

# 晋西黄土区林草复合系统草本植物多样性特征

田晓玲 毕华兴 云雷 马雯静 崔哲伟 靳刚雷

(北京林业大学水土保持学院 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室,  
山西吉县森林生态系统国家野外科学观测研究站)

**摘要:**以晋西黄土区刺槐-草地复合系统为研究对象,用移动窗口法判定复合系统边界,采用 $\alpha$ 多样性和 $\beta$ 多样性分析复合系统草本植物多样性特征。结果表明:1)移动窗口法分析显示,在最小窗体单位(1 m)为8时能够清晰地判定刺槐-草地复合系统边界,其影响域从林内4 m到草地4 m,总宽度为8 m,草本植物样方间相似性的聚类分析结果与此一致;2)  $\alpha$ 多样性分析表明:草地物种最为丰富,林草边界植物分布最不均匀;3)  $\beta$ 多样性分析表明:林地植物种类变化剧烈,说明林地的生境分异程度和物种被替代速率都较高。

**关键词:**晋西黄土区;林草复合系统边界;移动窗口法;植物多样性

中图分类号:S718.5 文献标志码:A 文章编号:1000-1522(2011)01-0064-06

TIAN Xiao-ling; BI Hua-xing; YUN Lei; MA Wen-jing; CUI Zhe-wei; JIN Gang-lei. **Herbaceous plant diversity of silvopastoral system in the loess region of western Shanxi Province, northern China.**

*Journal of Beijing Forestry University* (2011) 33 (1) 64-69 [Ch, 33 ref.] School of Soil and Water Conservation, Key Laboratory of Soil and Water Conservation & Desertification Combating of Ministry of Education, Jixian National Field Research Station of Forest Ecosystem of Shanxi Province, Beijing Forestry University, 100083, P. R. China.

The silvopastoral system boundary was studied using moving split-window approach in *Robinia pseudoacacia* forests and grassland system in the loess region of western Shanxi Province, northern China, and the characteristics of herbaceous plant diversity were analyzed by the method of  $\alpha$  diversity and  $\beta$  diversity. The results showed that: 1) the boundary of *R. pseudoacacia* forests and grassland system could be discriminated clearly when the window width reached 8, and the influencing range of the silvopastoral system was 8 m, i.e., from 4 m inside forestland to 4 m inside grassland, which was consistent with the result of hierarchical cluster for similarity index (SI) of quadrats; 2)  $\alpha$  diversity analysis showed that the species diversity in grassland was the highest, and there was the largest unevenness in the boundary of silvopastoral system; 3)  $\beta$  diversity analysis showed that the changes for forestland plant species were dramatic, indicating that the differentiation of woodland habitats was bigger and the rates of species being replaced were higher in forestland than in grassland.

**Key words** loess region of western Shanxi Province; boundary of silvopastoral system; moving split-window approach; plant species diversity

复合农林业是一种传统的土地利用方式,又是一个新兴的研究领域<sup>[1]</sup>,林草复合系统是复合农林业系统的重要类型<sup>[2]</sup>。而大多数林分特征都受边界影响<sup>[3]</sup>,因此研究边界效应对不同生物组分复合

经营与管理具有重要意义。边界是空间异质性地区的重要组分,广泛存在于各种栖息地和尺度中间<sup>[4]</sup>,它是一个客观存在的空间实体<sup>[5]</sup>,具有一定的长度和宽度,即边界影响域,具体是指某种变化穿

收稿日期:2009-12-09

基金项目:国家自然科学基金项目(30972419)、“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD03A0503)。

第一作者:田晓玲。主要研究方向:地图学与地理信息系统。电话:15811053709 Email:tianxiaoling2004@163.com 地址:100083 北京市清华东路35号北京林业大学823信箱。

责任作者:毕华兴 教授 博士生导师。主要研究方向:林业生态工程。电话:010-62336756 Email:bhx@bjfu.edu.cn 地址:100083 北京市清华东路35号北京林业大学67信箱。

