

# 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

董林水<sup>1</sup>, 张旭东<sup>1,\*</sup>, 周金星<sup>1</sup>, 宋爱云<sup>2</sup>

(1. 中国林业科学研究院林业研究所, 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091 2. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

**摘要** 应用 TWINSpan 和 DCA 多元分析的方法, 对晋西中阳县黄土丘陵与土石山区交错地带森林及灌丛群落中灌木种的数量特征进行了统计分析, 分别对样方和物种进行了数量分类和排序。调查样方包括了该地区主要的次生森林及灌丛植被类型, 共计 31 个样方。样方 TWINSpan 分类结果表明, 第一级分类可以将林下灌丛及阴坡灌丛与阳坡 (或半阳坡) 喜光耐旱灌丛区分开来。进一步的分类, 可将各样方划分为 8 个组。根据各样方中灌木种的二元属性数据分析, TWINSpan 分类可将 29 个常见灌木种划分为 4 个组, 这种分类可以比较明确的区分物种的空间分布特征, 主要分布在土石山区的灌木种和土石山区及黄土丘陵地区均有分布的物种被准确的区分开来。DCA 排序结果与 TWINSpan 分类结果较为一致。样方 DCA 排序第 1 轴反映了生境的水分环境条件, 第 2 轴反应了样方海拔梯度的变化, 即热量条件的差异。对角线上各样方的排列顺序综合反映了水分、热量、土壤等环境条件的差异。灌木种 DCA 排序图第 1 轴反映了各物种分布生境的水分条件, 最左边多为分布在林下阴湿环境中的植物种, 如美蔷薇 (*Rosa bella*), 红瑞木 (*Cornus alba*) 等; 而最右边则多为典型的干旱阳坡指示种, 如对结木 (*Sageretia paucicostata*), 山桃 (*Amygdalus davidiana*) 等。对角线上物种的排序综合反映了各物种的空间分布特征, 左上方各物种多数只分布在水分条件相对优越的土石山地区, 而右下方各物种不仅在土石山区有分布, 而且在干旱的黄土丘陵地区也多有分布。

**关键词** 晋西, 黄土丘陵, 土石山区, 交错地带, 灌木种, TWINSpan 分类, DCA 排序

文章编号: 1000-0933 (2007) 07-3072-09 中图分类号: Q948.15 文献标识码: A

## Quantitative classification and ordination of shrub species and communities in a loess landscape of western Shanxi

DONG Lin-Shui<sup>1</sup>, ZHANG Xu-Dong<sup>1,\*</sup>, ZHOU Jin-Xing<sup>1</sup>, SONG Ai-Yun<sup>2</sup>

1 Research Institute of Forestry, CAF, Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Beijing 100091, China

2 Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

*Acta Ecologica Sinica* 2007, 27 (7): 3072 ~ 3080.

**Abstract**: The study region was located in Zhongyang County of western Shanxi Province, China, and the center of this area was at 37°15'N, 111°58'E. Our study area was located across an ecotone between the loess hills and bedrock hills. Quantitative analysis of relationships between vegetation and environment was an effective method in research field of modern vegetation ecology. Quantitative classification (TWINSpan) and ordination analysis (detrended correspondence analysis, DCA) were used to examine the ecological characteristics of all shrub species and communities in a loess landscape of western Shanxi, China. All 29 shrub species were examined in thirty-one 10 × 10m<sup>2</sup> plots. From TWINSpan

基金项目 国家自然科学基金资助项目 (30671721), 国家林业局脆弱生态区退耕还林科技支撑资助项目 (2003)

收稿日期 2006-10-23; 修订日期 2007-04-24

作者简介 董林水 (1976 ~ ) 男, 山东人, 博士, 主要从事植被生态学研究. E-mail: donglinshui@126.com

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhxd@forestry.ac.cn

**Foundation item** The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 30671721)

**Received date** 2006-10-23; **Accepted date** 2007-04-24

**Biography** DONG Lin-Shui, Ph. D., mainly engaged in vegetation ecology. E-mail: donglinshui@126.com

analysis, we classified the plots into 8 types and all tallied species into 9 groups. The DCA analysis provided us with similar results on the shrubs and communities in the landscape. Both classification and ordination analysis of the plots reflected the spatial distribution of shrub communities. The first axis of DCA appeared to be related to moisture; the second axis to the thermal conditions; and the diagonal line in the 2-D ordination diagram to the changes of elevation, temperature and moisture the three important variables determining the distributions of shrub communities in our landscape. The DCA figure of shrub species reflected the spatial distribution of shrub ecotypes and their relationships with the environment. The first axis of DCA appeared to be related to drought tolerance of species. Diagonal line of the 2-D ordination diagram of species DCA reflected the spatial distribution of species. The species which lied on the bottom right of DCA figure numerously were distributed in the loess hill area, while the species lied on the top left of the figure mainly were distributed in the bedrock area.

**Key Words:** Shanxi Province; loess; bedrock area; ecotone; shrub; TWINSpan; DCA; ordination

黄土高原植被恢复理论与技术一直是学术界研究的热点问题,虽经过几十年的研究,但仍然存在较多的分歧和争议<sup>[1-3]</sup>。实践表明,只重视发展人工植被,而忽视保护和恢复天然次生植被,难以达到较好的植被恢复效果<sup>[2,3]</sup>。充分了解该地区植被恢复的自然规律,促进植被自然恢复,对于保护黄土高原区域生态环境至关重要。目前,厚层黄土塬区天然森林植被资源破坏殆尽<sup>[1-4]</sup>,这给黄土高原地带性森林群落特征和演替规律的研究带来了困难。但是,厚层黄土塬区边缘及其与土石山区的交界区域还保存有部分天然次生乔灌木群落,系统研究这一区域天然植被群落的结构及功能,对于黄土高原区域植被恢复和建设具有重要的借鉴意义<sup>[5]</sup>。本文对晋西中阳县黄土丘陵与土石山区交错地带的次生灌丛进行了数量分类和排序研究。

