

# 阿尔泰山哈巴河地区不同草地类型物种多样性及 VOR 指数分析

张凯丽<sup>1,2</sup>, 叶茂<sup>1,2</sup>, 何强强<sup>1,2</sup>, 殷锡凯<sup>1,2</sup>, 郭建兴<sup>1,2</sup>

(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重点实验室,乌鲁木齐 830054)

**摘要:**以阿尔泰山哈巴河地区 5 个林区的 4 种草地类型为研究对象,分析哈巴河地区 5 个林区各草地类型的物种多样性变化特征。运用回归分析、相关分析和 VOR 指数等方法,探讨不同草地类型群落物种组成及多样性的影响因素,对草地生态系统健康状况进行评价。结果表明:(1)在不同的草地类型中,荒漠草原与山地草甸草原、山地草甸间群落的相似性系数在 0~0.25,异质性大,山地草原和山地草甸草原间的相似性系数处于 0.50~0.75,异质性小。(2)在 4 种草地类型中,各草地类型的 Margalef 指数与 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数之间  $R^2$  均小于 0.75,且二次项拟合显示出较大的差异,盖度与生物量均呈极显著相关( $p<0.01$ )。(3)海拔与生物量关系均较差, $R^2$  均小于 0.40,仅山地草甸的海拔与生物量呈极显著相关( $p<0.01$ ),其余均不相关。(4)5 个林区总体上 9 月生物量小于 6 月,但白哈巴林区的山地草原和山地草甸草原的生物量 6 月小于 9 月,呼吉尔特林区的荒漠草原生物量 6 月小于 9 月。(5)通过对 5 个林区平均的生物量与 VOR 指数做拟合分析, $R^2$  介于 0.118~0.712。5 个林区草地生态系统健康水平为那仁(0.914)>白哈巴(0.863)>铁列克(0.848)>呼吉尔特(0.845)>齐巴契列克(0.827)。研究结果为了解哈巴河地区草地生态系统的健康状况提供重要依据,对理解阿尔泰山哈巴河地区不同草地资源的空间分布格局及合理化利用具有重要的意义。

**关键词:**草地类型;物种组成;物种多样性;VOR 指数;哈巴河地区

**中图分类号:**Q948.15

**文献标识码:**A

**文章编号:**1009-2242(2023)01-0262-10

**DOI:**10.13870/j.cnki.stbcxb.2023.01.034

## Analysis of Species Diversity and VOR Index of Different Grassland Types in the Habahe Region of the Altai Mountains

ZHANG Kaili<sup>1,2</sup>, YE Mao<sup>1,2</sup>, HE Qiangqiang<sup>1,2</sup>, YIN Xikai<sup>1,2</sup>, GUO Jianxing<sup>1,2</sup>

(1. School of Geography and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054;

2. Xinjiang Laboratory of Lake Environment and Resources in Arid Zone, Urumqi 830054)

**Abstract:** Taking four grassland types in five forest areas in the Habahe region of the Altai Mountains as the research object, the change characteristics of species diversity of each grassland type in the five forest areas in Habahe region were analyzed. The regression analysis, correlation analysis, and VOR index were used to explore the influencing factors of species composition and diversity of different grassland types, and to evaluate the health status of their grassland ecosystems. The results showed that: (1) Among the different grassland types, the community similarity coefficient between desert steppe and mountain meadow steppe and mountain meadow steppe ranged from 0 to 0.25, and the heterogeneity was the large. The similarity coefficient between mountain steppe and mountain meadow steppe ranges from 0.50 to 0.75, with the small heterogeneity. (2) Among the four grassland types, the  $R^2$  between the Margalef index, Simpson index, and Shannon-Wiener index of each grassland type was less than 0.75, and the quadratic term fitting showed a large difference, and the coverage and biomass were extremely significant correlated ( $p<0.01$ ). (3) The relationship between altitude and biomass was poor, and  $R^2$  was less than 0.40. Only the altitude and biomass of mountain meadow were significantly correlated ( $p<0.01$ ), and the rest were not correlated. (4) Overall, the biomass of the five forest areas in September was less than that in June, but the biomass of the mountain steppe and the mountain meadow steppe in the Baihaba forest area in June was less than that in September, and the biomass of the desert steppe in the Hujierte forest area in June was less than that in

