

广西英罗港红树植物群落的非线性排序

梁士楚^{1,2}, 张炜银²

(1. 广西红树林研究中心, 广西北海 536007; 2. 中山大学生命科学院, 广东广州 510275)

摘要: 采用主分量分析(PCA)、无偏主分量(DPC)和非度量多维调节(NMDS)等方法对广西英罗港 22 个红树植物群落样地进行了排序。PCA 和 DPC 分析结果表明, 取样数据具有明显的非线性结构。通过 NMDS 分析, 得到二维 NMDS 排序格局, 它能较好地反映了红树植物群落与环境因子之间的相互关系。

关键词: 英罗港; 红树林; 非线性排序

中图分类号: Q948.15 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2001)03-0228-05

Nonlinear ordination of mangrove communities in Yingluo Bay of Guangxi

LIANG Shi-chu^{1,2}, ZHANG Wei-yin²

(1. *Guangxi Mangrove Research Center, Beihai 536007, China*; 2. *School of Life Science, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China*)

Abstract: Twenty-two plots of mangrove communities in Yingluo Bay of Guangxi were ordinated using the methods of principal component analysis (PCA), detrended principal component (DPC) and nonmetric multidimensional scaling (NMDS). The results of PCA and DPC show that the sampling data have a remarkable nonlinear structure. Through a further analysis of NMDS, two-dimensional NMDS ordination was obtained, which clearly reveals the relationship between the mangrove communities and their environmental factors.

Key words: Yingluo Bay; mangroves; nonlinear ordination

红树植物群落是热带亚热带海岸潮间带特有的木本植物群落, 它们在潮滩上的形成和发展受土壤基质、养分状况、盐度、波浪和潮汐的冲击、潮淹程度等环境因子的影响。因此, 对红树植物群落进行排序分析, 可以揭示它们潜在的环境梯度变化及其生态分布规律, 对于进一步了解红树植物群落和潮滩的生态演替等具有重要的意义。

1 研究地点与自然条件

研究地点位于广西山口国家级红树林生态自然

保护区内的英罗港红树林区, 21°28' N, 109°43' E。气候属南亚热带海洋气候, 年平均气温 22.4 °C, 极端最高气温 37.4 °C, 极端最低气温 -0.8 °C; 年平均雨量为 1 816.5 mm, 雨量集中在 5~9 月份; 年平均相对湿度为 81.8%。潮汐为混合全日潮, 平均潮差 2.53 m, 最大潮差 6.25 m。英罗港的红树林面积约 80 hm², 属港湾红树林类型。组成红树林的植物种类主要有木榄 (*Bruguiera gymnorhiza*)、红海欖 (*Rhizophora stylosa*)、秋茄 (*Kandelia candel*)、桐花树 (*Aegiceras corniculatum*)、白骨壤 (*Avicennia marina*) 和海漆 (*Ex-*

收稿日期: 2000-03-06

作者简介: 梁士楚(1965-), 男, 广西百色人, 副研究员, 在读博士生, 生态学专业。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(39860023); 广西自然科学基金资助项目(桂科配 9912011)。

coecaria agallocha)等;主要的群落类型有木榄群落、红海榄群落、红海榄+秋茄群落、秋茄群落、秋茄+桐花树群落、桐花树群落、白骨壤群落、白骨壤+桐花树群落等^[1]。其中,以红海榄群落的分布面积最大,其它群落的分布面积相对较小。一些群落,如桐花树群落等,呈带状分布于潮沟边缘。

2 研究方法

以红树植物群落的组成种类、土壤基质条件和滩位为主导因子,共选择了 22 个具有代表性的群落地段作为样地。每个群落样地进行 4 个样方取样,每个样方的面积为 100 m²。调查样方内所有种群个体的

