

阿尔泰山布尔津林区不同草地类型物种
多样性特征与生产力的关系

殷锡凯¹, 叶茂^{1,2}, 郭建兴¹, 张凯丽¹, 赵凡凡¹

(1.新疆师范大学地理科学与旅游学院, 乌鲁木齐 830054;
2.新疆干旱区湖泊环境与资源实验室, 乌鲁木齐 830054)

摘要: 为探讨物种多样性与地上生物量的相关性以及物种多样性的垂直变化特征。以阿尔泰山布尔津林区 5 种草地类型为研究对象, 通过对布尔津林区各草地类型的调查, 分析了阿尔泰山布尔津林区各草地类型的物种多样性变化特征。结果表明: (1) 5 个草地群落类型地上生物量差异明显, 荒漠草原和山地草甸草原较低, 山地草原最高, 而山地草甸和高寒草甸处于两者之间。 (2) 各草地类型群落间的物种多样性指数、优势度指数、丰富度指数和均匀度指数有明显差异, 高寒草甸的物种优势度、多样性和均匀度的情况最好, 山地草原的丰富度显著优于各草地类型的丰富度。 (3) 地上生物量只与山地草甸草原山地草甸中优势度和多样性有极显著相关关系, 与荒漠草原物种多样性没有表现出显著相关。 (4) 在海拔 900~2 400 m 的范围内, 草地群落的物种优势度、丰富度、均匀度和多样性指数变化基本一致, 均表现为先上升后下降再上升的趋势, 峰值出现在 1 200~1 400, 2 200~2 400 m 的地带。研究结果对深入理解阿尔泰山布尔津林区草地资源的空间分布格局及可持续利用具有重要的意义。

关键词: 草地类型; 物种多样性; 海拔; 地上生物量; 布尔津林区

中图分类号: Q948.15 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2022)01-0110-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2022.01.016

Relationship Between Species Diversity and Productivity of Different
Grassland Types in Buerjin Forest Area of Altai Mountains

YIN Xikai¹, YE Mao^{1,2}, GUO Jianxing¹, ZHANG Kaili¹, ZHAO Fanfan¹

(1.School of Geographical and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054;
2.Xinjiang Laboratory of Lake Environment and Resources in Arid Zone, Urumqi 830054)

Abstract: To explore the correlation of species diversity and aboveground biomass and the vertical variation of species diversity, taking five grassland types in the Buerjin forest area of Altai mountains as the research object, the species diversity change characteristics of various grassland types were analyzed through the investigation of various grassland types in Buerjin forest area in Altai Mountains. The results showed that: (1) There were significant differences in aboveground biomass among the five grassland community types. The aboveground biomass of the desert grassland and mountain meadow grassland was lower, that of the mountain grassland was the highest, while that of the mountain meadow and alpine meadow was between them. (2) There are significant differences in the species diversity index, dominance index, richness index and evenness index among different grassland types. The species dominance, diversity and evenness of alpine meadows were the best, and the abundance of the mountain grasslands was significantly better than that of other grassland types. (3) Aboveground biomass was only significantly related to dominance and diversity in mountain meadow grassland and mountain meadow, but there was no significant correlation between aboveground biomass and species diversity in desert grassland. (4) In the range of 900~2 400 m above sea level, the changes of the species dominance, richness, evenness and diversity index of grassland communities were basically the same, showing a trend of first rising, then falling and then rising, reaching peaks in the

1 200~1 400 and 2 200~2 400 m zones. The results would provide some conference and further understanding for the distribution pattern of grassland and its functions in the Buerjin forest area of Altai mountains.