多元分析技术近 10a 来在成为群落生态学的研究热点,其中应用多元分析技术研究植被类型划分、空间分布格局及其环境解释是其非常重要的一个方面<sup>[5-8]</sup>。当前,植被数量分类和排序研究,多从生态学的群落概念出发,以群落为研究单位,进行类型划分,即乔、灌、草各层物种均统计在内,它的优点在于可以进行群落类型划分及环境解释分析。不过,这种综合分析的方法,难以详细区分各层片的统计规律。单独对乔木、灌木、草本各层片进行数量分类和排序,可以得到相同生活型植物种类的统计分析特征,相关学者单独应用乔木层的物种组成情况对样方进行了数量分类和排序,取得了较好的研究结果<sup>[7,9]</sup>。本文应用 TWINSpan 和 DCA 的分析方法,以灌木种组成及其相对重要值为分类依据,对研究区内样方及灌木种分别进行了数量分类和排序研究。样方类型的划分可以反映不同样方灌木层片的物种组成及其空间分布规律,比如郁闭乔木林下可能分布更多的耐阴性灌木种。灌木种生态种组类型的划分可以反映各物种的生态学特征、空间分布规律。

## 1 研究区概况

研究区位于山西省中阳县,处于黄土丘陵与土石山区的交界地带或称为交错地带,地理中心位置为东经 111°58',北纬 37°15'。该地区属暖温带大陆季风气候,气候干燥,根据近 10a 的统计资料,年降水量欠水年只有 400mm 左右,丰水年则达到 500mm 以上,降水主要集中于 7~9 月份,多年平均蒸发量 2008.9mm,为降水量的 3.7 倍。年均气温 8℃,1 月份平均气温 -7.9℃,7 月份平均气温 21.5℃,极端最低气温 -24.3℃,极端最高气温为 35.6℃,无霜期 160d 左右<sup>[4]</sup>。

中阳县属于晋西黄土丘陵区与东部吕梁山区的过渡地带,境内东南部属于土石山区,而西北部属于典型黄土丘陵地区,黄土丘陵地区海拔范围多在 1100~1500m 之间,土石山区海拔范围在 1100~2000m 之间。黄土丘陵区天然乔灌木植被已非常稀少,以灌丛植被为主,且多分布于边缘地区,即与土石山区相邻的区域。土石山区天然森林和灌丛植被保存较好,以天然白皮松、油松针叶林,辽东栎落叶阔叶林等为主。调查区域主要以经过长期封育形成的天然次生植物群落为主。乔木层优势种包括油松 (*Pinus tabulaeformis*)、白皮松 (*Pinus bungeana*)、辽东栎 (*Quercus liaotungensis*)、白桦 (*Betula platyphylla*)、山杨 (*Populus davidiana*)、侧柏 (*Platycladus orientalis*)、蒙椴 (*Tilia mongolica*) 等。灌木层优势种主要包括黄刺玫 (*Rosa xanthina*)、灰栒子

(*Cotoneaster acutifolia*)、北京丁香 (*Syringa pekinensis*)、虎榛子 (*Ostryopsis davidiana*)、土庄绣线菊 (*Spiraea pubescens*)、红瑞木等。土壤类型土石山区以褐土为主,而黄土丘陵区则以黄绵土为主。

## 2 研究方法

### 2.1 外业调查

调查区域海拔跨度范围为 1200 ~ 1900m,属于晋西中阳县黄土丘陵区与土石山区的交错地带。样方调查时间为 2004 年夏季 7 ~ 8 月份,各样方主要选择天然次生森林或灌丛群落,灌丛群落选择盖度大于 50% 的样方,过于稀疏的孤立灌丛不在调查范围之内。土石山区植被调查,分别在木狐台 (1300 ~ 1800m) 和上顶山 (1600 ~ 1900m) 地区按海拔梯度进行,各样方海拔梯度间隔 50 ~ 100m 左右。柏洼山 (1200 ~ 1400m) 区域重点调查天然次生针叶林 (白皮松、油松)。黄土丘陵边缘区植被调查选择军山林场 (1300 ~ 1500m),主要调查天然次生灌丛群落及少量林下灌丛样方。每个样方面积为  $10 \times 10\text{m}^2$ ,各样方划分为 4 个  $5 \times 5\text{m}^2$  小样方分别调查,共计调查样方 31 个,各样方概况如表 1 所示。调查样方包括了该地区最主要的天然次生森林及灌丛植被类型。调查内容包括乔木、灌木植物的种名、株数、高度、盖度、地径,草本植物调查种名、盖度、高度、株数、多度,乔木个体还测定胸径、树高、冠幅等指标,环境因子调查地形、地貌、海拔、坡向、坡度以及土壤类型。海拔高度用 GPS 测定。

### 2.2 数据处理

本研究仅应用调查样方中的灌木种统计数据。灌木层重要值 = (相对盖度 + 相对频度 + 相对密度) / 3,重要值取值范围为 0 ~ 100。样地共记录到 35 个灌木种,剔除各样方中频度小于 5% 的 6 个种,剩余灌木种 29 种。根据 31 个样方中 29 个灌木种形成的  $31 \times 29$  数据矩阵,按样方和物种分别进行数量分类和排序分析。样方分类采用物种重要值数据。物种生态种组划分采用二元属性数据,即 (0, 1) 数据。分析软件采用 TWINSpan 软件和 DECORANA 软件<sup>[5-8]</sup>。

