

# 伊犁河谷北坡野果林木本植物种间关系 及环境解释

田中平<sup>1</sup> 庄 丽<sup>1\*</sup> 李建贵<sup>2</sup> 程模香<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (石河子大学生命科学学院, 新疆石河子 832000)

<sup>2</sup> (新疆农业大学林学院, 乌鲁木齐 830052)

**摘要:** 伊犁河谷北坡野果林是天山山脉中一个重要的植被类型, 对其种间关系进行研究将有助于揭示野果林群落的动态特征。我们于2009年在野果林的不同群落中设置了10个样地, 记录了群落的物种组成以及环境因子, 包括海拔、坡度和坡向, 测定了土壤含水率和有机质等土壤参数。采用 $\chi^2$ 检验、Pearson相关系数和Spearman秩相关系数检验等方法, 对野果林乔木层和灌木层种间关联性进行了研究。结果表明: Pearson相关检验优于 $\chi^2$ 检验, Spearman秩相关检验比Pearson相关检验更加灵敏; 乔木和灌木优势种绝大多数种对的联结关系未达到显著水平, 群落结构较为松散, 表明各群落可能处于演替的早期阶段; 在影响物种分布的环境因子中, 海拔起决定性的作用, 其次是坡向、土壤含水率、有机质、全氮和pH值。

**关键词:** 优势种群, 生态种组, 种间联结, 生态位重叠, 演替, 生态适应性, 环境解释

## Interspecific and environmental relationships of woody plant species in wild fruit-tree forests on the north slope of Ili Valley

Zhongping Tian<sup>1</sup>, Li Zhuang<sup>1\*</sup>, Jiangui Li<sup>2</sup>, Moxiang Cheng<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Life Sciences, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000

<sup>2</sup> Institute of Forest Sciences, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052

**Abstract:** The wild fruit-tree forest on the north slope of the Ili Valley is a living testament to the vegetative history of the Tianshan region. It is a type of broad-leaved forest appearing in the desert region. However, little is known about interspecific relationships among the major woody species or their process of succession. In 2009, we sampled 10 typical communities and investigated the abundance, height and coverage of woody plants as well as the topographical and soil conditions within each quadrat (20 m×20 m quadrats for trees, 10 m×10 m for shrubs). Interspecific associations were analyzed using continuity corrected  $\chi^2$  test, Pearson correlation and Spearman rank correlation. DCCA (detrended canonical correspondence analysis) was used to identify topographical and soil factors that affected woody plant distributions. The network diagram based on Pearson's and Spearman's rank correlation coefficients displayed interspecific relationships clearly. There were negative associations among overall tree or shrub species, indicating a strong independent relationship between species. However, correlation coefficients of most species pairs were insignificant, a fact that may be related to the community's developmental stage (the early succession stage) and the species' ecological traits. Positive correlations among the abundance of dominant species were likely due to similar ecological tolerances. This assertion is also supported by our analyses of woody plant distributions and environmental factors. DCCA analysis showed that elevation was the most dominant factor affecting the plant distribution, followed by aspect, soil moisture, organic matter, total nitrogen.

**Key words:** dominant population, ecological species groups, interspecific relationship, niche overlap, succession, ecological adaptation, environmental interpretation

物种的联结性与相关性 (interspecific relationship) 是植物群落重要的数量和结构特征之一(邓贤兰等, 2003), 而群落内部的生态学过程又受环境因子的影响(高琼等, 1996; 郭逍宇等, 2007)。对森林群落木本植物种间关系进行研究, 有利于认识森林植物之间、植物与环境之间的相互关系(张金屯和焦蓉, 2003)。国内外学者对植物种间关系、物种空间分布以及其与环境的关系进行了大量的研究(Bell, 2005; Dullinger, 2007; 简敏菲等, 2009; Gutiérrez-Girón & Gavilán, 2010), 并通过种间联结性分析了生态位重叠、群落演替、物种与环境关系(郭志华等, 1997; 周先叶等, 2000; 郭逍宇等, 2007)。

新疆西部天山伊犁谷地的野果林属于温带落叶阔叶林。由于其出现在荒漠地带山地, 因此常被认为是温带落叶阔叶林在大陆性地区的山地变型(张新时, 1973)。野果林中的主要种类有新疆野苹果(*Malus sieversii*)、野杏(*Armeniaca vulgaris*)、野核桃(*Juglans regia*)、天山樱桃(*Cerasus tianschanica*)、准噶尔山楂(*Crataegus songorica*)等(刘兴诗等, 1993), 其中新疆野苹果、野核桃和天山樱桃已被列入中国高等植物濒危及受威胁物种(陈灵芝, 1993)。鉴于该区域生态系统的特殊性和重要性, 新疆西部天山地区已被列入中国陆地生物多样性关键区之一(陈灵芝, 1993)。关于该地区野果林资源状况及其生境特征已有过一些研究(张新时, 1973; 刘兴诗等, 1993; 林培钧和崔乃然, 2000), 但对于种间关系及其与环境因子的关系研究较少。为此, 我们研究了野果林木本植物种间联结及其与环境的关系, 为野果林的保护和管理提供科学依据。

## 1 研究区概况

研究地点位于伊犁河谷北部, 地处欧亚大陆中部, 植被类型属于温带半灌木、小乔木荒漠地带, 野果林仅分布在伊犁谷底蒿类荒漠、山地寒温性针叶林、落叶阔叶林区(吴征镒, 1980)。土壤类型是山地黑棕色野果林土类, 其中新疆野苹果林、野核桃林的土壤多发育在深厚的黄土或黄土状母质上, 具有较厚的腐殖质, 呈黑棕色, 质地、结构良好, 富含碳酸盐和盐基物质, 肥力较高; 天山樱桃、野杏林的土壤多为坡积和洪积冲积母质, 土层较薄, 肥力较低(林培钧和崔乃然, 2000)。

