

甘肃敦煌西湖湿地芦苇群落种间关联性研究

张继强^{1,2}, 陈文业^{1,2}, 康建军^{1,2}, 袁海峰³, 刘冬皓^{1,2}, 王海³

(1 甘肃省林业科学研究院, 兰州 730020; 2 甘肃林研科技工程公司, 甘肃兰州 730020; 3 甘肃敦煌西湖国家级自然保护区管理局, 甘肃敦煌 736200)

摘要: 为了探明甘肃敦煌西湖湿地芦苇群落的物种组成和种间关系, 在对其植物群落进行样方调查的基础上, 通过 2×2 列联表, 采用方差分析、 χ^2 检验、Ochiai 指数、Dice 指数和 Jaccard 指数对甘肃敦煌西湖湿地芦苇群落 8 个主要物种组成的 28 个种对间的关联性和相关关系进行了深入分析研究。结果表明: (1) 芦苇群落总体间的关联性表现为显著正关联。(2) 在 28 种对中, 有 20 对显示为正关联, 占总关联对数的 71.4%; 有 8 对显示负关联, 占总关联对数的 28.6%。(3) 芦苇群落种对间多呈正关联, 正负关联的对数比为 2.5, 正关联占优势, 但关联性较弱, 负关联数较少, 但关联性较强; 28 种物种对之间关联程度及共同出现概率不高, 多数表现为无关联。

关键词: 甘肃敦煌; 西湖湿地; 植物群落; 种间关联

中图分类号: Q948.12⁺2.1

文献标志码: A

Study on Interrelated Dominant Community between Species of *Phragmites communis* in Dunhuang Westlake Wetland of Gansu

ZHANG Jiqiang^{1,2}, CHEN Wenye^{1,2}, KANG Jianjun^{1,2},
YUAN Haifeng³, LIU Donghao^{1,2}, WANG Hai³

(1 Gansu Forestry Science and Technology Research Academy, Lanzhou 730020, China; 2 Gansu Engineering Company of Forestry Science and Technology, Lanzhou 730020, China; 3 Administrative Bureau of Gansu Dunhuang Xihu National Nature Reserve, Dunhuang, Gansu 736200, China)

Abstract: In order to find out species composition and interspecific relationship of reed community in Dunhuang Westlake Wetland of Gansu, we investigated the relevance and correlation of 28 species pairs (between species to species) composed of 8 dominant species of reed community in Dunhuang Westlake Wetland of Gansu, according to quadrat investigation of plant community, on the basis of 2×2 contingency table, using analysis of variance, chi-square test, Ochiai index, Dice and Jaccard index. The results showed: (1) The overall correlation among dominant species of reed community showed a significant positive correlation; (2) Among the 28 species pairs, 20 pairs showed a positive correlation accounted for 71.4% of the total correlation pairs; 8 pairs showed a significant negative correlation accounted for 28.6% of the total correlation pairs; (3) Reed community species pairs showed a significant positive correlation, and the logarithmic ratio of positive and negative correlation was 2.5. The positive correlation was dominated (correlation was weak) and the negative correlation was low (correlation was strong). The correlation and probability of common occurrence of 28 species were not high, and most showed no correlation.

Key words: Dunhuang; West Lake wetland; plant community; correlation of species

收稿日期: 2013-03-21; 修改稿收到日期: 2013-12-31

基金项目: 甘肃省科技重大专项计划(1302FKDA035); 甘肃省科技支撑计划-社会发展类项目(1011FKCA136)

作者简介: 张继强(1980—), 男, 学士, 工程师, 主要从事生态恢复研究。E-mail: gszhj@126.com

种间关联是指不同物种在数量上和空间分布上的相互关联性^[1],是种群基本数量特征之一^[2]。种间关联一般是由于群落生境的差异影响了物种分布而引起的^[3-4],通常是以物种的存在与否为依据^[5]。种间关联在生态学中一直是研究的热点^[6],是群落形成和演化的基础,也是群落分类的依据^[7]。通过对不同种个体在空间联结程度的客观测定,对研究群落水平格局的形成、种群进化和群落动态演替具有重大的意义^[8]。

