anabasis aphylla</i> A	11.48	4.04
菊科	绢蒿属	21 白茎绢蒿 <i>Seriphidium terraealbae</i> ABCD	65.57	23.17
	鼠毛菊属	22 顶毛鼠毛菊 <i>Epilasia acrolasia</i> ABC *	9.84	3.28
	珀菊属	23 黄花珀菊 <i>Amberboa turanica</i> ABCD	39.34	13.13
	蓝刺头属	24 蓝刺头 <i>Echinops sphaerocephalus</i> ABCD **	60.66	20.24
	琉苞菊属	25 琉苞菊 <i>Hyalea pulchella</i> ABCD *	40.98	14.06
	莴苣属	26 飘带莴苣 <i>Lactuca undulate</i> ABCD	13.11	4.42
	粉苞菊属	27 沙地粉苞菊 <i>Chondrilla ambigua</i> AB	8.2	2.76
		28 沙蒿 <i>Artemisia desertorum</i> AB	18.03	6.09
	蒿属	29 准噶尔沙蒿 <i>Artemisia songarica</i> ABC	22.95	7.97
		30 疏齿千里光 <i>Senecio subdentatus</i> ABCD	65.57	22.05
	小甘菊属	31 小甘菊 <i>Cancrinia discoidea</i> ABCD	21.31	7.12
	蝎尾菊属	32 蝎尾菊 <i>Koelpinia linearis</i> ABCD *	29.5	9.89
十字花科	婆婆罗门参属	33 紫婆婆罗门参 <i>Tragopogon ruber</i> BD **	3.28	1.1
	鸦葱属	34 细叶鸦葱 <i>Scorzonera pusilla</i> B **	1.64	0.55
	刺苞菊属	35 刺苞菊 <i>Carlina biebersteinii</i> ACD	4.92	1.64
	涩芥属	36 卷果涩芥 <i>Malcolmia scorpioides</i> ABCD *	60.66	20.47
		37 涩芥 <i>Malcolmia africana</i> ABCD *	57.38	19.36
	菥蓝属	38 宽翅菥蓝 <i>Isatis violascens</i> ABCD *	37.7	12.65
		39 小果菥蓝 <i>Isatis minima</i> AB *	16.39	5.47
	螺喙芥属	40 螺喙芥 <i>Spirorhynchus sabulosus</i> ABCD *	39.34	13.26
	庭芥属	41 庭芥 <i>Alyssum desertorum</i> ABCD *	34.43	12.94
		42 条叶庭芥 <i>Alyssum linifolium</i> B *	1.64	0.55
	紫罗兰属	43 新疆紫罗兰 <i>Matthiola stoddarti</i> ABD *	16.39	5.48

续表

科 Family	属 Genera	种 Species	相对频度 rf/%	重要值 IV/%
豆科	四棱芥属	44 四棱芥 <i>Goldbachia laevigata</i> ABCD *	26.23	8.79
	四齿芥属	45 弯曲四齿芥 <i>Tetracme recurvata</i> ABCD *	70.49	24.15
	黄耆属	46 尖舌黄耆 <i>Astragalus oxyglottis</i> ABD	9.84	3.29
		47 茧荚黄耆 <i>Astragalus lehmannianus</i> B	4.92	1.64
		48 沙丘黄耆 <i>Astragalus cognatus</i> AB	14.75	4.95
		49 弯花黄耆 <i>Astragalus flexus</i> ABCD	29.51	9.86
		50 喜沙黄耆 <i>Astragalus ammodytes</i> B	3.28	1.1
		51 镰荚黄耆 <i>Astragalus arpilobus</i> ABCD	63.93	21.6
无叶豆属	52 准噶尔无叶豆 <i>Eremosparton songoricum</i> AB	13.11	4.39	
葫芦巴属	53 弯果胡卢巴 <i>Trigonella arcuata</i> CD *	3.28	1.09	
骆驼刺属	54 骆驼刺 <i>Alhagi sparsifolia</i> A	4.92	1.64	
雀麦属	55 旱雀麦 <i>Bromus tectorum</i> ABCD *	8.2	2.73	
齿稃草属	56 齿稃草 <i>Schismus arabicus</i> ABCD *	68.85	33.68	
獐茅属	57 小獐茅 <i>Aeluropus pungens</i> A	1.64	0.55	
针禾属	58 羽毛针禾 <i>Stipagrostis pennata</i> ABCD	59.02	19.98	
紫草科	旱麦草属	59 东方旱麦草 <i>Eremopyrum orientale</i> ABCD *	62.3	21.9
	翅鹤虱属	60 翅鹤虱 <i>Lepechiniella lasiocarpa</i> ABCD *	36.07	12.06
	假狼紫草属	61 假狼紫草 <i>Nnoea caspica</i> ABCD *	50.82	17.19
	天芥菜属	62 尖花天芥菜 <i>Heliotropium acutiflorum</i> A *	1.64	0.55
		63 椭圆叶天芥菜 <i>Heliotropium ellipticum</i> ABCD	55.74	18.61
唇形科	软紫草属	64 硬萼软紫草 <i>Arnebia decumbens</i> ABCD	68.85	23.31
	鹤虱属	65 狭果鹤虱 <i>Lappula semiglabra</i> ABCD *	78.69	26.65
	矮刺苏属	66 矮刺苏 <i>Chamaesphacos ilicifolius</i> ABD *	16.39	5.47
荆芥属	67 小花荆芥 <i>Nepeta micrantha</i> ABCD *	57.38	22.74	
石竹科	蝇子草属	68 矮蝇子草 <i>Silene nana</i> ABCD *	21.31	7.11
		69 沙生蝇子草 <i>Silene olgiana</i> ABC *	31.15	10.42
百合科	顶冰花属	70 分枝顶冰花 <i>Gagea divaricata</i> ABCD **	21.31	7.11
	独尾草属	71 粗柄独尾草 <i>Eremurus inderiensis</i> ABCD **	16.39	5.66
72 异翅独尾草 <i>Eremurus anisopterus</i> ABD **		13.11	4.39	
怪柳科	葱属	73 碱韭 <i>Allium polyrhizum</i> B	6.56	2.98
	怪柳属	74 怪柳 <i>Tamarix chinensis</i> AD	8.2	3
蒺藜科	红纱属	75 枇杷柴 <i>Reaumuria songarica</i> AD	3.28	1.17
	白刺属	76 白刺 <i>Nitraria tangutorum</i> AB	8.2	2.75
77 泡泡刺 <i>Nitraria sphaerocarpa</i> A		4.92	1.65	
大戟科	驼蹄瓣属	78 驼蹄瓣 <i>Zygophyllum fabago</i> A	3.28	1.1
	大戟属	79 土大戟 <i>Euphorbia turczaninowii</i> ABCD *	44.26	15
80 沙大戟 <i>Chrozophora sabulosa</i> ABCD *		26.23	8.75	
蓼科	木蓼属	81 锐枝木蓼 <i>Atraphaxis pungens</i> BD	3.28	1.1
	沙拐枣属	82 泡果沙拐枣 <i>Calligonum junceum</i> B	6.56	2.19
83 淡枝沙拐枣 <i>Calligonum leucocladum</i> ABCD		78.69	28.74	
麻黄科	麻黄属	84 蛇麻黄 <i>Ephedra distachya</i> ABC	39.34	13.98
罂粟科	角茴香属	85 小花角茴香 <i>Hypecoum parviflorum</i> ABCD *	31.15	10.83
莎草科	苔草属	86 囊果苔草 <i>Carex physodes</i> ABCD	34.43	20.29
鸢尾科	鸢尾属	87 细叶鸢尾 <i>Iris tenuifolia</i> ABC **	13.11	4.38
伞形科	簇花芹属	88 簇花芹 <i>Soranthus meyeri</i> ABCD **	49.18	16.47
白花丹科	补血草属	89 补血草 <i>Limonium sinense</i> ABD	6.56	2.22
牻牛儿苗科	牻牛儿苗属	90 尖喙牻牛儿苗 <i>Erodium oxysrrhynchum</i> ABCD *	62.3	27.03
车前科	车前属	91 小车前 <i>Plantago minuta</i> ABCD *	47.54	15.96
列当科	列当属	92 列当 <i>Orobanche coerulescens</i> D	1.64	0.55

