

# 青海省大果圆柏群落物种多样性 与土壤因子的关系

宁盼<sup>1</sup>, 侯晓巍<sup>2</sup>, 胡云云<sup>2</sup>, 文妙霞<sup>2</sup>, 刘超<sup>3</sup>, 侯琳<sup>1\*</sup>

(1 西北农林科技大学 林学院, 陕西杨陵 712100; 2 国家林业和草原局西北调查规划设计院 旱区生态水文与灾害防治重点实验室, 西安 710048; 3 西安绿环林业技术服务有限责任公司, 西安 710048)

**摘要:** 大果圆柏(*Juniperus tibetica*)群落是三江源地区主要森林群落之一, 在保障中国水生态安全、保育生物多样性和延缓气候变化等方面发挥着重要作用。该研究以青海省果洛州班玛县大果圆柏天然群落为对象, 通过野外调查和室内分析, 以明确群落的物种组成, 以及物种多样性与土壤因子的关系, 为大果圆柏群落物种多样性保护和资源植物开发利用提供参考。结果表明: (1) 大果圆柏群落内共有植物 169 种, 隶属 36 科 101 属, 其中菊科(Compositae)、蔷薇科(Rosaceae)和毛茛科(Ranunculaceae)植物物种最多, 分别占总物种的 14.20%、13.61% 和 9.47%。(2) 大果圆柏群落的灌、草层物种多样性特征差异显著, 草本层的丰富度(2.90)、多样性(2.35)和优势度指数(0.80)均高于灌木层丰富度(1.03)、多样性(1.45)和优势度指数(0.70), 而均匀度指数(0.79)低于灌木层(0.89)。(3) 0~60 cm 土层林地土壤有机质、全氮、全磷含量及 pH 均值分别为(87.54±20.32) g·kg<sup>-1</sup>、(4.68±1.36) g·kg<sup>-1</sup>、(0.83±0.18) g·kg<sup>-1</sup> 和 6.73±0.51。(4) 灌木层 Margalef 指数、Shannon-Wiener 指数与土壤有机质含量呈极显著正相关关系( $P<0.01$ ); 草本层 Margalef 指数、Shannon-Wiener 指数与土壤全钾含量呈显著负相关关系( $P<0.05$ ), 与土壤 pH 呈显著正相关关系( $P<0.05$ )。研究认为, 青海省大果圆柏林地土壤有机质、全钾含量和 pH 是影响群落物种多样性的主导因子。

**关键词:** 大果圆柏群落; 物种多样性; 土壤因子; 植物-土壤关系

**中图分类号:** Q948.113; S791.44; S727.21 **文献标志码:** A

## Relationship between Species Diversity of *Juniperus tibetica* Community and Soil Factors in Qinghai Province

NING Pan<sup>1</sup>, HOU Xiaowei<sup>2</sup>, HU Yunyun<sup>2</sup>, WEN Miaoxia<sup>2</sup>, LIU Chao<sup>3</sup>, HOU Lin<sup>1\*</sup>

(1 College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 Northwest Surveying, Planning and Designing Institute of National Forestry and Grassland Administration & Key Laboratory National Forestry and Grassland Administration on Ecological Hydrology and Disaster Prevention in Arid Regions, Xi'an 710048, China; 3 Xi'an Green Ring Forestry Technical Service Co., Ltd., Xi'an 710048, China)

**Abstract:** *Juniperus tibetica* community is one of the main forest communities in the Three River Headwaters, which plays vital roles in ensuring the safety of water ecology of China, conserving biodiversity, and mitigating climate change. Based on the natural *J. tibetica* community at Banma, Guoluo, Qinghai, we revealed the community species composition and the relationship between species diversity and soil factors through field investigation and indoor analysis. This study will provide references for species diversity pro-

收稿日期: 2021-06-27; 修改稿收到日期: 2021-09-05

基金项目: 旱区生态水文与灾害防治国家林业局重点实验室 2019 年度科研项目“青海柏树生态系统有机碳空间分异特征研究(LC-2-12)”; 国家林业和草原局西北调查规划设计院“青海省柏树资源研究”

作者简介: 宁盼(1997-), 女, 硕士研究生, 主要从事森林生态学研究。E-mail: ningpp@nwfuedu.cn

\* 通信作者: 侯琳, 副研究员, 博士生导师, 主要从事森林生态学研究。E-mail: houlin\_1969@nwsuaf.edu.cn

tection and resource plants development and utilization. The results indicated that: (1) there are 169 species of plants in the *J. tibetica* community, belonging to 36 families and 101 genera. Among them, Compositae, Rosaceae and Ranunculaceae have the most species, accounting for 14.20%, 13.61% and 9.47% of the total number of species in the community. (2) There are significant differences in the species diversity characteristics of the shrub-grass layer in the *J. tibetica* community, the Margalef (2.90), Shannon-Wiener (2.35) and Simpson index (0.80) of the herb layer are higher than the Margalef (1.03), Shannon-Wiener (1.45) and Simpson index (0.70) of the shrub layer, while the Pielou index (0.79) is lower than that (0.89) of the shrub layer. (3) The soil organic matter, whole nitrogen and whole phosphorus contents and pH mean value of 0~60 cm soil layer are  $(87.54 \pm 20.32) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $(4.68 \pm 1.36) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $(0.83 \pm 0.18) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  and  $(6.73 \pm 0.51)$ , respectively. (4) Shrub layer Margalef index and Shannon-Wiener index are extremely significant positively correlated with soil organic matter content ( $P < 0.01$ ). The Margalef index and Shannon-Wiener index of the herb layer are significant negatively correlated with the total potassium content of the soil ( $P < 0.05$ ), and positively correlated with the pH value ( $P < 0.05$ ). Soil organic matter, total potassium contents and pH value are the key factors affecting the community species diversity.

