

网络出版时间:2022-05-27 12:33
网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20220525.1553.009.html

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2022.12.010

阿尔泰山两河源草地地上生物量和物种多样性的空间格局

郭建兴^{1,2}, 叶茂^{1,2}, 殷锡凯^{1,2}, 张凯丽^{1,2}

(1 新疆师范大学 地理科学与旅游学院, 新疆 乌鲁木齐 830054;
2 新疆维吾尔自治区科学技术厅 新疆干旱区湖泊环境与资源重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830054)

[摘要] **【目的】**调查阿尔泰山两河源草地地上植被, 确定点位因子对草地地上生物量和物种多样性的影响, 为两河源草地管理、维护以及我国西北干旱地区草地生态安全提供数据支撑。**【方法】**以两河源草地为研究对象, 沿经度、纬度和海拔梯度调查了 30 个样地草地的植被状况, 利用 α -多样性测度中 Margalef 丰富度指数、Simpson 优势度指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Alatalo 均匀度指数对草地物种多样性进行分析。**【结果】**两河源草地地上生物量与物种多样性表现出明显空间规律, 地上生物量呈中西部高, 东南部低的空间分布特征, 而物种多样性则呈现东南高西北低的空间格局; 同时地上生物量和物种多样性与纬度、经度、海拔均显著相关($P<0.05$)。经度、海拔、纬度和盖度共同作用影响了地上生物量的分布格局; 经度、海拔和纬度共同作用影响了物种多样性的分布格局。**【结论】**两河源草地地上生物量和物种多样性表现出明显的空间规律性, 经度、海拔和纬度等环境因素是影响地上生物量和物种多样性空间格局的主要因子。

[关键词] 阿尔泰山两河源; 地上生物量; 物种多样性; 空间格局; 环境因素
[中图分类号] Q948 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1671-9387(2022)12-0087-10

Spatial patterns of aboveground biomass and species diversity of grassland in the Two-river Source region in Altay Mountains

GUO Jianxing^{1,2}, YE Mao^{1,2}, YIN Xikai^{1,2}, ZHANG Kaili^{1,2}

(1 School of Geographical Sciences and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi, Xinjiang 830054, China;
2 Xinjiang Laboratory of Lake Environment and Resources in Arid Zone, Department of Science and Technology of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi, Xinjiang 830054, China)

Abstract: **【Objective】**To provide data support for grassland management and maintenance as well as grassland ecological security in arid area of Northwest China, the aboveground vegetation of grassland in the Two-river Source region in Altay Mountains was investigated and the effects of site factors on aboveground biomass and species diversity of grassland were analyzed. **【Method】**Grassland vegetation status of 30 plots in the Two-river Source region was investigated along longitude, latitude and elevation gradients. The species diversity was analyzed by Margalef richness index, Simpson dominance index, Shannon Wiener diversity index and Alatalo evenness index in the α -diversity system. **【Result】**The aboveground biomass and species diversity showed clear spatial regularity, with higher aboveground biomass in the cen-

[收稿日期] 2021-12-03
[基金项目] NSFC-新疆联合基金项目(U1803245)
[作者简介] 郭建兴(1998—), 男, 云南保山人, 在读硕士, 主要从事干旱地区生态水文过程研究。
E-mail: guojianxing199800@163.com
[通信作者] 叶茂(1977—), 女, 陕西绥德人, 教授, 硕士生导师, 主要从事干旱地区生态水文过程研究。
E-mail: yemao1111@163.com

tral and western regions and lower values in the southeast, while with higher species diversity in the south-east and lower diversity in the northwest. The aboveground biomass and species diversity were significantly correlated with altitude, latitude and longitude ($P < 0.05$). The distribution pattern of aboveground biomass was affected by altitude, longitude, latitude and coverage. The distribution pattern of species diversity was influenced by altitude, longitude and latitude. 【Conclusion】 The aboveground biomass and species diversity in the grassland of the Two-river Source region showed clear spatial regularity. Altitude, longitude and latitude were the main environmental factors affecting the spatial pattern of aboveground biomass and species diversity.

Key words: Two-river Source in Altay Mountains; aboveground biomass; species diversity; spatial pattern; environmental factors

地上生物量和物种多样性之间的关系能反映草地群落物种构成、功能及结构,与海拔、气温、坡度、降水、地理位置和土壤养分等环境因子呈现出正相关、“单峰”曲线、负相关、不显著相关、U 型曲线及中间高度膨胀关系等^[1-8]。植物物种多样性与地上生物量及环境因子的相互关系是环境生态系统的基础^[9-10],并对人类可持续发展产生重要影响^[11]。进入 21 世纪后,随着人类干扰活动的不断加强,加剧了植物物种多样性的消失,改变了草地群落的空间格局,严重威胁着生态系统的结构稳定性和发展的可持续性^[12-13]。此外,地上生物量不仅是生态系统功能的主要表现形式之一,还是生态系统结构的物质组成部分和植物物种特性与环境因子相互作用的产物^[14-15]。地上生物量是草地群落功能的基础,草地的物种多样性可反映群落组成结构的复杂程度和稳定性程度。因此,探讨草地地上生物量和物种多样性空间格局在气候变化背景下有着积极的科学意义。

近几十年来,国内外学者对草地物种多样性与地上生物量的关系展开了多方面的研究,Grace 等^[16]研究认为线性正相关是其主要的关系形式,地上生物量随物种多样性的升高而升高,即草地物种多样性对地上生物量有重要的促进和提升作用。Tilman 等^[17]研究发现,地上生物量同物种多样性呈负相关关系。Wang 等^[18]研究发现,地上生物量和物种多样性之间呈不相关关系。Grime 等^[19]研究发现,地上生物量随物种多样性的增加先升后减,呈“中间高度膨胀”现象,Hector 等^[20]和 Chase 等^[21]也进一步证实了此现象。Wheeler 等^[22]研究发现物种多样性与地上生物量呈 U 型曲线关系。此外,不同区域的草地物种多样性对自然环境响应也存在诸多差别,如北美地区草地的物种多样性同海拔之间存在正相关关系^[23],亚欧内陆区域草地物种多样性

与海拔存在不相关关系^[24],我国的新疆山地草原物种多样性同海拔则呈现负相关关系^[25]。两河源区位于阿尔泰山东南段,属于额尔齐斯河和乌伦古河源流区,是阿尔泰山生物多样性保护的重点区域^[26]。在全球气候变化和人类活动干扰的大背景下,两河源草地的生态压力也在剧增^[1,27]。因此,研究两河源草地地上生物量与物种多样性空间格局,明确环境因素对二者的影响,对于两河源草地管护以及阿尔泰山草地生态安全具有重要价值^[1]。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

