

# 岷江干旱河谷植物群落物种周转速率 与环境因子的关系

关文彬<sup>1</sup>, 冶民生<sup>1</sup>, 马克明<sup>2</sup>, 刘国华<sup>2</sup>, 汪西林<sup>1</sup>, 谭 辉<sup>1</sup>

(1. 北京林业大学水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083; 2. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

**摘要:**通过对岷江干旱河谷植被及其环境因子的系统取样调查,采用  $\beta$  多样性指数-Cody 指数,从海拔、样带、群系、地形以及土壤养分、水分梯度上研究了该地区植物群落的物种周转速率。结果表明:随海拔的升高,物种周转速率表现出“高-低-高”的变化规律。在海拔1300~1600m 和1900~2200m 这两个海拔段,物种平均替代速率均较高;而在1600~1900m 海拔段,物种平均替代速率较低。 $\beta$  多样性在样带梯度上的变化表现为干旱河谷核心区的样带较南部和北部过渡区的样带有较高的物种周转速率,这与样带所处的环境条件有关。群系之间的  $\beta$  多样性表现为:华帚菊-小黄素馨灌丛、金花小檗-忍冬灌丛、黄花亚菊灌丛、子柝灌丛、小花滇紫草灌丛、荛灌丛、绣线菊灌丛与其它灌丛之间有着较高的物种周转速率。坡面不同地形上的物种周转速率,不同坡向,阴坡>半阴半阳坡>阳坡;不同坡形,凹坡>平坡>凸坡;不同坡位,下坡位>上坡位>中坡位。 $\beta$  多样性在土壤水分和养分梯度上的变化表现为与土壤水解N、速效K、全N 含量、全P 含量以及土壤含水量成显著的二次曲线关系,与土壤有机质和全K 含量也呈现出二次曲线关系,但关系不显著,与pH 值和速效P 之间没有明显的规律。

**关键词:**植物群落;环境梯度;物种周转速率; $\beta$  多样性;岷江干旱河谷

## The relationships between plant community species turnover rates and environmental factors in the arid valley of Minjiang River

GUAN Wen-Bin<sup>1</sup>, YE Min-Sheng<sup>1</sup>, MA Ke-Ming<sup>2</sup>, LIN Guo-Hua<sup>2</sup>, WANG Xi-Lin<sup>1</sup>, TAN Hui<sup>1</sup> 1. Key Lab. of Soil and Water Conservation and Desertification Combating, Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083; 2. Research Center for Eco-Environment Sciences, CAS, Beijing, 100085, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(11): 2367~2373.

**Abstract:** The arid valley of the upper reaches of the Minjiang River is located in the transition zone between the Qinghai-Tibet plateau to the Sichuan Basin. It has a typical arid valley climate with complex topography and variable water and heat conditions. A long history of anthropogenic influences combined with severe natural environments resulted in degraded vegetations dominated by xeric shrubs. The objective of this study was to relate the plant community species turn over rates to their environments to provide a basic scientific data for ecosystem restoration and management in the region. In the arid valley of the Minjiang River, we established six transects along altitude gradients where vegetation compositions and fourteen environmental factors that describe the topography, soil water and nutrient status, were measured.

The  $\beta$  diversity, calculated by the Cody index, was used as species turnover rate of plant community in the study area. We found that altitude gradient had great influence on the distribution of biodiversity. The  $\beta$  diversity values showed a “high-low-high” trend with the increasing of altitude in the area. Both herbs and shrubs layers had high species turnover rates at the 1300~1600 m and 2000~2200 m altitudes, while low species turnover rate were found at the 1600~1900 m altitude. The central area of the valley had higher  $\beta$  diversity than the north and south transition zones, presumably due to the differences of

**基金项目:**国家重点基础研究发展规划资助项目(G2000046807)

**收稿日期:**2004-06-22; **修订日期:**2004-09-20

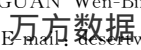
**作者简介:**关文彬(1965~),男,博士,副教授,主要从事植被生态、生物多样性保护和荒漠化防治研究。

**致谢:**张文辉、康永祥、吴建安、周建云、吕一河、谢春华、张育新、卢涛等同志参加了野外工作,在此表示感谢

**Foundation item:** State Key Basic Research and Development Plan (No. G2000046807).

**Received date:** 2004-06-22; **Accepted date:** 2004-09-20

**Biography:** GUAN Wen-Bin, Ph. D., Associate Professor, mainly engaged in vegetation ecology, biodiversity conservation, desertification combating. E-mail: gwxw@bjfu.edu.cn



environmental conditions.