本刊网址: <http://www.bjfujournal.cn>; <http://journal.bjfu.edu.cn>

透到栖息地内的距离<sup>[6]</sup>。目前对植物边界影响域的研究大都集中于较大尺度的原始森林<sup>[7-9]</sup>,对于较小尺度的农林复合系统的研究却很少<sup>[10]</sup>。分类排序技术<sup>[11]</sup>、群落结构分析<sup>[12]</sup>、主成分分析法<sup>[13]</sup>、环境梯度上的 $\beta$ 多样性研究<sup>[14]</sup>、梯度分析<sup>[15]</sup>及移动窗口法等已经被证明是判定系统边界的成熟方法,其中移动窗口法被认为是简单而有力地刻画边界动态的工具<sup>[16]</sup>。

在农林复合生态系统中,不同组成之间存在着生态学方面的相互作用<sup>[17]</sup>,可通过测定群落的植物多样性特征指标来反映<sup>[18]</sup>。植物多样性是人工林生态系统的一个重要组成部分,是可持续发展的前提<sup>[19]</sup>。目前对人工林草本植物多样性的研究多集中于对林下草本层的研究,如季卓瑛<sup>[20]</sup>探讨了承德县5种不同人工林类型草本层物种多样性的差异,刘建利等<sup>[21]</sup>比较了黄土高原丘陵区不同密度及立地条件的人工刺槐(*Robinia pseudoacacia*)林下植物多样性的变化特征,刘增文等<sup>[22]</sup>分析了陕北半干旱风沙区人工林下植物群落数量特征,康博文等<sup>[23]</sup>从群落外貌、组成、植物多样性特征等方面对延安现有主要人工防护林进行了研究,但对林草复合系统边界草本植物多样性的研究还比较少。刺槐林是黄土高原主要人工林类型之一,本文以晋西黄土区刺槐—草地复合系统为研究对象,针对其草本植物多样性特征进行分析,旨在为黄土残塬沟壑区植被恢复、土地合理利用与进一步优化人工林群落结构提供科学依据。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于山西省吉县蔡家川流域,地理坐标为 $110^{\circ}45'44''E, 36^{\circ}16'24''N$ ,海拔1 036 m,属典型的黄土残塬沟壑区。流域属暖温带大陆性气候,半干旱落叶阔叶林地带;多年平均降水量为579.5 mm,其中6—9月降雨量占全年的70%左右;

年均蒸发量1 723.9 mm,4—7月蒸发量最大,占全年的54%;年平均气温10℃,光照时数平均2 563.8 h,大于10℃的年平均积温为3 357.9℃,无霜期平均170 d。土壤类型主要为褐土,呈微碱性反应,土壤贫瘠,有机质在1%以下。

标准地设在人工刺槐林与草地交接的界面上,地貌类型为坡地,坡度为20°,坡向为南偏东34°,刺槐林龄为16年,密度800株/ $hm^2$ ,郁闭度0.75,林木平均高7.1 m,平均胸径8.3 cm。草地植物主要为狗尾草(*Setaria viridis*)。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 实验设计

实验区面积为 $30\text{ m} \times 20\text{ m}$ ,坡面上侧为人工刺槐林,下侧为草地,刺槐林和草地间有一明显的边界,以此边界为中心点,沿垂直于等高线方向设置3条深入林地16 m、同时深入草地11 m的样线(由于地势原因,样线长度未达到30 m),样线间隔5 m。在每条样线上连续设置27个 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的小样方,共81个样方。在设置的小样方中,调查草本植物的种类、每个种出现的株数、平均高度和盖度,然后将3条样线上同一梯度位置处的3个样方合并计算,样方编号从坡上到坡下记为样方16~1(林地)和样方-1~-11(草地)。实验区内无大的灌木,但有一些灌木的幼苗,为方便分析,将其归入草本植物进行计算<sup>[10]</sup>。

#### 1.2.2 复合边界确定方法

本研究采用移动窗口法(moving split-window approach)对林草复合系统边界进行判定。该方法的原理<sup>[24]</sup>如图1所示,将分割窗均分为两个半窗口a和b,计算a和b之间的相异系数,然后将窗口向右移动一个取样点,再计算半窗口间的相异系数,直到整条样线上的所有样点都参与计算为止。常用的相异系数有欧氏距离、相异系数、判别分析函数和Mahalanobis距离、Wilk的 $\lambda$ 系数和多样性函数及相异百分率等<sup>[25]</sup>。