株高、胸(基)围、冠幅等测树因子特征以及每个种在群落中的覆盖度和 Domin-Krajina 盖度-多度值。对于每个群落样地,分别取适量的土壤样品,用于测定其含盐量、有机质等。根据红树植物的生长特点,群落内组成种类的重要值(IV)的计测公式为: $IV = RC + RF + RD$ 。式中,RC 为相对 Domin-Krajina 盖度-多度值,它等于(某个种的 Domin-Krajina 盖度-多度值/所有种的 Domin-Krajina 盖度-多度值总和)×100; RF 为相对频度;RD 为相对多度^[2]。由此测定出英罗港各个样地红树植物群落组成种类的重要值及其环境因子特征(表 1)。各个样地红树植物群落的线性排序采用主分量分析(PCA),非线性排序采用无偏主分

表 1 英罗港红树植物群落组成种类的重要值及其环境因子

Table 1 The important values of species in the mangrove communities of Yingluo Bay and their environmental factors

样地编号 No. of plot	土壤质地 Soil texture ¹⁾	滩位 Beach position ²⁾	含盐量 Soil salinity (%)	有机质 Soil organic matter (%)	种类重要值 Species important value						
					木榄 <i>Bruguiera gymnorhiza</i>	秋茄 <i>Kandelia candel</i>	红海榄 <i>Rhizophora stylosa</i>	桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i>	白骨壤 <i>Avicennia marina</i>	海漆 <i>Excoecaria agallocha</i>	杨叶肖槿 <i>Thespesia populnea</i>
1	淤泥质	内滩	21.35	10.45	60.34	42.99	196.66	0	0	0	0
2	稍硬化淤泥质	内滩	24.50	6.54	269.4	30.6	0	0	0	0	0
3	半硬化淤泥质	内滩	21.84	5.78	256.75	0	43.25	0	0	0	0
4	淤泥质	内滩	26.30	6.38	204.35	48.91	46.74	0	0	0	0
5	淤泥质	内滩	35.73	4.38	207.35	16.69	75.96	0	0	0	0
6	淤泥质	内滩	17.80	5.16	39.52	180.92	44.9	0	34.66	0	0
7	淤泥质	内滩	7.39	1.96	15.17	214.13	15.95	0	54.74	0	0
8	淤泥质	外滩	8.60	3.15	0	135.42	164.58	0	0	0	0
9	淤泥质	内滩	12.23	4.57	0	135.17	151.00	0	13.82	0	0
10	淤泥质	中滩	17.33	6.3	0	79.82	220.18	0	0	0	0
11	淤泥质	内滩	16.43	6.14	24.37	39.54	26.36	187.03	22.7	0	0
12	淤泥质	中滩	11.20	3.85	0	48.21	0	222.43	29.35	0	0
13	淤泥质	外滩	8.93	3.29	0	74.53	209.98	0	15.49	0	0
14	泥沙质	外滩	8.01	3.71	0	253.22	0	0	46.78	0	0
15	淤泥质	外滩	11.04	3.26	0	232.18	0	0	67.82	0	0
16	淤泥质	外滩	15.62	4.91	0	118.07	0	150.59	31.34	0	0
17	淤泥质	外滩	12.40	3.73	0	101.21	0	77.86	120.91	0	0
18	泥沙质	外滩	8.74	2.86	0	0	0	135.74	164.26	0	0
19	泥沙质	外滩	7.98	2.78	0	0	0	29.55	270.44	0	0
20	淤泥质	外滩	8.62	3.54	0	81.48	218.52	0	0	0	0
21	淤泥质	内滩	19.41	7.53	136.38	51.26	112.37	0	0	0	0
22	半硬化淤泥质	内滩	14.62	5.43	47.38	29.51	0	28.19	0	159.57	35.34

¹⁾淤泥质 Mud, 稍硬化淤泥质 Slightly hardened mud, 半硬化淤泥质 Semi-hardened Mud, 泥沙质 Sandy loam.

²⁾内滩 Inner beach, 中滩 Middle beach, 外滩 Exterior beach.