阿尔泰山两河源位于额尔齐斯河、乌伦古河两河流的源头区($87^{\circ}30' - 90^{\circ}00'E, 46^{\circ}30' - 48^{\circ}10'N$),总面积 $1.13 \times 10^6 \text{ hm}^2$,地势西北高东南低,以山地为主,海拔 $1\,500 \sim 3\,500 \text{ m}$,年均降水量 $110 \sim 307 \text{ mm}$,年均温度 $0 \sim 5.3^{\circ}\text{C}$,属典型大陆性温带寒冷气候区。两河源草地类型主要包括森林草甸、亚高山草甸、高山草甸等;土壤类型主要有栗钙土、亚高山草甸土、灰色森林土和高山草甸土等;草地物种丰富,主要有蒲公英(*Taraxacum mongolicum*)、勿忘草(*Myosotis alpestris*)、千叶蓍(*Achillea millefolium*)、野火球(*Trifolium lupinaster*)和金莲花(*Trollius chinensis*)等。

1.2 试验方法

2020 年 7—8 月,在牧草生长旺盛期,在两河源的阿克布拉克、喀依尔特、库尔木图、库木阿拉散和三道海子 5 个地点沿经度、纬度、海拔共设置样地 30 个(图 1)。在各样地中,随机选取 3 个面积为 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 的小样方。同时记录各样方内物种的盖度、物种数、株高、密度及地上生物量,样地基本信息详见表 1。

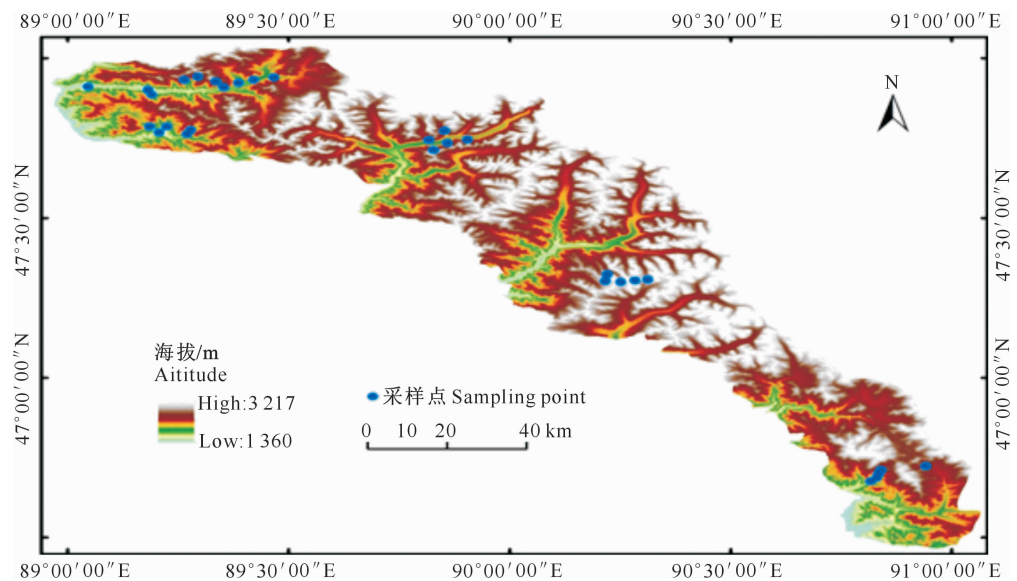


图 1 阿尔泰山两河源采样点分布图

Fig. 1 Distribution of sampling points of in the Two-river Source region in Altai Mountains

表 1 样地基本信息表

Table 1 Basic information of sampling plots

样地编号 Sample number	东经(E) East longitude	北纬(N) North latitude	海拔/m Altitude	盖度/% Coverage
A ₁	90°08′06″	47°04′51″	2 125	90
A ₂	90°07′27″	47°04′55″	2 206	75
A ₃	90°06′50″	47°04′59″	2 279	95
A ₄	90°06′08″	47°05′59″	2 417	80
A ₅	90°06′04″	47°05′31″	2 541	60
KA ₁	89°27′04″	47°22′55″	1 760	60
KA ₂	89°27′07″	47°22′59″	1 738	72
KA ₃	89°27′11″	47°23′03″	1 769	74
KA ₄	89°27′15″	47°23′06″	1 823	47
KA ₅	89°27′00″	47°23′24″	1 785	80
KU ₁	89°15′51″	47°34′30″	1 945	45
KU ₂	89°14′03″	47°33′14″	1 899	60
KU ₃	89°12′18″	47°32′24″	1 745	68
KU ₄	89°08′35″	47°32′28″	1 665	50
KU ₅	89°06′43″	47°32′46″	1 600	68
KU ₆	89°06′11″	47°32′35″	1 650	40
KU ₇	89°05′31″	47°32′39″	1 555	50
KU ₈	89°00′18″	47°32′42″	1 350	45
KU ₉	89°00′07″	47°32′35″	1 331	50
KU ₁₀	88°35′28″	47°32′34″	1 347	45
KM ₁	89°08′28″	47°26′46″	1 750	87
KM ₂	89°09′43″	47°25′52″	1 982	88
KM ₃	89°10′30″	47°26′31″	2 398	87
KM ₄	89°09′04″	47°26′28″	1 878	84
KM ₅	89°09′50″	47°25′23″	2 141	83
S ₁	90°49′02″	46°40′34″	1 859	50
S ₂	90°49′52″	46°41′13″	1 980	65
S ₃	90°50′06″	46°41′53″	2 075	70
S ₄	90°50′28″	46°42′40″	2 212	68
S ₅	90°56′31″	46°43′23″	2 467	60

注: A₁—A₅ 为阿克布拉克 1—5 号样地; KA₁—KA₅ 为喀依尔特 1—5 号样地; KU₁—KU₁₀ 为库尔木图 1—10 号样地; KM₁—KM₅ 为库木阿拉散 1—5 号样地; S₁—S₅ 为三道海子 1—5 号样地。图 2 和图 5 同。

Note: A₁—A₅ are sites 1—5 of Akbrak; KA₁—KA₅ are Kailte 1—5 plots; KU₁—KU₁₀ are sample sites 1—10 of Kuermutu; KM₁—KM₅ are Kumu Alasan sample sites 1—5; S₁—S₅ are sample sites 1—5 of Sandahaizi. The same in Fig. 2 and Fig. 5.