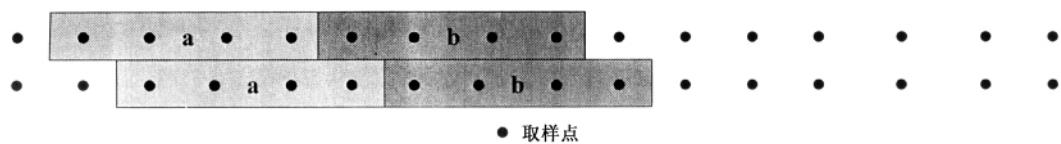


图1 移动窗口法分析原理示意图

Fig. 1 Schematic diagram for the principle of moving split-window approach

本研究的相异系数计算指标采用普遍使用的欧氏距离平方(SED)来计算,公式如下:

$$SED_n = \sum_{i=1}^m (X_{iaw} - X_{ibw})^2$$

式中: $n$ 是两个半窗口的中点或窗口的停顿点, $X$ 为

半窗口的值, $w$ 是窗口的宽度, $m$ 是样点的变量数。然后以SED为纵坐标、样点位置为横坐标作图,根据半峰宽法<sup>[26]</sup>来判定系统边界。

#### 1.2.3 植物多样性特征分析方法

##### 1) 草本植物重要值计算

重要值<sup>[10]</sup>=(相对密度+相对高度+相对盖度)/3

### 2) $\alpha$ 多样性

选用以下3种指数来表征 $\alpha$ 多样性<sup>[27]</sup>。

Margalef指数(丰富度指数):  $D = (M - 1) / \ln N$

$$\text{Simpson's指数(优势度指数): } D_s = 1 - \sum_{i=1}^M (N_i / N)^2$$

Pielou指数(均匀度指数):  $E = H / \ln M$

$$H = - \sum_{i=1}^M p_i \log p_i$$

式中: $N_i$ 为种*i*的个体数, $N$ 为群落中全部物种的个体数。 $M$ 为物种数目, $p_i$ 为种*i*的个体在全部个体中所占的比例。

### 3) $\beta$ 多样性

Sorensen指数(相似性):  $SI = 2y / (t + r)$

Jaccard指数(共有度):  $C_j = y / (t + r - y)$

Cody指数:  $\beta_c = [g(H) + l(H)] / 2 = (t + r - 2y) / 2$

式中: $t$ 、 $r$ 为两群落的物种数, $y$ 为两群落共有的物种数, $g(H)$ 为沿生境梯度 $H$ 增加的物种数, $l(H)$ 为沿生境梯度 $H$ 失去的物种数<sup>[28]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 物种分布

调查结果表明,研究区刺槐-草地复合系统共分布草本植物(含灌木幼苗)33种。其中,毛茛科:铁线莲(*Clematis florida*);蔷薇科:绣线菊(*Spiraea blumei*)、萎陵菜(*Potentilla chinensis*);豆科:草木樨(*Melilotus suaveolens*)、刺槐、胡枝子(*Lespedeza bicolor*);菊科:艾蒿(*Artemisia argyi*)、黄花蒿

(*Artemisia annua*)、铁杆蒿(*Artemisia sacrorum*)、茵陈蒿(*Artemisia capillaries*)、牡蒿(*Artemisia japonica*)、刺儿菜(*Cirsium setosum*)、阿尔泰狗哇花(*Heteropappus altaicus*)、蒲公英(*Taraxacum mongolicum*)、苣荬菜(*Sonchus brachyotus*)、抱茎苦荬菜(*Ixeris sonchifolia*);牻牛儿苗科:老鹳草(*Geranium wilfordi*);远志科:远志(*Polygala tenuifolia*);鼠李科:酸枣(*Periploca sepium*);堇菜科:堇菜(*Viola verecunda*)、紫花地丁(*Viola philippica*);瑞香科:河朔荛花(*Wikstroemia chamaedaphne*);伞形科:柴胡(*Bupleurum chinensis*);萝藦科:杠柳(*Periploca sepium*);唇形科:益母草(*Leonurus sibiricus*);车前草科:车前(*Plantago asiatica*);茜草科:茜草(*Rubia cordifolia*);禾本科:狗尾草、白羊草(*Bothriochloa ischcemum*)、长芒草(*Stipa bungeana*)、毛马唐(*Digitaria ciliaris*)、隐子草(*Cleistogenes squarrosa*);莎草科:羊胡子(*Eriophorum comosum*)。

