

阿尔泰山哈巴河林区草地群落物种组成及多样性研究

张凯丽, 叶茂*, 殷锡凯, 郭建兴

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

摘要:【目的】探讨不同草地类型群落间物种多样性的变化特征及其生物量与物种多样性各项指数的关系, 为哈巴河地区畜牧业的健康发展提供基础数据, 为该地区草地资源的可持续利用和畜牧业发展提供参考。【方法】以阿尔泰山哈巴河林区4种草地类型为对象, 通过野外采样及对样本进行处理, 计算植物群落物种多样性, 分析各草地类型群落的物种组成及物种多样性变化特征, 探讨生物量与物种多样性间的关系。【结果】1) 共调查植物有18科33属39种, 科属组成较分散, 植物群落结构简单, 荒漠草原与山地草甸草原间相似性系数小, 异质性大, 山地草原与山地草甸草原间相似性系数大, 异质性小。2) 各草地类型群落间的生物量、多样性各项指数存在明显差异, 山地草原的丰富度优于其他草地类型, 山地草甸草原的物种优势度和多样性情况最好, 山地草甸的均匀度较好。3) 草地生物量与多样性各项指数具有非线性相关关系, 山地草原和山地草甸的群落生物量与Simpson指数、Shannon—Wiener指数呈极显著相关($P < 0.01$), 山地草甸草原与各项指数均存在显著相关($P < 0.05$)。4) 群落物种多样性的垂直变化表现出一定的规律性。【结论】不同草地类型群落的生物量、多样性各项指数差异明显, 草地生物量与多样性各项指数存在非线性关系, 群落物种多样性的垂直变化表现出一定的规律性, 其中草地群落间Simpson指数和Shannon—Wiener指数变化趋势基本一致, 表现为先上升后下降, 变化幅度大, 而Margalef指数和Alatalo指数随海拔垂直变化趋势不一致且幅度不明显。

关键词: 草地类型; 物种组成; 物种多样性; 相似性; 哈巴河林区

中图分类号: S812 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-5500(2023)05-0075-09

DOI: 10.13817/j.cnki.cycp.2023.05.010



草地生态系统作为世界上分布广泛的生态系统类型之一, 在全球碳循环以及气候调节中具有十分重要的作用^[1]。生物量及物种多样性是草地生态系统两个基本特征, 也是衡量草地生态系统功能的重要指标^[2]。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^[3]。物种多样性反映生态系统中各生物种类的丰富程度和物种

分布的均匀度, 是评估生态系统功能与结构关系的重要指标^[4-5], 反映群落的生境差异, 组成结构的复杂性和稳定性^[6-7], 物种多样性变化对草地生物量的影响与每个物种及物种组成都有关系。研究物种多样性有助于了解植物群落或生态系统中物种种类、数量及其空间分布和揭示物种发展趋势及其对环境的适应能力, 从而预测生态系统的功能演化和群落演替趋势^[7-9]。研究草地群落物种多样性, 对实现草地可持续经营具有重要意义。

草地是阿尔泰山哈巴河林区重要的植被类型, 随着海拔梯度的升高发育有荒漠草原、山地草原、山地草甸草原和山地草甸等。多样化的草地类型是该地区畜牧业发展的重要物质基础和区域生态环境的主要组成部分^[10]。目前, 哈巴河林区草地正面临着草地

收稿日期: 2022-03-04; 修回日期: 2022-06-02

基金项目: 阿尔泰山国有林管理局生态监测分析
(3010010269)

作者简介: 张凯丽(1995-), 女, 甘肃天水人, 硕士研究生。

E-mail: 1921378819@qq.com

*通信作者。E-mail: yemao1111@163.com

面积减少、草畜矛盾日益尖锐、草地退化等多重压力,严重制约着当地畜牧业的健康发展。对哈巴河草地的研究主要集中在草地类型的分布^[11]、草地的动态监测^[12]和公益林区物种多样性的研究^[13]等方面。本研究选取哈巴河林区为研究对象,通过野外实地考察采样及对样本处理,计算植物群落物种多样性,分析不同草地类型的物种组成、群落相似性,探讨各种草地类型群落间物种多样性的变化特征及其生物量与物种多样性各项指数的关系,为哈巴河地区畜牧业的健康发展提供基础数据,为该区域草地资源的可持续利用和畜牧业发展提供参考。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究区位于新疆维吾尔自治区,地处阿尔泰山南麓,准噶尔盆地北缘,地理坐标 E 85°33′45" ~87°18′45", N 47°37′13" ~49°07′30", 属大陆性北温带寒冷气候区,春旱大风,夏短炎热,秋季凉爽,冬季寒冷,空气干燥,降水量少,蒸发量大,日照丰富,温差较大,随纬度高低垂直地带性气候变化明显。年平均气温 5.3 °C,年降水量 205.6 mm,全年日照时数 2 837.1 h,无霜期 144 d。阿尔泰山哈巴河林区草地在海拔 800~2 200 m 由下至上植被类型大致分为荒漠草原、山地草原、山地草甸草原和山地草甸。草地植物种类多,主要植物有冷蒿 (*Artemisia frigida*)、早熟禾 (*Poa annua*)、千叶蓍 (*Achillea millefolium*)、蒿蓄 (*Polygonum aviculare*)、老鹳草 (*Geranium wilfordii*)、委陵菜 (*Potentilla chinensis*) 等。