物种标记的 A B C D 表示该物种在本群落中出现, * 表示 1 年生短命植物, ** 表示多年生类短命植物

相对频度小于5%的窄布种有23个,分别是刺苞菊 *Carlina biebersteinii*、茧荚黄耆 *Astragalus lehmannianus*、骆驼刺 *Alhagi sparsifolia*、泡泡刺 *Nitraria sphaerocarpa*、小叶碱蓬 *Suaeda microphylla*、叉毛蓬 *Petrosimonia sibirica*、灰绿藜 *Chenopodium glaucum*、紫婆罗门参 *Tragopogon ruber*、喜沙黄耆 *Astragalus ammodytes*、弯果胡卢巴 *Trigonella arcuata*、枇杷柴 *Reaumuria songarica*、驼蹄瓣 *Zygophyllum fabago*、锐枝木蓼 *Atraphaxis pungens*、心叶驼绒藜 *Ceratoides ewersmanniana*、刺沙蓬 *Salsola ruthenica*、碱蓬 *Suaeda glauca*、伊朗地肤 *Kochia iranica*、雾冰藜 *Bassia dasyphylla*、细叶鸦葱 *Scorzonera pusilla*、条叶庭荠 *Alyssum linifolium*、小獐茅 *Aeluropus pungens*、尖花天芥菜 *Heliotropium acutiflorum* 和列当 *Orobancha coerulescens*。分别出现在菊科、豆科、蒺藜科、藜科、怪柳科、蓼科、百合科、十字花科、禾本科、列当科。其中藜科、菊科、豆科植物包含的物种最多,纯粹意义上窄布种的科仅有怪柳科、蒺藜科和列当科。

根据中国种子植物属的分布区类型,调查到的71属92种植物可归为8个分布区类型和7个变型(表2),所包含属数最多的是地中海区、西亚至中亚分布及其变型(共28属34种),其次是世界分布(9属18种),其余几个分布区类型所含的属较少。具有典型的地中海旱生植物区系分布特征。

表2 古尔班通古特沙漠南部属种的植物区系类型
Table 2 Areal-type of genera and species in southern of Gurbantunggut Desert

分布区类型 Areal-type	属数/% No. of genera	种数/% No. of species
1 世界分布 Cosmopolitan	9 (12.7)	18 (19.6)
2 泛热带分布 Pantropic	3 (4.2)	5 (5.4)
7 热带亚洲(印度-马来西亚)分布 Tropic Asia (Indo-Malaysia)	1 (1.4)	1 (1.1)
8 北温带分布 North temperate	7 (9.9)	8 (8.7)
8-4 北温带和南温带间断分布(全温带) North temperate and South temperate disjuncted	4 (5.6)	6 (6.5)
10 旧世界温带分布 Old World temperate	7 (9.9)	8 (8.7)
10-1 地中海区、西亚(或中亚)和东亚间断分布 Mediterranean, West Asia(or central Asia) and East Asia disjuncted	2 (2.8)	2 (2.2)
10-3 欧亚和南部非洲(大洋洲)间断分布 Eurasia and South Africa (sometimes Australasia also) disjuncted	3 (4.2)	3 (3.3)
11 温带亚洲分布 Temperate Asia	2 (2.8)	2 (2.2)
12 地中海区、西亚至中亚分布 Mediterranean, West Asia to Central Asia	24 (33.8)	30 (32.6)
12-1 地中海区至中亚和南非洲、大洋洲间断分布 Mediterranean to Central Asia and South Africa, Australasia disjuncted	2 (2.8)	2 (2.2)
12-3 地中海区至温带-热带亚洲、大洋洲和南美洲间断分布 Mediterranean to Temperate-tropical Asia, Australasia and South America disjuncted	1 (1.4)	1 (1.1)
12-4 地中海区至热带非洲和喜马拉雅间断分布 Mediterranean to Tropical Africa and Himalayas disjuncted	1 (1.4)	1 (1.1)
13 中亚分布 Central Asia	4 (5.6)	4 (4.3)
13-1 中亚东部(亚洲中部)分布 Eastern part of Central Asia (or Asia Media)	1 (1.4)	1 (1.1)

