

DCA、CCA 和 DCCA 三种排序方法在中国草地植被群落中的应用现状

贾晓妮, 程积民, 万惠娥

(中国科学院水利部水土保持研究所 \ 西北农林科技大学 陕西杨凌 712100)

摘要: 排序是用来分析植被与环境之间生态关系的重要手段。该文主要是对除趋势对应分析(DCA)、典范对应分析(CCA)和除趋势典范对应分析(DCCA)这三种排序方法进行总结, 讨论它们在中国草地植被群落研究中的应用现状, 并得出除趋势对应分析与聚类分析结合使用效果比较好, 主要是用来揭示群落之间的关系, 并且在实际的应用中也比较多, 而典范对应分析和除趋势典范对应分析在揭示种与环境关系方面具有明显的优势, 但是由于某些条件的限制, 在实际研究中应用的比较少。可见这几种排序方法在实际应用中具有一定的优势, 所以应该加强这方面的应用, 更加深入的研究草地植被群落, 以期对草地生态学及草地植被群落生态关系的研究工作发挥重要的借鉴作用。

关键词: DCA 排序; CCA 排序; DCCA 排序; 草地植被群落; 生态关系

中图分类号: Q142.9 **文献标识码:** A

Application Present Situation of DCA, CCA, and DCCA Ordination of Grassland Vegetation Communities in China

Jia Xiaoni, Cheng Jimin, Wan Hui'e

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Northwest University of Science and Technology of Agriculture and Forestry, Yangling, Shanxi Province 712100)

Abstract: Ordination is one of importance measures to investigate the grassland vegetation communities. It can be used to analyze the ecological interaction between vegetation and the environment round the plants. This paper is mostly discussing the development of the Detrended Correspondence Analysis (DCA), Canonical Correspondence Analysis (CCA) and Detrended Canonical Correspondence Analysis (DCCA), and summarizing the using- actuality of three ordinations. And we know that DCA is a good manner to analysis the community's interaction, and it always used with classis analysis. But CCA and DCCA is a good manner to analysis the ecology interaction the species and environment, but because of some reason, it is few used in the practical research. Those manners have their application prospect, and offer some references to the study of grassland ecology and ecological interaction of grassland vegetation communities.

Key words: detrended correspondence analysis ordination, canonical correspondence analysis ordination, detrended canonical correspondence analysis ordination, ecological interaction, grassland vegetation communities

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 973 项目“北方草地与农牧交错带生态系统维持与适应性管理的科学基础”(2007CB106803); 国家“十一五”科技支撑课题“黄土高原西北部丘陵区农牧耦合生态系统模式与技术研究”(2006BAD09B08); 国家林业局荒漠化监测专项“典型草原退化恢复过程的监测”。

第一作者简介: 贾晓妮, 女, 1981 年出生, 陕西泾阳人, 硕士, 研究方向: 恢复生态方面的研究, 通信地址: 712100 陕西杨凌西农路 26 号水土保持与生态环境研究中心。E-mail: xiaoni111916@163.com。

通讯作者: 程积民, 中国科学院水土保持与生态环境研究中心, 研究员, 硕士生导师。通信地址: 712100 陕西杨凌西农路 26 号。Tel: 029 - 87012272。

收稿日期: 2007-08-30, 修回日期: 2007-09-29。

中国是世界第二草地资源大国,总面积约 3.92 亿 hm^2 , 占国土面积的 41.14%^[1], 其中黄土高原地区草地面积约 0.205 亿 hm^2 ^[2]。但是中国草地退化比较严重, 根据国家环境保护总局发布的《2000 年中国环境状况公报》。目前全国 90% 的草地不同程度的出现退化, 其中中度退化以上的草地面积已占半数^[3]。面对如此严重的退化情况, 迫切需要研究草地生态, 改善草地现状, 并且也有研究表明, 人们对草地生态的关注程度明显高于对草地资源研究的关注^[4]。同时也有报道说明, 在草地植被群落生态关系的研究中排序是重要的研究手段^[5,6], 为了能够更好的了解草地动态, 所以笔者选择对目前应用较广的 DCA、CCA 和 DCCA 三种排序分析方法进行介绍, 并对其在中国草地植被群落中的应用现状进行总结, 并提出存在的问题及未来应用趋势, 以便于为人们了解草地动态提供更好的研究方法。