1.2 数据来源

于 2020 年 6 月和 9 月分别对哈巴河林区草地开展调查,依据海拔梯度因素,将哈巴河林区设置为荒漠草原、山地草原、山地草甸草原和山地草甸 4 个草地类型,每个草地类型布设调查样地和样方,共设置了 58 个样地,150 个样方,样地大小为 20 m × 20 m,每个样地内随机选取 3 个 1 m × 1 m 的草地样方(部分的样方为 1~2 个);其中荒漠草原 11 个样地,33 个样方;山地草原 32 个样地,73 个样方;山地草甸草原 7 个样地,21 个样方;山地草甸 8 个样地,23 个样方;每个样方内记录经纬度及海拔高度基本信息,详细测量并记录每个样方的物种名、株数、高度、盖度等指标。监测后,对

每个样方内进行剪取的地上部分,分种测定其地上生物量鲜重,记为生物量。

1.3 物种多样性测度

采用 α 多样性指数来反映群落内物种多样性情况,一般选用 Margalef 指数、Simpson 指数、Shannon—Wiener 指数及 Alatalo 指数^[14-18]。其计算公式如下:

$$\text{Margalef 指数: } S = (S - 1) / \ln N$$

$$\text{Simpson 指数(D): } D = 1 - \sum_{i=1}^S \left(\frac{N_i}{N} \right)^2$$

$$\text{Shannon—Wiener 指数: } H = - \sum P_i \ln P_i$$

Alatalo 指数:

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

$$P_i = N_i / N$$

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 群落间物种相似性

采用 Jaccard 相似性系数,对不同类型草地植物群落相似性进行分析,计算公式如下^[19-21]:

$$q = \frac{c}{a + b - c}$$

式中: q 表示植物群落相似性系数; c 表示两个植物群落中共同物种数; a 和 b 分别表示群落 A 和 B 的物种数。根据 Jaccard 相似性原理,当 q 为 0~0.25 时为极不相似,当 0.25 < q ≤ 0.50 时为中等不相似,当 0.50 < q ≤ 0.75 时为中等相似,当 0.75 < q ≤ 1.00 时为极相似^[19]。

1.5 数据处理

调查数据整理录入 Excel,并用 SPSS 26.0 软件在 0.05 显著水平下进行统计分析(单因素方差分析),比较不同草地类型间物种多样性的变化特征,采用 Origin 2018 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 不同草地类型群落物种组成

此次调查有 4 种草地类型,依次为荒漠草原、山地草原、山地草甸草原和山地草甸,草本植物有 18 科 33 属 39 种(表 1),其中物种数目最多的有菊科(Compositae)、禾本科(Gramineae)、豆科(Leguminosae)、蔷薇科(Rosaceae)、毛茛科(Ranunculaceae)、百合科(Lili-

aceae)、茜草科(Rubiaceae)。

荒漠草原由 16 种植物组成,隶属 8 科 10 属,种类最多的是菊科(Compositae),有 4 属 6 种,单种科多,占总科数的 87.5%,盖度为 15%~80%,生物量为 2 378.5 g/m²;山地草原有 17 科 26 属 30 种,物种种类较多的科有禾本科(Gramineae)(4 种)、菊科(4 种)、豆科(4 种)、毛茛科(4 种)、蔷薇科(2 种)、茜草科(2 种)和百合科(2 种),单种科占总科属的 56.25%,盖度为 30%~85%,生物量为 9 836.6 g/m²;山地草甸草原由

19 种植物组成,隶属有 15 科 18 属,物种种类较多的科有豆科(3 种)、蔷薇科(2 种)和菊科(2 种),单种科占总科数的 80%,盖度为 40%~90%,生物量为 3 818.9 g/m²;山地草甸有 11 科 16 属 18 种,物种种类较多的科有菊科(3 种)、豆科(2 种)、百合科(2 种)和茜草科(2 种),单种科占总科数的 54.5%,盖度为 45%~90%,生物量为 2 819.2 g/m²。这一结果表明,研究区不同海拔梯度样地中物种数目具有差异,草地植物群落结构简单,科属组成较分散。