2.2 不同生活型丰富度和盖度的空间变化特征

92物种中草本植物75种,占总物种数的81.5%,灌木17种。在草本植物中,短命植物(包括1年生短命植物和多年生类短命植物)有40种,占草本植物物种数的53.3%,占总物种数的43.5%,盖度则占总盖度的54%。分析了不同生活型植物的空间变化趋势,结果发现古尔班通古特沙漠南部不同生活型的物种丰富度在空间分布上明显不同(图1),因2样点存在奇异,因此分析时去掉。总物种数与纬度呈负相关($r=0.719$, $P<0.001$),但是与经度($r=0.613$, $P<0.001$)和海拔呈正相关($r=0.717$, $P<0.001$)。从南到北,随着纬度的增加,物种数呈显著下降的趋势,这是由于南部靠近绿洲,受绿洲气候的影响,较为湿润;而北部趋于沙漠腹地,生境恶劣,群落结构单一。草本物种数和短命植物物种数与总物种数的变化一致,灌木则相反,其丰富度与纬度不相关($r=0.167$, $P=0.206$)。随着经度和海拔的增加,灌木的丰富度呈现略微上升的趋势。由此说明在

空间分布上,该区丰富度的增加主要是由草本植物引起的。

61 样地植被盖度的空间变化(图 2)与丰富度相一致,与纬度显著负相关($r=0.571$, $P<0.001$),与经度($r=0.543$, $P<0.001$)和海拔($r=0.588$, $P<0.001$)显著正相关。从西到东,植被盖度明显增加。然而,灌木的盖度变化则与总盖度,草本盖度和短命植物盖度的变化相反。从南到北,灌木的盖度略微增加($r=0.265$, $P=0.042$),从西到东,降水增加,灌木的盖度反而显著降低($P<0.001$)。