甘肃敦煌西湖国家级自然保护区的湿地(以下简称敦煌西湖湿地)是中国西北极端干旱区面积较大的湿地之一,在中国西部生态环境建设中有着极为重要的战略地位。敦煌西湖湿地的植被主要是湿地植被和荒漠植被,其中湿地植被属于沼泽植被型组的草丛沼泽植被型。在季节性积水的湖盆区及外围轻盐化草甸土上,主要分布着芦苇群落、花花柴群落、胀果甘草群落、骆驼刺群落、芦苇-胡杨群落及多枝怪柳群落。其中芦苇群落是面积最大、最典型的植被类型。近年来,由于自然和人为因素的双重干扰,该地区生态环境日益恶化,植物多样性持续减少、湿地面积萎缩、土地沙化和盐渍化严重^[9-11]。随着疏勒河上游来水的减少,区内芦苇干枯死亡,罗布麻、甘草、骆驼刺大面积消失,植被逐渐稀疏化。专家预言如果不采取措施积极治理,湿地极有可能逐渐缩小乃至消失。这一现象引起了国内众多学者的关注,刘旻霞、袁海峰^[10]等对敦煌西湖自然保护区生物多样性特征进行了研究,对生境质量进行了评价,总结出具体保护对策;戚登臣、陈文业等^[9]对敦煌西湖湿地生态系统现状的实地调查,对退化原因进行深入分析,提出了综合修复对策;郑姚闽、崔国发等对敦煌西湖多枝怪柳群落特征和种群格局进行了研究。本研究以甘肃敦煌西湖湿地面积最大、植被类型最典型的芦苇群落为对象,主要研究芦苇(*Phragmites communis*)群落优势种种间关联性和相关性,旨在揭示敦煌西湖湿地芦苇群落的结构特征和不同植物对不同生境适应的特点,为干旱荒漠区湿地保育、合理规划及可持续利用积累资料。

1 研究区概况

甘肃敦煌西湖国家级自然保护区位于甘肃河西走廊最西端,面积为 66 万 hm²,地处于东经 92°45′~93°50′,北纬 39°45′~40°36′。区内海拔 820~2 359 m,地势南高北低,中间为冲积平原,四周均被沙漠和戈壁所隔绝。年平均气温为 9.9℃,最低气

温-30℃(1月),最高气温 40℃(7月),大于 10℃年积温为 4 073℃;年均降水量 39.90 mm,多为无效降水,主要集中在夏季,年蒸发量 2 486 mm,干旱指数为 39.0;年均风速 2.20 m/s,大风日数 15.4 d;全年日照时数为 3 246.70 h,日照率达 73%;年总辐射量为 641.84 kJ/cm²,干燥度大于 16,属典型的大陆性干旱气候。敦煌西湖的湿地属西北高原草丛沼泽区^[12],是内陆干旱地区的典型湿地类型^[13],具有极干旱区湿地生态系统和荒漠生态系统的典型性和代表性。区内湿地植被属于沼泽植被型组草丛沼泽植被型,其群系主要是芦苇沼泽;土壤主要为沼泽土,另有部分草甸土分布于河漫滩等地,为区域性土壤。主要保护对象为湿地植被和湿地生态系统^[14]。

2 研究方法

2.1 野外调查方法

于 2012 年 9 月上旬,在甘肃省林业科学研究院敦煌西湖国家湿地生态系统定位研究站进行野外调查(生态系统定位站位于敦煌西湖自然保护区功能区划的核心区和实验区的交界处,植被最具有代表性和典型性),以芦苇群落为研究对象,随机选取生境类型一致,地形较为平坦面积为 10 m×500 m 的 4 条平行样带,样带间距大于 100 m。在每条样带中随机选取 10 个 5 m×5 m^[15-16] 的小样方,共计调查 40 个小样方。记录每个样方内的植物种类、高度(用随机抽样法,用直尺测量,然后求平均值)、多度(数株统计)、盖度(用样线法和样点法实测)、密度(1 m² 中某种植物个体的数量)等指标。对调查取得的数据进行汇总整理后,运用重要值公式计算所调查植物的重要值,计算后进行重要值排序(表 1 列出了前 8 种植物),对所调查的主要物种进行种间关联性计算分析。

表 1 芦苇群落主要物种、代号及重要值

Table 1 The main species name,code and importance value of *P. communis* community