草地草本植物以狗尾草为主,林地内以白羊草为主。

### 2.2 草本植物边界影响域

分别以各样方内调查的植物重要值为数量指标,依次计算窗口宽度(width)大小为4、6、8、10个取样单位(1 m)时,两个半窗口之间的相异系数(SED),然后将相异系数沿样点位置作图,结果见图2。

从图2可以看出,当窗口宽度 $\geq 8$  m后,曲线的变化趋势趋于一致,在SED曲线上只有1个明显的波峰出现,说明SED在最小窗体单位为8时,能够清晰地判定刺槐-草地复合系统边界影响域。该波峰位置正是林草复合系统边界的位置所在,根据半峰宽法判定,刺槐-草地复合系统边界影响域是以

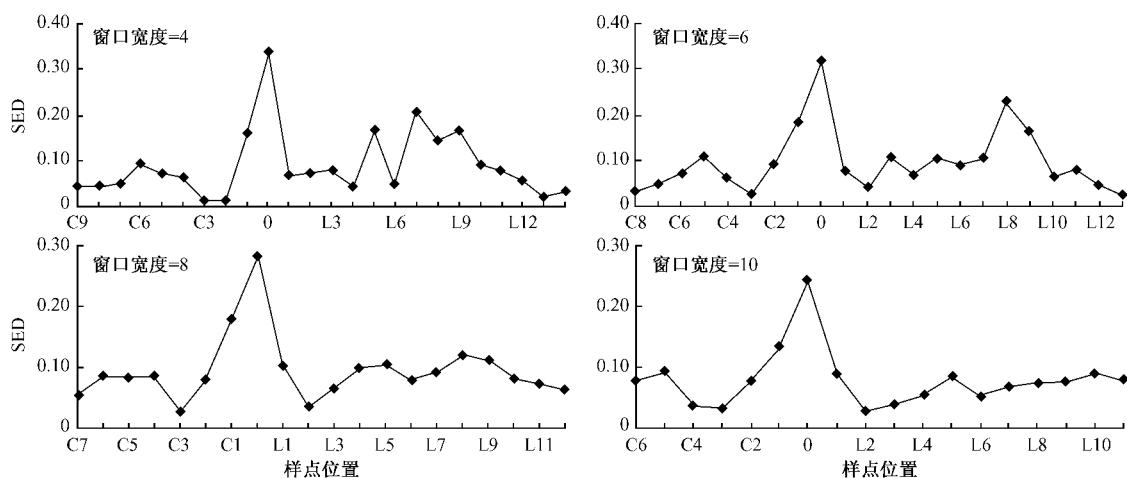


图2 基于移动窗口法的刺槐-草地复合系统边界的相异系数

Fig. 2 SED of *R. pseudoacacia* forests and grassland system boundary based on moving split-window approach

注:C代表草地,L代表林地,数字代表两个半窗口的中点。下同。

林草边界为中心,分别向林地和草地各延伸4 m,总宽度为8 m。据此,可将刺槐-草地复合系统划分为3个部分,即草地区(样方-11~-5)、林草边界区(样方-4~4)和林地区(样方5~16)。

### 2.3 多样性分析

生物多样性测定主要有3个空间尺度: $\alpha$ 多样性、 $\beta$ 多样性、 $\gamma$ 多样性<sup>[29~30]</sup>。 $\alpha$ 多样性指数用以测度群落内的物种多样性,因此也被称为生境内的多样性(within-habitat diversity); $\beta$ 多样性指数用以测度群落的物种多样性沿着环境梯度变化的速率,也被称为生境间的多样性(between-habitat diversity); $\gamma$ 多样性描述区域或大陆尺度的多样性,是指区域或大陆尺度的物种数量,也被称为区域多样性(regional diversity)。鉴于研究的空间尺度,本文暂不考虑 $\gamma$ 多样性。