## 3 结果分析

### 3.1 样方的数量分类和排序

灌木种是晋西地区天然森林及灌丛群落的重要组成部分,通过灌木层片的物种组成及数量特征分析,可以深入研究灌木种的空间分布格局。层片是群落的结构部分,它是植物之间及植物及环境之间相互影响过程中形成的,并在空间、形态和生态上相对特化的群落构造单位,有关生态学家指出“层片具有一定的种类组成,而且它所包含的各个种具有一定的生态生物学特性,还有特别重要的是它具有一定小环境,这个小环境是属于植物群落环境的组成部分”<sup>[10]</sup>。灌木层的物种组成和结构特征,不仅可以反映生境的条件,包括水分、光照、土壤等,而且与乔木层、草本层的物种组成及结构特征密切相关。

#### 3.1.1 样方 TWINSpan 数量分类

样方的数量分类结果如图 1 所示。从图 1 可知,虎榛子、灰栒子以及北京丁香将作为第一级分类的指示种,将所有样方划分为两类。负类 D2 的指示种为虎榛子、灰栒子,正类 D3 的指示种为北京丁香。其它级别分类指示种详见图 1。对照表 1 可知, D2 类各样方多有明显的乔木层或处于典型的阴坡地段 (表 1),本类为乔木林下灌丛或阴坡灌丛植被。而 D3 类各样方均没有明显的乔木层,多为喜光耐旱的灌丛群落,样方多位于干旱阳坡、半阳坡或坡度平缓的山顶开阔地段 (表 1)。

虎榛子、灰栒子多为 D2 类各样方中的最优势种或次优势种,而北京丁香在 D2 类各样方中相对重要值很小或没有出现。北京丁香多成为 D3 类各样方的最优势种或次优势种,而虎榛子和灰栒子在 D3 类各样方中相对重要值很小,或没有出现。进一步的划分又可将 D2、D3 类各划分为 4 组,即 a、b、c、d、e、f、g、h 8 个组。各组样方具体情况如下所示,各组中列出相对重要值最高的 3 个优势灌木种。

#### (1) D2 类 林下灌丛及阴坡灌丛

本类型各组样方中,中生灌木种虎榛子、灰栒子多成为各样方的最优势种或次优势种。

接表 1

① a 组 包括样方 4, 7, 8, 20, 21, 均为林下灌丛。灌木层优势种以灰栒子、虎榛子、土庄绣线菊等为主。样方多分布在海拔 1600 ~ 1800m 之间的阴坡地段, 属本地区较高海拔地段, 水分条件相对优越, 中生灌木种灰栒子、虎榛子等多成为灌木层优势种。乔木层树种以辽东栎、白桦等为主, 乔木层盖度在 70% 左右。其它伴生灌木种还包括山楂、忍冬、红瑞木等。

② b 组 包括样方 9, 12, 15, 30, 2, 16, 17, 31, 除样方 9, 12 为阴坡灌丛群落以外, 其余均为乔木林下灌丛。灌木层优势种包括灰栒子、黄刺玫、蒙古荚蒾 (*Viburnum mongolicum*) 等, 其它伴生灌木种包括北京丁香、绣线菊、白毛锦鸡儿 (*Caragana licentiana*) 等。样方海拔在 1300 ~ 1500m 之间, 属本地区较低海拔地段, 热量条件好于 a 组, 水分环境条件不及 a 组。各样方土壤除样方 2, 17 以外, 均为黄绵土。除样方 9, 12 以外, 其余样方乔木层优势种包括白皮松、辽东栎和油松等。本组与 a 组各样方相比, 多分布在较低海拔地段, 环境条件更趋于温暖和干旱, 白皮松是比较典型的低海拔分布树种, 在本地区也主要分布海拔 1400m 以下, 各样方中多有白皮松出现也正说明了这一点。

③ c 组 包括样方 1, 5, 6, 22, 23, 灌木层优势种以灰栒子、红瑞木、四川忍冬等为主, 各样方海拔在 1700 ~ 1900m 之间, 属本地区较高海拔地段, 水分条件相对优越。样方 1 虽然海拔相对较低, 但是由于其坡向为正北, 且坡度达到 42°, 因而, 群落同样处于较为湿润的小生境之中, 说明极陡的阴坡地段可以形成与较高海拔地段类似的湿润生境。灌木层其它伴生种还包括皂柳 (*Salix wallichiana*)、蒙古荚蒾、美蔷薇等。本组各样方乔木层发育良好, 盖度多在 80% ~ 90% 之间, 乔木层优势种包括辽东栎、油松等, 伴生乔木种包括茶条槭 (*Acer ginnala*)、青蛙皮槭 (*Acer grosseri*) 以及花楸树 (*Sorbus pohuashanensis*) 等。本组与 a 组各样方海拔高度比较相近, a 组各样方优势种以喜光耐旱的虎榛子和土庄绣线菊为主, 而本组优势种红瑞木、四川忍冬则均为较耐荫的植物种。说明本组水分环境条件比 a 组各样方还要好一些, 本组也是本地区最适合乔木林生长的地段。茶条槭、青蛙皮槭、花楸均为本地区非常罕见的乔木树种, 也是对水分、光照等环境条件要求较高的树种。

④ d 组 包括样方 18, 19, 11, 27, 均为乔木林下灌丛植被。灌木层优势种包括灰栒子、蒙古荚蒾、葱皮忍冬 (*Lonicera ferdinandii*) 等, 各样方其它伴生灌木种还包括红瑞木、山西槭以及忍冬属的几个种。各样方多分布在海拔 1350 ~ 1500m 之间的阴坡地段, 属本地中低海拔地段。样方 18, 19, 27 位于土石山区, 样方 11 为黄土丘陵区阴坡油松林下灌丛。乔木层树种包括白皮松、油松、辽东栎、白桦等。

本组与 b 组各样方分布海拔范围较相近, 两者区别主要体现在指示种方面, 本组各样方出现了较多的耐阴性较强、水分环境条件要求较高的灌木种, 包括红瑞木、金花忍冬、四川忍冬等 (图 1)。由此可知, 本组各样方较 b 组各样方环境条件要湿润一些。

