

典范分析在江苏海岸带盐土植物排序中的应用

夏 冰 刘昉勋 黄致远 (江苏省植物研究所, 南京 210014)

【摘要】 本文应用典范分析, 对取自江苏海岸带—珍禽保护区盐土植被的样方进行排序, 根据前人已作的江苏海岸带植被的研究结果, 分析比较了以各类典型变量排序样方对揭示植物群落分布连续性及其环境梯度变化的有效性。

关键词 典范分析 排序 滨海盐土植被

Application of canonical analysis in ordination of coastal solonchalk vegetation of Jiangsu Province. Xia Bing, Liu Fangxun and Huang Zhiyuan (Jiangsu Institute of Botany, Nanjing 210014). -Chin. J. Appl. Ecol., 1991 2(3):264—268.

Canonical analysis (CA) was applied to the plot ordination of Jiangsu coastal solonchalk vegetation distributed in a precious birds conservation area. The effects of the ordinations by using different canonical variables on revealing the continuum and environmental factors of the community distribution were compared, according to the studies for the coastal vegetation by others.

Key words: Canonical analysis, Ordination, Coastal solonchalk vegetation.

1 引 言

目前, 排序在我国群落分布连续性及其与环境梯度关系研究中的应用越来越多。使用排序方法主要有: 极点排序、主成分分析、主坐标分析和位置向量排序等^[1,5,6]。此外, Hill 在 70 年代和 80 年代提出的相互平均法 (Reciprocal averaging) 和除趋势对应分析 (Detrended correspondence analysis)^[7,8] 也有了我国学者应用并取得较好结果的报道。典范分析 (亦称为典范相关分析) 是一种特别的排序方法^[2], 不仅可以用植物种为变量或以环境因素为变量对样方排序, 而且可同时用植物种和环境这两个变量对样方排序。这对阐述植物与环境之间的关系无疑是很有利的。

本文于 1990 年 7 月 31 日收到。

江苏海岸带植物种类组成简单, 且已有较成熟的研究总结^[3]。这为应用典范分析排序样方并检验排序的有效性提供了基础。

2 材 料

分析资料取自 1987 年 5 月在江苏盐城珍禽自然保护区的植被调查。保护区由海堤外的滩地组成, 其分布北界是西潮河闸, 南界是中路港, 面积约为 2 700 ha。沿海堤至海水淹没带设置 4 条样线, 样线间距约 2 km, 在每条样线上相距约 0.2 km 处划定一个 1 × 1 m² 的样方, 记录植被的种类组成, 并用网格法 (网格为 10 × 10 cm²) 目测估计样方内各种植物的百分盖度, 同时采集表层 0—10 cm 的土壤, 按常规分析测定土壤的水溶性 Cl⁻ 含量、电导率和有机质含量。另外, 记录各样方距海堤的距离和距西潮河闸的距离。共获样方 40 个。

样方中的 6 个群落优势种分别是盐蒿 (*Suaeda salsa*, 记为 X_1)、糙叶苔草 (*Carex scabrifolia*, 记为 X_2)、芦苇 (*Phragmites communis*, 记为 X_3)、大穗

Chin. J. Appl. Ecol., 2:3 (1991)

结缕草 (*Zoysia macrostacha*, 记为 X_4)、丝草 (*Fimbristylis ferrugineae* var. *siaboldii*, 记为 X_5) 和白茅 (*Imperata cylindrica* var. *major*, 记为 X_6)。把这 6 种植物在 40 个样方中的百分盖度按以下标准分成 5 个盖度级: 5 = 60.5—100%; 4 = 60—30.5%; 3 = 30—15.5%; 2 = 15—6.5%; 1 = 6% 至出现, 得用于分析计算的原始资料(见表 1 中植物部分), 这 6 种植物在样方中不出现的种则记为 0。