量(DPC)和非度量多维调节(NMDS)进行分析。有关的计算程序为文献[3]中的 PCA, BAS, DPC, BAS, NMDS, BAS, SUDIST, BAS 和 PCREG, BAS^[3]。

3 结果与分析

3.1 PCA 排序

以表 1 中的英罗港 22 个红树植物群落样地的木榄、秋茄、红海榄、桐花树、白骨壤、海漆和杨叶肖槿等种类的重要值作为数据矩阵,对群落样地进行 PCA

排序,计算得到的前 3 个特征值及其占迹百分比如表 2。PCA 的前 3 个主分量的迹百分比分别为 30.36%、26.43%和 19.85%,它们的累积百分比为 76.64%,即选取前 3 个主分量(I, II 和 III)来排序群落样地时,损失的信息量占 23.36%。如仅取前 2 个主分量,则损失的信息量达 43.21%。而主分量保留信息的多少是度量 PCA 降维效果好坏的重要指标,它取决于原始数据固有的结构和性质。在排序分析中,如果取样数据具有非线性的格局和性质,通过

PCA 的前 2 个主分量的排序图就可以反映出来。根据表 1 中的种类重要值数据,计算得到英罗港 22 个红树植物群落样地在前 3 个主分量 I、II 和 III 上的排序坐标如表 3。以其中的前 2 个主分量 I(PC I)和 II(PC II)上的排序坐标,绘制得到这些群落样地的 PCA 二维排序图如图 1。由图 1 可以看出,这些群落样地形成一个非常明显的非线性点集,由此说明英罗港 22 个红树植物群落样地的 PCA 排序格局呈现非线性的性质。虽然 PCA 是植物群落排序中普遍采用的一种处理矩阵内部结构的多元统计技术,但它只适合于群落样地沿某一环境梯度取样时,组成种类反映出来的关系呈线性或接近线性的情形^[3~7]。由于群落样地在 PCA 轴系统空间中的坐标,是由加权的种取样数据线性组合确定的。因此,具有非线性性质的取样数据会引起群落样地在种多维空间中的排序格局形成弓形、圆形或螺旋形,此时如果采用 PCA 排序就不能很好地或真实地反映群落及其与环境之间的生态关系,甚至会产生较大的畸变,这种畸变对于群落的生态解释产生困难。

表 2 英罗港 22 个红树植物群落样地 PCA 和 NMDS 排序的数量特征

Table 2 PCA and NMDS ordination character of 22 plots of mangrove communities in Yingluo Bay

数量特征 Numerical character	PCA			NMDS	
	I	II	III	I	II
特征值 Eigenvalue	2.125	1.850	1.390	1.153	0.847
占迹百分比 Percent of trace	30.36	26.43	19.85	57.7	42.3
占迹累积百分比 Accumulated percent of trace	30.36	56.79	76.64	57.7	100.0

3.2 DPC 排序

DPC 检测非线性数据结构是接着 PCA 进行的^[3,7],它可以检验在 PCA 中产生的弓形格局的存在和显著性。如果显著,就无偏化这个弓形到一个轴上,以反映潜在的环境梯度。根据表 3 中的英罗港 22 个红树植物群落样地在 PC I 和 PC II 上的排序坐标,计算 PCII 回归到 PCI 的抛物线二次多项式,由此来展开或无偏化由 PCA 对于中等非线性数据处理得到的曲线。其中,采用的抛物线二次多项式方程为:

$$Y = B_0 + B_1X + B_2X^2$$

式中, X 和 Y 分别是 PC I 和 PC II 上的群落样地坐标, B_0 是截距或位置参数, B_1 和 B_2 是抛物线开度和方向的参数。DPC 的计算结果如表 4 所示。其中,利用多元测定系数 R^2 检验抛物线回归的显著性,

用 R^2 来估测 F 比率:

$$F = (R^2/2)/[(1-R^2)(N-2-1)]$$

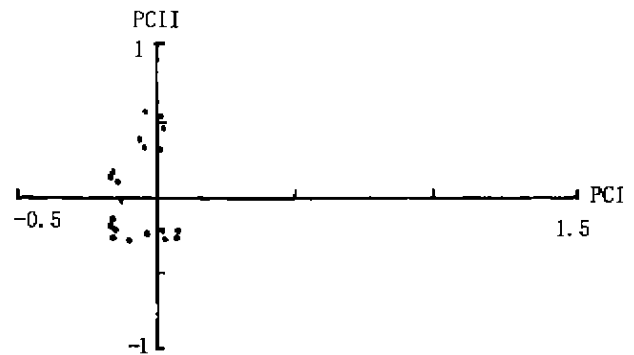


图 1 英罗港 22 个红树植物群落样地的 PCA 二维排序图
Fig. 1 Two-dimensional PCA ordination of 22 plots of mangrove communities in Yingluo Bay

