

黄土高寒区浅山人工林植物群落生态位特征研究

景升利¹, 杨海龙^{2*}, 王佳庭²

¹黄河海勃湾水利枢纽管理局, 内蒙古 乌海

²北京林业大学水土保持学院, 北京

Email: jingshengli9677@163.com, *yang_hlong@163.com

收稿日期: 2020年11月3日; 录用日期: 2020年11月23日; 发布日期: 2020年11月30日

摘要

生态位理论在研究植物群落物种组成、种间关系、结构功能、生物多样性等方面具有重要意义。本文以黄土高寒区大通县安门滩流域林草植被为研究对象, 通过Shannon-Wiener指数和Pianka指数分别计算不同立地类型下典型人工林及林下草本的生态位宽度及生态位重叠。结果表明: 乔木层在阴坡条件下, 华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii* May)生态位宽度最大(44.13、42.69、42.99); 阳坡条件下, 油松(*Pinus tabulaeformis* Carr)和青杨(*Populus cathayana* Rehd)生态位宽度最大(39.56、40.22)。草本层中, 白莲蒿(*Artemisia sacrorum* Ledeb)和早熟禾(*Poa annua* L)在不同立地下, 生态位宽度均较高, 说明二者适应能力较强, 能够利用的资源位多。有建群效果树种的种对在不同立地下生态位重叠值范围在0.17~0.29间, 说明混交林中, 不同树种利用的资源位不同, 种间竞争不强烈。草本层生态位重叠值, 在阴坡受坡度影响较高, 在阳坡受坡度影响较小。

关键词

黄土高寒区, 生态位宽度, 生态位重叠, 立地

Niche Characteristics of Plant Communities in Shallow Mountain Plantations in Loess Alpine Region

Shengli Jing¹, Hailong Yang^{2*}, Jiating Wang²

¹Haibowan Water Control Project Administration Bureau of the Yellow River, Wuhai Inner Mongolia

²School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing

Email: jingshengli9677@163.com, *yang_hlong@163.com

*通讯作者。

Abstract

Niche theory is of great significance in the study of plant community species composition, interspecific relationship, structure and function, biodiversity and so on. In this paper, the niche width and niche overlap of typical plantations and herbs under different site types are calculated by Shannon-Wiener index and Pianka index, respectively, taking the forest and grass vegetation in Datong County of Datong County as the research object. The results show that the niche width of *Larix principis-rupprechtii* May is the largest (44.13, 42.69, 42.99) under the condition of shady slope. Under the condition of sunny slope, the niche breadth of *Pinus tabulaeformis* Carr and *Populus cathayana* is the largest (39.56, 40.22). In the herbaceous layer, the niche breadth of *Artemisia sacrorum* Ledeb and *Poa annua* L is large in different site conditions, which indicate that the two have universal adaptation and more resources could be utilized. All kinds of trees with the effect of building groups overlap in different underground niche. The range of value is 0.17 - 0.29, which indicates that the resource position of different tree species is different and the competition among species is not strong in the mixed forest. The niche overlap value of herbaceous layer is more affected by slope in shady slope and less affected by slope in sunny slope.

Keywords

Loess Alpine Region, Niche Width, Niche Overlap, Site

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

生态位(niche)是指群落内一个种与其他种的相对位置, 或者说是指某个种在群落中的时空位置及其机能关系[1]。最早将生态位术语首次定义的是 Grinnel [2], 他把生态位定义为一个种或亚种以生存或繁殖最终的分布单元[3]。从 20 世纪六七十年代, 国外研究学者开始系统地研究生态位定义和生态位定量测定[4]。目前, 生态位理论的应用领域更加广泛。此外, 在物种入侵、气候变化对生物多样性的影响以及评估等领域也有所应用。黄土高寒区处于我国自然生态环境脆弱带, 生态系统常处在生理生态临界线边缘, 更易受到自然及人为因素的干扰(如树种选择、配置模式等) [5]。从 20 世纪 70~80 年代开始, 随着“三北”防护林、退耕还林等一系列林业生态工程的大量开展, 所营造的生态公益林建造模式渐渐出现一些问题, 如纯林比例过大、混交林组成不合理等问题, 使得现阶段部分林分转向低效林, 制约了生态效益的发挥。我国现阶段对天然林植物群落生态位特征的研究已较为成熟, 对于人工林的研究多为林下植被的生态位特征的研究[6] [7] [8] [9] [10]。本文利用 Shannon-Wiener 生态位指数[11]和 Pianka 生态位重叠指数[12], 对黄土高寒区浅山人工林及林下草本进行研究, 通过计算分析不同立地条件下乔木层、草本层的生态位宽度、生态位重叠值等指标, 探明物种对不同立地条件的适应能力, 以及相同立地条件下不同物种适应能力的差异及竞争关系, 找到现存营林模式存在的问题并提供解决思路, 旨在为今后黄土高寒区营造人工林过程中的树种选择、立地选择、配置模式等方面提供一定的理论基础。

2. 研究区概况与研究方法

2.1. 研究区概况

研究区位于青海省西宁市大通回族土族自治县安门滩流域，地处青海省东部，祁连山东段的南麓，属于黄土高原与青藏高原的过渡区，属于浅山区[13]（浅山区是指交通开发、人口密度、人均耕地和宜牧草坡等开发较早、较多，大多是低山、丘陵和山麓平原等），大陆性高原气候，地理坐标为(E101°40'17"~101°41'12", N36°54'57"~36°55'51")。安门滩流域面积为 1.16 km²，平均海拔 2441 m，通过分析大通县生态环境监测站 2010~2017 年监测数据，研究区年均气温为 3.9°C，年均降水量 532 mm，平均风速 2 m·s⁻¹，无霜期平均为 102 d，土壤以山地棕褐土和栗钙土为主。主要造林树种有青海云杉(*Picea crassifolia* Kom)、华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii* May)、祁连圆柏(*Sabina przewalskii* Kom)、油松(*Pinus tabuliformis* Carr)、青杨(*Populus cathayana* Rehd)等，林龄在 18~23 a 之间不等。

2.2. 研究方法

2.2.1. 样地设置与调查

于 2018 年 6~8 月对安门滩流域进行野外调查，安门滩流域地形以浅山为主，根据坡度、坡向等环境因子进行立地划分，安门滩流域立地类型如表 1 中所示。

Table 1. The site type division of Anmen Beach

表 1. 安门滩立地类型划分

| 序号 Number | 立地类型 Site type | 海拔 m Height | 坡向 Aspect | 坡度 Slope |
|--------------|-------------------|----------------|--------------|-------------|
| 1 | 浅山阴平坡 | 2400~2750 | 阴坡 | ≤5° |
| 2 | 浅山阴缓斜坡 | 2400~2750 | 阴坡 | 5°~25° |
| 3 | 浅山阴急坡 | 2400~2750 | 阴坡 | 25°~35° |
| 4 | 浅山阳平坡 | 2400~2750 | 阳坡 | ≤5° |
| 5 | 浅山阳缓斜坡 | 2400~2750 | 阳坡 | 5°~25° |

