

松山自然保护区森林群落的数量分类和排序

苏日古嘎¹, 张金屯^{1,*}, 张 斌¹, 程佳佳¹, 田世广¹, 张钦弟¹, 刘素军²

(1. 北京师范大学生命科学学院, 北京 100875; 2. 内蒙古自治区种子管理站质量管理科, 呼和浩特 010010)

摘要: 根据 68 个森林群落样方数据, 采用双向指示种分析 (TWINSpan) 方法, 对松山自然保护区的森林群落进行分类和采用除趋势对应分析 (DCA)、典范对应分析 (CCA) 方法进行排序。结果表明: (1) TWINSpan 将该区的森林群落分为 13 类型; (2) 样方的 DCA 排序及样方和优势种的 CCA 排序较好地揭示了该区森林群落的分布格局与环境梯度的关系; CCA 第一轴明显地反映出森林群落的海拔梯度、枯枝落叶层厚度和土壤深度变化, 沿 CCA 第一轴从左到右, 海拔逐渐升高, 枯枝落叶层越厚和土壤越深; 第二轴与海拔高度和坡度成正相关, 而与土壤紧实度成负相关。其中海拔梯度是环境因子中对森林群落起决定性作用的因子。 (3) 与 DCA 相比, CCA 的排序轴更有利于生态意义的解释, 后者能同时反映样方间在种类组成上及环境因子组成上的相似性, 表现在排序图中样方较集中, 群落间的界线变得较模糊, 因此如果排序同分类结合使用, DCA 的效果要好于 CCA。 (4) TWINSpan 分类与 DCA 和 CCA 排序的结果, 同时表明了该地区森林群落的垂直分布格局。

关键词: 松山自然保护区; 森林群落; TWINSpan; DCA; CCA

Numerical classification and ordination of forest communities in the Songshan National Nature Reserve

Suriguga¹, ZHANG Jintun^{1,*}, ZHANG Bin¹, CHENG Jiajia¹, TIAN Shiguang¹, ZHANG Qindi¹, LIU Sujun²

¹ College of Life Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

² Quality Management Department, Inner Mongolia Autonomous Region Seed Administration Station, Hohhot 010010, China

Abstract: The Songshan National Nature Reserve is located at 115°43'44"—115°50'22" (E), 40°29'9"—40°33'35" (N). According to the 68 quadrat data, forest communities in this reserve were investigated by using two-way indicator species analysis (TWINSpan), detrended correspondence analysis (DCA), and canonical correspondence analysis (CCA). The results showed that the forest communities were classified into 13 types, 13 associations, by TWINSpan. The results of DCA and CCA clearly reflect the relationship between the distribution pattern of forest communities and environmental gradients. The first CCA ordination axis indicates the changes of elevation, litter layer thickness, and soil depth, and along the first CCA ordination axis, the elevation becomes higher, litter layer becomes thicker, and the soil becomes deeper from left to right; The second CCA ordination axis is positively correlated with elevation and slope, and negatively correlated with soil solidity. The elevation is a decisive element to forest community.

The ecological meaning of CCA ordination axes is much clearer than that of DCA axes. CCA ordination can simultaneously express similarities of species and environment, and the quadrat location in CCA ordination figure is much closer to each other than that in DCA, and the boundary among forest communities become more ambiguous. Therefore if ordination is combined with classification, the effect of DCA is better than CCA. The results of TWINSpan, DCA and CCA simultaneously indicates vertical distribution pattern of forest community in this reserve.

Key Words: the Songshan National Nature Reserve; forest community; DCA; CCA

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30870399)

收稿日期: 2009-03-04; 修订日期: 2009-03-31

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhangjt@bnu.edu.cn

数量分类和排序是研究植物群落生态关系的重要数量方法,可以深刻地揭示植物种、植物群落与环境间的生态关系^[1]。目前国内外应用较广泛的方法是双向指示种分析(two-way indicator species analysis, TWINS-PAN)、除趋势对应分析(detrended correspondence analysis, DCA)和典范对应分析(canonical correspondence analysis, CCA)^[2-12]。自然保护区是以保护特有物种或特有生态系统而划定的自然区域,实际上是保护区内特有的生态关系,所以对自然保护区内森林群落生态关系的研究,对于自然保护区的建设和发展中有重要的指导意义。

松山自然保护区主要是为保护天然油松林和次生落叶阔叶林而设立的,属于国家级保护区。对该区的各功能区植被动态及变化格局^[13],净化服务功能的生态经济价值^[14],天然油松林种群的空间分布^[15],森林动态模拟^[16]等已有一些研究,但对于保护区内森林群落的数量分类、排序及其环境生态关系的研究尚未见报道。本文以松山自然保护区森林群落为研究对象,运用 TWINS-PAN 分类和 DCA、CCA 排序方法综合分析其与周围环境的生态关系,从而深入探讨保护区内植被与周围环境之间的关系,揭示植被及其环境因子的空间分布格局,为保护该区的森林植被,充分发挥其强大的生态系统服务功能,实现保护区森林生态系统可持续发展和管理提供理论指导,为制定保护措施提供科学依据。

