

鄂尔多斯高原植被与生态因子的多元分析*

牛建明 李 博

(中国农业科学院草原研究所, 呼和浩特, 010010)

Q948.15

摘 要

鄂尔多斯高原地处暖温带草原与荒漠的过渡地段, 植被地带分异规律明显。本文在统计分析气候和植物群落数据的基础上, 讨论了地带性植被、沙地植被和低湿地植被与生态因子的相互关系, 并使之数量化。分析过程包括: (1) 运用相互平均排序, 将植物群落的空间分布概括到排序的两个主要向量上; (2) 主要气候因子与经度、纬度、海拔的相关和逐步回归分析, 获得任一样方的气候指标; (3) 通过相关和逐步回归分析, 描述排序得分与主要生态因子的相关性, 从而数量表达植被分布与环境的关系。结果表明: 年平均降水量和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温是影响高原植被分布的主导生态因子。低湿地植被深受大气候的影响, 土壤全盐量为主导因子。

关键词: 鄂尔多斯高原, 植被分析, RA排序, 生态因子, 多元分析。

前 言

用于植被研究的多元分析技术包括梯度分析和数量分类, 在植物群落研究中很受重视。在讨论植被与环境因子的关系时, 梯度分析尤其重要。Ramensky (1930)、Gause (1930) 首创直接梯度分析, 而活跃的研究工作始于1950年前后^[1]。由于它要求预先确定环境, 工作量巨大, 后来被间接梯度分析(即排序)取代。早期的排序技术如加权平均和极点排序, 计算简单, 但主观性强。到60、70年代, 主分量分析(PCA)占统治地位^[1]。然而, 它要求严格的线性数据特点常与事实不符, 故易导致“马蹄形”畸变, 严重影响了排序结果的表达^[1-3]。70年代后期, 特征向量排序技术得到了新的发展。相互平均(RA)排序经Gauch (1977)、Whittaker 和Wentworth (1977) 的检验为生态学家共知^[1]。实践证明, 多数情况下RA优于PCA, 尤其是对于较复杂的数据和较长的梯度更适用, 但仍存在畸变。Hill (1979)、Hill 和 Gauch (1980) 发展了RA, 创造出无趋势对应分析(DCA)。它适用于线性和非线性结构的数据, 是迄今较为完善的排序技术^[1]。当前, 多元分析技术仍在发展, 如Cajo, J. F. terBraak (1985) 设计出无趋势典范对应分析(DCCA), 使群落排序同环境解释有机地结合起来, 克服了以往技术在结果解释上的主观性^[4]。

在国内, 张新时 (1986) 分析青藏高原的植被, 在应用多元分析技术上具有代表性^[5]。在鄂尔多斯高原, 前人对主要植物群落的类型、分布做了较为详细的描述, 基本上阐明了高原植被的区域分异规律^[6-11]。在此基础上, 本文试图做到植被分布与环境对应关系的数量表达。

* 本文是牛建明在内蒙古大学完成的硕士论文的一部分。参加野外工作的还有高玉宝、杨 韵、全 川、张 可等同志, 并蒙雍世鹏教授、崔海亭教授审阅, 特此致谢。

本文于1991年4月20日收到。

一、研究区域的自然特征

内蒙古鄂尔多斯高原北接河套平原,南邻黄土高原,处于北纬 $37^{\circ}35'24''$ — $40^{\circ}51'40''$,东经 $106^{\circ}42'40''$ — $111^{\circ}27'20''$ 。东西长约400km,南北宽约340km。地势由南、北向中部隆起,主要地貌类型有:梁地、高平原、黄土丘陵、沙地和桌子山山地。

本区年平均温度 $5.5-9.1^{\circ}\text{C}$,最冷月1月均温为 -13.7 — -8.9°C ,最热月7月的均温是 $21.3-25.4^{\circ}\text{C}$, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温为2500—3645 $^{\circ}\text{C}$ 。诸气温指标以东胜梁地和桌子山山地最低,外围高于中心,西部普遍高于东部。