气候类型属温带大陆性气候。野果林分布海拔下限(1,000 m)年降水量为580–660 mm; 在海拔1,776 m处年最大降水量超过1,000 mm(1970年达到1,139.7 mm), 多年平均为869.6 mm(胡汝骥, 2004)。1月平均气温为3.0℃, 平均最低气温为-7.4℃, 无霜期为130 d, 积雪期约150 d, 年日照时数2,500 h以上, > 10℃的年积温在3,000℃左右(顾鹤寿, 1993)。

## 2 方法

### 2.1 样地设置与数据采集

2009年6–7月在伊犁河谷北坡野果林内(以下简称“野果林”)选择具有代表性的植物群落进行样地调查。调查海拔范围为1,000–1,500 m, 共设置10个100 m×100 m的样地, 各样地环境因子见附录I。在每个样地中各设置1个20 m×20 m乔木样方和1个10 m×10 m灌木样方, 调查了多度、高度和盖度, 详见附录II。记录的环境因子包括海拔(ELEV)、坡度(SLOP)、坡向(ASP)、经度(LONG)和纬度(LAT), 以及土壤因子。其中土壤的取样方法是: 在每个样地随机取3个点分0–10 cm、10–20 cm及20–50 cm三层取土样, 带回实验室混合均匀风干用于分析, 测定土壤含水率(SM)、pH值、电导率(COND)、有机质(OM)、全氮(TN)、有效磷(AP)及有效钾(AK)。土壤含水率的测定用烘干法, pH值用电位测定法, 电导率用DDS-307电导率仪测定, 有机质用重铬酸钾容量法-外加热法, 全氮用高氯酸-硫酸消化法, 有效磷采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法, 有效钾用乙酸铵浸提-火焰光度计法测定(中国土壤学会农业化学专业委员会, 1983)。

由于有些样地内土层很薄而未能取到深层土样, 所以仅对表层土样的测定结果进行分析。

### 2.2 数据分析

#### 2.2.1 环境因子的量化

坡度范围为0°–90°; 坡向是将0°–360°的方位角转换为0–1之间的坡向指数TRASP(transformation of aspect)。TRASP指数越大表明越向阳, 反之越背阴, 其中1代表南偏西30°, 0代表北偏东30°。计算公式如下:

$$\text{TRASP} = \frac{1 - \cos[\pi(\text{aspect} - 30)/180]}{2} \quad (1)$$

式中TRASP表示坡向指数, aspect表示坡向度。

### 2.2.2 物种重要值的计算

分别计算出各物种的密度(D)、频度(F)、盖度(C), 以及相对多度(RD)、相对频度(RF)、相对盖度(RC)等基本信息, 分乔木层和灌木层计算重要值(IV):

$$IV(\%) = (RD+RF+RC)/3 \quad (2)$$

### 2.2.3 种间联结性分析

种间联结性分析采用基于 $2 \times 2$ 列联表的 $\chi^2$ 检验。由于取样为非连续性取样, 而卡方分布属于连续型分布, 数据分析时自由度为1以及细格理论(theory of lattice-based fine-coarse vector)期望次数小于5, 因此, 采用Yates的连续校正公式计算(张金屯, 2004)。

$$\chi^2 = \frac{N(|ad-bc|-0.5N)^2}{(a+b)(a+c)(b+d)(c+d)} \quad (3)$$

式中:  $N$ 表示总样方数;  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 是观测值,  $a$ 为两物种同时出现的样方数,  $b$ 、 $c$ 分别为仅有1个物种出现的样方数,  $d$ 为两物种均未出现的样方数。如果 $\chi^2 < 3.841$  ( $P < 0.05$ ), 认为两个种独立分布, 即中性联结;  $3.841 < \chi^2 < 6.635$  ( $0.01 < P < 0.05$ ), 认为种间联结显著;  $\chi^2 > 6.635$  ( $P < 0.01$ ), 认为种间联结极显著。当 $ad > bc$ 时为正联结,  $ad < bc$ 则为负联结。

### 2.2.4 种间相关性测定

在用 $\chi^2$ 检验来判断种间关联性时, 首先将原始数量数据转化为二元数据, 不可避免地会损失一定的信息量。并且 $\chi^2$ 检验仅能了解两个物种是否同时存在或不存在, 而无法了解随着某个种的数量指标(多度、重要值、盖度等)的变化以及另一个种的数量指标的变化情况。相关系数检验方法恰可弥补其不足(张峰等, 2000; 张金屯, 2004)。Pearson相关系数是反映两个物种间线性关系的重要指标(张金屯, 1995)。

Pearson相关系数计算公式如下:

$$r_p(i, j) = \frac{\sum_{k=1}^N (x_{ik} - \bar{x}_i)(x_{jk} - \bar{x}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^N (x_{ik} - \bar{x}_i)^2 \sum_{k=1}^N (x_{jk} - \bar{x}_j)^2}} \quad (4)$$