1 研究地点与方法

1.1 研究区自然概况

松山自然保护区位于北京市延庆县西北部海陀山南麓,地理坐标为 115°43'44"—115°50'22"E, 40°29'9"—40°33'35"N,北依主峰海陀山,海拔 2198.4m,为北京地区第二高峰,最低海拔 627.6m。保护区建立于 1985 年,1986 年晋升为国家级自然保护区,属森林和野生动物类型的自然保护区,保护区总面积 4671hm²,有林地面积 3655 hm²,森林覆盖率 87.6%。松山处于暖温带大陆性季风气候区,平均气温 8.5℃,最高温度 39℃,最低温度 -27.3℃,年平均日照 2836.3h,年降水量 493mm,年蒸发量 1772mm,气候垂直分带性比较明显。土壤随海拔由低向高依次有山地褐土、山地棕壤、山地草甸土。保存有华北地区唯一的大片珍贵天然油松(*Pinus tabulaeformis*)林,以及保存良好的胡桃楸(*Juglans mandshurica*)、椴(*Tilia* spp.)、榆(*Ulmus* spp.)、桦(*Betula* spp.)等树种构成的华北地区典型的天然次生落叶阔叶林。

1.2 样方设置与调查

于 2008 年 7—8 月在北京松山自然保护区沿海拔梯度取样,从海拔 700m 到 2000m,每隔 100m 设一条样带,在每条样带上设置 2—6 个面积 10m × 10m 的样方;共计 14 条样带,68 个森林样方。在每个样方中,海拔高度用 GPS 测定、坡度和坡向用罗盘测定、土壤紧实度用 Dush-cone A-1820 仪器测定、土壤深度和枯枝落叶层厚度用土嵌和卷尺测定,并记录每个物种的盖度、高度,乔木同时要记录株数、胸径和冠幅等数据。

1.3 数据处理

1.3.1 重要值

分别计算乔木、灌木和草本植物重要值;其中灌木和草本植物有的丛生,有的单生,个体差异较大,而其盖度能更好地反映实际情况,所以只用相对高度和相对盖度来计算其重要值;计算公式为^[1-4]:

$$\text{乔木重要值}(\%):IV_{tr} = (\text{相对密度} + \text{相对优势度} + \text{相对高度}) / 3$$

$$\text{灌木和草本重要值}(\%):IV_{sh,gr} = (\text{相对高度} + \text{相对盖度}) / 2$$

1.3.2 环境数据

包括 6 个环境因子,即海拔高度、坡度、坡向、枯枝落叶层厚度、土壤深度、土壤紧实度,含盖了研究植被类型的全部的分布范围以及样方分布情况。土壤紧实度用土壤耐压力表示:

$$P_i = 100 \times X_i / [0.7952 \times (40 - X_i)^2]$$

式中, X_i 为紧实度仪的读数(mm); P_i 为土壤耐压力(kg/m²)。

为了便于建立环境数据矩阵,将坡向数据以等级制表示;将坡向按照 45°的夹角,以北为 0°,顺时针方向旋转分为 8 个坡向等级,以数字表示各等级:1 表示北坡(0—22.5°, 337.5—360°), 2 表示东北坡(22.5—

67.5°), 3 表示西北坡(292.5—337.5°), 4 表示东坡(67.5—112.5°), 5 表示西坡(247.5—292.5°), 6 表示东南坡(112.5—157.5°), 7 表示西南坡(202.5—247.5°), 8 表示南坡(157.5—202.5°), 数字越大, 表示坡向越向阳^[6,17-18]。

1.3.2 植被数量分类

采用 TWINSpan 分类方法, 利用 WinTWINS2.3 软件分析; 植被数据是 291 个种在 68 个样方中的重要值构成的 291 × 68 维重要值的矩阵, 以 291 × 68 维重要值矩阵进行数量分类; 并记录海拔高度、坡度、坡向、植被盖度、土壤类型等研究植被类型的生态学特征及样地生境条件。

1.3.3 DCA 和 CCA 排序

用 CANOCO4.5 软件, 以 291 × 68 维重要值矩阵进行 DCA 数量排序, 并制作二维排序图; 以 291 × 68 维重要值矩阵和 68 × 6 维环境因子矩阵进行 CCA 数量排序, 并制作样方环境因子和优势种环境因子二维排序图。

2 结果与分析

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种和优势种命名群落类型, 将 68 个样方进行 TWINSpan 数量分类, 结果如图 1 和表 1。