#### 2.3.1 $\alpha$ 多样性分析

$\alpha$ 多样性指同一地点或群落中种的多样性<sup>[31]</sup>。物种丰富度(species richness)表征群落的物种数目,是最简单、最古老的多样性测度方法<sup>[32]</sup>。优势度指数是指个体的数量、生物量、植物盖度、频度等,

是群落中物种占优势的程度,反映了群落和生境的特征及变化<sup>[10]</sup>。均匀度定义为群落中不同物种的多度生物量盖度或其他指标分布的均匀程度<sup>[32]</sup>。

图3表明:草地区各梯度位置处草本植物种类较多,有7~12种,物种丰富度、优势度、均匀度指数均较大,表明草地内具有较高的植物多样性,且植物种类分布较为均匀,这是因为草地内草本植物阳光充足,生境相对稳定;林地区物种丰富度介于0.46~2.35之间,变化幅度较大,草本植物种类介于3~13之间,但一半以上的样方植物种类低于7种,表明林地内植物多样性较低且物种变化剧烈,这主要是因为林地内受小气候、林内光线等作用的影响,草本植物生长条件没有草地优良且生境变异性较大;林草边界区植物物种丰富度介于林地与草地之间,优势度、均匀度指数均为草地>林地>林草边界,表明林草边界区草本植物物种分布最不均匀,这是因为林草复合系统边界区是两个相邻系统的交错地带,兼有林地和草地的特征,而林草边界区处于林地向草地过渡地带,生境变异性最大。

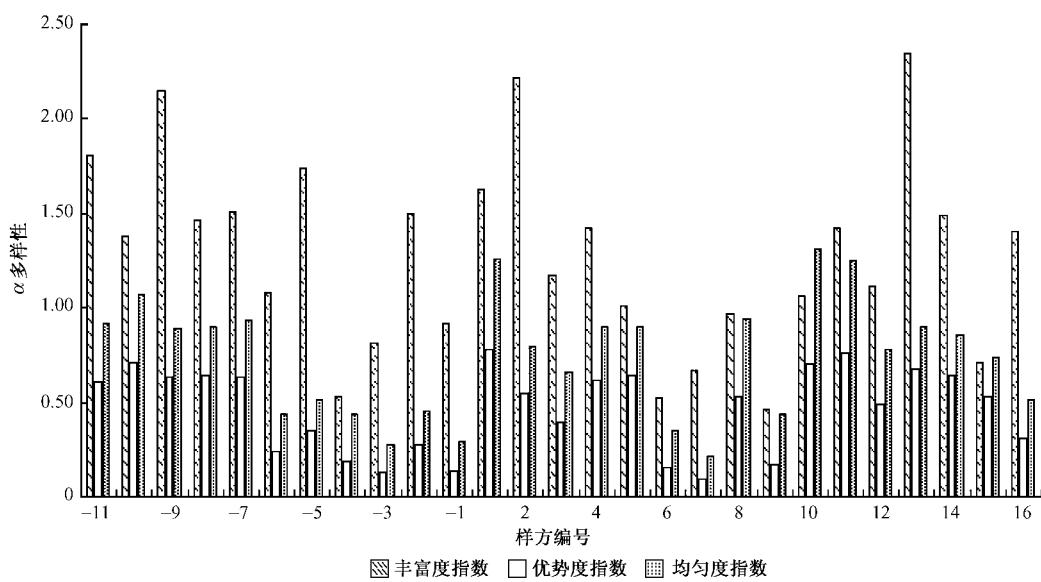


图3 刺槐-草地复合系统草本植物 $\alpha$ 多样性

Fig. 3  $\alpha$  diversity of herbaceous plants in *R. pseudoacacia* forests and grassland system

注:+表示林地内,+1表示林地内距林缘1 m处;-表示草地上,-1表示草地上距林缘1 m处。下同。

#### 2.3.2 $\beta$ 多样性分析

$\beta$ 多样性指在不同地点或群落中的更替或转换<sup>[33]</sup>,即沿环境梯度变化的物种替代程度及不同群落间物种组成的差异。

对相似性数据(SI)进行分层聚类(hierarchical cluster)分析,距离的测度方法采用欧氏距离平方,聚类方法采用组内连接(within-groups linkage),结果见图4。