物种多样性用 α -多样性测度中 Margalef 丰富度指数 (M)、Simpson 优势度指数 (D)、Shannon-Wiener 多样性指数 (H)、Alatalo 均匀度指数 (J), 具体计算公式如下^[28-29]:

$$M=(S-1)/\ln N;$$

$$D=1-\ln\left[\sum_{i=1}^S\left(\frac{N_i}{N}\right)^2\right];$$

$$H=-\sum P_i \ln P_i;$$

$$J=[1/(\sum P_i^2-1)]/[\exp(-P_i \ln P_i)-1];$$

$$P_i=N_i/N.$$

式中: S 为样方内总物种数量; N 为样方内总个体数; N_i 为第 i 种物种个体数; P_i 为第 i 种物种个体数所占总个体数的比例^[24]。

1.3 数据处理

采用 Microsoft Excel 2010 软件对数据进行初步整理,再利用 SPSS 20.0 进行单因素方差分析、相关性分析及回归方程分析;用 ArcGIS10.2 和 Origin 2018 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 阿尔泰山两河源草地地上生物量空间格局及影响因素

2.1.1 地上生物量的空间格局 由图 2 可知,阿尔泰山两河源草地地上生物量在空间分布上表现出一定的规律性,从中西北部向两侧递减。在两河源东西方向呈西多东少的变化特点;以 89.4° E 为界将两河源分成东西两部分,经度小于 89.4° E 时,自东向西地上生物量呈上升趋势,为 172.69 ~ 635 g/m²;经度大于 89.4° E 时,从东到西草地上

生物量呈逐渐下降趋势,为 635~93.67 g/m²。在南北方向上草地地上生物量呈现出中部多、两边少的变化特点。以 47.4° N 为界,地上生物量分为两个明显区域,沿南北方向逐渐下降。89.4°~91° E 自南向北地上生物量从 635 g/m² 递减为 60.33 g/m²;88.7°~89.4° E 自南向北地上生物量从 635 g/m² 减少到 17.33 g/m²。总体而言,地上生物量下降幅度西段大于东段,且西段地上生物量分布情况更为复杂。

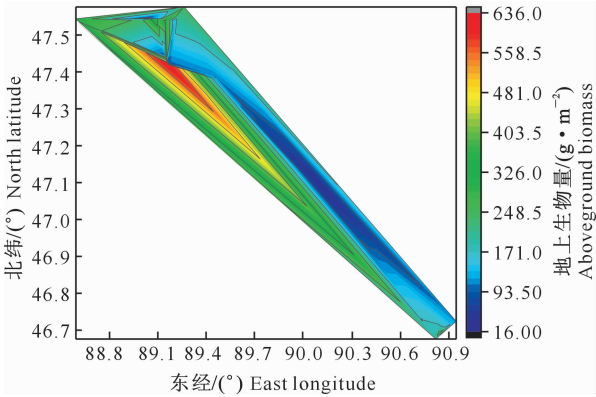


图 2 阿尔泰山两河源草地地上生物量的空间分布格局
Fig.2 Spatial distribution pattern of aboveground biomass in the Two-river Source region in Altai Mountains

由图 3 可知,两河源不同样地的地上生物量差异较大,30 个样地的平均地上生物量为 186.25 g/m²,其中库木阿拉散 5 号样地(KM₅)的地上生物量最高(635 g/m²);阿克布拉克 4 号样地(A₄)的地上生物量最低(17.33 g/m²),前者为后者的 36.6 倍,这是气候因素及人类活动共同作用的结果。

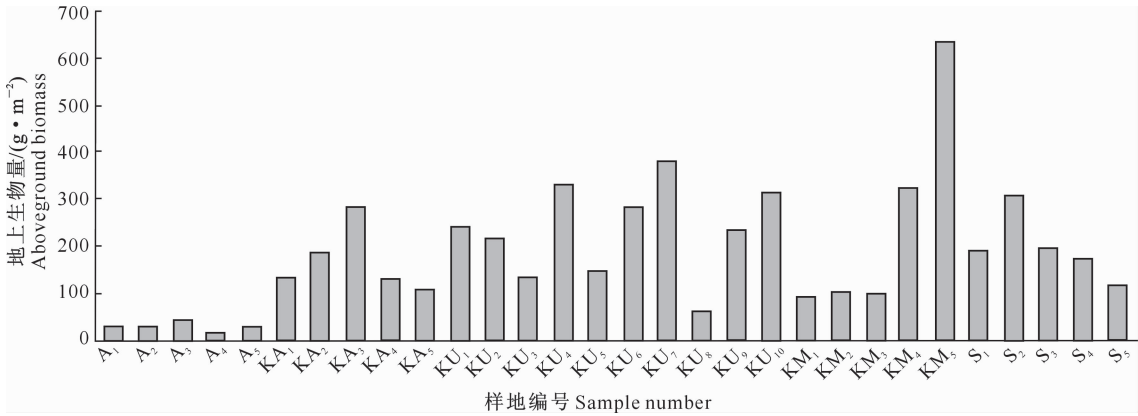


图 3 阿尔泰山两河源不同样地的地上生物量

Fig.3 Aboveground biomass of different plots in the Two-river Source region in Altai Mountains

2.1.2 地上生物量的影响因素 由图 4 可知,两河源草地上生物量与海拔之间呈显著二次函数关系

($R^2=0.403, P<0.05$),随着海拔的不断升高地上生物量呈先上升后下降的趋势;地上生物量同经度

呈“U”型关系($R^2=0.310, P<0.01$),随经度的不断增加地上生物量呈先减少后增多趋势,当经度为 90.1°E 时地上生物量最小 (17 g/m^2);地上生物量同纬度也呈现出“U”型关系($R^2=0.320, P<$

0.05),随着纬度的不断增加地上生物量呈先减少后增多的变化趋势,纬度为 46.95°N 时地上生物量最低(8 g/m^2);地上生物量与草地盖度之间存在显著的指数关系($R^2=0.450, P<0.05$)^[1]。