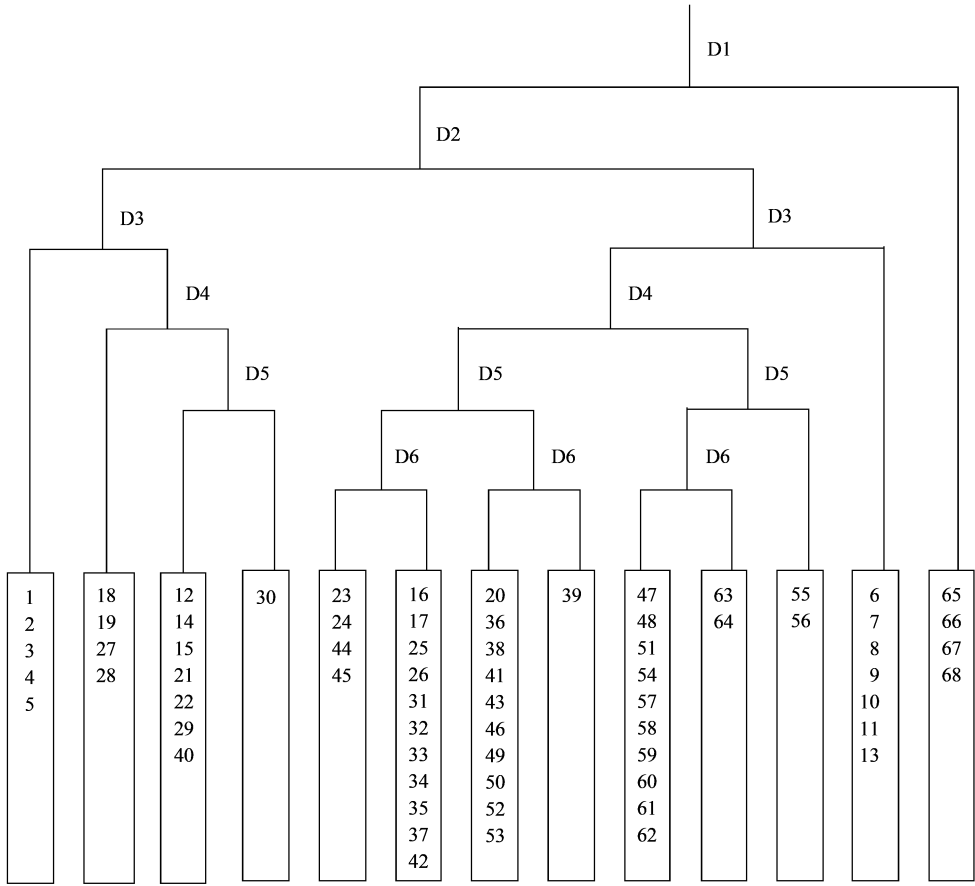


图 1 松山自然保护区森林群落 68 块样方的 TWINSpan 分类树状图

Fig. 1 Dendrogram of the TWINSpan classification of 68 quadrats of forest community in the Songshan National Nature Reserve

I : 榆-荆条-芹叶铁线莲群丛 (Assoc. *Ulmus pumila*-*Vitex negundo* var. *heterophylla*-*Clematis aethusifolia*), 包括样方 1、2、3、4、5。乔木层优势种为榆, 主要伴生种为大果榆 (*U. macrocarpa*)、山杏 (*Prunus armenica* var. *ansu*)、暴马丁香 (*Syringa reticulata* var. *mandshurica*)、大叶椴 (*Tilia mandshurica*)、油松等; 灌木层优势种为荆条, 主要伴生种为钩齿溲疏 (*Deutzia hamata* var. *baroniana*)、小花溲疏 (*D. parviflora*), 还有榆和大果榆的更新

苗;草本层优势种为细叶苔草(*Carex rigescens*),主要伴生种为中华卷柏(*Selaginella tamariscina*)、白莲蒿(*Artemisia gmelinii*)、大油芒(*Spodiopogon sibiricus*)、石竹(*Dianthus chinensis*)、芹叶铁线莲等。

II:胡桃楸-小叶鼠李-猫眼草群丛(Assoc. *Juglans mandshurica*-*Rhamnus parvifolia*-*Euphorbia lunulata*),包括样方 18、19、27、28。乔木层优势种为胡桃楸,主要伴生种为构树(*Broussonetia papyrifera*)、北京丁香(*S. pekinensis*)等;灌木层优势种为小叶鼠李,主要伴生种有土庄绣线菊(*Spiraea pubescens*)、木本香薷(*Elsholtzia stauntoni*),还有大叶白蜡(*Fraxinus rhynchophylla*)、北京丁香、小叶白蜡(*F. bungeana*)、胡桃楸、大果榆、构树的更新苗;草本层优势种为细叶苔草,主要伴生种为牛尾蒿(*A. subdigitata*)、白莲蒿、蓝萼香茶菜(*Rabdosia japonica* var. *glaucoalyx*)等。

表 1 松山自然保护区森林群落 TWINSpan 数量分类主要特征描述

Table 1 The description of the main characteristics of TWINSpan classification of forest community in the Songshan National Nature Reserve

序号 No.	群落名称 Community name	海拔高度/m Elevation	坡向 Aspect	盖度/% Coverage	坡度/(°) Slope	土壤类型 Soil type
I	榆-荆条-芹叶铁线莲群丛	700	东坡,东南坡	85—95	2—25	山地褐土
II	胡桃楸-小叶鼠李-猫眼草群丛	900—1000	南坡,西南坡	80—95	5—30	山地褐土
III	大果榆-雀儿舌头-内折香茶菜群丛	800—1100	南坡,西坡	60—95	8—45	棕壤
IV	油松-三裂绣线菊-大油芒群丛	1000	东南坡	60	35	棕壤
V	油松 + 北京丁香-三裂绣线菊-鹅冠草 + 糖芥群丛	900—1200	南坡,西南坡	60—95	3—40	棕壤
VI	油松 + 大叶白蜡-雀儿舌头-大叶铁线莲 + 山莴苣 + 苍术群丛	800—1100	南坡,东南坡	55—85	20—45	棕壤
VII	大果榆-三裂绣线菊-叉分蓼 + 山楂叶悬钩子群丛	900—1400	西南坡,东坡	55—95	3—45	棕壤
VIII	蒙古栎-土庄绣线菊-华北风毛菊群丛	1100	西北坡	85	50	棕壤
IX	大果榆-胡枝子-东亚唐松草群丛	1200—1700	南坡,西坡	60—90	10—35	棕壤
X	白桦-六道木-鹅冠草群丛	1800	北坡,西北坡	80—85	30—35	山地草甸棕壤
XI	平基槭-红丁香-等齿委陵菜群丛	1500	西坡	90	40—45	山地褐土
XII	胡桃楸-毛叶丁香-一把伞南星群丛	800	南坡,东南坡	80—90	5—20	山地褐土
XIII	华北落叶松-银背风毛菊 + 矮紫苞鸢尾群丛	1900—2000	西坡,西北坡	90	15—45	山地草甸土

