

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

张 静¹, 陈志林², 侯晓巍², 闫义生², 井 赛¹, 侯 琳^{1*}

(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, 西安 710048)

摘 要: 采取典型样地法, 以三江源保护分区的麦秀林场、中铁林场的祁连圆柏天然群落为研究对象, 调查群落内物种盖度、多度、频度等, 分析了物种组成和 α 多样性、 β 多样性对海拔梯度的响应, 旨在对当地物种多样性保护及经济作物的培育提供参考, 同时为青海省柏树生态系统服务功能评价提供理论依据。结果表明: (1) 样地内共调查到植物 72 种, 隶属 27 科 58 属, 其中裸子植物 1 科 1 属 1 种, 双子叶植物 21 科 48 属 61 种, 单子叶植物 5 科 9 属 10 种, 并以菊科在群落里种类最多。(2) 植物物种丰富度表现为: 草本层 > 灌木层 > 乔木层, 乔木层以祁连圆柏占绝对优势, 灌、草层的物种丰富度在海拔梯度上则呈明显的“偏峰”格局, 且均在海拔 3 150 m 处达到最大值。(3) 随着海拔的上升, 灌木层及草本层 α 多样性呈“波动”形变化趋势, 均在海拔 3 550 m 处达到最低值。(4) 灌木层的 Cody 指数在海拔 2 950~3 150 m 段达到峰值, 草本层在海拔 3 150~3 350 m 处达到峰值; Sorensen 指数灌木层在海拔 2 950~3 150 m 和 3 350~3 550 m 处均出现峰值, 草本层在海拔 2 950~3 150 m 处出现峰值。研究认为, 三江源保护区在生态修复过程中, 应在低海拔地区加强管护, 控制人为干扰的强度, 并加大当地经济植物资源培育与利用, 以增加农牧民的收益。

关键词: 三江源; 祁连圆柏; 海拔; 物种多样性

中图分类号: Q948.15⁺6; Q948.114

文献标志码: A

Species Diversity of *Juniperus przewalskii* Community in Three River Headwater along Altitude Gradient

ZHANG Jing¹, CHEN Zhilin², HOU Xiaowei², YAN Yisheng², JING Sai¹, HOU Lin^{1*}

(1 College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 Northwest Institute of Forest Inventory, Planning and Design, State Forest and Grassland Administration, Xi'an 710000, China)

Abstract: In order to provide reference for the protection of local species diversity and cultivation of economic crops as well as provide a basis for the ecosystem service function assessment of *Juniperus*, we investigated the coverage, abundance, frequency, etc and analyzed the responses of species composition, α diversity and β diversity to elevation gradient in the communities of *Juniperus przewalskii* natural forest in Maxiu forest centre and Zhongtie forest centre in Three River Headwater based on the field investigation. The results indicated that: (1) a total of 72 species were investigated in the sample plot, belonging to 27 families and 58 genera. Among them, 1 species of gymnosperms belong to 1 family and 1 genus, 61 species of dicotyledonous belong to 21 families and 48 genera, 10 species of monocotyledonous belong to 5

收稿日期: 2020-06-26; 修改稿收到日期: 2020-09-23

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”

作者简介: 张 静 (1995-) 女, 硕士研究生, 主要从事森林生态学研究。E-mail: zjzhangjing10@163.com

* 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

families and 9 genera. For *Juniperus przewalskii* forest, Compositae are dominant. (2) The species richness of vegetation layer was as follows: herb layer > shrub layer > arbor layer. The arbor layer was dominated by *J. przewalskii*, while the species richness of shrub and herb layer showed an obvious “lateral pattern” on the elevation gradient, both reaching the maximum value at 3 150 m. (3) With the rise of altitude, shrub layer and herb layer α diversity showed a “wave”-shaped change trend, reaching the lowest value at 3 550 m. (4) The Cody index of shrub layer reached its peak at 2 950–3 150 m, and that of herb layer reached its peak at 3 150–3 350 m. The Sorenson index of shrub layer peaks at 2 950–3 150 m and 3 350–3 550 m, while herb layer peaks at 2 950–3 150 m. Therefore, in the process of ecological restoration, the degree of human disturbance should be controlled at low altitudes and the cultivation and utilization of local economic plants should be increased for enhancing the income of farmers and herders.

Key words: Three River Headwater; *Juniperus przewalskii*; altitude; species diversity

植物物种多样性为人类生存提供丰富的物质资源和环境条件,是生态系统健康程度的重要指标,能够揭示生态系统变化、维持群落生产力^[1],同时也是构成生态系统服务功能的重要部分之一^[2]。植物物种多样性一直是生态学领域关注的热点问题。目前国内外学者已对热带雨林^[3]、阔叶林^[4]、草原^[5]等植物群落的物种多样性展开了大量研究,因不同植物所需的生存条件不同,环境因子的不断变化及其之间复杂的相互作用对物种分布与多度产生重要影响^[6]。海拔梯度蕴含了温度、湿度及太阳辐射的综合变化,开展不同海拔梯度下植物群落物种多样性研究,对探明物种最佳生存条件、群落健康状态具有重要意义。