在立地类型划分基础上，选取并设置具有代表性的林草植被类型样地 30 个。样地面积为 20 m × 20 m，利用对角线法选取 2 个 5 m × 5 m 的灌木样方，并利用五点取样法在每个样方中设置 5 个 1 m × 1 m 的草本样方。利用手持式 GPS 读取记录样地海拔和经纬度，使用罗盘和指南针测量并记录样地坡度、坡向，同时记录郁闭度等环境因子。乔木层采用每木检尺调查法，采用测树学中十分法记录树种组成，同时记录包括株高、胸径、冠幅等指标。灌木层和草本层采用样方法调查，根据《中国植物志》鉴定并记录种名，实地测算并记录株数(丛数)、高度、盖度等指标，样地基本特征表如表 2 所示。

Table 2. Sample plot basic characteristic table

表 2. 样地基本特征表

| 编号 Number | 立地类型 Site type | 树种组成 Tree species composition | 海拔 Height (m) | 坡度 Slope (°) | 坡向 Aspect | 平均树高 Average tree height (m) | 平均胸径 Mean DBH (cm) | 林龄 Stand age (a) |
|--------------|-------------------|-------------------------------------|---------------------|--------------------|--------------|------------------------------------|--------------------------|------------------------|
| 1 | 浅山阴急坡 | 10 青杨 | 2461 | 34 | 阴坡 | 8.67 | 14.28 | 23 |
| 2 | 浅山阴急坡 | 10 青海云杉 | 2560 | 28 | 阴坡 | 1.66 | 1.87 | 18 |
| 3 | 浅山阴急坡 | 10 祁连圆柏 | 2512 | 27 | 阴坡 | 1.72 | 2.01 | 20 |

Continued

| | | | | | | | | |
|----|--------|-------------------|------|----|----|------|-------|----|
| 4 | 浅山阴急坡 | 9 祁连圆柏 | 2583 | 27 | 阴坡 | 1.69 | 1.25 | 20 |
| | | 1 青海云杉 | | | | 0.82 | 0.64 | 18 |
| 5 | 浅山阴急坡 | 10 华北落叶松 - 石楠 | 2564 | 26 | 阴坡 | 6.83 | 7.48 | 23 |
| 6 | 浅山阴急坡 | 6 华北落叶松 | 2551 | 27 | 阴坡 | 6.02 | 6.58 | 23 |
| | | 4 青海云杉 | | | | 1.50 | 1.69 | 18 |
| 7 | 浅山阴缓斜坡 | 10 青海云杉 - 高山柳 | 2509 | 20 | 阴坡 | 3.35 | 5.41 | 18 |
| 8 | 浅山阴缓斜坡 | 10 祁连圆柏 - 小叶杨 | 2526 | 24 | 阴坡 | 1.89 | 2.13 | 20 |
| 9 | 浅山阴缓斜坡 | 3 青海云杉 | 2585 | 22 | 阴坡 | 1.58 | 1.20 | 18 |
| | | 7 祁连圆柏 | | | | 1.70 | 1.52 | 20 |
| 10 | 浅山阴缓斜坡 | 10 华北落叶松 | 2537 | 17 | 阴坡 | 6.46 | 6.98 | 23 |
| 11 | 浅山阴缓斜坡 | 7 华北落叶松 | 2512 | 19 | 阴坡 | 6.78 | 6.62 | 23 |
| | | 3 青海云杉 | | | | 1.84 | 2.03 | 18 |
| 12 | 浅山阴平坡 | 10 青海云杉 | 2490 | 5 | 阴坡 | 1.62 | 1.88 | 18 |
| 13 | 浅山阴平坡 | 10 祁连圆柏 | 2564 | 3 | 阴坡 | 1.84 | 2.13 | 20 |
| 14 | 浅山阴平坡 | 6 青海云杉 | 2543 | 3 | 阴坡 | 1.55 | 1.21 | 18 |
| | | 4 祁连圆柏 | | | | 1.62 | 1.41 | 20 |
| 15 | 浅山阴平坡 | 10 华北落叶松 | 2460 | 5 | 阴坡 | 7.12 | 6.64 | 23 |
| 16 | 浅山阴平坡 | 6 华北落叶松 | 2502 | 4 | 阴坡 | 6.78 | 6.21 | 23 |
| | | 4 青海云杉 | | | | 1.77 | 1.83 | 18 |
| 17 | 浅山阳缓斜坡 | 10 青杨 | 2513 | 18 | 阳坡 | 7.64 | 10.21 | 23 |
| 18 | 浅山阳缓斜坡 | 10 青海云杉 | 2565 | 22 | 阳坡 | 1.58 | 1.63 | 18 |
| 19 | 浅山阳缓斜坡 | 10 祁连圆柏 | 2547 | 24 | 阳坡 | 1.97 | 2.08 | 20 |
| 20 | 浅山阳缓斜坡 | 6 油松 | 2579 | 20 | 阳坡 | 2.64 | 2.50 | 23 |
| | | 4 青海云杉 | | | | 1.25 | 1.13 | 18 |
| 21 | 浅山阳缓斜坡 | 7 油松 | 2620 | 22 | 阳坡 | 2.42 | 4.21 | 23 |
| | | 3 祁连圆柏 | | | | 1.38 | 0.80 | 20 |
| 22 | 浅山阳缓斜坡 | 6 白桦 | 2504 | 25 | 阳坡 | 2.37 | 5.80 | 23 |
| | | 4 青海云杉 | | | | 0.79 | 0.87 | 18 |
| 23 | 浅山阳缓斜坡 | 8 青海云杉 | 2531 | 21 | 阳坡 | 1.62 | 2.03 | 18 |
| | | 2 祁连圆柏 | | | | 1.57 | 1.88 | 20 |
| 24 | 浅山阳平坡 | 10 青杨 | 2469 | 3 | 阳坡 | 8.01 | 9.65 | 23 |
| 25 | 浅山阳平坡 | 10 青海云杉 | 2586 | 5 | 阳坡 | 1.64 | 2.04 | 18 |
| 26 | 浅山阳平坡 | 10 祁连圆柏 - 斑叶稠李 | 2537 | 5 | 阳坡 | 2.16 | 2.20 | 20 |
| 27 | 浅山阳平坡 | 7 油松 | 2564 | 4 | 阳坡 | 2.39 | 2.41 | 23 |
| | | 3 青海云杉 | | | | 1.48 | 1.26 | 18 |
| 28 | 浅山阳平坡 | 7 油松 | 2552 | 2 | 阳坡 | 2.40 | 3.86 | 23 |
| | | 3 祁连圆柏 | | | | 1.42 | 1.01 | 20 |
| 29 | 浅山阳平坡 | 6 白桦 | 2563 | 3 | 阳坡 | 2.42 | 5.73 | 23 |
| | | 4 青海云杉 | | | | 1.54 | 1.89 | 18 |
| 30 | 浅山阳平坡 | 7 青海云杉 | 2550 | 2 | 阳坡 | 1.72 | 2.12 | 18 |
| | | 3 祁连圆柏 | | | | 1.62 | 1.73 | 20 |

Note: The tree species composition is expressed by ten methods of tree measurement, for example, 10 poplar stands for pure green poplar forest.
注: DBH 为胸径, 树种组成采用测树学十分法表示, 如 10 青杨表示青杨纯林。

