

东祁连山高寒杜鹃灌丛群落结构和物种多样性对海拔梯度的响应

王金兰,曹文侠,张德罡,李文,李小龙,王世林,刘玉祯,王小军

(甘肃农业大学 草业学院/草业生态系统教育部重点实验室/甘肃省草业工程实验室/中-美草地畜牧业可持续发展研究中心,甘肃 兰州 730070)

摘要:以东祁连山不同海拔梯度(3 030 ~3 280 m)高寒杜鹃灌丛草地为研究对象,探讨高寒杜鹃灌丛灌下草本、灌木及其灌丛植物群落特征和物种多样性在垂直梯度上的变化规律。结果表明:高寒杜鹃灌丛灌木高度、密度和生物量均随海拔升高呈先增加后降低的单峰变化趋势,在海拔 3 130 m 达最高。灌下草本高度随海拔升高呈先增加后降低的单峰变化趋势,在海拔 3 080 m 处达最高。灌丛群落总地上生物量随海拔升高呈先显著增加后显著降低的变化趋势,在海拔 3 130 m 处达最高。灌下草本、灌木和灌丛群落的 Shannon-Wiener 多样性指数和丰富度指数均随海拔升高呈先增加后减小的变化趋势,最大值均出现在海拔 3 080 m 处。在调查海拔范围内,草本、灌木和灌丛群落的 Shannon-Wiener 指数,草本均匀度指数、灌丛群落丰富度指数均和海拔呈显著负相关,灌木丰富度指数和灌丛群落均匀度指数与海拔呈显著正相关,草本和灌丛群落 Shannon-Wiener 指数与地上生物量呈显著正相关。因此,中海拔区域(3 080~3 130 m)物种多样性丰富,生产力较高。

关键词:杜鹃灌丛;群落特征;多样性;生物量;海拔

中图分类号:S812 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2019)05-0001-09

DOI: 10.13817/j.cnki.cyycp.2019.05.001

近年来,受人类社会活动和气候变化的影响,生物多样性在全球范围内急剧减少^[1]。物种多样性是表征群落学的一个重要量化指标,反映群落的生境差异,组成结构的复杂性和稳定性,是目前研究的热点问题之一^[2-3]。生物量是草地植被特征和生产力的代表,对生态系统结构和功能的形成起着决定性作用^[4]。物种多样性和生物量是受地区土壤,气候和社会因素等各

方面的影响。海拔梯度作为与经纬度相似的地理梯度,综合了温度、水分、光照及地形等多种环境因子,成为了复杂又综合的主要生态影响因子^[5]。海拔变化会引起温度和降水的变化,从而影响土壤水分和温度,进而影响植物群落的空间分布格局^[6]。因此,研究不同海拔梯度上物种多样性特征可为全球气候变化背景下物种分布提供科学依据^[6]。物种多样性随海拔升高呈降低、先升后降、先降后升、增加和无规律性等 5 种变化趋势^[7],其中,大多数学者普遍认为二者呈负相关或单峰型关系^[8-9]。

目前,有关植物物种多样性研究集中在物种多样性如何响应环境变化和群落演替过程,而有关灌丛植物群落结构特征和物种多样性随海拔梯度变化方面的研究较少^[10-11]。王飞等^[10]对白龙江干旱河谷灌丛群落研究表明,随海拔升高,灌木和草本植物群落 α 多样性在阴坡,阳坡和半阴半阳坡均呈现先升高后减小的变化趋势。罗黎鸣等^[11]研究了拉萨河谷山地灌丛草

收稿日期:2019-03-21; **修回日期:**2019-05-20

基金项目:青藏高原社区生态畜牧业技术研究与集成示范(2018YFD0502400);国家自然科学基金(31360569);国家现代牧草产业技术体系(CARS-35);青藏高原甘南州饲草生产与供给技术研究资助

作者简介:王金兰(1990-),女,甘肃永登人,在读博士。

E-mail:wangjl0106@foxmail.com

曹文侠为通讯作者。

E-mail:caowx@gsau.edu.cn

地在不同海拔梯度上植物群落结构和物种多样性特征。结果表明,灌丛生物量和盖度随海拔升高呈先增加后降低的变化趋势,而草本植物的盖度和生物量变化不显著。研究均对不同海拔梯度上灌丛植物群落结构特征和物种多样性进行了探讨,但都没有从物种多样性和生产力关系方面探讨高寒草地生态系统功能。此外,有关青藏高原高寒灌草复合生态系统生态与生产特征独特,灌木与草本生物量分配关注较少^[12]。因此,以青藏高原东缘高寒杜鹃(*Rhododendron* spp.)灌丛为研究对象,探讨高寒杜鹃灌丛灌下草本、灌木及其灌丛群落特征和多样性对海拔梯度变化的响应,并分析植物群落物种多样性和初级生产力间的关系,以期为该区和相似生态区域的生态恢复和物种多样性保护提供理论基础。

1 材料和方法

1.1 样地自然概况

试验地位于青藏高原东部的天祝藏族自治县抓喜秀龙乡八刺沟上端、南泥沟上端、马营沟中段及上端地区,地理位置 N 37°09′~37°12′,E 102°37′~102°47′,海拔 3 000~3 400 m,坡向正北,坡度 21°~40°,从低海拔到高海拔依次分布着禾草(*Gramineae* spp.)-嵩草(*Kobresia* spp.)草甸,金露梅(*Potentilla fruticosa*)灌丛和杜鹃灌丛^[13]。该区气候寒冷潮湿,昼夜温差较大,日照强,雨热同步。根据气象数据(来源于乌鞘岭气象站)显示,1951~2016 年的年平均气温为 0.13℃,其中最冷月(1月)的平均气温为-11.4℃,最暖月(7月)的平均气温为 11.2℃;1951~2016 年的年均降水量为 414.98 mm(其中 63.3%~88.2%集中在 6~9月)。该区无绝对无霜期,植物生长期达 120 d 左右。灌木有头花杜鹃(*Rhododendron capitatum*)、千里香杜鹃(*Rhododendron thymifolium*)、陇蜀杜鹃(*Rhododendron przewalskii*)、金露梅(*Potentilla fruticosa*)、山生柳(*Salix oritrepha*)、硬叶柳(*Salix sclerophylla*)和杯腺柳(*Salix cupularis*),其中优势灌木为头花杜鹃,千里香杜鹃和金露梅^[13],灌下草本植物主要有珠芽蓼(*Polygonum viviparum*)和矮生嵩草(*Kobresia humilis*)^[14]。