Keywords: grassland type; species diversity; altitude; aboveground biomass; Buerjin forest area

生物多样性与群落生产力的关系属于群落生态学中的热点内容与前沿之一,揭示生产力对生物多样性的作用机制对于维持物种多样性具有重要意义^[1]。地上生物量不仅反映草地植被特征和生产力^[2-3],也是研究生态系统群落结构和功能的重要指标之一,对草地畜牧业也有深远影响^[4]。海拔是植物群落物种分布和组成的决定性因素之一,海拔变化可引起多种生态环境因子的垂直分异变化^[5],从而影响物种多样性和地上生物量^[6-7]。贺金生等^[8]把植物群落物种多样性沿海拔梯度的变化分为:负相关、“中间高度膨胀”、中等海拔较低、正相关和无关。因此,基于不同草地类型的物种多样性与地上生产力的研究是了解该区域草地类型对生态环境因子变化响应的重要途径。

草地群落地上生物量与不同草地类型的关系研究结论主要为负相关、正相关和不相关。截至目前,造成不同草地类型的生产力和物种多样性变化格局的原因仍有很多,多数研究^[9]认为,气候变化中水热因子是造成差异性分布的主要原因,是新疆山地草地的物种多样性格局形成的主要决定因素^[10]。不同功能群落植物对生态环境因子变化具有差异性响应,因此,从植物种群层面研究不同草地类型对生产力和物种多样性的影响是极其重要的。目前,新疆布尔津林区存在草地退化、沙漠化以及草一畜不平衡等现象,严重影响布尔津林区畜牧业发展,并且阿尔泰山物种多样性与地上生物量的关系研究较少。本文以阿尔泰山布尔津林区不同草地类型的植物群落特征、地上生物量实测资料为依据,通过计算植物群落物种多样性、优势度、丰富度和均匀度,分析了布尔津林区不同草地类型的生产力,探讨各种草地类型群落间物种多样性的变化特征,并研究不同类型草地的地上生物量和物种多样性的关系,旨在为该地区草地资源的可持续利用、退化草地生态系统的恢复提供科学理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

布尔津林区地处阿尔泰山西南麓,准噶尔盆地北缘,地理坐标 86°25′00″—88°06′00″E,47°22′00″—49°11′00″N。地势北高南低,属温带半干旱大陆性气候,南北气候差异较大,年均气温 4.1℃,多年平均降水量 118.7 mm。阿尔泰山布尔津林区草地呈明显垂直分布,在海拔 900~2 400 m 范围内由下至上的植

被分布大致为:荒漠草原、山地草原、山地草甸草原、山地草甸和高寒草甸。草地植被种类繁多,以寒生羊茅(*Festuca kryloviana*)、新疆针茅(*Stipa sareptana*)、沙生针茅(*S. glareosa*)、早熟禾(*Poa annua*)等为主要建群种,以线叶蒿草(*Kobresia capillifolia*)、白茅(*Imperata cylindrica*)、红马蹄草(*Hydrocotyle nepalensis*)、车前草(*Plantago depressa*)、老鹳草(*Geranium wilfordii*)等为主要伴生种植物。

1.2 野外调查

本次试验对布尔津林区不同草地类型群落进行了调查,依据海拔梯度的影响因素,将布尔津林区设置为 5 个草地类型,每个草地类型布设调查样地和样方。布尔津林区不同草地类型共布设 75 个调查样地,194 个样方,样地大小为 20 m×20 m,每个样地布设 3 个 1 m×1 m 的草地样方(山地草原、山地草甸部分样地的样方数为 1~2 个)。其中,荒漠草原 11 个样地,33 个样方;山地草原 41 个样地,100 个样方;山地草甸草原 7 个样地,21 个样方;山地草甸 17 个样地,31 个样方;高寒草甸 3 个样地,9 个样方。每个样方内,详细测量和记录草的种类、数量、高度、盖度等指标。监测完后,对每个样方内采用刈割法,称取每个物种的地上生物量鲜重,同时记录经纬度及海拔高度基本信息。本次调查在 2020 年 6,9 月分别集中进行。

1.3 物种多样性计算分析

本研究采用多样性测度中的 Margalef 丰富度指数(S)、Simpson 优势度指数(D)、Shannon-Wiener 多样性指数(H)、Alatalo 均匀度指数(E_a)^[11-12],计算公式为:

Margalef 丰富度指数(S):

$$S = (S - 1) / \ln N \tag{1}$$

Simpson 优势度指数(D):

$$D = 1 - \sum P_i^2 \tag{2}$$

Shannon-Wiener 多样性指数(H):

$$H = - \sum P_i \ln P_i \tag{3}$$

Alatalo 均匀度指数(E_a):

$$E_a = ((\sum P_i^2)^{-1} - 1) / (\exp(-\sum P_i \ln P_i) - 1) \tag{4}$$

式中: S 为样方中的总物种数; N 为样方中的总个体数; N_i 为第 i 种植物的个体数; P_i 为 i 种植物个体数占总个体数比例。

1.4 数据分析

采用 Excel 2010 软件对数据进行初步整理和计算,利用 IBMSPSS Statistics 25.0 单因素方差分析(One Way ANOVA)和最小显著差法(LSD)对不同草地类型的数据进行比较和差异显著性检验。采用相关分析方法对生物量以及物种多样性进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同草地类型的群落特征

布尔津林区北高南低,地貌类型复杂多样,有草原和沙漠等,多种气候条件催生了丰富的草地类型。本次调查所涉及的主要草地类型有高寒草甸、山地草甸、山地草原和荒漠草原(表 1)。不同草地类型的生产能力和生态功能差异很大,它们在区域生态系统经济价值和服务价值评价中的作用也有所不同。高寒草甸分布于山地植被垂直带谱的上部,草层低矮,草地群落结构简单,生长季短,冰雪融水补给较多,地上生物量和群落盖度较高,多为夏季

牧场,如过度放牧,草地容易退化。山地草甸分布海拔比高寒草甸低,草类生长茂密而高大,产草量仅次于山地草原,是夏季牧场,在季节畜牧业中占据重要的位置,同时,也是优良牧草的来源地。山地草原是介于山地草原和山地草甸之间的过渡带,植物种类较丰富,生产力最低,是良好的天然放牧场和割草场。山地草原多分布于低山地带,气候夏季干旱、冬季寒冷,草类多以耐旱、抗寒的植物为主,如新疆针茅、沙生针茅和针茅等,群落盖度比草甸低,生产力最高,但是,四季草场量不平衡,夏场富余,冬场不足。荒漠草原是草原向荒漠过渡的草地类型,气候干燥,少雨。建群种由旱生植物组成,产草量大于山地草甸草原,但是群落盖度较低,多为春秋牧场。荒漠草原地区是荒漠生态系统的核心,维持着荒漠草原区结构特征和能量与物质循环等功能,又起着维持生物多样性、保持水土、防风固沙等作用。因此,布尔津林区的放牧量应当小于该区域的理论载畜量,否则草地退化,恢复相当困难,并且会给区域生态系统经济价值和服务价值带来不可估量的损失。