2.2.2. 数据处理与分析方法

物种重要值[14]是用来衡量某个种在群落中的地位和作用的综合数量指标,通过群落中物种的相对密度(RD)、相对高度(RH)、相对显著度(RS)、相对频度(RF)和相对盖度(RC)计算得到。重要值 IV 的数值大小可作为群落中植物种优势度的一个度量标志,并可以体现群落中每种植物的相对重要性及植物的最适生境[15][16][17]。本文中,乔木层、灌木层、草本层植物的重要值 IV 计算公式分别为:

$$IV_{\text{乔木层}} = (RD + RH + RS) \times 100/3 \quad (1)$$

$$IV_{\text{灌木层}} = (RD + RF + RC) \times 100/3 \quad (2)$$

$$IV_{\text{草本层}} = (RD + RF + RC) \times 100/3 \quad (3)$$

生态位宽度是反映了植物种群对资源环境利用的现状[18],生态位宽度越大,表明它对环境的适应能力越强,对资源的利用越充分[19]。本文生态位宽度采用 Shannon-Wiener 指数[20][21]进行计算。

Shannon-Wiener 生态位宽度指数

$$B_{(s)i} = -\sum_{j=1}^r P_{ij} \cdot \lg P_{ij} \quad (j=1,2,\dots,r) \quad (4)$$

式中: $B_{(s)i}$ 为 Shannon-Wiener 生态位宽度指数,且存在值[0, 1],当 $B_{(s)i}$ 为 0 时,表示物种 i 只利用一个资源位,当 $B_{(s)i}$ 为 1 时,表示物种 i 利用全部资源位; r 为资源位等级数; P_{ij} 为物种 i 在第 j 资源状态下的重要值占其全部重要值的比例。

$$P_{ij} = n_{ij}/N_i, \quad N_i = \sum_{j=1}^r n_{ij} \quad (j=1,2,\dots,r) \quad (5)$$

式中: n_{ij} 为物种 i 在资源位 j 的重要值; N_i 为物种 i 全部资源位重要值的总和。

利用皮尔逊相关系数计算公式计算物种重要值与生态位宽度的相关性。

$$\text{Correl}(X, Y) = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} \quad (6)$$

式中: \bar{x} 、 \bar{y} 分别为 x 、 y 的均值。

生态位重叠是 2 个物种在与生态因子联系上具相似性,当 2 个物种利用同一种资源或共同占有某一资源(空间、养分等)时,就会出现生态位重叠现象。生态位重叠计算方法采用 Pianka 生态位重叠计算公式测算。

$$O_{ik} = \sum_{j=1}^r n_{ij} n_{kj} / \sqrt{\sum_{j=1}^r n_{ij}^2 \cdot \sum_{j=1}^r n_{kj}^2} \quad (j=1,2,\dots,r) \quad (7)$$

式中: O_{ik} 为物种 i 与物种 k 的生态位重叠度,且存在值[0, 1]; n_{ij} 和 n_{kj} 分别为物种 i 和物种 k 在资源 j 上的重要值; r 为资源位等级数。

数据分析、处理及绘图主要应用 Excel2013、SPSS20.0 完成。

3. 结果与分析

据野外调查和相关资料收集,安门滩流域人工林植物共有 40 科、98 属、121 种,其中乔木有 10 种,占总种数的 8.26%,灌木有 5 种,占总种数的 4.13%;最多类型是草本植物,共有 106 种,占总种数的 87.61%。根据野外调查的实际情况,灌木植物包括柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii* Kom)、绣线菊(*Spiraea salicifolia* L)、锦鸡儿(*Caragana sinica* Rehder)、小叶蔷薇(*Rosa willmottiae* Hemsl)和刺五加(*Acanthopanax*

senticosus Harms), 灌木植物极度稀少, 长势极差, 在样方出现的频率极低, 且只在部分地点少量集中分布, 频度均低于 0.001。从流域尺度上分析, 灌木物种稀少且数量较少, 缺乏研究意义, 本文选去乔木树种及草种作为研究对象; 其中草本种类过多, 故频度大于 20% 的 9 种草本作为研究对象, 使研究结果更具代表性。主要物种组成如表 3 所示。

Table 3. Main plant species composition of Anmen Beach
表 3. 安门滩主要植物种组成

| 植物名称 | 拉丁名 | 频度(%) | 植物名称 | 拉丁名 | 频度(%) |
|-------|---|-------|-------|--------------------------------------|-------|
| 青海云杉 | <i>Picea crassifolia</i> Kom. | 70 | 锦鸡儿 | <i>Caragana sinica</i> Rehder | Δ |
| 白桦 | <i>Betula platyphylla</i> Suk. | 10 | 小叶蔷薇 | <i>Rosa willmottiae</i> Hemsl. | Δ |
| 油松 | <i>Pinus tabulaeformis</i> Carr. | 30 | 刺五加 | <i>Acanthopanax senticosus</i> Harms | Δ |
| 祁连圆柏 | <i>Sabina przewalskii</i> Kom. | 15 | 白莲蒿 | <i>Artemisia sacrorum</i> Ledeb. | 71.86 |
| 青杨 | <i>Populus cathayana</i> Rehd. | 20 | 早熟禾 | <i>Poa annua</i> L. | 67.96 |
| 高山柳 | <i>Salix cupularis</i> Rehd. | 5 | 唐松草 | <i>Artemisia sacrorum</i> L. | 20.46 |
| 小叶杨 | <i>Populus simonii</i> Carr | 5 | 鼠掌老鹳草 | <i>Geranium sibiricum</i> L. | 71.83 |
| 华北落叶松 | <i>Larix principis-rupprechtii</i> Mayr | 15 | 刺儿菜 | <i>Cirsium setosum</i> MB. | 52.10 |
| 石楠 | <i>Photinia serrulata</i> Lindl. | 5 | 赖草 | <i>Leymus secalinus</i> Tzvel. | 23.35 |
| 斑叶稠李 | <i>Padus maackii</i> Kom. | 5 | 披碱草 | <i>Elymus dahuricus</i> Turcz. | 28.44 |
| 柠条锦鸡儿 | <i>Caragana korshinskii</i> Kom. | Δ | 狗娃花 | <i>Heteropappus hispidus</i> Less. | 32.14 |
| 绣线菊 | <i>Spiraea salicifolia</i> L. | Δ | 风毛菊 | <i>Saussurea japonica</i> DC. | 42.81 |

Note: Δ indicates that the frequency of species is less than 0.001. 注: Δ 表示物种频度小于 0.001。