1.2 试验设计与方法

于 2016 年 9 月初,分别在八刺沟上端、南泥沟上

端和马营沟中段及上端选取坡向正北,坡度为 21°~40°,非生长季(10月初~11月中旬,3月初~5月初)轻度放牧(放牧家畜为牦牛和藏羊,放牧期内的放牧率为 2.92~3.14 羊单位/hm²),且灌丛分布相对均匀的杜鹃灌丛草地各 3 块(各样地面积 5 hm²左右)。采用方格网法^[15]在 3 030~3 280 m 的海拔上,海拔每升高 50 m,在等高线方向设置 3 个 10 m×50 m 的大样方。在各大样方内沿等高线方向设置 2 条 50 m 长的样线,用以测定灌丛盖度,频度和高度。对样线上出现的每一种灌木测量其高度(自然高度)。再在各大样方内随机设置 3 个 5 m×5 m 的样方,用于观测灌木种类及其数量,对出现的每一种灌木均采用标准株法测量其地上生物量^[16],再通过每一种灌木的标准株生物量,密度和盖度加权平均计算得到整个灌木群落的地上生物量。同时,在各大样方的一条对角线上等间距设置 6 个 0.5 m×0.5 m 的小样方,用于灌下草本群落特征的观测。首先测定样方内每一种草本的盖度,高度和密度,然后齐地面剪取地上部分。盖度采用针刺法,高度测量牧草的自然高度,密度以一个株丛为一个个体,即只要是株丛根部紧密连在一起的,记为一个个体。所有灌木和草本地上生物量均先在 105℃ 杀青 30 min,然后在 65℃ 烘箱中烘干至恒重,称重,并计算地上生物量。

1.3 数据分析

高寒杜鹃灌丛群落地上部分由灌木和灌下草本组成,因此灌丛群落地上生物量为灌木和灌下草本地上生物量的总和。

群落的物种多样性特征采用 Shannon-Wiener 指数(H)、Pielou 均匀度指数(J)和丰富度指数(S)计算。计算公式如下^[17]:

物种重要值(N_i)=(相对高度+相对盖度+相对密度+相对干重)/4

$$\text{相对重要值}(P_i) = N_i / \sum_{i=0}^s N_i$$

$$\text{Shannon-Wiener 指数}(H) = - \sum_{i=0}^s \ln(P_i) P_i$$

丰富度指数(S)=样方内出现的物种数

$$\text{Pielou 指数}(J) = H / \ln(S)$$

式中: S 为种 i 所在样方中的物种数目。

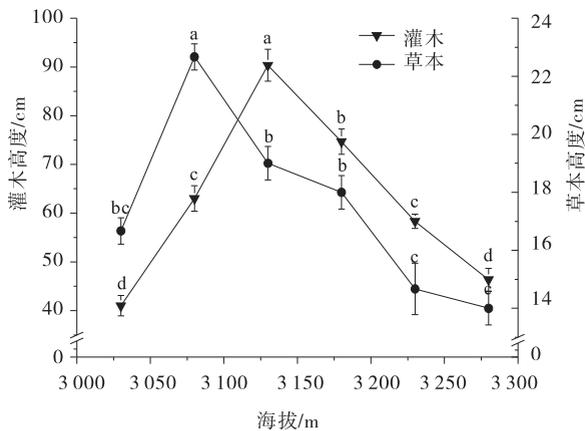
采用 Microsoft Excel 2007 进行数据的初步整理,用 SPSS 17.0 对高寒灌丛群落植物高度、盖度、密度、

生物量和多样性进行单因素方差分析(On-way ANOVA),采用线性回归法分析多样性与海拔高度、地上生物量之间的关系。

2 结果与分析

2.1 高寒杜鹃灌丛群落植物高度,盖度和密度随海拔梯度的变化

高寒杜鹃灌丛灌下草本高度随海拔升高呈先增加后降低的单峰变化趋势,在海拔 3 080 m 处达最高,为 22.66 cm,较海拔 3 280 m 处(14.00 cm)显著增加了



61.9% ($P < 0.05$)。而灌下草本盖度和密度均随海拔升高而降低,在海拔 3 030 m 处最高,显著高于其他各海拔处。灌木高度,盖度和密度均随海拔升高呈先增加后降低的单峰变化趋势,分别在海拔 3 130, 3 080 和 3 130 m 达最高,为 90.33 cm, 90.3% 和 4.04 株/ m^2 。灌丛群落总盖度随海拔升高而降低,在海拔 3 030 m 和 3 080 m 处最高,显著高于其他各海拔处。而群落密度随海拔升高呈下降趋势,在海拔 3 030 m 达最大,显著高于其他各海拔处(图 1)。