种名代号 Species code	物种名 Species name	重要值 Important value
Pc	芦苇 <i>Phragmites communis</i>	63.82
Lr	黑果枸杞 <i>Lycium ruthenicum</i>	41.97
As	疏叶骆驼刺 <i>Alhagi sparsifolia</i>	38.95
Co	圆囊苔草 <i>Carex orbicularis</i>	32.09
Ls	赖草 <i>Leymus secalinus</i>	24.12
Sc	猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	18.69
Gi	胀果甘草 <i>Glycyrrhiza inflata</i>	18.05
Gm	海乳草 <i>Glaux maritima</i>	5.50

2.2 数据处理方法

2.2.1 重要值 根据组成群落各种群的重要值排序,选取芦苇群落中的主要植物种(表1)进行种间关联分析,重要值计算公式为:

$$IV = (RC + RF + RH + RD) / 4^{[17-18]}$$

式中, RF 表示相对频度; RC 表示相对盖度; RD 表示相对密度; RH 表示相对高度。

2.2.2 多物种间总体关联性检验 采用方差比值法(VR)测定多物种间的总体关联性,说明在某地出现的多物种间是否存在显著的关联性。计算公式如下:

$$\delta_T^2 = \sum_{i=1}^S P_i (1 - P_i); P_i = n_i / N \quad (1)$$

$$S_T^2 = 1/N \sum_{i=1}^S P_i (T_i - t)^2 \quad (2)$$

$$VR = S_T^2 / \delta_T^2 \quad (3)$$

式中, S 为待测群落内物种总数, N 为总样方数, n_i 为物种 i 出现的样方数, T_j 为样方 j 内出现的物种数, t 为样方中物种的平均数 $t = (t_1 + t_2 + \dots + t_N) / N$, VR 为群落内植物种间的总体联结指数。

在独立性假设条件下, $VR = 1$ 表示物种间无联接, $VR > 1$ 表示物种间存在正关联, $VR < 1$ 表示物种间存在负关联。采用统计量 $W = N \times (VR)$ 来检验 VR 值偏离 1 的显著程度。若物种不显著相关, 则 W 落入由下面 χ^2 分布给出的界限的概率为 90%, $\chi_{0.05, N}^2 < W < \chi_{0.95, N}^2$ [19-21]。

2.2.3 物种间关联性检验 表达种对间是否关联, 常采用关联系数, 计算前先列出 2×2 列关联表, 它的一般形式如表 2 所示。

式中, a 为 2 个种都出现的样方数, b 为 B 种出现而 A 种不出现的样方数, c 为 A 种出现而 B 种不出现的样方数, d 为 2 个种都不出现的样方数, N 为总样方数。下同。

关联系数计算公式如下:

$$V = \frac{(a+b) - (b+c)}{(a+b+c+d)}$$

若 $V > 0$, 则为正关联, 表示两个种一块出现的次数比期望的更频繁, 可能是一个种依赖于另一个

表 2 2×2 列关联表

Table 2 2×2 columns of correlation table

		种 a Species a		
		+	-	
种 b Species b	+	a	b	a+b
	-	c	d	c+d
		a+c	b+d	n

种而存在, 或两者受生物或非生物的环境因子影响而生长在一起; 若 $V < 0$, 则为负关联, 表示两个种一块出现的次数少于期望值, 是由于空间排挤、竞争、他感作用以及不同的环境要求。

根据 2×2 列关联表的 χ^2 统计量检验物种间的关联性, 并建立统计量, 进一步判断关联的显著性。

$$\chi^2 = \frac{[(ad-bc) - \frac{1}{2}N]^2 N}{(a+b)(a+c)(b+d)(c+d)}$$

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 [22]。

2.2.4 物种间关联程度测定 采用 Ochiai 指数 (OI)、Dice 指数 (DI) 和 Jaccard 指数 (JI) 测定种间关联程度大小, 计算公式为:

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

$$DI = \frac{2a}{2a+b+c}$$

$$JI = \frac{a}{a+b+c}$$

OI、DI、JI 3 个指数均表示种对相伴随出现的机率和关联性程度, 当 $a=0$ 时, 取值为 0, 表明种间完全相异, 不同时出现在同一样方中; 当 $a=S$ (总种数) 时取值为 1, 表示同时出现在样方中 [22-23]。