本区年平均降水量由东向西从400mm(最高达450mm)降为150mm或更低,年平均蒸发量却相反,东部2000—2500mm,西部2500—3000mm。表现在水热组合的综合作用上,东西向变化更加突出。东部湿润系数为0.4,向西由0.23过渡到0.1,甚至更低。

与气候相适应,植被从东向西依次为典型草原地带,以本氏针茅(*Stipa bungeana*)和百里香(*Thymus mongolicus*)群落为代表;荒漠化草原地带,以戈壁针茅(*Stipa gobica*)、短花针茅(*Stipa breviflora*)、狭叶锦鸡儿(*Caragana stenophylla*)、藏锦鸡儿(*Caragana tibetica*)群落为主;草原化荒漠地带,代表的建群种有红砂(*Reaumuria soongorica*)、四合木(*Tetraena mongolica*)、绵刺(*Potaninia mongolica*)、半日花(*Helianthemum soongoricum*)、珍珠(*Salsola passerina*)、沙冬青(*Ammopiptanthus mongolicus*)等。同时,隐域性植被也具有东西向变化的特点。草原带的低湿地为典型草甸和盐化草甸,荒漠带则为盐生植被。沙地植被以油蒿(*Artemisia ordosica*)占优势,但随地带变更,仍有不同的地带植物渗入,成为重要的伴生种。

二、研究方法

野外取样以路线考察为主。取样时,先根据优势种确定植物群落类型,然后在地形一致、植物分布均一的地段上随机设置样方。通常,草本植物群落的取样面积 $1 \times 1 \text{ m}^2$,小灌木、半灌木、灌木和高大丛生禾草群落为 $2 \times 2 \text{ m}^2$ 。本项工作于1986年和1987年7月先后取样方176个,一次取土样64个。

为了获取数量指标,参考 Braun-Blanquet和Domin-Krajina的盖度-多度级,又将频度划分为5级,结合高原植被特点,采用综合指标 = 盖度-多度级 + $\frac{1}{2}$ 频度级。实践证明,该指标能准确描述高原群落中种的数量特点,突出了建群种和优势种,提高了主要常见种的地位。对于区域植被分析,取得了较好效果。

同时,统计了高原及邻近地区23—31个气象台站的气候资料(50—80年代),将主要气候指标与地理因子进行相关和回归分析,以便得到每一个样方相应的指标。

关于群落与主要生态因子的多元分析包括:(1)植物群落的RA排序;(2)气候指标与地理因子的相关和回归分析;(3)排序结果与环境因子的相关和回归分析,建立多元回归方程,确定主导因子。

三、地带性植被分析

1. 群落排序

应用RA排序技术处理49个样方(如图1)。虽有明显的畸变,但在反映群落的分异上仍是成功的。

一般地,排序的前两轴具有重要的生态学意义。如图1所示,其第1轴表现了植被的东西分布规律,其第2轴较为复杂,虽有基质变化的一些反映,但因畸变,不能准确进行数量描述。

2. 主要气候指标(生态因子)与地理因子的相关和回归分析

本文用于分析的气候指标有:年平均降水量、年平均温度、最热月平均温度、最冷月平均温度、≥10℃积温和湿润系数。地理因子是经度、纬度和海拔。其相关分析结果见表1。

由表1,年平均降水量、湿润系数与经度相关极显著,方程如下:

$$P = -5234.36 - 32.8425LAT + 61.1255LOG + 0.1461ALT (R = 0.963)$$

$$K = -6.4104 - 0.04LAT + 0.0747LOG + 0.00091ALT (R = 0.942)$$

表1 地理因子与主要生态因子的相关系数表

Table 1 Coorelation coefficients between site factors and ecological factors

	经度(LOG) Longitude	纬度(LAT) Latitude	海拔(ALT) Altitude
年平均降水量(P) Annual mean precipitation	0.858***	-0.338	0.35
年平均温度(T) Annual mean temperature	-0.464*	-0.226	-0.565*
≥10℃积温(AT) Accumulated temperature(≥10℃)	-0.308	-0.107	-0.735***
最热月平均温度(WMT) The warmest month mean temperature	-0.53**	5.373	-0.746***
最冷月平均温度(CMT) The coldest month mean temperature	-0.527**	0.373	-0.783***
湿润系数(K) Humidity index	0.907***	-0.040	0.272