1 排序方法的提出

排序也叫梯度分析(Gradient analysis), 是将样方或植物种排列在一定的空间, 使得排序轴能够反映一定的生态梯度, 从而能够解释植被或植物种的分布与环境因子间的关系。

排序的概念及数学方法提出的很早, 但是应用到生态学方面较晚。如 20 世纪 30 年代, 苏联学者 Ramensky 就提出了排序的概念^[7]; 主分量分析(Principal component analysis, PCA)和对应分析(也叫相互平均法 Reciprocal averaging, RA)的数学方法早在 20 世纪 30~40 年代就已经提出, 但是, 这些方法在植被方面的应用, 到 70 年代才有了应用报道。

20 世纪 50 年代, 数量生态学才引入到植被生态学的领域^[8]。随着数量生态学的发展, 排序在概括群落变化时的有效性, 对数据处理的广泛性, 及对计算机处理数据的实用性方面都有所提高^[9], 所以, 排序也逐渐成为了植被生态学中最主要的分析方法之一。到目前为止, 已经建立了许多排序方法, 从最初的加权平均排序(weighted average)到除趋势典范对应分析(detrended canonical correspondence analysis, DCCA), 中间经历了极点排序(Polar Ordination, PO)、主分量分析(Principal Components Analysis, PCA)、典范分析(Canonical Analysis, CA)、对应分析(Correspondence Analysis, CA)、趋势面分析(Trend Surface Analysis, TSA)、除趋势对应分析(Detrended Correspondence Analysis, DCA)^[10]、典范对应分析(Canonical Correspondence Analysis, CCA)等, 精度逐渐提高, 对植被与环境关系的分析也逐渐变细^[11]。排序概念也就逐渐完善起来, 其

不仅可以排列样方, 也可以排列植物种及环境因子, 用于研究群落之间、群落与成员之间、群落与其环境之间的复杂关系^[12]。

中国以排序为主要分析方法的植被数量生态学研究起始于 70 年代后期^[13]。随着国际之间交流的频繁, 学术交流越来越密切, 最初主要是对数量分析方法的引入, 从 90 年代至今主要是数量分析方法的应用阶段, 在这一阶段排序被广泛的应用于各群落的研究中^[14~16]。

2 DCA、CCA 和 DCCA 三种排序方法的发展

对应分析这一数学方法在 20 世纪 30~40 年代就已经出现, 但是直到 1974 年才被 Hill 应用到生态学领域并发挥一定的优势, 但是它的最大缺点是, 第二排序轴在许多情况下都是第一轴的二次变形, 为克服这一点, Hill 和 Gauch 在对应分析的基础上共同提出了除趋势对应分析(DCA), 不仅消除了弓形效应^[17], 并且其结果与高斯的群落模型最为吻合, 是植被分析中最为有效的一种方法^[8]。

典范对应分析(CCA)是将对应分析和多元回归结合起来。分析过程中, 需要两组数据矩阵, 一组是样方和物种数组成的数据矩阵, 一组是样方和环境因子组成的数据矩阵, 并且它可以把样方排序、种类排序和环境因子排序表示在双序图(biplot)上, 其中, 箭头表示环境因子, 箭头连线的长度代表某个环境因子与群落分布和种类分布之间相关程度的大小, 连线越长, 相关性越大; 反之越小。箭头连线和排序轴的夹角代表着某个环境因子与排序轴的相关性大小, 夹角越小, 相关性越高; 反之越低^[13]。

