



桂林岩溶石山“风水林”植物群落数量分类与排序

黄其成^{1,2}, 马姜明^{1*}

(1 广西师范大学 生命科学院, 珍稀濒危动植物生态与环境保护教育部重点实验室, 广西桂林 541004; 2 中国科学院西双版纳热带植物园, 云南勐仑 666303)

摘要: 该研究基于群落学调查, 应用 TWINSpan 和 DCCA 方法对桂林岩溶石山“风水林”的植物群落类型进行分类与排序, 探讨该地区的植物群落分布规律与环境因子的关系。结果表明: (1) “风水林”乔木层优势种主要有青冈栎、小巴豆、鱼骨木、石山樟、粗糠柴、铁榄、圆叶乌桕、山合欢、欏木和扁片海桐等, 灌木层优势种主要有龙须藤、紫凌木、红背山麻杆、皱叶雀梅藤、灰毛崖豆藤、亮叶素馨和疏叶崖豆等, 草本层优势种主要有三穗苔草、庐山香科、野鸡尾和阔叶沿阶草等。 (2) TWINSpan 分析结果将“风水林”植物群落的 29 个样方划分为 8 个群丛类型, DCCA 排序与 TWINSpan 分类结果相互验证, 揭示了“风水林”不同群丛与环境之间的生态关系。 (3) DCCA 第一排序轴主要反映坡向的变化规律, 即从左到右, 坡向由阴坡过渡到阳坡, 光照、干热增强, 海拔逐渐降低; 第二排序轴主要反映坡度和坡位的变化, 即从下往上, 坡度变陡, 坡位由下坡转变为上坡, 岩石裸露率升高。 (4) 坡向和坡度为桂林岩溶石山“风水林”群落结构与分布格局异质化的重要因素。

关键词: 风水林; TWINSpan 分类; DCCA 排序; 桂林岩溶石山

中图分类号: Q948.15⁺7

文献标志码: A

Classification and Ordination of Fengshui Woods on Karst Hills of Guilin

HUANG Qicheng^{1,2}, MA Jiangming^{1*}

(1 College of Life Science, Key Laboratory of Ecology of Rare and Endangered Species and Environmental Protection, Ministry of Education, Guangxi Normal University, Guilin, Guangxi 541004, China; 2 Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Menglun, Yunnan 666303, China)

Abstract: Based on community investigation on karst hills of Guilin, and used two-way indicator species analysis (TWINSpan) and detrended canonical correspondence analysis (DCCA) to quantify classification and ordination of Fengshui woods communities on karst hills of Guilin, we explored the relationships between plant communities' distribution and environmental factors. The results showed as below: (1) dominant species of tree layer of Fengshui woods communities are mainly *Cyclobalanopsis glauca*, *Croton xiaopadou*, *Canthium dicoccum*, *Cinnamomum saxatile*, *Mallotus philippensis*, *Sinosideroxylon pedunculatum*, *Sapium rotundifolium*, *Albizia kalkora*, *Loropetalum chinense*, *Pittosporum planilobum*; Dominant species of shrub layer are mainly *Bauhinia championii*, *Decaspermum esquirolii*, *Alchornea trewioides*, *Sageretia rugosa*, *Millettia cinerea*, *Jasminum seguinii*, *Millettia pulchra*; Dominant species of herbaceous layer are mainly *Carex tristachya*, *Teucrium pernyi*, *Onychium japonicum*, *Ophiopogon platyphyllus*. (2) 29 Fengshui woods plots were classified into 8 different association types. Both TWINSpan and DCCA made the consistent results. DCCA ordination preferably reflected the ecological relation between the community types and environmental factors. (3) The axis 1 of DCCA mainly reflected the change law of slope

收稿日期: 2015-07-21; 修改稿收到日期: 2015-10-23

基金项目: 国家自然科学基金(31160156); 广西高校科研项目(2013ZD008); 广西自然科学基金(2014jjAA30037)

作者简介: 黄其成(1991—), 男, 在读硕士研究生, 主要从事植物生态学研究。E-mail: hqcheng_12@163.com

* 通信作者: 马姜明, 博士, 教授, 硕士生导师, 主要从事植物生态学研究。E-mail: mjming03@gxnu.edu.cn

aspect. From left to right of the figure of the DCCA ordination, there had the transition of slope aspect from shady slope to south-facing slope, along with the light intensity and dry-hot habitat strengthened, and the altitude gradually reduced. The axis 2 mainly stood for the change of the slope degree and slope position, the slope degree was steeper, and the slope position had the transition from downslope to upslope, along with the rock bare rate increased. (4) The changes of slope aspect and slope degree were the mainly ecological factors which influenced the heterogeneity of Fengshui woods structure and distribution on karst hills of Guilin.