#### (2) D3 类 阳坡或半阳坡喜光耐旱灌丛

本类型各组样方中, 喜光而耐旱的灌木种北京丁香多成为各样方的最优势种或次优势种。

⑤ e 组 本组包括样方 25、26, 海拔均在 1500m 左右, 均为坡度平缓的山顶开阔地段, 生境较为干旱。灌木层优势种包括北京丁香、土庄绣线菊等。其它伴生灌木种还有沙棘、胡颓子等。

⑥ f 组 本组包括样方 24、28, 海拔在 1500 ~ 1700m 之间, 均为山顶开阔地段, 坡度平缓。优势种包括北京丁香、红瑞木、土庄绣线菊等, 相对于 e 组, 本组各样方海拔稍微高一些, 环境更为湿润, 因而, 样方中出现了较多的指示灌木种红瑞木 (图 1)。

⑦ g 组 本组包括样方 3、10、13, 优势种包括北京丁香、黄刺玫、山桃等, 海拔在 1300 ~ 1400m 之间, 其中, 样方 3 为土石山区阳坡耐旱灌丛群落, 而样方 10, 13 属黄土丘陵区阳坡耐旱灌丛。其它伴生灌木种包括山桃、对结木等耐旱灌木种。

⑧ h 组 本组包括样方 14、29, 海拔在 1200 ~ 1400m 之间, 均为阳坡或半阳坡耐旱灌丛群落, 灌木层优势种包括北京丁香、土庄绣线菊、黄刺玫等, 其它伴生种包括白毛锦鸡儿、小檗 (*Berberis thunbergii*)、山杏 (*Armeniaca vulgaris*) 等。样方 14 分布于黄土丘陵地区半阳坡, 坡度极陡 (35°), 这也是导致其生境非常干旱的原因之一。样方 29 为土石山区干旱阳坡灌丛群落。从图 1 可知, g 组与 h 组的区别指示种为山桃, g 组各

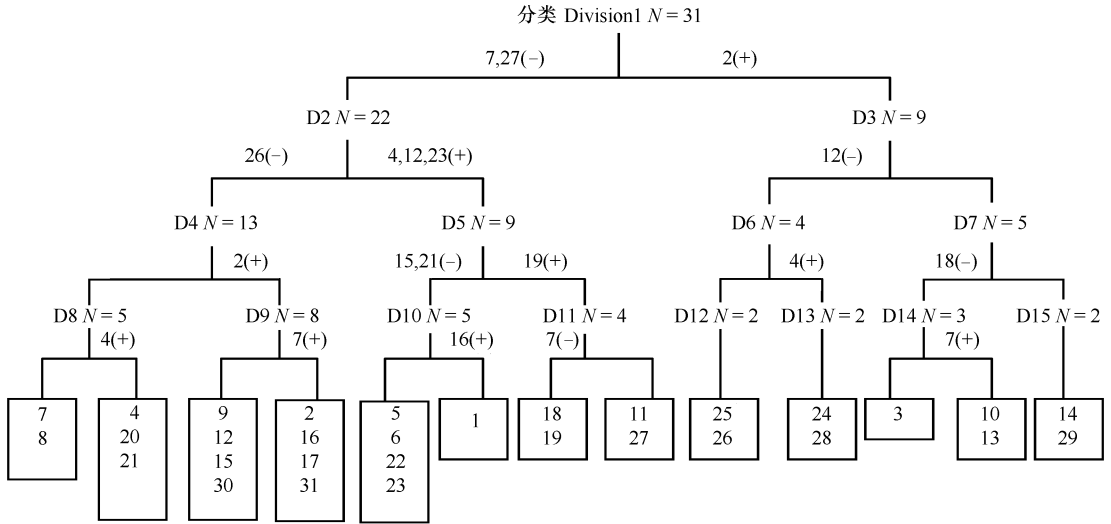


图1 样方 TWINSpan 分类树状图

Fig. 1 Dendrogram of the TWINSpan classification of 31 plots in adjacent region between the loess area and bedrock area of western shanxi province DK 代表第 K 级分类 ;N 代表样方数量 ;DK : Division number ;N : Sample number 图中指示种 Indicator species 2 北京丁香 *Syringa pekinensis* ; 3 对结木 *Sageretia paucicostata* ; 4 红瑞木 *Cornus alba* ; 7 虎榛子 *Ostryopsis davidiana* ; 12 金花忍冬 *Lonicera chrysantha* ; 15 美蔷薇 *Rosa bella* ; 16 柠条锦鸡儿 *Caragana korshinskii* ; 18 山桃 *Amygdalus davidiana* ; 19 山西槭 *Acer shanxiensis* ; 21 山楂 *Crataegus pinnatifida* ; 23 四川忍冬 *Lonicera szechuanica* ; 26 土庄绣线菊 *Spiraea pubescens* ; 27 灰栒子 *Cotoneaster acutifolia*

样方中有山桃出现,而 h 组各样方则没有,山桃是比较典型的喜光耐旱灌木种,h 组两样方北京丁香和土庄绣线菊相对重要值较高,可能受种间竞争的影响,山桃难以侵入到群落中。只有在极为干旱的阳坡或开阔地段,其它灌木种难以生存,这些耐旱指示种才可能成为灌木层的优势种。