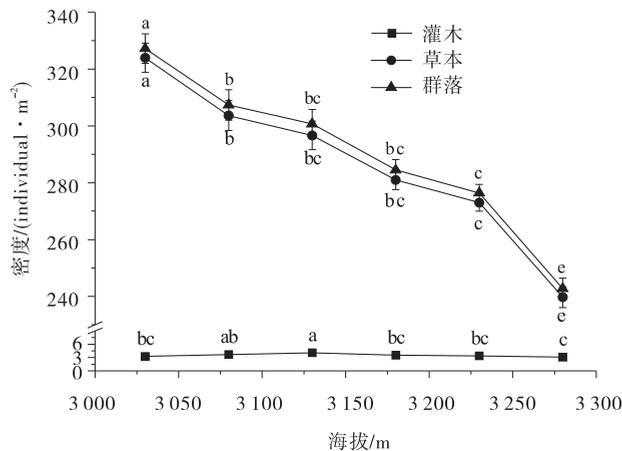
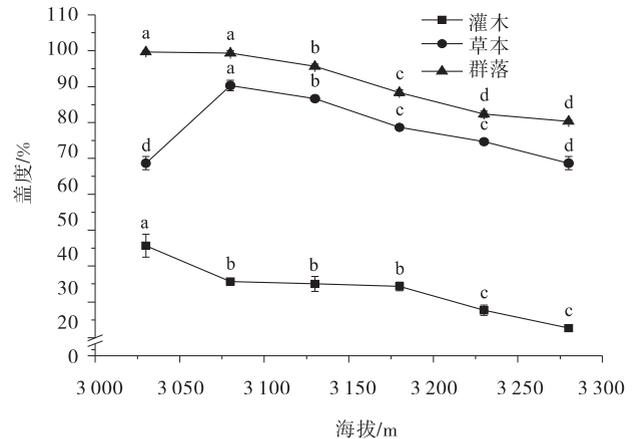


图 1 高寒杜鹃灌丛高度、密度和盖度随海拔梯度的变化

Fig. 1 Changes in height, density and coverage of shrubs and herbs at different altitudes in the alpine *Rhododendrons* shrubs

注:同一条折线上的不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

2.2 高寒杜鹃灌丛群落植物地上生物量随海拔梯度的变化

通过对高寒杜鹃灌丛不同海拔梯度上植物生物量的变化分析,灌下草本生物量和灌木生物量表现出不同的变化趋势。灌下草本生物量随海拔升高显著降低,海拔 3 280 m 处最小,为 50.83 ± 5.29 g/ m^2 ,较海拔 3 030, 3 080, 3 130, 3 180 和 3 230 m 分别减小了

72.7%、62.9%、56.1%、45.7% 和 31.6%。而灌木生物量随海拔升高呈先显著增加后显著减小的变化趋势,在海拔 3 130 m 处达到最高,为 1355.33 ± 35.41 g/ m^2 ,在海拔 3 030 m 处最小,为 650.33 ± 11.79 g/ m^2 ,最大值是最小值的 2.08 倍。总生物量也随海拔升高呈先显著增加后显著减小的变化趋势,在海拔 3 130 m 处达最高,为 1471.21 ± 33.79 g/ m^2 ,较海拔

3 280 m 处($784.49 \pm 39.34 \text{ g/m}^2$)显著增加了 87.5% ($P < 0.05$)。随海拔升高,灌下草本地上生物量占灌丛群落总地上生物量的比例呈降低趋势,而灌木地上

生物量占群落总生物量的比例呈增加趋势。草本占总生物量的比例在 3 030 m 处最大(22.3%),且显著高于其他海拔梯度处($P < 0.05$)(表 1)。

表 1 不同海拔梯度高寒杜鹃灌丛的地上生物量

Table 1 Aboveground biomass of alpine *Rhododendrons* shrubs at different altitudes

g/m^2

海拔/m	草本 /($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	灌木 /($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	总生物量 /($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	草本占群落总生物量的比例/%	灌木占群落总生物量的比例/%
3 030	186.49 ± 7.241^a	650.33 ± 11.79^d	836.82 ± 15.57^d	22.28 ± 0.65^a	77.72 ± 0.65^c
3 080	136.93 ± 6.53^b	901.67 ± 9.82^c	$1\ 038.60 \pm 15.09^c$	13.17 ± 0.46^b	86.83 ± 0.46^b
3 130	115.87 ± 4.32^c	1355.33 ± 35.41^a	$1\ 471.21 \pm 33.79^a$	7.89 ± 0.38^c	92.11 ± 0.38^a
3 180	93.58 ± 4.37^d	1097.00 ± 79.83^b	$1\ 190.58 \pm 80.25^b$	7.92 ± 0.57^c	92.08 ± 0.57^a
3 230	74.29 ± 3.24^e	934.00 ± 33.83^c	$1\ 008.28 \pm 31.43^c$	7.40 ± 0.50^c	92.60 ± 0.50^a
3 280	50.83 ± 5.29^f	733.67 ± 34.08^d	784.49 ± 39.34^d	6.44 ± 0.35^c	93.56 ± 0.35^a

注:同列内不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),下同

2.3 高寒杜鹃灌丛群落多样性随海拔梯度的变化

灌下草本,灌木及群落 Shannon-Wiener 指数均在海拔 3 080 m 处最大,分别是 1.96,2.20 和 2.75,最小值均出现在海拔 3 280 m 处,分别为 1.19,1.12 和 1.88,较海拔 3 080 m 分别显著降低了 42.9%,49.1% 和 31.6% ($P < 0.05$)。灌下草本和灌木的 Pielou 均匀度指数随海拔升高变化不显著($P > 0.05$),而灌丛群落 Pielou 均匀度指数在海拔 3 180 m 处最大,为 0.98,

且显著高于其他各海拔处($P < 0.05$)。灌下草本,灌木及群落丰富度指数最大值均出现在海拔 3 080 m 处,分别是 9.33,11.00 和 20.33,显著高于海拔 3 030、3 180、3 230 m 和 3 280 m 处($P < 0.05$),最小值均出现在海拔 3 280 m 处。不同海拔处物种多样性变化较大,灌下草本,灌木和群落的 Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数最大值均出现在海拔 3 080 m 处,说明在海拔 3 080 m 处物种多样性最大,物种较丰富(表 2)。