Key words: Fengshui woods; TWINSpan classification; DCCA ordination; karst hills of Guilin

岩溶(喀斯特)是指由高溶解度的岩石和充分发育的次生孔隙相结合,产生特殊水文和地形的地貌总称^[1]。喀斯特地区生态系统变异敏感度高,是典型的生态环境脆弱区^[2]。桂林岩溶石山位于广西东北部,为广西岩溶石山集中分布的地区之一^[3]。该地区石漠化问题非常突出,石漠化治理的首要任务就是植被恢复^[4]。进行植被恢复时,通常需要选取本地区的顶极群落作为恢复的参照系及恢复目标^[5],以此制定恢复策略与评估体系。因此,研究桂林岩溶石山植被群落,特别是其顶极群落的结构、类型及其与环境的关系,对石漠化治理具有重要意义。

“风水林”是中国独特的风水理论与植物学、生态学等学科相结合的产物^[4],是在路口、村后、庭院、坟墓周围等与风水有关的地方,受到严格保护的天然植被群落^[6]。桂林岩溶石山“风水林”植物群落主要是在村后及坟墓周围与风水有关的地方,人为干扰程度小,频度低,仅当地村民偶尔在其林缘捡拾枯枝作为薪柴及墓葬祭拜等少量人为活动。由于“风水林”被赋予的独特文化,使其长期受到当地居民保护,人为干扰相对较少,逐渐发展成为该地区的顶极群落,可作为该地区植被恢复的参照系。目前,桂林岩溶石山“风水林”群落的研究主要集中在土壤种子库^[7]、群落结构^[8-9]等方面。但对桂林岩溶石山“风水林”整体的、较全面的植物群落数量分类与排序还未见报道,仅见有单一的“风水林”群落类型的数量分类研究^[10-11]。本研究以桂林岩溶石山“风水林”为对象,采用双向指示种分析(TWINSpan)和无偏典范对应分析方法(DCCA)分析植物群落与环境的关系,揭示岩溶石山“风水林”群落不同群丛类型与环境梯度间的生态关系及规律,以期为桂林岩溶石山石漠化地区的植被恢复与重建提供依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

研究地区位于广西壮族自治区桂林市,地处广西东北部,109°36′~111°29′E,24°15′~26°23′N,桂

林市属山地丘陵地区,为典型的喀斯特岩溶地貌,海拔100~500 m,属中亚热带湿润季风气候,气候温和,雨量充沛,四季分明,年平均气温18.9℃,年平均日照时数1670 h^[9]。最冷的1月份平均气温7.8℃,最热的7月份平均气温28℃,全年无霜期300 d,年平均降雨量1949.5 mm,降雨量年分配不均,秋、冬季干燥少雨,年平均蒸发量1490~1905 mm^[12]。

1.2 研究方法

1.2.1 群落学调查 在全面踏查的基础上,对桂林岩溶石山保存较好的“风水林”群落采用典型取样法进行群落学调查,共设置29个样地(表1)。每个样地面积20 m×20 m,再划分为10 m×10 m的4个小样方,样方内分别调查记录每个小样方中乔木层植物种类、个体数、胸径(地径)、树高、冠幅、坐标定位以及群落的发育状况,灌木层、草本层调查记录种类、高度、盖度和频度^[13];并记录各样方的经纬度、海拔、坡向、坡度、坡位、岩石裸露率等^[12]。

1.2.2 重要值的计算方法 调查分析数据过程中,以综合数值表示各个植物物种在群落中的相对重要值,反映植物物种的优势程度,乔木、灌木及草本层植物的重要值具体测度如下^[12]:

乔木层植物重要值=(相对多度+相对显著度+相对频度)/3

灌木层植物重要值=(相对高度+相对盖度+相对频度)/3

1.2.3 数据标准化 为便于使用软件分析数据,将样地调查所得海拔、坡向、坡度、坡位、岩石裸露率、郁闭度等环境因子数据标准化。其中,坡位信息标准化(以数字表示):1表示下坡,2表示中坡,3表示上坡,数字越大坡位越靠上;坡向信息标准化:将正东方向定为起点(即0°),以每45°为一区间进行等级划分,共8个等级,分别用数字表示各个等级。1表示北坡(247.5°~292.5°),2表示东北坡(292.5°~337.5°),3表示西北坡(202.5°~247.5°),4表示东坡(337.5°~22.5°),5表示西坡(167.5°~202.5°),