3 结果与分析

3.1 多物种间总体关联性

种间总体关联性描述了物种之间的静态关系, 反映了群落在一定程度上的稳定性 [23-24], 分析群落的种间关联有利于认识群落演替的方向。一般来说, 随着植物群落演替的进展, 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 [18]。根据芦苇群落中 8 个主要物种之间的 2×2 列联表, 计算得 $VR = 3.54 > 1$, $W = 63.79$ 。因为 $VR > 1$, 所以 8 种植物间整体表现出正关联, 而 $\chi_{0.05, N}^2 < W < \chi_{0.95, N}^2$ 偏离 1 显著, 所以芦苇群落表现出显著正相关性 (表 3)。正关联可能是因为一个种依赖于另一个种而存在, 或两者受生物的和非生物的环境因子影响而生长在一起。芦苇群落整体表现出显著正相关性, 说明在芦苇群落中一些种的出现对另一些种是有利的, 该群落处于一个相对较稳定的状态。

3.2 物种间关联性检验

χ^2 检验统计显示(图 1),由 8 种植物组成的 28 对物种对中,显示正关联($V>0$)的有 20 对,占总对数的 71.4%。其中显示显著正关联($3.841<\chi^2<6.635$)和极显著正关联($\chi^2>6.635$)的各 2 对,分别占正关联总对数的 10%;显示负关联($V<0$)的有 8 对,占总对数的 28.6%。其中显示极显著负关联($\chi^2>6.635$)有 2 对,占负关联总对数的 25%;可以看出甘肃敦煌西湖湿地芦苇群落优势植物种间呈正相关性,但显著或极显著正关联不明显,其结果和整体关联性检验结果基本一致。在 20 对正关联种对中,显著正关联($3.841<\chi^2<6.635$)和极显著正关联($\chi^2>6.635$)的各 2 对,它们分别是 *Lr-As*(黑果枸杞-疏叶骆驼刺)、*Co-Sc*(圆囊苔草-猪毛菜)和 *As-Ls*(疏叶骆驼刺-赖草)、*Gm-Gi*(海乳草-胀果甘草);在 8 对负关联种对中,极显著负关联($\chi^2>6.635$)有 2 对,它们是 *Lw-Lr*(芦苇-黑果枸杞)和 *Lw-Lr*(芦苇-疏叶骆驼刺)。

3.3 物种间关联程度分析

从表 4、图 1 看出,在 20 对正关联种对中 *OI*、*DI*、*JI* 值大于 0.8 的分别有 2 对、1 对、1 对,其中 *Co-Sc*(圆囊苔草-猪毛菜)的 *OI*、*DI* 和 *JI* 值均为 1,说明 *Co-Sc*(圆囊苔草-猪毛菜)物种对同时出现在

样方中;*OI*、*DI*、*JI* 介于 0.6~0.8 之间的分别有 2 对、2 对、1 对;介于 0.4~0.6 之间的分别有 1 对、1 对、2 对;介于 0.2~0.4 之间的分别有 2 对、2 对、1 对;小于 0.2 的分别有 13 对、13 对、15 对,其中有 13 对 *OI*、*DI*、*JI* 值均为 0,它们分别是 *As-Sc*(疏叶骆驼刺-猪毛菜)、*As-Gm*(疏叶骆驼刺-海乳草)、*Lr-Gi*(黑果枸杞-胀果甘草)、*Lr-Ls*(黑果枸杞-赖草)、*Lr-Sc*(黑果枸杞-猪毛菜)、*Lr-Gm*(黑果枸杞-海乳草)、*Lr-Co*(黑果枸杞-圆囊苔草)、*Gi-Gm*(甘草-海乳草)、*Ls-Sc*(赖草-猪毛菜)、*Ls-Co*(赖草-圆囊苔草)、*Ls-Sc*(赖草-猪毛菜)、*Ls-Gm*(赖草-海乳草)、*Ls-Co*(赖草-圆囊苔草),说明这些种对无关联,同时不出现的几率很大。在正关联中,关联测度值越大,说明关联程度越紧密,测度值越小,则关联程度越小。因此,可以看出甘肃敦煌西湖湿地芦苇群落优势植物种对多呈正关联,但连接性较弱,多数表现为

表 3 芦苇群落主要物种间整体关联性分析

Table 3 The overall correlation analysis on main communities of *P. communis*

方差比率 Variance ratio	检验统计量 Statistic W	χ^2 临界值 [$\chi^2_{0.95,60}, \chi^2_{0.05,40}$]	检验结果 Result
3.54	63.79	(43.19,55.76)	显著正关联 Significant positive correlation