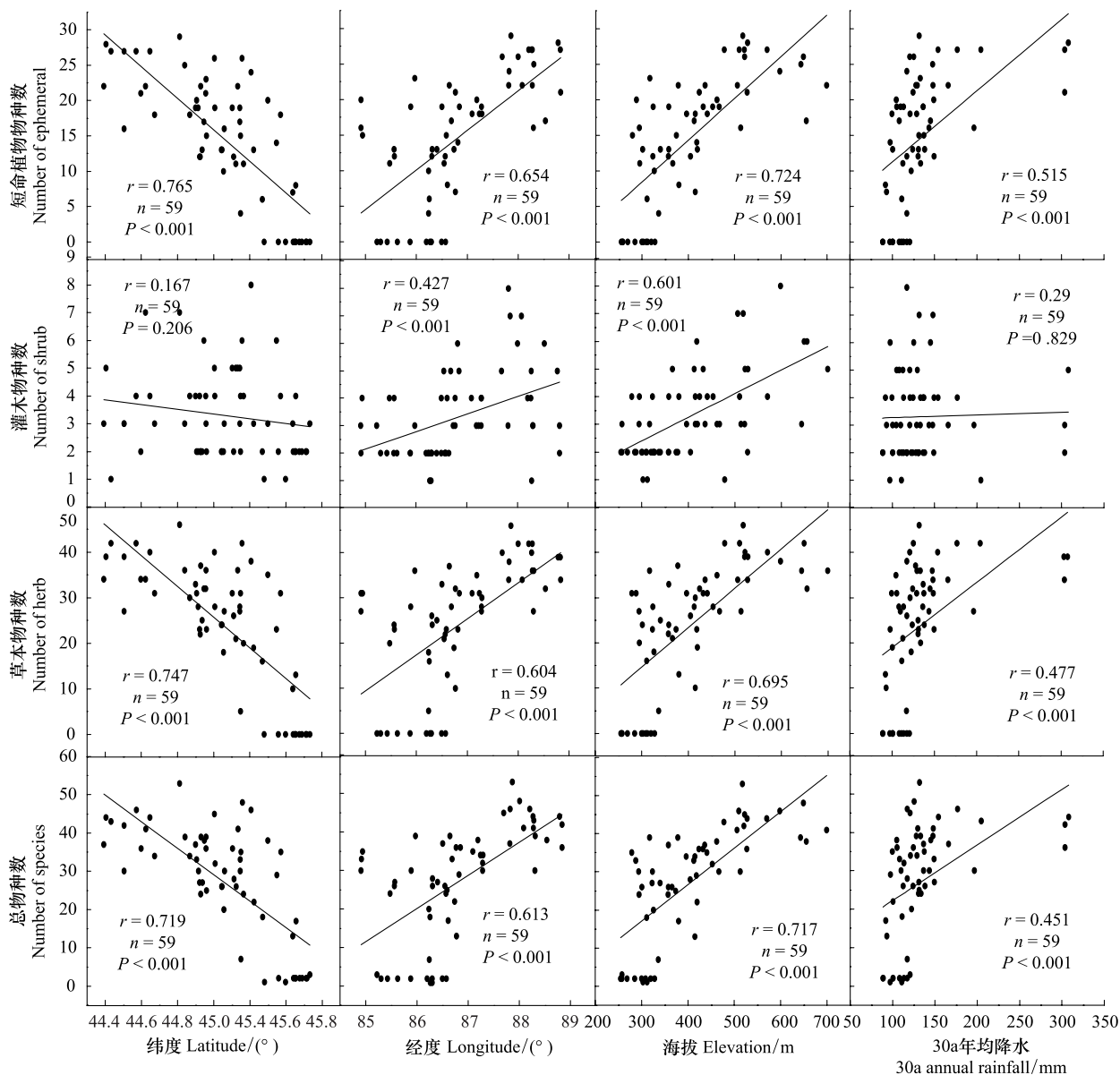


图 1 不同生活型物种丰富度的空间方式

Fig. 1 Spatial patterns in species richness of different life forms

2.3 群落分类

多元回归树根据纬度, pH 值和海拔将 61 样地分为 4 组(图 3), 解释了 42.3% 的物种变异。第 1 次分割以纬度 44.46 为节点, 分为两组, 第 2 次以 pH 值 7.295 为节点又分为两组, 第 3 次以海拔 447 m 为节点。A 群落(纬度 ≥ 44.46 , pH 值 ≥ 7.295 , 海拔 < 447 m)包含了 41 个样地, 79 种植物, 主要分布着倒披针叶虫实、白梭梭、梭梭、角果藜和齿稈草; B 群落(纬度 ≥ 44.46 , pH 值 < 7.295 , 海拔 ≥ 447 m)包含了 15 个样地, 74 种植物, 主要分布着囊果苔草、尖喙牻牛儿苗、早熟猪毛菜、对节刺和白茎绢蒿; C 群落(纬度 ≥ 44.46 , pH 值 $<$

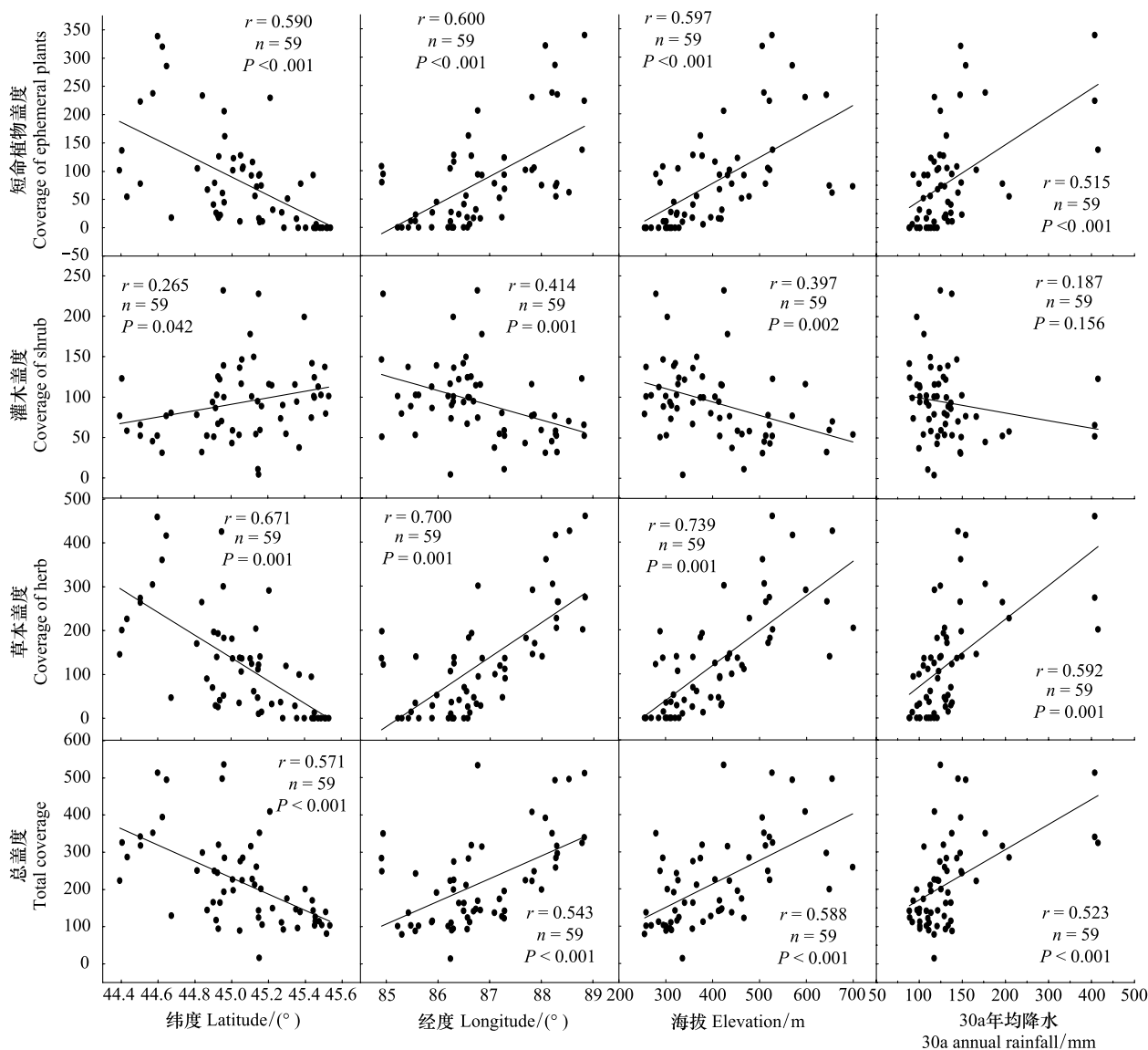


图2 不同生活型盖度的空间方式

Fig. 2 Spatial patterns in coverage of different life forms

7. 295) 包含了 2 个样地, 53 种植物, 主要分布着蛇麻黄 *Ephedra distachya*、小花荆芥、尖喙牻牛儿苗、齿稈草、囊果苔草; D 群落 (纬度 < 44.46) 包含了 3 个样地, 61 种植物, 主要分布着齿稈草、囊果苔草、庭荠 *Alyssum desertorum* 和沙蓬。从 4 个群落的物种丰富度上来看, 虽然 A 群落包含的样地最多, 但是群落 A 的平均样地物种丰富度要显著低于群落 B ($1.93 < 4.93$), 这是由于 B 群落的几个样地位于较高海拔, 降水较多。