There were 11 typical plant formations in the study area. Our study suggested that Form. *Pertya sinensis*, *Jasminum humile*, Form. *Berberis wilsonae*, *Lonicera japonica*, Form. *Ajania brevilooba*, Form. *Quercus cocciferoides*, Form. *Onosma farreri*, Form. *Caryopteris* spp., Form. *Spiraea* Spp had higher species turnover rate than other plant formations. Topography plays an important role in the distribution of vegetation as well as biodiversity. We also found that species turnover rate varied according to slope directions with a trend: north facing slope > half south facing and half north facing slope > south facing slope. Species turnover rates also varied among slope positions and slope shapes with ranking in an order lower slope > middle slope > upper slope, and concave slope > straight slope > convex slope, respectively. Soil water and nutrient status were found to be the most important limiting factors for plant growth and development in the area. We found that except for soil pH value and available P, significant quadratic relationships existed between hydrolyzable N, available K, total P, total N, soil water content and  $\beta$  diversity. Soil organic matter content and total K were also correlated with  $\beta$  diversity in the form of a quadratic curve, but correlation was not significant. Changes of  $\beta$  diversity did not have significant correlations with soil pH and available P.

**Key words:** Plant community; environmental gradient; species turnover rate;  $\beta$  diversity; the arid valley of Minjiang River

文章编号:1000-0933(2004)11-2367-07 中图分类号:Q143 文献标识码:A

$\beta$ 多样性是群落环境异质性的表征,是群落多样性的重要内容,它可以定义为沿着某一环境梯度物种替代的程度或速率、物种周转率、生物变化速度等<sup>[1]</sup>。物种多样性的空间分布格局受制于许多生态梯度的影响<sup>[2,3]</sup>,研究植物群落物种多样性随环境因子梯度的变化特征是揭示生物多样性与生态因子相互关系的重要方面<sup>[4,5]</sup>。物种组成和多样性的变化可使生物群落的功能发生变化<sup>[6]</sup>,从而导致生态系统结构和功能的改变,这种改变进而影响整个区域的生态过程<sup>[7,8]</sup>, $\beta$ 多样性不仅能反映出地段之间物种构成的差异,而且可以直接反映环境的异质性,在生物多样性的研究中是非常重要的<sup>[9]</sup>。

干旱河谷是我国西南地区山地的特殊类型,在同区域山地垂直带中,干旱河谷带是相对脆弱的地带,是长江上游山地生态环境最脆弱,存在问题最多,也是在山区整治中最关键和最困难的一种特殊地域类型。以往对岷江干旱河谷的研究关注最多的是植被恢复和生态重建问题<sup>[10,11]</sup>以及灌丛生物量的研究<sup>[12]</sup>,而对于干旱河谷植物群落多样性及其与环境的系统的研究只有少量的报道<sup>[13,14]</sup>。采用 $\beta$ 多样性指数分析不同环境梯度上岷江干旱河谷灌丛植物群落的物种周转速率,力图揭示群落之间的关系及影响群落分布的主要环境因子,有助于了解某一梯度变化对干旱河谷植物群落物种多样性变化的影响,全面认识群落的结构和功能特征,掌握干旱河谷地区植被分布的一般特点,为干旱河谷地区的植被恢复及生物多样性的保育提供科学依据。

## 1 研究地区概况

研究地区概况及样带、样地设计,取样方法和数据的采集参见文献<sup>[14]</sup>。

## 2 研究方法

采用 $\beta$ 多样性指数-Cody 指数<sup>[13]</sup> $\beta_c$ 来研究植物群落的物种周转速率: $\beta_c = [g(H) + l(H)]/2$ ;

式中, $g(H)$ 是沿生境梯度 $H$ 增加的物种数目; $l(H)$ 是沿生境梯度 $H$ 失去的物种数目,即在上一个梯度中存在的而在下一个梯度中没有的物种数目。

将群落进行灌木和草本分层计算。以海拔1300m为起点,垂直高度每隔100m,按照调查样方所处的海拔高度对调查数据进行分组,共划分出9个样方组。将位于某一海拔段的群落组与其他8个高程段群落组之间的 $\beta$ 多样性指数值相加,并用该和值除以8所得的平均值表示某一海拔高程段群落与其它高程段的群落之间的物种周转速率。该平均值越大,物种组成与其它高程段的物种组成差别越大,物种周转速率也就越高, $\beta$ 多样性就越高;该平均值越小,物种周转速率也就越低, $\beta$ 多样性越低。

采用双向指示种分析-TWINSPAN进行群落分类,得到的11个植物群系,是岷江干旱河谷具有代表性的典型植物群系,具体划分过程见文献<sup>[13]</sup>。仍按海拔梯度上的算法求算各群系与其它群系之间 $\beta$ 多样性的平均值。

样带上群落之间的 $\beta$ 多样性分析采用了两组数据,其一是每条样带上位于最下和最上部的两个样方间的指数 $\beta_c$ ,另一个是样带上每两个相邻样方之间 $\beta_c$ 的平均值 $\beta'_c$ ,两组数据一方面反映出坡面不同部位的灌丛植物群落的物种周转速率,另一方面也反映出海拔高度的影响<sup>[15]</sup>。样带间的 $\beta$ 多样性按海拔梯度上的算法求算。