### 3.1.2 样方 DCA 排序分析

从图 2 中可以看出,TWINSpan 分类所产生的 8 个组在图上均有自己的分布范围和界线,说明 DCA 排序较好地反映了各样方之间以及样方与环境之间的关系。DCA 第 1 轴基本上反映了样方的水分环境梯度,从左至右依次为较高海拔地段天然次生灌丛,如 TWINSpan 分类所形成的 a、c 两组各样方海拔均在 1600 ~ 1900m 之间,环境条件冷凉、湿润,位于 DCA 排序图的最左边;中间各组样方为较低海拔地段的阴坡灌丛,生境条件相对温暖、干旱一些,而最右边各样方多为干旱阳坡地段灌丛植被。在第 1 轴坐标一致的情况下,DCA 第 2 轴直观地反映了各类型样方所在海拔梯度的差别,即热量条件的差异。对角线上各样方的排列顺序,综合反映了各样方的水分、热量和土壤等环境条件的差异,如前所述,TWINSpan 第 1 级划分结果,D2 类和 D3 类样方类型在图上有很明显的区分界线。排序图左上角为土石山区海拔最高的天然林下灌丛,中间部分为土石山区中低海拔林下灌丛或阴坡灌丛,右下角各样方则多为开阔地段的灌丛,群落内多没有明显的乔木层,包括土石山区阳坡、坡顶及干旱的黄土丘陵地段。这说明本地区处于半干旱地区,低海拔地段热量充足,但较为干旱,水分条件较差,而海拔较高地段,气温虽然低一些,但由于蒸发量较小,水分条件较为优越,更适合耐阴性或中生灌木种的生长。

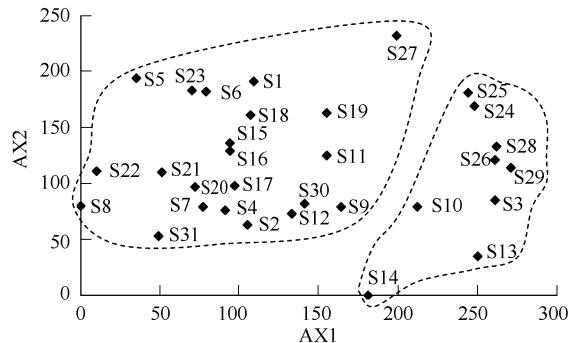


图2 样方 DCA 二维排序图

Fig. 2 Two-dimensional DCA ordination diagram of 31 plots S1 ~ S31 代表 1 ~ 31 号样方,同表 1 S1 ~ S31 was the sequence number of all the plots the same as talbe 1

关于 DCA 排序轴的环境解释,不同学者的研究结果差异较大。部分研究结果表明<sup>[8,11~17]</sup>,DCA 第 1 轴代

表示了热量 (海拔) 的变化,第 2 轴代表了水分因子的变化。相反,另外一部分研究则表明,DCA 第 1 轴代表代表了水分环境梯度,第 2 轴代表了热量环境梯度<sup>[1,12]</sup>,还有研究结果显示,第 1 或第 2 排序轴没有明显的生态学意义<sup>[13]</sup>。刘海江等研究了浑善达克沙地草本植物群落 DCA 排序轴与土壤养分的相关关系,认为第 1 轴很大程度上反映了土壤可溶性钠的含量梯度,第 2 排序轴则与 pH 值呈显著正相关<sup>[14]</sup>。由此可知,DCA 排序轴的环境解释在不同的研究地点,有可能得出不同的研究结论。在降雨相对丰富地区,可能热量因素更大程度上影响了植被的组成和空间分布,而在西部黄土高原等干旱地区,水分条件可能成为影响植被空间分布的主导因素,而在干旱荒漠地区,水分条件相差不大的地区,土壤养分含量也有可能成为影响植被分布的关键因子。

3.2 灌木种的分类和排序

数量分类和排序的研究方法多应用于群落或样方类型的划分<sup>[18-20]</sup>,但是,不少学者将其应用于物种的归类和排序,也取得了较好的研究结果。张桂莲等人对山西南部白羊草群落内 49 个物种进行了 DCA 排序<sup>[12]</sup>,曹杨等对山西五台山蓝花棘豆群落的 65 个种进行了 DCA 排序分析等<sup>[15]</sup>。本文根据各样方中灌木种的二元属性数据,应用 TWINSpan 和 DCA 的分析方法,对研究区域内的 29 个灌木种进行了数量分类和排序。通过这种二元属性数据的分析,可以分析物种的空间分布规律。

TWINSpan 分类结果如图 3 所示,第 1 级分类可将所有物种分成两类,第 1 大类各物种为本地区分布比较广泛的物种,而第 2 大类仅包括小檗、樱桃、山杏、对结木、山桃 5 个种,与第 1 大类不同的是,第 2 大类各物种多为干旱阳坡的典型指示种,其中樱桃为偶见种。这些物种生态位很窄,仅分布在干旱阳坡的样方中,而在水分条件较好的阴坡样方中基本没有分布。更为详细的分类可将所有灌木种划分为 4 个生态种组,如下所示:

- (1) 花红、沙棘、马氏忍冬和鼠李;
- (2) 红瑞木、金花忍冬、四川忍冬、美蔷薇、胡颓子、黄瑞香、山楂和皂柳、胡枝子、虎榛子、蒙古荚蒾、山西槭;
- (3) 北京丁香、黄刺梅、土庄绣线菊、灰栒子、葱皮忍冬、柠条锦鸡儿、白毛锦鸡儿、卫矛;
- (4) 小檗、樱桃、山杏、对结木、山桃。

分类结果很好的反映了各物种的空间分布特征及生态学特性。第 (1)、(2) 类各灌木种主要分布于土石山区,而在黄土丘陵区则很少有分布。其中沙棘在本地黄土丘陵地区分布也较少,且主要分布在海拔 1400m 以上的冷凉、湿润地段。其中第 (1) 类为偶见种,第 (2) 类为在土石山区广泛分布的物种。

第 (3)、(4) 类物种则不仅在土石山区有分布,而且在黄土丘陵地区也有分布,能够适应黄土丘陵干旱的环境条件。第 (3) 类各物种在黄土丘陵地区分布比较广泛,而第 (4) 类各物种除樱桃为偶见种外,其余各物种主要分布在干旱的阳坡地段,为干旱阳坡的典型指示种。