选择的环境因素有 5 个, 即土壤水溶性有机质含

量(%), 记为 Y_1 ; 土壤电导率 ($10^{-3}E_{25}^{\circ}C$), 记为 Y_2 ; 样方距海堤的距离(100m), 记为 Y_3 ; 样方距西潮河闸的距离(km), 记为 Y_4 ; 土壤水溶性 Cl^{-} 含量(%), 记为 Y_5 。得环境部分的原始资料(表 1)。 Y_3 和 Y_4 实际上是样方的位置, 是为了便于了解保护区内植物分布的地点而设置, 同时也是考虑到植被调查时已测定样方的地势变化, 而样方的位置可以间接地反映地势的变化。

表 1 用于典范分析的物种和环境因素

Tab.1 Species and environmental factors for canonical correlation analysis

样方号 Plot no.	植物盖度级 Classes of plant cover						环境因素 Environmental factors				
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5
1	2	0	0	0	0	0	0.50	2.43	3.30	1	0.45
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
40	0	2	0	2	1	0	0.60	1.54	0.30	5	0.24

3 分析步骤与结果

记植物部分(见表 1)的中心化数据为 $X_{(6 \times 40)}$, 环境部分的中心化数据为 $Y_{(5 \times 40)}$ 。典范分析就是选 2 个典型变量 W 和 Z (这里 Z 为物种典型变量, W 为环境典型变量):

$$\begin{cases} Z = V^T X \\ = V_1 X_1 + V_2 X_2 + \dots + V_6 X_6 \\ W = U^T Y \\ = U_1 Y_1 + U_2 Y_2 + \dots + U_5 Y_5 \end{cases} \quad (1)$$

来描述变量 X 和 Y 之间的关系, 其中 V 和 U 是待定系数, 要求 V 和 U 的选取要使 Z 和 W 的相关系数达到最大。此问题可化为在

$$\begin{cases} V^T \Sigma_{11} V = 1 \\ U^T \Sigma_{22} U = 1 \end{cases} \quad (2)$$

的约束条件下求函数

$$COV(Z, W) = U^T \Sigma_{12} V \quad (3)$$

的极大值。上两式中 Σ_{11} 、 Σ_{22} 和 Σ_{12} (或 Σ_{21}) 分别是种间、环境间及种与环境间的协方差阵。

已知上述求极大值问题就是求矩阵 Q 和 D 的特征根和特征向量。 Q 和 D 分别是:

$$Q = \sum_{i=1}^{-1} \sum_{j=1} \sum_{k=1}^{-1} \sum_{l=1} \quad (4)$$

$$D = \sum_{i=1}^{-1} \sum_{j=1} \sum_{k=1}^{-1} \sum_{l=1} \quad (5)$$

Q 和 D 的非零特征根相同, 且最多只有 5 个。 Q 的特征根和特征向量是通过求 1 个正交变换 V 将 Q 变成对角矩阵 Λ , 即 V 应满足:

$$V Q V^T = \Lambda = \begin{pmatrix} \lambda_1^2 & & & & \\ & \lambda_2^2 & & & \\ & & \ddots & & \\ & & & \lambda_5^2 & \\ & & & & \lambda_6^2 \end{pmatrix} \quad (6)$$

这里 V 的求法采用雅可比法由计算机完成。 (6) 式中的 λ_j^2 为零特征根, V 中的第 j 行向量就是 Q 相应于 λ_j^2 的特征向量。 D 的特征向量 U 根据下式求出:

$$U_j = \frac{1}{\lambda_j} \cdot \Sigma_{21}^{-1} \cdot \Sigma_{21} \cdot V_j; \quad (j=1, 2, \dots, 5) \quad (7)$$

典范分析排序样方就是把求得的各对典型变量的系数(即 V 和 U)和 X 及 Y 代入(1)式,求得各样方在各对典型变量中的坐标。为了研究方便,通常取前 k 对典型变量来描述样方(这里 $k \leq 5$),此时保留的原信息的百分比(即累计贡献率)为:

$$\left(\sum_{i=1}^k \lambda_i^2 / \sum_{i=1}^5 \lambda_i^2 \right) \cdot 100\% \quad (8)$$