表 1 样地概况

Table 1 General survey of sampling sites in the study area

样地号 Plot code	地理位置 Geographic location	岩石裸露率 Rock bare rate/%	坡向* Slope aspect	坡度 Slope degree	海拔 Elevation /m	坡位 Slope position
1	25°19′04″N, 110°25′37″E	80	NW8°	40°	269	下 Lower
2	25°19′04″N, 110°25′37″E	75	N	40°	269	上 Upper
3	25°19′03″N, 110°25′44″E	85	E	35°	235	中 Middle
4	25°19′03″N, 110°44′04″E	85	NE8°	35°	235	中 Middle
5	25°19′02″N, 110°25′49″E	75	NE21°	30°	240	下 Lower
6	25°19′02″N, 110°25′49″E	90	NE17°	35°	235	下 Lower
7	25°19′07″N, 110°15′18″E	60	NE61°	25°	196	下 Lower
8	25°19′07″N, 110°15′18″E	80	NE61°	25°	196	下 Lower
9	25°18′30″N, 110°15′44″E	90	N	45°	247	中 Middle
10	25°18′29″N, 110°15′42″E	70	NW10°	35°	245	下 Lower
11	25°18′29″N, 110°15′42″E	70	NW6°	35°	245	下 Lower
12	25°18′29″N, 110°15′42″E	60	NW45°	40°	214	下 Lower
13	25°18′32″N, 110°15′56″E	80	SW18°	75°	280	上 Upper
14	25°18′32″N, 110°15′56″E	80	SW18°	50°	272	上 Upper
15	25°18′32″N, 110°15′25″E	80	SE12°	40°	250	中 Middle
16	25°18′30″N, 110°15′44″E	80	N	30°	247	上 Upper
17	25°18′51″N, 110°25′48″E	80	NE30°	26°	226	中 Middle
18	24°55′25″N, 110°31′24″E	70	SW45°	45°	207	中 Middle
19	24°55′25″N, 110°31′28″E	60	SE30°	35°	215	中 Middle
20	24°55′27″N, 110°31′17″E	75	SW40°	40°	183	中 Middle
21	24°55′26″N, 110°31′20″E	75	SE10°	40°	215	中 Middle
22	24°55′23″N, 110°31′28″E	40	SW20°	30°	140	下 Lower
23	25°16′04″N, 111°19′38″E	65	NW69°	40°	226	上 Upper
24	25°16′04″N, 111°19′38″E	80	NW69°	40°	220	上 Upper
25	25°16′04″N, 110°19′38″E	80	NW50°	40°	266	中 Middle
26	25°16′04″N, 110°19′38″E	80	NW75°	35°	245	下 Lower
27	25°18′51″N, 110°25′48″E	90	NW60°	30°	226	中 Middle
28	24°49′55″N, 110°23′16″E	70	NW84°	40°	151	下 Lower
29	24°49′27″N, 110°23′36″E	80	SW23°	35°	163	下 Lower

注：*：SE. 东南坡；E. 东坡；SW. 西北坡；NE. 东北坡；N. 北坡；NW. 西北坡。下同。

Note: *：SE. South-east aspect; E. East aspect; SW. South-west aspect; NE. North-east aspect; N. North aspect; NW. North-west aspect; The same as below.

6 表示东南坡(22. 5°~67. 5°), 7 表示西南坡(112. 5°~167. 5°), 8 表示南坡(67. 5°~112. 5°)。等级数字越大, 表示越向阳, 越干热^[14]。

根据所有样地中乔木层植物的相对重要值, 采用国际通用的 WinTwins23 软件包实现 TWINS-PAN 对桂林岩溶石山“风水林”群落的分类。在 Braak 设计的 CANOCO 4. 5 软件包中实现对“风水林”群落的无偏典范对应分析(DCCA)。

2 结果与分析

2.1 TWINS-PAN 数量分类

表 2 为各植物在乔木层、灌木层和草本层中的优势度(用重要值表示)。表 2 显示, 研究区乔木层

优势种主要有青冈栎、小巴豆、鱼骨木、石山樟、粗糠柴、铁榄、圆叶乌桕、山合欢、欐木和扁片海桐等; 灌木层优势种主要有龙须藤、紫凌木、红背山麻杆、皱叶雀梅藤、灰毛崖豆藤、亮叶素馨和疏叶崖豆等, 另外, 还分布有粗糠柴、青冈栎、小巴豆、山合欢和石山樟等乔木层优势种的中、幼苗; 草本层优势种主要有三穗苔草、庐山香科科、野鸡尾和阔叶沿阶草等。

基于 29 个调查样方的数据(表 2), 对桂林岩溶石山“风水林”群落进行 TWINS-PAN 数量分类。植被数据矩阵为 71×29, 以重要值为数量指标, 其中, 71 为乔木层植物物种数, 29 为样方数(用数字 1~29 表示)。TWINS-PAN 对“风水林”群落 29 个样方共进行了 4 级 14 次划分得到 11 组。依据实际生态

表 2 桂林岩溶石山“风水林”乔、灌和
草本层中主要物种重要值

Table 2 Important values of main plants about tree,shrub
and herb of Fengshui woods on karst hills of Guilin