由图 4 可知,TWINSpan 分类所产生的 4 个生态种组在图上均有自己的分布范围和界线。偶见种多分布在排序图的边缘,包括花红、沙棘、对结木、山桃、山杏等。而在本地区广泛分布的种,包括北京丁香、黄刺玫、

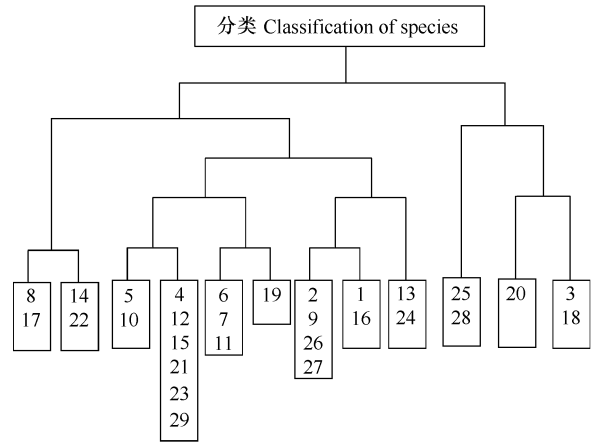


图 3 灌木种 TWINSpan 分类树状图

Fig. 3 Dendrogram of the TWINSpan classification of 29 shrub species in the adjacent region between the loess area and bedrock area of western Shanxi Province

- 1 葱皮忍冬 *Lonicera ferdinandii* 2 北京丁香 *Syringa pekinensis* ;
- 3 对结木 *Sageretia paucicostata* 4 红瑞木 *Cornus alba* ; 5 胡颓子 *Elaeagnus pungens* 6 胡枝子 *Lespedeza bicolor* 7 虎榛子 *Ostryopsis davidiana* 8 花红 *Malus asiatica* 9 黄刺玫 *Rosa xanthina* 10 黄瑞香 *Daphne giraldii* ; 11 蒙古荚蒾 *Viburnum mongolicum* ; 12 金花忍冬 *Lonicera chrysantha* ; 13 白毛锦鸡儿 *Caragana licentiana* ; 14 马氏忍冬 *Lonicera maackii* ; 15 美蔷薇 *Rosa bella* ; 16 柠条锦鸡儿 *Caragana korshinskii* ; 17 沙棘 *Hippophae rhamnoides* ; 18 山桃 *Amygdalus davidiana* ; 19 山西槭 *Acer shanxiensis* 20 山杏 *Armeniaca vulgaris* ; 21 山楂 *Crataegus pinnatifida* 22 鼠李 *Rhamnus davurica* 23 四川忍冬 *Lonicera szechuanica* ; 24 卫矛 *Euonymus alatus* ; 25 小檗 *Berberis thunbergii* 26 土庄绣线菊 *Spiraea pubescens* ; 27 灰栒子 *Cotoneaster acutifolia* 28 樱桃 *Cerasus tomentosa* 29 皂柳 *Salix wallichiana*

灰栒子、土庄绣线菊等则位于排序图的中心位置。DCA 第一轴基本反应了物种分布生境的水分条件,最左边的皂柳、美蔷薇等物种多分布在土石山区较高海拔的冷凉、湿润地段,最右边的对结木、山桃等物种则为干旱阳坡的指示种。DCA 第 2 轴生态学意义不明显。沿对角线各物种的排序反映了各物种的空间分布特征,左上方各物种主要分布在土石山区,与 TWINSpan 划分的第 (1)、(2) 类物种比较一致,而右下方各物种不仅在土石山区有分布,而且在黄土丘陵干旱地区也有分布,与 TWINSpan 划分的第 (3)、(4) 类物种基本相同,而且,这两种空间分布类型的物种在图中可以找到明显的区分界线(图 4)。

#### 4 结论与讨论

##### (1) 应用 TWINSpan 和 DCA 的分析方法,对晋西

黄土丘陵与土石山区交错地带次生森林及灌丛群落中的灌木层片和灌木种进行研究,得到了与客观实际比较一致的分类结果。调查样方基本包括了中阳县主要的天然森林及灌丛植被类型,共计 31 个样方,29 个灌木种。TWINSpan 分析结果表明,31 个样方的灌木层片被划分为 8 个组,主要灌木种可划分为 4 个组。DCA 排序结果与 TWINSpan 分类结果较为一致。

(2) 样方 DCA 排序第 1 轴反映了群落生境的水分环境条件,第 2 轴基本上反应了群落海拔梯度的变化,即热量条件的差异。对角线上各样方的排列顺序综合反映了水分、热量、土壤等环境条件的差异。土石山区各样方多位于排序图的左上方,而海拔较低的干旱黄土丘陵地区各样方则多位于排序图的右下方。

(3) 物种 DCA 排序图第 1 轴反映了各物种分布生境的水分条件,最左边为分布在较高海拔地段林下湿润环境中的植物种,包括美蔷薇、红瑞木等,而最右边则为典型的干旱阳坡指示种,包括对结木、山桃等。第 2 轴生态学意义不明显。沿对角线各物种的排序反映了各物种空间分布特征,左上方各物种多数只分布在土石山区。而右下方各物种不仅在土石山区有分布,而且在黄土丘陵干旱地区也有分布。

综上所述,采用 TWINSpan 分类结合 DCA 排序的研究方法,对晋西黄土丘陵与土石山区交错地带的天然次生森林及灌丛群落中的灌木层片和灌木种的数量特征进行了分析,取得了较好的分类结果。研究结果有助于深入理解该地区灌木种的空间分布格局及各灌木种的生态适应特性。可为今后造林植物材料的选择提供相应的理论依据。

#### References :

- [1] Liang Y M. Discussing issues about establishing vegetation on Loess Plateau to the law of community. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 1999, 19 (5) : 26 - 31.
- [2] Wu Q X, Yang W Z. Vegetation construction and its sustainable development in the Loess Plateau Region. Beijing : Science Press, 1998.
- [3] Dong L S, Zhang X D, Zhou J X, et al. Dynamics of forest community structure and complexity in the process of secondary succession in bedrock area of west Shanxi Province. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, (3) : 471 - 475.
- [4] Team of synthetic Research on Loess Plateau, Chinese Academy of Science. Integrated management and the planning of social and economic development of Zhongyang County of Shanxi Province. Beijing : Science Press, 1990. 1 - 10.
- [5] Zhang, J T. The methods in plant quantitative ecology. Beijing : Chinese Science and Technology Press, 1995.
- [6] 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.
- [7] Hu L L, Mao Z H, Zhu J J et al. Classification and ordination of secondary forests in montane zone of eastern Liaoning Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25 (11) : 2848 - 2854.