三江源区域为青藏高原腹地,素有“中国水塔”之称,是黄河、长江、澜沧江的发源地^[7],也是中国面积最大的自然保护区。该区生态系统类型复杂多样,其中森林生态系统占有重要地位,在涵养水源、调节气候、固持水土等方面发挥着积极作用。祁连圆柏(*Juniperus przewalskii*)为该地区主要成林树种之一,但目前关于三江源地区的植物物种多样性研究多侧重于湿地、高寒草甸等生态系统^[8-9],而有关森林生态系统的研究也多集中于青海云杉(*Picea crassifolia*)、大果圆柏(*Juniperus tibetica*)等植物群落^[10-11],有关祁连圆柏群落的物种组成特征、沿海拔梯度的 α 多样性、 β 多样性的研究鲜见报道。

本研究以地处三江源保护分区的麦秀林场、中铁林场的祁连圆柏天然林群落为研究对象,分析海拔梯度下物种多样性的差异,旨在对当地物种多样性保护及经济作物的培育提供参考,同时为青海省柏树生态系统服务功能评价提供数据支撑。

1 研究区概况

本研究区域选设在青海省黄南州泽库县麦秀林

场和海南州兴海县中铁林场(100°6′~101°56′ E, 35°0′~35°16′ N,海拔 2 950~3 750 m)。土壤类型以山地草甸土和山地棕钙土为主,土层厚度 50~105 cm,研究区属温带半干旱气候区,年均气温 -2.4~5.9℃,年降水量 240~460 mm,无霜期 36~78 d。受生境条件的限制,乔木层以祁连圆柏占绝对优势;灌木层主要有银露梅(*Potentilla glabra*)、金露梅(*Potentilla fruticosa*)、灰栒子(*Cotoneaster acutifolius*)、高山柳(*Salix cupularis*)等;草本层主要有披碱草(*Elymus dahuricus*)、大披针薹草(*Carex lanceolata*)、野青茅(*Deyeuxia kokonorica*)、珠芽蓼(*Polygonum viviparum*)、甘肃马先蒿(*Pedicularis cranulophya*)等。部分群落已采取保护措施,有铁丝围挡,也有部分群落存在伐桩、牛粪等人为干扰的痕迹。

2 研究方法

2.1 样地设置与调查方法

2018 年 7~8 月开展外业调查工作,在全面完成踏查的基础上,选取祁连圆分布集成的地段,从海拔 2 950 m 起,海拔每升高 200 m 设立 6 块 20 m×20 m 的群落调查样地(即在海拔 2 950 m、3 150 m、3 350 m、3 550 m、3 750 m 处),共设立 30 块样地。每个群落调查样地内按照“对角线法”,设置 5 个 5×5 m 灌木样方,5 个 1×1 m 草本样方。在每个样地内对乔木进行每木检尺,记录种名、胸径、树高、枝下高、冠幅、林分郁闭度等;在灌草样方中,分物种,测量记录每个物种的数量、平均高度、盖度、频度等。同时利用 GPS 定位,记录经纬度、海拔、坡位、坡度等生境因子。

2.2 物种多样性的测度方法

物种丰富度指各海拔梯度群落中出现的物种数,根据调查资料,计算出每个样地不同物种的重要

值,再依据生境类型的划分(5个海拔地点,1个海拔地点6个样地),统算出各生境类型的不同物种重要值平均值,依据平均值计算出5个海拔点的 α 多样性指数, β 多样性指数的计算则以样地为单位统计数据。

2.2.1 重要值 不同生活型物种的重要值计算方法如下:

乔木:重要值=(相对多度+相对频度+相对显著度)/3 [1]

灌木:重要值=(相对多度+相对频度+相对盖度)/3 [2]

2.2.2 α 多样性指数与物种丰富度

Shannon-Wiener 指数: $H' = -\sum P_i \ln P_i$ [3]

Pielou 指数: $J = H' / \ln S$ [4]

Simpson 指数: $D = 1 - \sum P_i^2$ [5]

丰富度: $N = S$ (样地内出现的物种数量) [6]

式中, S 表示物种数目, P_i 表示种 i 的重要值。

2.2.3 β 多样性指数与物种丰富度

Cody 指数: $\beta_c = (b + c) / 2$ [7]

Sorenson 指数: $C_s = 2a / (2a + b + c)$ [8]

式中, a 是相邻海拔样地的共有物种数目, b 是沿海拔梯度样地内消失的物种数目, c 是沿海拔梯度样地内出现的物种数目。

2.3 数据处理

使用 Excel 2013 对收集数据进行预处理,并完成多样性指数的计算;采用 SPSS 23.0 软件的 ANOVA 分析和 LSD 检验阐明不同生境类型(5个海拔)物种多样性指数差异特征;利用 Origin 2018 制图。

3 结果与分析

3.1 群落物种组成与区系特征

通过对 30 个样地调查资料分析,祁连圆柏群落内植物种类数为 72 种,隶属 27 科 58 属。其中裸子植物 1 科 1 属 1 种,双子叶植物 21 科 48 属 61 种,单子叶植物 5 科 9 属 10 种。以菊科植物在群落里种类最多,为 7 属 8 种,其次是蔷薇科 6 属 7 种、唇形科 5 属 6 种、毛茛科 4 属 6 种,4 科分别占属、种总数的 37.9%、37.5%。仅含 1 属 1 种的植物共 10 科,占调查总科数的 37.0%(表 1)。可见,祁连圆柏群落物种组成呈现多数种属于少数科,少数种属于多数科的特征,这与西北荒漠区植被特点相符^[14],也表明祁连圆柏群落处于演替顶极。