**Key words:** *Juniperus tibetica* community; species diversity; soil factors; plant-soil relationship

生物多样性表征了生态系统内物种组成、结构和复杂程度,反映了生态系统内生物群落对生物和非生物环境外在综合作用<sup>[1]</sup>。土壤因子作为重要的环境因子之一,其理化性质影响着植物生长、物种组成及多样性特征<sup>[2-5]</sup>,群落物种多样性与土壤因子间的关系已成为生态学的研究热点之一<sup>[6-10]</sup>。有研究表明物种丰富度指数、多样性指数及均匀度指数与土壤容重<sup>[11-12]</sup>为负相关,有机质含量<sup>[12-14]</sup>、全氮<sup>[13]</sup>与物种多样性指数为正相关;也有研究显示有机质与物种丰富度指数<sup>[15]</sup>、优势度指数<sup>[16]</sup>为负相关;郝文芳等<sup>[17]</sup>认为土壤含水量是影响物种多样性的关键因子,而梁寒香等<sup>[18]</sup>发现土壤含水量与物种丰富度指数及多样性指数呈显著相关,而与物种均匀度指数无显著相关性。目前有关青海省大果圆柏的研究多集中于林木生长<sup>[19-20]</sup>与物种多样性特征等方面<sup>[21]</sup>,对其群落特征与土壤因子的关系鲜见报道。

大果圆柏(*Juniperus tibetica*)因其耐寒、耐旱、耐瘠薄等特性成为青海省高寒生境中主要成林树种之一,其构成的群落,在涵养水源、物种保育和维持森林生态系统稳定等方面发挥着重要作用。本研究以青海省大果圆柏群落为对象,探讨大果圆柏群落的物种组成、多样性特征及其与土壤因子的关系为大果圆柏群落保护和资源植物开发利用提供参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于青海省果洛藏族自治州班玛县( $99^{\circ}45' \sim 101^{\circ}14'E$ ,  $32^{\circ}27' \sim 33^{\circ}18'N$ ),地处大渡河上游,海拔 3 100~5 000 m,土壤类型为暗棕壤,属

于大陆性高原气候,年平均气温为  $-1.0 \sim 2.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,年平均降水量为 665.3~767.2 mm,日照年总辐射量为  $590.1 \sim 606.7 \text{ kJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。群落样地设置在多柯河林区和玛可河林区大果圆柏集中分布的地段,大果圆柏林分郁闭度介于 0.3~0.7 之间,林区内有放牧现象。

### 1.2 试验方法

**1.2.1 样地设置与群落调查** 2019年8月5~25日,在全面踏查的基础上,设置群落典型调查样地 30 个,每个样地面积为  $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ ,在每个样地内按照对角线法均匀设置 5 个  $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$  的灌木样方,在每个灌木样方内设置 1 个  $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$  的草本样方,灌木和草本样方各 150 个。对样地内的乔木进行每木检尺,测定并记录树高、胸径和树种名,分别测定并记录灌、草种名、数量、盖度、高度。

**1.2.2 土壤样品采集** 在每个样地中,按“S”形取样法,用直径为 5 cm 的土钻,分层采集土壤样品至 60 cm 土层深,每 10 cm 采集土样 1 个,同时用  $100 \text{ cm}^3$  的环刀采集各土层原状土。将每个样地内土钻采集的同土层土样均匀混合,取 500 g 编号后转入采样袋中。对环刀采集的原状土现场称重,编号后装入采样袋带回实验室。

**1.2.3 土壤理化性质测定方法** 将环刀采集的原状土置入烘箱中于  $105 \text{ }^{\circ}\text{C}$  下烘至恒重,获取土壤容重(SBD)和土壤含水量(SWC)。土壤有机质(SOM)含量采用重铬酸钾外加热氧化法测定,全氮(STN)含量采用半微量凯氏定氮法测定,全磷(STP)含量采用硫酸—高氯酸消煮—钼锑抗比色法测定,全钾(STK)含量采用氢氧化钠熔解—火焰光