	物种 Species	重要值 IV
乔木层 Tree layer	青冈栎 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>	15.450 9
	小巴豆 <i>Croton xiaopadou</i>	7.662 4
	鱼骨木 <i>Canthium dicoccum</i>	7.358 0
	石山樟 <i>Cinnamomum saxatile</i>	6.207 0
	粗糠柴 <i>Mallotus philippensis</i>	5.895 6
	铁榄 <i>Sinosideroxylon pedunculatum</i>	5.888 4
	圆叶乌桕 <i>Sapium rotundifolium</i>	5.328 6
	山合欢 <i>Albizia kalkora</i>	4.554 8
	欒木 <i>Loropetalum chinense</i>	3.593 0
	扁片海桐 <i>Pittosporum planilobum</i>	3.500 2
	石山巴豆 <i>Croton euryphyllus</i>	2.569 9
	菜豆树 <i>Radermachera sinica</i>	2.453 8
	毛果巴豆 <i>Croton lachnocarpus</i>	2.039 3
	朴树 <i>Celtis sinensis</i>	1.630 8
	风箱树 <i>Cephalanthus tetrandrus</i>	1.515 8
	紫凌木 <i>Decaspermum esquirolii</i>	1.437 8
	乌桕 <i>Diospyros cathayensis</i>	1.336 1
	铜钱树 <i>Paliurus hemsleyanus</i>	1.269 8
	黄梨木 <i>Boniodendron minus</i>	1.264 9
	齿叶黄皮 <i>Clausena dunniana</i>	1.244 1
	樟叶槭 <i>Acer coriacei folium</i>	1.143 4
	黄连木 <i>Pistacia chinensis</i>	1.122 5
灌木层 Shrub layer	龙须藤 <i>Bauhinia championii</i>	8.701 3
	粗糠柴 <i>Mallotus philippensis</i>	6.818 7
	青冈栎 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>	5.295 0
	紫凌木 <i>Decaspermum esquirolii</i>	5.062 4
	红背山麻杆 <i>Alchornea trewioides</i>	4.667 2
	皱叶雀梅藤 <i>Sageretia rugosa</i>	3.237 3
	灰毛崖豆藤 <i>Millettia cinerea</i>	3.043 9
	亮叶素馨 <i>Jasminum seguinii</i>	2.792 5
	疏叶崖豆 <i>Millettia pulchra</i>	2.663 8
	小巴豆 <i>Croton xiaopadou</i>	2.186 6
	山合欢 <i>Albizia kalkora</i>	2.102 8
	石山樟 <i>Cinnamomum saxatile</i>	1.945 3
	崖棕 <i>Guihaia argyrate</i>	1.682 5
	齿叶黄皮 <i>Clausena dunniana</i>	1.541 7
	白皮乌口 <i>Tarenna depauperata</i>	1.517 1
	菜豆树 <i>Radermachera sinica</i>	1.483 7
	樟叶槭 <i>Acer coriacei folium</i>	1.429 5
	黄梨木 <i>Boniodendron minus</i>	1.368 6
	细梗女贞 <i>Ligustrum tenuipes</i>	1.357 8
	无柄五层龙 <i>Salacia sessilis flora</i>	1.352 6
	石岩枫 <i>Mallotus repandus</i>	1.242 1
	扁片海桐 <i>Pittosporum planilobum</i>	1.213 0
草本层 Herb layer	铁榄 <i>Sinosideroxylon pedunculatum</i>	1.176 8
	千里香 <i>Gaultheria leucocarpa</i>	1.170 5
	朴树 <i>Celtis sinensis</i>	1.158 7
	临桂石楠 <i>Photinia chihsiniana</i>	1.002 2
	三穗薹草 <i>Carex tristachya</i>	14.242 1
	庐山香科科 <i>Teucrium pernyi</i>	9.448 3
	野鸡尾 <i>Onychium japonicum</i>	8.767 5
	阔叶沿阶草 <i>Ophiopogon platyphyllus</i>	8.620 7
	鞭叶铁线蕨 <i>Adiantum caudatum</i>	4.961 8
	井栏边草 <i>Pteris multi fida</i>	3.872 8
	荩草 <i>Arthraxon hispidus</i>	3.710 1
	苞子草 <i>Themeda caudata</i>	3.636 8
	兖州卷柏 <i>Selaginella involvens</i>	3.079 0
	金丝草 <i>Pogonatherum crinitum</i>	2.687 3
	千里光 <i>Senecio scandens</i>	2.671 5
	榭蕨 <i>Drynaria roosii</i>	2.500 0
	求米草 <i>Oplismenus undulati folius</i>	2.176 7

意义,采用 TWINSpan 最后第 3 级划分,得到 8 个群丛类型(图 1),表 3 为各群丛主要环境特征。

I. 铁榄+齿叶黄皮-灰毛崖豆藤+白皮乌口树-三穗薹草+翠云草群丛(ASS. *Sinosideroxylon pedunculatum*+*Clausena dunniana*-*Millettia cinerea*+*Tarenna depauperata*-*Carex tristachya*+*Selaginella uncinata*)。包括样方 1 和 2。乔木层的优势种为铁榄和齿叶黄皮,主要伴生种为小巴豆(*Croton xiaopadou*)、白皮乌口树和山合欢(*Albizia kalkora*)等;灌木层的优势种为灰毛崖豆藤、白皮乌口树,主要伴生种为龙须藤(*Bauhinia championii*)、千里香(*Senecio scandens*)、粗糠柴(*Mallotus philippensis*)和红背山麻杆(*Alchornea trewioides*)等;草本层的优势种为三穗薹草和翠云草,主要伴生种为阔叶沿阶草(*Ophiopogon platyphyllus*)和野鸡尾(*Onychium japonicum*)等。