三江源地区因其特殊的高原环境,植物资源种

类丰富且独特,根据其用途,将祁连圆柏群落内资源植物分为 3 类:

(1)药用植物

药用植物共出现 52 种,隶属于 23 科 46 属,是资源类植物种类最丰富的一类,分别占总科、属、种的 85.2%、79.3%、72.2%,主要包括:银露梅、山生柳(*Salix oritrepha*)、灰栒子、鲜黄小檗(*Berberis diaphana*)、美丽风毛菊(*Saussurea pulchra*)、长柱沙参(*Adenophora stenanthina*)、黑柴胡(*Bupleurum smithii*)、金露梅、长叶火绒草(*Leontopodium longifolium*)等。

(2)观赏植物

观赏植物共出现 15 种,隶属于 10 科 12 属,分别占总科、属、种的 37.0%、20.6%、20.8%,主要包括:山丹(*Lilium pumilum*)、美丽风毛菊(*Saussurea pulchra*)、朱兰(*Pogonia japonica*)、老鹳草(*Geranium dahuricum*)、大通翠雀花(*Delphinium pylzowii*)、甘肃瑞香(*Daphne tangutica*)、石竹(*Dianthus chinensis*)等。

(3)饲用植物

饲用植物共出现 9 种,隶属 8 科 8 属,分别占调查总科、属、种的 29.6%、13.8%、12.5%,主要包括:野青茅、大披针藁草、白花枝子花(*Dracocephalum heterophyllum*)、紫云英(*Astragalus sinicus*)、酸模(*Rumex acetosa*)等(表 3)。

按照吴征镒等关于中国种子植物科、属的分布区类型划分方法^[15-16],祁连圆柏群落 27 科植物属于 6 个分布区,以世界广布、北温带分布最多,分别为 20 科、5 科,各占总科数的 74.1%、18.5%,其余分布区均有 1 科。58 个属隶属于 12 个分布区,同样以世界广布、北温带分布最多,分别为 12 属、25 属,其次是旧温带分布,为 11 属,各占总属数的 20.7%、43.1%、19.0%,其余分布区各有 1~2 属(表 2),说明温带气候更适宜祁连圆柏群落内植物的生存。

3.2 海拔梯度下群落物种重要值

重要值可综合反映出某个物种在群落中的地位与作用,是判定群落内建群种和优势种的重要依据^[12]。在各海拔乔木层中,祁连圆柏的重要值均最大,为建群种;灌木层银露梅、金露梅的重要值最大,为优势种,次优势种为灰栒子和高山柳,均为喜光、耐寒物种,与三江源地区光照充足、高寒干冷的气候特征有关,但在海拔 3 750 m 处时,林内温度和湿度极低,不满足灌木生存条件,灌木消失,重要值为 0;

表 1三江源祁连圆柏群落植物科内属、种统计

Table 1Number and percentage of genera and species in each family from *Juniperus przewalskii* community in Three River Headwater

科名 Family name	属数 Number of genera	占属内的比例 Ratio/%	种数 Number of species	占种内的比例 Ratio/%
柏科 Cupressaceae	1	1.73	1	1.39
菊科 Compositae	7	12.07	8	11.11
蔷薇科 Rosaceae	6	10.35	7	9.72
唇形科 Labiatae	5	8.62	6	8.33
毛茛科 Ranunculaceae	4	6.90	6	8.33
百合科 Liliaceae	4	6.90	4	5.55
豆科 Leguminosae	2	3.45	4	5.55
龙胆科 Gentianaceae	2	3.45	4	5.55
伞形科 Umbelliferae	3	5.18	4	5.55
石竹科 Caryophyllaceae	3	5.18	3	4.17
大戟科 Euphorbiaceae	2	3.45	2	2.78
禾本科 Gramineae	2	3.45	2	2.78
蓼科 Polygonaceae	2	3.45	2	2.78
瑞香科 Thymelaeaceae	2	3.45	2	2.78
莎草科 Cyperaceae	1	1.72	2	2.78
小檗科 Berberidaceae	1	1.72	2	2.78
玄参科 Scrophulariaceae	1	1.72	2	2.78
杨柳科 Salicaceae	1	1.72	2	2.78
败酱科 Valerianaceae	1	1.72	1	1.39
虎耳草科 Saxifragaceae	1	1.72	1	1.39
堇菜科 Violaceae	1	1.72	1	1.39
桔梗科 Campanulaceae	1	1.72	1	1.39
兰科 Orchidaceae	1	1.72	1	1.39
牻牛儿苗科 Geraniaceae	1	1.72	1	1.39
忍冬科 Caprifoliaceae	1	1.72	1	1.39
石蒜科 Amaryllidaceae	1	1.72	1	1.39
紫草科 Boraginaceae	1	1.72	1	1.39
合计 Total	58	100	72	100