III:大果榆-雀儿舌头-内折香茶菜群丛(Assoc. *Ulmus macrocarpa*-*Leptopus chinensis*-*Rabdosia inflexa*),包括样方 12、14、15、21、22、29、40。乔木层优势种为大果榆,主要伴生种为油松、青杨(*Populus cathayana*)等;灌木层优势种为雀儿舌头,主要伴生种为三裂绣线菊(*S. trilobata*)等,还有大叶白蜡的更新苗;草本层优势种为细叶苔草,主要伴生种为内折香茶菜、蓝萼香茶菜、三籽两型豆(*Amphicarpaea trisperma*)等。

IV:油松-三裂绣线菊-大油芒群丛(Assoc. *Pinus tabulaeformis*-*Spiraea trilobata*-*Spodiopogon sibiricus*),包括样方 30。乔木层优势种为油松,主要伴生种为山杏;灌木层优势种为三裂绣线菊,主要伴生种为雀儿舌头,还有大果榆、油松的更新苗;草本层优势种为细叶苔草,主要伴生种为大油芒、斑叶堇菜(*Viola variegata*)、阴地堇菜(*V. yezoensis*)等。

V:油松 + 北京丁香-三裂绣线菊-鹅冠草 + 糖芥群丛(Assoc. *Pinus tabulaeformis* + *Syringa pekinensis*-*Spiraea trilobata*-*Roegneria kamoji* + *Erysimum bungei*),包括样方 23、24、44、45。乔木层优势种为油松和北京丁香,主要伴生种为大叶白蜡、山杏、大果榆等;灌木层优势种为三裂绣线菊,主要伴生种为胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、木本香薷、土庄绣线菊等,还有北京丁香、大叶白蜡的更新苗;草本层优势种为细叶苔草,主要伴生种为蓝萼香茶菜、鹅冠草、糖芥等。

VI:油松 + 大叶白蜡-雀儿舌头-大叶铁线莲 + 山莴苣 + 苍术群丛(Assoc. *Pinus tabulaeformis*-*Fraxinus rhynchophylla*-*Leptopus chinensis*-*Clematis heracleifolia* + *Lactuca indica* + *Atractylodes lancea*),包括样方 16、17、25、

26、31、32、33、34、35、37、42。乔木层优势种为油松和大叶白蜡,主要伴生种为大果榆等、平基槭(*Acer truncatum*)等;灌木层优势种为雀儿舌头,主要伴生种为三裂绣线菊、土庄绣线菊等,还有大叶白蜡、大果榆的更新苗;草本层优势种为细叶苔草,主要伴生种为大油芒、东亚唐松草(*Thalictrum minus* var. *hypoleucum*)、大叶铁线莲、山莴苣、苍术等。

VII:大果榆-三裂绣线菊-叉分蓼+山楂叶悬钩子群丛(Assoc. *Ulmus macrocarpa*-*Spiraea trilobata*-*Polygonum divaricatum*+*Rubus idaeus*),包括样方20、36、38、41、43、46、49、50、52、53。乔木层优势种为大果榆,主要伴生种为山杨(*P. davidiana*),北京丁香,油松;灌木层优势种为三裂绣线菊,主要伴生种为胡枝子、毛叶丁香(*S. pubescens*)、榛(*Corylus heterophylla*),还有大果榆的更新苗;草本层优势种为细叶苔草,主要伴生种为东亚唐松草、叉分蓼、大油芒等。

VIII:蒙古栎-土庄绣线菊-华北风毛菊群丛(Assoc. *Quercus mongolica*-*Spiraea pubescens*-*Saussurea mongolica*),包括样方39。乔木层优势种为蒙古栎;灌木层优势种为土庄绣线菊,主要伴生种为小花叟疏、东北鼠李(*R. schneideri* var. *mandshurica*)等;草本层优势种为华北风毛菊,主要伴生种为糙苏(*Phlomis umbrosa*)、玉竹(*Polygonatum odoratum*)、短尾铁线莲(*C. brevicaudata*)等。

IX:大果榆-胡枝子-东亚唐松草群丛(Assoc. *Ulmus macrocarpa*-*Lespedeza bicolor*-*Thalictrum minus* var. *hypoleucum*),包括样方47、48、51、54、57、58、59、60、61、62。乔木层优势种为大果榆,主要伴生种为山杨;灌木层优势种为胡枝子,主要伴生种为土庄绣线菊、小花叟疏、太平花(*Philadelphus pekinensis*),还有大果榆的更新苗;草本层优势种为细叶苔草,主要伴生种为叉分蓼、东亚唐松草、银背风毛菊(*S. nivea*)等。

X:白桦-六道木-鹅冠草群丛(Assoc. *Betula platyphylla*-*Abelia biflora*-*Roegneria kamoji*),包括63、64。乔木层优势种为白桦,主要伴生种为棘皮桦(*B. dahurica*);灌木层优势种为六道木,主要伴生种为毛榛(*C. mandshurica*)、野蔷薇(*Rosa multiflora*)、卫矛(*Euonymus alatus*)、土庄绣线菊、红丁香(*S. villosa*)等;草本层优势种为鹅冠草,主要伴生种为白花碎米荠(*Cardamine leucantha*)、短尾铁线莲、细叶苔草等。

XI:平基槭-红丁香-等齿委陵菜群丛(Assoc. *Acer truncatum*-*Syringa villosa*-*Potentilla simulatrix*),包括样方55、56。乔木层优势种为平基槭,伴生种有黄花柳(*Salix caprea*)、胡桃楸等;灌木层优势种为红丁香,主要伴生种为钩齿溲疏、东北茶藨子(*Ribes mandshuricum*)、北京忍冬(*Lonicera pekinensis*)、金花忍冬(*L. tatarinowii*)、东陵八仙花(*Hydrangea bretschneideri*)等,还有平基槭的更新苗;草本层优势种为等齿委陵菜,主要伴生种为东亚唐松草、草乌(*Aconitum kusnezoffii*)、大齿山芹(*Ostericum grosseserratum*)、水金凤(*Impatiens noli-tangere*)、风毛菊(*S. japonica*)、刺五加(*Acanthopanax senticosus*)等。