II. 青冈栎-粗糠柴+龙须藤-庐山香科科+三穗薹草群丛(ASS. *Cyclobalanopsis glauca*-*Mallotus philippensis*+*Bauhinia championii*-*Teucrium pernyi*+*Carex tristachya*)。包括样方 3、4、5、6、7、8 和 17。乔木层优势种为青冈栎,主要伴生种为石山樟(*Cinnamomum saxatile*)、黄梨木(*Boniodendron minus*)、小巴豆和欒木(*Loropetalum chinense*)等。灌木层的优势种为粗糠柴和龙须藤,主要伴生种为红背山麻杆和灰毛崖豆藤(*Millettia cinerea*)等,还有青冈栎和粗糠柴的更新苗;草本层的优势种为庐山香科科和三穗薹草,主要伴生种为忽地笑(*Lycoris anrea*)、金丝草(*Pogonatherum crinitum*)、井栏边草(*Pteris mul-*

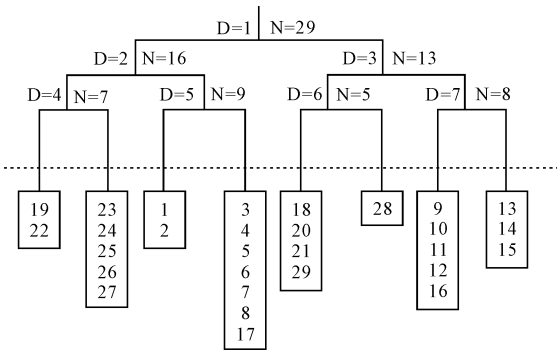


图 1 桂林岩溶石山“风水林”植物群落的
TWINSpan 分类树状图

1~29 为样方编号;D 表示划分次数;N 表示每一分组的样方数

Fig. 1 Dendrogram of TWINSpan classification
for Fengshui woods on karst hills of Guilin

1—29. Code of samples; D. No. of classification;
N. No. of samples in group

表 3 桂林岩溶石山“风水林”植物群落 TWINSpan 数量分类主要特征

Table 3 The main characteristics of the TWINSpan classification for Fengshui woods on karst hills of Guilin

群丛 Association	海拔 Elevation/m	坡位 Slope position	坡向 Slope aspect	坡度 Slope degree	岩石裸露率 Rock bare rate/%
I	269	下、上 Lower, Upper	SW, S	40°	75~85
II	196~240	下、中 Lower, Middle	NE	25°~35°	60~90
III	214~247	下、中、上 Lower, Middle, Upper	N, NW	30°~45°	60~90
IV	250~280	中、上 Middle, Upper	SE, SW	40°~75°	80
V	163~215	下、中 Lower, Middle	SW, SE	35°~45°	70~80
VI	183~215	下、中 Lower, Middle	SW, SE	30°~35°	40~60
VII	220~266	下、中、上 Lower, Middle, Upper	NW	30°~40°	65~90
VIII	151	下 Lower	NW	40°	70

tifida)和苞子草(*Themeda caudata*)等。

Ⅲ. 石山樟+小巴豆-龙须藤-阔叶沿阶草群丛 (ASS. *Cinnamomum saxatile*+*Croton xiaopadou*-*Bauhinia championii*-*Ophiopogon platyphyllus*。包括样方 9、10、11、12 和 16。乔木层优势种为石山樟和小巴豆,主要伴生种为圆叶乌桕(*Sapium rotundifolium*)、扁片海桐(*Pittosporum planilobum*)和山合欢等;灌木层优势种为龙须藤,主要伴生种为细梗女贞(*Ligustrum tenuipes*)和亮叶素馨(*Jasminum seguinii*)等,还有石山樟和小巴豆的更新苗;草本层的优势种为阔叶沿阶草,主要伴生种为庐山香科科、千里光(*Senecio scandens*)和三穗苔草等。

Ⅳ. 铁榄+小巴豆-皱叶雀梅藤+龙须藤-三穗苔草群丛 (ASS. *Sinosideroxylon pedunculatum*+*Croton xiaopadou*-*Sageretia rugosa*+*Bauhinia championii*-*Carex tristachya*)。包括样方 13、14 和 15。乔木层优势种为铁榄和小巴豆,主要伴生种为扁片海桐、山合欢和风箱树(*Cephalanthus tetrandrus*)等;灌木层优势种为皱叶雀梅藤和龙须藤,主要伴生种为亮叶素馨和扁片海桐等;草本层优势种为三穗苔草,主要伴生种为阔叶沿阶草和庐山香科科等。