度法测定<sup>[22]</sup>。

**1.2.4 物种多样性指标** 本研究中选取 Margalef、Shannon-Wiener、Simpson 和 Pielou 指数表征物种多样性特征<sup>[23]</sup>。

重要值:  $P_i = (\text{相对多度} + \text{相对频度} + \text{相对盖度})/3$

Margalef 指数:  $R = (S-1)/\ln N$

Shannon-Wiener 指数:  $H = -\sum P_i \ln(P_i)$

Simpson 指数:  $D = 1 - \sum (P_i)^2$

Pielou 指数:  $J = -\sum P_i \ln(P_i) / \ln S$

其中,  $P_i$  为第  $i$  个物种的相对重要值,  $S$  为群落内物种总数,  $N$  为群落所有物种个体数之和。

### 1.3 数据处理

数据使用 Microsoft Excel 2016 进行整理统计, 使用 SPSS19.0 和 Canoco 5.0 软件进行数据分析, 使用方差分析方法揭示大果圆柏群落物种多样性特征, 采用冗余分析(RDA)法阐明群落物种多样性与土壤因子的相关关系, 向前筛选法量化土壤因子对群落物种多样性的解释程度, 并通过逐步回归分析构建回归模型, 有效筛选影响群落物种多样性的最佳土壤因子, 使用 Origin 2021 软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 大果圆柏群落特征

**2.1.1 物种组成** 大果圆柏群落内共有植物 169 种, 隶属 36 科 101 属, 其中菊科(Compositae)、蔷薇科(Rosaceae)和毛茛科(Ranunculaceae)植物物种最多, 分别占群落内物种总种数的 14.20%、13.61% 和 9.47%(表 1)。群落内资源植物共 149 种, 主要的观赏植物有金露梅(*Potentilla fruticosa*)、银露梅(*Potentilla glabra*)、高山绣线菊(*Spiraea alpina*)等, 药用植物有刚毛忍冬(*Lonicera hispida*)、小花草玉梅(*Anemone rivularis* var. *flore-minore*)等, 饲草植物有大披针藁草(*Carex lanceolata*)、珠芽蓼(*Polygonum viviparum*)等, 食用植物有刺果茶藨子(*Ribes burejense*)和东方草莓(*Fragaria orientalis*)等(表 1)。

群落内乔木层以大果圆柏占绝对优势; 灌木层的优势种为窄叶鲜卑花(*Sibiraea angustata*), 重要值为 16%, 亚优势种为鬼箭锦鸡儿(*Caragana jubata*)、鲜黄小檗(*Berberis diaphana*)和西北小檗(*Berberis vernae*), 重要值介于 10%~15% 之间; 草本层优势种为大披针藁草, 重要值为 29.4%(表 2), 灌、草层物种均具有喜光、耐寒、耐旱的特性。

**2.1.2 群落物种多样性特征** 大果圆柏群落内灌、草层物种多样性特征差异显著(表 3), 草本层 Mar-

galef 指数(2.90)、Shannon-Wiener 指数(2.35)和 Simpson 指数(0.80)均高于灌木层 Margalef 指数(1.03)、Shannon-Wiener 指数(1.45)和 Simpson 指数(0.70), 而均匀度指数(0.79)低于灌木层(0.89)(表 3), 表明草本层较灌木层物种种类更丰富, 组成更复杂, 但物种个体数目分布不均匀。灌、草层 Margalef 指数和 Shannon-Wiener 指数变异程度较大, 变异系数均介于 15%~50% 之间, 表明大果圆柏群落内生境条件差异较大。

### 2.2 大果圆柏林地土壤理化特征

大果圆柏林地土壤 0~60 cm 土层 SWC 为 23.96%±2.44%, SBD 为(1.09±0.07) g·cm<sup>-3</sup>, 土壤 pH 6.73±0.51, SOM 含量为(87.54±20.32) g·kg<sup>-1</sup>, STN 含量为(4.68±1.36) g·kg<sup>-1</sup>, STP 含量为(0.83±0.18) g·kg<sup>-1</sup>, STK 含量为(20.28±2.12) g·kg<sup>-1</sup>(表 4)。SOM、STN 和 STP 含量变化范围较大, 变异系数均大于 15%, 土壤养分含量具有较强的异质性。

### 2.3 大果圆柏群落物种多样性与土壤因子的关系

#### 2.3.1 群落物种多样性与土壤因子的相关性

RDA 分析结果显示, 灌、草层物种多样性指数与土壤因子在前两轴的解释率分别为 39.1% 和 41.8%(图 1)。灌木层 Margalef 指数、Shannon-Wiener 指数与 SOM 呈极显著正相关( $P < 0.01$ ), 与 STP 呈显著正相关( $P < 0.05$ ), Simpson 指数与 SOM 之间呈显著正相关( $P < 0.05$ )(图 1, a); 草本层 Margalef 指数、Shannon-Wiener 指数分别与 STK 具有显著负相关关系( $P < 0.05$ ), 与 pH 之间呈现显著正相关( $P < 0.05$ ), Pielou 指数与 SOM、STP 以及 pH 也具有显著正相关关系( $P < 0.05$ )(图 1, b)。群落物种多样性与土壤因子的相关性主要体现在与土壤养分之间的相关, 与 SWC、SBD 相关性不显著。

#### 2.3.2 土壤因子对群落物种多样性的解释

向前筛选法对土壤因子进行分析, 结果表明(图 2), 土壤因子对灌木群落多样性的解释程度从大到小依次为 SOM>STP>STN>pH>STK>SWC>SBD, 其中 SOM、STP 分别解释了 50%、26% 的变化, 是影响灌木层物种多样性的关键因子; 土壤因子对草本层物种多样性的解释程度由大到小依次为 STK>STP>SOM>pH>STN>SWC>SBD, 其中 STK、STP、SOM、pH 的解释率分别为 24%、23%、22%、20%, 是影响草本层物种多样性的主要因子。整体上土壤养分对群落物种多样性的解释程度占绝对地位, SWC、SBD 对群落物种多样性解释度较小。