XII:胡桃楸-毛叶丁香-一把伞南星群丛(Assoc. *Juglans mandshurica*-*Syringa pubescens*-*Arisaema erubescens*),包括样方6、7、8、9、10、11、13。乔木层优势种为胡桃楸,伴生种有榆、大果榆、黄花柳等;灌木层优势种为毛叶丁香,主要伴生种为毛榛、东北鼠李、小叶鼠李等;草本层优势种为细叶苔草,主要伴生种为草乌、大叶铁线莲、一把伞南星等。

XIII:华北落叶松-银背风毛菊+矮紫苞鸢尾群丛(Assoc. *Larix principis-rupprechtii*-*Saussurea nivea*+*Iris ruthenica* var. *nana*),包括样方65、66、67、68。乔木层优势种为华北落叶松;草本层优势种为银背风毛菊,主要伴生种为野青茅(*Calamagrostis arundinacea*)、小红菊(*Dendranthema chanetii*)、叉分蓼、柳兰(*Chamaenerion angustifolium*)、大萼委陵菜(*P. conferta*)、百里香(*Thymus mongolicus*)、地榆(*Sanguisorba officinalis*)、蓬子菜(*Galium verum*)等。

2.2 样方的 DCA 排序

排序轴能够反映一定的生态梯度,通过环境因子与排序轴的相关分析,可以找出与排序轴显著相关的环境因子,并反映群丛的分布与环境因子之间的关系,可以直观地看出各植被类型间的关系和影响群丛分布格局的主要因素。从图2中看出,DCA排序横轴和纵轴基本反映了不同的生态意义,第一排序轴(横轴)反映了各森林群落所在环境的海拔和土壤类型梯度,即沿第一轴从左至右,随着海拔升高,土壤类型依次为山地褐

土、棕壤、山地草甸棕壤、山地草甸土;第二排序轴(纵轴)反映了各森林群落所在环境的海拔梯度和坡度变化,第二排序轴从下到上,随着海拔升高,坡度由陡坡转为缓坡。不同坡度的土壤与水分流失量不一样,坡度大土层薄、水分少、无机盐易淋失、土壤多呈酸性,坡度平缓处土层较厚、水分多、土壤酸性较弱,因此坡度对植被的分布产生影响。

从群落类型看,各群落类型在排序图上呈现有规律的分布。适宜于低海拔半阳坡平缓处的群落类型,榆-荆条群落位于排序图的左下方,生境特点是温湿;分布于中山和中山高山带,半阳坡和半阴坡陡峭处的群落类型,大果榆,油松,平基槭,蒙古栎林位于排序图的中心部位,并且油松林和大果榆林交叉较多;分布在半阴坡沟谷地的胡桃楸林位于排序图的右上端;分布在半阴坡的白桦林位于排序图的上方;而适宜于高海拔半阳坡群落类型,华北落叶松林位于排序图的右侧。

从群落的环境梯度来看,分布低山地带的半阴坡的榆-荆条群落、平基槭,胡桃楸林群落类型属于山地褐土,油松、大果榆、蒙古栎林群落类型属于棕壤,白桦林群落类型属于山地草甸棕壤,华北落叶松属于山地草甸土。

TWINSPAN 群落数量分类类型在 DCA 排序图上各自有较明确的分布范围和界限,说明同分类方法结合使用 DCA 效果较好,它较准确地反映出各森林群落之间以及森林群落与环境之间的关系。

2.3 CCA 排序

采用 CCA 排序对松山自然保护区的森林群落进行分析,图 3 是 CCA 排序中样方的二维排序图,图中箭头表示环境因子,箭头连线的长短表示森林群落的分布与环境因子相关性的大小,箭头所处的象限表示环境因子与排序轴之间相关性的正负。

从表 2 看出,物种 CCA 排序轴与环境因子相关,第一轴和第二轴与环境因子极显著相关,特征值为 0.456 和 0.331,物种-环境相关性为 92.01% 和 90.13%,物种-环境关系方差累计贡献率达到 50.7%。

表 2 松山自然保护区森林群落 68 个样方排序的特征值和物种与环境的相关性

Table 2 Eigenvalues and correlations between species axes and environmental axes for 68 quadrats ordination of forest community in the Songshan National Nature Reserve

项目 Item	CCA Axes			
	Axis1	Axis2	Axis3	Axis4
特征值 Eigenvalue	0.456	0.331	0.246	0.192
	(<i>P</i> = 0.001)	(<i>P</i> = 0.001)	(<i>P</i> = 0.018)	(<i>P</i> = 0.229)
物种-环境相关性 Species-environment correlations	0.9201	0.9013	0.871	0.87
物种方差累计贡献率 Cumulative percentage variance of species data/%	4.4	7.6	9.9	11.8
物种-环境关系方差累计贡献率 Cumulative percentage variance of species-environment relation/%	29.4	50.7	66.5	78.9

从样方的 CCA 二维排序图 3 中可看出, CCA 排序第一轴与海拔高度成正相关,相关系数为 0.7124(表 3),极显著,第一轴与枯枝落叶层厚度和土壤深度也成正相关,即沿 CCA 排序第一轴从左到右,海拔逐渐升高,枯枝落叶层越厚和土壤越深;第二轴与土壤紧实度成负相关,相关系数为 -0.6705(表 3),极显著,而第二

