

锦屏水电站植被数量分类与排序

何惠琴^{1,2}, 李绍才^{1,*}, 孙海龙^{1,3}, 刘世昌^{1,4}, 熊文兰³

(1. 四川大学生命科学学院, 成都 610064; 2. 宜宾学院生物工程系 宜宾 644000;
3. 四川省励自生态工程技术有限公司, 成都 610031; 4. 四川省林业厅野生动植物保护处, 成都 610081)

摘要:以锦屏梯级水电站大河湾段植被为研究对象,以河流流向为基础布置样方,将 50 个样方物种重要值及其环境因子进行 TWINSpan 数量分类和 DCA 排序,结果显示:(1)由 TWINSpan 数量分类将植被划分为 7 种类型,雅致雾水葛(*Pouzolzia elegans*)灌草群落为该区域的主要群落。(2)以 TWINSpan 数量分类为基础的 DCA 二维排序图将样方分为 6 个生态类型,DCA 二维排序图横轴从左至右海拔高度逐渐降低;排序纵轴由下至上坡度逐渐升高。(3)以 TWINSpan 数量分类在 DCA 排序图中有明确的分布范围和界限,DCA 排序与 TWINSpan 数量分类结合使用,能很好反映群落与环境因子间的生态关系。

关键词:水电站;数量分类;排序;TWINSpan;DCA

文章编号:1000-0933(2008)08-3706-07 中图分类号:Q948 文献标识码:A

Quantitative classification and ordination of Jinping hydropower station, Sichuan Province, China

HE Hui-Qin^{1,2}, LI Shao-Cai^{1,*}, SUN Hai-Long^{1,3}, LIU Shi-Chang^{1,4}, XIONG Wen-Lan³

1 School of Life Sciences, Sichuan University, Chengdu 610065, China

2 Department of Bioengineering Sciences, Yibin University, Yibin 644000, China

3 Sichuan Lizi Bioenvironmental Engineering Co., Ltd., Chengdu 610031, China

4 Wildlife Conservation Division of Sichuan Forestry Department, Chengdu 610081, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(8): 3706 ~ 3712.

Abstract: A survey of the Dahe Bay vegetation in Jin-ping cascade hydropower station setting along the river stream in Sichuan province, China, was performed. A total of 132 plant species and 4 environmental factors in 50 sample quadrats were recorded. Assemblages of Jin-ping Dahe Bay were classified using two-way indicator species analysis (TWINSpan), ordinating by detrended correspondence analysis (DCA). Seven vegetation assemblages were divided by TWINSpan classification, in which *Pouzolzia elegans* shrub grassland was the dominant community in this area. The DCA two-dimension plot based on the TWINSpan classified the samples into six ecotypes. On the horizontal axis the altitude decreased gradually from left to right, while the vertical axis saw the slope increased down to up. TWINSpan classification showed explicit distribution scope in DCA ordination plot, and this could better reflect the relationships between communities and environmental factors when combined with TWINSpan quantitative classification.

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973)资助项目(2003CB415104);宜宾学院青年基金资助项目(2003Q16)

收稿日期:2007-02-11; **修订日期:**2008-06-05

作者简介:何惠琴(1975~),女,四川大邑人,博士,主要从事植被生态研究. E-mail: huiqinhe@yahoo.com.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: Lizist@vip.sina.com

Foundation item: The project was financially supported by the Major State Basic Research Development Projects of China (No. 2003CB415104); Youth Fund of Yibin University (No. 2003Q16)

Received date: 2007-02-11; **Accepted date:** 2008-06-05

Biography: HE Hui-Qin, Ph. D. candidate, mainly engaged in plant ecology. E-mail: huiqinhe@yahoo.com.cn

Key Words: hydropower station; DCA; quantitative classification; ordination; TWINSpan

我国植被数量分类和排序在 20 多年内有了迅速的发展,作为植被分析的重要方面,对于合理、客观地提示植物群落之间、植被与环境之间地生态关系发挥着重要地作用,已成为现代植被生态学研究必不可少的技术手段^[1,2]。目前有关数量分类与排序研究多集中在植物群落演替、植被区划^[3,4]、景观生态学^[5]、植被与环境关系分析^[6,7]等领域。