3 讨论

在 61 样地中共调查到 92 种植物, 隶属于 71 属 22 科。从优势科分布来看, 依次是藜科, 菊科, 十字花科, 禾本科和豆科。以上各科属占总属数的 63%, 物种占总物种数的 64%, 与张立运的结果基本相同, 这表明古尔班通古特沙漠南部植物区系的种类趋向于集中在有限的少数科内, 56 属只含有一种植物, 单种科、单种属较多, 优势现象明显, 特有成分较少。此外, 还应强调该植物区系中, 那些含属数、种数较少的科, 例如牻牛儿苗科、麻黄科、车前科和莎草科等, 它们在沙漠植被中具有重要作用, 特别是牻牛儿苗科在其生长季节成为荒漠的优势种。

属的区系成分分析发现古尔班通古特沙漠南部植物群落物种分布具有典型的地中海旱生分布特征。地中海区、西亚至中亚分布及其变型含有 33.8% 的属和 32.6% 的种, 由于该区的荒漠植物区系是随着地中海的

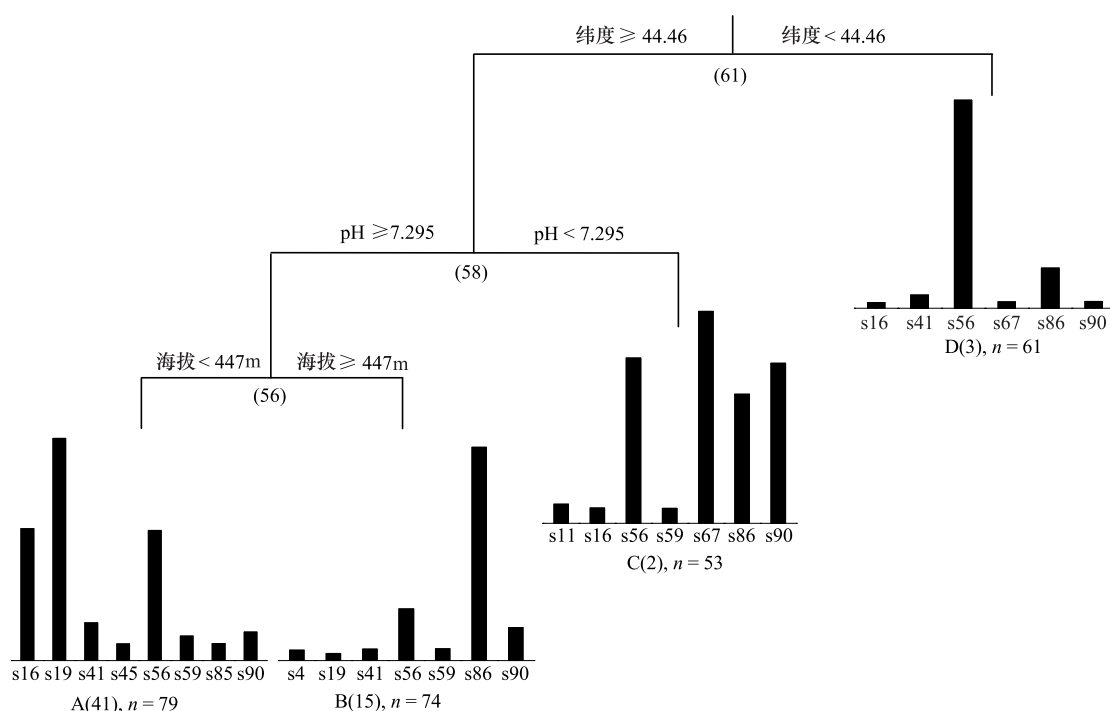


图3 古尔班通古特沙漠 61 样地群落分类

Fig. 3 Multivariate regression tree analysis defining communities across 61 sites

A, B, C, D 代表 4 个群落, 柱状图代表每组平均多度最多的物种 (物种列表见表 1), 括号内的数字表示每组包含的样地数, n 代表每组包含的物种数

退却在当地发展起来的, 因此, 可以说本区系成分中的古地中海成分实质上就是本土成分^[32]。世界分布含有 12.7% 的属和 19.6% 的种, 说明该区域还具有强烈的过渡性, 反映出植物分布与区域气候的一致性。

古尔班通古特沙漠南部物种分布主要受水分条件的限制。在该区域, 降水受到纬度、经度和海拔的影响, 由南向北形成一个逐渐降低的梯度, 由东向西形成一个逐渐升高的梯度。由于古尔班通古特沙漠南部靠近绿洲, 由北向南、由西向东逐渐湿润, 导致草本植物的组分增加, 丰富度也升高。与腾格里沙漠相比, 两个沙漠的年降水量都约为 60—200 mm, 但是植被却表现出很大的不同, 一方面推测是由于两个沙漠的成因不同, 另一方面古尔班通古特沙漠不同生活型的植物组合导致了不同的用水策略, 使沙漠中有限的降水达到最大的有效利用。

多元回归树分析是一种检验多物种和多环境因子之间关系的有效方法。MRT 结果表明群落 A 和 B 的物种组成相似性最高, 群落 A 和 D 的物种组成相似性最低, 说明群落结构在空间上具有一定的连续性, 但是又随着环境梯度的改变而改变。自西向东降水的逐渐增多, 使群落 A 中的一些耐旱植物在群落 D 中缺失, 比如刺沙蓬、碱蓬、骆驼刺。而群落 D 中出现了弯果葫芦巴等这类对降水有高度响应的植物。由于纬度和海拔梯度, 包含了水分、温度、光照等综合环境因子^[33-35], 说明纬度等代表综合因子的地理格局决定了古尔班通古特沙漠的物种多样性和分布。位于较高海拔的几个样地 30a 的年均降水量较大, 并且 4—6 月的降水较多, 这对于短命植物的萌发和生长起着决定性作用。当地理格局确定的情况下, 土壤微生境就成了物种分布的关键因子, pH 值在某种程度上可以反映历史过程也就是物种形成机会的差异, 该区土壤以风沙土为主, 较为贫瘠, 而 pH 值的升高, 只能使耐盐碱的植物存活, 在根本上就限制了不耐盐碱植物的生长和繁殖^[36-37], 因而导致了群落间物种组成的差异。