V. 鱼骨木-紫凌木-鞭叶铁线蕨群丛 (ASS. *Canthium dicoccum*-*Decaspermum esquirolii*-*Adiantum caudatum*)。包括样方 18、20、21 和 29。乔木层优势种为鱼骨木,主要伴生种为石山巴豆和圆叶乌桕等;灌木层优势种为紫凌木,主要伴生种为红背山麻杆和皱叶雀梅藤等,还有鱼骨木的更新苗;草本层优势种为鞭叶铁线蕨,主要伴生种有三穗苔草、荎草(*Arthraxon hispidus*)和野雉尾金粉蕨(*Onychium japonicum*)等。

Ⅵ. 欆木+粗糠柴-紫凌木-三穗苔草群丛 (ASS. *Loropetalum chinense*+*Mallotus philippensis*-*Decaspermum esquirolii*-*Carex tristachya*)。包括样方 19 和 22。乔木层优势种为欆木和粗糠

柴,主要伴生种为光皮楝木(*Cornus wilsoniana*)、翅荚香槐(*Cladrastis platycarpa*)和圆叶乌桕等;灌木层优势种为紫凌木,主要伴生种为临桂石楠(*Photinia chihsiniana*)和阴香(*Cinnamomum burmannii*)等,还有欆木和粗糠柴的更新苗;草本层的优势种为三穗苔草,主要伴生种为鞭叶铁线蕨和苞子草等。

Ⅶ. 青冈栎+粗糠柴-疏叶崖豆+樟叶槭-三穗苔草+庐山香科科群丛 (ASS. *Cyclobalanopsis glauca*+*Mallotus philippensis*-*Millettia pulchra*+*Acer coriaceifolium*-*Carex tristachya*+*Teucrium pernyi*)。包括样方 23、24、25、26 和 27。乔木层优势种为青冈栎和粗糠柴,主要伴生种为菜豆树和毛果巴豆(*Croton lachnocarpus*)等;灌木层的优势种为疏叶崖豆和樟叶槭,主要伴生种为红背山麻杆和樟叶槭等,还有青冈栎和粗糠柴的更新苗。

Ⅷ. 青檀+石山巴豆-红背山麻杆-金丝草+求米草群丛 (ASS. *Pteroceltis tatarinowii*+*Croton euryphyllus*-*Alchornea trewioides*-*Pogonatherum crinitum*+*Oplismenus undulatifolius*)。包括样方 8。乔木层优势种为青檀和石山巴豆,主要伴生种为麻楝(*Chukrasia tabularis*)、扁片海桐和粗糠柴等;灌木层优势种为红背山麻杆,主要伴生种为疏叶崖豆、朴树(*Celtis sinensis*)、斜叶榕(*Ficus tinctoria*)和黄梨木等。

比对 8 个群丛类型,群丛 II 和 VII 2 个群丛共 12 个样地中均有青冈栎分布,且均作为所在群丛乔木层优势种,重要值为 15.45,这可能与青冈栎对环境的适应性较强有关,说明青冈栎是组成桂林岩溶石山“风水林”植物群落的重要物种。不同群丛各层次优势种及主要伴生种种类、数量均有明显差异,说明桂林岩溶石山“风水林”植物群落分布的不同群丛类型。

2.2 DCCA 排序

DCCA 可以认为是 CCA 与 DCA 的结合,具体排序过程参见文献^[15]。运用 CANOCO4.5 软件包进行 DCCA 排序,构建“风水林”群落两个关系矩阵。数据矩阵为 71×29,71 是乔木层植物物种数,29 是总样方数;环境因子矩阵为 5×29,5 是环境因子数,29 是总样方数(用数字 1~29 表示)。

由排序结果得出 DCCA 的二维排序图(图 2)。图 2 中箭头代表各个环境因子,箭头所处象限代表环境因子与排序轴间的正、负相关性,箭头连线的长度代表着环境因子与排序轴相关性的^[16],其实质可以由箭头在排序轴的截距反映。箭头在排序轴

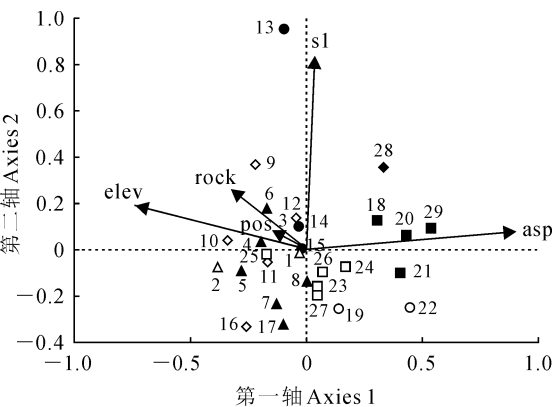


图 2 桂林岩溶石山“风水林”植物群落 29 个样方与环境关系的 DCCA 二维排序

△. 群丛 I ; ▲. 群丛 II ; ◇. 群丛 III ; ●. 群丛 IV ; ■. 群丛 V ;
○. 群丛 VI ; □. 群丛 VII ; ◆. 群丛 VIII

Fig. 2 DCCA ordination plot of 29 samples for Fengshui woods on karst hills of Guilin