锦屏大河湾段位于锦屏一、二级水电站之间,梯级水电的开发和运行将在一定程度上影响该区水量分布,导致植被空间分布格局发生变化。已有梯级水电开发方面的研究多从环境效益角度,探讨植被恢复恢复技术^[8],植被与环境因子分析以相关性分析为主^[9],数量分类采用离差平方和法^[10],尚无研究对梯级水电站植被采用双向指示物种分析(Two-way indicator species analysis TWINSpan)数量分类^[11]。本研究通过对大河湾地区植被及其环境因子进行 TWINSpan 数量分类和除趋势对应排序分析(detrended correspondence analysis, DCA)^[12],揭示植被及其环境因子的空间分布格局,明确其相互作用的数量关系,旨在指导该区植被恢复与重建,同时也为探明区域植被对梯级水电开发的响应机制奠定一定的理论基础。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

锦屏大河湾位于西昌市雅砻江流域,河流环绕锦屏山形成一直线距离约 16km、环绕距离约 120km 的天然弯道,地理坐标为北纬 28°~28°37'12",东经 101°28'48"~101°51'36"。受西风环流及西南季风影响,干湿季分明,每年 11 月份至翌年 5 月份为干季,6~10 月份为雨季,属亚热带气候,长夏无冬,高山区则为寒温带气候。年均温 17.5℃,年降水量为 500~1032mm,年蒸发量 1166~2500mm,属亚热带干热河谷,立体气候特征明显。

植被类型以稀树灌草群落为主,主要分布有雅致雾水葛、龙须藤、山豆根、桔草、地瓜等不同生活型物种。土壤类型各异,包括砾石、砂土、砂壤土、土和粘土等。

1.2 调查样方设置

以雅砻江河流走向为基础,沿公路和海拔高度设置样方 50 个。依据不同的样方类型,设置样方大小,由于调查区域海拔相对不高,植被类型以稀树灌草丛为主,所以实际使用乔木样方为 5m×5m,灌木为 2m×2m,草本样方为 1m×1m,分别记录各样方地理位置、海拔高度、坡度、坡向、土壤类型、物种频度、盖度、高度、密度、优势度等指标,计算样方内各物种重要值,其计算公式如下:

$$\text{乔灌植物 } IV = (RDE + RDO + RFE) \times 100/3$$

$$\text{草本植物 } IV = (RHI + RCO) \times 100/2$$

式中,IV 为重要值,RDE 为相对密度,RDO 为相对优势度(胸高面积或基面积),RFE 为相对频度,RHI 为相对高度,RCO 为相对盖度

1.3 分析方法

1.3.1 植被数量分类

采用 TWINSpan,利用 WinTWINS 2.3 软件,以样方物种重要值数据矩阵和样方环境因子矩阵,以第 4 次分类结果建立分类树形图。

1.3.2 DCA 排序

采用 CANOCO 利用 CanoDraw for Windows 4.5 软件制作样方环境因子二维排序图。

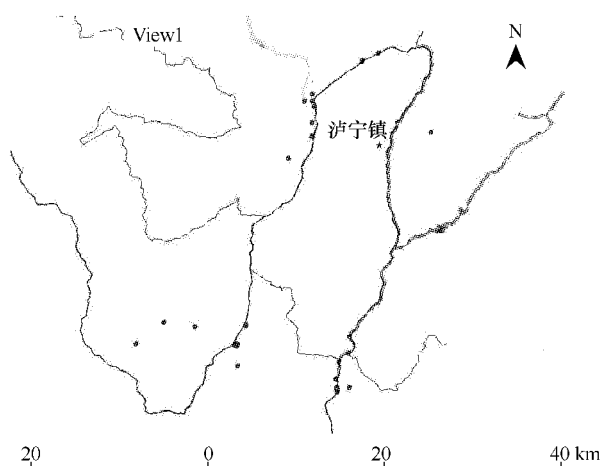


图 1 锦屏大河湾调查样方分布图

Fig. 1 Dendrogram of Sample Distribution in Jin-ping Dahe Bay

2 结果与分析

采用 TWINSpan 和 DCA, 将锦屏大河湾调查 50 个样方、132 个物种、4 个环境因子组成的样方物种重要值矩阵和样方环境因子矩阵进行数量分类和排序。