随着全球气候的变化, 古尔班通古特沙漠地区的降水将逐渐增多, 而该区域降水又受到经纬度和海拔的影响。从不同生活型植物丰富度和盖度的空间变化结果来看, 草本的变化最为明显, 由于这种变化最终是由降水决定的, 所以我们以空间代替时间的方法, 结合降水在古尔班通古特沙漠由西到东, 由南到北梯度变化所

导致的物种多样性的变化,推测如果未来降水持续增加,古尔班通古特沙漠草本植物的优势将更加明显。

致谢:石河子大学生命科学学院的研究生李宽亮、孙钦明、刘忠权、徐满厚、司郎明、张卫宾、曾晓玲、宋占丽和夏军野外调查,新疆农业大学的王兵教授、石河子大学生命科学学院的阎平教授提供物种鉴别,中国科学院北京植物所刘国芳博士,中国科学院新疆生态与地理研究所李彦研究员对写作给予帮助,特此致谢。

References:

- [1] Zhang L Y, Chen C D. On the general characteristics of plant diversity of Gurbantunggut Sandy Desert. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(11): 1923-1932.
- [2] Mao Z M, Zhang D M. The conspectus of ephemeral flora in northern Xinjiang. *Arid Zone Research*, 1994, 11(3): 1-26.
- [3] Wang X Q, Zhang Y M, Jiang J, Yang W K, Guo H X, Hu Y F. Effects of spring-summer grazing on longitudinal dune surface in southern Gurbantunggut Desert. *Journal of Geographical Sciences*, 2009, 19(3): 299-308.
- [4] Liu Z Q, Liu T, Zhang R, Chen H H. Species diversity and spatial differentiation of ephemeral plant community in southern Gurbantunggut Desert. *Chinese Journal of Ecology*, 2011, 30(1): 45-52.
- [5] Cui N R, Li X Y. The plant plasm resources under extreme environmental conditions in Xinjiang. *Journal of Shihezi University: Natural Science*, 1998, 2(4): 304-319.
- [6] Liu B, Liu T, Li L, Zhao X J, Han Z Q, Ma D W. Cause of large-scale *Haloxylon ammodendron* degeneration in west Gurbantunggut Desert. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(4): 637-642.
- [7] Qian W H, Zhu Y F. Climate change in china from 1880 to 1998 and its impact on the environmental condition. *Climatic Change*, 2001, 50(4): 419-444.
- [8] Wei W S, He Q, Liu M Z, Gao W D. Climate change and the desert environment in Junggar Basin, Xinjiang, China. *Journal of Desert Research*, 2003, 23(2): 101-105.
- [9] Chen C D, Zhang L Y, Hu W K. The basic characteristics of plant communities, flora and their distribution in the sandy district of Gurbantunggut. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1983, 7(2): 89-99.
- [10] Qian Y B, Wu Z N, Zhang L Y, Shi Q D, Jiang J, Tang L S. Impact of ecoenvironment on vegetation community pattern in Gurbantunggut Desert. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(6): 895-902.
- [11] Qian Y B, Wu Z N, Zhao R F, Zhang L Y. Vegetation patterns and species-environment relationships in the Gurbantunggut Desert of China. *Journal of Geographical Sciences*, 2008, 18(4): 400-414.
- [12] Qian Y B, Wu Z N, Zhang L Y, Zhao R F, Wang X Y, Li Y M. Spatial patterns of ephemeral plants in Gurbantunggut Desert. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52(19): 2299-2306.
- [13] Liu T, Cui Y H, Zhai W, Jia Y M, Zhang Y H, Xie J B. Sampling methods of plant community diversity in the desert of the southern edge of Muosuowan region, Xinjiang. *Arid Land Geography*, 2006, 29(3): 367-374.
- [14] Sala O E, Chapin F S III, Armesto J J, Berlow E, Bloomfield J, Dirzo R, Huber-Sanwald E, Huenneke L F, Jackson R B, Kinzig A, Leemans R, Lodge D M, Mooney H A, Oesterheld M, Poff N L, Sykes M T, Walker B H, Walker M, Wall D H. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 2000, 287(5459): 1770-1774.
- [15] Rosenfeld D, Rudich Y, Lahav R. Desert dust suppressing precipitation: a possible desertification feedback loop. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2001, 98(11): 5975-5980.
- [16] Ohmann J L, Spies T A. Regional gradient analysis and spatial pattern of woody plant communities of Oregon forests. *Ecological Monographs*, 1998, 68(2): 151-182.
- [17] Guisan A, Thuiller W. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, 2005, 8(9): 993-1009.
- [18] Wang Z H, Brown J H, Tang Z Y, Fang J Y. Temperature dependence, spatial scale, and tree species diversity in eastern Asia and North America. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2009, 106(32): 13388-13392.
- [19] Bhattarai K R, Vetaas O R. Variation in plant species richness of different life forms along a subtropical elevation gradient in the Himalayas, east Nepal. *Global Ecology and Biogeography*, 2003, 12(4): 327-340.
- [20] Orme C D L, Davies R G, Burgess M, Eigenbrod F, Pickup N, Olson V A, Webster A J, Ding T S, Rasmussen P C, Ridgely R S, Stattersfield A J, Bennett P M, Blackburn T M, Gaston K J, Owens L P F. Global hotspots of species richness are not congruent with endemism or threat. *Nature*, 2005, 436(7053): 1016-1019.
- [21] Wassenaar T D, Ferreira S M, van Aarde R J. Flagging aberrant sites and assemblages in restoration projects. *Restoration Ecology*, 2007, 15(1): 68-76.