$N$ 为总样方数,  $x_{ik}$ 和 $x_{jk}$ 分别为种 $i$ 和种 $j$ 在样方 $k$ 中的多度。

Spearman秩相关系数如下:

$$r_s(i, j) = 1 - \frac{6 \sum_{k=1}^N d_k^2}{N^3 - N} \quad (5)$$

式中,  $r_s(i, j)$ 为Spearman秩相关系数,  $N$ 为总样方数,  $d_k = (x_{ik} - x_{jk})$ ,  $x_{ik}$ 和 $x_{jk}$ 分别为种 $i$ 和种 $j$ 在样方 $k$ 中的秩。

以上公式的计算和作图采用R语言的spaa程序包完成(Roberts, 2006)。

### 2.2.5 种间关系的环境解释

采用ter Braak(1997)设计的CANOCO软件包标准程序中的去趋势典范对应分析(DCCA)(张金屯, 1995)进行排序研究。物种数据矩阵采用物种重要值, 并采用公式 $D_i' = (D_i - D_{\min}) / (D_{\max} - D_{\min})$ 对10个环境因子(沈泽昊等, 2000), 即海拔、坡度、坡向、电导率、土壤有机质、土壤含水率、土壤pH值、土壤有效磷、有效钾、土壤全氮做归一化处理, 得到 $10 \times 10$ 的环境因子数据矩阵, 用以上两个基础数据矩阵进行分类和排序。

### 2.2.6 生态种组的划分

群落中生态习性相似的种可以归为同一生态种组(Müller-Dombois & Ellenberg, 1986; 郭志华等, 1997)。为了更真实地反映群落种间关系以及与环境因子的关系, 综合R软件和DCCA分析结果, 并参照郭志华等(1997)和简敏菲等(2009)的分组方法, 按照植物种群对光照主导因子的不同生态适应特性, 对18个优势种群进行生态种组划分。

## 3 结果

### 3.1 野果林群落物种间联结程度

#### 3.1.1 乔木层种间联结程度

$\chi^2$ 检验结果显示(表1), 乔木层21个种对中呈正联结的有11对, 负联结的有10对, 正联结和负联结的种对数几乎相等, 但极显著和显著正负联结的种对都为0。Pearson相关系数检验结果表明, 正相关种对数明显低于负相关的种对数。这两种检验都显示野果林种间联结强度较小, 说明种间联结松散, 物种间竞争较弱, 群落仍处于演替前期。

Pearson相关系数检验表明, 黄果山楂(*Crataegus chlorocarpa*)-天山桦(*Betula tianschanica*), 山杨(*Populus davidiana*)-天山花楸(*Sorbus tianschanica*)表现出极显著正相关关系, 黄果山楂-天山花楸表现出显著正相关关系, 表明它们在资源利用上存在竞争。而群落中重要的优势种群天山花楸-

野杏之间的联结性不强,它们与其他树种的联结性也不强,这可能是由于这两个优势种已有合适的生态位,与其他种群资源竞争较少。

Spearman相关检验结果表明,天山桦和天山樱桃表现出极显著负相关,这与生境有明显的相关性,其他结果与Pearson检验结果相差不大。从结果可以看出Pearson相关系数稍微夸大了检验程度,Spearman秩相关检验比Pearson相关检验更加灵敏。

3.1.2 灌木层种间联结程度

在灌木层中,χ<sup>2</sup>检验结果显示55个种对中有24对呈正联结,31对呈负联结;极显著和显著正负联结的种对数都为0,联结强度偏小(表1)。

与χ<sup>2</sup>检验结果相比,Pearson检验中,极显著正相关的种对数明显增加,种间联接强度较强。表明

灌木层物种比较稳定,能够合理分配资源,逐渐达到互利共生,共同存在。特别是像刚毛忍冬(*Lonicera hispida*)与梨果栒子(*Cotoneaster roborowskii*)、腺齿蔷薇(*Rosa albertii*)、红果小檗(*Berberis nummularia*)、大果栒子(*C. megalocarpus*),腺齿蔷薇与刚毛忍冬、红果小檗、大果栒子,红果小檗与大果栒子,梨果栒子与红果小檗,美丽木蓼(*Atraphaxis decipiens*)与梨叶木蓼(*A. pyrifolia*)均出现极显著的正相关,说明这些物种在这里生存已久,能够充分利用资源。

Spearman检验结果中出现了灌木层唯一呈显著负相关的种对刚毛忍冬与美丽木蓼,这两个种在地理位置上分布比较远。在正负相关种对数方面与χ<sup>2</sup>检验的结果比较一致,极显著正相关的种对数也

表1 χ<sup>2</sup>检验、Pearson相关检验、Spearman秩相关检验比较结果  
Table 1 Results of the χ<sup>2</sup>-test, Pearson's correlation coefficient and Spearman's rank correlation coefficient

检验方法 Tests		正相关 Positive				负相关 Negative			
		极显著 Extremely significant (P≤0.01)	显著 Significant (P≤0.05)	不显著 NS (P>0.05)	总数 Sum	极显著 Distinctly significant (P≤0.01)	显著 Significant (P≤0.05)	不显著 NS (P>0.05)	总数 Sum
乔木层 Tree layer	χ <sup>2</sup> 检验 χ <sup>2</sup> -test	0	0	11	11	0	0	10	10
	Pearson相关系数 Pearson's correlation coefficient	2	1	5	8	0	0	13	13
	Spearman相关系数 Spearman's correlation coefficient	2	0	8	10	1	0	10	11
灌木层 Shrub layer	χ <sup>2</sup> 检验 χ <sup>2</sup> -test	0	0	24	24	0	0	31	31
	Pearson相关系数 Pearson's correlation coefficient	11	1	2	14	0	0	41	41
	Spearman秩相关系数 Spearman's correlation coefficient	12	0	12	24	1	0	30	31