2.1 TWINSpan 数量分类

依据中国植被的分类原则和系统, 结合调查结果的生态分析和群落生境特征的指示物种或优势物种命名群落类型^[13], 将 50 个样方进行 TWINSpan 数量分类, 结果如图 2, 分类主要特征见表 1。

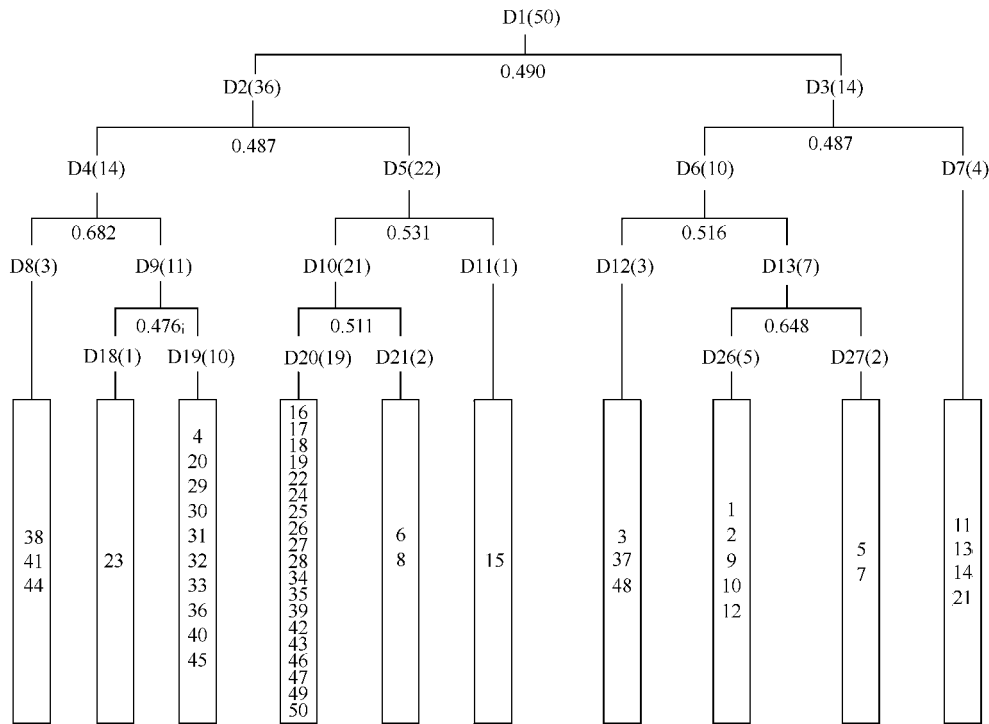


图 2 锦屏大河湾植被样方 TWINSpan 分类树形图

Fig. 2 Dendrogram of TWINSpan Classification of Jin-ping Dahe Bay Vegetation

表 1 锦屏大河湾植被 TWINSpan 数量分类主要特征描述

Table 1 Main Feature Description to Vegetation TWINSpan Classification in Jin-ping Dahe Bay

序号 No.	群落名称 Community name	特征值 Eigenvalue	海拔高度 Altitude	盖度 (%) Coverage	坡度 (°) Slope	土壤类型 Soil type
I	雅致雾水葛-龙须藤群落	0.682	1417 ~ 1440	70 ~ 85	0 ~ 65	砂壤土
II	雅致雾水葛-桔草群落	0.476	1369 ~ 1950	50 ~ 80	0 ~ 80	砂壤土、壤土
III	雅致雾水葛-地瓜群落	0.511	1360 ~ 1650	40 ~ 80	40 ~ 75	砾石、砂壤土
IV	山蓼-风轮草群落	0.531	1800	100	0	壤土
V	小叶柿-铁线莲群落	0.516	1417 ~ 1440	50 ~ 60	0 ~ 65	砾石、砂壤土
VI	黄荆-桔草群落	0.648	1910 ~ 2000	15 ~ 70	30 ~ 60	砾石、砂壤土
VII	山豆根-龙须藤群落	0.487	1600 ~ 1910	40 ~ 50	40 ~ 85	壤土、砾石