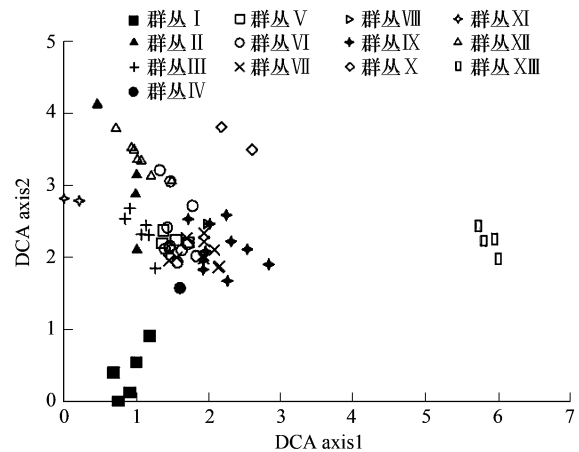


图 2 松山自然保护区森林群落 68 个样方的 DCA 二维排序图
Fig. 2 Two-dimensional DCA ordination diagram of 68 quadrats of forest community in the Songshan National Nature Reserve

轴与海拔高度和坡度成正相关,即沿 CCA 第二轴,从下到上,土壤越来越松软,坡度由平缓变陡峭,海拔逐渐升高;可见海拔梯度是环境因子中对森林群落分布起决定性作用的因子。

由图 4 可见,群落中优势种的分布格局所揭示的环境梯度与群落类型的分布梯度,有很大的相似性。对角线也反映出海拔梯度的变化,所以 CCA1 和 CCA2 轴都受海拔因素的影响,从 CCA1 轴看,生长于低山生境的胡桃楸、荆条、榆位于最左端,中间是油松、大果榆、大叶白蜡、北京丁香,最右侧是华北落叶松;从 CCA2 轴看出,指示半阳坡、低海拔的荆条、榆、胡桃楸位于最下部,依次为大叶白蜡、大油芒、油松、雀儿舌头、蓝萼香茶菜、北京丁香、东北鼠李、细叶苔草、土庄绣线菊、东亚唐松草、钩齿溲疏、大果榆、草乌、胡枝子。图 4 中每种植物都有自己的分布中心和分布区域,能反映 TWINSpan 分类的群丛分布。

3 讨论

通过 TWINSpan 数量分类,将松山自然保护区森林群落 68 个样方分成 13 类,划分出松山自然保护区的基本森林群落类型,油松林、大果榆林、蒙古栎林、胡桃楸林、白桦林、榆林、平基槭林、华北落叶松林等,其中油松林划分成Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ类,分布在松山自然保护区的东半部塘子沟一带,Ⅴ类是油松和北京丁香混交林,Ⅵ类是油松和大叶白蜡混交林,天然油松林是松山自然保护区主要保护对象之一,由此能看出油松林被保护的较好,而且根据牛丽丽^[15]的研究得出油松种群目前处于旺盛生长发育时期;大果榆林划分成Ⅲ、Ⅶ、Ⅸ类,Ⅲ类是大果榆、油松、青杨混交林,分布在松山自然保护区的东半部塘子沟一带,而Ⅶ、Ⅸ类分布在松山自然保护区西半部大庄科一带,Ⅶ类是大果榆和山杨混交林;胡桃楸林划分成Ⅱ、Ⅻ类,分布在松山自然保护区西半部大庄科

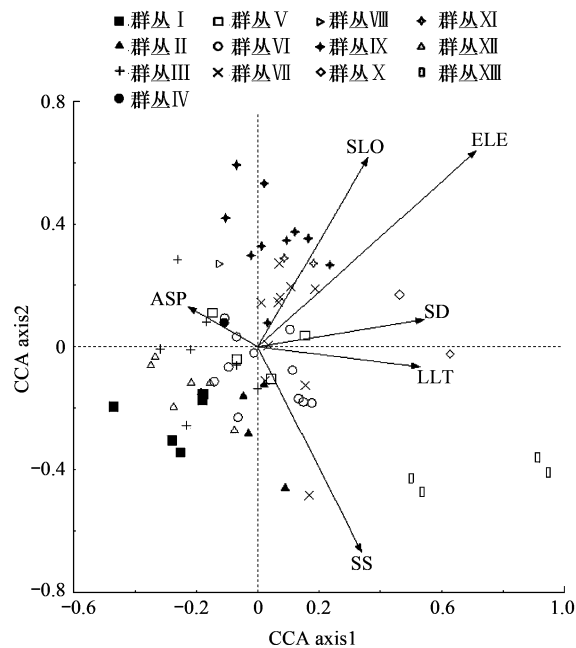


图3 松山自然保护区森林群落 68 个样方的 CCA 二维排序图
Fig.3 Two-dimensional CCA ordination diagram of 68 quadrats of forest community in the Songshan National Nature Reserve
ASP,坡向 Aspect;ELE,海拔高度 Elevation;LLT,枯枝落叶层厚度 Litter layer thickness;SD,土壤深度 Soil depth;SLO,坡度 Slope;SS,土壤紧实度 Soil solidity

表3 松山自然保护区森林群落 68 个样方排序的环境因子与 CCA 环境轴的相关性

Table 3 Intraset correlations between environmental variables and CCA ordination axes for 68 quadrats ordination of forest community in the Songshan National Nature Reserve

环境因子 Environmental variables	CCA Axes			
	Axis1	Axis2	Axis3	Axis4
海拔高度 Elevation	0.7124 ***	0.639 ***	0.1192	0.1657
坡度 Slope	0.3599 **	0.6167 ***	-0.5208 ***	-0.3033 **
坡向 Aspect	-0.2269	0.1301	-0.5189 ***	0.0984
枯枝落叶层厚度 Litter layer thickness	0.5273 ***	-0.0657	0.2080 ***	-0.8142 ***
土壤深度 Soil depth	0.5415 ***	0.0888	-0.1457	-0.0685
土壤紧实度 Soil solidity	0.339 **	-0.6705 ***	-0.4097 ***	0.4792 ***