表 3 英罗港 22 个红树植物群落样地在主分量 I、II 和 III 上的排序坐标

Table 3 Ordination coordinates on the principal component I, II and III of 22 plots of mangrove communities in Yingluo Bay

样地编号 ¹⁾ No. of plot	主分量 Principal component		
	I	II	III
1	-0.094	-0.306	0.004
2	0.068	-0.240	0.446
3	0.062	-0.288	0.461
4	0.015	-0.241	0.289
5	0.022	-0.284	0.338
6	-0.120	-0.013	-0.198
7	-0.138	0.086	-0.277
8	-0.152	-0.201	-0.243
9	-0.149	-0.158	-0.232
10	-0.145	-0.279	-0.168
11	0.011	0.301	0.180
12	0.016	0.429	0.167
13	-0.140	-0.237	-0.150
14	-0.157	0.109	-0.366
15	-0.149	0.146	-0.323
16	-0.041	0.319	-0.013
17	-0.065	0.362	-0.015
18	-0.001	0.529	0.223
19	-0.046	0.549	0.170
20	-0.145	-0.276	-0.170
21	-0.037	-0.264	0.147
22	1.382	-0.044	-0.269

¹⁾样地编号同表 1 No. of plot as in Table 1

如果抛物线回归显著 ($p=0.05, df=2, N-2-1$), 就无偏化群落样地在 PC I 和 PC II 上形成的弓形格局到一个轴上, PC I 和 II 排序轴结合为单一的展开的 DPC 轴, 从而较好地反映产生 PCA 弓形数据结构潜在的环境梯度。若回归不显著, 则可能存在着一个非常显著的非线性结构, 在三维空间中呈圆形或螺旋

形,用 DPC 不能展开或无偏化。由表 4 可知, $R^2 = 0.024$, 自由度 $df = 2, 19$ 的 F 比率为 0.237, 大于由 F 比率公式计算得到的 F 比率, 说明差异不显著, 即

英罗港的红树植物群落样地形成的 PCA 排序格局, 具有很强的非线性结构, 不能用多项式回归而被展开或无偏化, 而难以解释它们潜在的生态环境梯度。

表 4 英罗港 22 个红树植物群落样地 DPC 分析结果¹⁾
Table 4 Results from DPC analysis of 22 plots of mangrove communities in Yingluo Bay

变量 Variable	平均数 Mean	方差 Variance	标准差 Standard deviation	标准误差 Standard error	比较变量 Comparison variable	相关系数 Correlation coefficient	标准误差 Standard error	自由度 Degree of freedom	t 统计量 t statistic
$X = PC I$	0.000	0.101	0.318	0.068	$PC I, (PC I)^2$	0.965	0.059	20	16.483
$X^2 = (PC I)^2$	0.097	0.164	0.405	0.086	$PC I, PC II$	0.000	0.224	20	0.000
$Y = PC II$	0.000	0.088	0.297	0.063	$(PC I)^2, PC II$	-0.041	0.223	20	-0.183

¹⁾二次多项式回归方程 Second-order polynomial regression equation, $Y = 0.042 + 0.537X - 0.437X^2$; 多元测定系数 Coefficient of multiple determination, $R^2 = 0.024$; F 比率 F ratio: $F_{2,19}(0.05) = 0.237$.