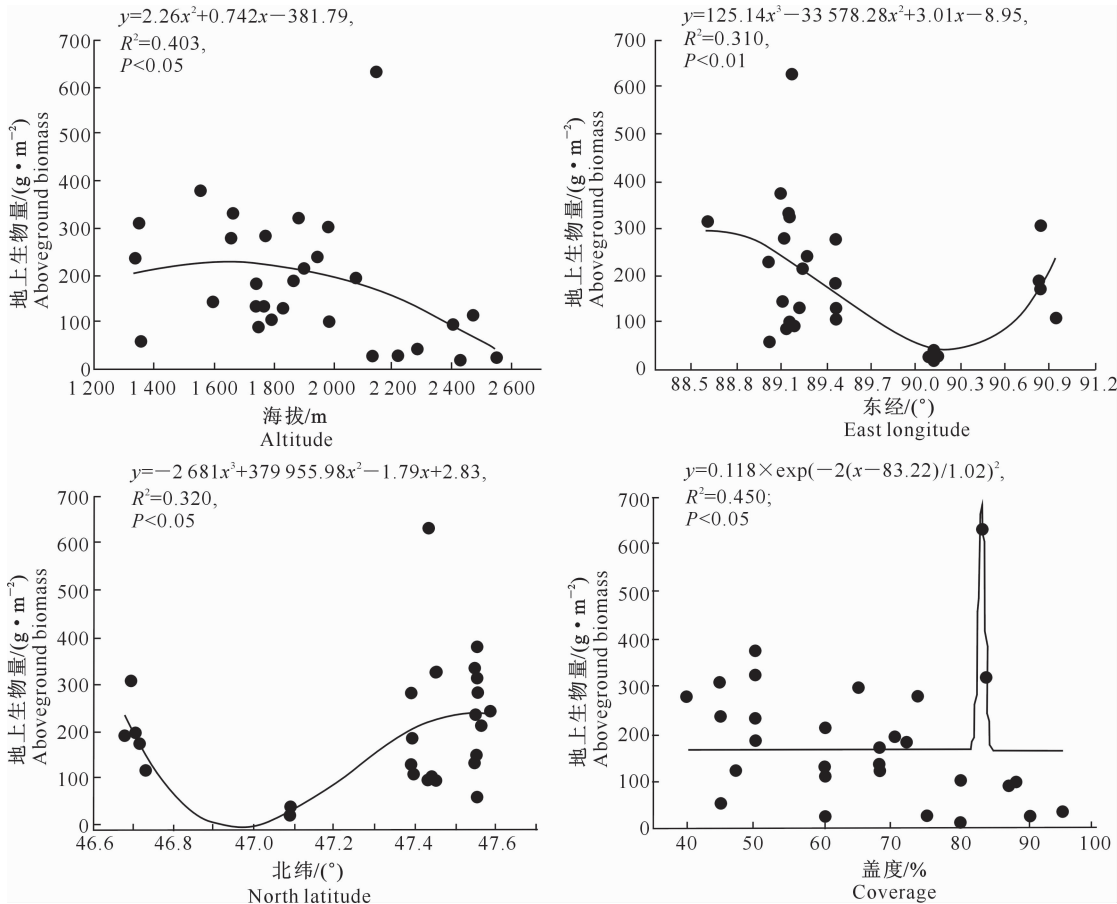


图 4 阿尔泰山两河源草地地上生物量与环境因素的关系

Fig. 4 Relationship between aboveground biomass and environmental factors of grassland in the Two-river Source region in Altai Mountains

2.2 阿尔泰山两河源草地物种多样性的空间格局及其影响因素

2.2.1 物种多样性的空间格局 由图 5 可知,两河源草地物种多样性总体上呈现出东南高西北低的空间格局,且在中西北部出现了低值区。在东西方向上,Margalef 丰富度指数、Simpson 优势度指数和 Shannon-Wiener 多样性指数均明显分为三个部分,大于 89.7°E 时物种多样性指数自西向东逐渐增加;在 $89^{\circ}\sim 89.7^{\circ}\text{E}$ 时出现了低值区,物种多样性由东西两侧向中部减小;小于 89°E 时物种多样性由东向西增加。Alatalo 均匀度指数则呈现由西向东逐渐减小的变化趋势。在南北方向上,在 $47.6^{\circ}\sim 47.2^{\circ}\text{N}$ 时,Margalef 丰富度指数、Simpson 优势度指数和 Shannon-Wiener 多样性指数从北到南呈逐渐下降趋势;在 $47.2^{\circ}\sim 46.6^{\circ}\text{N}$ 时,Margalef 丰富

度指数、Simpson 优势度指数和 Shannon-Wiener 多样性指数自北向南逐渐增加;而 Alatalo 均匀度指数则呈现出由北到南持续增加的趋势。

由图 6 可知,两河源草地不同样地之间,其物种多样性指数也存在较大差异。Margalef 丰富度指数、Simpson 优势度指数、Shannon-Wiener 多样性指数以及 Alatalo 均匀度指数的平均值分别为 $0.86, 1.92, 1.13$ 和 0.71 。其中 Margalef 丰富度指数最高为 S_3 样地 (1.54),最低为 A_5 样地 (0.25);Simpson 优势度指数最高为 S_3 样地 (2.82),最低则是 KA_5 样地 (1.45);Shannon-Wiener 多样性指数最高也是 S_3 样地 (1.89),最低则是 A_3 样地 (0.47);Alatalo 均匀度指数最高也是 S_3 样地 (0.92),最低则为 A_3 样地 (0.41)。

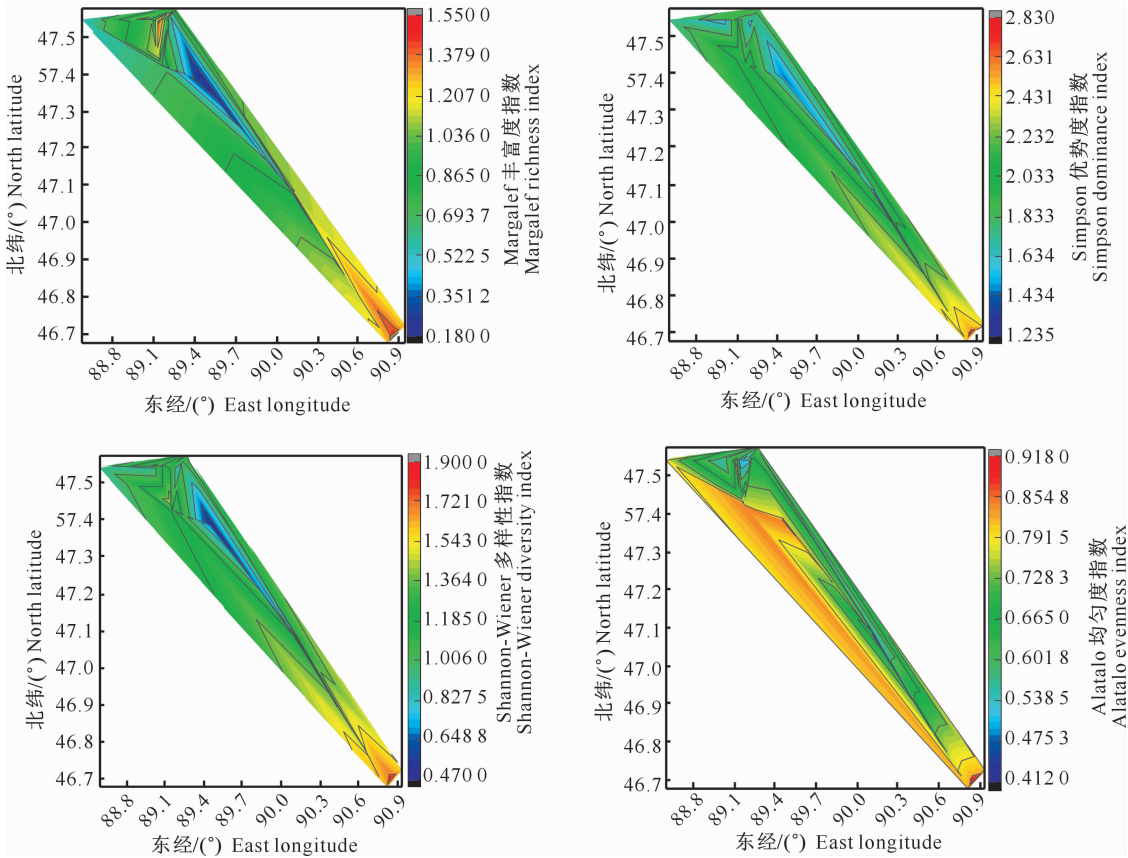


图 5 阿尔泰山两河源物种多样性的空间分布格局

Fig. 5 Spatial distribution pattern of species diversity in the Two-river Source region in Altai Mountains