表 1 不同草地类型物种组成

Table 1 Species composition of the different grassland types

草地类型	科名	属名	种名	盖度/%	生物量/(g·m ⁻²)
荒漠草原	菊科 Compositae	耬属 <i>Achillea</i>	千叶耬 <i>Achillea millefolium</i>	15~80	2 378.5
			艾蒿 <i>Artemisia argyi</i>		
		蒿属 <i>Artemisia</i>	青蒿 <i>Artemisia caruifolia</i>		
			冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>		
		火绒草属 <i>Leontopodium</i>	火绒草 <i>Leontopodium leontopodioides</i>		
		蒲公英属 <i>Taraxacum</i>	蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>		
	牻牛儿苗科 Geraniaceae	老鹳草属 <i>Geranium</i>	老鹳草 <i>Geranium wilfordii</i>		
	禾本科 Gramineae	早熟禾属 <i>Poa</i>	早熟禾 <i>Poa annua</i>		
	唇形科 Labiatae	糙苏属 <i>Phlomis</i>	糙苏 <i>Phlomis umbrosa</i>		
	豆科 Leguminosae	车轴草属 <i>Trifolium</i>	三叶草 <i>Trifolium incarnatum</i>		
	蔷薇科 Rosaceae	委陵菜属 <i>Potentilla</i>	委陵菜 <i>Potentilla chinensis</i>		
	车前科 Plantaginaceae	车前属 <i>Plantago</i>	车前草 <i>Plantago depressa</i>		
	蓼科 Polygonaceae	蓼属 <i>Polygonum</i>	篇蓄 <i>Polygonum aviculare</i>		
	山地草原	紫草科 Boraginaceae	勿忘草属 <i>Latouchea</i>		
桔梗科 Campanulaceae		风铃草属 <i>Campanula</i>	风铃草 <i>Campanula medium</i>		
石竹科 Caryophyllaceae		繁缕属 <i>Stellaria</i>	叉繁缕 <i>Stellaria dichotoma</i>		
菊科 Compositae		耬属 <i>Achillea</i>	千叶耬 <i>Achillea millefolium</i>		
		蒿属 <i>Artemisia</i>	艾蒿 <i>Artemisia argyi</i>		
			青蒿 <i>Artemisia caruifolia</i>		
		蒲公英属 <i>Taraxacum</i>	蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>		
十字花科 Cruciferae		菥蓂属 <i>Thlaspi</i>	菥蓂 <i>Thlaspi arvense</i>		
龙胆科 Gentianaceae		龙胆属 <i>Gentiana</i>	秦艽 <i>Gentiana macrophylla</i>		
牻牛儿苗科 Geraniaceae		老鹳草属 <i>Geranium</i>	老鹳草 <i>Geranium wilfordii</i>		
禾本科 Gramineae		洽草属 <i>Koeleria</i>	洽草 <i>Koeleria cristata</i>		
		早熟禾属 <i>Poa</i>	早熟禾 <i>Poa annua</i>		
		鹅观草属 <i>Roegneria</i>	小麦草 <i>Wheatgrass</i>		
唇形科 Labiatae		糙苏属 <i>Phlomis</i>	糙苏 <i>Phlomis umbrosa</i>		
	苜蓿属 <i>Medicago</i>	苜蓿 <i>Medicago Sativa</i>			
豆科 Leguminosae		三叶草 <i>Trifolium incarnatum</i>			
	车轴草属 <i>Trifolium</i>	车轴草 <i>Trifolium repens</i>			
		野火球 <i>Trifolium lupinaster</i>			
百合科 Liliaceae	猪牙花属 <i>Erythronium</i>	猪牙花 <i>Erythronium japonicum</i>			
	藜芦属 <i>Veratrum</i>	藜芦 <i>Veratrum nigrum</i>			
柳叶菜科 Onagraceae	柳叶菜属 <i>Epilobium</i>	柳兰花 <i>Epilobium angustifolium</i>			
蓼科 Polygonaceae	蓼属 <i>Polygonum</i>	篇蓄 <i>Polygonum aviculare</i>			

续表 1

草地类型	科名	属名	种名	盖度/%	生物量/ (g·m ⁻²)
	毛茛科 Ranunculaceae	铁线莲属 <i>Clematis</i>	全缘铁线莲 <i>Clematis integrifolia</i>	40~90	3 818.9
		牡丹草属 <i>Gymnospermium</i>	新牡丹草 <i>Gymnospermium microrrhynchum</i>		
		毛茛属 <i>Ranunculus</i>	匍枝毛茛 <i>Ranunculus repens</i>		
		唐松草属 <i>Thalictrum</i>	唐松草 <i>Thalictrum aquilegiifolium</i>		
	蔷薇科 Rosaceae	羽衣草属 <i>Alchemilla</i>	羽衣草 <i>Alchemilla japonica</i>		
		草莓属 <i>Fragaria</i>	野草莓 <i>Fragaria vesca</i>		
	茜草科 Rubiaceae	拉拉藤属 <i>Galium</i>	北方拉拉藤 <i>Galium boreale</i> 篷子菜 <i>Galium verum</i>		
	紫草科 Boraginaceae	勿忘草属 <i>Latouchea</i>	勿忘草 <i>Latouchea fokiensis</i>		
	石竹科 Caryophyllaceae	繁缕属 <i>Stellaria</i>	叉繁缕 <i>Stellaria dichotoma</i>		
	菊科 Compositae	蓍属 <i>Achillea</i>	千叶蓍 <i>Achillea millefolium</i>		
蒲公英属 <i>Taraxacum</i>		蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>			
牻牛儿苗科 Geraniaceae	老鹳草属 <i>Geranium</i>	老鹳草 <i>Geranium wilfordii</i>			
禾本科 Gramineae	早熟禾属 <i>Poa</i>	早熟禾 <i>Poa annua</i>			
十字花科 Cruciferae	菥蓂属 <i>Thlaspi</i>	菥蓂 <i>Thlaspi arvense</i>			
唇形科 Labiatae	夏枯草属 <i>Prunella</i>	夏枯草 <i>Prunella vulgaris</i>			
山地草甸草原	豆科 Leguminosae	苜蓿属 <i>Medicago</i>	苜蓿 <i>Medicago Sativa</i>		
		车轴草属 <i>Trifolium</i>	野火球 <i>Trifolium lupinaster</i> 车轴草 <i>Trifolium repens</i>		
	百合科 Liliaceae	猪牙花属 <i>Erythronium</i>	猪牙花 <i>Erythronium japonicum</i>		
	柳叶菜科 Onagraceae	柳叶菜属 <i>Epilobium</i>	柳兰花 <i>Epilobium angustifolium</i>		
	蓼科 Polygonaceae	蓼属 <i>Polygonum</i>	篇蓄 <i>Polygonum aviculare</i>		
	毛茛科 Ranunculaceae	毛茛属 <i>Ranunculus</i>	匍枝毛茛 <i>Ranunculus repens</i>		
		金莲花属 <i>Trollius</i>	金莲花 <i>Trollius chinensis</i>		
	蔷薇科 Rosaceae	羽衣草属 <i>Alchemilla</i>	羽衣草 <i>Alchemilla japonica</i>		
		草莓属 <i>Fragaria</i>	野草莓 <i>Fragaria vesca</i>		
	茜草科 Rubiaceae	拉拉藤属 <i>Galium</i>	北方拉拉藤 <i>Galium boreale</i>		
石竹科 Caryophyllaceae	繁缕属 <i>Stellaria</i>	叉繁缕 <i>Stellaria dichotoma</i>			
菊科 Compositae	蓍属 <i>Achillea</i>	千叶蓍 <i>Achillea millefolium</i>			
	蒿属 <i>Artemisia</i>	冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>			
	蒲公英属 <i>Taraxacum</i>	蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>			
十字花科 Cruciferae	播娘蒿属 <i>Descurainia</i>	播娘蒿 <i>Descurainia sophia</i>			
禾本科 Gramineae	早熟禾属 <i>Poa</i>	早熟禾 <i>Poa annua</i>			
唇形科 Labiatae	青兰属 <i>Dracocephalum</i>	垂花青兰 <i>Dracocephalum nutans</i>			
	苜蓿属 <i>Medicago</i>	苜蓿 <i>Medicago Sativa</i>			
山地草甸	豆科 Leguminosae	车轴草属 <i>Trifolium</i>	野火球 <i>Trifolium lupinaster</i> 车轴草 <i>Trifolium repens</i>	45~90	2 819.2
		猪牙花属 <i>Erythronium</i>	猪牙花 <i>Erythronium japonicum</i>		
		藜芦属 <i>Veratrum</i>	藜芦 <i>Veratrum nigrum</i>		
	车前科 Plantaginaceae	车前属 <i>Plantago</i>	车前草 <i>Plantago depressa</i>		
	毛茛科 Ranunculaceae	毛茛属 <i>Ranunculus</i>	匍枝毛茛 <i>Ranunculus repens</i>		
		唐松草属 <i>Thalictrum</i>	唐松草 <i>Thalictrum aquilegiifolium</i>		
	蔷薇科 Rosaceae	羽衣草属 <i>Alchemilla</i>	羽衣草 <i>Alchemilla japonica</i>		
	茜草科 Rubiaceae	拉拉藤属 <i>Galium</i>	北方拉拉藤 <i>Galium boreale</i>		
			篷子菜 <i>Galium verum</i>		