表 4 敦煌西湖湿地芦苇群落种间联结显著性统计

Table 4 The significant statistics of interspecific association on *P. communis* in Dunhuang West Lake wetland

序号 Order number	物种对 Species pair	关联检验 Testing association			序号 Order number	物种对 Species pair	关联检验 Testing association		
		关联性 Relevance	V	χ^2			关联性 Relevance	V	χ^2
1	<i>Lw-As</i>	-**	-0.44	7.61	15	<i>Lr-Ls</i>	+	0.11	3.45
2	<i>Lw-Lr</i>	-**	-0.67	11.25	16	<i>Lr-Sc</i>	+	0.11	3.45
3	<i>Lw-Gi</i>	-	-0.44	0.11	17	<i>Lr-Gm</i>	+	0.22	3.31
4	<i>Lw-Ls</i>	-	-0.44	0.11	18	<i>Lr-Co</i>	+	0.11	3.45
5	<i>Lw-Sc</i>	-	-0.44	0.11	19	<i>Gi-Ls</i>	+	0.78	0.44
6	<i>Lw-Gm</i>	-	-0.56	0.85	20	<i>Gi-Sc</i>	+	0.56	2.97
7	<i>Lw-Co</i>	-	-0.33	0.00	21	<i>Gi-Gm</i>	+*	0.67	4.00
8	<i>As-Ly</i>	+**	0.78	8.13	22	<i>Gi-Co</i>	+	0.56	2.97
9	<i>As-Gi</i>	+	0.11	0.34	23	<i>Ls-Sc</i>	+	0.56	2.97
10	<i>As-Ls</i>	+*	0.11	0.34	24	<i>Ls-Gm</i>	+	0.56	2.97
11	<i>As-Sc</i>	+	0.11	3.52	25	<i>Ls-Co</i>	+	0.56	2.97
12	<i>As-Gm</i>	+	0.11	3.52	26	<i>Sc-Gm</i>	+	0.89	1.62
13	<i>As-Co</i>	-	-0.11	4.68	27	<i>Sc-Co</i>	+**	1.00	9.30
14	<i>Lr-Gi</i>	+	0.11	3.45	28	<i>Gm-Co</i>	+	0.89	1.62

注:*Lw*. 芦苇;*As*. 疏叶骆驼刺;*Lr*. 黑果枸杞;*Gi*. 胀果甘草;*Ls*. 赖草;*Sc*. 猪毛菜;*Gm*. 海乳草;+, 种间正关联;- , 种间负关联;* , 种间联结性显著($3.841<\chi^2<6.635$);** 种间联结性极显著($\chi^2>6.635$)。

Note:*Lw*. *Phragmites communis*; *As*. *Alhagi sparsifolia*; *Lr*. *Lycium ruthenicum*; *Gi*. *Glycyrrhiza inflata*; *Ls*. *Leymus secalinus*; *Sc*. *Salsola collina*; *Gm*. *Glauz maritima*; +. Positive correlation; -. Negative correlation; *. Significant statistics of interspecific association($3.841<\chi^2<6.635$); **. Great significant statistics of interspecific association($\chi^2>6.635$).

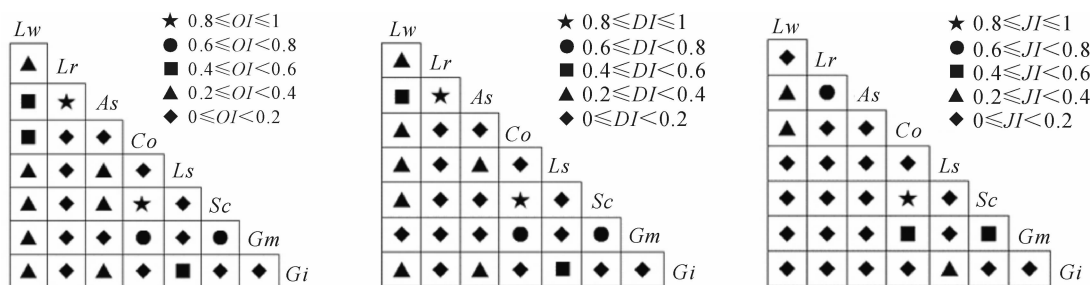


图 1 芦苇群落主要物种间对的关联程度半矩阵图(OI、DI、JI)