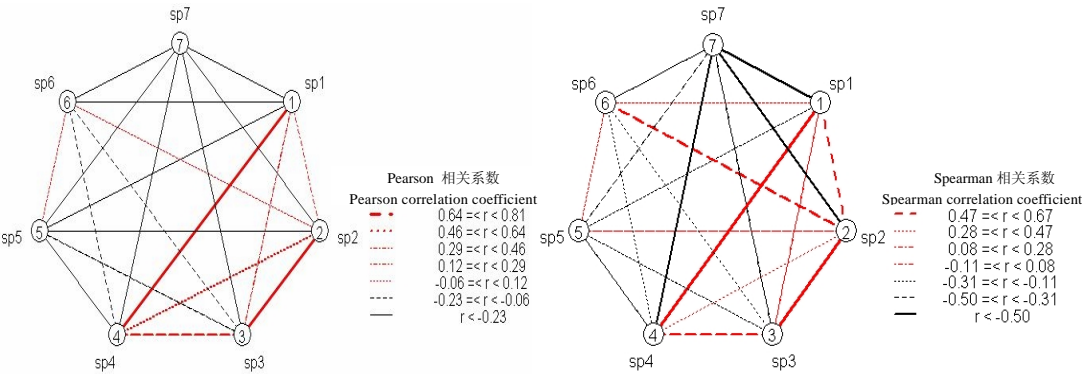


图1 乔木层优势种群间种间关联的Pearson和Spearman秩相关系数网状图。种序号同附录II。  
Fig. 1 Network graph of Pearson's correlation coefficient and Spearman's correlation coefficient of association of dominant populations in the tree layer. Species codes are shown in Appendix II.

和Pearson检验一样都比较高。

3.2 样地和物种的环境解释

从18种木本植物的DCCA二维排序图来看(图3), 第一轴基本上反映各物种所在生境的海拔梯度和坡向, 即沿DCCA第一轴从左到右, 海拔逐渐降低(海拔与DCCA第一轴相关系数为-0.9049)和坡向更加向阳(坡向与DCCA第一轴相关系数为0.8159),

并且土壤含水率(含水率与DCCA第一轴相关系数为-0.7573)、有机质(有机质与DCCA第一轴相关系数为-0.6677)、全氮(全氮与DCCA第一轴相关系数为-0.6539)也与第一轴的相关性较大; 第二轴基本上表现出植物种所在土壤pH值的变化趋势(pH值与第二轴相关系数为0.4923), 即沿DCCA第二轴从下到上, pH值逐渐减小。从图3中可看出, 海拔梯度

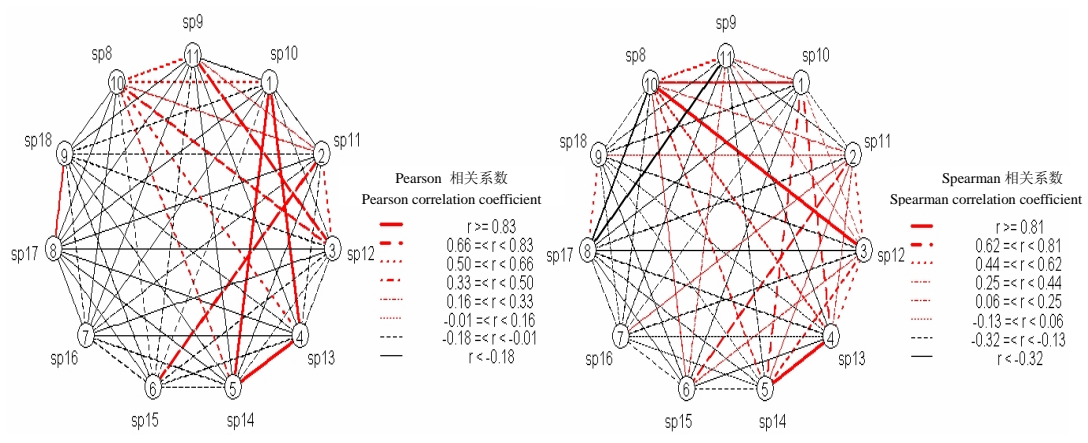


图2 灌木层优势种群间种间关联的Pearson和Spearman秩相关系数网状图。种序号同附录II。  
Fig. 2 Network graph of Pearson's correlation coefficient and Spearman's correlation coefficient of association of dominant populations in the shrub layer. Species codes are shown in Appendix II.