表 1 阿尔泰山布尔津林区不同草地类型的群落特征

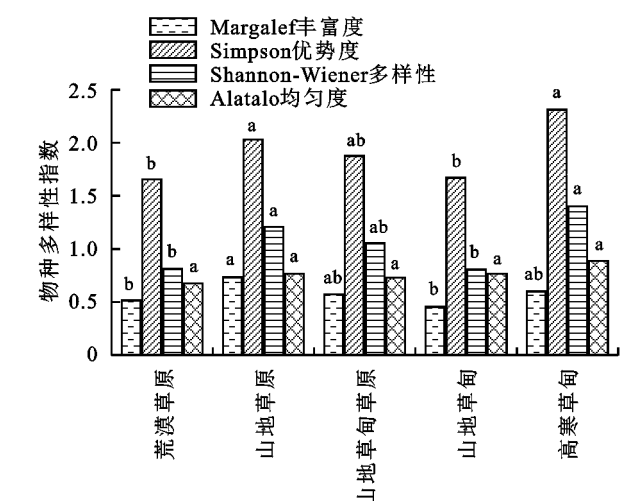
草地类型	建群种	主要伴生种	草产量/ (g · m ⁻²)	盖度/%
高寒草甸	寒生羊茅(<i>Festuca kryloviana</i>)	高山早熟禾(<i>Poa alpina</i>)	1179.55	80~90
	三界羊茅(<i>Festuca kurtschumica</i>)	蒿草(<i>Kobresia capillifolia</i>)		
		顶冰花(<i>Gagea nakaiana</i>)		
山地草甸	无芒雀麦(<i>Bromus inermis</i>)	阿尔泰羽衣草(<i>A.lchemfa pinguis</i>)	1370.69	65~85
	异燕麦(<i>Helictotrichon hookeri</i>)	车轴草(<i>Galium odoratum</i>)		
	早熟禾(<i>Poa annua</i>)	老鹳草(<i>Geranium wilfordii</i>)		
山地草甸草原	沟羊茅(<i>Festuca valesiaca</i>)	顶冰花(<i>Gagea nakaiana</i>)	571.11	45~90
	羽状针茅(<i>Stipa pennata</i>)	野草莓(<i>Fragaria vesca</i>)		
		老鹳草(<i>Geranium wilfordii</i>)		
山地草原	沟羊茅(<i>Festuca valesiaca</i>)	红马蹄草(<i>Hydrocoty lenepalensis</i>)	6482.38	40~95
	羊茅(<i>Festuca ovina</i>)	毛茛(<i>Ranunculus japonicus</i>)		
	针茅(<i>Stipa capillata</i>)	蒲公英(<i>Taraxacum mongolicum</i>)		
荒漠草原	新疆针茅(<i>Stipa szowitsiana</i>)	冷蒿(<i>Artemisia frigida</i>)	1124.73	35~80
	沙生针茅(<i>Stipa glareosa</i>)	蒲公英(<i>Taraxacum mongolicum</i>)		
	沟羊茅(<i>Festuca valesiaca</i>)	老鹳草(<i>Geranium wilfordii</i>)		
荒漠草原	羊茅(<i>Festuca ovina</i>)	野草莓(<i>Fragaria vesca</i>)	1124.73	35~80
	新疆针茅(<i>Stipa sareptana</i>)	车前草(<i>Plantago depressa</i>)		
	沙生针茅(<i>Stipa glareosa</i>)	委陵菜(<i>Potentilla chinensis</i>)		
荒漠草原	沟羊茅(<i>Festuca valesiaca</i>)	娟蒿(<i>Seriphidium sp.</i>)	1124.73	35~80
	羊茅(<i>Festuca ovina</i>)	白茅(<i>Imperata cylindrica</i>)		
	新疆针茅(<i>Stipa sareptana</i>)	老鹳草(<i>Geranium wilfordii</i>)		
荒漠草原	沙生针茅(<i>Stipa glareosa</i>)	野草莓(<i>Fragaria vesca</i>)	1124.73	35~80

2.2 不同草地类型群落间物种多样性变化特征

本林区植物群落的物种多样性特征沿不同草地类型也呈现一定变化规律。由图 1 可知,草地群落

Margalef 丰富度指数在山地草原最高,为 0.73,且与荒漠草原和山地草甸差异显著($P<0.05$)。Simpson 优势度指数表现在高寒草甸最高,为 2.31,荒漠草原

最低,为 1.65,且山地草原、高寒草甸分别与荒漠草原和山地草甸差异显著($P<0.05$),其他草地类型与山地草甸草原差异不显著($P>0.05$)。Shannon—Wiener 多样性指数表现在高寒草甸最高,为 1.40,山地草甸最低,为 0.80,山地草原、高寒草甸分别与荒漠草原和山地草甸差异显著($P<0.05$),其他草地类型与山地草甸草原差异不显著($P>0.05$)。Alatalo 均匀度指数表现在高寒草甸最高,为 0.88,荒漠草原最低,为 0.67,但各草地类型之间差异不显著($P>0.05$)。综合分析,高寒草甸的物种优势度、多样性和均匀度的情况最好,而山地草原的丰富度显著优于各草地类型的丰富度。各草地类型的植物群落物种的丰富度、优势度、多样性和均匀度呈现出先上升,后下降,然后再上升的变化趋势。