CCA 提出后, 得到了一定的应用, 但弓形效应的存在, 限制了其发展。因此, Braak 提出了除趋势典范对应分析(DCCA), 此方法不但可以在每次计算过程中和环境因子进行回归, 而且可以消除弓形效应, 其计算结果优于 CCA。随着研究的不断发展, 人们在研究过程中也逐渐应用到了 CCA 和 DCCA 排序方法, 1992 年张金屯对 DCA、CCA、DCCA 这三种排序方法进行了比较。结果表明, 限定排序(CCA 和 DCCA)在研究植被和环境关系上优于 DCA, 并且 DCCA 好于 CCA, 这是因为消除了弓形效应的影响。在描述群落之间关系上, DCA 则优于限定排序^[8]。同时, 张桂莲在对安太堡矿区人工植被与环境关系的研究中也表明, 3 种排序方法 DCA、CCA 和 DCCA 所揭示的植被与环境的关系是一致的, 但结果有所差异, 在描述群落与环境关系上 DCA 不如 CCA 和 DCCA, 因而 CCA 和 DCCA 的应用突出体现了种与环境的相关性^[18]。

3 DCA、CCA 和 DCCA 三种排序方法在草地植被群落中的应用现状

草地植被群落在中国的自然资源中占有很大比例,并且发挥着一定的生态、社会和经济效益。所以,对草地植被群落的研究具有重大的现实意义,一方面可以帮助管理并有效利用草地植被群落,另一方面最大程度的发挥其三大效益。同时,植物群落内部生态关系以及植物群落与环境关系的研究一直是生态学家所关注的热点之一^[7,19,20],而植被数量分析是现代植被研究的重要手段,排序是现代植被生态学研究的最重要方法,也是应用最广泛的生态学技术^[12]。DCA、CCA、DCCA 这三种排序方法都是从对应分析衍生出来的,所以在使用的过程中都有一定的相似性。但是每种分析方法各有优势,以计算过程中对数据需求的不同,可以分为两类,一类是 DCA 分析方法,它在计算过程中只要求有样方和物种组成的数据矩阵,另一类是 DCCA、CCA 分析方法,它们在计算过程中除了要求有样方和物种组成的数据矩阵外,还要求有样方和环境因子组成的数据矩阵。以下是对这两类排序方法在中国草地植被群落中的应用现状进行总结。

3.1 DCA 的应用现状

90 年代,DCA 是国际上应用最广泛、最先进的排序分析方法^[21]。新方法的出现,总是推动了研究的发展。在具体研究中,多数采用 DCA 分析方法的研究都同时使用了聚类分析 TWINSpan,而 DCA 与 TWINSpan 分类方法的结合是研究植物群落与环境、植物群落内部生态关系的主要手段,到目前报道了多篇用 DCA 来分析群落与环境以及群落内部的生态关系的文章。并且最初用 DCA 研究草地植物群落的时候,都是和聚类分析中的 TWINSpan 方法相结合^[19,22-29]的,并经研究表明,DCA 和 TWINSpan 可以共同分析并可以相互检验^[8]。

有了好的分析方法,然后就是对分析数据的要求。因为 DCA 不但可以对由盖度与样方组成的数据矩阵进行分析,并可以对由频度与样方、生物量与样方等组成的数据矩阵进行分析,目前多数研究报告中都是选择由重要值与样方组成的数据矩阵来研究植被。在重要值的选择上,由于考虑到草地植被本身的高度、盖度、密度等特点,所以在草地植物群落研究中主要是由相对盖度与相对高度的平均值来计算的^[20,22,28],也有采用相对盖度、相对高度和相对密度的平均值来计算的^[25]。根据研究目的的不同,也有采用生物量与样方组成的数据矩阵进行分析的^[27]以及相对多度、相对高度、相对盖度和相对生物量四者的平均值作为物种的重要