本研究中只取 Q 的前2个特征根进行排序,第1和第2特征根的累计贡献率约为76%。第1和第2物种典型变量的系数,即 Q 对应于 λ_1^2 和 λ_2^2 的特征向量(表2)。第1和第2环境典型变量的系数,即 D 对应于 λ_1^2 和 λ_2^2 的特征向量(表3)。表中各对典型变量间的典型相关系数就是相应特征根的平方根。

表2 物种典型变量

Tab.2 Canonical variables of species

	第1物种典型变量 The first canonical variable of species	第2物种典型变量 The second canonical variable of species
特征根 λ^2 Eigenvalues	0.8041	0.3250
典型相关系数 λ Correlation coefficients	0.90	0.57
特征向量 V	-0.042 0.039 0.018 0.027	0.058 -0.021 -0.077 0.087
Eigenvectors	0.096 0.090	0.056 0.020

由表2和表3可得第1对典型变量为:

$$\begin{aligned} Z_1 = & -0.042X_1 + 0.039X_2 \\ & + 0.018X_3 + 0.027X_4 \\ & + 0.096X_5 + 0.090X_6 \\ W_1 = & 0.259Y_1 - 0.010Y_2 \\ & - 0.100Y_3 - 0.007Y_4 \\ & - 0.243Y_5 \end{aligned} \quad (9)$$

第2对典型变量为:

$$\begin{aligned} Z_2 = & 0.058X_1 - 0.021X_2 \\ & - 0.077X_3 + 0.097X_4 \\ & + 0.056X_5 + 0.020X_6 \\ W_2 = & -0.500Y_1 - 0.236Y_2 \\ & - 0.125Y_3 + 0.023Y_4 \\ & + 1.106Y_5 \end{aligned} \quad (10)$$

表3 环境因素典型变量

Tab.3 Canonical variables of environmental factors

	第1环境典型变量 The first canonical variable of environmental factors	第2环境典型变量 The second canonical variable of environmental factors
特征根 λ^2 Eigenvalues	0.8041	0.3250
典型相关系数 λ Correlation coefficients	0.80	0.57
特征向量 U	0.259 -0.010 -0.100 -0.007 -0.243	-0.500 -0.236 -0.125 0.023 1.106
Eigenvectors		

把各样方的原始数据代入(9)式和(10)式,即可求出各样方在第1对和第2对典型变量上的排序坐标。图1、2和3分别是第1与第2物种典型变量,第1与第2环境典型变量和第1对典型变量对40个样方的排序结果。

4 讨论与结论

在排序中以丝草和芦苇为群落优势种的样方太少(仅各为1个),因此这里将主要对另外4种群落优势种及相应植物群落进行讨论。从图1可以划分出的4种植物群落是:右边的白茅群落,左上方的大穗结缕草群落,左下方的糙叶苔草群落和左边中部的盐蒿群落。这4种植物群落在该排序图中的分布格局与江苏海岸带陆生盐土植被的分布规律不符,用第1和第2物种典型变量排序样方在本研究中效果不好。从图1中的 Z_1 排序轴所属各物种变量的

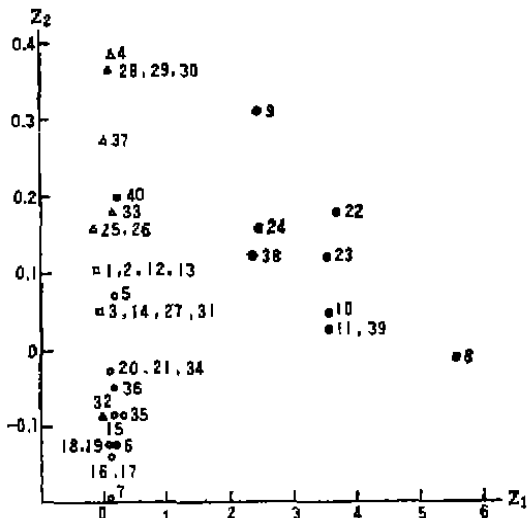


图 1 40个样方的第1和第2物种典型变量(Z_1 和 Z_2)排序群落优势种: □盐蒿, △大穗结缕草, ○糙叶苔草, ●白茅, ■丝草, ▲芦苇。

Fig.1 Ordination of the first and second canonical variables of species in 40 plots.