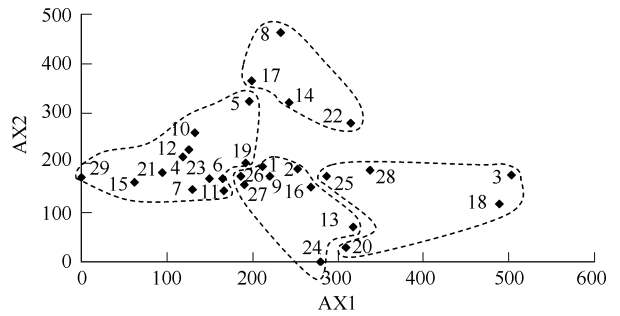


图 4 灌木种 DCA 二维排序图

Fig. 4 Two-dimensional DCA ordination diagram of 29 shrub species  
注:物种代码同图 3 (Notes: the code of species are coincident with species in Fig 3)



- [8] Shi Z M ,Liu S R ,Cheng R M ,Jiang Y X. Quantitative classification and ordination of plant communities in Baotianman ,Henan Province. *Scientia Silvae Sinicae* ,2000 ,36 (6) 20 – 27.
- [9] Liu Q F ,Kang M Y ,Liu Q R. Quantitative classification and environmental interpretation of forest tree species in Hungou Zhongtiao Mountain. *Journal of Plant Ecology* ,2006 ,30 (3) 383 – 391.
- [10] Zhu T C ,Zhong Z C. *Plant Ecology*. Beijing :Higher Education Press ,1988. 199 – 120.
- [11] Zhang F ,Zhang J T ,Zhang F. Pattern of forest vegetation and its environmental interpretation in Zhueigou ,Lishan Mountain Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica* ,2003 ,23 (3) 421 – 427.
- [12] Zhang G L ,Zhang J T ,Cheng L M. Quantitative classification and ordination of *Bothriochloa ischaemum* communities in mountain area of south Shanxi. *Acta Prataculturae Sinica* ,2003 ,12 (3) 63 – 69.
- [13] Zhang L X ,Zhang F ,Shang Guan T L. Quantity analysis of plant communities on Mountain Luya ,Shanxi. Chinese. *Bulletin of Botany* ,2001 ,18 (2) 231 – 239.
- [14] Liu H J ,Guo K. Classification and ordination analysis of plant communities in Interdune lowland in Hunshandak Sandy Land. *Acta Ecologica Sinica* ,2003 ,23 (10) 2163 – 2169.
- [15] Cao Y ,Shang Guan T L ,Zhang J T. The numerical classification and ordination of *Oxytropis coerulea* community of Wutai Mountain in Shanxi Province. *Journal of Plant Resources and Environment* ,2005 ,14 (3) 1 – 6.
- [16] Zhang X P ,Wang M B ,Y B ,Xiao Y. Numerical Classification and ordination of forest communities in Pangquandou Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica* ,2006 ,26 (3) 754 – 761.
- [17] Xi Y X ,Zhang J T ,Li J L. Quantitative classification and sorting of subalpine shrub and meadow land communities on Guandi Mountain. *Acta Prataculturae Sinica* ,2004 ,13 (1) 15 – 20.
- [18] Jiang H. DCA ordination ,environmental interpretation and geographical distribution model of spruce and fir plant communities in northwest Sichuan and south Gansu. *Acta Phytocologica Sinica* ,1994 ,18 (3) 209 – 218.
- [19] Wang X A ,Feng J ,Zhang H. Quantitative classification and ordination of vegetation in Maxian Mountain forest region. *Acta Phytocologica Sinica* ,1994 ,18 (3) 271 – 282.