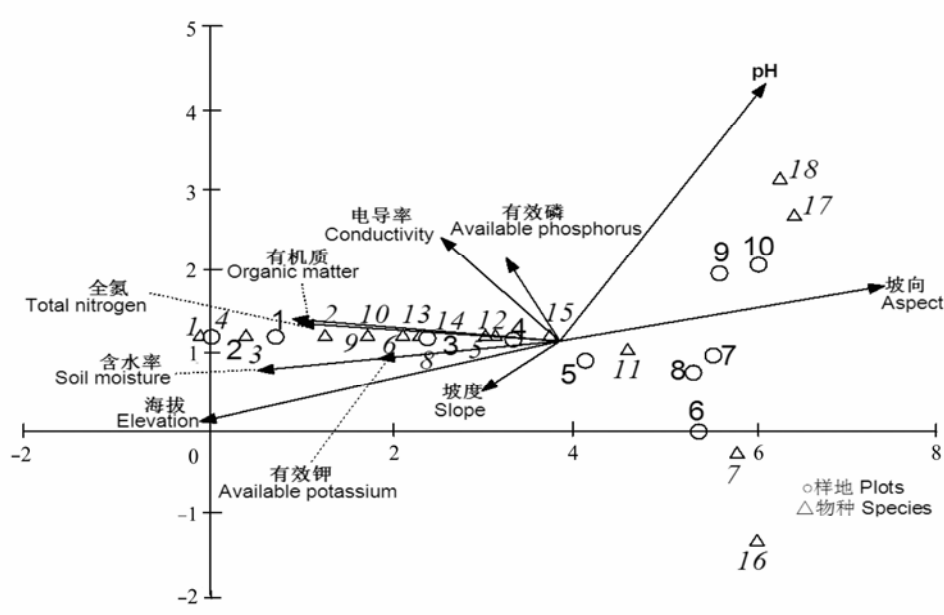


图3 伊犁河谷北坡野果林木本植物的DCCA二维排序。1-18为物种号, 详见附录II。  
Fig. 3 Two dimensional DCCA ordination diagram of woody plants in the wild fruit-tree forests on the north slope of Ili Valley. Species No. are shown in Appendix II.

表2 伊犁河谷北坡野果林18个优势种的生态种组划分  
Table 2 Ecological species groups of 18 dominant species in the wild fruit-tree forests on the north slope of Ili Valley

生态种组 Ecological species groups	物种 Species	主要生境因子 Habitat factor		
		阳光 Sunlight	水分 Water	营养 Nutrition
第一组 First groups	天山桦、山杨、天山花楸、黄果山楂、杏、刚毛忍冬、梨果栒子、腺齿蔷薇、红果小檗、大果栒子、复盆子、伊犁忍冬 <i>Betula tianschanica</i> , <i>Populus davidiana</i> , <i>Sorbus tianschanica</i> , <i>Crataegus chlorocarpa</i> , <i>Armeniaca vulgaris</i> , <i>Lonicera hispida</i> , <i>Cotoneaster roborowskii</i> , <i>Rosa albertii</i> , <i>Berberis nummularia</i> , <i>Cotoneaster megalocarpus</i> , <i>Rubus idaeus</i> , <i>Lonicera iliensis</i>	不足 Insufficient	充足 Abundant	充足 Abundant
第二组 Second groups	新疆野苹果、天山樱桃、金丝桃叶绣线菊、天山绣线菊、美丽木蓼、梨叶木蓼 <i>Malus sieversii</i> , <i>Cerasus tianschanica</i> , <i>Spiraea hypericifolia</i> , <i>S. tianschanica</i> , <i>Atraphaxis decipiens</i> , <i>A. pyrifolia</i>	充足 Abundant	不足 Insufficient	不足 Insufficient

是所有因子中对植物种分布起决定性作用的环境因子。

3.3 生态种组划分

按照植物种群对光照主导因子的不同生态适应特性, 18个优势种群可划分为喜阳植物和耐阴植物两大生态种组(表2)。同一生态种组的物种间多呈正关联, 不同生态种组的物种间多呈负关联。

4 讨论

4.1 种间联结性与群落演替的关系

植物群落在演替过程中, 种间联结的比例和联结强度将随时间的推移而增加(O'Connor & Aarssen, 1987; 王文进等, 2007)。我们的结果表明, 伊犁河谷北坡野果林木本植物种对间的正负关联比均小于1, 且极显著相关种对数比例较小, 说明群落仍具有明显的次生性或正处在演替的早期阶段。有研究表明, 随着演替的发展, 各物种之间将趋于正相关, 以达到多物种间的稳定共存(杜道林等, 1995; 周先叶等, 2000)。乔木层中的天山桦和黄果山楂、山杨和天山花楸, 灌木层中的刚毛忍冬与梨果栒子、腺齿蔷薇、红果小檗、大果栒子、复盆子, 腺齿蔷薇与梨果栒子、复盆子, 梨果栒子和复盆子等物种间出现极显著的正关联, 说明野果林群落整体还处在演替的前期, 而灌木层中出现较多的正相关关系, 表明随着群落的演替, 这些优势种群间正逐渐地趋于稳定。

4.2 种间联结性与生态位重叠的关系

物种间的联结性与其生态位重叠之间是密切相关的(彭少麟和王伯荪, 1985)。优势种群间的正联结性越强, 其生态位重叠值就越大; 反之, 种间的

负联结性越强, 其生态位重叠值就越小(郭志华等, 1997)。本研究中, 野果林木本植物种对间的正关联比负关联种对数少, 极显著相关种对数比例较小, 所以种群间生态位重叠性较小。乔木层中仅优势种群天山桦和黄果山楂、山杨和天山花楸之间出现极显著的正关联, 表现出较高的生态位重叠。当两个物种利用同一资源或共同占有某一资源因素(食物、营养成分、空间等)时, 就会出现生态位重叠(张金屯, 2004), 当资源不足时, 就会产生竞争。在灌木层中的刚毛忍冬与梨果栒子, 腺齿蔷薇与梨果栒子, 梨果栒子和复盆子等种对间表现出极显著的正关联, 说明它们能在同一生境下共存, 但如果生境的剧烈变化, 如人为的干扰, 可能引起这些共生种群的衰退或反向演替。