表中: *(p<0.05)相关, ** (p<0.01)显著相关, *** (p<0.001)极显著相关。

而温度指标与海拔有显著的负相关性,与经度有一定的负相关。至于纬度,由北向南由于海拔升高,其作用被削弱,所以与温度的相关不明显,远低于温度与海拔的相关性。方程为:

$$T = 85.559 - 0.777LAT - 0.377LOG - 0.0057ALT (R = 0.8)$$

$$AT = 19110.6 - 115.868LAT - 86.8177KOG - 1.7576ALT (R = 0.84)$$

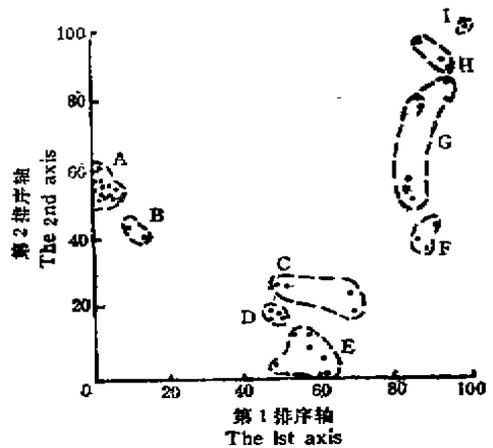


图1 地带植物群落的RA排序图

Fig.1 The RA ordination of zonal vegetation
图中: A 本氏针茅群落 *Stipa bunegana* Communities

- B 芨芨群落 *Artemisia giredii* C.
- C 戈壁针茅群落 *Stipa gobica* C.
- D 短花针茅群落 *Stipa breviflora* C.
- E 藏锦鸡儿群落 *Caragana tibetica* C.
- F 半日花群落 *Helianthemum soongoricum* C.
- G 红砂群落 *Reaumuria soongorica* C.
- H 绵刺群落 *Potania mongolica* C.
- I 霸王群落 *Zygophyllum xanthoxylon* C.

$$WMT = 88.222 - 0.3409LAT - 0.4025LOG - 0.00685ALT (R = 0.84)$$

$$CMT = 88.5867 - 1.1471LAT - 0.4717LOG - 0.002685ALT (R = 0.77)$$

综上所述, 尽管高原地形中部隆起影响了水热的再分配, 但气候的东西变化仍是十分清楚的, 水分梯度成为高原的重要落境梯度。而且主要生态因子与地理因子有重要的相关关系, 从而使通过经度、纬度、海拔, 利用回归方程获得任一样方的诸生态因子的值成为可能, 为进一步的群落梯度分析奠定了基础。

3. 排序轴同主要环境因子的相关和回归分析

此分析提供了植被分布客观、数量化的环境解释。据相关分析, 排序第1轴与经度、降水量和湿润系数呈极显著的负相关, 与温度的正相关亦极其显著(见表2)。其中, 第1排序轴与诸相关因子的逐步回归结果如下:

$$AX_1 = 219.892 - 0.4325P - 0.0162AT (R = 0.93)$$

可见, 年平均降水量和积温是主导因子。

更进一步, 在表达植被分布与生态因子的相互关系时, 年平均降水量和湿润系数尤其有说服力。方程如下:

$$AX_1 = 165.487 - 0.4017P (r = -0.96, n = 49)$$

$$AX_1 = 123.855 - 337.715K (r = -0.96, n = 49)$$

利用方程并结合图1上各群落类型的第1轴得分不难得出, 鄂尔多斯高原典型草原的年平均降水量为300—450mm, 湿润系数0.23—0.43; 荒漠化草原的上述2指标分别是200—300mm, 0.13—0.23; 草原化荒漠为160—200mm, 湿润系数小于0.13。这样, 植被的空间分布和生态因子的变化通过方程对应起来。