对影响程度较大的土壤因子进行逐步回归分析, 变化非常敏感, Margalef 指数、Shannon-Wiener 指数结果表明(表 5), 灌木层物种多样性对 SOM 含量的 数和 Simpson 指数都随 SOM 含量增加而增大; 草

表 1 大果圆柏群落物种组成

Table 1 Species composition of *Juniperus tibetica* community

序号 Number	科名 Family name	属 Genus		种 Species		资源植物种数 Number of resource plant species			
		数量 Number	比例 Ratio/%	数量 Number	比例 Ratio/%	O	M	F	E
1	菊科 Compositae	16	15.84	24	14.20	3	18	4	4
2	蔷薇科 Rosaceae	6	5.94	23	13.61	9	14	7	3
3	毛茛科 Ranunculaceae	10	9.90	16	9.47	2	14	—	2
4	豆科 Leguminosae	9	8.91	15	8.88	1	6	3	2
5	唇形科 Labiatae	6	5.94	8	4.73	—	7	1	2
6	禾本科 Gramineae	6	5.94	8	4.73	—	8	—	3
7	忍冬科 Caprifoliaceae	1	0.99	8	4.73	5	6	—	—
8	伞形科 Umbelliferae	6	5.94	7	4.14	—	6	1	1
9	龙胆科 Gentianaceae	4	3.96	5	2.96	1	4	1	2
10	小檗科 Berberidaceae	1	0.99	5	2.96	2	3	—	—
11	玄参科 Scrophulariaceae	2	1.98	5	2.96	1	3	1	—
12	虎耳草科 Saxifragaceae	2	1.98	4	2.37	—	3	—	1
13	蓼科 Polygonaceae	1	0.99	4	2.37	2	3	—	1
14	牻牛儿苗科 Geraniaceae	2	1.98	4	2.37	1	2	1	—
15	百合科 Liliaceae	1	0.99	3	1.78	—	3	—	1
16	紫草科 Boraginaceae	3	2.97	3	1.78	1	2	2	2
17	川续断科 Dipsacaceae	1	0.99	2	1.18	1	1	—	—
18	桔梗科 Campanulaceae	2	1.98	2	1.18	—	2	—	—
19	柳叶菜科 Onagraceae	2	1.98	2	1.18	1	1	—	1
20	茜草科 Rubiaceae	2	1.98	2	1.18	—	2	—	—
21	十字花科 Cruciferae	2	1.98	2	1.18	—	2	1	—
22	石竹科 Caryophyllaceae	2	1.98	2	1.18	—	2	—	—
23	杨柳科 Salicaceae	1	0.99	2	1.18	—	1	1	—
24	柏科 Cupressaceae	1	0.99	1	0.59	1	1	—	—
25	车前科 Plantaginaceae	1	0.99	1	0.59	—	1	—	—
26	大戟科 Euphorbiaceae	1	0.99	1	0.59	—	—	—	—
27	杜鹃花科 Ericaceae	1	0.99	1	0.59	—	1	—	—
28	景天科 Crassulaceae	1	0.99	1	0.59	—	1	—	—
29	藜科 Chenopodiaceae	1	0.99	1	0.59	—	1	—	1
30	萝藦科 Asclepiadaceae	1	0.99	1	0.59	—	—	1	—
31	桑科 Moraceae	1	0.99	1	0.59	—	—	1	—
32	莎草科 Cyperaceae	1	0.99	1	0.59	—	1	—	—
33	旋花科 Convolvulaceae	1	0.99	1	0.59	—	1	—	1
34	罂粟科 Papaveraceae	1	0.99	1	0.59	—	1	—	—
35	藤黄科 Guttiferae	1	0.99	1	0.59	1	—	—	1
36	瑞香科 Thymelaeaceae	1	0.99	1	0.59	1	1	—	—
	合计 Total	101	100	169	100	33	122	25	28

注: O. 观赏植物; M. 药用植物; F. 饲用植物; E. 食用植物。下同

Note: O. Ornamental plants; M. Medicinal plants; F. Forage plants; E. Edible plants. The same as below

表 2 大果圆柏群落主要物种重要值及其经济用途

Table 2 The important value of main species in *J. tibetica* community and their economic use