## 3 结果与分析

### 3.1 海拔梯度上的物种周转速率

从图1可见数据,无论是草本层、灌木层还是灌木草本整体, $\beta$ 多样性表现为低海拔和高海拔样地的物种周转速率较高,中海拔地区的 $\beta$ 多样性较低。在海拔1300~1600m和1900~2200m这两个海拔段,无论是草本层、灌木层还是群落整体,物种平均

替代速率均较高,群落异质性较高;而在1600~1900m海拔段,物种平均替代速率较低,异质性也较低。说明山体高海拔地区和低海拔地区的生物多样性较中海拔地区高。山坡的下部和上部,坡度较大,人为干扰较少,生境异致性较高,灌木种类增多,生长良好,物种多样性高,而使得群落之间差异明显,山坡的下部也是养分和水分流失的一个汇,水肥条件较好,群落之间的物种周转速率较高。另外,从图中可以看出,沿海拔梯度,草本和灌木以及群落整体多样性均有相同的变化趋势,但仔细观察,还可发现群落整体多样性的变化趋势与灌木层的变化趋势更为相似,因此可以理解为群落整体多样性的变化受灌木层变化的影响更大。

3.2 不同群系之间的物种周转速率

11个群系的基本情况见参考文献<sup>[13,14]</sup>。不同植物群系间的 $\beta$ 多样性如图2所示,它反映了该地区不同植物群系类型在物种组成或群系组织化水平方面的差异。11个植物群系结构和功能各不相同,这种差异主要受制于组成物种不同的生态生物学特性,因而作为反映群系组织水平的物种多样性指数研究,在一定程度上可表现出各群系的一些生态学特征。

沿不同植物群系的环境梯度,灌木物种和草本物种以及灌木草本物种总的 $\beta$ 多样性总体呈下降趋势,仔细观察图2,不难发现,虽然灌木层、草本层和群落整体 $\beta$ 多样性有着相似的变化趋势,但灌木层 $\beta$ 多样性的变化趋势与群落整体的多样性变化趋势更为相似,可以认为群落整体物种替代速率变化受灌木影响更大,这与海拔梯度上多样性的变化趋势一致。

如图所示,I、II、III、IV、VI、VII、XI群系的 $\beta_c$ 值较高,表明与其它群系之间的物种替代速率较高,群系V、VIII、IX、X的 $\beta_c$ 较低。群系之间群落整体的物种周转速率 $\beta_c$ 值的最大值出现在群系I,其值为27.8,最小值出现在群系IX,其值为17.5。群系I、II、IV、VI、XI所出的生境相对较好,土壤水分和养分较好,群系结构也较为复杂,物种组成丰富,因此与其它群系之间有着较高的物种替代速率。

3.3 样带梯度上的物种周转速率

3.3.1 不同样带之间的物种周转速率 不同样带之间的 $\beta$ 多样性分析如图3,样带I、II和V、VI的 $\beta_c$ 指数相对较高,即物种替代速率较高。而III、IV样带的 $\beta_c$ 指数相对较低,物种替代速率较低。分析其原因,样带III、IV位于干旱河谷的核心区茂县的飞虹,这里的土壤养分和水分状况在6条样带中都是最差的,植物发育较差,群落物种组成简单,生境异致性低,群落间的异质性较低。而北部过渡区样带I、II和南部过渡区样带V、VI立地条件相对较优越,植物生长较好,群落结构复杂,物种多样性也较高,群落间的异质性较高。

3.3.2 样带上的物种周转速率 样带上的物种周转速率表现为,样带III、IV上的相邻样方间的 $\beta'_c$ 值基本相同,其两端样方之间的 $\beta_c$ 值相差也不大,其值也是6条样带中最小的,说明这两条样带上的群落具有比较均匀的种类组成或者较小的 $\beta$ 多样性,相邻群落间的物种替代速率较小,群落间的异质性较低。而样带I、II、V、VI上两端样方之间的 $\beta_c$ 值和相邻样方间的 $\beta'_c$ 值均较大,特别是样带II, $\beta'_c$ 和 $\beta_c$ 相差较大,说明样带上样方间的物种组成较为复杂,物种替代速率较大,群落间的异质性较高(图4)。

产生这种结果的原因不难理解,与样带间的 $\beta$ 多样性差异的原因相同,即:样带所处的环境决定了样带上群落间 $\beta$ 多样性的差异。另外,样带III、IV所处的海拔在1670~1960m海拔段,样带I、II、V、VI所处的海拔在1352~1510m和1930~2190m海拔段,与前面分析数据上 $\beta$ 多样性分析的结论吻合,即:1300~1600m和1900~2200m这两个海拔段,是种类组成变化比较明显的两个海拔段,物种周转速率较高,而1600~1900m海拔段的群系物种组成较为简单,因此样带I、II、V、VI样带上样方间的

