

文章编号:1673-5021(2012)01-0024-07

青藏高原高寒矮嵩草草甸退化演替主成分分析

林 丽,李以康,张法伟,郭小伟,韩道瑞,李 婧,曹广民*

(中国科学院西北高原生物研究所,青海 西宁 810001)

摘要:选取青藏高原高寒矮嵩草草甸典型退化演替阶段代表样地为研究对象,以空间尺度代替时间尺度的方法,对其植物群落和土壤理化性质(19个指标)进行数量特征分析。结果表明:欧式聚类分析和 Fisher's 判别分析可以明确划分高寒矮嵩草草甸退化的4个演替阶段,且 Fisher's 判别分析能够明确区分小嵩草草甸的3个重要时期,说明可以此指标组构建高寒矮嵩草草甸退化演替阶段划分的指标体系。主成分分析(PCA)提取出4个特征值大于1的主成分因子,其载荷能力依次为44.8%、28.3%、17.2%和7.2%,对演替过程总变异的解释能力累计达97.6%。草地退化是一个系统内各因子协同变化的过程,且它们具有不同步性,进而导致了原有变量对草地退化演替细微阶段划分的不完全性。说明草地生态系统存在两种作用因子,即敏感因子(其数量特征随草地发生变化而迅速变化)和缓冲因子(对生态系统变化的反应具有一定的滞后性和缓冲性),但这两者如何应对生态系统干扰,其协同及分异特征以及其对草地退化反应的敏感程度还需要深入研究。

关键词:主成分分析;聚类分析;判别分析;高寒矮嵩草草甸;退化演替

中图分类号:Q141 文献标识码:A

青藏高原是地球陆地生态系统的重要组成部分,是世界上低纬度冻土集中分布区。高寒矮嵩草(*Kobresia humilis*)草甸是青藏高原主要植被类型,约占高原面积的33%^[1]。人类活动对高寒矮嵩草草甸的最大影响是超载放牧,其演替的主流方向是退化^[2~3]。青藏高原高寒矮嵩草草甸退化包括4个演替阶段[禾草—矮嵩草草甸、矮嵩草草甸、小嵩草(*Kobresia pygmaea*)草甸、黑土滩—杂类草次生裸地]和小嵩草草甸的3个重要时期(正常小嵩草群落、小嵩草群落草毡表层加厚期和剥蚀期),且在青藏高原的不同地域(包括青海省海北州、果洛州、玉树州和西藏藏北高原)均发现了该类型草地完整的演替过程。受到人类活动影响程度或牧民经营策略不同的影响,各地草地所处的演替阶段存在差异,甚至在局域造成个别阶段的缺失^[4]。随着高寒草地的退化,植物群落和土壤系统各因素必然存在某种协同或分异的变化过程,不同演替阶段的生态系统数量特征受制于哪些因素,哪些因素可以作为草地退化的代表性特征,尚未有人作过系统研究。本研究是以不同地区的代表性草地退化演替阶段为研究对象,对其植物群落及土壤理化特征进行数量分析,旨在进行高寒草地演替过程与阶段划分的归纳与总结,为科学有效评价退化草地提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

研究区域位于青海海北、玉树、果洛藏族自治州,以空间尺度代替时间尺度的方法对该区广泛分布的高寒矮嵩草草甸进行采样及调查分析,研究区域概况见表1。

1.2 研究方法

采样时间为2009年7月。采样方法:地上植物量以功能群为采样单元,采用标准收获法,样方面积为0.25m×0.25m;功能群盖度采用100方格目测法;地下植物量采用根钻(Φ=7cm)分层取样(取样深度0~10cm、10~20cm、20~40cm)水洗法,每6钻混合为一个重复;土壤采样方法同地下植物量,土样风干后去除根系,过0.25mm土壤分析筛,聚乙烯自封袋中保存;容重采用环刀法(100cm³),取样深度及层次同地下植物量。每样地各指标均6个重复。土壤有机碳测定采用丘林法,容重测定采用105℃