表 2三江源祁连圆柏群落植物分布区类型

Table 2Area-types of *J. przewalskii* community in Three River Headwater

分布类型 Areal-type	科 Family	比例 Percentage/%	属 Genus	比例 Percentage/%
1 世界广布 Widespread	20	74.1	12	20.7
2 泛热带 Pantropic	2	7.4	2	3.5
4 旧世界热带 Old World Tropics	0	0	1	1.7
8 北温带 North Temperate	5	18.5	25	43.1
9 东亚及北美间断 East Asia & North Amer. disjuncted	0	0	1	1.7
10 旧世界温带 Old World Temperate	0	0	11	19.0
11 温带亚洲 Temperate Asia	0	0	2	3.5
13 中亚 Central Asia	0	0	1	1.7
14 东亚 East Asia	0	0	3	5.1

表 3 各海拔不同植被层下主要物种的重要值

Table 3 Species importance values of different vegetable layers along altitude gradient

植被层 Vegetable layer	种名 Species	经济价值 Economic value	重要值 Species importance values				
			2950 m	3150 m	3350 m	3550 m	3750 m
乔木层 Arbor layer	祁连圆柏 <i>Juniperus przewalskii</i>		100	100	100	100	100
灌木层 Shrub layer	银露梅 <i>Potentilla glabra</i>	M、O、F	22.35	32.14	22.63	30.06	—
	金露梅 <i>Potentilla fruticosa</i>	M、O、F	5.67	13.76	34.26	31.12	—
	灰栒子 <i>Cotoneaster acutifolius</i>	M、O	20.79	11.09	—	16.72	—
	高山柳 <i>Salix cupularis</i>	F	—	2.62	24.81	1.74	—
	鲜黄小檗 <i>Berberis diaphana</i>	M	12.52	3.65	—	20.36	—
	拟小檗 <i>Berberis parapruinosa</i>	—	—	28.63	18.30	—	—
	昌都锦鸡儿 <i>Caragana changduensis</i>	M	2.26	1.53	—	—	—
	窄叶鲜卑花 <i>Sibiraea angustata</i>	—	9.54	4.58	0	—	—
	山生柳 <i>Salix oritrepha</i>	M	14.10	—	—	—	—
	高山绣线菊 <i>Spiraea alpina</i>	—	12.77	—	—	—	—
	唐古特忍冬 <i>Lonicera tangutica</i>	M、O	—	1.00	—	—	—
	鬼箭锦鸡儿 <i>Caragana jubata</i>	M	—	1.00	—	—	—
	总计 Total		100	100	100	100	—
草本层 Herb layer	大披针薹草 <i>Carex lanceolata</i>	F	7.51	17.32	31.42	12.52	27.11
	披碱草 <i>Elymus dahuricus</i>	—	7.36	9.96	—	10.36	2.23
	野青茅 <i>Deyeuxia kokonorica</i>	F	10.01	2.26	—	—	2.73
	珠芽蓼 <i>Polygonum viviparum</i>	M	3.03	2.85	24.65	16.82	13.43
	长柱沙参 <i>Adenophora stenanthina</i>	M	8.28	5.48	0.69	—	2.40
	阿尔泰狗娃花 <i>Heteropappus altaicus</i>	F	—	5.51	2.37	7.33	6.27
	美丽风毛菊 <i>Saussurea pulchra</i>	M、O	7.63	0.95	2.29	5.04	—
	长叶火绒草 <i>Leontopodium longifolium</i>	M	4.72	5.57	8.09	5.86	14.24
	乳白香青 <i>Anaphalis lactea</i>	M	0.57	1.56	2.06	0.49	—
	甘西鼠尾草 <i>Salvia przewalskii</i>	M	4.01	5.63	0.88	—	4.61
	小花草玉梅 <i>Anemone rivularis</i>	M	—	1.69	0.10	3.59	—
	大通翠雀 <i>Delphinium pylzowii</i>	M、O	0.54	2.24	—	3.82	—
	甘肃马先蒿 <i>Pedicularis cranolopha</i>	—	2.72	6.01	1.88	—	9.92
	狼毒 <i>Euphorbia fischeriana</i>	M	2.67	3.25	1.61	5.98	3.27
	黑柴胡 <i>Bupleurum smithii</i>	M	5.83	2.82	0.13	0.45	—
	达乌里秦艽 <i>Gentiana dahurica</i>	M	—	0.93	0.46	6.26	—
	异叶败酱 <i>Patrinia heterophylla</i>	M	—	2.11	—	2.88	13.79
	青藏薹草 <i>Carex moorcroftii</i>	—	14.57	—	—	1.38	—
	艾 <i>Artemisia argyi</i>	M	1.54	0.49	—	—	—
	白花枝子花 <i>Dracocephalum heterophyllum</i>	M、F	0.54	—	—	—	—
	北柴胡 <i>Bupleurum chinense</i>	M	0.54	0.99	—	—	—
	贝加尔唐松草 <i>Thalictrum baicalense</i>	M	7.57	8.92	—	—	—
	并头黄芩 <i>Scutellaria scordifolia</i>	—	0.51	0.31	—	—	—
	草地风毛菊 <i>Saussurea amara</i>	O	0.63	0.37	0.51	—	—
	箭头唐松草 <i>Thalictrum simplex</i>	—	1.72	—	—	—	—
	山丹 <i>Lilium pumilum</i>	M、O	0.68	—	—	—	—