垂直结构 Vertical structure	植物名称 Scientific name	重要值 Important value/%	用途 Usage	
乔木层 Arbor layer	大果圆柏 <i>Juniperus tibetica</i>	100	M、O	
	窄叶鲜卑花 <i>Sibiraea angustata</i>	16.0	M、O、F	
	鬼箭锦鸡儿 <i>Caragana jubata</i>	14.2	M	
	鲜黄小檗 <i>Berberis diaphana</i>	13.6	O	
	西北小檗 <i>Berberis verna</i>	12.9	O	
	灌木 Shrub layer	金露梅 <i>Potentilla fruticosa</i>	6.1	M、O、F
		刺果茶藨子 <i>Ribes burejense</i>	5.4	M、E
		糖茶藨子 <i>Ribes himalense</i>	5.3	M
		刚毛忍冬 <i>Lonicera hispida</i>	3.6	M、O
		高山绣线菊 <i>Spiraea alpina</i>	3.0	O
银露梅 <i>Potentilla glabra</i>		3.0	M、O、F	
草本层 Herb layer		大披针薹草 <i>Carex lanceolata</i>	29.4	F
		小花草玉梅 <i>Anemone rivularis</i> var. <i>flore-minore</i>	7.2	M
	艾 <i>Artemisia argyi</i>	3.8	M、E	
	青藏薹草 <i>Carex moorcroftii</i>	3.5	—	
	阿尔泰紫菀 <i>Heteropappus altaicus</i>	3.1	M	
	东方草莓 <i>Fragaria orientalis</i>	2.7	E	
	狼毒 <i>Stellera chamaejasme</i>	2.7	M	
	甘肃薹草 <i>Carex kansuensis</i>	2.5	—	
	珠芽蓼 <i>Polygonum viviparum</i>	2.2	M、F	
	乳白香青 <i>Anaphalis lactea</i>	2.1	M	

表 3 大果圆柏群落灌、草层物种多样性方差分析

Table 3 Variance analysis of species diversity in shrub and herb layers of *J. tibetica* community

多样性指数 Diversity index	灌木层 Shrub layer	草本层 Herb layer	F 值 F value	P Significance
R	1.03±0.44	2.90±1.45	44.929	0.000**
H	1.45±0.39	2.35±0.67	35.885	0.000**
D	0.70±0.13	0.80±0.14	6.819	0.012*
J	0.89±0.08	0.79±0.12	11.184	0.002**

注:R. Margalef 指数;H. Shannon-Wiener 指数;D. Simpson 指数;J. Pielou 指数. \* 表示差异显著(P<0.05), \*\* 表示差异极显著(P<0.01);表中指数值为平均值±标准差

Note: R. Margalef index; H. Shannon-Wiener index; D. Simpson index; J. Pielou index. \* means the difference is significant (P<0.05), \*\* means the difference is extremely significant (P<0.01); The index data in the table are Mean ± SD

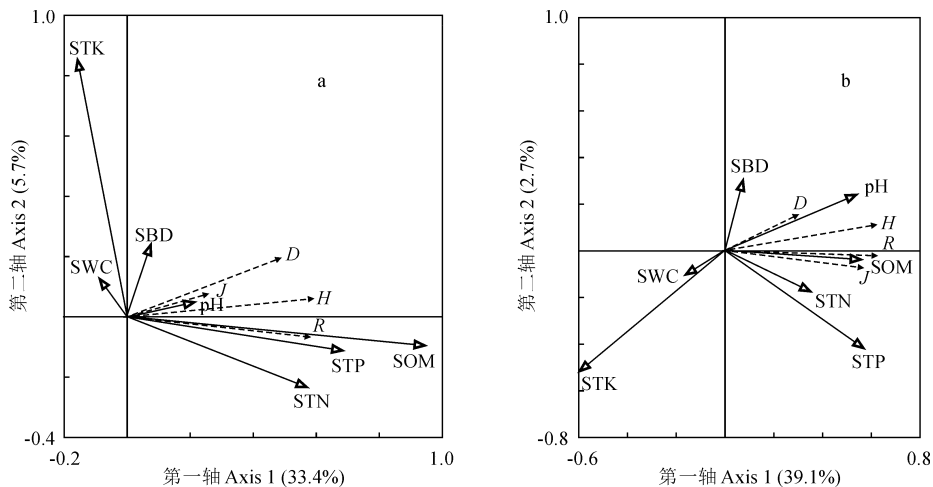
表 4 土壤理化性质

Table 4 Physical and chemical properties of soil

项目 Item	含水量 Soil water content/%	容重 Soil bulk density /(g·cm <sup>-3</sup> )	有机质 Soil organic matter /(g·kg <sup>-1</sup> )	全氮 Soil total nitrogen /(g·kg <sup>-1</sup> )	全磷 Soil total phosphorus /(g·kg <sup>-1</sup> )	全钾 Soil total potassium /(g·kg <sup>-1</sup> )	pH
含量 Content	30.42±2.44	1.09±0.07	87.54±20.32	4.68±1.36	0.83±0.18	20.28±2.12	6.73±0.51
变异系数 Coefficient variation/%	8	6	23	29	21	11	8

注:表中含量数据为平均值±标准差

Note: The content data in the table are Mean±SD



a. 灌木层; b. 草本层; R. Margalef 指数; H. Shannon-Wiener 指数; D. Simpson 指数; J. Pielou 指数; SWC. 土壤含水量; SBD. 土壤容重; SOM. 土壤有机质; STN. 土壤全氮; STP. 土壤全磷; STK. 土壤全钾; pH. 酸碱度。下同。

图 1 群落物种多样性与土壤因子的 RDA 分析

a. Shrub layer; b. Herb layer; R. Margalef index; H. Shannon-Wiener index; D. Simpson index; J. Pielou index; SWC. Soil water content; SBD. Soil bulk density; SOM. Soil organic matter; STN. Soil total nitrogen; STP. Soil total phosphorus; STK. Soil total potassium; pH. pH value; The same as below