* 通讯作者, E-mail: caogm@nwipb.ac.cn

收稿日期:2011-09-22;修回日期:2011-10-26

基金项目:国家自然科学基金重点项目(41030105);中国科学院战略性先导科技专项(XDA05050404)

作者简介:林丽(1980-),女(满族),辽宁省沈阳市人,工程师,硕士,2007年毕业于甘肃农业大学草业学院,从事高原数量生态学相关研究, E-mail: hanxiao_2000_00@126.com.

表 1 样地概况
Table 1 Generation of plots

演替阶段 Succession stage	样地名称 Plot	样地 代号 Plot symbol	地理坐标 Geographical coordinate	样地概况 Generation of plots
禾草—矮蒿草 草甸	青海省海北州门源县 风匣口(HA-1);青海 省海北州皇城县桌子 掌(HA-2)	HA	N37°29.632', E101°12.549', 海拔 3200m; N37°39.732', E101°10.789', 海拔 3232m	禾草—矮蒿草甸, 优势种为垂穗披碱草(<i>Elymus nutans</i>)、早熟禾(<i>Poa</i> sp.)、紫羊茅(<i>Festuca rubra</i>)等禾本科植物; 植物群落总盖度平均为 92.7%, 地面较为平整, 几乎无鼠类活动, 草毡层 厚度为 1.66cm 左右
矮蒿草草甸	青海省海北州门源县 青海门源马场(AS- 1, AS-2)	AS	N37°35.408', E101°23.519', 海拔 3171m	矮蒿草草甸, 植物优势种为垂穗披碱草等禾本科 植物及矮蒿草, 伴生种为小嵩草, 总盖度 90%~ 95%, 草毡表层厚度不大于 4.3cm
小嵩草草甸草 毡表层加厚期	青海省玉树州巴塘机 场玉树军牧场(XS- 1); 青海省玉树州称多 县珍秦乡南(XS-2)	XS	N32°51.934', E96°55.652', 海 拔 3988m; N33°22.565', E97° 19.795', 海拔 4247m	小嵩草草甸, 优势种为小嵩草, 伴生种为矮蒿草、 双叉细柄茅(<i>Ptilagrostis dichotoma</i>)等禾本科植 物及火绒草(<i>Leontopodium</i> spp.)等杂类草和棘豆 (<i>Oxytropis</i> spp.)等豆科植物, 草毡表层厚大于 5cm, 草毡表层完好, 但已经开始出现裂缝, 黑斑占 6%左右, 植被总盖度 90%~96%
小嵩草草甸草 毡表层开裂期	青海省治多县立新乡 (XSK-1); 青海省甘 德县茨坝东山顶(XSK -2); 青海省玉树州巴 塘机场西(XSK-3)	XSK	N33°24.584', E96°10.178', 海拔 4503m; N33°22.375', E99°14.999', 海拔 4320m; N32°51.990', E96°55.676', 海 拔 3982m	小嵩草草甸, 优势种为小嵩草, 伴生种为兰石草 (<i>Lancea tibetica</i>)、蒲公英(<i>Taraxacum mongoli- cum</i>)、火绒草等杂类草, 偶见针茅(<i>Stipa</i> spp.)等 禾本科植物; 草毡表层厚 17~20cm, 黑斑占 50% 左右, 且草毡表层老化, 老化草毡表层边缘有明显 裂缝。植被总盖度 40%~90%
小嵩草草甸草 毡表层剥蚀期	青海省果洛州玛多县 小野马岭(XSB-1); 青海省玉树州治多县 (XSB-2)	XSB	N34°36.336', E97°59.802', 海拔 4255m; N33°07.697', E96°41.692', 海拔 4370m	小嵩草草甸, 植被以火绒草、风毛菊(<i>Saussurea spp.</i>)、兰石草等杂类草和棘豆等豆科植物为主, 没有明显的优势种, 植被总盖度平均为 30%, 地表 砾石盖度 60%~70%
黑土滩—杂类 草次生裸地	青海省果洛州大武滩 (HZ-1); 青海省果洛 州达日县窝赛乡南 (HZ-2)	HZ	N34°28', E100°12', 海拔 3751m; N33°34.274', E99° 54.270', 海拔 4082m	没有明显的优势种, 植物生长盛期杂类草居多, 植 被盖度不足 30%, 土壤疏松, 鼠洞极多