续表 3 Continued Table 3

植被层 Vegetable layer	种名 Species	经济价值 Economic value	重要值 Species importance values				
			2950 m	3150 m	3350 m	3550 m	3750 m
草本层 Herb layer	蛇床 <i>Cnidium monnieri</i>	M	1.88	1.52	—	—	—
	石竹 <i>Dianthus chinensis</i>	M、O	0.86	—	—	—	—
	酸模 <i>Rumex acetosa</i>	M、F	0.57	—	—	—	—
	凸额马先蒿 <i>Pedicularis cranolopha</i>	—	1.06	2.09	4.78	8.68	—
	羊齿天门冬 <i>Asparagus filicinus</i>	M、O	0.79	—	—	—	—
	叶下珠 <i>Phyllanthus urinaria</i>	M	1.66	—	—	—	—
	白苞筋骨草 <i>Ajuga lupulina</i>	M	—	0.25	1.52	—	—
	葱莲 <i>Zephyranthes candida</i>	M、O	—	0.54	1.71	—	—
	还阳参 <i>Crepis rigescens</i>	M	—	1.49	—	—	—
	金翼黄耆 <i>Astragalus chrysopterus</i>	—	—	0.44	—	2.15	—
	镰叶韭 <i>Allium carolinianum</i>	—	—	1.39	0.42	—	—
	轮叶黄精 <i>Polygonatum verticillatum</i>	M、O	—	1.18	—	—	—
	迷果芹 <i>Sphallerocarpus gracilis</i>	M	—	0.25	—	—	—
	湿生扁蕾 <i>Gentianopsis paludosa</i>	M	—	0.40	—	—	—
	细蝇子草 <i>Silene gracilicaulis</i>	M	—	0.27	—	—	—
	烟管头草 <i>Carpesium cernuum</i>	M	—	2.66	—	—	—
	紫云英 <i>Astragalus sinicus</i>	M、F	—	0.30	—	—	—
	草玉梅 <i>Anemone rivularis</i>	M	—	—	1.15	—	—
	东方草莓 <i>Fragaria orientalis</i>	—	—	—	0.71	—	—
	甘青青兰 <i>Dracocephalum tanguticum</i>	M	—	—	0.10	—	—
	高原毛茛 <i>Ranunculus tanguticus</i>	M	—	—	3.89	—	—
	老鹳草 <i>Geranium wilfordii</i>	M、O	—	—	0.09	2.93	—
	鳞叶龙胆 <i>Gentiana squarrosa</i>	—	—	—	1.43	—	—
	乳浆大戟 <i>Euphorbia esula</i>	M	—	—	0.18	—	—
	微孔草 <i>Microula sikkimensis</i>	M	—	—	3.63	—	—
	西北沼委陵菜 <i>Comarum salesovianum</i>	M、O	—	—	0.88	—	—
	细叉梅花草 <i>Parnassia oreophila</i>	M	—	—	0.37	—	—
	扁蕾 <i>Gentianopsis barbata</i>	M	—	—	0.26	—	—
	圆叶小堇菜 <i>Viola rockiana</i>	M	—	—	1.31	—	—
	朱兰 <i>Pogonia japonica</i>	M、O	—	—	0.43	—	—
	繁缕 <i>Stellaria media</i>	M	—	—	—	1.57	—
	甘肃瑞香 <i>Daphne tangutica</i>	M、O	—	—	—	0.85	—
	尖齿糙苏 <i>Phlomis dentosa</i>	—	—	—	—	1.04	—
	总计 Total		100	100	100	100	100

注:M表示药用植物;O表示观赏植物;F表示饲用植物

Note: M means medicinal plants; O means ornamental plants; F means forage plants

草本层中,以大披针藁草、披碱草占优势,其次野青茅、珠芽蓼、阿尔泰狗娃花(*Heteropappus altaicus*)等中等饲用植物的重要值也较大(表3),说明三江源地区保护政策取得了显著成果。

3.3 海拔梯度下的物种丰富度

物种丰富度是量化生态系统对气候与人为干扰

反应最重要的指标之一^[17],祁连圆柏群落3个植被层的物种丰富度表现为:草本层>灌木层>乔木层(图1,A),这与青藏高原地区森林群落不同层次物种丰富度的测度结果一致^[11,18]。祁连圆柏因其耐寒、耐旱的特性,常生于高海拔地带的阳坡、半阳坡,生境条件恶劣,其他大型乔木无法生存,因此造成了

乔木层的物种单一;在海拔梯度上,灌木层和草本层物种丰富度均呈单峰格局,海拔 3 150 m 处群落物种丰富度最高,灌木层出现 10 种,草本层出现 35 种。这是因为低海拔(2 950 m)处牧民较多,多选用灌木与枯枝来建造毡房,长时间的砍伐导致灌木层更新状况较差,且其饲养的牛羊数量也较大,对草本植物的摄食量较多,导致丰富度较低。随着海拔上升(3 150 m),人为干扰减小,物种丰富度增加,但到达一定高度后(3 550 m),温度成为限制植物生长的主要因子^[19],水热条件较差,不满足灌木生长,灌木消失,草本层的丰富度也降低,形成偏峰格局。