砂壤土 sand loam; 壤土 loam 砾石 gravel; 雅致雾水葛-龙须藤群落 *Pouzolzia elegans-Bauhinia championii* community; 雅致雾水葛-桔草群落 *Pouzolzia elegans-Cymbopogon goeringii* community; 雅致雾水葛-地瓜群落 *Pouzolzia elegans-Ficus tikoua* community; 山蓼-风轮草群落 *Oxyria digyna-clinopodium Chinese* community; 小叶柿-铁线莲群落 *Diospyros dumetorum-Clematis brevicaudata* community; 黄荆-桔草群落 *Vitex negundo-Cymbopogon goeringii* community; 山豆根-龙须藤群落 *Euchresta japonica-Bauhinia championii* community

I 类 雅致雾水葛-龙须藤 (*Pouzolzia elegans-Bauhinia championii*) 群落, 包括样方 38、41、44, 该类型群落坡向为阳坡, 土壤类型各异。灌木植物有黄檀 (*Dalbergia hupeana*)、鸡骨柴 (*Elsholtzia fruticosa*)、肖梵天花

(*Vrena lobata*)、莢蒾绣球(*Viburnum macrocephalum*),草本植物主要分布有蜈蚣草(*Eremochloa ophiuroides*)、荇草(*Arthraxon hispidus* Thunb.)、三叶鬼针草(*Bidens bipinnata*)、野鸡尾(*Onychium japonicum*)等。

Ⅱ类 雅致雾水葛-桔草(*Pouzolzia elegans-Cymbopogon goeringii*)群落,包括样方 4、20、23、29、30、32~33、36、40~41、45。海拔高度变化较大,阳坡为主,土壤类型各异,群落覆盖度较高。灌木植物主要有金花小檗(*Sinopodophyllum wilsonae*)、绣球花(*Hedera spp.*)、鸡骨柴(*Elsholtzia fruticosa*)等,草本植物主要分布有禾草、鸡眼草(*Kunimerowia atrata*)、三叶鬼针草、野薄荷(*Mentha haploslyx*)、马唐(*Digitaria sanguinalis*)、飞蓬(*Erigeron acer*)、艾蒿(*Artemisia annua*)等。

Ⅲ类 雅致雾水葛-地瓜(*Pouzolzia elegans-Ficus tikoua*)群落,包括样方 6、8、16~19、22、24~28、34~35、39、42~43、46~47、49~50,坡向以阳坡为主,坡度较陡。土壤相对贫瘠。该类群落主要物种包括雾水葛(*Pou. Zey.*)、峨嵋葛藤(*Pueraria cmejensis*)、铁橡栎(*Quercus cocciferoides*)、裂叶荨麻(*Urtica fissa* Pritz)、杜根藤(*Calophanoides chinensis*)、须芒草(*Andropogon scoparius*)、万寿菊(*Tagetes erecta*)、蜈蚣草、鸡眼草、禾草、蝎子草(*Girardinia palmate*)、酸浆(*Physalis alkekengi*)、粘毛香青(*Anaphalis bulleyana*)、荇草、米蒿(*Descurainia sophia*)、狼尾草(*Pennisetum alopecuroides*)、羊胡子草(*Carex callitrichos*)、桔草、蒿(*Artemisia spp.*)等,物种多样性水平较高。

Ⅳ类 山蓼-风轮草群落(*Oxyria digyna-clinopodium Chinese*),类型群落仅包括样方 15,除了优势物种和指示物种外,还分布有蛇莓(*Duchesnea indica*)、兰布裙(*Cynoglossum amabile*)等其它草本植物。