3.1. 物种重要值

3.1.1. 乔木层物种重要值

重要值是反映群落中不同种植物的优势程度, 对计算生态位宽度等指标、了解群落中物种组成情况、确定优势种都有重要作用。安门滩流域不同立地条件下的乔木层重要值如表 4 所示, 浅山阴急坡立地条件下, 华北落叶松重要值最大($IV = 44.13$); 浅山阴缓斜坡立地条件下, 华北落叶松重要值最大($IV = 42.65$); 浅山阴平坡立地条件下, 华北落叶松重要值最大($IV = 42.99$); 浅山阳缓斜坡立地条件下, 油松重要值最大($IV = 39.59$); 浅山阳平坡立地条件下, 油松重要值最大($IV = 40.22$)。研究区人工林树种选择受栽植时技术条件等影响较大, 故而物种重要值除受环境因素影响外, 受人为因素影响较大。如青杨喜温凉及土层较厚的沙壤土, 但作为先锋树种, 在阳坡也有栽植; 青海云杉和祁连圆柏作为主要造林树种, 在不同立地条件下均有分布。阴坡条件下, 华北落叶松、青海云杉和祁连圆柏为主要优势种, 其中青海云杉随着坡度的降低, 其重要值从 20.59 增长至 26.89; 祁连圆柏与华北落叶松在不同坡度下重要值变化不明显。阳坡条件下, 油松和青杨重要值较高。

3.1.2. 草本层物种重要值

经过近二十年的近自然恢复, 安门滩流域人工林下草本物种数量丰富, 不同立地条件下的草本层重要值如表 4 所示, 白莲蒿在阴坡立地条件下, 重要值均最高, 浅山阴急坡为 18.56、浅山阴缓斜坡为 17.68、浅山阴平坡为 16.73; 阳坡立地条件下, 唐松草和白莲蒿重要值较大, 白莲蒿作为优势伴生种, 能够很好地适应不同立地类型; 唐松草喜阳, 在阳坡重要值高于阴坡; 鼠掌老鹳草、刺儿菜、风毛菊、狗娃花、

披碱草在不同立地条件下均有分布，但重要值较小。

Table 4. Important value of species
表 4. 物种重要值

| 编号 | 物种 | 浅山阴急坡 | 浅山阴缓斜坡 | 浅山阴平坡 | 浅山阳缓斜坡 | 浅山阳平坡 |
|----|-------|-------|--------|-------|--------|-------|
| 1 | 青杨 | 32.78 | — | — | 35.90 | 36.64 |
| 2 | 青海云杉 | 20.59 | 24.62 | 26.89 | 16.79 | 19.63 |
| 3 | 祁连圆柏 | 28.64 | 19.43 | 20.24 | 26.45 | 28.33 |
| 4 | 华北落叶松 | 44.13 | 42.65 | 42.99 | — | — |
| 5 | 油松 | — | — | — | 39.59 | 40.22 |
| 6 | 白桦 | — | — | — | 24.65 | 23.60 |
| 7 | 小叶杨 | — | 0.01 | — | — | — |
| 8 | 高山柳 | — | 0.02 | — | — | — |
| 9 | 斑叶稠李 | — | — | — | — | 0.04 |
| 10 | 石楠 | 0.01 | — | — | — | — |
| 11 | 白莲蒿 | 18.56 | 17.68 | 16.73 | 17.29 | 17.11 |
| 12 | 早熟禾 | 14.58 | 10.36 | 6.36 | 10.61 | 8.83 |
| 13 | 唐松草 | 2.52 | 2.48 | 3.65 | 16.69 | 18.44 |
| 14 | 鼠掌老鹳草 | 3.84 | 8.79 | 0.87 | 3.75 | 1.22 |
| 15 | 刺儿菜 | 4.21 | 4.76 | 4.48 | 6.89 | 5.69 |
| 16 | 赖草 | 2.98 | 1.63 | 1.12 | 0.87 | 0.26 |
| 17 | 披碱草 | 2.03 | 3.15 | 3.26 | 1.96 | 2.46 |
| 18 | 狗娃花 | 1.36 | 2.89 | 3.42 | 2.46 | 3.68 |
| 19 | 凤毛菊 | 1.88 | 3.05 | 4.21 | 3.26 | 4.85 |

3.2. 物种生态位宽度

3.2.1. 乔木层生态位宽度

物种生态位宽度代表该物种对当前环境条件下的资源利用能力，生态位宽度越大说明该物种对环境资源利用能力越强。安门滩流域乔木层物种生态位宽度如表 5 所示，浅山阴急坡立地条件下，青杨、祁连圆柏和华北落叶松生态位宽度分别为 0.40、0.31、0.59，青海云杉生态位宽度仅为 0.21，原因为急坡立地表层水流失较快，而青海云杉根系较浅[17]，对资源利用能力弱，生态位宽度较小。浅山阴缓斜坡和浅山阴平坡立地条件下，土层较厚，土壤较为湿润，由于华北落叶松耐阴耐寒且根系发达，故而生态位宽最大。浅山阳缓斜坡和浅山阳平坡立地条件下，土层较厚，排水较好，油松喜阳，故而生态位宽度较大；青杨作为先锋树种，由于人工栽植密度较大导致生态位宽度较大；祁连圆柏适合于阳坡生境下生长，耐旱能力强，生态位宽度大于青海云杉。乔木层不同立地下，物种生态位宽度与物种重要值相关系数如表 6 所示，二者呈正相关关系。

3.2.2. 草本层生态位宽度

安门滩流域草本层生态位宽度如表 5 所示，浅山阴急坡立地条件下，生态位宽度范围为 0.07~0.61；

浅山阴缓斜坡立地条件下, 生态位宽度范围为 0.09~0.57; 浅山阴平坡立地条件下, 生态位宽度范围为 0.01~0.59; 浅山阳缓斜坡立地条件下, 生态位宽度范围为 0.01~0.55; 浅山阳平坡生态位宽度范围为 0.06~0.61。白莲蒿是优势伴生种, 早熟禾生长速度快、再生能力较强, 二者生态位宽度在不同立地条件下均较高, 能够很好适应不同立地; 披碱草、风毛菊、狗娃花、刺儿菜在不同立地条件下生态位宽度均小于 0.20, 说明其对浅山立地适应能力较差; 唐松草喜阳, 在阳坡条件下的生态位宽度高于阴坡条件下的生态位宽度。草本层中, 物种生态位宽度与物种重要值相关系数如表 6 所示, 呈现出正相关关系。

Table 5. Niche width of species

表 5. 物种生态位宽度

| 编号 | 树种 | 浅山阴急坡 | 浅山阴缓斜坡 | 浅山阴平坡 | 浅山阳缓斜坡 | 浅山阳平坡 |
|----|-------|-------|--------|-------|--------|-------|
| 1 | 青杨 | 0.40 | — | — | 0.44 | 0.48 |
| 2 | 青海云杉 | 0.21 | 0.23 | 0.24 | 0.18 | 0.15 |
| 3 | 祁连圆柏 | 0.31 | 0.20 | 0.22 | 0.25 | 0.28 |
| 4 | 华北落叶松 | 0.59 | 0.52 | 0.54 | — | — |
| 5 | 油松 | — | — | — | 0.51 | 0.56 |
| 6 | 白桦 | — | — | — | 0.25 | 0.24 |
| 7 | 小叶杨 | — | 0.00 | — | — | — |
| 8 | 高山柳 | — | 0.00 | — | — | — |
| 9 | 斑叶稠李 | — | — | — | — | 0.00 |
| 10 | 石楠 | 0.00 | — | — | — | — |
| 11 | 白莲蒿 | 0.61 | 0.57 | 0.59 | 0.55 | 0.49 |
| 12 | 早熟禾 | 0.42 | 0.31 | 0.20 | 0.31 | 0.26 |
| 13 | 唐松草 | 0.13 | 0.14 | 0.18 | 0.49 | 0.61 |
| 14 | 鼠掌老鹳草 | 0.14 | 0.26 | 0.01 | 0.14 | 0.06 |
| 15 | 刺儿菜 | 0.16 | 0.19 | 0.19 | 0.33 | 0.19 |
| 16 | 赖草 | 0.12 | 0.09 | 0.05 | 0.01 | 0.26 |
| 17 | 披碱草 | 0.11 | 0.13 | 0.14 | 0.10 | 0.11 |
| 18 | 狗娃花 | 0.07 | 0.12 | 0.15 | 0.14 | 0.15 |
| 19 | 风毛菊 | 0.09 | 0.12 | 0.17 | 0.13 | 0.18 |