结果表明:27个样方可以聚为两类,除样方-11外,林地聚为一类,草地聚为一类,说明林地和草地之间存在明显边界;在草地类内,样方-1~-4聚为一类,区别于其他草地样方,而林地内样方1~3在第3步聚为一类,区别于其他林地样方,说明草地上样方-1~-4、林地内样方1~3是刺槐-草地复合系统的影响域,这与移动窗口法的分析结果一致。

共有度指数反映群落或样方间物种的相似性, Cody 指数反映样方物种组成沿环境梯度的替代速率。由图 5 可见, 草地区共有度指数( $C_j$ )变化不大, 介于 0.45 ~ 0.55 之间, Cody 指数( $\beta_c$ )变化平稳, 表明草地上样方间草本植物种类相似, 更替速率较小; 林地区  $C_j$  为 0.20 ~ 0.60,  $\beta_c$  变化剧烈, 呈不规则锯齿状分布, 说明林地内植物种类变化的范围与速率较大; 林草边界位置  $\beta_c$  为 5.5,  $C_j$  为 0.21, 曲

线在这里有一个明显的波峰(波谷)出现, 表明这是明显的转换区域。这是因为草地是一个环境条件基本相似的区域, 其物种的变化较小; 林地内草本植物受小气候、林内光线等效应的影响, 物种变化相对草地较大; 而林地向草地过渡时, 环境条件变化剧烈, 甚至不连续, 其物种变化剧烈, 共有度减小, Cody 指数增大。

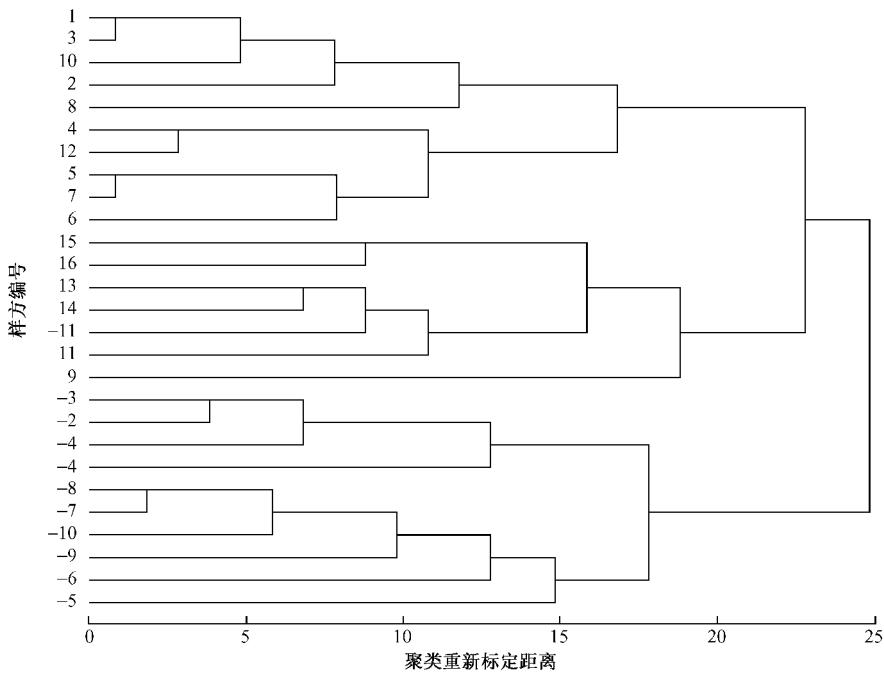


图 4 刺槐-草地复合系统相似性的聚类分析

Fig. 4 Hierarchical cluster of similarity index (SI) in *R. pseudoacacia* forests and grassland system