表 2 不同海拔梯度高寒杜鹃灌丛的群落多样性

Table 2 Biodiversity of alpine *Rhododendrons* shrubs at different altitudes

海拔/m	Shannon-Wiener 指数			Pielou 均匀度指数			丰富度指数		
	草本	灌木	群落	草本	灌木	群落	草本	灌木	群落
3 030	1.42 ± 0.04^c	1.66 ± 0.04^b	2.15 ± 0.06^d	0.82 ± 0.05^a	0.99 ± 0.09^a	0.88 ± 0.01^b	5.67 ± 0.33^b	5.67 ± 0.88^{bc}	11.33 ± 0.67^c
3 080	1.96 ± 0.04^a	2.20 ± 0.07^a	2.75 ± 0.04^a	0.88 ± 0.03^a	0.93 ± 0.04^a	0.91 ± 0.01^b	9.33 ± 0.88^a	11.00 ± 1.53^a	20.33 ± 0.67^a
3 130	1.74 ± 0.05^b	1.70 ± 0.03^b	2.55 ± 0.07^b	0.84 ± 0.02^a	0.82 ± 0.02^a	0.92 ± 0.02^b	8.00 ± 0.58^a	8.00 ± 0.57^b	16.00 ± 0.58^b
3 180	1.49 ± 0.01^c	1.67 ± 0.03^b	2.35 ± 0.04^c	0.87 ± 0.03^a	1.02 ± 0.10^a	0.98 ± 0.01^a	5.67 ± 0.33^b	5.33 ± 0.67^c	11.00 ± 0.58^c
3 230	1.27 ± 0.02^d	1.38 ± 0.05^c	2.12 ± 0.05^d	0.83 ± 0.03^a	0.99 ± 0.03^a	0.98 ± 0.03^b	4.67 ± 0.33^b	4.00 ± 0.00^c	8.67 ± 0.33^{cd}
3 280	1.19 ± 0.04^d	1.12 ± 0.05^d	1.88 ± 0.04^e	0.78 ± 0.02^a	1.02 ± 0.04^a	0.92 ± 0.02^b	4.67 ± 0.33^b	3.00 ± 0.00^c	7.67 ± 0.33^d

在海拔 3 130~3 280 m,灌下草本,灌木和灌丛群落 Shannon-Wiener 指数均和海拔呈显著负相关($P < 0.05$)。对均匀度而言,灌下草本均匀度指数和海拔呈显著负相关($P = 0.02$),灌丛群落均匀度指数和海拔呈显著正相关($P = 0.03$),但灌木均匀度指数和海拔无相关性。灌下草本丰富度指数和海拔无显著相关性($P = 0.21$),灌木丰富度指数和海拔呈极显著正相关($P = 0.006$),但灌丛群落丰富度指数和海拔呈极显著负相关($P = 0.004$)(图 2)。

2.4 高寒杜鹃灌丛群落物种多样性与地上生物量的关系

对高寒灌丛灌下草本,灌木及灌草群落多样性指数与地上生物量进行线性回归发现,在海拔 3 130~3 280 m,仅有灌下草本、群落 Shannon-Wiener 指数和地上生物量呈显著正相关和极显著正相关($R^2 = 0.67$, $P = 0.04$; $R^2 = 0.40$, $P = 0.008$),灌木多样性指数及灌下草本,灌木和群落丰富度指数和 Pielou 均匀度指数与地上生物量均不相关(图 3)。