Table 6. Correlation between species importance and niche width

表 6. 物种重要值与生态位宽度相关性

| 编号 | 浅山阴急坡 | 浅山阴缓斜坡 | 浅山阴平坡 | 浅山阳缓斜坡 | 浅山阳平坡 |
|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 乔木层 | 0.99 (0.01) | 0.99 (0.01) | 0.97 (0.02) | 0.97 (0.03) | 0.96 (0.03) |
| 草本层 | 0.99 (0.01) | 0.99 (0.01) | 0.99 (0.01) | 0.97 (0.02) | 0.91 (0.03) |

注: 相关系数是正数则为正相关, 相关系数绝对值在 0.8~1 之间则为高度相关; 括号内为显著性检验的 P 值, $P > 0.05$ 表示不显著相关, $0.01 < P \leq 0.05$ 表示显著相关, $P \leq 0.01$ 表示极显著相关。

Note: If the correlation coefficient is positive, it is positive correlation, and the absolute value of correlation coefficient is highly correlated when the absolute value of correlation coefficient is 0.8 - 1; The P value of the significance test is shown in parentheses. $P > 0.05$ means not significant correlation, $0.01 < P \leq 0.05$ means significant correlation, and $P \leq 0.01$ means extremely significant correlation.

3.3. 物种生态位重叠

3.3.1. 乔木层生态位重叠

生态位重叠体现了在一个资源序列上，两个物种利用相同等级资源而相互重叠的状况，生态位重叠值越大表面两个物种对资源利用相似性越高，有可能发生竞争关系。安门滩流域乔木层生态位重叠如表 7~11 所示。通过分析不同立地条件下乔木层物种的生态位重叠可知，乔木层树种大部分不发生重叠，原因为人工林的树种选择和配置模式受人为活动影响较大，生态位重叠主要发生在混交林分中，主要重叠种对有青海云杉 - 祁连圆柏、青海云杉 - 华北落叶松、青海云杉 - 油松、青海云杉 - 白桦。不同立地地下，青海云杉 - 祁连圆柏生态位重叠范围在 0.16~0.29 间；青海云杉 - 华北落叶松在阴坡发生生态位重叠，重叠值分别为 0.24、0.25、0.21；青海云杉 - 油松在阳坡发生生态位重叠，重叠值分别为 0.19 和 0.20；青海云杉 - 白桦在阳坡发生生态位重叠，重叠值分别为 0.17 和 0.21。

Table 7. Niche overlapping of arbor layer under shade and steep slope of shallow hill

表 7. 浅山阴急坡乔木层生态位重叠

| 乔木种类 | 青杨 | 青海云杉 | 祁连圆柏 | 华北落叶松 | 石楠 |
|-------|------|------|------|-------|----|
| 青杨 | | | | | |
| 青海云杉 | 0.00 | | | | |
| 祁连圆柏 | 0.00 | 0.16 | | | |
| 华北落叶松 | 0.00 | 0.24 | 0.00 | | |
| 石楠 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.62 | |

Table 8. Niche overlapping of arbor layer under shade and gentle slope of shallow hill

表 8. 浅山阴缓斜坡乔木层生态位重叠

| 乔木种类 | 青海云杉 | 祁连圆柏 | 华北落叶松 | 小叶杨 | 高山柳 |
|-------|------|------|-------|------|-----|
| 青海云杉 | | | | | |
| 祁连圆柏 | 0.22 | | | | |
| 华北落叶松 | 0.25 | 0.00 | | | |
| 小叶杨 | 0.00 | 0.67 | 0.00 | | |
| 高山柳 | 0.58 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |

Table 9. Niche overlapping of arbor layer under shade and flat slope of shallow hill

表 9. 浅山阴平坡乔木层生态位重叠

| 乔木种类 | 青海云杉 | 祁连圆柏 | 华北落叶松 |
|-------|------|------|-------|
| 青海云杉 | | | |
| 祁连圆柏 | 0.23 | | |
| 华北落叶松 | 0.21 | 0.00 | |

Table 10. Niche overlapping of arbor layer under sunny and steep slope of shallow hill

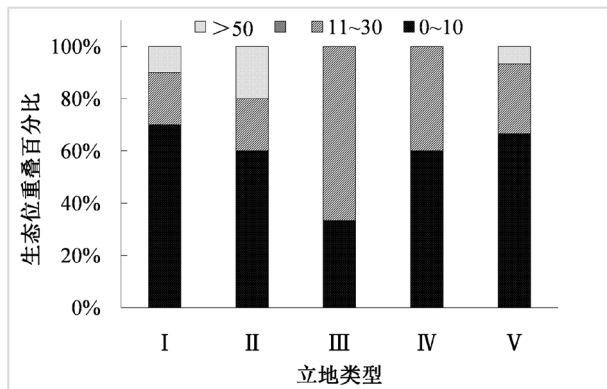
表 10. 浅山阳缓斜坡乔木层生态位重叠

| 乔木种类 | 青杨 | 青海云杉 | 祁连圆柏 | 油松 | 白桦 |
|------|------|------|------|------|----|
| 青杨 | | | | | |
| 青海云杉 | 0.00 | | | | |
| 祁连圆柏 | 0.00 | 0.22 | | | |
| 油松 | 0.00 | 0.19 | 0.17 | | |
| 白桦 | 0.00 | 0.17 | 0.00 | 0.00 | |

Table 11. Niche overlapping of arbor layer under sunny and flat slope of shallow hill
表 11. 浅山阳平坡乔木层生态位重叠

| 乔木种类 | 青杨 | 青海云杉 | 祁连圆柏 | 油松 | 白桦 | 斑叶稠李 |
|------|------|------|------|------|------|------|
| 青杨 | | | | | | |
| 青海云杉 | 0.00 | | | | | |
| 祁连圆柏 | 0.00 | 0.29 | | | | |
| 油松 | 0.00 | 0.20 | 0.19 | | | |
| 白桦 | 0.00 | 0.21 | 0.00 | 0.00 | | |
| 斑叶稠李 | 0.00 | 0.00 | 0.63 | 0.00 | 0.00 | |

不同立地条件下乔木层物种生态位重叠的百分比如图 1 所示，生态位重叠在 0~0.10 间的种对生态位重叠均为 0.00，共有 29 对；生态位重叠大于 0.5 的共有 4 个种对，分别为华北落叶松 - 石楠(0.62)、青海云杉 - 高山柳(0.58)、油松 - 小叶杨(0.67)、斑叶稠李 - 祁连圆柏(0.63)，原因为石楠、高山柳、小叶杨和斑叶稠李分布较为集中，且数量较少，故而与主林分的生态位重叠较大。



注: I 为浅山阴急坡, II 为浅山阴缓斜坡, III 为浅山阴平坡, IV 为浅山阳缓斜坡, V 为浅山阳平坡。Note: I is shallow mountain Yin steep slope, II is shallow mountain yin gentle slope, III is shallow mountain yin flat slope, IV is shallow mountain yang gentle slope, V is shallow mountain yang flat slope.