收稿日期:2022-05-25

资助项目:阿尔泰山国有林管理局生态监测分析项目(3010010269);NSFC-新疆联合基金项目(U1803245)

第一作者:张凯丽(1995—),女,在读硕士研究生,主要从事干旱区生态水文过程研究。E-mail:1921378819@qq.com

通信作者:叶茂(1977—),女,教授,硕士生导师,主要从事干旱区生态水文过程研究。E-mail:yemao1111@163.com

September. (5) The average biomass of the five forest areas was fitted with the VOR index, and  $R^2$  ranged from 0.118 to 0.712. The health level of grassland ecosystem in 5 forest areas was Naren (0.914) > Baihaba (0.863) > Tielieke (0.848) > Hujerte (0.845) > Qibaqilie (0.827). The results provide an important basis for understanding the health status of grassland ecosystem in the Habahe region, and are of great significance for understanding the spatial distribution pattern and rational utilization of different grassland resources in the Habahe region of the Altai Mountains.

**Keywords:** grassland type; species composition; species diversity; VOR index; Habahe region

草地生态系统是陆地生态系统的一种重要群落类型,具有涵养水源、保持水土和防风固沙的作用,也是发展畜牧养殖的承载主体,对研究生态系统群落结构和功能具有重要的意义<sup>[1]</sup>。我国草地面积占有量约  $3.92 \times 10^6 \text{ km}^2$ <sup>[2]</sup>,草地生态系统在人类生产、生活中占据着重要地位<sup>[3-4]</sup>。群落结构及群落物种组成决定生物多样性的呈现方式,群落物种组成的变化及物种多样性与草地退化程度之间的相互关系是生态学研究的核心问题<sup>[5]</sup>。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空间分布差异,对评估生态系统的健康和稳定起着重要的作用<sup>[6-7]</sup>。对物种多样性的研究有助于深入了解种群之间的复杂关系,有助于揭示物种繁衍和适应环境的能力,预测生态系统的健康水平和演化功能<sup>[8-10]</sup>。群落相似性样地间的物种组成或相似群落间的物种组成的一致性程度,是群落分析的一个基本要素,邹蕴等<sup>[11]</sup>通过研究群落相似性发现,草原群落稳定性较差,处于草场退化状态,群落物种多样性和相似性没有显示出由近及远的规律变化;马婧婧等<sup>[12]</sup>通过线性模型分析优势种相对生物量随海拔梯度变化特征,揭示出优势种群和生物量的相关关系。草地生态系统健康评价是陆地生态系统研究的重要组成部分,周泉等<sup>[13]</sup>运用 VOR 综合指数模型对阿尔泰山林地健康状况进行评价分析,整体上处于健康,但每个林区的健康水平差异性较大,且海拔对生态系统健康的影响较小。大多学者<sup>[14]</sup>研究认为,水热因子是造成物种差异性分布的客观原因,是决定新疆草地的物种多样性形成分布格局的主要因素。目前,新疆阿尔泰山哈巴河地区草地退化较为严重,对草地的健康持续发展造成一定的影响,且对阿尔泰山哈巴河地区草地类型群落特征和多样性分析研究较少,研究不同类型草地的地上生物量和物种多样性的相关关系,为该地区草地的生态保护、资源的持续利用、草地生态系统的恢复与协调发展提供科学理论依据。本文以哈巴河地区的 5 个林区为研究对象,通过野外实地考察采样及对样本实验处理,计算植物群落物种多样性、优势度、丰富度和均匀度,分析不同草地类型的物种组成,探讨各种草地类型群落间物种多样性的变化特征和不同草地类型间的群落相似性,应对草地面积减少、草畜矛盾日益