Ⅴ类 小叶柿-铁线莲群落(*Diospyros dumetorum-Clematis brevicaudata*),主要包括样方 3、37、48,坡向为阳坡,土壤较贫瘠,群落盖度水平。主要物种包括小叶柿、毛叶榄仁(*Terminatia franchetii*)、黄檀、桔草、禾草、杜根藤等。

Ⅵ类 黄荆-桔草群落(*Vitex negundo-Cymbopogon goeringii*),包括样方 1、2、5、7、9~10、12,样方分布在阴阳坡均有,土壤类型各异。主要物种包括云南油杉(*Keteleeria evelyniana*)、铁橡栎、栎菊木(*Nouelia insignis*)、大花杜鹃(*Rhododendron decorum*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、羊耳菊(*Inula cappa*)、铁仔(*Myrsine africana*)、使君子(*Quisqualis indica*)、地瓜、禾草、苔草、黄荆、铁线莲等。

Ⅶ类 山豆根-龙须藤群落(*Euchresta japonica-Bauhinia championii*),包括样方 11、13~14 和 21,阳坡。其中样方 11、13~14 主要分布于海拔 1910m,样方 21 分布于海拔 1600m。该类群落分布主要物种包括木兰(*Magnolia liliflora*)、雅致雾水葛、苔草、雀儿舌头(*Leptopus chinensis*)等。

2.2 DCA 排序

利用 DCA 建立二维排序图。结果表明 TWINSpan 群落数量分类类型在 DCA 排序图上具有明确的分布范围和界限。DCA 排序与分类方法结合使用效果较好,能准确反映群落与环境间的关系,DCA 排序结果如图 3 所示。

DCA 排序将 50 个样方划分为 6 个生态类型,分别以 A、B、C、D、E、F 表示。DCA 排序横轴和纵轴基本反映了不同的生态意义,DCA 排序横轴反映了群落海拔高度的梯度变化,即沿第一轴从左至右海拔高度逐渐降低;DCA 排序纵轴反映了群落坡度的梯度变化,即沿第二轴由下至上坡度逐渐升高。图中 I、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ、Ⅶ 分别代表了 TWINSpan 数量分类的 7 个群落类型,不同符号代表了分布不同区域的样方。DCA 排序结果如下:

A 生态区 主要包括Ⅵ类和Ⅶ类群落,该生态区内样方海拔高度相对较高,在 1910~2000m 之间,坡度 40~85°,群落盖度 40%~70%,土壤类型以砂壤土和壤土为主。样方内分布有乔木云南油杉、毛叶榄仁,灌木植物分布种类多样,群落类型为稀树灌草丛群落。

B 生态区 包括Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅴ类和Ⅶ类群落的部分样方,该生态区的群落海拔高度在 1940m 以下,坡度 40~75°,盖度 40%~90%,土壤类型以壤土为主,乔木云南油杉、灌木雅致雾水葛为该生态区分布的主要植物,群落类型为稀树灌草丛群落。