烘干称重法, 地上植物量测定采用 60°C 烘干称重法。

1.3 数据分析

土壤有机碳分层储量 $C_s = S \times \rho_i \times C_i \times H \pm SE^{[5]}$

式中, C_s 代表有机碳储量; S 为面积; H 为土壤深度; $i=1$ 代表 0~10cm, $i=2$ 代表 10~20cm, $i=3$ 代表 20~40cm; C_i 为对应层次有机碳的含量; ρ_i 代表土壤容重; SE 为标准误。

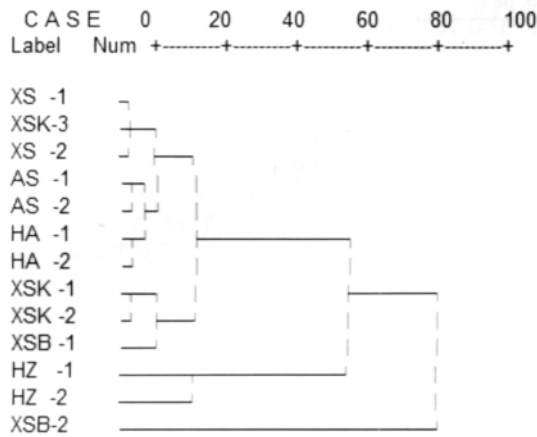
指标体系为: 0~10cm 土壤有机碳储量(A)、10~20cm 土壤有机碳储量(B)、20~40cm 土壤有机碳储量(C)、0~10cm 根量(D)、10~20cm 根量(E)、20~40cm 根量(F)、0~10cm 容重(G)、10~20cm 容重(H)、20~40cm 容重(I)、禾本科功能群地上植物量(J)、莎草科功能群地上植物量(K)、豆科功能群地上植物量(L)、杂类草功能群地上植物量(M)、

凋落物量(N)、总盖度(O)、禾本科功能群盖度(P)、莎草科功能群盖度(Q)、豆科功能群盖度(R)和杂类草功能群盖度(S), 共 19 个指标。将各指标中心化, 应用 SPSS14.0 对 13 个样地 19 个指标进行欧式聚类分析、Fisher's 判别分析及主成分分析(回归法)。

2 结果与分析

2.1 基于欧式聚类分析的群落判别分析

欧式聚类分析发现, 利用 19 个特征指标分析高寒矮蒿草甸退化演替阶段的归属性, 可以区分出禾草—矮蒿草草甸、矮蒿草草甸、小嵩草草甸和黑土滩—杂类草次生裸地, 但小嵩草草甸的三个重要时期(正常小嵩草群落、小嵩草群落草毡表层开裂期和剥蚀期)划分界限不甚明确(图 1)。