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$

一带,Ⅱ类分布在海拔 800m 处,Ⅻ类分布在海拔 900—1000m 处;这些类型基本上代表了松山自然保护区森林类型的全貌。在 DCA 分析中油松林,大果榆林、胡桃楸林聚集在一起,说明他们有较大的相似性。

TWINSPAN 数量分类是依据指示种和地区分布差异划分的,而 DCA 是依据排序轴的综合信息,将样方或植物种排列在一定的空间,排序轴能反映一定的生态梯度,解释植物物种分布与环境因子的关系。在松山形成这样森林群落的主要原因是,山地气候的地区性差异,山谷走向、宽窄不同,使气温和降水均有明显的差异;西半部大庄科一带多为东西向的宽谷,又由于四面环山,夏季东南气流变干,因而形成干暖型谷地;东半部塘子沟一带为近北向峡谷,南部有开口,约束东西气流迎风坡上升,形成地形雨,为湿润型谷地;干暖型谷地的土壤条件也较差,一般石砾含量较多,土层较薄、干旱、贫瘠,而湿润型山地的土壤石砾含量较少,土层较厚、较湿润、肥沃;环境条件的差异,引起植被类型的分化,随之而形成的植被类型的分异就十分明显。

DCA 排序的数据源为种类组成数据,而 CCA 要求有种类数据矩阵和环境因子矩阵,它有利于排序轴生态意义的解释。CCA 第一排序轴主要与海拔高度有关,其次与土壤深度和枯枝落叶层正相关,与坡向负相关,CCA 第二轴也受海拔高度的影响,其次主要与坡度和坡向正相关,与土壤紧实度和枯枝落叶层负相关。CCA 的排序轴不仅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相似性,而这种相似性往往相互联系。一般来讲,种类组成接近的森林群落,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决定的,因此表现在排序图中样方较集中,群落间的界线变得较模糊,所以,如果同分类结合使用,DCA 的效果要好于 CCA,这与张先平^[4]、李斌^[19]的结果一致。

松山自然保护区的森林群落分布格局主要受海拔梯度的影响,从而导致植被类型的垂直分布,DCA 和 CCA 排序的研究结果能较好地反映松山自然保护区的森林群落与环境因子的关系,研究结果有助于深入理解保护区森林群落的空间分布格局及各物种的生态适应特性,为今后保护区管理和保护提供相应的理论依据。

致谢:北京师范大学资源学院顾卫教授提供了土壤紧实度仪,特此致谢。

References:

- [1] Zhang J T. Quantitative ecology. Beijing: Science Press, 2004.
- [2] He H Q, Li S C, Sun H L, Liu S C, Xiong W L. Quantitative classification and ordination of Jingping hydropower station, Sichuan Province, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(8): 3706-3712.
- [3] Dong L S, Zhang X D, Zhou J X, Song A Y. Quantitative classification and ordination of shrub species and communities in a loess landscape of western Shanxi. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(7): 3072-3880.
- [4] Zhang X P, Wang M B, She B, Xiao Y. Numerical classification and ordination of forest communities in Pangquangou National Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(3): 754-761.

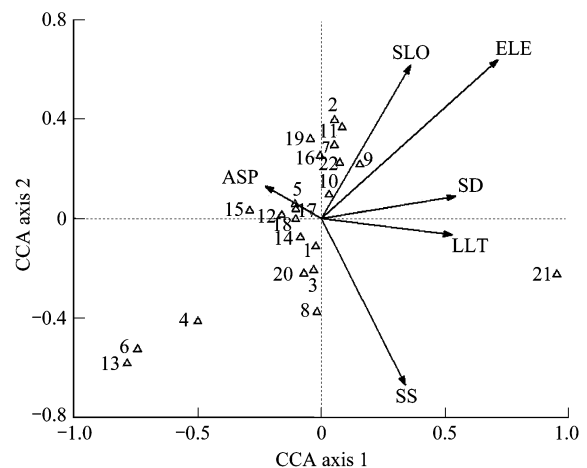


图4 松山自然保护区森林群落优势种的 CCA 二维排序图

Fig. 4 Two-dimensional CCA ordination diagram of dominant species of forest community in the Songshan National Nature Reserve

ASP, 坡向 Aspect; ELE, 海拔高度 Elevation; LLT, 枯枝落叶层厚度 Litter layer thickness; SD, 土壤深度 Soil depth; SLO, 坡度 Slope; SS, 土壤紧实度 Soil solidity

1 油松 *Pinus tabulaeformis*; 2 大果榆乔木 *Ulmus macrocarpa* Tree; 3: 大叶白蜡乔木 *Fraxinus rhynchophylla* Tree; 4: 胡桃楸 *Juglans mandshurica*; 5: 北京丁香 *Syringa pекinensis*; 6: 榆 *Ulmus pumila*; 7: 大果榆灌木 *Ulmus macrocarpa* Shrub; 8: 大叶白蜡灌木 *Fraxinus rhynchophylla* Shrub; 9: 土庄绣线菊 *Spiraea pubescens*; 10: 三裂绣线菊 *Spiraea trilobata*; 11: 胡枝子 *Lespedeza bicolor*; 12: 毛叶丁香 *Syringa pubescens*; 13: 荆条 *Vitex negundo* var. *heterophylla*; 14: 雀儿舌头 *Leptopus chinensis*; 15: 东北鼠李 *Rhamnus schneideri* var. *mandshurica*; 16: 钩齿溲疏 *Deutzia hamata* var. *baroniana*; 17: 细叶苔草 *Carex rigescens*; 18: 蓝萼香茶菜 *Rabdosia japonica* var. *glaucocalyx*; 19: 草乌 *Aconitum kusnezoffii*; 20: 大油芒 *Spodiopogon sibiricus*; 21: 银背风毛菊 *Saussurea nivea*; 22: 东亚唐松草 *Thalictrum minus* var. *hypoleucum*