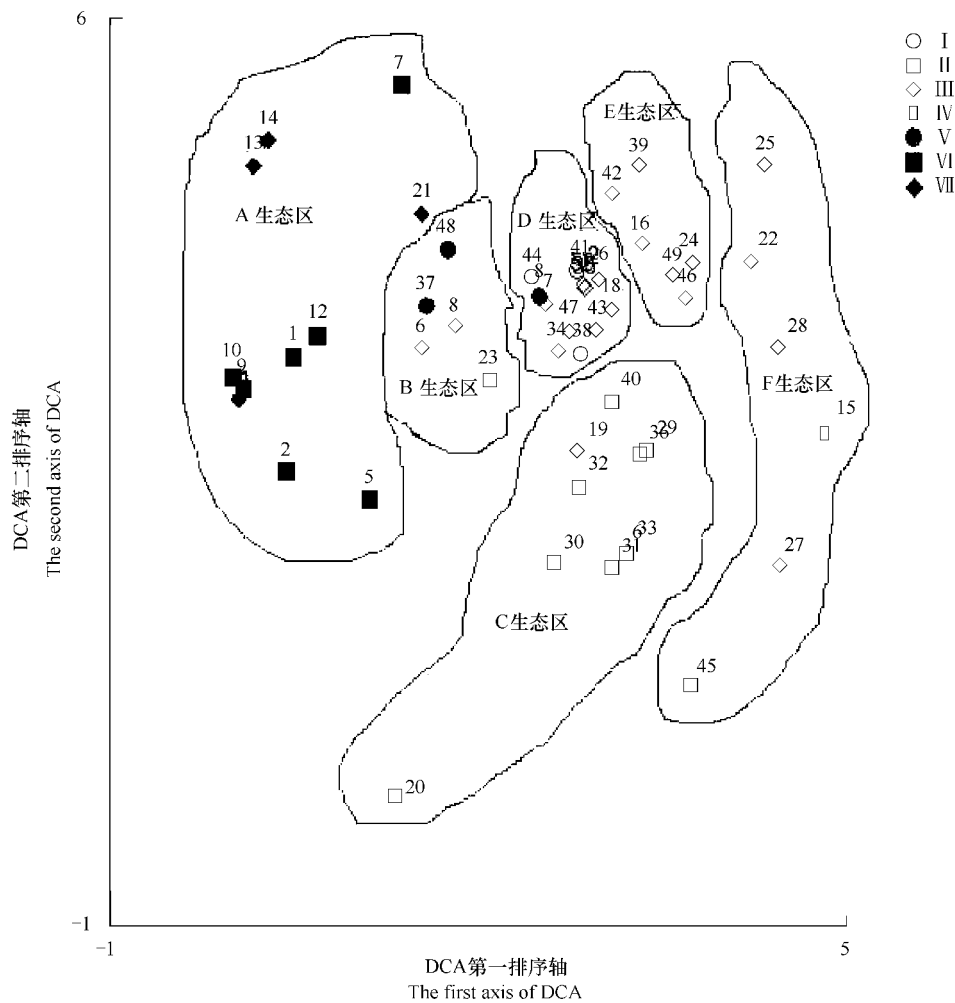


图3 锦屏大河湾样方环境因子 DCA 排序图

Fig. 3 DCA Ordination Plot of Samples and environmental Factors in Jin-ping Dahe Bay

C 生态区 主要是Ⅱ类群落,该生态区样方海拔分布在 1435 ~ 1627m 之间,坡度 8 ~ 80°,以 40°左右居多。盖度 30% ~ 80%,土壤类型以砂壤土为主,群落类型为雅致雾水葛-桔草灌草群落。

D 生态区域 以Ⅰ类、Ⅲ类群落为主,该生态区域样方海拔在 1350 ~ 1500m 之间,坡度较陡,群落盖度 40% ~ 90%,群落内除分布雅致雾水葛是优势物种外,还分布有地瓜、龙须藤等指示物种,群落类型以灌草丛群落。

E 生态区分布样方为 TWINSpan 数量分类Ⅲ类群落的部分物种,这些样方海拔高度在 1350 ~ 1650m,坡度 65 ~ 90°,较陡,盖度与土壤类型具有一定的联系,土壤贫瘠的群落盖度一般偏低,土壤肥沃则群落盖度较高。除雅致雾水葛优势物种外,还分布有地瓜、禾草、桔草等物种,群落类型为灌草群落。

F 生态区主要分布于 DCA 排序图的外围,呈狭长条状分布,主要包括Ⅱ类、Ⅲ类和Ⅳ类样方,以Ⅲ类样方为主。样方海拔高度在 1369 ~ 1800m 之间,坡度 0 ~ 60°,样方 25 在该生态分布区内坡度最大,分布于此生态类型的最上部。群落盖度较大,其中样方 15 盖度达 100%,在 TWINSpan 数量分类表现为单独一个群落类型。该区域群落类型以草本群落为主,同时还分布有灌草群落。