尖锐、草地退化等多重压力,为哈巴河地区畜牧业的健康发展提供基础数据,为该区草地资源的可持续利用和畜牧业发展研究提供重要依据,对深入了解哈巴河地区草地的物种多样性和资源的空间分布状况具有重要意义。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于中国的西北角,地处阿尔泰山南部,准噶尔盆地北缘,地理坐标  $85^{\circ}33' - 87^{\circ}18' \text{ E}$ ,  $47^{\circ}37' - 49^{\circ}07' \text{ N}$ ,地貌特征为山区多,平原少<sup>[15]</sup>。该区属大陆性寒冷气候,其特点为春旱多大风,夏短暂而炎热,秋季凉爽,冬季寒冷,空气干燥,降雨量少,蒸发量大,日照丰富,温差较大,局部气候随纬度高低垂直地带性变化明显。年平均气温  $5.3^{\circ}\text{C}$ ,年降水量 205.6 mm,全年日照时间 2 837.1 h,无霜期 144 天。阿尔泰山哈巴河地区草地在海拔 800~2 200 m 范围内的植被类型有荒漠草原、山地草原、山地草甸草原和山地草甸。草地植物种类多,主要植物有千叶蓍(*Achillea millefolium*)、篇蓄(*Polygonum aviculare*)、蒲公英(*Taraxacum mongolicum*)、老鹳草(*Geranium wilfordii*)等。

### 1.2 样地设置

2020 年 6 月、9 月在哈巴河地区的白哈巴、呼吉尔特、那仁、齐巴契列克和铁列克林区草地分别进行采样,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(图 1),对每个草地类型随机划分调查样地和样方,共设置 58 个样地,150 个样方,样地大小为  $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ ,每个样地内随机选取 2~3 个  $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$  的草地样方;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;详细记录每个样方内海拔高度及经纬度基本信息,记录并测量草的物种名、株数、高度、盖度等指标,同时对每个样方进行分种类收割,称取每个物种的地上生物量鲜重,记为生物量。所有数据采用 Excel 2010、Origin 2018、CorelDRAW X4 等软件分析并绘制相关图件,且采用相关分析方法对生物量以及物种多样性进行分析。

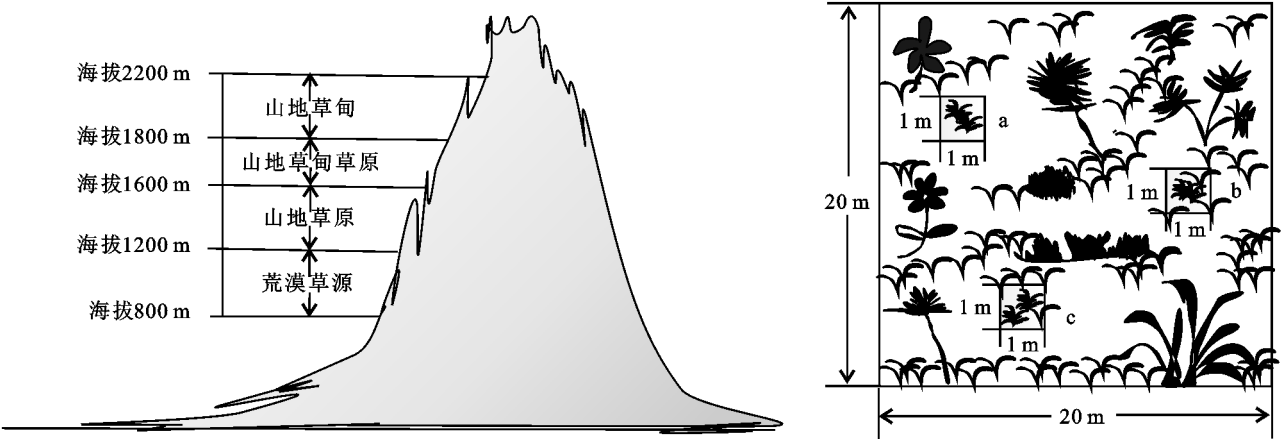


图 1 草地类型划分和样方设置示意

1.3 研究方法

1.3.1 物种多样性测度 采用  $\alpha$ -多样性指数来反映群落内物种多样性变化情况,选用 Margalef 指数、Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数及 Alatalo 指数<sup>[16-17]</sup>。其计算公式为:

Margalef 指数:

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

Simpson 指数:

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

Shannon-Wiener 指数:

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

Alatalo 指数:

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

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。

1.3.2 群落相似性 采用 Jaccard 相似性系数,计算公式<sup>[18]</sup>为:

$$q=\frac{c}{a+b-c} \tag{5}$$

式中: $q$  为植物群落相似性系数; $c$  为 2 个植物群落中共同物种数; $a$  和  $b$  分别为群落 A 和 B 的物种数。 $q$  值为 0~0.25 则极不相似, $q$  值为 0.25~0.50 则中等不相似, $q$  值为 0.50~0.75 则中等相似, $q$  值为 0.75~1.00 则极相似<sup>[19]</sup>。

1.3.3 VOR 综合指数模型 VOR 综合指数计算模型为<sup>[13]</sup>:

$$VOR=W_V \times V+W_O \times O+W_R \times R \tag{6}$$

式中:草地活力  $V=B_x/B_{ck}$ ,其中  $B_x$  为监测点样方植物群落地上生物量, $B_{ck}$  为样地的总生物量。组织力  $O=O_x/O_{ck}$ ,其中  $O_x=\sum[(F_i+B_i+H_i)/3]$ , $F_i=f_i/f$  为相对频度, $f_i$  为样地内草地物种  $i$  的频度, $f$  为样地内草地物种频度测量总数; $B_i=b_i/b$  为相对地上生物量, $b_i$

为样方内植物种  $i$  的地上生物量, $b$  为样方内植物总地上生物量; $H_i=h_i/h_{imax}$  为相对高度, $h_i$  为植物种  $i$  的平均高度, $h_{imax}$  为  $h_i$  中的最大值, $O_{ck}$  为对照样地平均值。

恢复力  $R=S_x/S_{ck}$ , $S_x=[\sum_{i=1}^n(L_i \times I_i \times V)]/P$ 。式中: $L_i$  为物种  $i$  的寿命; $I_i$  为物种  $i$  的相对生物量; $V$  为活力; $P$  为物种数; $S_{ck}$  为对照样地平均值。各指标对照样地选择是各个监测点周围未受人为干扰、生长状况良好的天然群落作为对照值。 $W_V$ 、 $W_O$ 、 $W_R$  分别对应各部分的指数权重数,且  $W_V$ 、 $W_O$ 、 $W_R$  均大于或等于 0, $W_V+W_O+W_R=1$ ,若研究取样背景清晰,故  $W_V=W_O=W_R=1/3$ 。 $V$ 、 $O$ 、 $R$ 、 $VOR \in [0,1]$ ,若值  $>1$ ,则取 1。结合国内对草地生态系统健康等级划分方法,采用四分法将生态系统健康状态指数划分为 4 个不同等级<sup>[2]</sup>。 $VOR$  介于 0.75~1.00 为健康,0.50~0.75 为不健康,0.25~0.50 为警戒,0~0.25 为崩溃。

2 结果与分析

2.1 不同草地类型群落特征

阿尔泰山哈巴河地区草地类型主要有荒漠草原、山地草原、山地草甸草原和山地草甸(表 1)。荒漠草原是荒漠生态系统的重要组成部分,对保护物种多样性、涵养水源和防风固沙起重要作用。荒漠草原建群种有羊茅(*Festuca ovina*)、大针茅(*Stipa grandis*)和冷蒿(*Artemisia frigida*),山地草原草甸主要表现出伴生种较多,且整体上来看,山地草甸的盖度最高,为 50%~90%,高度为 10~40 cm。生物量表现为山地草原>山地草甸草原>山地草甸>荒漠草原,值依次为 9 836.6,3 818.9,2 819.2,2 378.5 g/m<sup>2</sup>。