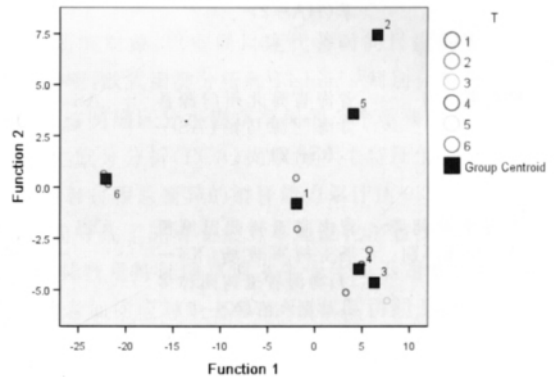
HA 代表禾草—矮嵩草草甸, AS 代表矮嵩草草甸, XS 代表正常小嵩草群落, XSK 代表小嵩草群落草毡表层开裂期, XSB 代表小嵩草群落草毡表层剥蚀期, HZ 代表黑土滩—杂类草次生裸地; 样地代号后“—数字”为样地重复编号
HA is Gramineae—*Kobresia humilis* community, AS is *Kobresia humilis* community, XS is *Kobresia pygmaea* community, XSK is Cracks in *Kobresia pygmaea* community, XSB is erosion *Kobresia pygmaea* community, HZ is Forbs—“Black soil beach”, the symbol “—digital” instead of serial number of that kind of plot

图1 高寒矮嵩草草甸退化演替欧式聚类分析

Fig. 1 Classification function coefficients in alpine *Kobresia humilis* meadow degradation successions

2.2 基于 Fisher's 线性判别函数的群落判别分析
利用 Fisher's 线性判别分析, 可以从 19 个因

子中提取出 6 个对高寒矮嵩草草甸退化演替归属性影响较大的原始变量作为预测变量, 分别为 0~10cm 有机碳储量(A)、10~20cm 有机碳储量(B)、0~10cm 根量(D)、10~20cm 根量(E)、0~10cm 容重(G)和禾本科功能群地上植物量(J)(表 2), 且将 13 个样地划分成 6 组, 与预期演替划分吻合(图 2)。



1 为禾草—矮嵩草草甸, 2 为矮嵩草草甸, 3 为正常小嵩草群落, 4 为小嵩草群落草毡表层开裂期, 5 为小嵩草群落草毡表层剥蚀期, 6 为黑土滩—杂类草次生裸地
1 is Gramineae—*Kobresia humilis* community, 2 is *Kobresia humilis* community, 3 is *Kobresia pygmaea* community, 4 is Cracks in *Kobresia pygmaea* community, 5 is erosion *Kobresia pygmaea* community, 6 is Forbs—“Black soil beach”

图2 高寒矮嵩草草甸退化演替群落归属性判别分析

Fig. 2 Analysis on alpine *Kobresia humilis* meadow degradation succession stages base on Fisher's linear discriminant functions

表2 Fisher's 线性判别函数
Table 2 Fisher's linear discriminant functions(FLD)

因子 Factor	组别 Group					
	1	2	3	4	5	6
A	4314.5	4340.4	4722.3	4652.8	4434.2	3494.4
B	-5254.5	-6280.7	-5878.7	-5727.7	-5749.9	-3782.1
D	8301.6	9233.5	9061.2	8940.5	9003.4	6500.2
E	20615.5	23257.4	22422.6	22129.3	22485.0	16135.4
G	-1297.9	-1491.9	-1428.0	-1383.6	-1354.4	-927.9
J	-825.8	-885.0	-955.9	-969.2	-962.0	-730.5
常量	-4492.0	-5250.0	-5287.8	-5165.2	-5168.1	-2901.1

注: A 代表 0~10cm 土壤有机碳储量, B 代表 10~20cm 土壤有机碳储量, D 代表 0~10cm 根量(D), E 代表 10~20cm 根量, G 代表 0~10cm 容重, J 代表禾本科功能群地上植物量。

Note: A is the organic carbon storage in 0~10cm soil lay, B is the organic carbon storage in 10~20cm soil lays, D is the root biomass in 0~10cm under the ground, G is the bulk density in 0~10cm soil lay, J is the biomass of Gramineae function group up ground.