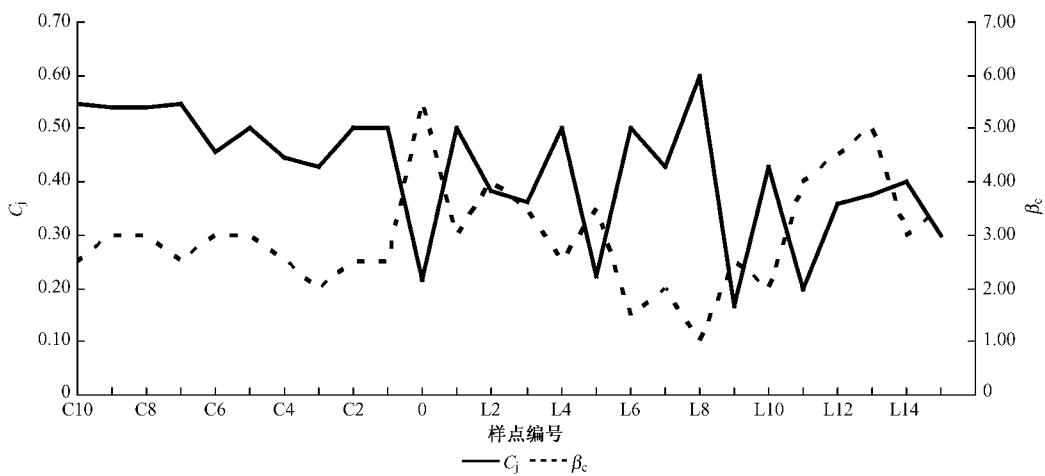


图 5 刺槐-草地复合系统植物  $\beta$  多样性分布特征

Fig. 5 Distribution characteristics of  $\beta$  diversity in *R. pseudoacacia* forests and grassland system

### 3 结论与讨论

晋西黄土区刺槐-草地复合系统共存在草本植物(含灌木幼苗)33 种, 草地以狗尾草为主, 林地内白羊草占优势; 移动窗口法结果表明: 在最小窗体单

位(1 m)为 8 时, 能够清晰地判定刺槐-草地复合系统边界, 该边界影响域从林内 4 m 到草地 4 m, 总宽度为 8 m;  $\alpha$  多样性特征表现为丰富度指数: 草地 > 林草边界 > 林地, 优势度、均匀度指数: 草地 > 林地 > 林草边界, 说明草地物种最为丰富, 而林草边界

植物分布最不均匀;  $\beta$  多样性分析中, 草本植物样方间相似性的聚类分析结果与移动窗口法结果一致, 证明移动窗口法是定量判定边界影响域位置和宽度的有效方法; 共有度指数和 Cody 指数特征表现为林地比草地植物种类变化剧烈, 说明林地的生境分异程度和物种被替代速率都较高。

本文对物种多样性的研究主要应用  $\alpha$  多样性指数(物种丰富度、均匀度、优势度指标)和  $\beta$  多样性指数(相似性、共有度、Cody 指数)两个指标, 在以后的研究中还可以应用诸如遥感、分形几何、地理信息系统等多种方法分析植物多样性, 并结合土壤水分、土壤养分和光环境分布等数据对刺槐—草地复合系统进行进一步研究, 从而为黄土残塬沟壑区人工林建设和管理提供理论依据和参考。

#### 参 考 文 献

[1] 孟平, 张劲松, 高峻. 中国复合农林业发展机遇与研究展望 [J]. 世界林业研究, 2004, 17(6):30—34.

[2] 樊巍, 高喜荣. 林草牧复合系统研究进展 [J]. 林业科学研究, 2004, 17(4):519—52.

[3] CHEN J, FRANKLIN J F, SPIES T A. An empirical model for predicting diurnal air-temperature gradients from edge into old-growth Douglas-fir forest [J]. *Ecol Model*, 1993, 67:179—198.

[4] CADENASSO M L, PICKETT S T A, WEATHERS K C, et al. An inter-disciplinary and synthetic approach to ecological boundaries [J]. *Bio Science*, 2003, 53:717—722.

[5] 常禹, 布仁仓, 胡远满. 景观边界研究概况 [J]. 生态学杂志, 2002, 21(5):49—53.

[6] MURCIA C. Edge effects in fragmented forests: Implications for conservation [J]. *Trends Ecol Evol*, 1995, 10:58—62.

[7] 闻青春, 李秀珍, 贺红土, 等. 岷江上游林农边界效应对植被生物量的影响 [J]. 中山大学学报(自然科学版), 2007, 46(2):87—91.

[8] 郭庆华, 喻红, 曹艳丽, 等. 北方森林草原过渡带的遥感研究 [J]. 北京大学学报(自然科学版), 1999, 35(4):550—557.