值来计算^[30]。

DCA 主要是用来研究群落与环境的关系,同时植物群落与环境的生态关系、植物群落内部的生态关系也一直是生态学领域研究的热点^[31]。在现有的群落与环境生态关系的研究报道中,多数都是用 DCA 分析,从物种、植物群落与环境因子方面对研究地进行分析,得出群落与环境的关系^[32,33],也有个别是用来分析群落的演替^[30]。目前多数研究还有一个共同点是针对一个固定的自然草地群落,布置样方,采集数据,进行分析,得到影响群落变化的主要环境因子,比如对关帝山亚高山灌丛草甸^[34]、芦芽山亚高山草甸^[22]、卧龙自然保护区亚高山草甸^[25]、山西云顶山亚高山草甸^[35]、山西五台山蓝花棘豆群落^[26]等的研究表明,海拔是影响群落类型变化的主要环境因子;对新疆呼图壁牛场天然草地^[28]、锡林河河漫滩草甸群落^[32]、河漫滩草地植被^[29]等的研究中表明土壤水分与草地类型的形成和分布有着密切的关系,毛乌素沙化草地^[22]的研究表明地下水位、沙化厚度、基质类型控制着沙化草地景观生态类型的发生与演化。除了对自然草地群落的研究外,还有对人工草地群落的研究^[19],以便更好的认识人工草地,得到其主要影响因子,促进人工草地的发展。在做上述分析的同时,并得到 DCA 对亚热带植物分类^[34]及景观生态学排序^[23]有很好的适用性。

除了对固定的群落进行研究外,还可以对多个群落同时进行研究,得出它们之间的关系。例如贾小容等对广东自然保护区的研究,就是把广东省的 20 个自然保护区作为样方进行 DCA 分析^[36],得出它们之间的关系,并对当地政府的行政管理及保护区建设提供了依据。

3.2 CCA 和 DCCA 的应用现状

CCA 和 DCCA 是继 DCA 之后,提出的两种排序方法。由于在研究群落与环境的关系过程中,仅采用 DCA 排序就能很好的分析群落与环境的关系,所以 CCA 和 DCCA 排序法在草地植被群落研究中没有得到广泛的应用。90 年代后,这两种排序方法在藻类群落^[37,38]、森林群落^[15,37,39]、草地群落等方面都有所应用,不只对单一的一个群落进行分析,并在大的尺度上,直接分析群落与气候^[40]或者土壤^[41]的关系。在数据的选择上,除了传统重要值的选择方式外,并把丰富度、多样性、均匀度^[42]引入到重要值的计算中,这也是一种先进性的表现,但是应用的在草地植被群落的研究过程中,其应用报道仍然较少。

为了对不同排序方法的比较,部分作者运用 DCA、DCCA 和 DCA 排序对新疆呼图壁盐化草甸群

落^[43]及安太堡矿区人工植被^[18]进行研究,用以说明它们在分析问题上具有独特的优势。结果表明,三种方法的结合使用比单独使用的效果好,同时还发现,CCA分析方法简单又直观,有利于在研究中的使用,并且CCA和DCCA采用的排序轴是由所测定环境因子的线性组合得到,即所谓的“环境约束”,因此它们都是限定性排序,所以,CCA和DCCA的应用突出反映了物种与环境的相关性。CCA和DCCA的排序轴不只是反映样方间在种类组成上的相似性,而且反映样方间在环境因子组成上的相似性,而这两种相似性往往相互联系,因此,种类组成接近的植物群落,在其环境因子组成上也较接近,这是由植物种、植物群落和环境因子之间相互作用的生态关系所决定的,因此表现在排序图中的样方、种更加集中,群落间的界线变得更加模糊,但这种模糊不利于分析群落与环境的关系^[39],所以,如果要着重反映群落之间的关系,就要采用同分类方法结合使用的DCA,而CCA、DCCA这两种限定排序在分析草地植物群落中,特别在揭示种与环境的关系方面具有明显的优势,并且对它们之间关系的表示既明了又直观,所以在使用的过程中,具有很大的优势。