2.3 群落 19 种特征值的主成分分析

通过主成分分析(PCA)提取出 4 个特征值 >1 的公共因子,总体方差贡献率为 97.6%。第一因子 F₁ 方差贡献率为 44.8%,原始变量 A(土壤 0~10cm 有机碳储量)、D(地下植物根系 0~10cm 含量)、K(莎草科功能群地上植物量)、Q(莎草科功能群盖度)以及 N(植物凋落物量)在这一因子中具有较高的载荷;

第二因子 F₂ 方差贡献率为 28.3%,原始变量中的 G(0~10cm 容重)、R(豆科盖度)以及 L(豆科植物地上植物量)在这一因子中具有较高载荷;第三因子 F₃ 的方差贡献率为 17.2%,原始变量 P(禾本科盖度)和 J(地上禾本科植物量)在该因子上具有较高的载荷;第四因子 F₄ 方差贡献率为 7.2%,但它没有方差贡献率较大的原始变量(表 3,表 4)。

表 3 主成分分析

Table 3 Total variance explained

因子 序号 Factor number	初始特征值 Initial eigenvalues			初始解对总方差的载荷 Extraction sums of squared loadings			因子旋转后对总方差的载荷 Rotation sums of squared loadings		
	特征值 Total	方差贡献率 Variance contribution	累计方差贡献率 Cumulative variance contribution	特征值 Total	方差贡献率 Variance contribution	累计方差贡献率 Cumulative variance contribution	特征值 Total	方差贡献率 Variance contribution	累计方差贡献率 Cumulative variance contribution
F ₁	8.5	44.8	44.8	8.5	44.8	44.8	5.5	29.0	29.0
F ₂	5.4	28.3	73.1	5.4	28.3	73.1	4.8	25.4	54.3
F ₃	3.3	17.2	90.3	3.3	17.2	90.3	4.3	22.4	76.7
F ₄	1.4	7.2	97.6	1.4	7.2	97.6	4.0	20.8	97.6
F ₅	0.5	2.4	100.0						

注: F₁、F₂、F₃、F₄ 和 F₅ 为第一、第二、第三、第四和第五主成分因子;提取方法为主成分分析。

Note: F₁、F₂、F₃、F₄ and F₅ are the first, second, third, fourth and the fifth principal component factors in order; the extraction method is principal component analysis.

表 4 因子载荷矩阵

Table 4 Component matrix(a)

原有变量 Original variable	因子 Factor			
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄
D	0.975	0.177	-0.035	-0.040
Q	0.885	0.155	-0.172	0.396
F	-0.857	-0.458	-0.044	-0.104
A	0.850	-0.356	-0.020	-0.374
M	-0.844	-0.289	-0.375	-0.252
E	-0.835	0.418	0.132	0.319
K	0.832	-0.031	-0.408	0.341
C	-0.813	0.369	-0.009	0.356
B	-0.795	0.390	0.184	0.367
O	-0.743	-0.529	-0.409	-0.014
N	0.729	-0.458	-0.408	-0.129
R	0.250	0.935	-0.192	-0.164
G	-0.298	0.842	-0.337	-0.298
I	0.350	-0.820	0.200	0.388
H	0.184	-0.796	0.503	0.185
L	0.452	0.784	0.334	-0.111
S	-0.510	-0.578	0.520	-0.366
P	0.101	0.209	0.943	-0.231
J	0.256	0.249	0.911	0.086

注:字母含义同采样方法中的字母。

Note: The letters of the alphabet are the symbols of the initial variance which have the same meaning in the materials and methods.