表2 地带植物群落RA排序轴与环境因子相关系数表
Table 2 Correlation coefficients between environmental factors and RA axes of zonal vegetation

	第1轴 (AX1) The 1st axis	第2轴 (AX2) The 2nd axis
纬度 (LAT) Latitude	0.229	0.426**
经度 (LOG) Longitude	-0.898***	0.036
海拔 (ALT) Altitude	-0.266	-0.189
年平均降水量 (P) Annual mean precipitation	-0.96***	-0.114
年平均温度 (T) Annual mean temperature	0.518***	-0.089
最热月平均温度 (WMT) The warmest month mean temperature	0.671***	0.04
最冷月平均温度 (CMT) The coldest month mean temperature	0.582***	-0.24
≥10℃ 积温 (AT) Accumulated temperature (≥10℃)	0.606***	0.018
湿润系数 (K) Humidity index	-0.956***	-0.089

表中: * ($p < 0.05$) 相关, ** ($p < 0.01$) 相关显著, *** ($p < 0.001$) 相关极显著。

四、沙地植被分析

沙地生境遍布鄂尔多斯高原, 主要包括毛乌素沙地、库布齐沙带、河东沙地以及各种沙化土地。因地处不同的自然地带, 加之沙地生境本身的特点, 使得沙生植物群落多种多样。

1. 群落排序

图2是对55个沙地植物群落样方进行RA排序的结果。显然, 各亚地带内的沙地植物群落类型被截然分开。以第1排序轴为例, 得分低于55的群落属典型草原带; 介于55到90分之

间的群落为荒漠化草原带, 草原化荒漠带的沙地植物群落的得分则大于90。可见, 第1排序轴仍是一个经向梯度, 反映了高原沙地植被的东西分异。第2排序轴表现了沙地群落的空间演替系列: 随得分递增, 由固定沙地植物群落经半固定沙地到流动沙地先锋植物群落。因篇幅所限, 不再做详细分析及定量描述。

表 3 沙地植物群落排序轴与环境因子相关系数
Table 3 Correlation coefficients of RA axes of sandland vegetation with environmental factors

项 目 Item	第1轴(AX_1) The 1st axis	第2轴(AX_2) The 2nd axis
纬度(LAT) Latitude	-0.165	-0.001
经度(LOG) Longitude	-0.863***	-0.083
海拔(ALT) Altitude	0.159	0.119
年平均降水量(P) Annual mean precipitation	-0.876***	-0.065
年平均温度(T) Annual mean temperature	0.366	-0.043
最热月平均温度(WMT) The warmest month mean temperature	0.441***	-0.051
最冷月平均温度(CMT) The coldest month mean temperature	0.627***	0.018
$\geq 10^\circ\text{C}$ 积温(AT) Accumulated temperature($\geq 10^\circ\text{C}$)	0.371**	-0.058
湿润系数(K) Humidity index	-0.871***	-0.086

表中: *($p < 0.05$)相关; **($p < 0.01$)相关显著;
***($p < 0.001$)相关极显著

2. 排序轴与主要环境因子的相关和回归分析

相关分析详见表3。第1排序轴与经度、年平均降水量和湿润系数呈极显著的负相关, 与温度指标呈正相关。逐步回归分析建立方程为:

$$AX_1 = 1357.18 - 0.2845P - 11.3011LOG (R = 0.80)$$

因此, 沙地植被的经向分布突出, 年平均降水量成为其东西分异的主导气候因子。

湿润系数在反映这种梯度关系时最为理想, 它同第1排序轴的回归方程为:

$$AX_1 = 137.791 - 374.7K (r = -0.87, n = 55)$$

从而, 分布在典型草原带的沙地植被, 其湿润系数为0.22—0.37; 荒漠草原为0.13—0.22; 草原化荒漠为0.10—0.13。与地带植被的分析结果基本一致。