3 讨论

群落数量分类与排序作为是在传统生态学方法的基础上发展起来的植被定量分析工具,作为现代生态学研究的热点和植被分析的重要技术手段^[1,2]。TWINSpan 由 HILL 首先形成,是 20 世纪 80 年代至今使用最

多的植被多元等级分类方法^[14]。DCA 排序是 Hill 和 Gauch 在 CA/RA 基础上发展起来的一种特征向量排序,因其克服了弓形效应,提高了排序精度,是植被排序分析中最为有效的一种方法^[15~19]。本文在 DCA 排序分析中,建立基于 TWINSpan 数量分类结果的 DCA 排序图,由于分析过程以 TWINSpan 分类结果对样方进行了重新分组,DCA 排序图中能直观地反映出 TWINSpan 分类结果和 DCA 排序结果,并可据此判断二者的符合程度,为数量分类和排序研究方法的采用和结果的阐述更具真实性。在 DCA 二维排序图上,还可判断根据样方与环境因子箭头连线的垂直距离反映环境因子对样方影响的程度。垂直距离大表明环境因子对此样方影响程度高,反之则影响程度低。环境因子间的相互作用还可通过比较环境因子夹角进行判断。两环境因子间夹角大,表明二者存在较强的相互作用,反之亦然。

4 结论

4.1 TWINSpan 数量分类将 50 个样方植被划分为 7 种类型,群落类型以灌草丛为主,雅致雾水葛为该区域的优势物种。除分布优势物种雅致雾水葛外,还分布有地瓜、龙须藤、桔草、黄荆、铁线莲、山豆根、风轮草等指示物种或优势物种。

4.2 由 DCA 排序将样方分为 6 个生态类型,DCA 排序横轴反映了群落海拔高度的梯度变化,即沿第一轴从左至右海拔高度逐渐降低;DCA 排序纵轴反映了群落坡度的梯度变化,即沿第二轴由下至上坡度逐渐升高。随着海拔的降低,群落类型由云南油杉和毛叶榄仁组成的乔灌草群落转为以雅致雾水葛为主的灌草群落和草丛群落,海拔高度是影响该区群落类型的主要因素。

References:

- [1] Zhang F, Zhang J T. Research Progress of Numerical Classification and Ordination of Vegetation in China. *Journal of Shanxi University Nat. (Sci. ed)*, 2000, 23(3): 278—282.
- [2] Yu X H, Li X W, Bai J L. Research progress and development trend on numerical analysis of vegetation in China. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(4): 448—451.
- [3] Zhang F, Shangguan T L. Application of the fuzzy graph theory in the Vegetational regionalism of shanxi province. *Acta Phytocologica and Geobotanica Sinica*, 1991, 15(1): 94—100.
- [4] Mi X C, Zhang J T, Zhang F. Analysis of relationships between vegetation and climate in Shanxi plateau. *Acta Phytocologica Sinica*, 1996, 20(6): 549—560.
- [5] Chen Z X, Zhang X S. The classification and ordination of ecological elements in maowusu sandy grassland landscape. *Acta Phytocologica Sinica*, 1996, 20(5): 423—437.
- [6] Mi X C, Zhang J T, Zhang F. Analysis of relationships between patterns of vegetation and soil in Shanxi Plateau. *Acta Phytocologica Sinica*.
- [7] Zhang J T. Canonical Principal Component Analysis and its Application to the Study of Vegetation-Climate Relationships in Shanxi, China. *Acta Geographica Sinica*, 1998, 56(3): 256—263.
- [8] Tao Y K, Wu C J, Hao J Q. The ecological environment responsibility for water resources exploitation in the Xi-Hai-Gu area of Ningxia. *J Ningxia Univ (Natur Sci Ed)*, 2003, 24(2): 143—146.
- [9] He F, Liu X L, Mu C L. Research on the correlation of plant species-area with shady slope and sunny slope and different altitudes in the arid-valley region of the Zangnai river. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*, 2006, 1, 31—34.
- [10] Liu F Y, Zhu H. Numerical classification and diversity analysis for the vegetation in the dry-hot valley of Yuanjiang, Yunnan Province. *Guihaia*, 2005, 1, 22—25.
- [11] Hill M O. TWINSpan-A Fortran program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes. Cornell University, New York, 1979.
- [12] Braak C J. CANOCO-A Fortran program for canonical community ordination by [detrended] [canonical] correspondence analysis. Wageningen: Agro. Mathe. Group, 1988.
- [13] Zhang X P, Wang M B, She B. Numerical classification and ordination of forest communities in pangguangou national nature reserve. *Acta*

Ecologica Sinica, 2006, 26(3): 754–761.