3.4 海拔梯度下的 α 多样

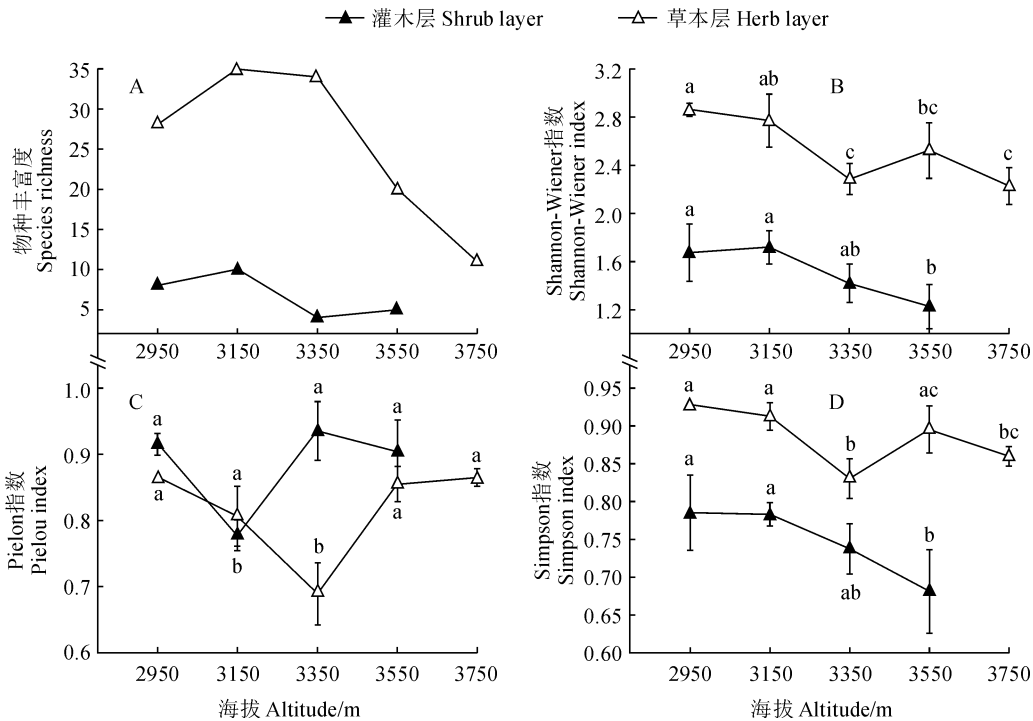
在海拔梯度上(2 950~3 750 m),除 Pielou 指数外,其他 α 多样性指数表现为草本层>灌木层(图 1, B~D),这与所选择的海拔梯度范围有关。Mirzaei 等研究表明不同生活型植物所需的水分、热量存在差异,因而各植被层的 α 多样性指数随海拔的变化趋势不同^[20]。草本层的 Shannon-Wiener 指数与 Simpson 指数均呈波动型变化趋势,在海拔 3 350 m 处出现拐点,原因是草本层中优势种大披针藁草根茎粗壮,分生能力强,在竞争中处于绝对优

势,使其他种的生长受抑制,导致多样性骤然降低;灌木层的 2 个指数均呈单峰型变化趋势,在海拔 3 150 m 处达到峰值(图 1, B、D),这是由于该群落中灌木层物种丰富度最高,进而多样性指数也较高。与 Shannon-Wiener 指数和 Simpson 指数代表群落物种多样性不同的是,Pielou 指数表征群落内不同物种的多度、盖度、频度等指标的均匀程度,因乔木林下光照条件较差,灌木的生长受到抑制,各物种无法体现其生物学特性,其高度、多度、盖度等大致相同,反之草本层物种的生长受乔木层影响较小,因此 Pielou 指数表现为灌木层>草本层(图 1, C)。

对海拔梯度上 5 个群落的灌木层及草本层的 Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数和 Pielou 指数进行单因素方差分析(表 4),结果表明 3 个指数在海拔梯度上均达到了显著差异水平,草本层的 Pielou 指数达到了极显著差异水平,这说明随着海拔的上升,群落组成结构发生了明显的变化。

3.5 海拔梯度下的 β 多样性指数

环境异质性和距离产生是导致群落物种更替的主要原因,β 多样性能够表明不同生境间物种组成的差异性,反映出生境的隔离程度^[21]。Cody 指数是



同一植被层内不同字母表示海拔梯度间在 0.05 水平存在显著性差异

图 1 α 多样性指数沿海拔梯度变化格局

The different letters within same vegetable layer showed significant difference among altitude at 0.05 level

Fig. 1 Change patterns of α diversity index along altitude gradient

表 4 海拔梯度下多样性指数方差分析

Table 4 Tests of diversity index for altitude gradients

植被层 Vegetable layer	自变量 Independent variable	平方和 Sum of squares	自由度 DF	均方 MS	F	P
灌木层 Shrub layer	H'	0.476	3	0.159	4.747	0.035 *
	J	0.046	3	0.015	12.213	0.002 *
	D	0.021	3	0.007	4.166	0.047 *
草本层 Herb layer	H'	0.956	4	0.239	8.259	0.003 *
	J	0.068	4	0.017	16.366	0.000 * *
	D	0.019	4	0.005	10.935	0.001 *