4.3 种间联结性与环境的关系

种间的联结性通常被认为受到环境驱动和资源竞争的影响(Kershaw & Looney, 1985; 周先叶等, 2000; 张峰等, 2002)。本研究中, 乔木和灌木层负相关的种对相对较多, 说明在伊犁河谷北坡野果林许多物种之间存在竞争, 其中天山桦和天山樱桃, 刚毛忍冬和美丽木蓼呈显著负相关, 它们在资源的竞争方面较为激烈。当然, 物种之间的关系是十分复杂的, 既不完全受环境条件制约, 也会随环境条件变化而变化(Jonsson & Moen, 1998)。保护生物多样性最关键的是保护其生境(林大影等, 2008)。DCCA排序图与生态种组的划分表明, 海拔梯度是对物种分布起决定性作用的环境因子; 其次为坡向、土壤含水率、有机质、全氮、pH值等。正联结的物种生境特征比较一致, 负联结的物种生境特征刚好相反。当然, 种间关系只用样方调查数据进行数学分

析和单一的环境解释还不够。并且, 本文只是调查了天山野果林的一个分布区, 要全面了解野果林的种间关系, 还需要做进一步的调查和分析。

**致谢:** 感谢中国科学院新疆生态与地理研究所陈亚宁研究团队对野外调查的大力支持, 特别是徐远杰博士对数据的辛苦整理。以及中国科学院植物所张金龙博士所提供的R软件中的spaa程序包和石河子大学生命科学学院刘彤教授对本文的指导。

## 参考文献

- Agricultural Chemistry Committee of Soil Science Society of China (中国土壤学会农业化学专业委员会) (1983) *Conventional Methods for the Agricultural Chemical Analysis of Soil* (土壤农业化学常规分析方法). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Bell G (2005) The co-distribution of species in relation to the neutral theory of community ecology. *Ecology*, **86**, 1757–1770.
- Chen LZ (陈灵芝) (1993) *China's Biodiversity: Current Status and Protective Measures* (中国的生物多样性: 现状及其保护对策). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Deng XL (邓贤兰), Liu YC (刘玉成), Wu Y (吴杨) (2003) Interconnection among dominant plant populations of *Castanopsis* community in Jinggang Mountain Nature Reserve. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **27**, 531–536. (in Chinese with English abstract)
- Du DL (杜道林), Liu YC (刘玉成), Li R (李睿) (1995) Studies on the interspecific association of dominant species in a subtropical *Castanopsis fargesii* forest of Jinyun Mountain, China. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **19**, 149–157. (in Chinese with English abstract)
- Dullinger S, Kleinbauer I, Pauli H (2007) Weak and variable relationships between environmental severity and small scale cooccurrence in alpine plant communities. *Journal of Ecology*, **95**, 1284–1295.
- Gao Q (高琼), Li JD (李建东), Zheng HY (郑慧莹) (1996) A modeling study on responses of alkaline grassland ecosystem to climate change in light of diversity and spatial patterns. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), **38**, 18–30. (in Chinese with English abstract)
- Gu HS (顾鹤寿) (1993) On plant resources of inversion layer in Yili. *Journal of Plant Resources and Environment* (植物资源与环境), **2**(2), 12–15. (in Chinese with English abstract)
- Guo XY (郭逍宇), Zhang JT (张金屯), Gong HL (宫辉力), Zhang GL (张桂莲) (2007) Interspecific associations of restored vegetation and related soil factors in Antaibao Mine, Shanxi. *Biodiversity Science* (生物多样性), **15**, 46–52. (in Chinese with English abstract)
- Guo ZH (郭志华), Zhuo ZD (卓正大), Chen J (陈洁), Wu MF (吴梅凤) (1997) Interspecific association of trees in mixed evergreen and deciduous broadleaved forest in Lushan Mountain. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **21**, 424–432. (in Chinese with English abstract)
- Gutiérrez-Girón A, Gavilán RG (2010) Spatial patterns and interspecific relations analysis help to better understand species distribution patterns in a Mediterranean high mountain grassland. *Plant Ecology*, **210**, 137–151.
- Hu RJ (胡汝骥) (2004) *Physical Geography of the Tianshan Mountains in China* (中国天山自然地理). Chinese Environmental Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Jian MF (简敏菲), Liu Q (刘琪), Zhu D (朱笃), You H (游海) (2009) Interspecific correlations among dominant populations of tree layer species in evergreen broad-leaved forest in Jiulianshan Mountain of subtropical China. *Chinese Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), **33**, 672–680. (in Chinese with English abstract)
- Jonsson BG, Moen J (1998) Patterns in species associations in plant communities: the importance of scale. *Journal of Vegetation Science*, **9**, 327–332.
- Kershaw KA, Looney JH (1985) *Quantitative and Dynamic Plant Ecology*, pp. 78–94. Edward Arnold Limited, London.
- Lin DY (林大影), Xian DY (鲜冬娅), Xing SH (邢韶华), Cui GF (崔国发), Zhang WL (张文林) (2008) Interspecific association analysis in dominant species of *Juglans mandshurica* community in Wuling Mountain Nature Reserve of Beijing. *Journal of Beijing Forestry University* (北京林业大学学报), **30**(5), 154–158. (in Chinese with English abstract)
- Lin PJ (林培钧), Cui NR (崔乃然) (2000) *The Resource of Wild Fruit-tree Forests in Tianshan Mountain: General Study on Wild Fruit-tree Forests in Ili, Xinjiang* (天山野果林资源: 新疆伊犁野果林综合研究). China Forestry Publishing House, Beijing. (in Chinese)
- Liu XS (刘兴诗), Lin PJ (林培钧), Zhong JP (钟骏平) (1993) An analysis and inquiry into the wild apple trees in Ili. *Arid Zone Research* (干旱区研究), **10**(3), 28–30. (in Chinese with English abstract)
- Müller-Dombois D, Ellenberg H (translated by Bao XC (鲍显诚), Zhang S (张绅), Yang BS (杨邦顺), Jin ZZ (金振洲), Tang TG (唐廷贵), Yao BJ (姚璧君)) (1986) *Aims and Methods of Vegetation Ecology* (植被生态学的目的和方法). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- O'Connor I, Aarssen LW (1987) Species association patterns in abandoned sand quarries. *Vegetatio*, **73**, 101–109.
- Peng SL (彭少麟), Wang BS (王伯荪) (1985) The measured technique of interspecific association of the lower subtropical evergreen broadleaved forests. II. Sample technique. *Tropical and Subtropical Forest Ecosystem* (热带亚热带森林生态系统研究), **4**, 167–173. (in Chinese with English abstract)
- Roberts DW (2006) Labdsv: *Laboratory for Dynamic Synthetic*