#### 参考文献：

- [1] 梁一民. 从植物群落学原理谈黄土高原植被建造的几个问题. *西北植物学报* ,1999 ,19 (5) 26 ~ 31.
- [2] 吴钦孝 杨文治. 黄土高原植被建设与发展. 北京 :科学出版社 ,1998. 66 ~ 92.
- [3] 董林水 张旭东 周金星,等. 晋西土石山区森林次生演替过程中群落结构及复杂性. *应用生态学报* ,2007 ,(3) 471 ~ 475.
- [4] 中国科学院黄土高原综合科学考察队. 山西中阳县综合治理与经济发展战略规划. 北京 :科学出版社 ,1990. 3 ~ 5.
- [5] 张金屯. 植被数量生态学方法. 北京 :中国科学技术出版社 ,1995.
- [6] 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.
- [7] 胡理乐 毛志宏 朱教君,等. 辽东山区天然次生林的数量分类. *生态学报* ,2005 ,25 (11) 2848 ~ 2854.
- [8] 史作民 刘世荣 程瑞梅 蒋有绪. 河南宝天曼植物群落数量分类与排序. *林业科学* ,2000 ,36 (6) 20 ~ 27.
- [9] 刘秋锋 康慕谊 刘全儒. 中条山混沟地区森林乔木种的数量分类与环境解释. *植物生态学报* ,2006 ,30 (3) 383 ~ 391.
- [10] 祝廷成 钟章成. *植物生态学*. 北京 :高等教育出版社 ,1988. 199 ~ 120.
- [11] 张峰 张金屯 张峰. 历山自然保护区猪尾沟森林群落植被格局及环境解释. *生态学报* ,2003 ,23 (3) 421 ~ 427.
- [12] 张桂莲 张金屯 程林美. 山西南部山地白羊草群落数量分类和排序. *草业学报* ,2003 ,12 (3) 63 ~ 69.
- [13] 张丽霞 张峰 上官铁梁. 山西芦芽山植物群落数量分类. *植物学通报* ,2001 ,18 (2) 231 ~ 239.
- [14] 刘海江 郭柯. 浑善达克沙地丘间低地植物群落的分类与排序. *生态学报* ,2003 ,23 (10) 2163 ~ 2169.
- [15] 曹杨 上官铁梁 张金屯,等. 山西五台山蓝花棘豆群落数量分类和排序. *植物资源与环境学报* ,2005 ,14 (3) 1 ~ 6.
- [16] 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.
- [17] 席跃翔 张金屯 李军玲. 关帝山亚高山灌丛草甸群落数量分类与排序研究. *草业学报* ,2004 ,13 (1) 15 ~ 20.
- [18] 江洪. 川西北甘南云杉林的 DCA 排序、环境解释和地理分布的模型研究. *植物生态学报* ,1994 ,18 (3) 209 ~ 218.
- [19] 王孝安 冯杰 张怀. 甘肃马衔山林区植被的数量分类与排序. *植物生态学报* ,1994 ,18 (3) 271 ~ 282.

表1 样方信息表

Table 1 Some information of the plots in the adjacent region between the loess area and bedrock area

样方序号 No.	海拔 (m) Altitude	坡向 Aspect	坡度 (°) Slope gradient	坡位 Position on the slope	土壤类型 Soil type	乔木层优势种 Dominant species of arbor layer	乔木层盖度 (%) Coverage of arbor layer
1	1500	北 North	42	中 Middle	褐土 Cinnamon	辽东栎 蒙椴 Ql ,Tm	90
2	1500	东南 Southeast	20	上 Top	褐土 Cinnamon	辽东栎 白皮松 Ql ,Pb	50
3	1350	南 South	28	中 Middle	褐土 Cinnamon	无 absence	0
4	1600	西 West	19	上 High	褐土 Cinnamon	辽东栎 Ql	70
5	1750	东北 Northeast	23	中 Middle	褐土 Cinnamon	油松 辽东栎 Pt ,Ql	85
6	1700	东北 Northeast	23	中 Middle	褐土 Cinnamon	油松 辽东栎 Pt ,Ql	80
7	1800	北 North	15	坡顶 Top	褐土 Cinnamon	辽东栎 白桦 Ql ,Bp	70
8	1830	北 North	15	坡顶 Top	褐土 Cinnamon	白桦 辽东栎 Bp ,Ql	65
9	1350	北 North	10	下 Low	黄绵土 Loess	无 absence	0
10	1400	南 South	27	上 High	黄绵土 Loess	无 absence	0
11	1500	北 North	23	上 High	黄绵土 Loess	油松 Pt	85
12	1360	北 North	24	中 Middle	黄绵土 Loess	无 absence	0
13	1340	南 South	26	中 Middle	黄绵土 Loess	无 absence	0
14	1200	东 East	35	上 High	黄绵土 Loess	无 absence	0
15	1370	西 West	30	中 Middle	黄绵土 Loess	白皮松 Pb	75
16	1350	西 West	30	上 High	黄绵土 Loess	白皮松 Pb	70
17	1250	北 North	22	中 Middle	褐土 Cinnamon	白皮松 油松 Pb ,Pt	80
18	1360	北 North	25	下 Low	褐土 Cinnamon	辽东栎 Ql	85
19	1320	东北 Nouttheast	25	上 High	褐土 Cinnamon	白皮松 油松 Pb ,Pt	65
20	1590	东北 Nouttheast	24	下 Low	褐土 Cinnamon	辽东栎 山杨 Ql ,Pd	70
21	1600	北 North	24	下 Low	褐土 Cinnamon	辽东栎 白桦 Ql ,Bp	75
22	1900	西北 Nouthwest	20	下 Low	褐土 Cinnamon	白桦 山杨 Bp ,Pd	80
23	1770	西 West	20	下 Low	褐土 Cinnamon	白桦 山杨 Bp ,Pd	75
24	1700	东 east	18	坡顶 Top	褐土 Cinnamon	无 absence	0
25	1660	东 East	10	坡顶 Top	褐土 Cinnamon	无 absence	0
26	1490	东北 Northeast	10	坡顶 Top	黄绵土 Loess	无 absence	0
27	1360	东 East	23	下 Low	褐土 Cinnamon	白桦 Bp	50
28	1520	东 East	22	上 High	褐土 Cinnamon	无 absence	0
29	1400	南 South	25	上 High	褐土 Cinnamon	无 absence	0
30	1300	东 East	27	中 Middle	黄绵土 Loess	白皮松 侧柏 Pb ,Po	50
31	1500	西北 Northwest	20	上 High	黄绵土 Loess	油松 白皮松 Pt ,Pb	65

褐土为土石山区的主要土壤类型,而黄绵土则主要分布于黄土丘陵地区;“无”代表样方中未形成明显的乔木层 The cinnamon soil was main soil type of bedrock area ;while the loess soil was main soil type of loess hill area ;“absence ” mean that there was no arbor layer in the plots ;下同 the smae below

Ql : 辽东栎 *Quercus liaotungensis* ;Tm : 蒙椴 *Tilia mongolica* ;Pb : 白皮松 *Pinus bungeana* ;Pt : 油松 *Pinus tabulaeformis* ;Bp : 白桦 *Betula platyphylla* ;Pd : 山杨 *Populus davidiana* ;Po : 侧柏 *Platycladus orientalis*