2.2 不同草地类型植物群落相似性分析

运用相似性指数对哈巴河林区草地不同草地类型各群落分析(表 2),荒漠草原与山地草甸草原间物种组成和生境条件相似系数较小,异质性较大,山地草原和山地草甸草原间的相似系数相对较大,异质性相对较小。山地草甸与山地草甸草原和山地草原之间的相似性分别为 0.423 和 0.411,处于中等不相似,与荒漠草原的相似性为 0.192,处于极不相似;山地草甸草原与山地草原之间的相似性达到 0.531,为中等相似水平,与荒漠草原的相似性值为 0.185,处于极不相似水平,山地草原与荒漠草原之间的相似性达到 0.265,为中等不相似水平。

表 2 不同草地类型群落相似性比较

Table 2 Comparison of community similarity between different grassland types

草地类型	荒漠草原	山地草原	山地草甸草原	山地草甸
荒漠草原	1.00			
山地草原	0.265(9)	1.00		
山地草甸草原	0.185(5)	0.531(17)	1.00	
山地草甸	0.192(5)	0.411(14)	0.423(11)	1.00

注：“()”内为两样地的共有植物种类数

2.3 不同草地类型物种多样性的差异性分析

分析不同草地类型物种多样性的变化特征(图 1),草地群落 Margalef 指数表现为山地草原最高,为 0.78,且与荒漠草原、山地草甸草原和山地草甸差异性显著($P < 0.05$)。Simpson 指数表现为山地草甸草原最高,为 2.14,荒漠草原最低,为 1.78,且荒漠草原与山地草原、山地草甸草原和山地草甸,山地草原与山地草甸草原和山地草甸存在显著差异($P < 0.05$)。Shannon-Wiener 指数表现为山地草甸草原最高,为 1.28,荒漠草原最低,为 0.92,荒漠草原与山地草原、山地草甸草原和山地草甸,山地草原与山地草甸草原之间差异性显著($P < 0.05$),其他草地类型之间差异不显著。Alatalo 指数表现为山地草甸最高,为 0.88,山地草原最低,为 0.72,山地草甸与荒漠草原和山地草原,山地草原与山地草甸草原之间存在显著性差异($P < 0.05$),其他草地类型之间差异不显著。综合来