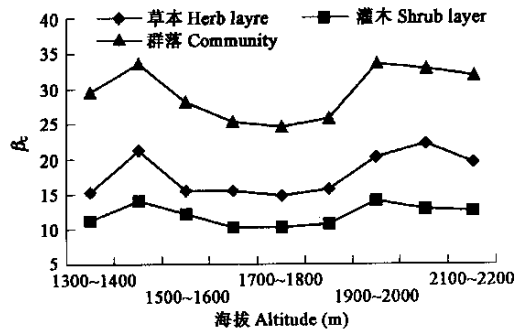


图1  $\beta$ 多样性在海拔梯度上的变化  
Fig. 1 Changes of  $\beta$  diversity along altitude

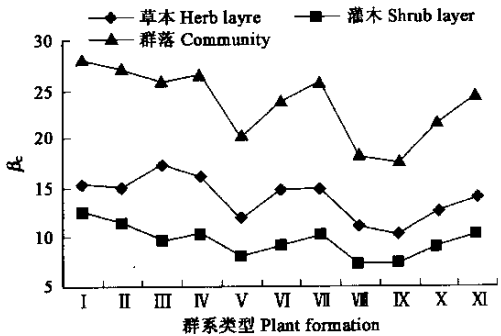


图2 不同群系的 $\beta$ 多样性的变化  
Fig. 2 Changes of  $\beta$  diversity between different plant formations  
群系I: 华帚菊-小黄素馨灌丛(Form. *Pertya sinensis*, *Jasminum humile*); 群系II: 金花小檗-忍冬灌丛(Form. *Berberis wilsonae*, *Lonicera japonica*); 群系III: 黄花亚菊灌丛(Form. *Ajania brevifolia*); 群系IV: 子柞灌丛(Form. *Quercus coccifera*); 群系V: 西南野丁香灌丛(Form. *Leptodermis purdomi*); 群系VI: 小花滇紫草灌丛(Form. *Onosma farrerii*); 群系VII: 蕈灌丛(Form. *Caryopteris* spp.); 群系VIII: 小马鞍羊蹄甲-白刺花灌丛(Form. *Bauhinia faberi*, *Sorophora vrcifolia*); 群系IX: 驼绒藜灌丛(Form. *Ceratoides arborescens*); 群系X: 瑞香灌丛(Form. *Daphne* spp.); 群系XI: 绣线菊灌丛(Form. *Spiraea* spp.)

物种替代速率较高,而样带Ⅲ、Ⅳ物种替代速率较低。也验证了前面海拔梯度上 $\beta$ 多样性的变化情况。

3.4 不同地形上的物种周转速率

依据上述群落多样性与环境因子的关系分析结果,将样方的 $\beta$ 多样性指数按地形景观特征的不同方面进行归类对比分析,可看出坡面不同景观特征下植物群落物种周转速率的变化情况(表1)。

$\beta$ 多样性指数的测度反映了坡面不同微地形上物种组成的差异。不同坡向上的周转速率为阴坡>半阴半阳坡>阳坡;不同坡形上的周转速率为凹坡>平坡>凸坡;不同坡位上的周转速率为下坡位>上坡位>中坡位。其中阴坡和半阴半阳坡的物种周转速率非常接近且大于阳坡的物种周转速率。不同坡位上的物种周转速率相差不大。不同坡形的物种周转速率相差较大。因此可以看出岷江干旱河谷坡面不同景观位置上植物群落的物种周转速率主要受坡向和坡形的影响较大。产生这种情况的原因可能是不同的坡向和坡形影响不同生态因子如光、温、水、肥等,形成了不同的生境。阴坡的土壤水分含量高于阳坡,阳坡较阴坡有温度高、湿度小、蒸发量大、土壤的物理风化和化学风化都强的特点,因而土壤有机质积累少,也较干燥和贫瘠,植被发育较差,群落组成简单,物种多样性低,与其它群落的物种周转速率也较低,这在土壤水分是植被生长状况的主要限制因素的干旱河谷来说,表现的更明显。从地形方面看,凹坡不同于平坡和凸坡,是凸坡和平坡养分水分流失的一个汇,养分经过淋溶等主要集中在凹坡的位置,植被发育较好,物种丰富,有着较高的物种周转速率。