4 个公因子对各演替阶段解释能力可以从公因

子得分中反映, F₄ 对禾草—矮嵩草草甸贡献率最大, F₁ 对矮嵩草草甸贡献率最大, F₃ 对正常小嵩草群落贡献率最大, F₂ 对小嵩草群落草毡表层加厚期和开裂期贡献率最大, F₁ 对黑土滩—杂类草次生裸地贡献率最大(表 5)。

表 5 各演替阶段公共因子得分

Table 5 Components scores in different succession stages

演替阶段 Succession stages	第一主成分 F ₁	第二主成分 F ₂	第三主成分 F ₃	第四主成分 F ₄
HA	-0.41	-0.80	0.17	1.54
AS	1.34	0.70	0.83	0.65
XS	-1.49	-0.14	0.16	-0.14
XSK	-0.50	1.34	0.49	-0.77
XSB	0.39	0.31	-1.98	-0.01
HZ	0.65	-1.41	0.33	-1.27

注: HA 为禾草—矮嵩草草甸, AS 为矮嵩草草甸, XS 为正常小嵩草群落, XSK 为小嵩草群落草毡表层开裂期, XSB 为小嵩草群落草毡表层剥蚀期, HZ 为黑土滩—杂类草次生裸地。

Note: HA is Gramineae grass—*Kobresia humilis* community, AS is *Kobresia humilis* community, XS is *Kobresia pygmaea* community, XSK is Cracks in *Kobresia pygmaea* community, XSB is erosion *Kobresia pygmaea* community, HZ is Forbs—"Black soil beach".

3 讨论

高寒矮嵩草草甸退化过程是多因子协同变化的过程,探讨草地退化演替特征需从草地生态系统的多界面同时研究,因此选取代表草地生态服务能力(土壤碳储量)、生产能力(地上、地下植物量)、植物群落数量特征(功能群植物量和盖度)以及土壤物理性质(容重)等多指标共同组成评价指标体系。采用聚类分析和判别分析的方法对退化演替阶段进行划分,结果均可以明确地划分出高寒矮嵩草草甸四个退化演替阶段,但只有 Fisher's 判别分析对数据进行重新筛选后才能够划分出小嵩草草甸的三个重要时期。这说明草地退化后其数量特征确实发生了相应的协同变化,但变化具有不同步性^[6~8],这使得应用全部数据难以区分草地退化过程的细微变化。说明该指标体系至少存在两类作用机制的因子,一类是敏感因子,在草地受到外界干扰后迅速变化;另一类是缓冲因子,其变化要滞后于前者。小嵩草草甸的几个重要时期未能明确划分可能与草地生态系统中这些缓冲因子的作用有关,因此如果增加或选择几种带有鲜明特色的指标也许可以改善指标体系对细微阶段(或时期)划分的灵敏度。

对退化演替系列进行主成分分析发现,19个指标可以提取4个主成分因子,其中第一主成分因子按照载荷量大小依次为0~10cm根系量>莎草科功能群总盖度>0~10cm土壤有机碳储量>莎草科植物功能群地上植物量>凋落物量,可以解释草地群落演替变异的44.8%;第二主成分按照载荷量大小依次为豆科盖度>0~10cm土壤容重>豆科功能群地上植物量,可以解释群落演替总变异的28.3%;第三主成分按照载荷量大小依次为禾本科盖度>禾本科功能群植物量,可以解释草地群落演替变异的17.2%;第四主成分没有载荷因子较大的原始变量。这说明,草地退化过程中植物功能群数量及结构特征比土壤物理化学性质贡献大;土壤化学性质比土壤物理性质贡献大;表层土壤物理化学性质比深层土壤物理化学性质贡献大。从草地片层结构上看地下特征比地上特征贡献大,地上植物下片层数量特征比上片层贡献大。从草地植物类群组成看,演替过程中一直存在的类群(莎草科等)贡献大,有特殊生态功能的植物类群(如豆科)贡献大。