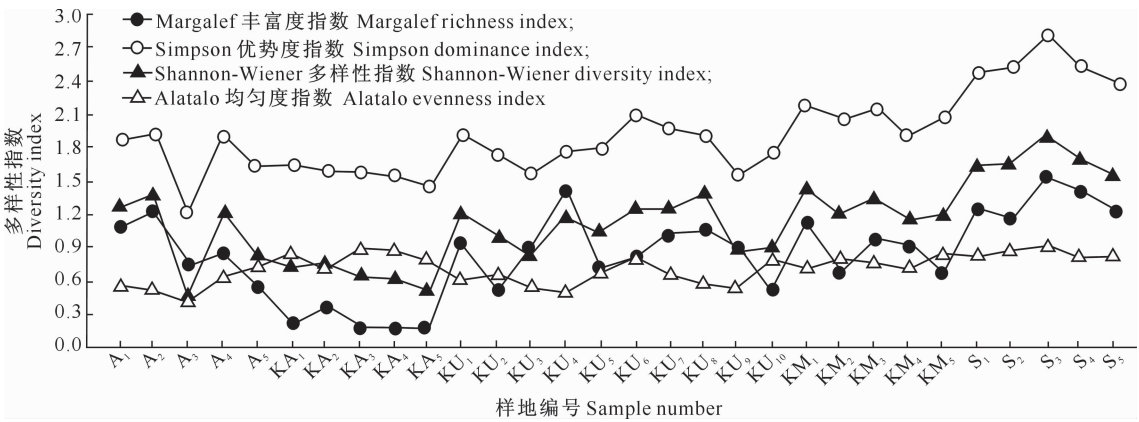


图 6 阿尔泰山两河源不同样地的物种多样性指数

Fig. 6 Species diversity index of different plots in the Two-river Source region in Altai Mountains

2.2.2 物种多样性的影响因素 物种多样性指数中,Simpson 优势度指数同海拔呈显著正相关($R^2 = 0.36, P < 0.05$)(表 2),在海拔为 2 000 m 左右时,物种 Simpson 优势度指数发生突增和猛降现象;其他物种多样性指数与海拔均不存在相关关系(图 7)。Margalef 丰富度指数、Simpson 优势度指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Alatalo 均匀度指数均同经度呈现出四次函数关系,随经度的增大物种

多样性指数均表现为先增大后减小又增大再减少趋势,呈周期性波动;在经度 89.7° E 时,Margalef 丰富度指数、Simpson 优势度指数和 Shannon-Wiener 多样性指数最低(图 7)。物种多样性指数与纬度之间也存在四次函数关系($R^2 > 0.55, P < 0.05$),即物种多样性指数随着纬度的增加出现先增后减再增的周期性趋势;在纬度 47.3° N 时,各项物种多样性指数最低(图 7)。物种多样性与草地盖度存在不相

关关系($R^2 < 0.21, P > 0.05$) (表 2),即在两河源草 地中草地盖度的变化对物种多样性影响不显著。

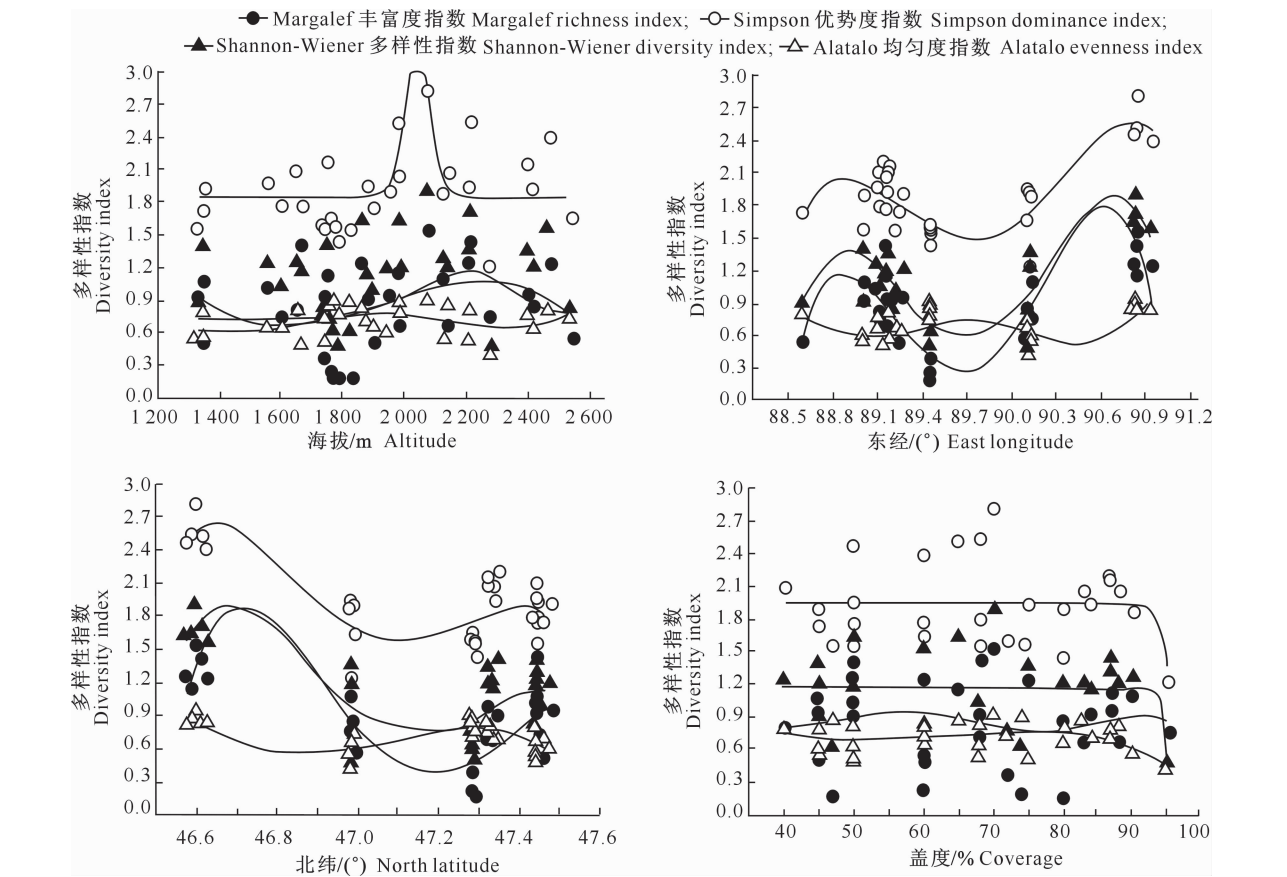


图 7 阿尔泰山两河源草地物种多样性与环境因素的关系

Fig. 7 relationship between species diversity and environmental factors in grassland of the Two-river Source region in Altai Mountains