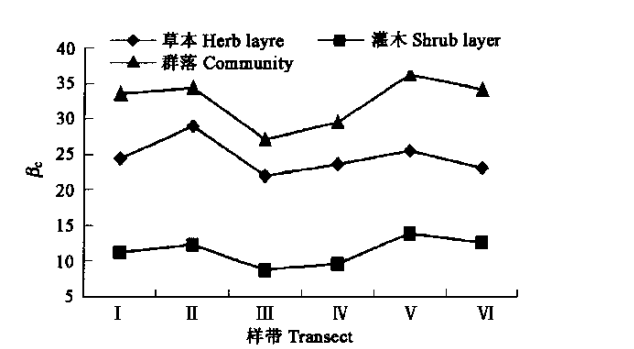


图3 样带之间的 $\beta$ 多样性变化  
Fig. 3 Changes of  $\beta$  diversity between transects

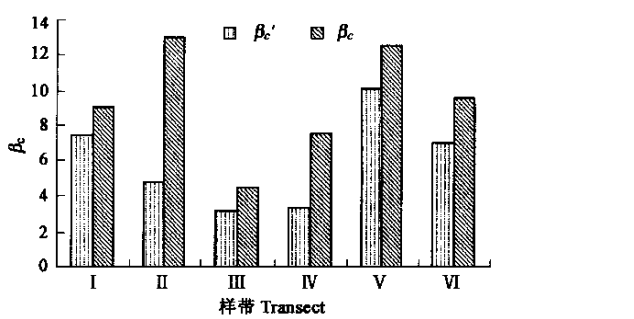


图4 样带上的 $\beta$ 多样性变化  
Fig. 4 Changes of  $\beta$  diversity on transects

表1 $\beta$ 多样性在坡面不同地形上的变化									
Table 1 $\beta$ diversity in different slope topography									
指数①	坡向 Slope direction			坡形 Slope shape			坡位 Slope position		
	阴坡②	阳坡③	半阴半阳坡④	凹坡⑤	凸坡⑥	平坡⑦	上坡位⑧	中坡位⑨	下坡位⑩
$\beta_c$	7.40	5.24	7.35	9.18	4.50	6.04	8.32	8.00	8.65

① Index; ② North facing; ③ South facing; ④ South facing and half north facing; ⑤ Concave; ⑥ Convex; ⑦ Straight; ⑧ Upper; ⑨ Middle; ⑩ Lower

3.5 养分、水分梯度上的物种周转速率

分析群落物种周转速率随土壤养分与水分梯度的变化,采用的土壤养分指标包括全N、全K、全P、速效K、速效P、水解N、有机质、pH值8个指标。曲线拟合结果表明, $\beta_c$ 值与土壤水解N、速效K、全N、全P含量以及土壤水分含量成显著的二次曲线关系,如图5所示。其中水解N、速效K、土壤含水量的影响比较明显( $p<0.01$ )。也就是物种替代速率最大的植物群落,其样地的土壤养分和水分含量处于所调查各样地的中间位置,并非养分、水分含量越高,物种周转速率就越高。

在水分梯度上,样地之间平均土壤含水量为8.5%时,物种周转速率达到最大值,为20;养分梯度上物种周转速率最大值出现在速效K梯度、水解N和全P梯度上,当样地之间平均速效K含量为142.9mg/kg时,物种周转速率为19,平均水解N含量达到374.0mg/kg时物种周转速率为17.5,样地之间平均全P含量为0.054%时,物种周转速率为20。因此可看出,物种周转速率最大值并不是出现在养分和水分含量最高的群落,而是出现在养分和水分梯度的中间水平,图5很好的反映了这一点。

群落的 $\beta_c$ 与土壤有机质含量、全K之间总的趋势呈现二次曲线关系,但没有明显的曲线相关关系( $0.05<p<0.1$ ),与pH值和速效P之间没有明显的规律。从以上分析可看出,在岷江干旱河谷地区,土壤含水量、全N、全P、速效K、水解N都对群落的物种周转速率有显著的影响,全K、土壤有机质也有一定的影响。土壤pH值和速效P虽然与 $\beta_c$ 值没有很好的曲线拟合关系,但不能认为它们对物种周转速率没有影响,可能是影响不明显或较小。