出现上述结果可能同该生态系统演替变异特征有关。高寒矮嵩草草甸退化,植物种群数量特征先

发生变化,进而功能群和生活型发生变化,其变化过程为:根茎型或根茎疏丛型植物(如禾本科植物)—根茎密丛型植物(如矮嵩草)—密丛型植物(如小嵩草)。这一过程中草地地下根系和土壤根土比增加,加速了土壤中限制性养分(水分和有效态养分等)的供求失衡,其结果不但抑制了根系的进一步延伸,也使得地上植物营养匮乏、死亡,加之草地退化到小嵩草草甸后受到外界野生动物群系(如鼠类等)更替及数量变化的影响,加速了开裂型草地的剥蚀速度,最终导致草地剥蚀并成为黑土滩^[4]。这一过程先是草地植物群落地上结构发生变化,进而影响到植物根系,由于地下植物根系现存量远高于地上植物量,因此对演替的解释能力高于地上植物量;土壤化学性质尤其是全量养分变化强烈受制于生物因素^[9],但土壤物理性质主要是受到自然成土过程的影响,其变化速率低于土壤化学性质^[10],因此土壤物理性质对演替的解释能力低于土壤化学性质。此外,豆科功能群对演替的解释能力高于禾本科功能群,有可能是因为豆科为轴根系植物,根系较深,表层根量较大,且其具有特殊的功能——固氮作用。但该功能群对高寒矮嵩草草甸演替还有什么作用(如豆科植物功能群种类、生活型或生态型以及可饲用与否的变化等)还有待于进一步研究。

从高寒矮嵩草草甸退化演替过程的因子得分中发现,草地生态系统不同阶段起主导作用的因子不同,这说明草地退化时不但植物优势种发生变化,群落结构也在发生变化,未来能否利用这种变化来评价草地退化过程中各阶段生态生产服务能力还有待于进一步研究。

4 结论

对高寒矮嵩草草甸退化演替系列进行主成分分析可以提取4个主成分因子,第一主成分因子按照载荷量大小依次为0~10cm根系量>莎草科功能群总盖度>0~10cm土壤有机碳储量>莎草科植物功能群地上植物量>凋落物量,可以解释草地群落演替变异的44.8%;第二主成分按照因子载荷大小依次为豆科盖度>0~10cm土壤容重>豆科功能群地上植物量,可以解释群落演替变异的28.3%;第三主成分按照因子载荷大小依次为禾本科盖度>禾本科功能群植物量,可以解释草地群落演替变异的17.2%;第四主成分没有载荷因子较大的原始变量。4个主成分因子共解释群落演替变异的97.6%。该

草地退化过程是伴随地上植物优势种和功能群变化,土壤根系量、养分和物理性质发生协同变化的过程,确定能够区分该类型草地退化过程的敏感因子和缓冲因子是细致且明确划分草地退化阶段和有效评价退化草地的关键。

参考文献 (References):