2.2 不同草地类型植物群落相似性分析

采用 Jaccard 相似性系数对哈巴河地区不同草地类型植被群落分析(表 2)发现,荒漠草原与山地草甸草原、山地草甸间的相似性系数处于 0~0.25,表现为极不相似水平,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的相似性系数在 0.25~0.50,处于中等不相似水平,山地草原和山地草甸草原

间的相似性系数处于 0.50~0.75,属于中等相似水平。0.185;而山地草原与山地草甸草原间的植物群落相似性最高,为0.531,异质性最小。

表 1 哈巴河地区不同草地类型的群落特征

| 草地类型   | 建群种                                  | 主要伴生种                              | 盖度/%  | 高度/cm | 生物量/(g·m <sup>-2</sup> ) |
|--------|--------------------------------------|------------------------------------|-------|-------|--------------------------|
| 荒漠草原   | 羊茅( <i>Festuca ovina</i> )           | 针茅( <i>Stipa capillata</i> )       | 15~75 | 2~20  | 2378.5                   |
|        | 大针茅( <i>Stipa grandis</i> )          | 冰草( <i>Agropyron cristatum</i> )   |       |       |                          |
|        | 冷蒿( <i>Artemisia frigida</i> )       | 木地肤( <i>Kochia prostrata</i> )     |       |       |                          |
|        |                                      | 苔草( <i>Carex spp</i> )             |       |       |                          |
| 山地草原   | 羊茅( <i>Festuca ovina</i> )           | 蓬子菜( <i>Galium verum</i> )         | 40~85 | 5~25  | 9836.6                   |
|        | 大针茅( <i>Stipa grandis</i> )          | 篇蓄( <i>Polygonum aviculare</i> )   |       |       |                          |
|        | 冷蒿( <i>Artemisia frigida</i> )       | 针茅( <i>Stipa capillata</i> )       |       |       |                          |
|        | 苔草( <i>Carex spp</i> )               | 冰草( <i>Agropyron cristatum</i> )   |       |       |                          |
| 山地草甸草原 |                                      | 赖草( <i>Leymus secalinus</i> )      | 45~80 | 7~30  | 3818.9                   |
|        |                                      | 冷蒿( <i>Artemisia frigida</i> )     |       |       |                          |
|        | 大针茅( <i>Stipa grandis</i> )          | 千叶蓍( <i>Achillea millefolium</i> ) |       |       |                          |
|        | 羊茅( <i>Festuca ovina</i> )           | 糙苏( <i>Phlomis umbrosa</i> )       |       |       |                          |
| 山地草甸   |                                      | 委陵菜( <i>Potentilla chinensis</i> ) | 50~90 | 10~40 | 2819.2                   |
|        |                                      | 叉繁缕( <i>Stellaria dichotoma</i> )  |       |       |                          |
|        |                                      | 野草莓( <i>Fragaria vesca</i> )       |       |       |                          |
|        |                                      | 千叶蓍( <i>Achillea millefolium</i> ) |       |       |                          |
| 山地草甸   | 早熟禾( <i>Poa annua</i> )              | 叉繁缕( <i>Stellaria dichotoma</i> )  | 50~90 | 10~40 | 2819.2                   |
|        | 异燕麦( <i>Helictotrichon hookeri</i> ) | 老鹳草( <i>Geranium wilfordii</i> )   |       |       |                          |
|        | 无芒雀麦( <i>Bromus inermis</i> )        | 蓬子菜( <i>Galium verum</i> )         |       |       |                          |
|        |                                      | 羽衣草( <i>Alchemilla japonica</i> )  |       |       |                          |

表 2 不同草地类型群落相似性比较

| 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   | 1.000    |           |           |       |
| 山地草原   | 0.265(9) | 1.000     |           |       |
| 山地草甸草原 | 0.185(5) | 0.531(17) | 1.000     |       |
| 山地草甸   | 0.192(5) | 0.411(14) | 0.423(11) | 1.000 |