4 结论与讨论



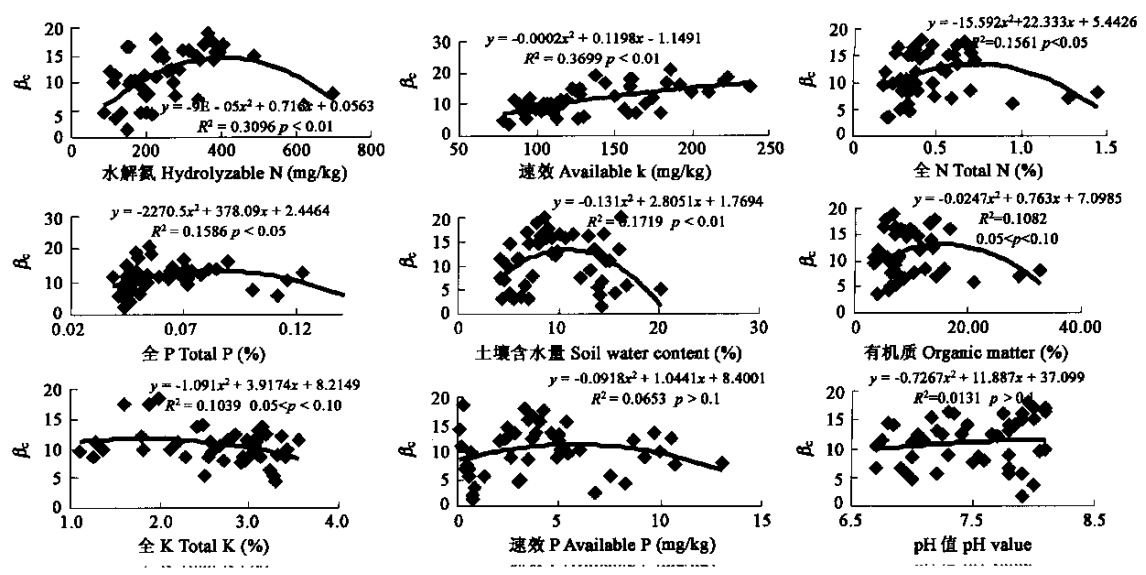


图 5 养分和水分梯度上多样性的变化

Fig. 5 Changes of  $\beta$  diversity along gradient of soil nutrient and water content

本研究结果表明,岷江干旱河谷地区,群落物种周转速率随着海拔、坡向、坡形、土壤养分等生境的异质性特征而产生明显的差异。

群落  $\beta$  多样性随海拔梯度的变化,在海拔 1300~1600m 和 1900~2200m 这两个海拔段,物种平均替代速率均较高,群落异质性较高;而在 1600~1900m 海拔段,物种平均替代速率较低,异质性也较低。随海拔的变化物种替代速率表现出“高-低-高”的变化规律。对小五台山亚高山草甸生物多样性的空间格局研究结果表明,海拔 2300m 以下和 2700m 以上的植物群落具有较高的物种周转速率,而 2300~2700m 海拔段内的物种替代速率较低,也呈现出“高-低-高”的变化规律<sup>[15]</sup>。对山西庞泉沟针叶林群落植物多样性研究<sup>[16]</sup>和秦岭牛背梁植物物种多样性垂直分布格局的研究<sup>[17]</sup>中也发现  $\beta$  多样性随海拔的升高而表现出类似的分布格局。而对太白山<sup>[18]</sup>和祁连山<sup>[19]</sup>的研究中却发现,  $\beta$  多样性随海拔的升高而降低,形成这一格局的主要因素有气象条件和人类干扰。因此在不同的气候条件和地区,物种多样性具有不同的梯度格局。

坡面不同景观位置上的  $\beta$  多样性表现为阴坡>半阴半阳坡>阳坡,凹坡>平坡>凸坡,下坡位>上坡位>中坡,植物群落的物种周转速率主要受坡向和坡形的影响较大。对中亚热带丝栗栲群落的物种周转速率研究<sup>[20]</sup>的结果表明,中坡和阳坡具有较高的  $\beta$  多样性,与本文的结论不一致。原因在于干旱河地区是一个特殊地理区域,山坡中部是人们定居和从事农业活动的主要地区,对生物的干扰也较大,群落结构简单,物种组成也较简单,与其它群落的物种周转速率也较低。另外,阴坡较阳坡具有较好的水分和养分条件,因此群落发育较好,有较高的物种替代速率。而在中亚热带地区,不存在这种情况。

影响  $\beta$  多样的主要因子有土壤、地质以及干扰等<sup>[21]</sup>。土壤是植物群落的主要环境因子之一,土壤的理化性质影响着植被的发生、发育和演替的速度,与植物群落的组成结构和植物的多样性有着密切关系<sup>[22~25]</sup>。物种多样性与土壤养分、水分关系的研究多为  $\alpha$  多样性的研究。热带植物群落中,土壤 K 的水平与物种多样性之间有显著相关关系<sup>[26]</sup>;草地生态系统中,物种多样性与土壤养分有效利用率成正相关<sup>[27]</sup>。对森林土壤养分的研究中发现影响和决定植物群落物种多样性最重要的土壤因子是土壤 pH 值和水解 N 含量<sup>[28]</sup>。张林静等<sup>[29]</sup>的研究结果表明新疆阜康荒漠植物群落多样性与土壤有机质与 pH 值呈显著的二次曲线关系。类似的研究较多。但  $\beta$  多样性与土壤养分、水分关系的研究报到较少。胡隐月、孟庆繁等<sup>[30,31]</sup>研究了集合环境梯度下森林群落  $\beta$  多样性的响应,发现  $\beta$  多样性随环境梯度的增加而升高。本文的研究结果表明,在岷江干旱河谷地区,  $\beta$  多样性与土壤水解 N、速效 K、全 N 含量、全 P 含量以及土壤水分含量成显著的二次曲线关系,其中水解 N、速效 K、土壤含水量的影响比较明显 ( $p < 0.01$ ),也就是物种替代速率最大的植物群落,其样地的土壤养分和水分含量处于所调查各样地的中间位置,并非养分、水分含量越高,物种周转速率就越高。土壤有机质和全 K 含量对  $\beta$  多样性也有一定的影响,但不显著。由此说明植物群落物种多样性与土壤梯度的关系在不同地区可能是不一致的,不同地区土壤养分梯度上的植物群落物种周转速率不尽相同。N、P、K、有机质、pH 值等对物种多样性的作用程度有待进一步研究。土壤与植物作为一个整体系统,各种因子之间相互联系、共同作用,并非不受任何干扰的独立作用。