△. Association I ; ▲. Association II ; ◇. Association III ;
●. Association IV ; ■. Association V ; ○. Association VI ;
□. Association VII ; ◆. Association VIII

表 4 桂林岩溶石山“风水林”植物群落 DCCA 排序轴与环境因子之间的相关矩阵

Table 4 The correlation between the first three axis of DCCA ordination and the environmental factors for Fengshui woods on karst hills of Guilin

项目 Item	第一轴 Axis 1	第二轴 Axis 2	第三轴 Axis 3
海拔 Elevation	-0.749 6	0.537 1	-0.078 5
坡度 Slope degree	0.002 7	0.889 7	-0.105 9
坡向 Slope aspect	0.905 6	0.337 8	-0.251 4
坡位 Slope position	-0.140 1	0.724 3	-0.112 6
岩石裸露率 Rock bare rate	-0.365 3	0.256 7	0.809 0
物种与环境因子相关系数 Correlation coefficient between species and environmental factors	0.915	0.832	0.677
蒙特卡洛检验结果 Monte carlo test results	P=0.002 0		

截距的正负值分别表示环境因子与该排序轴正、负相关关系,其绝对值大小表示相关性大小。

表 4 显示 DCCA 前三轴与各环境因子之间的相关系数。结合图 2 和表 4 分析,第一、二排序轴的特征值分别为 0.501 和 0.301,物种与环境因子相关系数较高,分别为 0.915 和 0.832,物种-环境关系方差累积贡献率达到 57.1%,说明包含较多生态信息。坡向、坡度在第一排序轴的截距均为正值,与第一排序轴呈正相关,其中,坡向与第一排序轴的相关系数达到 0.905 6,通过蒙特卡洛检测为显著正相关 (P -value=0.002 0);海拔、岩石裸露率和坡位在第一排序轴的截距均为负值,与第一轴呈负相关,其中,海拔与第一轴的相关系数为-0.749 6。DCCA 第一排序轴主要反映样地坡向变化规律,即图 2 中从左到右,样地有由阴坡向阳坡过渡的趋势,光照由弱到强,海拔逐步降低;沿第一排序轴分布的植物群丛依次为群丛 III、II、I → 群丛 IV → 群丛 VII → 群丛 V、VI、VIII,群丛的分布由阴坡逐步过渡到阳坡,水分条件在局部重新分配,群丛的优势种由青冈栎、石山樟等逐渐为菜豆树、乌桕、圆叶乌桕等替代,耐旱和喜光性逐渐增强。同理可以看出,坡度、坡位等因子均与第二轴呈正相关,其中,坡度、坡位与第二轴的相关系数达到 0.889 7 和 0.724 3,远大于其他环境因子,为显著正相关 (P -value=0.002 0)。DCCA 第二排序轴主要反映样地坡度、坡位的变化规律,即沿排序轴向上,山坡逐渐变陡峭,坡位由下坡逐渐过渡为上坡。图 2 显示,群丛 IV 和群丛 VI 之间异质性较明显,两群丛中各层次优势种均不同,伴生种差异大,主要受坡度差异影响。由此可见,第二排序轴主要反映坡度、坡位的梯度变化。

3 讨 论

TWINSPAN 是一种理想的植物群落分类方法,其划分过程充分利用了能够反映群落生境特征的指示种及其组合,可得到比较客观、合理的分类结果^[15]。本研究结果表明,TWINSPAN 分类与 DCCA 排序相互验证。

桂林岩溶石山“风水林”的植物群落 DCCA 排序客观反映了“风水林”植物各群丛与环境梯度之间的关系。其中,DCCA 前两个排序轴体现了较明显生态意义。第一排序轴主要反映坡向与“风水林”群丛的关系,即第一排序轴从左到右,群落向着由阴坡到阳坡,光照由弱到强,海拔逐渐降低方向发展。第二排序轴主要反映坡度、坡位与“风水林”群丛的关

系。即第二排序轴从下到上,坡度变大,山坡变陡峭,坡位由下坡转变为上坡,岩石裸露率升高。在桂林岩溶石山这种“峰林”和“峰丛”型喀斯特类型,坡度较小的地段,往往处于下坡,群落中的腐殖质相对较易保留,土层往往相对较厚,岩石裸露率较低;反之,岩石裸露率较高。受坡向、坡度等因子的影响,桂林岩溶石山环境具有较大异质性,植物与环境的相适应产生了植被分布异质性。可见,坡向、坡度变化为桂林岩溶石山“风水林”群落结构与分布格局异

质性的重要因素,这与桂林岩溶石山“风水林”群落类型之一的青冈栎群落分类结果较吻合^[10]。

岩溶区是被比作如沙漠边缘一样的脆弱环境^[17]。桂林漓江流域岩溶区石漠化问题日渐突出,其生态恢复日显重要。桂林岩溶石山“风水林”植物群落作为桂林喀斯特地貌中人为干扰较少,保护较好,群落结构较稳定的地域性植被群落类型^[18],在该区生态恢复中起到参照系作用,对漓江流域岩溶石漠化治理具有重要意义。

致谢:本研究的野外调查工作得到了广西师范大学生命科学学院的梅军林、覃扬浚、刘燕、汤丹丹、覃显程、李海霞、谢洪雁、梁沁、黄敏、庞洁等大力帮助,在此一并表示感谢!