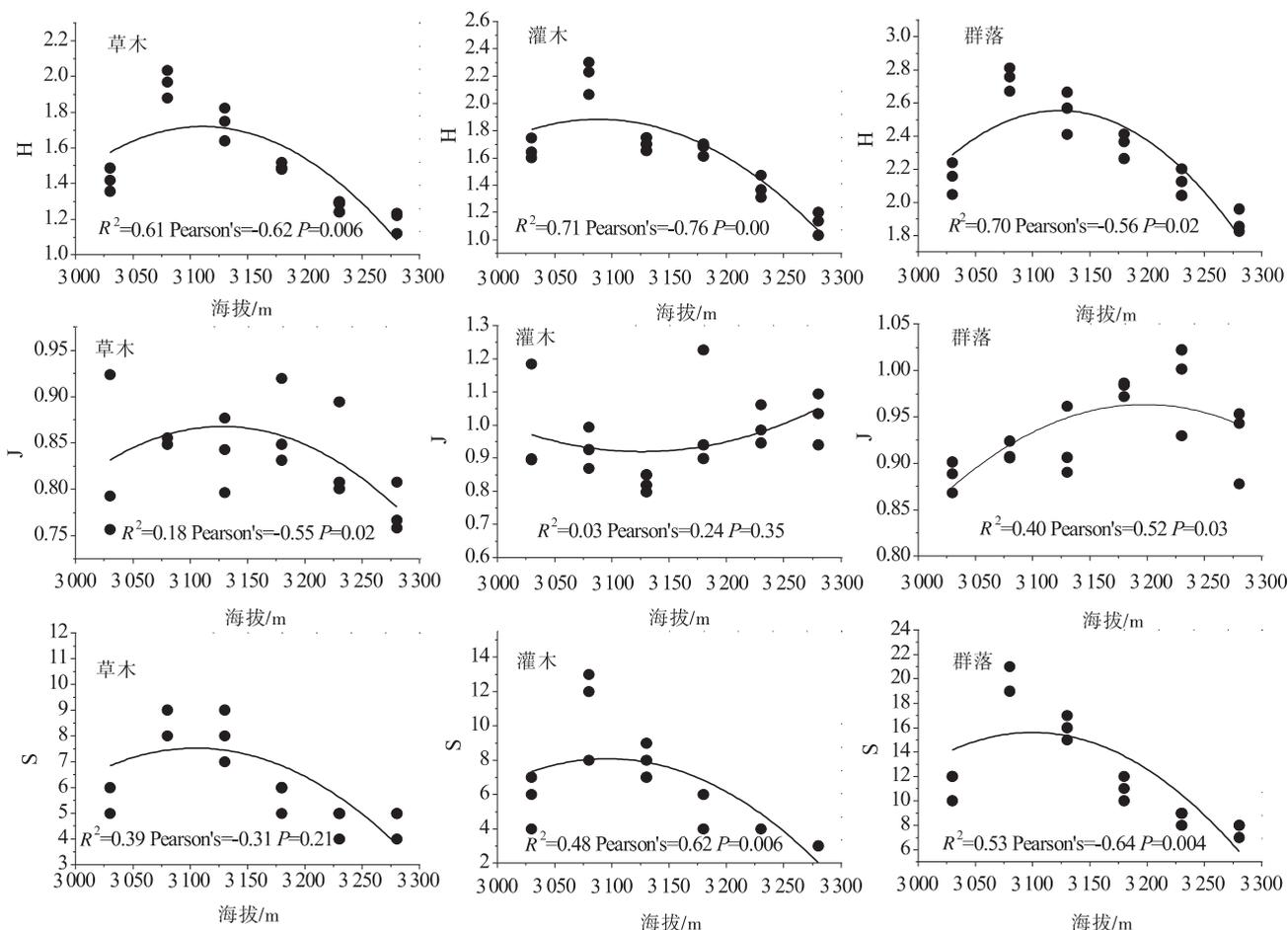


图 2 高寒杜鹃灌丛物种多样性与海拔的关系

Fig. 2 The relationship between species diversity and altitude

注: H 代表 Shannon-Wiener 指数, J 代表 Pielou 均匀度指数, S 代表丰富度指数, 下同

3 讨论

生物量是测定群落结构和功能的主要指标, 通常以地上生物量体现群落的结构特征和生长状况^[18]。生物量的大小既受群落自身特征(物种组成、结构以及物种丰度等)的影响, 又受群落所依赖的生存环境因子(温湿度、海拔、地形、地貌以及土壤等)的影响^[19]。植被盖度是评价植物群落生长状况和生态环境质量的重要指标, 可以有效的评估生态系统的服务功能, 同时也是评价土地退化和沙漠化的有效指数^[20]。有学者对藏北地区那曲县不同海拔高度高寒草地研究发现, 植物群落生物量和盖度随着海拔升高呈现出先增加后降低的变化趋势, 在海拔 4 623 m 达最大。梁倍等^[22]对祁连山海拔 3 100~3 750 m 的灌木进行研究发现, 其地上生物量随海拔升高呈单峰型变化趋势, 在 3 200 m 处灌木生物量达最大。罗黎鸣等^[11]对拉萨河谷山地海拔 3 992~4 940 m 灌丛草地研究发现, 灌丛生物量

和盖度随海拔升高呈先增加后降低的变化趋势, 均在海拔 4 550 m 达最大, 而草地生物量和盖度随海拔升高差异不显著。研究表明, 随海拔升高, 灌木和灌丛群落地上生物量和盖度均呈先增后降的单峰变化趋势, 地上生物量和盖度的最大值分别出现在海拔 3 130 m 和海拔 3 080 m 处, 草地上生物量和盖度随海拔升高而降低, 主要是由海拔上升降水增加和温度降低等因素造成的, 水热条件的改变会引起物种选择、资源竞争、生境的变化, 从而影响物种多样性和生产力^[22]。海拔每升高 100 m, 气温就会降低 0.5~0.7℃^[23]。当海拔高于 3 100 m 时, 温度是主要的限制因子, 抑制灌木生长, 缩短灌丛的生长期, 降低有效积温, 影响有机物的形成, 从而导致灌丛地上生物量和盖度的降低^[22]。在海拔小于 3 100 m 时, 灌丛灌木的盖度和生物量随海拔升高而增加, 使得下层的草本植物不能够充分的利用光能资源和地表温度较高的小生境条件, 草本植物地上生物量和盖度表现出下降的趋势。