## References:

- [1] Cody M L. Towards a theory of continental species diversity: birds distributions over Mediterranean habitat gradients. In: Cody, M L and Diamond J M eds. *Ecology and evolution of communities*. Cambridge:Harvard University Press,1975. 214~257.
- [2] Palmer M W. The coexistence of species in fractal landscapes. *American Naturalist*,1992,**139**:375~397.
- [3] Huston M A. Biological diversity along elevational gradients in the Philippines: an assessment of patterns and hypotheses. *Global Ecology and Biogeography*,1994,**10**:15~39.
- [4] He J S,Chen W L. A review of Gradient changes in species diversity of land plant communities. *Acta Ecologica Sinica*,1997,**17**(1):91~99.
- [5] Guan W B,Zeng D H,Jiang F Q. Ecological studies on the relationships between the process of desertification and vegetation dynamics in the west of Northeast China: community diversity and desertification process. *Acta Ecologica Sinica*,2000,**20**(1):93~98.
- [6] Yue T X. Studies and questions of biological diversity. *Acta Ecologica Sinica*,2001,**21**(3):462~467.
- [7] Tilman D,Downing J A. Biodiversity and stability in grassland. *Nature*,1994,**367**:363~365.
- [8] Naeem S, Li S. Biodiversity enhance ecosystem stability. *Nature*,1997,**390**:507~509.
- [9] Zhang J T,Chen T G. A study on the biodiversity of plant communities in Guandi mountains,Shanxi II. United diversity and  $\beta$  diversity. *Journal of Shanxi University*,2002,**25**(2):173~175.
- [10] Bao W K,Wang C M. Degradation mechanism of mountain ecosystem at the dry valley in the upper reaches of the Minjiang River. *Journal of Mountain Science*,1999,**18**(1):57~62.
- [11] Bao W K,Chen Q H,Chen K M. Environment control techniques for vegetation restoration in dry valley of upper reaches of Minjiang River. *Chinese Journal of Applied Ecology*,1999,**10**(5):542~544.
- [12] Liu G H,Ma K M,Fu B J,*et al.* Aboveground biomass of main shrubs in dry valley of Minjiang River. *Acta Ecologica Sinica*,2003,**23**(9):1757~1764.
- [13] Guan W B,Ye M S,Ma K M,*et al.* Vegetation classification and the main types of vegetation in the arid valley of Minjiang River. *Journal of Mountain Science*,2004,**22**(6):679~686.
- [14] Ye M S,Guan W B,Tan H. *et al.* The  $\alpha$  diversity of shrubs community in the arid valley of the Minjiang River. *Acta Ecologica Sinica*,2004,**24**(6):1123~1130.
- [15] Huang X X,Jiang Y,Liu Q R, *et al.* The spatial pattern of biodiversity in subalpine meadow on Mt. Xiaowutai. *Acta Geographica Sinica*,2003,**58**(2):186~192.
- [16] Li C. Study on plant diversity of conifer forest community in Pangquangou. *Journal of Soil and Water Conservation*,2001,**15**(5):95~107.
- [17] Tang Z Y,Ke J H. Altitudinal patterns of plant species diversity in Mt. Niubeiliang,Qinling Mountains. *Biodiversity Science*,2004,**12**(1):108~114.
- [18] Tang Z Y,Fang J Y and Zhang L. Patters of woody plant species diversity along environmental gradients on Mt. Taibai,Qinling Mountains. *Biodiversity Science*,2004,**12**(1):108~114.
- [19] Wang G H,Zhou G S,Yang L,*et al.* Distribution,species diversity and life-form spectra of plant communities along an altitudinal gradient in northern slopes of Qilianshan Mountains,Gansu,China. *Plant Ecology*,2002,**165**:169~181.
- [20] Chen R,Hong W,Guo W C,*et al.* Studies on the species turnover rate of the Middle-subtropical castanopsis fargesii community. *Acta Agriculture University*,2003,**25**(5):666~670.
- [21] Whittaker,R J,Willis K J and Field R. Scale and species richness: towards a general,hierarchical theory of species diversity. *Journal of Biogeography*,2001,**28**:453~470.
- [22] Yang X B,Zhang T L,Wu Q S. The relationship between biodiversity and soil fertility characteristics on abandoned fields in the tropical region of Southern China. *Acta Ecologica Sinica*,2002,**22**(2):190~196.
- [23] Goldberg D E,Miller T E. Effects of different resource additions on species diversity in an annual plant community. *Ecology*,1990,**71**:213~225.
- [24] Glaser P H. Raised bogs in eastern North America regional control for species richness and floristic assemblages. *Journal of Ecology*,1992,**80**:525~554.
- [25] Tilman D E,Haddi A. Drought and biodiversity in grasslands. *Oecologia*,1992,**89**:257~264.
- [26] Gartlan, 万方数据 Gertner D M, Thomas K W, *et al.* The influence of topography and soil phosphorous of the vegetation of Korup Forest Reserve. *Cameroun Vegetation*,1986,**65**:131~148.