Figure 1. Percentage of species in different niche overlap of Arbor layer under different site conditions

图 1. 不同立地条件下乔木层物种生态位重叠的百分比

3.3.2. 草本层生态位重叠

安门滩流域草本层生态位重叠如表 12~16 所示。白莲蒿生态位宽度较高，分布较广，与其他物种更容易发生生态位重叠，且重叠值较大；刺儿菜生态位宽度较小，但由于与白莲蒿及与早熟禾所利用的资源位相近，导致其生态位重叠值较大。

Table 12. Niche overlap of main herb species in shade and steep slope of shallow hill
表 12. 浅山阴急坡草本层生态位重叠

| 草本种类 | 白莲蒿 | 早熟禾 | 唐松草 | 鼠掌老鹳草 | 刺儿菜 | 赖草 | 披碱草 | 狗娃花 | 风毛菊 |
|------|------|-----|-----|-------|-----|----|-----|-----|-----|
| 白莲蒿 | | | | | | | | | |
| 早熟禾 | 0.52 | | | | | | | | |

Continued

| | | | | | | | | | |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| 唐松草 | 0.24 | 0.13 | | | | | | | |
| 鼠掌老鹳草 | 0.21 | 0.15 | 0.09 | | | | | | |
| 刺儿菜 | 0.44 | 0.69 | 0.08 | 0.18 | | | | | |
| 赖草 | 0.21 | 0.37 | 0.12 | 0.25 | 0.38 | | | | |
| 披碱草 | 0.19 | 0.08 | 0.10 | 0.07 | 0.12 | 0.09 | | | |
| 狗娃花 | 0.56 | 0.29 | 0.01 | 0.05 | 0.24 | 0.20 | 0.09 | | |
| 风毛菊 | 0.42 | 0.38 | 0.14 | 0.18 | 0.44 | 0.31 | 0.44 | 0.28 | |

Table 13. Niche overlap of main herb species in shade and gentle slope of shallow hill

表 13. 浅山阴缓斜坡草本层生态位重叠

| 草本种类 | 白莲蒿 | 早熟禾 | 唐松草 | 鼠掌老鹳草 | 刺儿菜 | 赖草 | 披碱草 | 狗娃花 | 风毛菊 |
|-------|------|------|------|-------|------|------|------|------|-----|
| 白莲蒿 | | | | | | | | | |
| 早熟禾 | 0.34 | | | | | | | | |
| 唐松草 | 0.22 | 0.30 | | | | | | | |
| 鼠掌老鹳草 | 0.26 | 0.36 | 0.02 | | | | | | |
| 刺儿菜 | 0.38 | 0.59 | 0.27 | 0.36 | | | | | |
| 赖草 | 0.21 | 0.25 | 0.12 | 0.17 | 0.14 | | | | |
| 披碱草 | 0.14 | 0.23 | 0.13 | 0.08 | 0.13 | 0.04 | | | |
| 狗娃花 | 0.03 | 0.06 | 0.04 | 0.02 | 0.07 | 0.00 | 0.00 | | |
| 风毛菊 | 0.20 | 0.22 | 0.27 | 0.05 | 0.31 | 0.00 | 0.02 | 0.03 | |

Table 14. Niche overlap of main herb species in shade and flat slope of shallow hill

表 14. 浅山阴平坡草本层生态位重叠

| 草本种类 | 白莲蒿 | 早熟禾 | 唐松草 | 鼠掌老鹳草 | 刺儿菜 | 赖草 | 披碱草 | 狗娃花 | 风毛菊 |
|-------|------|------|------|-------|------|------|------|------|-----|
| 白莲蒿 | | | | | | | | | |
| 早熟禾 | 0.44 | | | | | | | | |
| 唐松草 | 0.23 | 0.16 | | | | | | | |
| 鼠掌老鹳草 | 0.19 | 0.18 | 0.15 | | | | | | |
| 刺儿菜 | 0.28 | 0.42 | 0.12 | 0.16 | | | | | |
| 赖草 | 0.24 | 0.27 | 0.23 | 0.24 | 0.25 | | | | |
| 披碱草 | 0.20 | 0.11 | 0.16 | 0.11 | 0.16 | 0.11 | | | |
| 狗娃花 | 0.33 | 0.15 | 0.09 | 0.09 | 0.22 | 0.18 | 0.11 | | |
| 风毛菊 | 0.39 | 0.24 | 0.14 | 0.11 | 0.36 | 0.25 | 0.36 | 0.22 | |

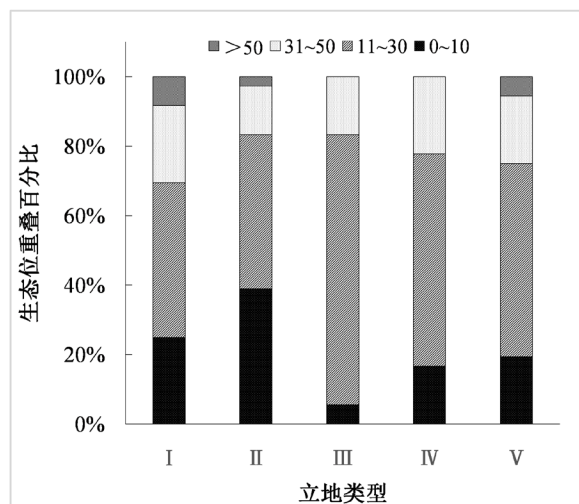
Table 15. Niche overlap of main herb species in sunny and steep slope of shallow hill
表 15. 浅山阳缓斜坡草本层生态位重叠

| 草本种类 | 白莲蒿 | 早熟禾 | 唐松草 | 鼠掌老鹳草 | 刺儿菜 | 赖草 | 披碱草 | 狗娃花 | 风毛菊 |
|-------|------|------|------|-------|------|------|------|------|-----|
| 白莲蒿 | | | | | | | | | |
| 早熟禾 | 0.38 | | | | | | | | |
| 唐松草 | 0.34 | 0.20 | | | | | | | |
| 鼠掌老鹳草 | 0.29 | 0.17 | 0.18 | | | | | | |
| 刺儿菜 | 0.45 | 0.36 | 0.17 | 0.20 | | | | | |
| 赖草 | 0.22 | 0.40 | 0.10 | 0.18 | 0.11 | | | | |
| 披碱草 | 0.17 | 0.15 | 0.22 | 0.11 | 0.18 | 0.07 | | | |
| 狗娃花 | 0.26 | 0.27 | 0.18 | 0.09 | 0.09 | 0.11 | 0.15 | | |
| 风毛菊 | 0.36 | 0.36 | 0.09 | 0.10 | 0.24 | 0.21 | 0.32 | 0.26 | |