看,山地草原的物种数较多,物种分布不均匀,山地草甸草原的优势种和多样性情况最好,山地草甸的物种分布均匀。

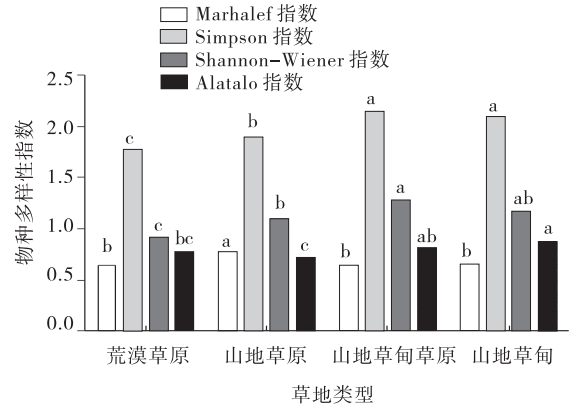


图 1 不同草地类型物种多样性的变化特征

Fig. 1 Characteristics of changing species diversity in different grassland types

注:图柱上方不同小写字母表示不同草地类型间差异显著($P < 0.05$)。

2.4 各草地类型群落生物量与物种多样性的关系

对不同草地类型群落生物量与物种多样性指数进行曲线拟合(图 2),并建立回归方程(表 3),可以发现荒漠草原和山地草原的群落生物量与物种多样性间四次拟合较好,山地草甸草原和山地草甸的三次拟合较好,各草地类型群落生物量与物种多样性之间具有非线性关系。荒漠草原群落中生物量与物种多样性指数均表现为减—增—减的变化趋势,二者之间呈不显著正相关($P > 0.05$);在山地草原群落中物种多样性指数随生物量的增加呈波动趋势,生物量与 Simpson 指数和 Shannon-Wiener 指数之间呈极显著正相关关系($P < 0.01$),但与 Margalef 指数和 Alatalo 指数存在不显著正相关关系;在山地草甸草原和山地草甸群落中,生物量与物种多样性指数之间均表现为先增后减再增再减趋势,其中山地草甸草原群落中生物量与物种多样性指数之间均存在显著正相关关系($P < 0.05$),而山地草甸群落中生物量与 Margalef 指数和 Alatalo 指数存在不显著正相关关系,但与 Simpson 指数和 Shannon-Wiener 指数之间呈极显著正相关关系($P < 0.01$)。综合来看,生物量与山地草原、山地草甸草原和山地草甸中的 Simpson 指数和 Shannon-Wiener 指数呈极显著正相关($P < 0.01$),与

山地草甸草原中的 Margalef 指数和 Alatalo 指数存在显著正相关 ($P < 0.05$), 但与荒漠草原中物种多样性

指数没有表现出显著相关。因此, 物种多样性并不能反映生物量的大小。

表 3 不同草地类型群落生物量与物种多样性的拟合方程

Table 3 Fitting equations for community biomass and species diversity in different grassland types

草地类型	拟合方程	
荒漠草原	$y_1 = 0.00000008x^4 - 0.000004x^3 + 0.0006x^2 - 0.0308x + 0.922$	$R^2 = 0.237, P > 0.05$
	$y_2 = 0.00000002x^4 - 0.000001x^3 + 0.0002x^2 + 0.009x + 1.837$	$R^2 = 0.109, P > 0.05$
	$y_3 = 0.00000005x^4 - 0.000003x^3 + 0.0004x^2 - 0.0187x + 1.059$	$R^2 = 0.161, P > 0.05$
	$y_4 = -0.00000004x^4 + 0.000002x^3 - 0.0002x^2 + 0.01x + 0.657$	$R^2 = 0.120, P > 0.05$
山地草原	$y_1 = 0.00000002x^4 - 0.000001x^3 + 0.0003x^2 - 0.0199x + 1.099$	$R^2 = 0.120, P > 0.05$
	$y_2 = 0.000000006x^4 - 0.0000004x^3 + 0.00006x^2 + 9E-05x + 1.771$	$R^2 = 0.125, P < 0.01$
	$y_3 = 0.00000001x^4 - 0.0000006x^3 + 0.0001x^2 - 0.0037x + 1.028$	$R^2 = 0.152, P < 0.01$
	$y_4 = -0.000000003x^4 + 0.0000002x^3 - 0.00005x^2 + 0.0043x + 0.635$	$R^2 = 0.058, P > 0.05$
山地草甸草原	$y_1 = 0.0000005x^3 - 0.00004x^2 + 0.0084x + 0.295$	$R^2 = 0.404, P < 0.05$
	$y_2 = 0.0000007x^3 - 0.0003x^2 + 0.034x + 1.095$	$R^2 = 0.325, P < 0.01$
	$y_3 = 0.0000005x^3 - 0.0002x^2 + 0.0287x + 0.348$	$R^2 = 0.353, P < 0.01$
	$y_4 = 0.0000002x^3 - 0.00008x^2 + 0.008x + 0.635$	$R^2 = 0.278, P < 0.05$
山地草甸	$y_1 = -0.00000002x^3 - 0.000005x^2 + 0.0035x + 0.417$	$R^2 = 0.281, P > 0.05$
	$y_2 = 0.0000003x^3 - 0.0001x^2 + 0.0203x + 1.434$	$R^2 = 0.485, P < 0.01$
	$y_3 = 0.0000002x^3 - 0.0001x^2 + 0.0182x + 0.595$	$R^2 = 0.453, P < 0.01$
	$y_4 = 0.0000001x^3 - 0.00005x^2 + 0.0052x + 0.715$	$R^2 = 0.226, P > 0.05$