注：* 表示差异显著($\alpha=0.05$)；* * 表示差异极显著($\alpha=0.01$)

Note: * means significant difference ($\alpha=0.05$)；* * means extremely significant difference($\alpha=0.01$)

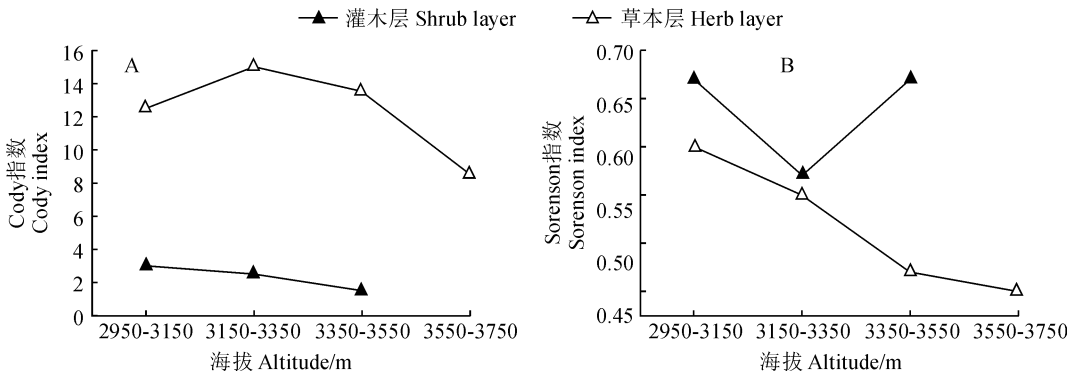


图 2 β多样性指数沿海拔梯度变化格局

Fig. 2 Change patterns of β diversity index along altitude gradient

二元属性数据,强调物种在相邻群落中出现与否。灌木层的Cody指数在2 950~3 150 m海拔段达到峰值,草本层在海拔3 150~3 350 m处达到峰值(图2,A),峰值出现的点正是物种丰富度最高的两个海拔段之间,物种更替的速率更快,故Cody指数较大。数量数据Sorenson指数则不同,灌木层在海拔2 950~3 150 m和3 350~3 550 m处均出现峰值,草本层在海拔2 950~3 150 m处出现峰值(图2,B),这是因为数量数据考虑了相邻群落的共有物种,包含了更多信息^[22]。这与鼎湖山森林群落研究结果相同^[23],同一标准地的两种β多样性指数灵敏度有一定差别,但均能客观反映不同生境间物种组成的差异。

4 结论与建议

祁连圆柏群落植物种类丰富,具有明显的温带性质,物种丰富度表现为:草本层>灌木层>乔木层,乔木层物种单一,建群种为祁连圆柏。海拔是影响物种α多样性和β多样性的重要环境因子,灌木层及草本层α多样性指数随着海拔的上升波动性变化,β多样性指数整体呈下降趋势。

祁连圆柏种群在低海拔易受人干扰影响,应在该分布区进一步加强管护,促进林木生长和天然更新。当地资源植物种类丰富,应加大资源植物扩繁和保护性利用,拓宽当地居民经济收入来源。

参考文献:

[1] GAUTHIER S, BERNIER P, KUULUVAINEN T, *et al.* Boreal forest health and global change[J]. *Science*, 2015, **349** (6 250): 819-822.

[2] 傅伯杰. 我国生态系统研究的发展趋势与优先领域[J]. 地理研究, 2010, **29**(3): 383-396.

FU B J. Trends and priority areas in ecosystem research of China[J]. *Geographical Research*, 2010, **29**(3): 383-396.

[3] MIRIAM G, CLAUDIA P, ROD F, *et al.* Forest age and isolation affect the rate of recovery of plant species diversity and community composition in secondary rain forests in tropical Australia[J]. *Journal of Vegetation Science*, 2016, **27** (3): 504-514.