- [5] Zuzana R and Michal H. Changes in nutrient limitation of spring fen vegetation along environmental gradients in the West Carpathians, *Journal of Vegetation Science*, 2008,19(5) : 613-620.
- [6] Zhang J T and Zhang F. Diversity and composition of plant functional groups in mountain forests of the Lishan Nature Reserve, North China. *Botanical Studies*,2007,48(3) :339-348.
- [7] Henning K S, Hans Estrup A, Kathrin K. Rejecting the mean: Estimating the response of fen plant species to environmental factors by non-linear quantile regression. *Journal of Vegetation Science*, 2005,16(4) : 373-382.
- [8] Cord P-L and Boris S. Predicting the species composition of *Nardus Stricta* communities by logistic regression modelling, *Journal of Vegetation Science*, 2004,15(5) : 623-634.
- [9] Zhang J T. A study on relations of vegetation, climate and soils in Shanxi Province, China. *Plant Ecology*,2002,162(1) :23-31.
- [10] Jiang Y, Kang M Y, Liu S, Tian L S, Lei M D. A study on the vegetation in the east side of Helan Mountain. *Plant Ecology*,2000,149(2) :119-130.
- [11] Moe B, Botnen A. A quantitative study of the epiphytic vegetation on pollarded trunks of *Fraxinus excelsior* at Havrå, Osterøy, western Norway. *Plant Ecology*,1997,129(2) :157-177.
- [12] Dahdouh-Guebas F, Kairo J G, Jayatissa L P. An ordination study to view vegetation structure dynamics in disturbed and undisturbed mangrove forests in Kenya and Sri Lanka. *Plant Ecology*,2002,161(1) :123-135.
- [13] Zhou R, Wang H, Ge J P, Xiong Y C, Wu J G. Vegetation dynamics and patterns of change in functional protection subzones in Songshan National Nature Reserve, Beijing. *Biodiversity Science*, 2006,14(6) :470-478.
- [14] Wu S, Qin D H, Bi X L, Wang X C, Ge J P. Purifying service of Songshan mountain and its value. *Journal of Beijing Normal University(Natural Science)*, 2004,40(3) :386-389.
- [15] Niu L L, Yu X X, Yue Y J. Spatial patterns of different age-class individuals in *Pinus tabulaeformis* forest in Songshan Nature Reserve of Beijing, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008,19(7) :1414-1418.
- [16] Zhou R, Ge J P, Yu B, Liu L J, Wu J G. Simulation of forest dynamics at Songshan Mountain, Beijing. *Journal of Beijing Forestry University*, 2007, 29(1) :19-25.
- [17] Zhang W Q, Li X H, Luo Q Z, Zhang W M, Zhao J, Shan Y B. Spatial distribution of vegetation in Tianmu Mountain Nature Reserve based on RS and GIS data. *Chinese Journal of Ecology*, 2003,22(6) :21-27.
- [18] Shen Z H, Fang J Y. Niche comparison of two *Fagus* species based on the topographic patterns of their populations. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001,25(4) :392-398.
- [19] Li B, Zhang J T. Ecological interaction of vegetation community in Loess Plateau. *Journal of Agro-Environment Science*, 2003,22(4) :471-473.

参考文献:

- [1] 张金屯. 数量生态学. 北京: 科学出版社, 2004.
- [2] 何惠琴, 李绍才, 孙海龙, 刘世昌, 熊文兰. 锦屏水电站植被数量分类与排序. *生态学报*, 2008,28(8) :3706-3712.
- [3] 董林水, 张旭东, 周金星, 宋爱云. 晋西黄土丘陵与土石山区交错地带灌木种的数量分类与排序. *生态学报*, 2007,27(7) :3072-3880.
- [4] 张先平, 王孟本, 余波, 肖扬. 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.
- [13] 周睿, 王辉, 葛剑平, 熊友才, 吴记贵. 松山自然保护区各功能区植被动态及变化格局. *生物多样性*, 2006,14(6) :470-478.
- [14] 吴姗, 覃德华, 毕晓丽, 王秀春, 葛剑平. 松山自然保护区净化服务功能及生态经济价值研究. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2004,40(3) :386-389.
- [15] 牛丽丽, 余新晓, 岳永杰. 北京松山自然保护区天然油松林不同龄级立木的空间点格局. *应用生态学报*, 2008,19(7) :1414-1418.
- [16] 周睿, 葛剑平, 于波, 刘丽娟, 吴记贵. 北京松山森林动态模拟研究. *北京林业大学学报*, 2007,29(1) :19-25.
- [17] 章皖秋, 李先华, 罗庆州, 张卫民, 赵军, 单勇兵. 基于 RS、GIS 的天目山自然保护区植被空间分布规律研究. *生态学杂志*, 2003,22(6) :21-27.
- [18] 沈泽昊, 方精云. 基于种群分布地形格局的两种水青冈生态位比较研究. *植物生态学报*, 2001,25(4) :392-398.
- [19] 李斌, 张金屯. 黄土高原植物群落生态关系研究. *农业环境科学学报*, 2003,22(4) :471-473.