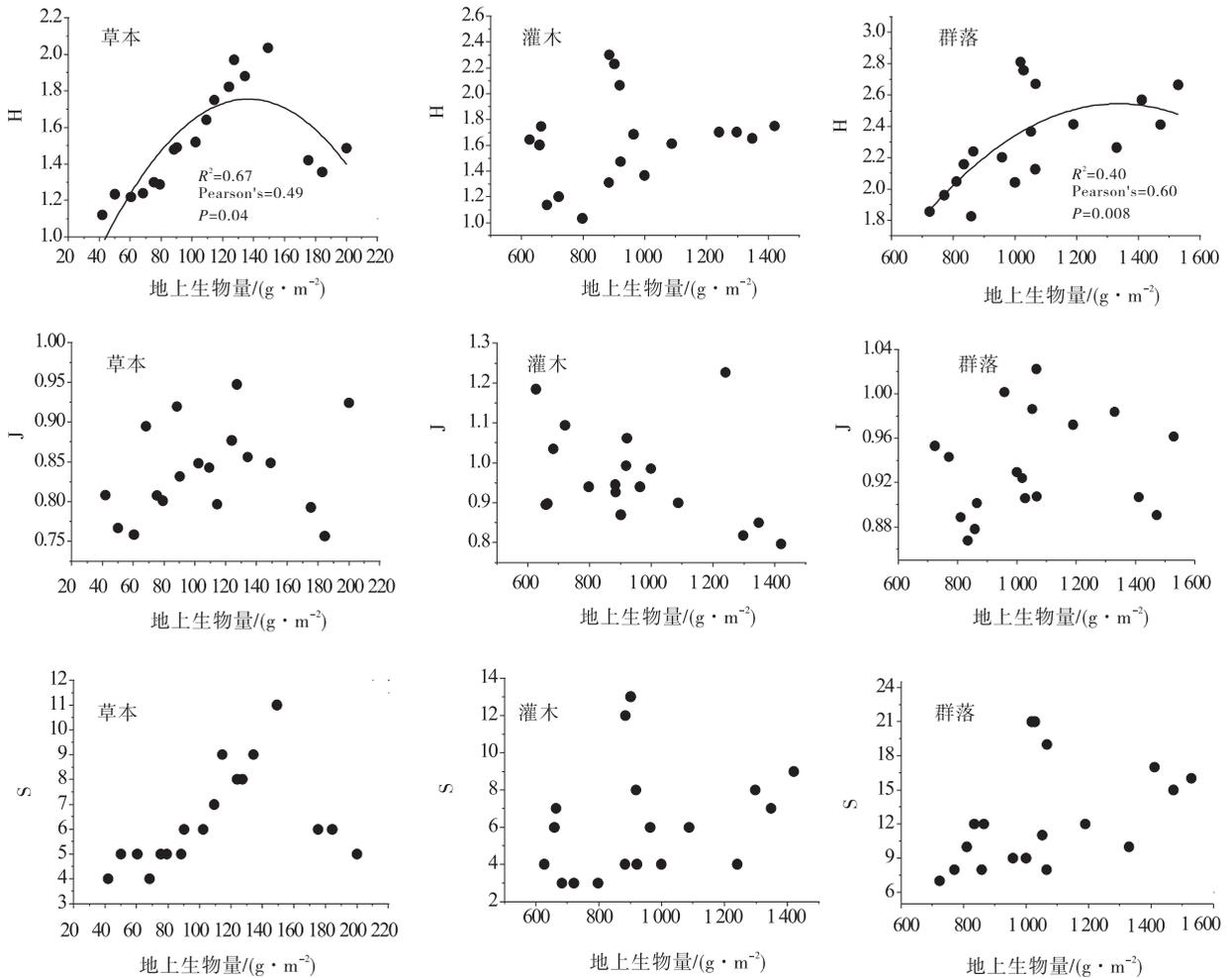


图3 高寒杜鹃灌丛物种多样性与地上生物量的关系

Fig. 3 The relationships between species diversity and aboveground biomass

生物多样性体现生物之间以及生物与生存环境之间的相互关系,标志着生物资源的丰富度^[24]。由于植物分布的影响因子很多,多样性沿海拔梯度变化的关系也比较复杂。王长庭等^[25]对青海省果洛州玛沁县高寒草甸海拔3 840~4 435 m群落植物多样性研究发现,Shannon-Wiener多样性指数、Pielou均匀度指数和丰富度指数在中间海拔(4 000 m)最大,物种多样性支持“中间高度膨胀”的观点。有报道中间海拔地区是多数物种的中心分布区,从中心区向外延伸,物种因不能适应环境的变化而逐渐消失,导致多样性下降^[3]。研究表明,在海拔3 130~3 280 m,灌下草本和灌木Shannon-Wiener多样性指数、Pielou均匀度指数和丰富度指数随海拔升高呈先增加后减少的单峰变化趋势,在中间海拔3 080 m处的植物多样性较高,支持“中间高度膨胀”的观点。低海拔地区受人为干扰较频繁,且受降水限制,而高海拔地区受温度和能量限制,导致该区域物种多样性较低^[26]。在中海拔3 080 m,

受人为干扰较少,草地和灌木生长旺盛,尤其是灌木,且该区域具有植物生长所需要的最适水热配比,环境资源优越,因此物种多样性丰富^[27-28]。

物种多样性与地上生物量的关系是生态学研究的热点问题^[29]。自然生态系统中,由于所选研究对象,时间和研究对象所处空间的差异,对物种多样性与生物量关系的研究中尚未形成统一定论。较多的研究认为二者存在单峰曲线^[30]、正相关^[31]和负相关^[25]。单峰曲线和正相关是青藏高原区域研究中常见类型^[4]。武彦朋等^[32]对青海湖流域典型草地研究表明,物种丰富度与生物量在小尺度上为线性正相关、负相关的关系,而在大尺度上以单峰相关为主。也有报道多样性与生物量在小尺度上还是在全球尺度上均不相关^[33]。研究发现,在海拔3 130~3 280 m内仅有灌下草本及灌丛群落Shannon-Wiener指数和地上生物量呈显著正相关和极显著正相关,其他多样性指标均与地上生物量不相关。武彦朋等^[33]报道观察尺度的差异对物

种多样性与地上生产力的关系非常重要。小尺度多样性分布格局只受生物、生态过程(种间共生和竞争)、土壤、气候因子和人类活动等因素的影响,而大尺度上多样性分布格局由若干理论或假说解释,如,水热动态假说、环境能量假说、气候稳定性假说和生产力假说等^[34]。可能是尺度差异导致此次研究和前人在青藏高原的研究结果不一致。

4 结论

通过对东祁连山高寒灌丛草地植被特征随海拔梯度变化的研究发现,高寒杜鹃灌丛灌木高度、密度和生物量及灌下草本高度在中海拔地区 3 080 m 处达到最大值,而灌丛群落总地上生物量在海拔 3 130 m 处达最高。草本、灌木和群落的 Shannon-Wiener 多样性指数、丰富度指数在海拔 3 080 m 达最大。研究认为中海拔区域(3 080~3 130 m)具有适宜的水热条件,优越的环境资源,因此,物种的多样性丰富,生产力较高。随海拔升高,草本、灌木和群落植被特征均存在差异,为维持青藏高原东祁连山高寒灌丛草地的生态安全,应该更加重视三者的相互关系以及生态学机制的相关研究。