表 2 阿尔泰山两河源草地物种多样性与环境因素的拟合方程

Table 2 Fitting equations of grassland species diversity and environmental factors in the Two-river Source region in Altai Mountains

环境因素 Environmental factor	拟合方程 Fitting equation	R^2	P
海拔 Altitude	$Y_1 = -3.08x^3 + 1.78x^2 - 0.03x + 21.08$	0.15	0.312 1
	$Y_2 = 1.85 + (137.1 / (78.96 * \sqrt{PI/2})) * \exp(-2 * ((x - 2041.2) / 78.96)^2)$	0.36	0.046 2
	$Y_3 = 0.74 + (166.8 / (310.64 * \sqrt{PI/2})) * \exp(-2 * ((x - 2187.2) / 310.64)^2)$	0.16	0.215 1
	$Y_4 = 3.36x^4 - 2.55x^3 + 7.1x^2 - 0.09x + 38.896$	0.15	0.463 5
经度 Longitude	$Y_1 = -1.99x^4 + 716.59x^3 - 96439.39x^2 + 5.76x - 1.294$	0.69	0.011 3
	$Y_2 = -0.95x^4 + 341.41x^3 - 45990.43x^2 + 2.75x - 6.18$	0.73	0.001 4
	$Y_3 = -1.48x^4 + 534.32x^3 - 71935.18x^2 + 4.31x - 9.66$	0.71	0.006 2
	$Y_4 = 0.47x^4 - 167.25x^3 + 22484.65x^2 - 1.34x + 3.01$	0.38	0.086 7
纬度 Latitude	$Y_1 = -39.58x^4 + 7479.06x^3 - 529931.11x^2 + 1.67x - 1.97$	0.55	0.007 8
	$Y_2 = -32.95x^4 + 6214.48x^3 - 439502.96x^2 + 1.38x - 1.63$	0.66	0.000 1
	$Y_3 = -32.44x^4 + 6123.88x^3 - 433481.35x^2 + 1.36x - 1.61$	0.55	0.002 4
	$Y_4 = -5.64x^4 + 1058.27x^3 - 74408.34x^2 + 2.33x - 2.72$	0.61	0.026 2
盖度 Coverage	$Y_1 = -1.43x^4 + 0.01x^3 - 0.1156x^2 + 3.49x - 41.74$	0.11	0.835 5
	$Y_2 = -2.88x^4 + 0.512x^3 - 0.5147x^2 + 2.52x - 1.09$	0.13	0.849 7
	$Y_3 = -4.35x^4 + 0.6245x^3 - 0.8427x^2 + 2.06x - 2.38$	0.12	0.746 1
	$Y_4 = -7.87x^4 + 0.885x^3 - 0.7548x^2 + 1.07x - 2.53$	0.21	0.683 6

注: Y_1 、 Y_2 、 Y_3 、 Y_4 分别代表 Margalef 丰富度指数、Simpson 优势度指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Alatalo 均匀度指数, R^2 为相关系数。
Note: Y_1 , Y_2 , Y_3 and Y_4 represent Margalef richness index, Simpson dominance index, Shannon Wiener diversity index and Alatalo evenness index, respectively, and R_2 is the correlation coefficient.

3 讨 论

3.1 地上生物量与物种多样性的空间格局

在草地物种多样性空间分布格局中,由于研究区域环境带有地域性特征,故其变化规律还没统一^[30]。不同地域草地地上生物量和多样性存在差异,是区位(主要因子)、气候条件和人类活动等因素共同作用所导致的^[1]。同时生物量也是衡量草地生态系统品质关键指标之一,其空间格局对定量分析草地群落具有十分重要的意义^[30-31]。两河源草地地上生物量随海拔的升高先增加后降低,呈“单峰”型,这与对青海果洛州、拉萨河谷地区以及藏北地区等的研究结果^[31-35]相吻合。在水平方向上,随着经度的增大,两河源草地地上生物量呈先减少后增大趋势;纬度方向上变化趋势同经度基本一致。而地上生物量在草地盖度 80%~90%时有突变,说明其草地盖度在该突变期地上生物量最大。综合来看,两河源草地地上生物量的主要限制因子为海拔、经度、纬度和盖度,该结论与阿尔泰山草地生物量水平地带空间格局相吻合。物种多样性空间格局及影响因子是生态学研究的热点问题之一^[36]。两河源草地物种 Simpson 优势度指数随海拔的升高而增大,其他多样性指数则不明显;在经纬度方面,物种多样性随经纬度的增加都呈先增后减再增的周期性变化趋势;物种多样性与盖度的变化不明显。充分说明了两河源草地物种多样性,不但在空间上表现出自东南向西北减少的规律,同时还具备水平地带性、垂直地带性以及非地带性等多重分布规律^[1,37]。

3.2 地上生物量和物种多样性的影响因素

两河源草地地上生物量与海拔存在“单峰”关系,这与前人对天山中段^[38]以及青藏高原高寒草甸^[39]的研究结果一致;与经纬度则呈现出“U”型关系,这与阿巴嘎旗典型草原物种多样性的研究结果^[30]具有相似性。上述结果可能与多种自然、人为因素有关^[39]。两河源草地地上生物量同物种多样性随经度表现出“U”型二次函数和四次函数关系,在 89.7° E 时物种多样性最低,是因样地多位于喀依尔特林区周围,草地类型为山地草甸,同时放牧活动较为活跃,物种多样性较低。而王长庭等^[13,40]认为,不同水分条件是影响物种多样性的主要原因,在两河源西部和东部物种多样性最为丰富,如样地 S₃、S₅ 和 KU₆ 等,草地长势良好,这可能与该地区较好的水热搭配有关。此外,郑伟等^[41]认为,重度放牧会导致草地物种多样性降低,本研究物种多样