参考文献:

- [1] 安明志. 茂兰喀斯特植被恢复过程群落结构与健康评价[D]. 贵阳: 贵州大学, 2008.
- [2] YUAN T(苑 涛), JIA Y N(贾亚男). Research progresses on vulnerability of karst ecological system in southwest China[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin* (中国农学通报), 2011, **27**(32): 175—180(in Chinese).
- [3] LIU Y S(刘彦随), DENG X SH(邓旭升), HU Y C(胡业翠). Rocky land degradation and poverty alleviation strategy in Guangxi karst mountainous area[J]. *Journal of Mountain Science* (山地学报), 2006, **24**(4): 228—233(in Chinese).
- [4] LI X K(李先琨), HE CH X(何成新), TANG J SH(唐建生), *et al.* Evolution and ecological processes of karst ecosystem of Guangxi[J]. *Guangxi Sciences* (广西科学), 2008, **15**(1): 80—86(in Chinese).
- [5] MA J M(马姜明), LIU SH R(刘世荣), SHI Z M(史作民), *et al.* A review on restoration evaluation studies of degraded forest ecosystem[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2010, **30**(12): 3 297—3 303(in Chinese).
- [6] LI SH Y(李仕裕), YE Y SH(叶育石), WANG F G(王发国), *et al.* Analyses on species composition and areal-type of “Fengshui woods” in Guangzhou City[J]. *Journal of Plant Resources and Environment* (植物资源与环境学报), 2013, **22**(1): 102—109(in Chinese).
- [7] LI F(李 峰), LIANG SH CH(梁士楚), WANG L J(王丽君), *et al.* Soil seed bank of *Cinnamomum burmannii* community on karst hills in Guilin[J]. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 2007, **26**(10): 1 511—1 515(in Chinese).
- [8] YAO Y Q(姚贻强), ZHANG ZH H(张忠华), LIANG SH CH(梁士楚), *et al.* Structure of *Cyclobalanopsis glauca* population on karst hills of Guilin[J]. *Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology* (浙江林业科技), 2008, **28**(4): 8—11(in Chinese).
- [9] ZHANG ZH H(张忠华), LIANG SH CH(梁士楚), HU G(胡 刚). Structure of *Cinnamomum burmannii* population in karst hills of Guilin[J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany* (热带亚热带植物学报), 2007, **15**(4): 307—314(in Chinese).
- [10] HU G(胡 刚), LIANG SH CH(梁士楚), ZHANG ZH H(张忠华), *et al.* Quantitative analysis of *Cyclobalanopsis glauca* community on karst hills of Guilin[J]. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 2007, **26**(8): 1 177—1 181(in Chinese).
- [11] ZHANG ZH H(张忠华), HU G(胡 刚), LIANG SH CH(梁士楚). Numerical classification and species diversity of *Cinnamomum burmannii* community in karst hills of Guilin[J]. *Guihaia* (广西植物), 2008, **28**(2): 191—196(in Chinese).
- [12] MA J M(马姜明), ZHAN T T(占婷婷), *et al.* Changes of niche among restoration stages of *Loropetalum chinense* communities in karst area of Lijiang River Valley[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2013, **22**(1): 66—71(in Chinese).
- [13] Ma J M(马姜明), LIU SH R(刘世荣), *et al.* Changes of species composition and diversity in the restoration process of sub-alpine dark brown coniferous forests in western Sichuan, China[J]. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 2007, **43**(5): 17—23(in Chinese).
- [14] PANG L(庞 亮), LI SH C(李绍才), LONG F(龙 凤), *et al.* Quantitative classification and ordination of roadside slope vegetation in Sichuan Basin[J]. *Bulletin of Botanical Research* (植物研究), 2013, **33**(3): 360—366(in Chinese).
- [15] 张金屯. 数量生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 153—218.
- [16] QIU Y(邱 扬), ZHANG J T(张金屯). The ordination axes clustering based on detrended canonical correspondence analysis ordination and its application to the analysis of the ecological gradients of plant communities[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2000, **20**(2): 199—206(in Chinese).
- [17] YUAN D X(袁道先). Global view on karst rock desertification and integrating control measures and experiences of China[J]. *Practical Science* (草业科学), 2008, **25**(9): 19—25.
- [18] LI X K(李先琨), SU Z M(苏宗明), LÜ SH H(吕仕洪), *et al.* The spatial pattern of natural vegetation in the karst regions of Guangxi and the ecological signal for ecosystem rehabilitation and reconstruction[J]. *Journal of Mountain Research* (山地学报), 2003, **21**(2): 129—130(in Chinese).

(编辑: 潘新社)