Fig. 1 The semi-matrix chart of the correlation degree on main communities of *P. communis* (OI, DI, JI)

无关联。

在 8 对负关联种对中 OI、DI、JI 值介于 0.4~0.6 之间的分别有 2 对、1 对、0 对,介于 0.2~0.4 之间的分别是 5 对、5 对、2 对,小于 0.2 的分别是 1 对、2 对、6 对,其中有 1 对 OI、DI、JI 值均为 0,它们是 As-Co(疏叶骆驼刺-圆囊苔草)。对于负关联的种对来说,OI、DI、JI 值越小,表示负关联性越强。因此,认为甘肃敦煌西湖湿地芦苇群落优势植物种间存在较强的负关联性。

4 结 论

敦煌西湖湿地是极干旱地区的荒漠湿地生态系统,兼有荒漠生态系统和湿地生态系统的特征。通过样方调查,结果表明敦煌西湖湿地芦苇群落物种组成相对稀少,植被以旱生和超旱生灌木、半灌木和草本植物为主。对芦苇群落 8 种主要物种组成的 28 对种对间的关联性分析及显著性检验结果表明:种群整体存在显著正关联性,优势种植物种对间多以正关联为主,但连接性较弱,多数表现为无关联。在 8 种主要植物组成的 28 对种对中有 20 对显示正关联,占总种对数的 71.4%。其中 Lr-As(黑果枸

杞-疏叶骆驼刺)和 Co-Sc(圆囊苔草-猪毛菜)连接系数 OI、DI、JI 分别为 0.87、0.386、0.75 和 1、1、1,均表现出较强的连接性。这两对植物种对间相伴出现的概率最高,一个种依赖另一个种而存在,或两者受生物的和非生物的环境因子影响而生长在一起。

负关联对数相对较少,但连接性较强,共有 8 对,占总种对数的 28.6%。其中 Lw-Lr(芦苇-黑果枸杞)和 Lw-As(芦苇-疏叶骆驼刺)种对间由于空间排挤、他感作用或者不同的环境要求,物种对内出现竞争现象,相互彼此制约。其中 Lw-Lr(芦苇-黑果枸杞)的连接 OI、DI、JI 系数分别为 0.32、0.29、0.17,表现为较强的负关联性,说明其相互竞争最为激烈。

由以上结论可以看出,敦煌西湖湿地芦苇群落种间关联性为显著正关联,正负关联的对数比为 2.5,正关联占优势,但物种之间关联程度及共同出现概率不高,多数表现为无关联。群落虽然处于一个相对的稳定状态,但这只是群落演替的一个过程,敦煌西湖湿地芦苇群落的最终演替方向有待于进一步的观察和研究。

参考文献:

- [1] TAO Y(陶冶),LIU T(刘彤),QIU D(邱东),et al. Interspecific associations among main species in the communities with *Arabis thaliana* occurrence in Guozigou region of the western Tianshan Mountains[J]. *Arid Land Geography*(干旱区地理),2010,33(6): 930-938(in Chinese).
- [2] TAO Y(陶冶),LIU T(刘彤),JIA Y M(贾亚敏),et al. Fractal characteristics of spatial distribution pattern of *Ceratoides ewersmaniana* and *Haloxylon ammodendron* population in the southern Gurbantunggut Desert, Xinjiang[J]. *Arid Land Geography*(干旱区地理),2008,31(3):365-371(in Chinese).
- [3] XU S H(徐松鹤),SHANG ZH H(尚占环),MA Y SH(马玉寿),et al. Analysis of interspecific association in degraded meadow communities in the Headwater Area of Yellow River on Tibetan Plateau[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.*(西北植物学报),2008,28(6):1 222-1 227(in Chinese).
- [4] 王伯荪,李鸣光,彭少麟. 植物种群学[M]. 广州:中山大学出版社,1989:127-129.