Table 16. Niche overlap of main herb species in sunny and flat slope of shallow hill
表 16. 浅山阳平坡草本层生态位重叠

| 草本种类 | 白莲蒿 | 早熟禾 | 唐松草 | 鼠掌老鹳草 | 刺儿菜 | 赖草 | 披碱草 | 狗娃花 | 风毛菊 |
|-------|------|------|------|-------|------|------|------|------|-----|
| 白莲蒿 | | | | | | | | | |
| 早熟禾 | 0.55 | | | | | | | | |
| 唐松草 | 0.29 | 0.22 | | | | | | | |
| 鼠掌老鹳草 | 0.22 | 0.17 | 0.10 | | | | | | |
| 刺儿菜 | 0.52 | 0.38 | 0.10 | 0.18 | | | | | |
| 赖草 | 0.28 | 0.44 | 0.15 | 0.27 | 0.29 | | | | |
| 披碱草 | 0.20 | 0.07 | 0.09 | 0.11 | 0.20 | 0.07 | | | |
| 狗娃花 | 0.47 | 0.26 | 0.11 | 0.09 | 0.21 | 0.18 | 0.10 | | |
| 风毛菊 | 0.46 | 0.30 | 0.15 | 0.15 | 0.36 | 0.34 | 0.41 | 0.19 | |

草本层生态位重叠种对共有 180 对，不同立地条件下草本层物种生态位重叠的百分比如图 2 所示，由此可知不同立地条件下，草本层物种生态位重叠较高，超过 50% 的种对重叠值均高于 0.10；浅山阳缓斜坡和浅山阳平坡草本层生态位重叠在 0~0.3 之间的种对数分别为 28 对和 27 对，重叠值在 0.3~0.5 之间的种对数 8 对和 7 对，浅山阳平坡有 2 个种对生态位重叠值大于 0.5，2 种立地条件下生态位重叠值范围相近，说明阳坡立地，坡度对草本生态位重叠影响较小；阴坡草本层生态位重叠范围有一定的变化，说明阴坡立地条件下，坡度能够影响草本层生态位重叠；浅山阴平坡立地中草本层物种生态位重叠值较高，原因为该立地，土层较厚，水肥条件良好，草本层物种可利用资源位充沛，导致生态位重叠较大，与王辉[22]、王伟伟[23]研究结果一致；早熟禾、白莲蒿与其他草种的生态位重叠均较大，说明其分布较广、对环境适应能力较高且利用资源能力较高。



注: I为浅山阴急坡, II为浅山阴缓斜坡, III为浅山阴平坡, IV为浅山阳缓斜坡, V为浅山阳平坡。Note: I is shallow mountain Yin steep slope, II is shallow mountain yin gentle slope, III is shallow mountain yin flat slope, IV is shallow mountain yang gentle slope, V is shallow mountain yang flat slope.

Figure 2. Percentage of species in different niche overlap of herbunder different site conditions

图 2. 不同立地条件下草本层物种生态位重叠的百分比

4. 讨论

4.1. 不同立地条件下物种重要值与生态位宽度

物种重要值能在一定程度上反映了某一物种在植物群落中作用和地位[24],生态位宽度反映了其对环境资源的利用能力,生态位宽度的大小取决于物种对环境的适应能力、种间竞争及环境因子的分布状况[25][26]。通过对比安门滩流域物种的重要值和生态位宽度可知,二者存在一定的正相关关系,即物种重要值越大,生态位宽度也越大,与朱学灵等[27]对宝天曼自然保护区园林观赏植物陕西紫茎及其伴生种生态位研究、许诺[28]对杉木乔木层生态位研究得出的结论相一致。由于研究对象为人工林,经过多年的演替与抚育,乔木层重要值和生态位宽度受环境因素和人为活动双重影响,在浅山阴缓斜坡和浅山阴平坡立地条件下重要值和生态位宽最大,因为该立地土层较厚,土壤较为湿润,且华北落叶松耐阴耐寒、根系发达;油松喜阳,在浅山阳缓斜坡和浅山阳平坡立地条件下,生态位宽度较大;青杨和白桦作为先锋树种,在浅山阴急坡和浅山阳坡立地条件下,重要值和生态位宽度较大;祁连圆柏适合于阳坡生境下生长,耐旱能力强,在阳坡立地生态位宽度高于阴坡;青海云杉作为主要造林树种,在不同立地均有分布。草本层中,不同立地条件下草本群落对周边环境资源利用能力有差异,白莲蒿和早熟禾生态位宽度在不同立地条件下均较高,能够很好利用环境资源,为优势种;唐松草因喜阳的生态学特性,在阳坡立地的生态位宽度高于在阴坡立地的生态位宽度;披碱草、风毛菊、狗娃花在不同立地条件下生态位宽度均小于0.20但变化较小,说明其对能够适应浅山立地但利用的资源位较少;鼠掌老鹳草在浅山阴缓斜坡立地,生态位宽度最大;刺儿菜在浅山阳缓斜坡立地,生态位宽度最大;赖草在浅山阴急坡立地,生态位宽度最大。

4.2. 不同立地条件下物种生态位重叠

生态位重叠反映了物种之间对资源利用的相似程度和竞争关系[29],是评价物种对环境资源利用能力

差异性的重要指标[30]。乔木层中,通过分析不同立地条件下种群的生态位重叠可知,同一种对之间的生态位重叠值随着立地条件的改变,生态位重叠值也发生变化,如阴坡中,随着坡度降低,青海云杉-祁连圆柏在阴坡的生态位重叠值有所增加,分别为 0.16、0.22、0.23。大量研究表明,物种生态位宽度大,分布较广,因而更易于其他物种发生重叠[31][32][33],且重叠值较高;但也存在生态位宽度小,生态位重叠值较高的现象,如柴宗政[34]对秦岭油松生态位研究结果中冬瓜杨-尖叶四照花生态位宽度分别为 0.30 和 0.29,二者生态位重叠值却为 0.998,本研究存在相似结果,在浅山阴急坡立地的乔木层中,石楠生态位宽度为 0.00,与华北落叶松生态位重叠却为 0.62,原因是二者对资源需求相近,竞争较强,同时存在一定的人为干扰因素。

草本层中,不同立地条件下,草本层种对生态位重叠较高;相同种对在不同立地条件下生态位重叠值变化不大,如白莲蒿-唐松草生态位重叠变化范围为 0.22~0.34。阳坡草本层生态位重叠受坡度影响较小;阴坡草本层生态位重叠受坡度影响较大。早熟禾、白莲蒿作为优势种与其他草种的生态位重叠均较大。

5. 结论

(1) 安门滩流域物种重要值与生态位宽度呈正相关关系;在不同立地条件下,存在一定规律性,如阴坡立地中,随着坡度的降低,青海云杉重要值和生态位宽度呈增加趋势,白莲蒿重要值与生态位宽度呈减小趋势。

(2) 人工林乔木层生态位重叠受栽植时的树种选择和配置模式影响较大,部分混交模式能够很好地适应环境,如华北落叶松-青海云杉、青海云杉-祁连圆柏、油松-祁连圆柏等。