- [22] Peltzer D A, Wardle D A, Allison V J, Baisden W T, Bardgett R D, Chadwick O A, Condon L M, Parfitt R L, Porder S, Richardson S J, Turner B L, Vitousek P M, Walker J, Walker L R. Understanding ecosystem retrogression. *Ecological Monographs*, 2010, 80(4): 509-529.
- [23] Wu Z. Preliminary study on the aeolian sand landforms in Junggar Basin // Study on the Desert and Coast in China. Beijing: Science Press, 1997: 29-43.
- [24] Zhang L Y. A preliminary study on the Ephemerals in the Mosowan District, Xinjiang. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 1985, 9(3): 213-222.
- [25] Nezlin N P, Kostianoy A G, Li B L. Inter-annual variability and interaction of remote-sensed vegetation index and atmospheric precipitation in the Aral Sea region. *Journal of Arid Environments*, 2005, 62(4): 677-700.
- [26] Adler R F, Huffman G J, Chang A, Ferraro R, Xie P P, Janowiak J, Bruno R, Schneider U, Scott C, Bolvin D, Gruber A, Susskind J, Arkin P, Nelkin E. The version-2 global precipitation climatology project (GPCP) monthly precipitation analysis (1979-present). *Journal of Hydrometeorology*, 2003, 4(6): 1147-1167.
- [27] Zhao H B, Liu T, Lei J Q, Gui D W, Zhao X J. β diversity characteristic of vegetation community on south part of Gurbantungut Desert and its interpretation. *Acta Prataculturae Sinica*, 2010, 19(3): 29-37.
- [28] Zhang J T. Quantitative Ecology. Beijing: Science Press, 2004.
- [29] De'ath G. Multivariate regression trees: a new technique for modeling species-environment relationships. *Ecology*, 2002, 83(4): 1105-1117.
- [30] Oksanen J, Blanchet F G, Kindt R, Legendre P, O'Hara R B, Simpson G L, Solymos P, Stevens M H H, Wagner H. Package 'vegan'. 2010.
- [31] De'ath G. Package 'mvpart'. 2010.
- [32] Pan X L, Dang R L, Wu G H. Arid Desert Flora Geography and Resource Use in Northwest China. Beijing: Science Press, 2001: 70-75.
- [33] Gaston K J. Global patterns in biodiversity. *Nature*, 2000, 405(6783): 220-227.
- [34] Koleff P, Lennon J J, Gaston K J. Are there latitudinal gradients in species turnover? *Global Ecology and Biogeography*, 2003, 12(6): 483-498.
- [35] Sánchez-González A, López-Mata L. Plant species richness and diversity along an altitudinal gradient in the Sierra Nevada, Mexico. *Diversity and Distributions*, 2005, 11(6): 567-575.
- [36] Tilman D. Competition and biodiversity in spatially structured habitats. *Ecology*, 1994, 75(1): 2-16.
- [37] Chytrý M, Danihelka J, Ermakov N, Hájek M, Hájková P, Kočí M, Kubešová S, Lustýk P, Otypková Z, Popov D, Roleček J, Řezníčková M, Šmarda P, Valachovič M. Plant species richness in continental southern Siberia: effects of pH and climate in the context of the species pool hypothesis. *Global Ecology and Biogeography*, 2007, 16(5): 668-678.

参考文献:

- [1] 张立运, 陈昌笃. 论古尔班通古特沙漠植物多样性的一般特点. *生态学报*, 2002, 22(11): 1923-1932.
- [2] 毛祖美, 张佃民. 新疆北部早春短命植物区系纲要. *干旱区研究*, 1994, 11(3): 1-26.
- [4] 刘忠权, 刘彤, 张荣, 陈辉煌. 古尔班通古特沙漠南部短命植物群落物种多样性及空间分异. *生态学杂志*, 2011, 30(1): 45-52.
- [5] 崔乃然, 李学禹. 新疆极端环境条件下的植物种质资源. *石河子大学学报: 自然科学版*, 1998, 2(4): 304-319.
- [6] 刘斌, 刘彤, 李磊, 赵新俊, 韩志全, 马大伟. 古尔班通古特沙漠西部梭梭大面积退化原因. *生态学杂志*, 2010, 29(4): 637-642.
- [8] 魏文寿, 何清, 刘明哲, 高卫东. 准噶尔盆地的气候变化与荒漠环境研究. *中国沙漠*, 2003, 23(2): 101-105.
- [9] 陈昌笃, 张立运, 胡文康. 古尔班通古特沙漠的沙地植物群落、区系及其分布的基本特征. *植物生态学与地植物学丛刊*, 1983, 7(2): 89-99.
- [10] 钱亦兵, 吴兆宁, 张立运, 师庆东, 蒋进, 唐立松. 古尔班通古特沙漠生境对植物群落格局的影响. *地理学报*, 2004, 59(6): 895-902.
- [12] 钱亦兵, 吴兆宁, 张立运, 赵锐锋, 王小燕, 李有民. 古尔班通古特沙漠短命植物的空间分布特征. *科学通报*, 2007, 52(19): 2299-2306.
- [13] 刘彤, 崔运河, 翟伟, 贾亚敏, 张元杭, 谢江波. 莫索湾南缘沙漠植物群落多样性抽样方法的研究. *干旱区地理*, 2006, 29(3): 367-374.
- [23] 吴正. 准噶尔盆地沙漠地貌发育的基本特征 // 中国沙漠与海岸沙丘研究. 北京: 科学出版社, 1997: 29-43.
- [24] 张立运. 新疆莫索湾地区短命植物的初步研究. *植物生态学报*, 1985, 9(3): 213-222.
- [27] 赵怀宝, 刘彤, 雷加强, 桂东伟, 赵新俊. 古尔班通古特沙漠南部植物群落 β 多样性及其解释. *草业学报*, 2010, 19(3): 29-37.
- [28] 张金屯. 数量生态学. 北京: 科学出版社, 2004.
- [32] 潘晓玲, 党荣理, 伍光和. 西北干旱荒漠区植物区系地理与资源利用. 北京: 科学出版社, 2001: 70-75.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 19 October, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Assessment of monitoring methods for population abundance of Amur tiger in Northeast China	5943
..... ZHANG Changzhi, ZHANG Minghai, JIANG Guangshun (5943)	
Changes of residents nitrogen consumption and its environmental loading from food in Xiamen	5953
..... YU Yang, CUI Shenghui, ZHAO Shengnan, et al (5953)	
Analysis of the meiobenthic community in the Pearl River Estuary in summer	5962
..... YUAN Qiaojun, MIAO Suying, LI Hengxiang, et al (5962)	
Community characteristics of phytoplankton in the coastal area of Leizhou Peninsula and their relationships with primary environmental factors in the summer of 2010	5972
..... GONG Yuyan, ZHANG Caixue, SUN Xingli, et al (5972)	
Morphological differences in statolith and beak between two spawning stocks for <i>Illex argentinus</i>	5986
..... FANG Zhou, CHEN Xinjun, LU Huajie, et al (5986)	
Relationships between coastal meadow distribution and soil characteristics in the Yellow River Delta	5998
..... TAN Xiangfeng, DU Ning, GE Xiuli, et al (5998)	
Variation analysis about net primary productivity of the wetland in Panjin region	6006
..... WANG Liwen, WEI Yaxing (6006)	
Mobilization of potassium from Soils by <i>rhizobium phaseoli</i>	6016
..... ZHANG Liang, HUANG Jianguo, HAN Yuzhu, et al (6016)	
Autotoxicity of aqueous extracts from plant, soil of peanut and identification of autotoxic substances in rhizospheric soil	6023
..... HUANG Yuqian, HAN Lisi, YANG Jinfeng, et al (6023)	
Effects of shading on the photosynthetic characteristics and anatomical structure of <i>Trollius chinensis</i> Bunge	6033
..... LV Jinhui, WANG Xuan, FENG Yanmeng, et al (6033)	
Short-term effects of fire disturbance on greenhouse gases emission from sedge and shrubs forested wetland in Lesser Xing'an Mountains, Northeast China	6044
..... GU Han, MU Changcheng, ZHANG Bowen, et al (6044)	
Plant species diversity and community classification in the southern Gurbantunggut Desert	6056
..... ZHANG Rong, LIU Tong (6056)	
Effects of mixing leaf litter from <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i> and <i>Larix principis-rupprechtii</i> with that of other trees on soil properties in the Loess Plateau	6067
..... LI Qian, LIU Zengwen, MI Caihong (6067)	
Effects of long-term intensive management on soil ammonia oxidizing archaea community under <i>Phyllostachys praecox</i> stands	6076
..... QIN Hua, LIU Borong, XU Qiufang, et al (6076)	
Hydrogen peroxide participates symbiosis between AM fungi and tobacco plants	6085
..... LIU Hongqing, CHE Yongmei, ZHAO Fanggui, et al (6085)	
Relationships between dominant arbor species distribution and environmental factors of shelter forests in the Beijing mountain area	6092
..... SHAO Fangli, YU Xinxiao, ZHENG Jiangkun, et al (6092)	
Analysis of rhizosphere microbial community structure of weak and strong allelopathic rice varieties under dry paddy field	6100
..... XIONG Jun, LIN Huifeng, LI Zhenfang, et al (6100)	
Root distribution in the different forest types and their relationship to soil properties	6110
..... HUANG Lin, WANG Feng, ZHOU Lijiang, et al (6110)	
Effect of silicon application on antioxidant system, biomass and yield of soybean under ozone pollution	6120
..... ZHAN Lijie, GUO Liye, NING Tangyuan, et al (6120)	
Effect of landfill leachate irrigation on soil physiochemical properties and the growth of two herbaceous flowers	6128
..... WANG Shuqin, LAI Juan, ZHAO Xiulan (6128)	
Nitrous oxide emissions affected by tillage measures in winter wheat under a rice-wheat rotation system	6138
..... ZHENG Jianchu, ZHANG Yuefang, CHEN Liugen, et al (6138)	
Effects of different fertilizers on soil enzyme activities and CO ₂ emission in dry-land of maize	6147
..... ZHANG Junli, GAO Mingbo, WEN Xiaoxia, et al (6147)	
The response of agro-ecosystem productivity to climatic fluctuations in the farming-pastoral ecotone of northern China: a case study in Zhunger County	6155
..... SUN Tesheng, LI Bo, ZHANG Xinshi (6155)	
The relationship between energy consumption and carbon emission with economic growth in Liaoning Province	6168
..... KANG Wenxing, YAO Lihui, HE Jienan, et al (6168)	
Spatial distribution characteristics of potential fire behavior in Fenglin Nature Reserve based on FARSITE Model	6176
..... WU Zhiwei, HE Hongshi, LIANG Yu, et al (6176)	
Chill conservation of natural enemies in maize field with different post-crop habitats	6187
..... TIAN Yaojia, LIANG Guangwen, ZENG Ling, et al (6187)	
Effect of population of <i>Kerria yunnanensis</i> on diversity of ground-dwelling ant	6195
..... LU Zhixing, CHEN Youqing, LI Qiao, et al (6195)	
Response of <i>Parnassius apollo</i> population and vertical distribution to climate warming	6203
..... YU Fei, WANG Han, WANG Shaokun, et al (6203)	
Review and Monograph	
Integrated assessment of marine aquaculture ecosystem health: framework and method	6210
..... PU Xinming, FU Mingzhu, WANG Zongling, et al (6210)	
Seagrass meadow ecosystem and its restoration: a review	6223
..... PAN Jinhua, JIANG Xin, SAI Shan, et al (6223)	
Nutri-toxicological effects of cyanobacteria on fish	6233
..... DONG Guifang, XIE Shouqi, ZHU Xiaoming, et al (6233)	
Effect of environmental stress on non-structural carbohydrates reserves and transfer in seagrasses	6242
..... JIANG Zhijian, HUANG Xiaoping, ZHANG Jingping (6242)	
Advances in ecological immunology	6251
..... XU Deli, WANG Dehua (6251)	
Scientific Note	
The causes of spatial variability of surface soil organic matter in different forests in depressions between karst hills	6259
..... SONG Min, PENG Wanxia, ZOU Dongsheng, et al (6259)	
Characteristics of seed rain of <i>Haloxylon ammodendron</i> in southeastern edge of Junggar Basin	6270
..... LÜ Chaoyan, ZHANG Ximing, LIU Guojun, et al (6270)	

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,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,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 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 19 期 (2012 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 19 (October, 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