4 展望

目前,排序已成为分析植被变异最通用的方法^[44]。DCA、CCA、DCCA这三种排序方法自20世纪70年代引入中国至今,已经有了一定的发展,并且在分析植被变异方面也起到了很大的作用,有助于了解草地植被变异的主导因子及草地植被群落发生发展规律,以推测出今后其发展方向。但在研究对象的选择上,一方面,主要是对自然群落的研究,而人工草地的研究比较少;另一方面,采用排序方法不但可以在横向上研究草地群落类型变化的主要影响因子,在纵向上也可以对同一群落不同年限上进行分析,得出群落的演替,但是这种分析在实际的研究中,应用的很少,以后可以加强这方面的应用。

在现有的对草地群落研究中,得到影响草地群落变化的影响因子是以海拔、土壤水分、地形、地质和土壤过程等为主导因子。在草地植被群落发生问题时,人们很难或根本不能改变如海拔、地形、地质和土壤过程这些因子。因此,势必要加强对可人为调控因子(如土壤水分、植物)的研究,同时加强对植物与环境关系的研究,可以更好的了解植物,并可以在恢复草地过程中,选择更佳的物种,能够达到适地适种的种植,不仅能加速植被的恢复,又能快速改善自然环境。所以在以后的研究中,应该更加侧重研究物种与环境的关系,

而DCCA和CCA在较DCA更能反映物种与环境的关系,并且应用起来更加方便。因此,应该增加采用CCA和DCCA对群落进行研究,得出物种与环境的关系。

参考文献

- [1] 农业部畜牧兽医局主编.中国草地资源[M].北京:中国科学技术出版社,1996:312-314.
- [2] 程积民,万惠娥.中国黄土高原植被建设与水土保持[M].北京:中国林业出版社,2002:96-97.
- [3] 王庆锁,李梦先,李春和.我国草地退化及治理对策[J].中国农业气象,2004,25(3):41-44,48.
- [4] 侯向阳,万里强,高洪文.我国西部草业科技发展重点的排序研究[J].中国农业科学,2004,37(4):558-565.
- [5] 王琳,张金屯,欧阳华.历山山地草甸的生态关系[J].山地学报,2004,22(6):669-674.
- [6] 张元明,郭水良,曹同等.苔藓植物生态学的数量分析方法[J].干旱区研究,2001,18(1):69-72.
- [7] 阳含熙,卢泽愚.植物生态学的数量分类方法[M].北京:科学出版社,1983:210-211.
- [8] 张金屯.数量生态学[M].北京:科学出版社,2004:120-127.
- [9] Hugh G. Gauch. 群落生态学中的多元分析[M].北京:科学出版社,1989:127.
- [10] O HM,G GH. Detrended correspondence analysis, an improved ordination technique[J]. Vegetatio,1980(42):47-58.
- [11] Ter BCJF. Canonical correspondence analysis: A new eigenvector method for multivariate direct gradient analysis [J]. Ecology,1986(67):1167-1179.
- [12] 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[J].生态学杂志,2005,24(4):448-451.
- [13] 郭道宇,张金屯,宫辉力,等.安太堡矿区植被恢复过程主要种生态位梯度变化研究[J].西北植物学报,2004,24(12):2329-2334.
- [14] 张峰,张金屯.我国植被数量分类和排序研究进展[J].山西大学学报(自然科学版),2000,23(3):278-282.
- [15] 吴春林.广西热带石灰岩季节雨林分类与排序[J].植物生态学与地植物学学报,1991,15(1):17-26.
- [16] 张新时.西藏阿里植物群落的间接梯度分析、数量分类与环境解释[J].植物生态学与地植物学学报,1991,15(2):292-298.
- [17] 李援越.多元分析法在生态学中的应用[J].贵州大学学报(农业与生物科学版),2002,21(2): 215-218.
- [18] 张桂莲,张金屯,郭道宇.安太堡矿区人工植被在恢复过程中的生态关系[J].应用生态学报,2005,16(1):151-155.
- [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[J].生态学报,2000,20(2):199-206.
- [20] 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[J].应用与环境生物学报,1999,5(2):113-120.
- [21] 杨宝珍,孔德珍.湖南南岭草地植被类型的数量分类、排序及其合理利用[J].自然资源学报,1991,6(2):153-169.
- [22] 李素清,李斌,张金屯.黄土高原植被数量区划研究[J].环境科学与技术,2005,28(3):60-62.
- [23] 陈仲新,张新时.毛乌素沙化草地景观生态分类与排序的研究[J].