参考文献:

- [1] 徐炜,马志远,井新,等.生物多样性与生态系统多功能性:进展与展望[J].生物多样性,2016,24(1):55-71.
- [2] 李禄军,曾德慧.物种多样性与生态系统功能的关系研究进展[J].生态学杂志,2008,27(11):2010-2017.
- [3] 柳小妮,张德罡,孙九林,等.东祁连山杜鹃灌丛草地物种多样性特征及干扰因子[J].草地学报,2007,15(1):13-19.
- [4] 栗文瀚,干珠扎布,曹旭娟,等.海拔梯度对藏北高寒草地生产力和物种多样性的影响[J].草业学报,2017,26(9):200-207.
- [5] 卢宝明,邢韶华,崔国发,等.北京山地植物群落的物种多样性比较[J].北京林业大学学报,2010,32(S1):36-44.
- [6] Gaston K J. Global patterns in biodiversity[J]. Nature, 2000,405(6783):220-226.
- [7] 贺金生,陈伟烈.陆地植物群落物种多样性的梯度变化特征[J].生态学报,1997,17(1):91-99.
- [8] 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[J].生物多样性,2004,12(1):115-122.
- [9] Namgail T, Rawat G S, Mishra C, et al. Biomass and di-

versity of dry alpine plant communities along altitudinal gradients in the Himalayas[J]. Journal of Plant Research, 2012,125(1):93-101.

- [10] 王飞,屠彩芸,曹秀文,等.白龙江干旱河谷不同坡向主要灌丛群落随海拔梯度变化的物种多样性研究[J].植物研究,2018,38(1):26-36.
- [11] 罗黎鸣,苗彦军,武建双,等.拉萨河谷山地灌丛草地物种多样性随海拔升高的变化特征[J].草业学报,2014,23(6):320-326.
- [12] 聂秀青,熊丰,李长斌,等.青藏高原高寒灌丛生态系统草本层生物量分配格局[J].生态学报,2018,38(18):6664-6669.
- [13] 李小龙,曹文侠,张晓燕,等.祁连山 4 种杜鹃在不同海拔梯度上的株丛特征[J].草原与草坪,2017,37(06):57-64.
- [14] 曹文侠,李文.千里香杜鹃根系生物量时空动态特征及其生态适应性[J].草业学报,2016,25(7):52-61.
- [15] Knowles P, Grant M C. Age and Size Structure Analyses of Engelmann Spruce, Ponderosa Pine, Lodgepole Pine, and Limber Pine in Colorado[J]. Ecology,1983,64(1):1-9.
- [16] Deng L, Han Q, Zhang C, et al. Above-Ground and Below-Ground Ecosystem Biomass Accumulation and Carbon Sequestration with Caragana korshinskii Kom Plantation Development[J]. Land Degradation & Development,2017,28(3):4-16.
- [17] 李文,曹文侠,徐长林,等.不同休牧模式对东祁连山高寒草甸草原植被特征变化的影响[J].西北植物学报,2014,34(11):2339-2345.
- [18] Wang C, Long R, Wang Q, et al. Relationship between species diversity and productivity in four types of alpine meadow plant communities[J]. Chinese Journal of Ecology,2005,24(5):483-487.
- [19] 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[J].生态学报,2003,23(9):1757-1766.
- [20] 陈祖刚,巴图娜存,徐芝英,等.基于数码相机的草地植被盖度测量方法对比研究[J].草业学报,2014,23(6):20-27.
- [21] 刘哲,李奇,陈懂懂,等.青藏高原高寒草甸物种多样性的海拔梯度分布格局及对地上生物量的影响[J].生物多样性,2015,23(4):451-462.
- [22] 梁倍,邸利,赵传燕,等.祁连山天涝池流域典型灌丛地上生物量沿海拔梯度变化规律的研究[J].草地学报,

2013,21(4):664—669.

- [23] Fonda R W, Bliss L C. Forest Vegetation of the Montane and Subalpine Zones, Olympic Mountains, Washington [J]. Ecological Monographs, 1969, 39(3): 271—301.
- [24] 牛丽丽, 张学培, 曹奇光. 我国西北干旱区生物多样性研究[J]. 水土保持研究, 2007, 14(1): 223—225.
- [25] 王长庭, 王启基, 龙瑞军, 等. 高寒草甸群落植物多样性和初级生产力沿海拔梯度变化的研究[J]. 植物生态学报, 2004, 28(2): 240—245.
- [26] 李凯辉, 胡玉昆, 王鑫, 等. 不同海拔梯度高寒草地地上生物量与环境因子关系[J]. 应用生态学报, 2007, 18(9): 2019—2024.
- [27] Wang G, Zhou G, Yang L, *et al.* Distribution, species diversity and life-form spectra of plant communities along an altitudinal gradient in the northern slopes of Qilianshan Mountains, Gansu, China [J]. Plant Ecology, 2003, 165(2): 169—181.
- [28] Dorji T, Moe S R, Klein J A, *et al.* Plant Species Richness, Evenness, and Composition along Environmental Gradients in an Alpine Meadow Grazing Ecosystem in Central Tibet, China [J]. Arctic Antarctic & Alpine Research, 2014, 46(2): 308—326.
- [29] Alhamad M N, Oswald B P, Bataineh M M, *et al.* Relationships between herbaceous diversity and biomass in two habitats in arid Mediterranean rangeland [J]. Journal of Arid Environments, 2010, 74(2): 277—283.
- [30] 朱源, 康慕谊, 刘全儒, 等. 贺兰山高山草甸生物多样性和地上生物量的关系 [J]. 应用与环境生物学报, 2007, 13(6): 771—776.
- [31] 王勇军, 黄从德, 张健, 等. 岷江干旱河谷灌丛物种多样性、生物量及其关系 [J]. 干旱区研究, 2010, 27(4): 567—572.
- [32] 武彦朋, 陈克龙, 张斐, 等. 青海湖内陆高寒湿地物种多样性和地上生物量的关系 [J]. 水土保持通报, 2011, 31(1): 76—80.
- [33] 武彦朋, 陈克龙, 张斐, 等. 青海湖流域典型草地物种丰富度与生产力的关系 [J]. 生态学杂志, 2011, 30(7): 1449—1453.
- [34] 吴安驰, 邓湘雯, 任小丽, 等. 中国典型森林生态系统乔木层群落物种多样性的空间分布格局及其影响因素 [J]. 生态学报, 2018, 38(21): 1—11.