注:图柱上方不同小写字母表示不同草地类型间差异显著($P<0.05$)。

图 1 不同草地类型群落间物种多样性变化

2.3 各草地类型的植物群落物种多样性与生物量的相互关系

由表 2 可知,荒漠草原中 Simpson 优势度与 Margalef 丰富度呈极显著正相关关系($P<0.01$),相关系数为 0.748;Shannon—Wiener 多样性与 Margalef 丰富度、Simpson 优势度呈极显著正相关($P<0.01$);Alatalo 均匀度与 Simpson 优势度、Shannon-Wiener 多样性呈极显著正相关($P<0.01$);地上生物量与各物种多样性呈不显著相关。山地草原中 Simpson 优势度与 Margalef 丰富度呈极显著正相关关系($P<0.01$),相关系数为 0.791;Shannon-Wiener 多样性与 Margalef 丰富度、Simpson 优势度呈极显著正相关($P<0.01$);Alatalo 均匀度与 Simpson 优势度、Shannon-Wiener 多样性呈极显著正相关($P<0.01$);地上生物量与 Shannon-Wiener 多样性呈显著正相关($P<0.05$);山地草甸草原中 Shannon-Wiener 多样性与 Margalef 丰富度呈

显著正相关($P<0.05$),与 Simpson 优势度呈极显著正相关($P<0.01$);Alatalo 均匀度与 Simpson 优势度呈显著正相关($P<0.05$);地上生物量与 Simpson 优势度、Shannon-Wiener 多样性和 Alatalo 均匀度呈极显著正相关($P<0.01$)。山地草甸中 Simpson 优势度与 Margalef 丰富度呈极显著正相关($P<0.01$);Shannon-Wiener 多样性与 Margalef 丰富度、Simpson 优势度呈极显著正相关($P<0.01$);Alatalo 均匀度与 Simpson 优势度呈极显著正相关($P<0.01$);地上生物量与 Simpson 优势度、Shannon-Wiener 多样性呈极显著正相关($P<0.01$)。高寒草甸地上生物量与 Simpson 优势度呈显著正相关($P<0.05$)。综合分析,地上生物量只与山地草甸草原、山地草甸中优势度和多样性有极显著相关关系,但是,与荒漠草原物种多样性没有表现出显著相关。因此,各草地类型的植物群落物种多样性不能作为该区域地上生物量的决定性因素。

2.4 物种多样性的垂直变化

海拔是植物群落物种分布和组成的决定性因素之一。在特定区域内,群落物种多样性沿海拔梯度的变化极为显著,海拔 1 000~2 400 m 的范围内,草地群落的物种丰富度、优势度、多样性和均匀度指数变化基本一致,均表现为先上升后下降再上升的变化趋势,峰值出现在海拔 1 200~1 400,2 200~2 400 m 的地带(图 2)。综合分析,在 2 200~2 400 m 的海拔地带,土壤肥力较好,水热条件良好,适宜多种牧草生长,由于高海拔的高寒草甸种群间竞争没有荒漠草原区激烈,物种多样性达到峰值。

3 讨论

群落的物种组成变化是不同功能群落对生态环境因子的反映。通过调查发现,荒漠草原和山地草原的群落物种组成成分差异较小,这与生境水分^[13]、养分以及物种情况有关。杜忠毓等^[14]对荒漠草原植物群落物种多样性的研究表明,降水变化等水热因子是影响植物群落物种多样性和地上生产力的重要原因。本研究中的早熟禾、寒生羊茅群落主要生活在高海拔的湿润环境,在低海拔的荒漠草原和山地草原消失,这是不同海拔水热因子搭配不均造成的。

物种多样性与地上生物量的关系有正相关、负相关。在新疆不同草地类型的相关研究中,负相关、正相关类型、不显著相关类型和单峰型类型是主流,尤其是负相关关系和正相关关系^[15]。本研究中,地上生物量只与山地草甸草原、山地草甸中优势度和多样性呈极显著相关关系,但是,与荒漠草原物种多样性没有表现出显

著相关。这一发现与郭正刚等^[16]在新疆阿勒泰地区研究结果不同,Kessler 等^[17]在不同尺度上得出了不同的结论。由于相关研究取自不同草地类型和不同尺度,这是不同结论产生的原因之一。