- Vegephenomenology. R package version 1.2.2.1.* <http://cran.r-project.org/mirrors/html>.
- Shen ZH (沈泽昊), Zhang XS (张新时), Jin YX (金义兴) (2000) Spatial pattern analysis and topographical interpretation of species diversity in the forests of Dalaoling in the region of the Three Gorges. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), **42**, 620–627. (in Chinese with English abstract)
- ter Braak CJF (1997) *Update Notes: CANOCO, Version 4.8*. Agricultural Mathematics Group, Wageningen.
- Wang WJ (王文进), Zhang M (张明), Liu FD (刘福德), Zheng JW (郑建伟), Wang ZS (王中生), Zhang ST (张世挺), Yang WJ (杨文杰), An SQ (安树青) (2007) Species association in tropical montane rain forest at two successional stages in Diaoluo Mountain of Hainan Island. *Biodiversity Science* (生物多样性), **15**, 257–263. (in Chinese with English abstract)
- Wu ZY (吴征镒) (1980) *Vegetation of China* (中国植被). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Zhang F (张峰), Shangguan TL (上官铁梁) (2000) Numerical analysis of interspecific relationship in all *Elaeagnus mollis* community in Shanxi. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), **24**, 351–355. (in Chinese with English abstract)
- Zhang F (张峰), Zhang JT (张金屯), Han GY (韩广业) (2002) Interspecific relationships and environmental interpretation of the main tree species in the forest communities of Zhuweigou in Lishan Mountain Nature Reserve. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), **26**, 52–56. (in Chinese with English abstract)
- Zhang JT (张金屯) (1995) *Methods of Quantitative Vegetation Ecology* (植被数量生态学方法). Chinese Science and Technology Press, Beijing. (in Chinese)
- Zhang JT (张金屯) (2004) *Quantitative Ecology* (数量生态学). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Zhang JT (张金屯), Jiao R (焦蓉) (2003) Interspecific association between woody plants in Shenweigou of Guandi Mountains, Shanxi Province. *Bulletin of Botanical Research* (植物研究), **23**, 458–463. (in Chinese with English abstract)
- Zhang XS (张新时) (1973) On the eco-geographical characters and the problems of classification of the wild fruit-tree forest in the Ili Valley of Sinkiang. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), **15**, 239–253. (in Chinese with English abstract)
- Zhou XY (周先叶), Wang BS (王伯荪), Li MG (李鸣光), Zan QJ (咎启杰) (2000) An analysis of interspecific associations in secondary succession forest communities in Heishiding Nature Reserve, Guangdong Province. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), **24**, 332–339. (in Chinese with English abstract)

(责编委: 王国宏 责任编辑: 周玉荣)

#### 附录I 伊犁河谷北坡野果林10个样地的基本环境因子概况

Appendix I Environmental variables of 10 plots in the wild fruit-tree forests on the north slope of Ili Valley

(<http://www.biodiversity-science.net/CN/article/downloadArticleFile.do?attachType=PDF&id=9508>)

#### 附录II 伊犁河谷北坡野果林10个样地的优势物种及其数量特征

Appendix II Dominant species and their abundance, height, and coverage in 10 plots in the wild fruit-tree forests on the north slope of Ili Valley

(<http://www.biodiversity-science.net/CN/article/downloadArticleFile.do?attachType=PDF&id=9508>)



附录I 伊犁河谷北坡野果林10个样地的基本环境因子概况  
Appendix I Environmental variables of 10 plots in the wild-fruit forests on the north slope of Ili Valley

样地 Plot	经度 LONG (°)	纬度 LAT (°)	海拔 ELEV (m)	坡度 Slope (°)	坡向 Aspect	土壤含水率 SM (%)	pH	电导率 COND (μs/cm)	有机质 OM (g/kg)	全氮 TN (g/kg)	有效磷 AP (mg/kg)	有效钾 AK (mg/kg)
1	81.62	44.259	1,445	36.87	0.2425	23.67	7.58	150	61.51	2.77	5.01	298
2	81.62	44.259	1,435	44.43	0.0904	8.48	7.24	70	78.50	3.63	4.31	565
3	81.598	44.236	1,313	32	0.1343	17.58	7.39	170	135.38	6.09	22.58	1515
4	81.598	44.235	1,367	23.56	0.3372	7.49	7.53	120	36.92	1.68	2.93	265
5	81.598	44.235	1,376	23.56	0.9532	10.20	7.29	110	78.91	3.53	4.73	430
6	81.598	44.317	1,204	40	0.7500	5.51	7.48	100	17.77	0.86	2.93	306
7	81.598	44.15	1,205	35	0.9981	3.50	7.43	70	30.25	1.92	10.68	241
8	81.598	44.15	1,214	36.87	0.3875	3.07	7.62	90	9.52	0.47	2.65	93
9	81.598	44.15	1,142	40	0.8830	2.47	7.63	120	14.11	0.75	10.4	148
10	81.598	44.15	1,139	30	1.0000	2.17	7.85	100	23.52	1.08	2.1	175

LONG, Longitude (E); LAT, Latitude (N); ELEV, Elevation; SM, Soil moisture; COND, Conductivity; OM, Organic matter; TN, Total nitrogen; AP, Available phosphorus; AK, Available potassium.