3.3 NMDS 排序

在种间具有很强的非线性关系和在多维空间样地格局呈圈形或螺旋形的情况下, NMDS 是有效的排序方法^(2,4,8)。NMDS 过程是采用欧氏距离公式分别计测基于群落数据的样地间距离 d_{ij} 和基于 PCA 前 2 个主分量排序坐标的样地间距离 d'_{ij} , 并以上升的顺序排列。然后利用 Kruskal 的非参数回归技术, 进行反复迭代计算, 建立一条单调的递增曲线, 来拟合 d_{ij} 和 d'_{ij} 之间的关系, 使 d_{ij} 的排序顺序与 d'_{ij} 的排列顺序最佳地匹配。其中背离单调性的程度 (SR) 用下列公式计测:

$$SR = \sqrt{\sum_{i,j}^M (d_{ij} - d'_{ij})^2 / \sum_{i,j}^M d_{ij}^2}$$

在迭代过程中, 利用 NMDS 算法在排序空间内移动样地, 使 SR 最小。SR 越小, 表明 d_{ij} 和 d'_{ij} 排列顺序的和协程度越高。

根据表 1 中英罗港 22 个红树植物群落样地的重要值数据和表 3 中的 PCA 前 2 个主分量上的排序坐标, 进行 NMDS 排序分析。经过多次迭代后, SR 值由 0.520 58 下降到 0.114 18, SR 值在相差为 0.000 01 的水平上达到最小。NMDS 排序的前 2 个特征值占有的信息量累积百分比达 100% (表 2)。因此, 由排序轴 NMDS I 和 NMDS II 建立的二维空间完全可以解释 22 个群落样地组成种类重要值数据中的全部信息, 图 2 就是根据 NMDS 的样地排序坐标, 绘制的二维排序图。结合表 1 中的植物种类重要值进行分析, 得出 22 个群落样地可分为 11 个群落类型: ①木榄群落, 包括样地 2, 3, 4 和 5; ②木榄+红海榄群落, 包括样地 21; ③红海榄群落, 包括样地 1, 10, 13 和 20; ④红海榄+秋茄群落, 包括样地 8 和 9; ⑤秋茄群落, 包括样地 6, 7, 14 和 15; ⑥秋茄+桐花树群落, 包括样地 16; ⑦秋茄+白骨壤群落, 包括样地 17; ⑧桐花树群落, 包括样地 11 和 12; ⑨白骨壤群落, 包括样地

19; ⑩白骨壤+桐花树群落, 包括样地 18; ⑪海漆群落, 包括样地 22。

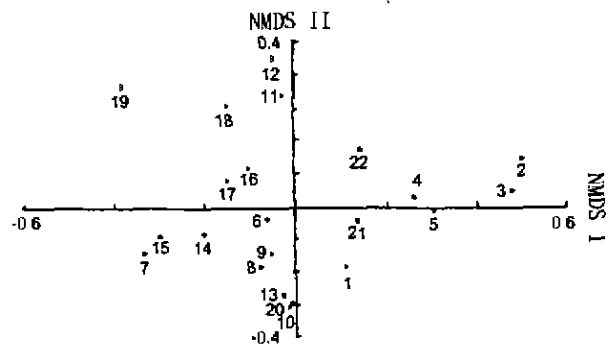


图 2 英罗港红树植物群落 22 个样地的 NMDS 二维排序图

Fig. 2 Two-dimensional NMDS ordination of 22 plots of mangrove communities in Yingluo Bay
图中的整数表示样地的编号 The integer in the figure is the number of plot

种的重要值被用于产生样地的排序坐标, 它们之间的关系可用多元线性回归模型: $Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_pX_p$, 进行分析。根据英罗港 22 个群落样地的 NMDS 排序坐标和表 1 中的样地取样数据, 计算得到排序轴 NMDS I 和 NMDS II 的坐标 Y_1 和 Y_2 与木榄 X_1 、秋茄 X_2 、红海榄 X_3 、桐花树 X_4 、白骨壤 X_5 、海漆 X_6 和杨叶肖槿 X_7 等 7 个种重要值的多元线性回归模型为:

$$Y_1 = 3.03 - 0.0084X_1 - 0.0110X_2 - 0.0099X_3 - 0.0099X_4 - 0.0114X_5 - 0.0037X_6 - 0.0370X_7$$

($R^2 = 0.967, F = 58.224, df = 7, 14$)

$$Y_2 = -0.10 + 0.0008X_1 - 0.0003X_2 - 0.0007X_3 + 0.0015X_4 + 0.0014X_5 + 0.0004X_6 + 0.0036X_7$$

($R^2 = 0.956, F = 43.753, df = 7, 14$)