五、低湿地植被分析

鄂尔多斯高原的低湿地生境主要有滩地、湖盆洼地、湖滨低地、河漫滩、风蚀洼地及沙

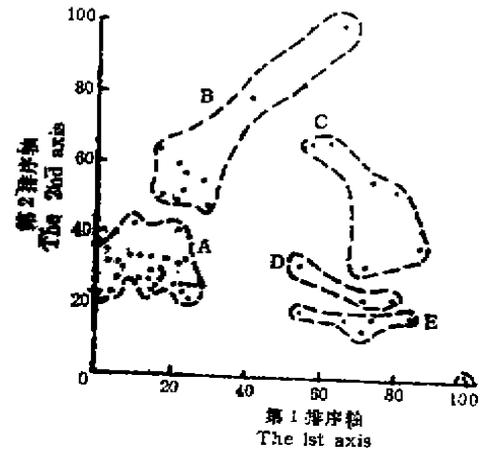


图 2 沙地植物群落的 RA 排序图

Fig. 2 The RA ordination of sandland vegetation

图中: A 油蒿群落 *Artemisia ordosica* Communities

B 沙地先锋植物群落 Pioneer aggregations of sandland

C 油蒿、甘草群落 *Artemisia ordosica*, *Glycyrrhiza uralensis* C.

D 油蒿、麻黄群落 *Artemisia ordosica*, *Ephedra sinica* C.

E 油蒿、早蒿群落 *Artemisia ordosica*, *A. xerophytica* C.

F 油蒿、霸王、四合木群落 *Artemisia ordosica*, *Zygophyllum xanthoxylon*, *Tetraena mongolica* C.

丘间低地, 类型复杂, 发育了草甸、沼泽和盐生植被。

1. 群落排序

高原的低湿地植被同样表现出东西向变化的趋势。对52个低湿地植物群落样方 RA 排序表明, 随第 1 排序轴得分增加, 群落类型由典型草甸到盐化草甸, 最后是盐生植被。同时, 植被地带也发生了相应的变化(如图 3)。第 2 排序轴与土壤基质变化有关。随得分递减, 土壤沙质化加强, 群落中根茎禾草增加, 并出现了一些沙生植物。

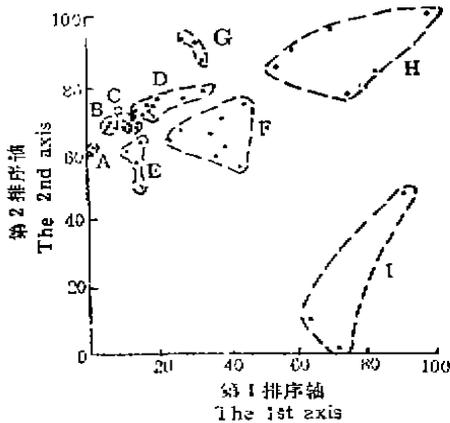


图 3 低湿地植物群落的 RA 排序图
Fig. 3 The RA ordination of lowland vegetation

- 图中: A 拂子茅群落 *Calamagrostis epigeos* Communities
 B 寸草苔、碱茅群落 *Carex duriuscula*, *Puccinellia distans* C.
 C 碱茅群落 *Puccinellia distans* C.
 D 碱蓬群落 *Suaeda* sp. C.
 E 假拂子茅群落 *Calamagrostis pseudophragmites* C.
 F 芨芨草群落 *Achnatherum splendens* C.
 G 盐角草群落 *Salicornia europaea* C.
 H 盐爪爪群落 *Kalidium* sp. C.
 I 西伯利亚白刺群落 *Nitraria sibirica* C.