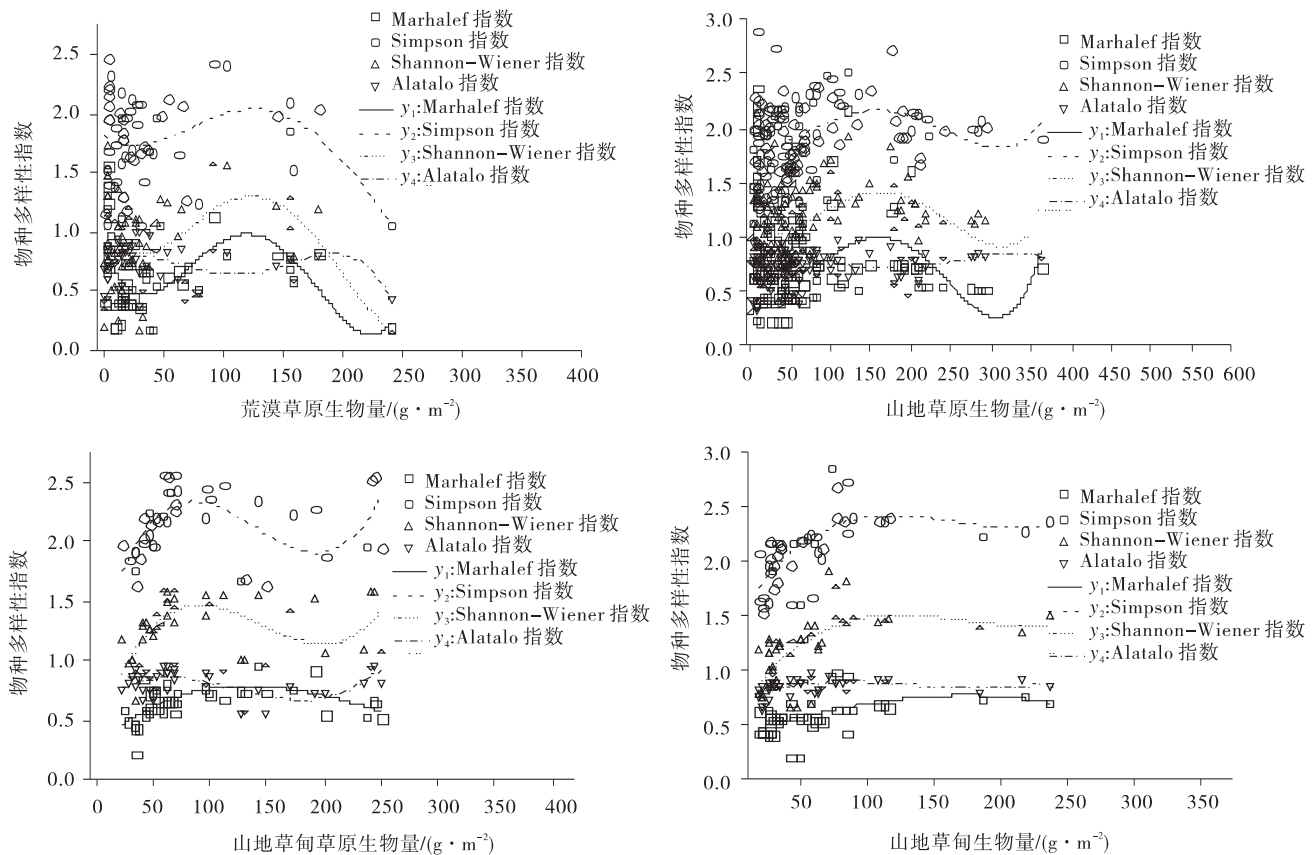


图 2 不同草地类型群落生物量与物种多样性的关系

Fig. 2 Relationship between community biomass and species diversity in different grassland types

2.5 物种多样性的垂直变化

海拔高度是影响植物群落物种分布和组成的因素之一。在海拔 1 000~2 000 m 的范围内,群落物种多样性沿海拔梯度的变化呈现出一定的规律性,其中草地群落间 Simpson 指数和 Shannon-Wiener 指数变化趋势基本一致,表现为先随海拔上升而上升,在 1 600~2 000 m 范围内达到最大,其最大值分别为 2.141 和 1.278,随后又随海拔呈下降趋势(图 3),而 Margalef 指数和 Alatalo 指数随海拔垂直变化趋势并不一致,变化幅度不明显,其表现为 Margalef 指数先上升后下降,最大值出现在 1 200~1 600 m,为 0.782,Alatalo 指数先下降后上升,最大值出现在 1 800~2 000 m,为 0.881。说明在海拔 1 600~1 800 m,水热条件良好,适宜多种牧草的生长。

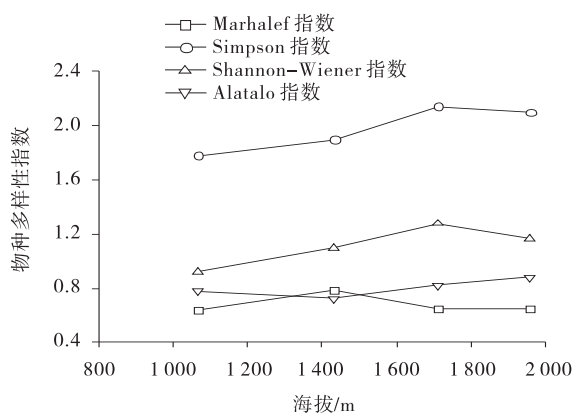


图 3 物种多样性的垂直变化特征

Fig. 3 Characteristics of vertical changes in species diversity

3 讨论

植物群落科、属、种结构既能反应植物的群落特征,又能体现植物群落所在的生境条件^[22],研究区共有草本植物 18 科 33 属 39 种,不同草地类型群落的物种数目和生物量有明显差异,物种构成表现为多数种属于少数科,少数种属于多数科,并且很多种均为单属单科,与党容理等^[23]对西北地区植物群落组成及物种多样性的研究结果基本一致。植物群落相似性指数大小是植物群落间异质性的标志,也是植物群落生境条件异质性体现^[24]。本研究分析了 4 种草地类型的植物群落相似性,得出荒漠草原与山地草甸草原、山地草甸间的物种组成、生境条件异质性最大;山地草原与荒漠草原、山地草甸草原和山地草甸、山地草甸草原与山地草甸间异质性最小,这可能与水热条