性在中部地区出现了低值区,如样地 A₃、A₅、KA₅、KU₁ 和 KU₂ 等,这可能是该地区接近居民区且过度放牧所致。草地盖度虽然对地上生物量产生了一定影响,但对物种多样性则影响较小。因此,两河源草地地上生物量和物种多样性是由经纬度和海拔共同影响的,说明水热关系共同影响了两河源草地生长和生物量积累。

4 结 论

两河源草地地上生物量自中西北部向两侧逐渐递减;物种多样性呈现出东南高西北低的空间格局,在中西北部出现了低值区,由西向东物种多样性逐渐升高,由南向北物种多样性逐渐降低,地上生物量同物种多样性表现出明显空间规律性。海拔、经纬度是影响两河源草地地上生物量和物种多样性空间格局的主要环境因素。

[参考文献]

- [1] 何美悦,王迎新,侯扶江,等. 祁连山草原地上生物量和物种丰富度的空间格局 [J]. 草业科学, 2020, 37(10): 2012-2021.
He M Y, Wang Y X, Hou F J, et al. Spatial pattern of above-ground biomass and species richness of Qilian Mountain grassland [J]. Pratacultural Science, 2020, 37(10): 2012-2021.
- [2] 戴黎聪,柯 浚,曹莹芳,等. 青藏高原矮嵩草草甸地下和地上生物量分配格局及其与气象因子的关系 [J]. 生态学报, 2019, 39(2): 486-493.
Dai L C, Ke X, Cao Y F, et al. Distribution pattern of underground and aboveground biomass in Kobresia humilis meadow on Qinghai Tibet Plateau and its relationship with meteorological factors [J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(2): 486-493.
- [3] 朴世龙,方精云,贺金生,等. 中国草地植被生物量及其空间分布格局 [J]. 植物生态学报, 2004, 28(4): 491-498.
Piao S L, Fang J Y, He J S, et al. Grassland vegetation biomass and its spatial distribution pattern in China [J]. Journal of Plant Ecology, 2004, 28(4): 491-498.
- [4] 张 宇,侯路路,闫瑞瑞,等. 放牧强度对草甸草原植物群落特征及营养品质的影响 [J]. 中国农业科学, 2020, 53(13): 2550-2561.
Zhang Y, Hou L L, Yan R R, et al. Effects of grazing intensity on the characteristics and nutritional quality of meadow grassland plant community [J]. Chinese Agricultural Sciences, 2020, 53(13): 2550-2561.
- [5] 吴 珂,徐文轩,杨维康. 模拟短期降雨量变化对准噶尔荒漠植物群落的影响 [J]. 水土保持研究, 2019, 26(5): 100-106.
Wu K, Xu W X, Yang W K. Impact of simulated short-term rainfall change on Junggar desert plant community [J]. Research on Soil and Water Conservation, 2019, 26(5): 100-106.
- [6] Fridley J D. Diversity effects on production in different light and fertility environments: an experiment with communities of an-

- nual plants [J]. *Journal of Ecology*, 2003, 91(3): 396-406.
- [7] Lanta V, Leps J. Effects of species and functional group richness on production in two fertility environments: an experiment with communities of perennial plants [J]. *Acta Oecologica*, 2007, 32(1): 93-103.
- [8] 代梦梦, 杨 坤, 黎 树, 等. 长江上游支流南广河鱼类多样性及资源现状 [J]. *生物多样性*, 2019, 27(10): 1081-1089.
- Dai M M, Yang K, Li S, et al. Fish diversity and resource status of Nanguang River, a tributary of the upper Yangtze River [J]. *Biodiversity*, 2019, 27(10): 1081-1089.
- [9] 范玉龙, 胡 楠, 丁圣彦, 等. 陆地生态系统服务与生物多样性研究进展 [J]. *生态学报*, 2016, 36(15): 4583-4593.
- Fan Y L, Hu N, Ding S Y, et al. Progress in terrestrial ecosystem services and biodiversity [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(15): 4583-4593.
- [10] 马克平. 试论生物多样性的概念 [J]. *生物多样性*, 1993(1): 20-22.
- Ma K P. On the concept of biodiversity [J]. *Biodiversity*, 1993(1): 20-22.
- [11] 李延梅, 牛 栋, 张志强, 等. 国际生物多样性研究科学计划与热点述评 [J]. *生态学报*, 2009, 29(4): 2115-2122.
- Li Y M, Niu D, Zhang Z Q, et al. Review of international scientific programmes and frontiers of biodiversity research [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(4): 2115-2122.
- [12] Chapin F S, Zavaleta E S, Eviner V T, et al. Consequences of changing biodiversity [J]. *Nature*, 2000, 405(6783): 234-242.
- [13] Cardinale B J, Duffy J E, Gonzalez A, et al. ERRATUM: biodiversity loss and its impact on humanity [J]. *Nature*, 2012, 489(2514): 59-67.
- [14] Naeem S. Ecosystem consequences of biodiversity loss: the evolution of a paradigm [J]. *Ecology*, 2002, 83(6): 1537-1552.
- [15] 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, 7(6): 1140-1145.
- Wang Y H, Zhou G S. Response of temporal dynamics of aboveground primary productivity of *Leymus chinensis* grassland plant community to precipitation change in Inner Mongolia [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 7(6): 1140-1145.
- [16] Grace J B, Anderson T M, Seabloom E W, et al. Integrative modelling reveals mechanisms linking productivity and plant species richness [J]. *Nature*, 2016, 529(7586): 390-393.
- [17] Tilman D. Biodiversity: population versus ecosystem stability [J]. *Ecology*, 1996, 77(2): 350-363.
- [18] Wang Y F, Yu S X, Wang J. Biomass-dependent susceptibility to drought in experimental grassland communities [J]. *Ecology Letters*, 2007, 10(5): 401-410.
- [19] Grime J P. Control of species density in herbaceous vegetation [J]. *Journal of Environmental Management*, 1973, 1: 151-167.
- [20] Hector A, Schmid B, Beierkuhnlein C, et al. Plant diversity and productivity experiments in European grasslands [J]. *Science*, 1999, 286(5442): 1123-1127.
- [21] Chase J M, Leibold M A. Spatial scale dictates the productivity-biodiversity relationship [J]. *Nature*, 2002, 416(1866): 427-430.
- [22] Wheeler B D, Shaw S C. Aboveground crop mass and species richness of the principal types of herbaceous cich-fen vegetation of lowland England and Wales [J]. *Journal of Ecology*, 1991, 79(2): 285-310.
- [23] 古桑群宗, 拉 多, 郭应杰, 等. 拉萨河流域贡组山植物物种丰富度和群落特征研究 [J]. *广西植物*, 2021, 41(3): 372-383.
- Gu S Q Z, La D, Guo Y J, et al. Study on plant species richness and community characteristics of Kuzu mountain in Lhasa River Basin [J]. *Guangxi Flora*, 2021, 41(3): 372-383.
- [24] 滕玉凤, 马 力, 占玉芳, 等. 河西走廊民勤人工梭梭林群落的物种多样性研究 [J]. *中国水土保持*, 2019(1): 43-46, 69.
- Teng Y F, Ma L, Zhan Y F, et al. Study on the species diversity of the Artificial *Haloxylon ammodendron* community in Minqin, Hexi Corridor [J]. *China Soil and Water Conservation*, 2019(1): 43-46, 69.
- [25] 安尼瓦尔·买买提, 杨元合, 郭兆迪, 等. 新疆草地植被的地上生物量 [J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2006, 1(4): 521-526.
- Annival M M T, Yang Y H, Guo Z D, et al. Aboveground biomass of grassland vegetation in Xinjiang [J]. *Journal of Peking University (Natural Science Edition)*, 2006, 1(4): 521-526.
- [26] 杜松华. 阿尔泰山两河源部分湿地退化与保护初探 [J]. *新疆林业*, 2012, 8(5): 13-14.
- Du S H. Preliminary study on wetland degradation and protection at the source of two rivers in Altai Mountain [J]. *Xinjiang Forestry*, 2012, 8(5): 13-14.
- [27] 王楚含, 徐海量, 徐福军, 等. 放牧对草地生态经济价值的影响: 以新疆阿尔泰山两河源自然保护区为例 [J]. *草地学报*, 2017, 25(1): 42-48.
- Wang C H, Xu H L, Xu F J, et al. Impact of grazing on grassland ecological and economic value: taking liangheyuan nature reserve in Altai Mountain, Xinjiang as an example [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2017, 25(1): 42-48.
- [28] 马克平. 生物群落多样性的测度方法 I a 多样性的测度方法 (上) [J]. *生物多样性*, 1994(3): 162-168.
- Ma K P. Measurement method of biodiversity I a measurement method of biodiversity (I) [J]. *Biodiversity*, 1994(3): 162-168.
- [29] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 I a 多样性的测度方法 (下) [J]. *生物多样性*, 1994(4): 231-239.
- Ma K P, Liu Y M. Measurement method of biodiversity I a measurement method of biodiversity (II) [J]. *Biodiversity*, 1994(4): 231-239.
- [30] 陈加际, 常生华, 王召锋, 等. 阿巴嘎旗典型草原植物物种多样性与地上生物量的关系 [J]. *草业科学*, 2018, 35(9): 2068-2078.
- Chen J J, Chang S H, Wang Z F, et al. The relationship between plant species diversity and above-ground biomass in a typical steppe in Abaga Banner [J]. *Pratacultural Science*,