- [14] Zhang J T. Quantitative ecology. Beijing: Science Press, 2004. 121–242.
- [15] Gauch H G. Multivariate Analysis in Community Ecology. London: Cambridge University Press, 1982.
- [16] Causton D R. Introduction to Vegetation Analysis. London: Unwin Hyman, 1988.
- [17] Qiu L, Zhang J T. The role of geographic information system for landscape ecological studies. Environment and Exploitation, 1998, 13(1): 1–4.
- [18] Qiu L, Zhang J T. Quantitative analysis to the gradients of space and time of natural plant communities in bashugou of the Guandi Mountain. Chin. J. Appl. Environ. Biol., 1999, 5(2): 113–120.
- [19] Qiu L, Zhang J T. The ordination axes clustering based On detrended canonical correspondence analysis ordination and its application to the analysis of the ecological gradients of plant communities. Acta Ecologica Sinica, 2000, 20(2): 199–206.

参考文献:

- [1] 张峰, 张金屯. 我国植被数量分类和排序研究进展. 山西大学学报(自然科学版) 2000, 23(3): 278–282.
- [2] 庾晓红, 李贤伟, 白降丽. 我国植被数量分析方法的研究概况和发展趋势. 生态学杂志, 2005, 24(4): 448–451.
- [3] 张峰, 上官铁梁. 模糊图论在山西植被区划中的应用. 植物生态学与地植物学学报, 1991, 15(1): 94–100.
- [4] 米湘成, 张金屯, 张峰, 等. 山西高原植被与气候的关系分析及植被数量区划的研究. 植物生态学报, 1996, 20(6): 549–560.
- [5] 陈仲新, 张新时. 毛乌素沙化草地景观生态学分类与排序的研究. 植物生态学报, 1996, 20(5): 423–437.
- [6] 米湘成, 张金屯, 张峰, 等. 山西高原植被与土壤分布格局关系的研究. 植物生态学报, 1999, 23(4): 336–344.
- [7] 张金屯. 典范主分量分析及其在山西高原植被与气候关系分析中的应用. 地理学报, 1998, 56(3): 256–263.
- [8] 陶盈科, 吴成基, 郝俊卿. 西海固地区水资源开发的环境响应机制. 宁夏大学学报(自然科学版), 2003, 24(2): 143–146.
- [9] 何飞, 刘兴良, 慕长龙, 等. 杂谷脑河干旱河谷区灌丛植被种-面积与坡向及海拔梯度的相关性研究. 四川林业科技, 2006, 27(1): 31–34.
- [10] 刘方炎, 朱华. 元江干热河谷植被数量分类及其多样性分析. 广西植物, 2005, 25(1): 22–25.
- [13] 张先平, 王孟本, 余波, 等. 庞泉沟自然保护区森林群落数量分类和排序. 生态学报, 2006, 26(3): 754–761.
- [14] 张金屯. 数量生态学. 北京: 科学出版社, 2004. 121–242.
- [17] 邱扬, 张金屯. 地理信息系统(GIS)在景观生态学研究中的应用. 环境与开发, 1998, 13(1): 1–4.
- [18] 邱扬, 张金屯. 关帝山八水沟天然植物群落时空梯度的数量分析. 应用与环境学报, 1999, 5(2): 113–120.
- [19] 邱扬, 张金屯. DCCA 排序轴分类及其在关帝山八水沟植物群落生态梯度分析中的应用. 生态学报, 2000, 20(2): 199–206.