Structure and species diversity of alpine *Rhododendron* shrub-herb community and its response to altitude gradients in eastern Qilian Mountains

WANG Jin-lan, CAO Wen-xia, ZHANG De-gang, LI Wen, LI Xiao-long,
WANG Shi-lin, LIU Yu-zhen, WANG Xiao-jun

(College of Grassland Science, Gansu Agricultural University/Key Laboratory for Grassland Ecosystem of Education Ministry/Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province/Sino-U. S. Centers for Grazingland Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China)

Abstract: The variation of height, coverage, density, aboveground biomass and diversity of *Rhododendron* shrub-herb communities along an altitude gradient (from 3 030 m to 3 280 m) was studied in the eastern Qilian Mountains on the Qinghai-Tibetan Plateau. The results showed that the height, density and aboveground biomass of shrub showed a curvilinear change with altitude increasing, and reached the highest at 3 130 m. The height of herbs showed a curvilinear change with altitude increasing, and reached the highest at 3 080 m, while the coverage, density and biomass of herbs decreased with the increase of altitude. And the coverage and density of the shrub-herb communities decreased with the increase of altitude, while the total biomass first increased and then decreased significantly with the increase of altitude, and reached the highest at 3 130 m. The Shannon-wie-

ner index and richness index of herbs, shrubs and communities initially increased and then decreased with altitude increasing and the highest value appeared at 3 080 m. At altitude of 3 080 to 3 130 m, Shannon Wiener index of herbs, shrubs and community, and the evenness index of herbs, and the richness index of community were significantly negatively correlated with altitude, and the evenness index of community and the richness index of the shrubs showed significant positive correlation. The Shannon-wiener index of and shrub-herb community showed significant positive correlation with the aboveground biomass. Therefore, the shrub-herb community possessed abundant species and higher productivity in middle elevation (3 080 to 3 130 m) area.

Key words: *Rhododendron* shrub; community characteristics; diversity; biomass; altitude

《草原与草坪》投稿须知

《草原与草坪》是由中国草学会,甘肃农业大学主办的草业科学、草坪科学方面的综合性学术刊物。是中国科学引文数据库(CSCD)收录期刊,中国科技核心期刊,RCCSE中国核心学术期刊,中国农业核心期刊。双月刊,大16开本(A4)。国内外公开发行,国内刊号:CN 62-1156/S;国际刊号:ISSN 1009-5500。

1. 论点明确、数据可靠、层次清晰、论述简练。每篇论文一般不超过6个版面(约10000字),每篇文章应有中文摘要300~400字、关键词3~8个,资助基金项目务必在篇首地脚处注明。

2. 文稿中的文字、数字计量单位、符号等一律按照有关国家标准、法规书写。

3. 附图时请寄图坐标数据,表格请用三线表。

4. 正文格式:前言、1 材料和方法、2 结果与分析、3 讨论、4 结论。文稿题目、摘要、关键词、作者姓名和单位、图题、表题等同时用中、英文表示。

5. 参考文献勿引用未公开发表的资料;参考文献应按顺序编码制进行编码,在正文中引用文献处右上角用方括号标注阿拉伯数字序码,并与文末文献序码对应一致。参考文献只列出作者亲自查阅过的文献,其著录项依次是序码、文献作者名、文题、期刊名、年、卷、期、页码。多作者文献必须写前3名并加“等”或“*et al*”。例如:

[期刊] 作者. 文题[J]. 刊名,年,卷(期):起始页码—终止页码.

[专著] 作者. 书名[M]. 出版地:出版者,出版年:起始页码—终止页码.

[论文集] 作者. 文题[C]//论文集名. 出版地:出版社,出版年:起始页码—终止页码.

[学位论文] 作者. 文题[D]. 所在城市:保存单位,年份.

[专利] 专利所有者. 专利题名[P]. 专利国名:专利号,发布日期.

[报纸] 作者. 文献题名[N]. 报纸名,出版日期(版次).

[技术标准] 技术标准代号. 技术标准名称[S].

[电子文献] 作者. 文献题名[电子文献及载体类型标识]. 电子文献的出处或可获得地址,发表或更新日期/引用日期.

6. 投稿时请附第一作者简介:姓名(出生年),性别,民族(汉族略),籍贯(省,县),职称,学位,研究方向。并附联系电话,通讯地址,邮政编码等。

7. 来稿文责自负,要遵守职业道德,如摘引他人作品,务请在参考文献中予以著录。署名的作者应为参与创作,对内容负责的人。合著的作品来稿应征得合著者同意,并写明联系人。文章发表后,作者如不同意其他报刊转载、摘编者,请投稿时声明。

8. 论文(word文档)以电子邮件发送,凡通知修改的论文须认真修改后尽快寄回编辑部,两次退回修改仍不符合发排要求的按退稿处理;来稿一经刊用,按规定向作者收取文章发表费,赠寄当期刊物2册。

编辑部地址:甘肃省兰州市安宁区营门村1号《草原与草坪》编辑部 邮编:730070

E-mail: cyycp@gsau.edu.cn 联系电话/传真:0931-7631885