- [5] 张金屯. 数量生态学[M]. 北京:科学出版社,2004:98—99.
- [6] ZHANG CH ZH(赵成章),GAO F Y(高福元),SHENG Y P(盛亚萍),*et al.* Fine-scale spatial distribution and spatial association of *Stellera chamaejasme* population[J]. *Arid Land Geography*(干旱区地理),2011,**34**(3):492—497(in Chinese).
- [7] 徐松鹤. 黄河源区次生裸地形成过程及其植物群落种的生态关系[D]. 兰州:甘肃农业大学,2008:16—17.
- [8] GUAN R M(关锐敏),WANG X A(王孝安),GUO H(郭 华),*et al.* Analysis on the inter-specific association of the climax community in the Malan Forest Area on the Loess Plateau[J]. *Arid Zone Research*(干旱区研究),2009,**26**(4):569—573(in Chinese).
- [9] QI D CH(戚登臣),CHEN W Y(陈文业),ZHANG J Q(张继强),*et al.* Status, degraded causes and comprehensive treatment of Dunhuang Xihu wetland ecosystem[J]. *Acta Agrestia Sinica*(草业学报),2010,**19**(4):194—203(in Chinese).
- [10] LIU M X(刘旻霞). Biodiversity characters and eco-environment quality evaluation on nature reserve of Xihu in Dunhuang[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*(干旱区资源与环境),2009,**23**(3):171—174(in Chinese).
- [11] 刘迺发. 甘肃敦煌自然保护区科学考察[M]. 北京:中国林业出版社,2001.
- [12] 吴三雄,袁海峰. 甘肃省敦煌国家级自然保护区科学考察报告[M]. 北京:中国林业出版社,2010:38—50.
- [13] DANG R L(党荣理),PAN X L(潘晓玲). Floristic analysis of seed plant families in West-North Desert of China[J]. *Acta Bot. Boreal. - Occident. Sin.*(西北植物学报),2002,**22**(1):24—32(in Chinese).
- [14] ZHENG Y M(郑姚闽),CUI G F(崔国发),LEI T(雷 霆),*et al.* Community characteristics and population patterns of *Tamarix ramosissima* in Dunhuang Xihu of Gansu Province, Northwestern China[J]. *Journal of Beijing Forestry University*(北京林业大学学报),2010,**32**(4):34—44(in Chinese).
- [15] 卢 琦,李新荣,肖洪浪. 荒漠生态系统观测方法[M]. 北京:中国环境科学出版社,2004:66—75.
- [16] 常兆丰,安富博,樊宝丽. 荒漠生态观测研究方法[M]. 兰州:甘肃科学技术出版社,2010:51—53.
- [17] 李 博,杨 持,林 鹏. 生态学[M]. 北京:高等教育出版社,2004:120—147.
- [18] 孙儒泳. 基础生态学[M]. 北京:高等教育出版社,2002:136—136.
- [19] YANG X D(杨晓东),FU D P(傅德平),YUAN Y(袁 月),*et al.* Interspecific associations of main plants in Ebinur Lake wetland of Xinjiang, Northwest China[J]. *Arid Zone Research*(干旱区研究),2010,**27**(2):249—257(in Chinese).
- [20] LIU Y H(刘珏宏),GAO H(高 慧),ZHANG L H(张丽红),*et al.* Comparative analysis of inter-specific association within the *Stipa grandis*-*S. krylovii* community in typical steppe of Inner Mongolia, China[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*(植物生态学报),2010,**34**(9):1 016—1 024(in Chinese).
- [21] FANG F(房 飞),HU Y K(胡玉昆),ZHANG W(张 伟),*et al.* Numerical analysis of inter-specific relationships in Alpine steppe community in Bayanbulak[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报),2012,**32**(6):1 898—1 907(in Chinese).
- [22] LIU J F(刘金福),HONG W(洪 伟),FAN H B(樊后保),*et al.* Study on the inter-specific association of species in the vegetation layer in *Castanopsis kawakamii* forest[J]. *Scientia Silvae Sinicae*(林业科学),2001,**37**(4):117—123(in Chinese).
- [23] XING SH H(邢韶华),ZHAO B(赵 勃),CUI G F(崔国发),*et al.* Inter-specific association of dominant species in Baihua Mountain meadow of Beijing[J]. *Journal of Beijing Forestry University*(北京林业大学学报),2007,**29**(3):46—51(in Chinese).
- [24] WANG W(王 卫),ZHANG X H(张鲜花),AN SH ZH(安沙舟). Grassland community structure and interspecies relationships in Nalati Pasture[J]. *Acta Agrestia Sinica*(草地学报),2011,**19**(4):553—559(in Chinese).