Fig. 1 Redundancy analysis of species diversity in shrub and herb layers and soil factors

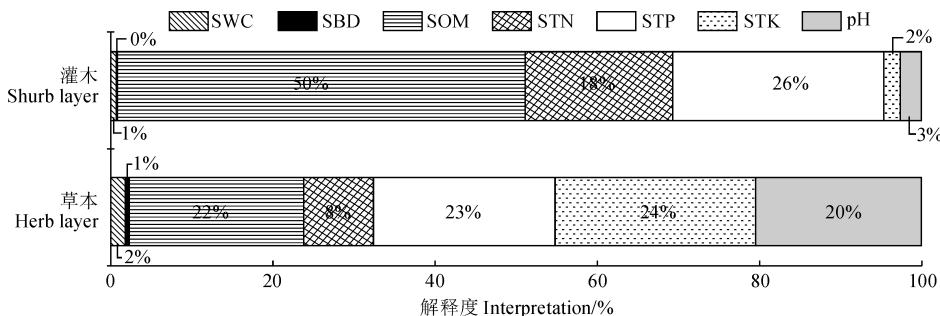


图 2 土壤因子对大果圆柏群落物种多样性的解释

Fig. 2 Interpretation of soil factors on community species diversity of *J. tibetica*

表 5 大果圆柏林群落物种多样性与土壤因子的逐步回归分析

Table 5 Stepwise multiple regression between community species diversity indices and soil factors of *J. tibetica*

多样性指数 Diversity index	逐步回归模型 Stepwise regress model	复相关系数 Multiple correlation	综合 F 值 Integration F	P Significance
R (s)	$R (s)=0.012SOM-0.023$	0.560	13.219	0.001
H (s)	$H (s)=0.011SOM+0.51$	0.557	13.035	0.001
D (s)	$D (s)=0.003SOM+0.447$	0.441	6.691	0.013
R (h)	$R (h)=8.120-0.246STK$	0.369	4.575	0.041
H (h)	$H (h)=0.413pH-0.116STK+2.045$	0.542	5.822	0.008
J (h)	$J (h)=0.003SOM+0.11pH-0.209$	0.585	7.270	0.003

本层物种多样性指数与 SOM、STK、pH 之间存在显著回归关系, Margalef 指数随 STK 增加而减小, Shannon-Wiener 指数受到 pH、STK 双因子的影响, 随 pH 增加且 STK 减少多样性指数增大,

SOM、pH 共同影响 Pielou 指数, SOM、pH 增加, 均匀度指数增大。由此可见, SOM、STK 和 pH 是影响群落物种多样性的最佳土壤变量, 是驱动大果圆柏群落物种多样性变化的关键因子。

### 3 讨论与结论

林地土壤有机质(SOM)是土壤养分的核心来源之一,对群落内植物生长和物种多样性起着关键作用<sup>[24]</sup>。本研究发现灌木层 Margalef 指数、Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数及草本层 Pielou 指数与 SOM 之间呈显著正相关关系,这与 Merunková 和 Chytrý<sup>[15]</sup>、王慧敏等<sup>[16]</sup>的研究结果不同。Merunková 和 Chytrý<sup>[15]</sup>研究表明草地植物物种丰富度与 SOM 为负相关,这是因为其研究区位于易被侵蚀的干旱阳坡,植物以耐旱、耐瘠薄的种类为主。王慧敏等<sup>[16]</sup>研究发现物种优势度指数与 SOM 含量呈显著负相关,此结果可能与研究区群落结构及生境有关,研究对象靠近河岸带,常年遭受淹水,土壤全量养分处于相对封闭状态,土壤有机质不易被植物吸收利用,进而形成单优群落,导致群落物种丰富度和优势度随土壤有机质含量增加而降低。本研究发现大果圆柏林地土壤 SOM 含量低于青海省全省平均水平(表 4),难以满足现有灌、草正常生长,灌、草多样性指数与 SOM 间正相关。

本研究发现草本层 Margalef 指数、Shannon-Wiener 指数分别与 STK 为显著负相关,原因可能是 K 含量增加能够提高植物的抗逆性,增强种间资源竞争,使优势种地位更突出,从而使群落物种丰富度和种群多样性降低<sup>[25]</sup>。

杨元武等<sup>[14]</sup>的研究表明 pH 与物种多样性呈显著负相关,原因可能是群落退化使土壤表层蒸发变强,增加了碱金属离子的浓度,使土壤 pH 偏碱性。本研究中 pH 与草本层 Margalef 指数、Shannon-Wiener 指数以及 Pielou 指数呈显著正相关,这可能与物种本身对环境的适应和植物种系的遗传特征有关<sup>[26]</sup>。

有研究表明 SWC 与物种多样性为正相关<sup>[17]</sup>,可能是研究区位于黄土丘陵区,土壤水分是植物种类分布和生长限制性因子。另有研究发现物种多样性与 SBD 为负相关<sup>[12]</sup>,可能是由于牲畜对草地土壤的长期践踏及水土侵蚀使得土壤小粒径颗粒流失,土壤容重增加,抑制了植物生长,物种多样性降低<sup>[27]</sup>。本研究中群落物种多样性与 SWC、SBD 均无显著相关性,可能是由于本研究区降水量较丰富,林地土壤含水量能够满足植物正常生长,土壤容重较小(表 4),土质疏松,有利于植物根系生长。