(3) 草本层生态位宽度越大的草种,发生生态位重叠的几率更大且重叠程度较高;草本层物种生态位重叠值在阳坡受坡度影响小,在阴坡受坡度影响较大。

通过研究黄土高寒区浅山人工林植物群落生态位特征,可以更好地了解人工林及林下植被的种间种内竞争关系,对近自然治理及后续造林提供一定的理论支撑和技术支持。

资助项目

国家重点研发计划“高寒丘陵区林草植被的结构优化与功能提升技术和示范”(2017YFC0504604)。

参考文献

- [1] 宋永昌. 植被生态学[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2001: 20-25.
- [2] Grinnell, J. (1917) The Niche-Relationships of the California Thrasher. *Auk*, **34**, 427-433. <https://doi.org/10.2307/4072271>
- [3] 张光明, 谢寿昌. 生态位概念演变与展望[J]. 生态学杂志, 1997, 16(6): 47-52.
- [4] Leibold, M.A. (1995) The Niche Concept Revisited: Mechanistic Models and Community Context. *Ecology*, **76**, 1371-1382. <https://doi.org/10.2307/1938141>
- [5] 杨晶晶. 青海省黄土丘陵沟壑区土壤侵蚀状况研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 陕西科技大学, 2014: 6-14.
- [6] 董冬, 许小天, 周志翔, 等. 安徽九华山风景区古树群落主要种群生态位的动态变化[J]. 生态学杂志, 2019, 38(5): 1292-1304.
- [7] 刘景, 潘存德, 余戈壁, 等. 火干扰烈度对喀纳斯针叶阔叶林主要植物种生态位的影响[J]. 新疆农业科学, 2017, 54(11): 1961-1971.
- [8] 钱逸凡, 伊力塔, 胡军飞, 等. 普陀山主要植物种生态位特征[J]. 生态学杂志, 2012, 31(3): 561-568.
- [9] 俞筱桢, 余瑞, 黄娟, 等. 贵州茂兰喀斯特森林四药门花群落优势种群生态位特征[J]. 生态学杂志, 2017, 36(12): 3470-3478.
- [10] 袁志忠, 何丙辉. 生态位理论及其在植物种群研究中的应用[J]. 福建林业科技, 2004, 31(2): 123-127.

- [11] 王兵, 郑秋红, 郭浩. 基于 Shannon-Wiener 指数的中国森林物种多样性保育价值评估方法[J]. 林业科学研究, 2008, 21(2): 268-274.
- [12] 李德志, 石强, 臧润国, 王绪平, 盛丽娟, 朱志玲, 王长爱. 物种或种群生态位宽度与生态位重叠的计测模型[J]. 林业科学, 2006, 42(7): 95-103.
- [13] 郑淑霞, 王占林. 青海省浅山地区综合抗旱造林技术[J]. 山西林业科技, 2008(1): 53-55.
- [14] Samer, A.K. and Yara, B. (2019) The Importance of Accounting for the Uncertainty around the Preference-Based Health-Related Quality-of-Life Measures Value Sets: A Systematic Review. *Journal of Medical Economics*, **22**, 671-683. <https://doi.org/10.1080/13696998.2019.1592178>
- [15] Michael, A., Sofie, S., Barry, H.L., et al. (2019) Tree Diversity and Its Ecological Importance Value in Organic and Conventional Cocoa Agroforests in Ghana. *PLoS ONE*, **14**, e0210557. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210557>
- [16] 高媛, 王继飞, 杨君珑, 等. 贺兰山东坡青海云杉林苔藓群落及环境之间的关系[J]. 水土保持研究, 2019, 26(1): 221-226+233.
- [17] Finch, J., Walck, L.J., Hidayati, S.N., et al. (2019) Germination Niche Breadth Varies Inconsistently among Three *Asclepias* Congeners along a Latitudinal Gradient. *Plant Biology*, **21**, 425-438. <https://doi.org/10.1111/plb.12843>
- [18] McFarlane, S.E., Murielle, Å., Päivi, M.S., et al. (2018) Difference in Plasticity of Resting Metabolic Rate—The Proximate Explanation to Different Niche Breadth in Sympatric *Ficedula* Flycatchers. *Ecology and Evolution*, **8**, 4575-4586. <https://doi.org/10.1002/ece3.3987>
- [19] Rebecca, T.B., Kelly, A.C., Michelle, E., et al. (2018) Frederickson. Using Niche Breadth Theory to Explain Generalization in Mutualisms. *Ecology*, **99**, 1039-1050. <https://doi.org/10.1002/ecy.2188>
- [20] 王国庆, 杜广明, 聂莹莹, 等. 草甸草原封育演替过程中主要植物种群生态位动态分析[J]. 中国草地学报, 2017, 39(6): 72-78.
- [21] 刘发蓉. 青海云杉移栽及养护技术[J]. 现代农业科技, 2019(4): 140.
- [22] 王辉, 贺康宁, 胡兴波, 等. 高寒区不同树种配置对林下植被物种多样性的影响[J]. 水土保持研究, 2012, 19(3): 147-150.
- [23] 王伟伟, 杨海龙, 贺康宁, 等. 祁连山青海云杉人工林草本层生态位及生态响应研究[J]. 草地学报, 2012, 20(4): 626-630.
- [24] 林勇, 艾训儒, 姚兰, 等. 木林子自然保护区不同群落类型主要优势种群的生态位研究[J]. 自然资源学报, 2017, 32(2): 223-234.
- [25] 刘志鹏, 李峰, 王晓超. 衡水湖湿地植被的种群生态位研究[J]. 衡水学院学报, 2014, 16(4): 5-8.
- [26] 刘屹, 邓竣尹, 谢天资, 等. 生态位研究进展及干旱河谷生态位研究重点[J]. 四川林业科技, 2015, 36(5): 16-20.
- [27] 朱学灵, 叶永忠, 吴明作, 等. 宝天曼自然保护区园林观赏植物陕西紫茎及其伴生树种的生态位特征[J]. 河南科学, 2017, 35(10): 1603-1608.
- [28] 许诺, 林开敏, 吴培培, 等. 杉木老龄林乔木层主要树种生态位研究[J]. 森林与环境学报, 2017, 37(3): 330-335.
- [29] 赵天梁. 山西崂山自然保护区侧柏林植物生态位特征[J]. 北京林业大学学报, 2015, 37(8): 24-30.
- [30] 王玉兵, 莫耐波, 汤庚国. 瑶山苣苔群落优势种群生态位研究[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(4): 893-897.
- [31] 冯飞, 张钦弟, 毕润成. 云丘山植物群落主要优势种生态位研究[J]. 山西师范大学学报(自然科学版), 2013, 27(4): 73-80.
- [32] 郭燕, 杨邵, 沈雅飞, 等. 三峡库区消落带现存草本植物组成与生态位[J]. 应用生态报, 2018, 29(11): 3559-3568.
- [33] 黄耀, 王乃江, 党鹏, 等. 黄土高原沟壑区油松人工林林下主要种群生态位研究[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2016, 37(4): 46-51.
- [34] 柴宗政, 王得祥, 张丽楠, 等. 秦岭山地天然油松群落主要植物种群生态位特征[J]. 生态学杂志, 2012, 31(8): 1917-1923.