根据表 1 中测定的几个生境因子进行分析, 图 2

中除样地 7、9 等潮沟群落样地外,其它群落样地的 NMDS 排序格局基本上反映了潜在的环境梯度变化。如 NMDS I 轴从左到右反映的环境梯度变化大致表现为:(1)滩位从外滩、中滩到内滩;(2)土壤质地由泥沙质、淤泥质到稍硬化或半硬化淤泥质;(3)土壤含盐量和有机值由低到高。这与英罗港的红树植物群落的水平空间分布从外滩、中滩到内滩形成比较明显的生态分布系列密切相关。而 NMDS II 轴可能与其它因子相关,这有待于进一步调查和分析。

4 讨 论

植物群落排序的目的是在种的多维空间内,放置群落样地以使它的空间轴代替潜在的环境梯度,产生有意义的生态解释。同时,降低排序中的维数,减少坐标轴的数目,并使信息的损失量最小。当沿着一个较大的环境梯度进行取样时,群落数据多表征为非线性。对于这种非线性的群落数据,PCA 排序可能会产生较大的畸变,而非线性排序可减少这种畸变。其中,DPC 适合于中等程度非线性引起的弓形问题。DPC 过程使群落样地在由 PC I 和 PC II 形成的坐标系统内表现出的弓形无偏化,其它主分量组合,如 PC I 和 PC III 以及 PC II 和 PC III 上出现的弓形等亦可用 DPC 检测。NMDS 是在具有较强的种非线性时,使用的一种调整样地圈形或螺旋形格局的排序方法。NMDS 分析取决于选择的维数,二维 NMDS 的排序样地的格局与三维 NMDS 排序前二维样地的格局不同^[3]。因此,在 NMDS 分析过程中,必须确定排序的最终维数。维数选择的原则是排序的格局能提供最好的生态解释。NMDS 只是解决非线性数据结构方法

中的一种,其它的非线性排序方法有连续体分析、高斯排序法等^[2,6,8]。当 PCA 排序不能很好地反映潜在的环境梯度时,应采用非线性排序的方法进行分析。

通常,潮滩上红树植物群落的分布与潮滩的生态演替进程和红树植物生态学特性等相关,由于各潮位或滩位上的生境条件不同以及各种红树植物群落对这些生境条件的要求和适应性的差异,使得各种类型的红树植物群落在潮滩上各自占据适生的生境,由此形成了与环境相适应的群落分布格局,它们是各种环境因子之间相互作用的综合反映。

参考文献:

- [1] 梁士楚. 广西英罗湾红树植物群落的研究[J]. 植物生态学报,1996,22(4):310—321.
- [2] 梁士楚,葛文标. 广西英罗湾红海榄群落演替中种间竞争初探[A]. 见:范航清,梁士楚. 中国红树林研究与管理[C]. 北京:科学出版社,1995. 94—99.
- [3] Jhon A 拉德维格,Janmes F 蓝诺兹,李育中,等. 统计生态学[M]. 呼和浩特:内蒙古大学出版社,1990. 142—198.
- [4] 阳含熙,卢泽愚. 植物生态学的数量方法[M]. 北京:科学出版社,1981. 232—287.
- [5] 钟 扬,陈家宽,黄德世. 数量分类的方法与程序[M]. 武汉:武汉大学出版社,1990. 92—105.
- [6] E C 皮洛,石绍业,陈华豪,等. 生态学数据的解释[M]. 哈尔滨:东北林业大学出版社,1986. 142—237.
- [7] 李旭光. 四川江津四面山常绿阔叶林永久样地的非线性排序[J]. 植物生态学报,1995,19(3):286—292.
- [8] Whittaker R H,王伯荪. 植物群落排序[M]. 北京:科学出版社,1986. 196—311.