附录II 伊犁河谷北坡野果林10个样地的优势物种及其数量特征  
Appendix II Dominant species and their abundance, height, and coverage in 10 plots in the wild-fruit forests on the north slope of Ili Valley

样地号 Plot	种名 Species	种号 Species No.	多度 Abundance	平均高度 Average height (m)	总盖度 Coverage (%)
1	天山桦 <i>Betula tianschanica</i>	Sp1	6	7.44	40.40
	山杨 <i>Populus davidiana</i>	Sp2	6	4.95	36.55
	天山花楸 <i>Sorbus tianschanica</i>	Sp3	1	7.00	1.88
	黄果山楂 <i>Crataegus chlorocarpa</i>	Sp4	1	4.00	9.00
	刚毛忍冬 <i>Lonicera hispida</i>	Sp8	1	1.60	3.61
	梨果栒子 <i>Cotoneaster roborowskii</i>	Sp9	1	2.00	3.60
	腺齿蔷薇 <i>Rosa albertii</i>	Sp10	4	0.98	4.76
2	天山桦 <i>Betula tianschanica</i>	Sp1	21	8.47	130.55
	黄果山楂 <i>Crataegus chlorocarpa</i>	Sp4	1	1.60	1.27
	梨果栒子 <i>Cotoneaster roborowskii</i>	Sp9	1	1.57	4.93
3	金丝桃叶绣线菊 <i>Spiraea hypericifolia</i>	Sp11	15	0.57	11.93
	刚毛忍冬 <i>Lonicera hispida</i>	Sp8	5	0.65	7.28
	野杏 <i>Armeniaca vulgaris</i>	Sp5	4	3.68	24.32
	天山桦 <i>Betula tianschanica</i>	Sp1	2	3.14	45.00
	腺齿蔷薇 <i>Rosa albertii</i>	Sp10	12	0.81	34.12
	野苹果 <i>Malus sieversii</i>	Sp6	4	1.64	4.47
	红果小檗 <i>Berberis nummularia</i>	Sp12	1	0.37	0.16
	大果栒子 <i>Cotoneaster megalocarpus</i>	Sp13	1	0.67	7.35
	山杨 <i>Populus davidiana</i>	Sp 2	1	2.16	3.01
	复盆子 <i>Rubus idaeus</i>	Sp14	56	0.31	22.86
4	野杏 <i>Armeniaca vulgaris</i>	Sp5	16	3.71	22.16
	伊犁忍冬 <i>Lonicera iliensis</i>	Sp15	2	1.67	2.15
	刚毛忍冬 <i>L. hispida</i>	Sp8	5	1.30	2.71
	红果小檗 <i>Berberis nummularia</i>	Sp12	30	0.68	33.11
	金丝桃叶绣线菊 <i>Spiraea hypericifolia</i>	Sp11	44	0.78	39.78
	梨果栒子 <i>Cotoneaster roborowskii</i>	Sp9	2	0.85	0.09

5	野杏 <i>Armeniaca vulgaris</i>	Sp5	14	1.43	33.68
	天山樱桃 <i>Cerasus tianschanica</i>	Sp7	10	0.95	13.38
	伊犁忍冬 <i>Lonicera iliensis</i>	Sp15	19	1.90	41.55
	金丝桃叶绣线菊 <i>Spiraea hypericifolia</i>	Sp11	57	0.71	11.39
6	金丝桃叶绣线菊 <i>S. hypericifolia</i>	Sp11	14	0.36	5.12
	天山樱桃 <i>Cerasus tianschanica</i>	Sp7	143	0.22	0.96
	天山绣线菊 <i>Spiraea tianschanica</i>	Sp16	1	0.62	0.55
7	金丝桃叶绣线菊 <i>S. hypericifolia</i>	Sp11	8	0.68	7.02
	美丽木蓼 <i>Atraphaxis decipiens</i>	Sp17	1	1.56	1.21
	天山樱桃 <i>Cerasus tianschanica</i>	Sp7	245	0.16	1.20
8	天山樱桃 <i>C. tianschanica</i>	Sp7	161	0.14	0.62
	金丝桃叶绣线菊 <i>Spiraea hypericifolia</i>	Sp11	8	0.66	4.01
	美丽木蓼 <i>Atraphaxis decipiens</i>	Sp17	4	0.32	0.56
9	金丝桃叶绣线菊 <i>Spiraea hypericifolia</i>	Sp11	12	0.27	2.10
	美丽木蓼 <i>Atraphaxis decipiens</i>	Sp17	21	0.19	2.12
	梨叶木蓼 <i>A. pyrifolia</i>	Sp18	1	0.10	0.01
10	美丽木蓼 <i>A. decipiens</i>	Sp17	20	0.23	2.68
	天山樱桃 <i>Cerasus tianschanica</i>	Sp7	5	0.05	40.00
	金丝桃叶绣线菊 <i>Spiraea hypericifolia</i>	Sp11	1	0.23	0.14

Sp1-7 为乔木, Sp8-18 为灌木 Species 1-7 belong to trees, Species 8-18 belong to shrubs.