- 植物生态学报,1996,20(5):423-437.
- [24] 李素清,张金屯.山西云顶山亚高山草甸群落生态分析[J].地理研究,2007,26(1):83-90.
- [25] 宋爱云,刘世荣,史作民,等.卧龙自然保护区亚高山草甸的数量分类与排序[J].应用生态学报,2006,17(7):1174-1178.
- [26] 曹杨,上官铁梁,张金屯.山西五台山蓝花棘豆群落的数量分类和排序[J].植物资源与环境学报,2005,14(3):1-6.
- [27] 冯秀,仝川,张鲁.内蒙古白音锡林牧场区域尺度草地退化现状评价[J].自然资源学报,2006,21(4):575-583.
- [28] 何立新,李卫军,许鹏.新疆呼图壁种牛场天然草地类型数量分析研究[J].植物生态学报,1995,19(2):175-182.
- [29] 上官铁梁,贾志力,张金屯.汾河太原段河漫滩草地植被的数量分类和排序[J].草业学报,2001,10(4):31-39.
- [30] 杜峰,山仑,陈小燕,等.陕北黄土丘陵区撂荒演替研究 - 撂荒演替序列[J].草地学报,2005,13(4):328-333.
- [31] 李斌,张金屯.黄土高原地区植被与气候的关系 [J]. 生态学报,2003,23(1):82-89.
- [32] 李永宏,刘书润,张志诚.锡林河河漫滩草甸群落的结构与生产力及其排序[J].植物生态与地植物学学报,1993,17(2):243-252.
- [33] 关文彬,曾德慧,范志平,等.中国东北西部地区沙质荒漠化过程与植被动态关系的生态学研究: 植被的排序 [J]. 应用生态学报,2001,12(5):687-691.
- [34] 席跃翔,张金屯,李军玲.关帝山亚高山灌丛草甸群落的数量分类与排序研究[J].草业学报,2004,13(1):15-20.
- [35] 李素清,杨斌盛,张金屯.山西云顶山亚高山草甸优势种群和群落的格局分析[J].应用与环境生物学报,2007,13(1):9-13.
- [36] 贾小容,苏志尧.广东省自然保护区 DCA 排序与 UPGMA 聚类研究[J].农业大学学报(自然科学版),2004,25(2):75-79.
- [37] 朱源,邱扬.河北坝上草原东沟植物群落生态梯度的数量分析[J].应用生态学报,2004,15(5):799-802.
- [38] 王翠红,张金屯.汾河水库水源河着生硅藻群落的 DCCA 研究[J].中国环境科学,2004,24(1):28-31.
- [39] 张峰,张金屯.历山自然保护区猪尾沟森林群落植被格局及环境解释[J].生态学报,2003,23(3):421-427.
- [40] 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[J].植物生态学报,1996,20(6):549-560.
- [41] 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[J].植物生态学报,1999,23(4):336-344.
- [42] 李军玲,张金屯.太行山中段植物群落物种多样性与环境的关系 [J].应用与环境生物学报,2006,12(6):766-771.
- [43] 潘代远,孔令韵,金启宏.新疆呼图壁盐化草甸群落的 DCA,CCA 及 DCCA 分析[J].植物生态学报,1995,19(2):115-127.
- [44] R. H. 惠特克.植物群落排序[J].北京:科学出版社,1986:216-230.

(责任编辑:李碧鹰)