件的差异性有关。

本研究发现不同草地类型间物种多样性各项指数存在显著差异,其中山地草原与其他草地类型间的 Margalef 指数差异显著,Simpson 指数表现出山地草原与其他草地类型、荒漠草原与山地草甸草原和山地草甸间显著差异,Shannon-Wiener 指数表现为荒漠草原与其他各草地类型、山地草原与山地草甸草原间差异性显著,Alatalo 指数表现为山地草甸与荒漠草原和山地草原,山地草原与山地草甸草原间存在显著性差异。这一发现与殷锡凯等^[25]在阿尔泰山布尔津林区不同草地类型研究中结果相同,也与郭正刚等^[26]对阿勒泰地区草地类型分析结果相同。

由于受到环境及人类活动(如放牧、砍伐)等因素影响,物种多样性与生物量的关系具有复杂性,正相关、负相关、单峰和不相关等关系^[27-29]是主流。其次,研究尺度、研究对象、研究区域等的不同,其研究结果也出现较大差异^[30-31]。本研究发现,物种多样性与生物量间存在非线性相关,荒漠草原群落中生物量与物种多样性指数呈单峰关系,山地草原群落中物种多样性指数随生物量的增加呈波动趋势,生物量与 Simpson 指数和 Shannon-Wiener 指数之间呈极显著正相关关系,山地草甸草原群落中生物量与物种多样性指数之间均存在显著相关关系,而山地草甸群落中生物量与 Simpson 指数和 Shannon-Wiener 指数之间呈极显著相关关系,这一结果与郭建兴等^[32]、杨阳等^[33]学者的研究结果相同。

4 结论

研究区共调查植物 18 科 33 属 39 种,4 种草地类型的物种数目和生物量有明显差异。科属组成较分散,植物群落结构简单,荒漠草原与山地草甸草原间群落相似性系数最小,异质性大,山地草原与山地草甸草原间的植物群落相似性最高,异质性小。不同海拔梯度导致水热条件的空间分布不同,进而形成不同的区域植物群落,各草地类型群落间的生物量、多样性各项指数差异明显,草地生物量与多样性各项指数存在非线性关系,群落物种多样性的垂直变化表现出一定的规律性,其中草地群落间 Simpson 指数和 Shannon-Wiener 指数变化趋势基本一致,表现为先上升后下降,变化幅度大,在 1 600~2 000 m 达到最大,而 Mar-

galef指数和Alatalo指数随海拔垂直变化趋势不一致且幅度不明显。

参考文献:

- [1] 杨荣荣,兰焱,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.
- [2] Whittaker R J. Meta-analyses and mega-mistakes: Calling time on meta-analysis of the species richness-productivity relationship[J]. Ecology, 2010, 91(9): 2522-2533.
- [3] 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.
- [4] 王金兰,曹文侠,张德罡,等. 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[J]. 草原与草坪, 2019, 39(5): 1-9.
- [5] Duffy J E, Godwin C M, Cardinale B J. Biodiversity effects in the wild are common and as strong as key drivers of productivity[J]. Nature, 2017, 549(7671): 261-264.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] Paul A, Bhattacharjee S, Choudhury B, et al. Population Structure and Regeneration Status of *Cyathea gigantea* (Wallich ex Hook. f.) Holttum, a Tree Fern in Arunachal Pradesh, India[J]. Journal of Forest and Environmental Science, 2015, 31(3): 164-176.
- [9] 骆丹,王春胜,刀保辉,等. 云南德宏州西南桦天然林物种组成及多样性研究[J]. 林业科学研究, 2021, 34(5): 159-167.
- [10] Loreau M, Hector A. Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments[J]. Nature, 2001, 412(6842): 72-76.
- [11] 李百红. 基于遥感数据的草地信息提取及动态监测研究——以新疆哈巴河县为例[D]. 泰安: 山东农业大学, 2011.
- [12] 库孜帕. 哈巴河县草原类型特征与分布[J]. 新疆畜牧业, 2015(S1): 95-97.
- [13] 李荣,宋于洋,李园园,等. 新疆哈巴河公益林区植物群落多样性研究[J]. 防护林科技, 2008(6): 6-9.
- [14] 李周,赵雅洁,宋海燕,等. 喀斯特土层厚度异质性对草地群落结构和优势种生长的影响[J]. 草业科学, 2017, 34(10): 2023-2032.
- [15] 张小芳,张春平,董全民,等. 三江源区高寒混播草地群落结构特征的研究[J]. 草地学报, 2020, 28(4): 1090-1099.
- [16] 常虹,孙海莲,刘亚红,等. 东乌珠穆沁草甸草原不同退化程度草地植物群落结构与多样性研究[J]. 草地学报, 2020, 28(1): 184-192.
- [17] 黄国柱,席亚丽,赵传燕,等. 围封对祁连山亚高山草地群落结构与生物量的影响[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2020, 56(6): 718-723.
- [18] 张建贵,王理德,姚拓,等. 祁连山高寒草地不同退化程度植物群落结构与物种多样性研究[J]. 草业学报, 2019, 28(5): 15-25.
- [19] 陈蓓,马睿,秦纪洪,等. 若尔盖湿地公路建设生态恢复中植物群落多样性与相似性研究[J]. 水土保持研究, 2013, 20(4): 115-119.
- [20] 张建利,沈蕊,施雯,等. 金沙江流域干热河谷上中下游草地植物群落结构与相似性[J]. 生态环境学报, 2010, 19(6): 1272-1277.
- [21] 董云龙,张德罡,陈建纲,等. 东祁连山高寒草地不同生境条件下植物群落结构特征及多样性比较——以甘肃省天祝抓喜秀龙乡为例[J]. 草地学报, 2014, 22(3): 481-487.
- [22] 聂学敏,芦光新,鲁子豫,等. 不同沙化高寒草地植物群落结构特征及土壤理化特性研究[J]. 草原与草坪, 2016, 36(4): 73-77.
- [23] 党荣理,潘晓玲. 西北干旱荒漠区种子植物科的区系分析[J]. 西北植物学报, 2002, 22(1): 24-32.
- [24] 何芳兰,金红喜,郭春秀,等. 民勤绿洲边缘人工梭梭(*Haloxylon ammodendron*)林衰败过程中植被组成动态及群落相似性[J]. 中国沙漠, 2017, 37(6): 1135-1141.
- [25] 殷锡凯,叶茂,郭建兴,等. 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[J]. 水土保持学报, 2022, 36(1): 110-115.
- [26] 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(10): 1719-1724.
- [27] Guo Q F, Berry W. Species richness and biomass: Dissection of the Hump-shaped relationships [J]. Ecology, 1998, 79(7): 2555-2559.
- [28] 赵丽娅,高丹丹,熊炳桥,等. 科尔沁沙地恢复演替进程中群落物种多样性与地上生物量的关系[J]. 生态学报, 2017, 37(12): 4108-4117.

- [29] 赵生龙,左小安,张铜会,等. 乌拉特荒漠草原群落物种多样性和生物量关系对放牧强度的响应[J]. 干旱区研究,2020,37(1):168—177.
- [30] Bracken M E S, Douglass J G, Perini V, *et al.* Spatial scale mediates the effects of biodiversity on marine primary producers[J]. *Ecology*, 2017, 98(5):1434—1443.
- [31] 徐满厚,李晓丽. 基于物种多样性与生物量关系的草地群落稳定性对全球变暖的响应研究进展[J]. 西北植物学报,2021,41(2):348—358.
- [32] 郭建兴,叶茂,殷锡凯,等. 新疆富蕴地区草地生物量与物种多样性及VOR指数的关系[J]. 草原与草坪,2022,42(1):69—74+81.
- [33] 杨阳,刘秉儒. 宁夏荒漠草原不同群落生物多样性与生物量关系及影响因子分析[J]. 草业学报,2015,24(10):48—57.

Species composition and diversity of grassland community in Habahe forest zone of Altai Mountains

ZHANG Kai-li, YE Mao*, YIN Xi-kai, GUO Jian-xing

(College of Geography and Tourism Xinjiang Normal University, Key Laboratory of Lake Environment and Resources in Arid Zone, Urumqi 830054, China)

Abstract: [Objective] To explore the changing characteristics of species diversity among communities of different grassland types and the relationship between their biomass and various indices of species diversity, so as to provide basic data for the healthy development of animal husbandry in the Habahe region, and to provide a reference for the sustainable use of grassland resources and the development of animal husbandry in the region. [Method] Using four grassland types in the Habahe forest area of Altai Mountains as objects, we calculated the species diversity of plant communities through field sampling and experimental treatment of samples, analysed the species composition and the characteristics of changes in species diversity of each grassland type, and explored the relationship between biomass and species diversity. [Result] (1) A total of 39 species from 18 families and 33 genera were identified. The family composition exhibited dispersion, leading to a relatively simple plant community structure. (2) Significant differences in biomass and diversity indices were observed among the various grassland types. Mountain grassland exhibited higher species richness compared to the other grassland types, while mountain meadow grassland demonstrated the best species advantage and diversity, along with higher uniformity. (3) Nonlinear correlations were found between grassland biomass and diversity indices. The community biomass of mountain grasslands and mountain meadows exhibited significant correlations with the Simpson index and Shannon-Wiener index ($P < 0.01$), while the mountain meadow grassland showed significant correlations with these indexes ($P < 0.05$). (4) The study also identified certain regularity in the vertical variation of species diversity within the community. [Conclusion] The biomass and diversity indices of different grassland communities differed significantly, and there was a non-linear relationship between the biomass and diversity indices of grasslands, and the vertical change of species diversity of the communities showed a certain regularity, among which the trends of Simpson index and Shannon-Wiener index were basically the same among the grassland communities, which showed that they increased firstly and then declined, with a large amplitude of the change, whereas the trends of the vertical change of Margalef index and Alatalo index along with the elevation were inconsistent and the amplitude of the change was not obvious.

Key words: grassland types; species composition; species diversity; similarity index; Habahe forest zone