[27] Tilman D, Wedin D, Knops J. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. *Nature*,1996,**79**:718~720.

[28] Wilson S M,Pyatt D G, Malcolm D C, *et al.* Ecological site classification: soil nutrient regime in British woodlands. 1998,*Scott Forestry*,**52**:86~92.

[29] Zhang L J,Yue M, Gu F X,*et al.* Coupling relationship between plant communities' species diversity and soil factors in ecotone between desert and oasis in Fukang,Xinjiang. *Chinese Journal of Applied Ecology*,2002,**13**(6) :658~662.

[30] Hu Y Y,Meng Q F,Wang Q G. Effects of environmental gradient on biodiversity of forests. *Journal of northeast forestry university*, 1996,**24**(4) :74~79.

[31] Meng Q F,Hu Y Y,Wang Q G,*et al.*  $\beta$  diversity of forest communities in east Heilongjiang Province. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999,**10**(2):140~142.

参考文献:

[ 4 ] 贺金生,陈伟烈. 陆地植物群落物种多样性的梯度变化特征. 生态学报,1997,**17**(1):91~99.

[ 5 ] 关文彬,曾德慧,姜凤岐. 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:群落多样性与沙质荒漠化过程. 生态学报, 2000,**20**(1): 93~98.

[ 6 ] 岳天祥. 生物多样性研究及其问题. 生态学报,2001,**21**(3):462~467.

[ 9 ] 张金屯,陈廷贵. 关帝山植物群落物种多样性研究 II. 统一多样性和 $\beta$ 多样性. 山西大学学报,2002,**25**(2) :173~175.

[10] 包维楷,王春明. 岷江上游山地生态系统的退化机制. 山地学报,1999,**18**(1): 57~62.

[11] 包维楷,陈庆恒. 岷江上游干旱河谷植被恢复环境优化调控技术研究. 应用生态学报,1999,**10** (5) :542~544.

[12] 刘国华,马克明,傅伯杰,等. 岷江干旱河谷主要灌丛类型地上生物量研究. 生态学报,2003,**23**(9):1757~1764.

[13] 关文彬,冶民生,马克明,等. 岷江干旱河谷植被分类及其主要类型. 山地学报,2004,**22**(6):

[14] 冶民生,关文彬,谭辉,等. 岷江干旱河谷灌丛 $\alpha$ 多样性分析. 生态学报,2004,**24**(6):1123~1130.

[15] 黄晓霞,江源,刘全儒,等. 小五台山亚高山草甸生物多样性的空间格局. 地理学报,2003,**58**(2):186~192.

[16] 李鑫. 山西庞泉沟针叶林群落植物多样性研究. 水土保持学报,2001,**15**(5):95~107.

[17] 唐志尧,柯金虎. 秦岭牛背梁植物物种多样性垂直分布格局. 生物多样性, 2004,**12**(1):108~114.

[18] 唐志尧,方精云,张玲. 秦岭太白山木本植物物种多样性的梯度格局及环境解释. 生物多样性, 2004,12(1):115~122.

[20] 陈睿,洪伟,郭文才,等. 中亚热带丝栗栲群落的物种周转速率研究. 江西农业大学学报,2003,**25**(5) :666~670.

[22] 杨小波,张桃林,吴庆书. 海南琼北地区不同植被类型物种多样性与土壤肥力的关系. 生态学报,2002,**22**(2):190~196.

[29] 张林静,岳明,顾峰雪,等. 新疆阜康绿洲荒漠过渡带植物群落物种多样性与土壤环境因子的耦合关系. 应用生态学报,2002,**13**(6):658~662.

[30] 胡隐月,孟庆繁,王庆贵,等. 集合环境梯度对森林生物多样性的影响. 东北林业大学学报,1996,**24**(4) :74~79.

[31] 孟庆繁,胡隐月,王庆贵,等. 黑龙江省东部森林群落 $\beta$ 多样性的研究. 应用生态学报,1999,**10**(2):140~142.