表 2 各草地类型物种多样性与生物量的相关性

草地类型	指标	<i>S</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>E_a</i>	地上生物量
荒漠草原	<i>S</i>	1.000				
	<i>D</i>	0.748**	1.000			
	<i>H</i>	0.834**	0.986**	1.000		
	<i>E_a</i>	0.377	0.886**	0.801**	1.000	
	地上生物量	-0.522	-0.094	-0.180	0.212	1.000
山地草原	<i>S</i>	1.000				
	<i>D</i>	0.791**	1.000			
	<i>H</i>	0.871**	0.963**	1.000		
	<i>E_a</i>	0.142	0.618**	0.498**	1.000	
	地上生物量	0.292	0.272	0.332*	-0.027	1.000
山地草甸草原	<i>S</i>	1.000				
	<i>D</i>	0.694	1.000			
	<i>H</i>	0.811*	0.983**	1.000		
	<i>E_a</i>	0.248	0.859*	0.754	1.000	
	地上生物量	0.452	0.905**	0.852**	0.918**	1.000
山地草甸	<i>S</i>	1.000				
	<i>D</i>	0.704**	1.000			
	<i>H</i>	0.723**	0.959**	1.000		
	<i>E_a</i>	0.449	0.666**	0.453	1.000	
	地上生物量	0.402	0.638**	0.688**	0.080	1.000
高寒草甸	<i>S</i>	1.000				
	<i>D</i>	0.784	1.000			
	<i>H</i>	0.839	0.996	1.000		
	<i>E_a</i>	0.350	0.856	0.804	1.000	
	地上生物量	0.737	0.997*	0.986	0.891	1.000

注:**表示 $P<0.01$ 水平差异极显著;*表示 $P<0.05$ 水平差异显著。

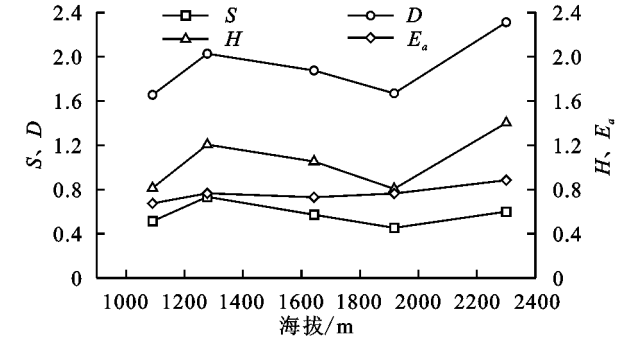


图 2 不同海拔梯度草地群落的物种优势度、丰富度、均匀度和多样性指数

海拔是水热条件的综合因子,阿尔泰山布尔津林区草地总体物种多样性随着海拔的升高而先上升后下降再上升的变化趋势,海拔在 1 200~1 400,2 200~2 400 m 的地带时物种多样性出现 2 个峰值。本研究发现,随着海拔的升高,土壤肥力较好,水热条件良好,适宜多种牧草生长,由于高海拔的高寒草甸种群

间竞争没有荒漠草原区激烈,物种多样性达到峰值。Wang 等^[18]的研究也得出相同的结论,在山地草原和高寒草原,随着海拔升高,物种对环境的适应力增强,在中高海拔梯度时,水热条件相对优越,物种又出现上升的趋势。而徐远杰等^[19]在伊犁河谷的研究发现,其丰富度的第 2 个峰值,出现在海拔 2 000 m 左右,与本文研究的第 2 个峰值海拔出现差异。但是,在物种多样性随海拔变化的相关研究中呈现“单峰型”格局,天山南坡中段种子植物区系沿海拔梯度的分布格局进行了系统研究,科属种的物种丰富度随海拔升高均呈先增加后减少的趋势,且最高值出现在中低海拔 1 900~2 000 m 处^[20]。阿尔泰山布尔津林区草地群落随海拔的变化趋势与伊犁河谷、天山南坡中段群落多样性随海拔的变化出现分异,这种分异可能受海拔梯度范围和所研究地区大尺度气候特征的影响。

4 结 论

阿尔泰山布尔津林区北高南低,地貌类型复杂多样,多种多样的气候条件催生了丰富的草地类型,主要有高寒草甸、山地草甸、山地草甸草原、山地草原、荒漠草原,它们的生产能力和功能差异很大,在区域生态系统经济价值和服务价值评估中所起的作用不同。