[9] 常禹, 布仁仓, 胡远满, 等. 长白山森林景观边界动态变化研究 [J]. 应用生态学报, 2004, 15(1):15—20.

[10] 尤文忠. 黄土高原坡地林草复合系统景观边界植物多样性特征 [J]. 辽宁林业科技, 2007(4):12—15.

[11] CHOESIN D, BOERNER R E. Vegetation boundary detection: A comparison of two approaches applied to field data [J]. *Plant Ecol*, 2002, 158:85—96.

[12] FORTIN M J. Edge detection algorithms for two-dimensional ecological data [J]. *Ecology*, 1994, 75(4):956—965.

[13] KING J R, JACKSON D A. Variable selection in large environmental data sets using principal components analysis [J]. *Environmetrics*, 1999, 10:67—77.

[14] STOHLGREN T J, BACHAND R R. Lodgepole pine (*Pinus contorta*) ecotones in Rocky Mountain National Park, Colorado, USA [J]. *Ecology*, 1997, 78(2):632—641.

[15] WILSON M V, SHMIDA A. Measuring beta diversity with presence-absence data [J]. *Journal of Ecology*, 1984, 72:1055—1064.

[16] LI L G, HE X Y, LI X Z, et al. Depth of edge influence on the field-forest boundary in the arid valley of upper reaches of Minjiang River, China [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2004, 15(10):1804—1808.

[17] 谢京湘, 于汝元, 胡涌. 农林复合生态系统研究概述 [J]. 北京林业大学学报, 1988, 10(1):104—108.

[18] YUE T X. Studies and questions of biological diversity [J]. *Acta Ecol Sin*, 2001, 21(3):462—467.

[19] 张秋根, 王桃云. 森林生态环境健康评价初探 [J]. 水土保持学报, 2003, 10(5):16—18.

[20] 季卓瑛. 承德县不同人工林类型草本层物种多样性研究 [J]. 河北林业科技, 2009(1):3—9.

[21] 刘建利, 李凯荣, 易亮, 等. 黄土高原丘陵区人工刺槐林分结构及林下植物多样性研究 [J]. 水土保持通报, 2008, 28(3):49—52, 70.

[22] 刘增文, 冯顺煜, 段而军, 等. 陕北半干旱风沙区人工林下植物群落数量特征研究 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(12):129—134.

[23] 康博文, 侯琳, 刘建军, 等. 延安城郊防护林外貌结构及林下植物的多样性 [J]. 中南林学院学报, 2005, 25(5):15—21.

[24] 石培礼, 李文华. 生态交错带的定量判定 [J]. 生态学报, 2002, 22(4):586—592.

[25] 石培礼, 刘兴良. 游动分割窗技术在生态交错带定量判定中的应用: 以四川巴郎山岷江冷杉林线为例 [J]. 植物生态学报, 2002, 26(2):189—194.

[26] 李丽光, 何兴元, 李秀珍, 等. 岷江上游花椒地/林地边界土壤水分分布及影响域 [J]. 辽宁工程技术大学学报, 2005, 24(6):940—942.

[27] 刘晓红, 李校, 彭志杰. 生物多样性计算方法的探讨 [J]. 河北林果研究, 2008, 23(2):166—168.

[28] 游水生, 陈善沐, 林文莲, 等. 运用  $\beta$  多样性的测度方法探讨不同人为干扰强度对米槠林乔木层的影响 [J]. 水土保持通报, 2006, 26(1):80—84.

[29] WHITTAKER R H. Evolution and measurement of species diversity [J]. *Taxon*, 1972, 21:213—251.

[30] 马克平. 试论生物多样性的概念 [J]. 生物多样性, 1993, 1(1):20—22.

[31] 汪永华, 陈北光, 苏志尧. 物种多样性研究的进展 [J]. 生态科学, 2009, 19(3):50—54.

[32] 李帅英, 吴增志, 李保会. 物种多样性研究进展 [J]. 河北林果研究, 2002, 17(1):72—79.

[33] 马克平, 刘灿然, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法(Ⅱ):  $\beta$  多样性的测度方法 [J]. 生物多样性, 1995, 3(1):38—43.

(责任编辑 李 娴)