表 4 低湿地植物群落排序轴与环境因子相关系数表
Table 4 Correlation coefficients between environmental factors and RA axes of lowland vegetation

项 目 Item	第1轴(A _{X1}) The 1st axis	第2轴(A _{X2}) The 2nd axis
纬度(LAT) Latitude	0.038	0.247
经度(LOG) Longitude	-0.609***	0.109
海拔(ALT) Altitude	-0.26	-0.62***
年平均降水量(P) Annual mean precipitation	-0.646***	-0.158
年平均温度(T) Annual mean temperature	0.497***	0.278*
最热月平均温度(WMT) The warmest month mean temperature	0.548***	0.365***
最冷月平均温度(CMT) The coldest month mean temperature	0.365***	-0.093
≥10℃积温(AT) Accumulated temperature(≥10℃)	0.526***	0.401
湿润系数(K) Humidity index	-0.644***	-0.649

表中: *(p<0.05)相关; ***(p<0.001)极显著相关; ***(p<0.001)极显著相关。

2. 排序轴与主要环境因子的相关和回归分析

相关分析的结果证明, 第 1 排序轴与经度、年平均降水量和湿润系数相关显著, 与温度指标呈正相关(见表 4)。即低湿地植被分布的经向梯度存在。逐步回归方程为:

$$AX_1 = 1337.36 - 0.2057P - 8.674LOG (R = 0.45)$$

反映水热综合作用的湿润系数与第 1 排序轴的回归结果:

$$AX_1 = 89.947 - 233.268K (r = -0.64, n = 52)$$

但是, 上述两个方程的代表意义并不强, 即气候因子不是决定低湿地植被东西分异的主导因子。进一步分析证明, 土壤全盐量是主导因子, 但同时又与诸气候因子密切相关(见表 5), 各因子相互结合控制着主导因子的变化, 从而决定植被的分布。反映在第 1 排序轴上, 回归方程是:

表 5 低湿地植被土壤因子(0—40cm)与环境因子排序轴相关系数表

Table 5 Correlation coefficients of soil factors (0—40cm from surface) with environmental factors and with RA axes of lowland vegetation

项 目 Item	土壤全盐量(TSC) Total salt content	土壤pH值 pH value
纬度(LAT) Latitude	0.294	0.325
经度(LOG) Longitude	-0.744***	0.366
海拔(ALT) Altitude	-0.662***	0.026
年平均降水量(P) Annual mean precipitation	-0.703**	-0.001
年平均温度(T) Annual mean temperature	0.494	-0.474*
最热月平均温度(WMT) The warmest month mean temperature	0.755***	-0.286
最冷月平均温度(CMT) The coldest month mean temperature	0.104	-0.509
≥10℃积温(AT) Accumulated temperature(≥10℃)	0.715***	-0.381
湿润系数(K) Humidity index	-0.695***	-0.026
排序第1轴(AX1) The first axis of RA ordination	0.873***	-0.042
排序第2轴(AX2) The second axis of RA ordination	0.276	-0.274

表中: *($p < 0.05$)相关; **($p < 0.01$)显著相关; ***($p < 0.001$)极显著相关。

原化荒漠地带则小于0.13。隐域性的沙地植被亦遵循这些指标,但年平均降水量更为重要。

3. 土壤全盐量是决定低湿地植被分布的主导因子,它同时又深受气候因子的强烈影响,年平均温度更具意义。通过分析,高原寸草苔、碱茅群落的全盐量低于0.35%;芨芨草群落为0.35—2.8%;盐爪爪群落则大于3.62%或更高。

4. 本项工作证明,在分析植被区域分异规律,力求准确表达植被分布与环境的相互关系,确定主导因子时,植物群落的多元分析技术与相关分析、回归分析相结合的方法是行之有效的。

$$AX_1 = -1882.42 + 18.3451TSC \\ - 14.7044T + 18.3264LOG \\ (R = 0.86)$$

可见,温度指标更具意义。

土壤全盐量与第1排序轴的回归方程:

$$AX_1 = 10.7421 + 12.2324TSC \\ (r = 0.84, n = 16)$$

据该方程和图3,初步得出了几种主要低湿地群落类型的土壤全盐量值:高原寸草苔(*Carex duriuscula*)、碱茅(*Puccinellia distans*)群落的全盐量低于0.35%;芨芨草(*Achnatherum splendens*)群落的全盐量介于0.35—2.8%之间;盐爪爪(*Kalidium sp.*)群落的全盐量则大于3.62%,有的还高达5.57%或更高。