Community dominants, □ *Suaeda salsa*, △ *Zoysia macrostachoa*, ○ *Carex scabrifolia*, ● *Imperata cylindrica* var. *major*, ■ *Fimbristylis ferrugineae* var. *siaboldii*, ▲ *Phragmites communis*.

系数来看, 丝草和白茅 (X_5 和 X_6) 的系数最大, 且为正效应, 盐蒿具有负效应, 因此如仅根据 Z_1 各系数的分析, Z_1 由小到大, 反映的应是盐蒿群落经糙叶苔草群落或大穗结缕草群落到白茅群落的变化过程。实际上, 应用典型变量的系数来分析典型变量排序轴的生态意义时, 必须以其生态意义与海岸带植被分布规律相符为前提, 因为 Z_1 是各物种变量的线性组合。本研究中用 Z_1 各系数来解释的 Z_1 的生态意义, 即植被分布连续性与已知的植被分布规律相似, 所以根据 Z_1 各系数得到的 Z_1 轴的生态学解释是有意义的。从 Z_2 的各系数来解释 Z_2 轴的生态意义与海岸带植被分布规律明显不一致, 难以对 Z_2 轴的生态意义做出判断。

上述 4 种植物群落在图 1 中的分布难以反映植物群落分布的连续性及其相应的环境梯度变化, 这可能与典范分析主要用于分析两类不同变量(这里即植物与环境)之间的关系, 因此当只用植物典型变量排序样方时, 对揭示植物与

环境的关系就有一定的局限性。

图 2 是以第 1 和第 2 环境典型变量(W_1 和 W_2)为排序轴对样方的排序。从图中可以看出各群落在 W_1 轴上的分布趋势为: 沿 W_1 由负到正, 群落分布依次为: 盐蒿群落→大穗结缕草群落和糙叶苔草群落。从 W_1 的各环境变量的系数看, W_1 中起主要作用的因子是土壤有机质含量 (Y_1), 土壤 Cl^- 含量 (Y_5) 和样方距海堤的距离 (Y_3), 且 Y_3 和 Y_5 在 W_1 中均为负效应, Y_1 为正效应。所以, 可以认为 W_1 由负到正, 反映的环境变化是土壤有机质由少到多, Cl^- 由多到少, 距海堤由远到近, 这与海岸带盐土植物群落分布的规律一致, 说明对 W_1 轴的解释是有意义的。由 W_2 的各系数解释的 W_2 轴的生态意义同样不符合已知的海岸植被的分布规律。

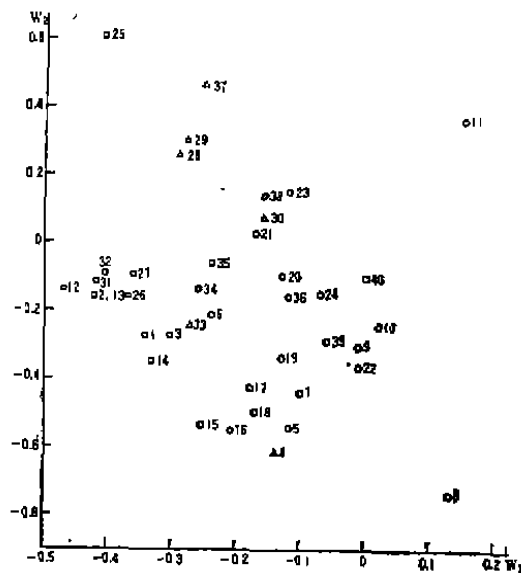


图 2 40个样方的第 1 和第 2 环境典型变量 (W_1 和 W_2) 排序(图示同图 1)

Fig.2 Ordination of the first and second canonical variables (W_1 and W_2) of environmental factors in 40 plots (The signs are same as in fig.1).