青海省大果圆柏群落共有植物 169 种,其中资源植物共 149 种。物种多样性特征表现为草本层丰富度、多样性及优势度均大于灌木层,但均匀度小于灌木层。根据土壤养分丰缺标准<sup>[28]</sup>,大果圆柏林地土壤 SOM 和 STN 含量丰富但低于全省平均水平,STP 含量较缺乏,STK 含量处于中等水平。林地土壤因子中有机质、全钾含量和 pH 是影响物种多样性变化的主导因子。

### 参考文献:

[1] 王顺忠,陈桂琛,柏玉平,等. 青海湖鸟岛地区植物群落物种多样性与土壤环境因子的关系[J]. 应用生态学报, 2005, **16**(1): 186-188.  
WANG S Z, CHEN G C, BAI Y P, *et al.* Interrelation between plant species diversity and soil environmental factors in bird island of Qinghai Lake [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, **16**(1): 186-188.

[2] 王世雄,王孝安,李国庆,等. 陕西子午岭植物群落演替过程中物种多样性变化与环境解释[J]. 生态学报, 2010, **30**(6): 1 638-1 647.  
WANG S X, WANG X A, LI G Q, *et al.* Species diversity and environmental interpretation in the process of community succession in the Ziwu Mountain of Shaanxi Province [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, **30**(6): 1 638-1 647.

[3] 安超平,王兴,宋乃平,等. 荒漠草原中间锦鸡儿林土壤养分效应对群落组分和多样性的影响[J]. 西北植物学报, 2016, **36**(9): 1 872-1 881.  
AN C P, WANG X, SONG N P, *et al.* Effect of soil nutrient on community composition and diversity of *Caragana intermedia* desert steppe [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2016, **36**(9): 1 872-1 881.

[4] PENG F, XUE X, YOU Q G, *et al.* Changes of soil properties regulate the soil organic carbon loss with grassland degradation on the Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Ecological Indicators*, 2018, **93**: 572-580.

[5] 余敏,周志勇,康峰峰,等. 山西灵空山小蛇沟林下草本层植物群落梯度分析及环境解释[J]. 植物生态学报, 2013, **37**(5): 373-383.  
YU M, ZHOU Z Y, KANG F F, *et al.* Gradient analysis and environmental interpretation of understory herb-layer communities in Xiaoshagou of Lingkong Mountain, Shanxi, China [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2013, **37**(5): 373-383.

[6] 段后浪,赵安,姚忠. 排序法在植物群落与环境关系研究中的应用述评[J]. 热带亚热带植物学报, 2017, **25**(2): 202-208.  
DUAN H L, ZHAO A, YAO Z. Overview of ordination methods application in relationship between plant community and environment [J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2017, **25**(2): 202-208.

[7] 王长庭,龙瑞军,王启兰,等. 放牧扰动下高寒草甸植物多样性、生产力对土壤养分条件变化的响应[J]. 生态学报, 2008, **28**(9): 4 144-4 152.  
WANG C T, LONG R J, WANG Q L, *et al.* Response of plant diversity and productivity to soil resources changing un-