- [1] 张金霞,曹广民,周党卫,等. 高寒矮蒿草草甸大气—土壤—植被—动物系统碳素储量及碳素循环[J]. 生态学报,2003,23(4):627-634.
Zhang Jinxia, Cao Guangmin, Zhou Dangwei, et al. The carbon storage and carbon cycle among the atmosphere, soil, vegetation and animal in the *Kobresia humilis* alpine meadow ecosystem[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(4): 627-634.
- [2] 龙瑞军,董世奎,胡自治. 西部草地退化的原因分析与生态恢复措施探[J]. 草原与草坪,2005,(6):3-7.
Long Ruijun, Dong Shikui, Hu Zizhi. Grassland degradation and ecological restoration in western China[J]. *Grassland and Turf*, 2005, (6): 3-7.
- [3] Zhao Xinquan, Zhou Xingmin. Ecological basis of alpine meadow ecosystem management in Tibet: Haibei alpine meadow ecosystem research station[J]. *A Journal of the Human Environment*, 1999, 28(8): 642-647.
- [4] 曹广民,杜岩功,梁东营,等. 高寒蒿草草甸的被动与主动退化分异特征及其发生机理[J]. 山地学报,2007,25(6):641-648.
Cao Guangmin, Du Yangong, Liang Dongying, et al. Character of passive-active degradation process and its mechanism in alpine *Kobresia* meadow[J]. *Journal of Mountain Science*, 2007, 25(6): 641-648.
- [5] 林丽,曹广民,李以康,等. 人类活动对青藏高原高寒矮蒿草草甸碳过程的影响[J]. 生态学报,2010,30(15):4012-4018.
Lin Li, Cao Guangmin, Li Yikang, et al. Effects of human activities on organic carbon storage in the *Kobresia humilis* meadow ecosystem on the Tibetan Plateau[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(15): 4012-4018.
- [6] 高英志,韩兴国,汪诗平. 放牧对草原土壤的影响[J]. 生态学报,2004,24(4):790-797.
Gao Yingzhi, Han Xingguo, Wang Shipping. The effects of grazing on grassland soils[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(4): 790-797.
- [7] 苏永中,赵哈林. 持续放牧和围封对科尔沁退化沙地草地碳截存的影响[J]. 环境科学,2003,24(4):23-28.
Su Yongzhong, Zhao Halin. Influences of grazing and enclosure on carbon sequestration in degraded sandy grassland, Inner Mongolia, north China[J]. *Environmental Science*, 2003, 24(4): 23-28.
- [8] Su Yongzhong, Li Yulin, Cui Jianyuan, et al. Influences of continuous grazing and livestock exclusion on soil properties in a degraded sandy grassland, Inner Mongolia, northern China[J]. *Catena*, 2005, 59: 267-278.
- [9] 闫玉春,唐海萍. 围封下内古典型草原区退化草原群落的恢复及其对碳截存的贡献[J]. 自然科学进展,2008,18(5):546-551.
Yan Yuchun, Tang Haiping. The contribution to degraded plant communities recovery and carbon sequestration in Inner Mongolia steppe[J]. *Natural Science Bulletin*, 2008, 18(5): 546-551.
- [10] 尚占环,丁玲玲,龙瑞军,等. 江河源区退化高寒草地土壤微生物与地上植被及土壤环境的关系[J]. 草业学报,2007,16(1):34-40.
Shang Zhanhuan, Ding Lingling, Long Ruijun, et al. Relationship between soil microorganisms, above-ground vegetation, and soil environment of degraded alpine meadows in the headwater areas of the Yangtze and Yellow Rivers, Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2007, 16(1): 34-40.

Principal Component Analysis on Alpine *Kobresia humilis* Meadow Degradation Succession in Qinghai-Tibetan Plateau

LIN Li, LI Yi-kang, ZHANG Fa-wei, HAN Dao-rui, LI Jing, CAO Guang-min

(Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Science, Xining 810001, China)

Abstract: Alpine *Kobresia humilis* meadows were extensively distributed in Qinghai-Tibetan plateau. The alpine *Kobresia humilis* meadows were degraded by human disturbing. Using space scale instead of time scale, the plant communities quantity characteristics and soil physical and chemical properties were analyzed at typical alpine *Kobresia humilis* meadows degradation succession stage. The results showed that, firstly, the alpine *Kobresia humilis* meadows degradation succession process could be divided into four stages by using Euclidean Distance Clustering method and Fisher's Discriminant Analysis. Fisher's Discriminant Analysis could discriminate the *Kobresia humilis* community's stage into three phases. So those indexes could be used as index system to divide typical alpine *Kobresia humilis* meadows degradation succession stages. Secondly, it could draw four principal components (all principal components eigenvalues were greater than 1) by using Principal Component Analysis. All those principal component factors together could explain 97.6% variance of the sums squared loading. Grassland degradation succession is a process that all factors cooperatively change in the system, and is asynchronism. It also showed that there were two important factors in grassland degradation succession process, one was sensitive factors, which can rapidly change while the grassland ecological system has been changed, another one was buffer factors which play the role in delaying grassland ecological system change. But that how the factors feedback the ecological change and which one is the sensitivity factor, which one is the buffer factor need to be further researched.

Key words: Principal component analysis; Clustering analysis; Discriminate analysis; Alpine *Kobresia humilis* meadow; Degradation succession