[4] 朱 强,艾训儒,吴漫玲,等. 七姊妹山常绿落叶阔叶混交林物

- 种多样性格局及其环境解释[J]. 西北植物学报, 2019, **39**(8): 1 491-1 502.
- ZHU Q, AI X R, WU M L, *et al.* Species diversity pattern and environmental explanation of evergreen deciduous broad-leaved mixed forest in Qizime Mountains[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2019, **39**(8): 1 491-1 502.
- [5] 陈 晨, 王 寅, 王健铭, 等. 科尔沁沙地植物群落物种多样性及其主要影响因素[J]. 北京林业大学学报, 2020, **42**(5): 106-114.
- CHEN C, WANG Y, WANG J M, *et al.* Species diversity of plant communities and its main influencing factors in Horqin Sandy Land, Inner Mongolia of northern China [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2020, **42**(5): 106-114.
- [6] 刘冠成, 黄雅曦, 王庆贵, 等. 环境因子对植物物种多样性的影响研究进展[J]. 中国农学通报, 2018, **34**(13): 83-89.
- LIU G C, HUANG Y X, WANG Q G, *et al.* Effects of environmental factors on plant species diversity: research progress [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2018, **34**(13): 83-89.
- [7] 曹广民, 龙瑞军. 三江源区“黑土滩”型退化草地自然恢复的瓶颈及解决途径[J]. 草地学报, 2009, **17**(1): 4-9.
- CAO G M, LONG R J. The bottleneck and its resolutions to the natural recovery of black soil type degraded grassland in the Three River Source region [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2009, **17**(1): 4-9.
- [8] 徐 翠. 三江源区高寒草甸退化对土壤水源涵养功能的影响[D]. 北京: 中国环境科学研究院, 2013.
- [9] 卢素锦, 侯传莹, 袁坤宇, 等. 三江源隆宝湖湿地植物群落特征及其土壤理化性质[J]. 安徽农业大学学报, 2016, **43**(5): 755-763.
- LU S J, HOU C Y, YUAN K Y, *et al.* Analysis of plant community and soil physic-chemical characteristics in Longbao Lake wetland [J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2016, **43**(5): 755-763.
- [10] 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 *Juniperus tibetica* growth decline in Three-River-Source National Park [J]. *Journal of Forest and Environment*, 2019, **39**(4): 386-392.
- [11] 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 Three River Headwater National Nature Reserve, 2007, **20**(2): 241-245.
- [12] 张 婷, 张文辉, 郭连金, 等. 黄土高原丘陵区不同生境小叶杨人工林物种多样性及其群落稳定性分析[J]. 西北植物学报, 2007, **27**(2): 340-347.
- ZHANG T, ZHANG W H, GUO L J, *et al.* Species diversity and community stability of *Populus simonii* plantations in different habitats in hilly area of the Loess Plateau [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2007, **27**(2): 340-347.
- [13] 赵 娜, 鲁绍伟, 李少宁, 等. 北京松山自然保护区典型植物群落物种多样性研究[J]. 西北植物学报, 2018, **38**(11): 2 120-2 128.
- ZHAO N, LU S W, LI S N, *et al.* Study on plant diversity of typical plant communities in Songshan Nature Reserve, Beijing [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2018, **38**(11): 2 120-2 128.
- [14] 钟悦鸣, 王健铭, 张天汉, 等. 中国青藏高原北部戈壁区种子植物物种组成及其区系特征[J]. 植物科学学报, 2017, **35**(4): 525-533.
- ZHONG Y M, WANG J M, ZHANG T H, *et al.* Composition of seed plant species and floristic features in the Gobi area of the northern Qinghai-Tibet Plateau of China [J]. *Plant Science Journal*, 2017, **35**(4): 525-533.
- [15] 吴征镒, 周浙昆, 李德铎, 等. 世界种子植物科的分布区类型系统[J]. 云南植物研究, 2003, **25**(3): 245-257.
- WU Z Y, ZHOU Z K, LI D Z, *et al.* The areal-types of the world families of seed plants [J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 2003, **25**(3): 245-257.
- [16] 吴征镒. 中国种子植物属的分布区类型[J]. 植物资源与环境学报, 1991, (S4): 1-139.
- WU Z Y. An areal type of the genus of seed plants in China [J]. *Journal of Plant Resources and Environment*, 1991, (S4): 1-139.
- [17] SANDAU N, FABIAN Y, BRUGGISSER O T, *et al.* The relative contributions of species richness and species composition to ecosystem functioning [J]. *Oikos*, 2017, **25**(4): 56-72.
- [18] 赵常明, 陈庆恒, 乔永康, 等. 青藏东缘岷江上游亚高山针叶林人工恢复过程中物种多样性动态[J]. 植物生态学报, 2002, (Z1): 20-29.
- ZHAO C M, CHEN Q H, QIAO Y K, *et al.* Dynamics of species diversity in the restoration process of artificial spruce conifer forest in the eastern edge of Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2002, (Z1): 20-29.
- [19] 胡玉昆, 李凯辉, 阿德力·麦地, 等. 天山南坡高寒草地海拔梯度上的植物多样性变化格局[J]. 生态学杂志, 2007, **26**(2): 182-186.
- HU Y K, LI K H, ADELI M D, *et al.* Plant species diversity of alpine grasslands on southern slope of Tianshan Mountain along altitude gradient [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, **26**(2): 182-186.
- [20] MIRZAEI J, KARAMI A. Plant diversity and richness in relation to environmental gradient in Zagros ecosystems, west of Iran [J]. *Journal of Rangeland Science*, 2015, **5**(4): 294-302.
- [21] PIERRE L. Studying beta diversity: ecological variation partitioning by multiple regression and canonical analysis [J]. *Journal of Plant Ecology*, 2008, **1**(1): 3-8.
- [22] JANKOWSKI J E, CIECKA A L, MEYER N Y, *et al.* Beta diversity along environmental gradients: implications of habitat specialization in tropical montane landscapes [J]. *Journal of Animal Ecology*, 2009, **78**(2): 315-327.
- [23] 林国俊, 黄忠良, 竺琳, 等. 鼎湖山森林群落 β 多样性[J]. 生态学报, 2010, **30**(18): 4 875-4 880.
- LIN G J, HUANG Z L, ZHU L, *et al.* Beta diversity of forest community on Dinghushan [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, **30**(18): 4 875-4 880.