- der grazing disturbance on an alpine meadow [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, **28**(9): 4 144-4 152.
- [8] WANG C T, LONG R J, WANG Q L, *et al.* Effects of soil resources on species composition, plant diversity, and plant biomass in an alpine meadow, Qinghai-Tibetan Plateau [J]. *Israel Journal of Ecology and Evolution*, 2013, **54**(2): 205-222.
- [9] ZHANG Q P, WANG J, WANG Q. Effects of abiotic factors on plant diversity and species distribution of alpine meadow plants [J]. *Ecological Informatics*, 2021, **61**: 101 210.
- [10] 张 静, 陈志林, 侯晓巍, 等. 三江源区祁连圆柏群落物种多样性沿海拔梯度的变化格局[J]. 西北植物学报, 2020, **40**(10): 1 759-1 767.  
ZHANG J, CHEN Z L, HOU X W, *et al.* Species diversity of *Juniiperus Przewalskii* community in Three River Headwater along altitude gradient [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2020, **40**(10): 1 759-1 767.
- [11] 张 倩, 杨 晶, 姚宝辉, 等. 放牧模式对祁连山东缘高寒草甸土壤理化特性和物种多样性的影响[J]. 草原与草坪, 2021, **41**(2): 105-112.  
ZHANG Q, YANG J, YAO B H, *et al.* Effects of grazing modes on soil physical, chemical properties and species diversity in alpine meadow in the eastern margin of Qilian Mountains [J]. *Grassland and Turf*, 2021, **41**(2): 105-112.
- [12] 李成阳, 张文娟, 赖帜敏, 等. 黄河源区不同退化程度高寒草原群落生产力、物种多样性和土壤特性及其关系研究[J]. 生态学报, 2021, **41**(11): 4 541-4 551.  
LI C Y, ZHANG W J, LAI C M, *et al.* Plant productivity, species diversity, soil properties, and their relationships in an alpine steppe under different degradation degrees at the source of the Yellow River [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, **41**(11): 4 541-4 551.
- [13] 石攀基, 刘冬志, 田燕菲, 等. 新疆卡山自然保护区典型水源地植物群落特征及其与土壤因子的关系[J]. 西北植物学报, 2021, **41**(7): 1 221-1 228.  
SHI P J, LIU D Z, TIAN Y F, *et al.* Characteristics of plant communities and correlation with soil factors in Mountain Kalamaili Ungulate Nature Reserve [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2021, **41**(7): 1 221-1 228.
- [14] 杨元武, 李希来, 周旭辉, 等. 高寒草甸植物群落退化与土壤环境特征的关系研究[J]. 草地学报, 2016, **24**(6): 1 211-1 217.  
YANG Y W, LI X L, *et al.* Study on relationship between plant community degradation and soil environment in an alpine meadow [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2016, **24**(6): 1 211-1 217.
- [15] MERUNKOVÁ K, CHYTRÝ M. Environmental control of species richness and composition in upland grasslands of the southern Czech Republic [J]. *Plant Ecology*, 2012, **213**(4): 591-602.
- [16] 王慧敏, 张 峰, 庞春花, 等. 汾河流域中下游植物群落物种多样性与土壤因子的关系[J]. 西北植物学报, 2013, **33**(10): 2 077-2 085.  
WANG H M, ZHANG F, PANG C H, *et al.* Interrelation between plant species diversity and soil factors in the middle and lower reaches of Fenhe River [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2013, **33**(10): 2 077-2 085.
- [17] 郝文芳, 杜 峰, 陈小燕, 等. 黄土丘陵区天然群落的植物组成、植物多样性及其与环境因子的关系[J]. 草地学报, 2012, **20**(4): 609-615.
- HAO W F, DU F, CHEN X Y, *et al.* Composition and diversity analysis of natural-community plants in the Loess Hilly Region [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2012, **20**(4): 609-615.
- [18] 梁香寒, 张克斌, 乔 厦. 半干旱黄土区柠条林土壤水分和养分与群落多样性关系[J]. 生态环境学报, 2019, **28**(9): 1 748-1 756.  
LIANG X H, ZHANG K B, QIAO X. Relationship between soil moisture and nutrients and plant diversity of *Caragana microphylla* community in semi-arid loess region [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2019, **28**(9): 1 748-1 756.
- [19] 石松林, 靳甜甜, 刘国华, 等. 气候变暖抑制西藏拉萨河大果圆柏树木生长[J]. 生态学报, 2018, **38**(24): 8 964-8 972.  
SHI S L, JIN T T, LIU G H, *et al.* Climate warming decelerates growth of *Sabina tibetica* in Lhasa River area of Tibet [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, **38**(24): 8 964-8 972.
- [20] 宋馥杉, 方欧娅. 三江源国家公园大果圆柏生长衰退历史研究[J]. 森林与环境学报, 2019, **39**(4): 386-392.  
SONG F S, FANG O Y. Research on history of *Juniiperus tibetica* growth decline in Three-River-Source National Park [J]. *Journal of Forest and Environment*, 2019, **39**(4): 386-392.
- [21] 何友均, 崔国发, 邹大林, 等. 三江源自然保护区主要森林群落物种多样性研究[J]. 林业科学研究, 2007, **20**(2): 241-245.  
HE Y J, CUI G F, ZOU D L, *et al.* Plant species diversity of main forest community types in San Jiangyuan National Nature Reserve [J]. *Forest Research*, 2007, **20**(2): 241-245.
- [22] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2013, 30-101.
- [23] 马克平, 黄建辉, 于顺利, 等. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究: II. 丰富度、均匀度和物种多样性指数[J]. 生态学报, 1995, **15**(3): 268-277.  
MA K P, HUANG J H, YU S L, *et al.* Plant community diversity in Dongling Mountain, Beijing, China: II. species richness, evenness and species diversities [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, **15**(3): 268-277.
- [24] 杨玉海, 陈亚宁, 李卫红. 新疆塔里木河下游土壤特性及其对物种多样性的影响[J]. 生态学报, 2008, **28**(2): 602-611.  
YANG Y H, CHEN Y N, LI W H. Soil properties and their impacts on changes in species diversity in the lower reaches of Tarim River, Xinjiang, China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, **28**(2): 602-611.
- [25] 万开元, 汤雷雷, 潘俊峰, 等. 农田土壤养分如何调节杂草群落结构及其生物多样性——以长期施肥下的砂姜黑土田冬小麦杂草群落为例[C]//中国植物保护学会杂草学分会论文集. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2011: 22-34.
- [26] PÄRTEL M, HELM A, INGERPUU N, *et al.* Conservation of Northern European plant diversity: The correspondence with soil pH [J]. *Biological Conservation*, 2004, **120**(4): 525-531.
- [27] XU H P, ZHANG J, PANG X P, *et al.* Responses of plant productivity and soil nutrient concentrations to different alpine grassland degradation levels [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2019, **191**(11): 678.
- [28] 青海省农业资源区划办公室. 青海土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997, 332-336.