六、结 论

1. 鄂尔多斯高原气候区域分异明显,水分梯度是高原最显著的环境梯度,湿润系数的差异准确地反映了这一梯度。

2. 与区域气候相适应,高原植被地带性突出。年平均降水量和≥10℃积温是主导因子,湿润系数给出了这种分异的数量指标。由东向西,典型草原地带大于0.23;荒漠化草原地带为0.13—0.23;草

原化荒漠地带则小于0.13。隐域性的沙地植被亦遵循这些指标,但年平均降水量更为重要。

3. 土壤全盐量是决定低湿地植被分布的主导因子,它同时又深受气候因子的强烈影响,年平均温度更具意义。通过分析,高原寸草苔、碱茅群落的全盐量低于0.35%;芨芨草群落为0.35—2.8%;盐爪爪群落则大于3.62%或更高。

4. 本项工作证明,在分析植被区域分异规律,力求准确表达植被分布与环境的相互关系,确定主导因子时,植物群落的多元分析技术与相关分析、回归分析相结合的方法是行之有效的。

参 考 文 献

- [1] Gauch Hugh G. Jr. (杨持等译)《群落生态学中的多元分析》,科学出版社,1989,78—178。
- [2] Whittaker R. H. (周纪伦等译)《植物群落的排序》,科学出版社,1985。
- [3] 阳含煦,卢泽愚,《植物生态学的数量分类方法》,科学出版社,1983。
- [4] 张利权,瑞典河漫滩植被的数量分类和排序,植物生态学与系统植物学学报,1987,11(3):171—182。

- [5] D. Chang H.S., Multivariate analysis of plant communities and environmental factors in Ngari, Tibet, *Ecology* 1986, 67(6):1568—1575
- [6] 李 博, 内蒙古地带性植被的基本类型及其生态地理规律, 内蒙古大学学报(自然科学) 1962, 4(2):41—73.
- [7] 李 博等, 内蒙古库布齐沙漠考察, 《治沙研究 3 号》, 科学出版社, 1962.
- [8] 陈昌筠, 我国典型草原亚地带和荒漠化草原亚地带中段(鄂尔多斯地区)的分界线在哪里? 植物生态学与地植物学丛刊, 1964, 2(1):143—147.
- [9] 王文凤等, 内蒙古自治区的植被地带特征, 植物学报, 1979, 21(3):274—283.

MULTIVARIATE ANALYSIS OF VEGETATION AND ECOLOGICAL FACTORS ON THE ORDOS PLATEAU, INNER MONGOLIA

Niu Jian-Ming Li Bo

(Grassland Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Huhhot, 010010)

The ordos plateau, where natural conditions are more complicated and vegetation zonalities are clear, is the transitional region from warm temperature steppe to desert. Relations between ecological factors and zonal vegetation, sandland vegetation, and lowland vegetation were discussed as well as these relations were expressed quantitatively in the paper by means of statistically analysing data of environments and of plant communities. The principal analysis contained three steps, 1. to summarize the spatial distribution of vegetation in two main factors of RA, 2. to form equations between ecological factors and longitude, latitude, and altitude by the correlation analysis and the stepwise regression analysis in order to gain ecological parameters of each sample, and 3. to describe quantitatively correlations of ordination scores with ecological factors and with vegetation distributions. Results were that the annual mean precipitation and the accumulated temperature ($\geq 10^{\circ}\text{C}$) are key factors which affect vegetation distributions strongly, and that the total salt content of soil is the key factor controlling the distribution of lowland plant communities, even though macro climate is very important too.

Key words: the ordos plateau, vegetation analysis, RA ordination, ecological factor, multivariate analysis.