以第 1 对典型变量, 即以第 1 物种典型变量 (Z_1) 和第 1 环境典型变量 (W_1) 为坐标轴的排序(图 3), 可以清楚地看出 4 种群落类型分布的连续性和相应的环境梯度变化, 盐蒿群落

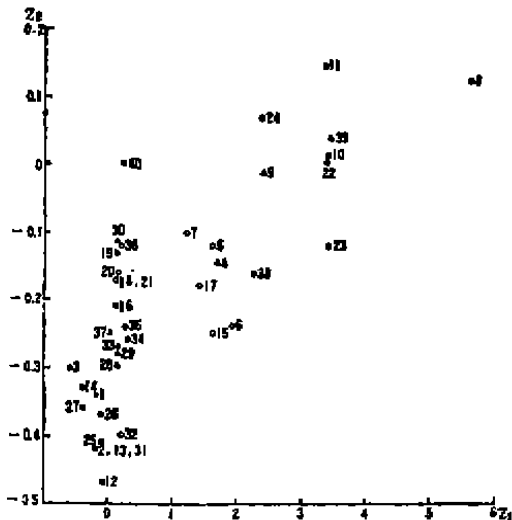


图3 40个样方的第1对典型变量(Z_1 和 W_1)排序(图示同图1)

Fig.3 Ordination of the first pair canonical variables (Z_1 and W_1) in 40 plots (The signs are same as in fig.1).

位于图的最下方,大穗结缕草群落和糙叶苔草群落位于中部,白茅群落位于左上方。根据对图2中 W_1 的分析可知,这一生态系列反映的环境变化是土壤 Cl^- 由多到少,有机质含量由少到多,距海堤由远到近。第1对典型变量之间的典型相关系数较大($\lambda=0.90$),说明由第1对典型变量反映的植物与环境的关系是密切的。

由于各对典型变量之间是线性相关,因此第1对典型变量(Z_1 和 W_1)排序样方时,样方点在图3中的分布应是在一条直线上,而从图3中各样方的分布看,盐蒿、大穗结缕草和糙叶苔草的分布与环境呈线性关系,而白茅的分布则向右弯曲,是非线性形式。其原因可能是白茅群落受人为干扰较大(如当地居民为解决

薪炭问题而大量割取白茅),使对白茅盖度的估测产生较大误差所致,也有可能调查所获的数据结构本身是非线性的。此外,本研究中对植物盖度级的划分比例与传统的草甸植被5级盖度制的划分标准有所不同,且各级划分的比例不一致,由此产生的对排序的影响有待今后按传统盖度级标准划分所做的典范分析结果相比较来分析。

综上所述,可得如下3点结论:(1)应用典范分析排序样方,研究海岸带盐土植物分布与环境的关系是可行的,有效的。(2)本研究中,用第1对典型变量排序样方,较之单纯用物种典型变量或环境典型变量更易于解释,并且可以更直观的形式揭示群落分布连续性及其环境梯度。(3)用各典型变量的系数来解释其排序轴的生态意义时,必须以符合植被分布规律为前提才有意义。

参考文献

- 1 王金锡. 1981. 凉山林场阔叶红松林的群落排序. 东北林学院学报, (4): 99—111.
- 2 阳含熙、卢泽恩. 1981. 植物生态学的数量分类方法. 科学出版社, 北京, 304—310.
- 3 刘昉助等. 1983. 江苏海岸带植被的特征、分布及利用. 植物生态学与地植物学丛刊, 7(2): 100—112.
- 4 张利权. 1987. 瑞典河漫滩草甸植被的数量分类和排序. 植物生态学与地植物学学报, 11(3): 171—182.
- 5 高兆彬等. 1986. 南京紫金山植被(乔木层)群落数量分类的研究. 南京大学学报, 22(1): 106—119.
- 6 彭少麟. 1988. 广东亚热带部分森林群落排序分析. 武汉植物学研究, 6(1): 37—44.
- 7 Hill, M.P. 1973. Reciprocal averaging, an eigenvector method of ordination. Journal of Ecology, 61: 237—249.
- 8 Hill, M.P. 1980. Detrended correspondence analysis: an improved ordination techniques. Vegetatio, 42: 47—58.