Margalef 丰富度指数表现在山地草原与荒漠草原、山地草甸差异显著;Simpson 优势度指数和 Shannon-Wiener 多样性指数均表现在山地草原、高寒草甸分别与荒漠草原和山地草甸差异显著,其他草地类型与山地草甸草原差异不显著;Alatalo 均匀度指数表现在各草地类型之间差异不显著。在不同草地类型群落间物种多样性变化特征中,高寒草甸的物种优势度、多样性和均匀度的情况最好,而山地草原的丰富度显著优于各草地类型的丰富度。

不同类型草地的物种多样性与生物量的相关关系存在一定差异。地上生物量只与山地草甸草原、山地草甸中优势度和多样性有极显著相关关系,但是与荒漠草原物种多样性没有表现出显著相关。

在特定区域内,群落物种多样性沿海拔梯度的变化极为显著。在海拔 900~2 400 m 的范围内,不同草地类型群落的物种优势度、丰富度、均匀度和多样性指数均表现为先上升后下降再上升的变化特征。

参考文献:

[1] Mittlbach G G, Steiner C F, Scheiner S M, et al. What is the observed relationship between species richness and productivity? [J].*Ecology*,2001,82(9):2381-2396.

[2] 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.

[3] 王长庭,曹广民,王启兰,等.青藏高原高寒草甸植物群落物种组成和生物量沿环境梯度的变化[J].*中国科学*,2007,37(5):585-592.

[4] 王玉辉,周广胜.内蒙古羊草草原植物群落地上初级生产力时间动态对降水变化的响应[J].*生态学报*,2004,24(6):1140-1145.

[5] 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.

[6] 何孝德.海拔对不同功能群植物重要值影响的研究[J].

青海草业,2013,22(增刊 1):10-12.

[7] 德科加,张德罡,王伟,等.不同海拔下高寒草甸土壤养分分异趋势及其与地上植物量间的相关性研究[J].*草地学报*,2013,21(1):25-29.

[8] 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):93-101.

[9] 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 and Alpine Research*,2014,46(2):308-326.

[10] 刘利利.新疆不同草地类型植物多样性及与水热因子的关系[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2016.

[11] 马克平.生物群落多样性的测度方法 I: α 多样性的测度方法(上)[J].*生物多样性*,1994,2(3):162-168.

[12] 马克平,刘玉明.生物群落多样性的测度方法 I α 多样性的测度方法(下)[J].*生物多样性*,1994,2(4):231-239.

[13] Chang Y W, Zhang R Q, Hai C X, et al. Seasonal variation in soil temperature and moisture of a desert steppe environment: A case study from Xilamuren, Inner Mongolia [J].*Environmental Earth Sciences*,2021,80(7):290.

[14] 杜忠毓,安慧,王波,等.养分添加和降水变化对荒漠草原植物群落物种多样性和生物量的影响[J].*草地学报*,2020,28(4):1100-1110.

[15] 朱源,康慕谊,江源,等.贺兰山木本植物群落物种多样性的海拔格局[J].*植物生态学报*,2008,32(3):574-581.

[16] 郭正刚,梁天刚,刘兴元,等.新疆阿勒泰地区草地类型及植物多样性的研究[J].*西北植物学报*,2003,23(10):1719-1724.

[17] Kessler M, Salazar L, Homeier J, et al. Species richness-productivity relationships of tropical terrestrial ferns at regional and local scales[J].*Journal of Ecology*,2014,102(6):1623-1633.

[18] Wang W Y, Wang Q J, Li S X, et al. Distribution and species diversity of plant communities along transect on the Northeastern Tibetan Plateau[J].*Biodiversity and Conservation*,2006,15(5):1811-1828.

[19] 徐远杰,陈亚宁,李卫红,等.伊犁河谷山地植物群落物种多样性分布格局及环境解释[J].*植物生态学报*,2010,34(10):1142-1154.

[20] 刘彬,布买丽娅木·吐如汗,艾比拜姆·克热木,等.新疆天山南坡中段种子植物区系垂直分布格局分析[J].*植物科学学报*,2018,36(2):191-202.