2018,35(9):2068-2078.

[31] 吴红宝,水宏伟,胡国铮,等.海拔对藏北高寒草地物种多样性和生物量的影响 [J]. 生态环境学报,2019,28(6):1071-1079. Wu H B, Shui H W, Hu G Z, et al. Effects of altitude on species diversity and biomass of alpine grassland in northern Tibet [J]. Journal of Ecological Environment, 2019, 28(6): 1071-1079.

[32] 杨荣荣,兰 垚,张 卓.中国近 30 年草地上生物量的研究进展 [J]. 亚热带水土保持,2019,31(2):38-41,48. Yang R R, Lan Y, Zhang Z. Research progress of grassland aboveground biomass in China in recent 30 years [J]. Sub-tropical Soil and Water Conservation, 2019, 31(2): 38-41, 48.

[33] 段敏杰,高清竹,郭亚奇,等.藏北高寒草地植物群落物种多样性沿海拔梯度的分布格局 [J]. 草业科学,2011,28(10):1845-1850. Duan M J, Gao Q Z, Guo Y Q, et al. Distribution pattern of plant community species diversity along altitude gradient in alpine grassland of northern Tibet [J]. Pratacultural Science, 2011, 28(10): 1845-1850.

[34] 马维玲,石培礼,李文华,等.青藏高原高寒草甸植株性状和生物量分配的海拔梯度变异 [J]. 中国科学:生命科学,2010,40(6):533-543. Ma W L, Shi P L, Li W H, et al. Altitude gradient variation of plant characters and biomass allocation in alpine meadow of Qinghai Tibet Plateau [J]. Chinese Science: Life Science, 2010, 40(6): 533-543.

[35] 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. Luo L M, Miao Y J, Wu J S, et al. Variation characteristics of species diversity of mountain shrub grassland in Lhasa River Valley with increasing altitude [J]. Acta Prata Sinica, 2014, 23(6): 320-326.

[36] 官惠玲,樊江文,李愈哲.不同人工草地对青藏高原温性草原群落生物量组成及物种多样性的影响 [J]. 草业学报,2019,28(9):192-201. Guan H L, Fan J W, Li Y Z. Effects of different artificial grasslands on biomass composition and species diversity of temperate grassland community in Qinghai Tibet Plateau [J]. Acta Prata Sinica, 2019, 28(9): 192-201.

[37] 吕安琪,李东海,杨小波,等.海南三亚滨海雨林、半落叶季雨林到落叶季雨林的植物群落多样性及种间联结研究 [J]. 广西植物,2021,41(3):384-395. Lv A Q, Li D H, Yang X B, et al. Study on plant community diversity and interspecific association in coastal rain forest, semi deciduous season rain forest to deciduous season rain forest in Sanya, Hainan [J]. Guangxi Flora, 2021, 41(3): 384-395.

[38] 柳妍妍,胡玉昆,王 鑫,等.天山南坡中段高寒草地物种多样性与生物量的垂直分异特征 [J]. 生态学杂志,2013,32(2):311-318. Liu Y Y, Hu Y K, Wang X, et al. Vertical differentiation characteristics of species diversity and biomass of alpine grassland in the middle of the southern slope of Tianshan Mountain [J]. Journal of Ecology, 2013, 32(2): 311-318.

[39] 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(4):451-462. Liu Z, Li Q, Chen D D, et al. Altitude gradient distribution pattern of species diversity and its impact on aboveground biomass in alpine meadow of Qinghai Tibet Plateau [J]. Biodiversity, 2015(4): 451-462.

[40] 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. Wang C T, Wang Q J, Long R J, et al. Changes in plant species diversity and productivity along an elevation gradient in an alpine meadow [J]. Acta Phytocologica Sinica, 2004, 28(2): 240-245.

[41] 郑 伟,董全民,李世雄,等.放牧强度对环青海湖高寒草原群落物种多样性和生产力的影响 [J]. 草地学报,2012,20(6):1033-1038. Zheng W, Dong Q M, Li S X, et al. Effects of grazing intensity on species diversity and productivity of alpine grassland community around Qinghai Lake [J]. Acta Agrestia Sinica, 2012, 20(6): 1033-1038.