注:括号内为 2 样地的共有植物种类数。

2.3 哈巴河地区不同草地类型物种多样性指标参数分析

在 4 种草地类型中 Margalef 指数与 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数及 Alatalo 指数之间  $R^2$  均小于 0.75,二次项拟合差异较大(图 2)。Margalef 指数与 Shannon-Wiener 指数二次项拟合较好,  $R^2$  为 0.412~0.739,且均呈极显著相关( $p<0.01$ )。Simpson 指数与 Shannon-Wiener 指数二次项拟合最好,  $R^2$  为 0.875~0.978,且均呈极显著相关( $p<0.01$ )。Simpson 指数与 Alatalo 指数二次项拟合较差,  $R^2$  为 0.182~0.579,且均呈显著相关( $p<0.05$ )。Shannon-Wiener 指数与 Alatalo 指数二次项拟合较差,  $R^2$  为 0.116~0.504,除荒漠草原均呈显著相关( $p<0.05$ )。在不同草地类型下 Margalef 指数与 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数的二次项拟合显示出较大的差异,  $R^2$  由大到小为山地草甸、荒漠草原、山地草甸草原、山地草原,分别为 0.660,0.315,0.227,0.184和 0.739,0.492,0.468,0.412,且均呈极显著相关( $p<0.01$ )。Simpson 指数与 Shannon-Wiener 指数二

次项拟合最好,  $R^2$  由大到小为山地草甸、山地草甸草原、山地草原、荒漠草原,分别为 0.978,0.917,0.906,0.875,且均呈极显著相关( $p<0.01$ )。在不同草地类型下,盖度与生物量均呈极显著相关( $p<0.01$ ),山地草甸草原的海拔与 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数及 Alatalo 指数之间呈极显著相关( $p<0.01$ )(表 3)。

2.4 不同草地类型海拔与生物量之间的关系

对 4 种草地类型的海拔与生物量进行多项式拟合,得出荒漠草原和山地草原的海拔与生物量关系较差,  $R^2$  均小于 0.15,且  $p$  均大于 0.5(图 3)。山地草甸草原和山地草甸海拔与生物量关系相对较好,  $R^2$  分别为 0.387 和 0.398,山地草甸草原的海拔与生物量呈现出显著不显著关系( $p>0.05$ ),山地草甸的海拔与生物量呈极显著相关( $p<0.01$ )。随着海拔的升高,  $R^2$  有变好的趋势,这种变化可能与人为因素有极大的关系,由于在低海拔地区过度放牧,人为破坏导致草地的不均衡发展,表现出生物量与热量和水分的不匹配关系。

2.5 哈巴河地区 5 个林区生物量与 VOR 指数的关系

通过对 5 个林区 6,9 月和平均的生物量与 VOR 指数进行拟合关系分析,6 月的生物量与 VOR 指数拟合优于9 月(图 4)。6 月的  $R^2$  为 0.749~0.910,  $R^2$  依次为那仁>齐巴契列克>白哈巴>呼吉尔特>铁列克,值为 0.910,0.898,0.837,0.820,0.749;9 月的  $R^2$  为 0.335~0.665,  $R^2$  依次为呼吉尔特>齐巴契列克>那仁>白哈



巴>铁列克,值分别为 0.665,0.569,0.538,0.482,0.335。VOR 均值的  $R^2$  为 0.118~0.712, $R^2$  依次为铁列克>呼吉尔特>齐巴契列克>白哈巴>那仁,值分别为 0.712,0.679,0.360,0.224,0.118。6,9 月和平均的生物量与 VOR 指数进行相关性分析,白哈巴、呼吉尔特和那仁

的生物量与 VOR 指数之间均呈极显著相关( $p<0.01$ ),齐巴契列克的生物量与 VOR 指数之间均显著相关( $p<0.05$ ),铁列克 6 月和平均的生物量与 VOR 指数之间均极显著相关( $p<0.01$ ),铁列克 9 月的生物量与 VOR 指数之间不显著相关( $p>0.05$ )。

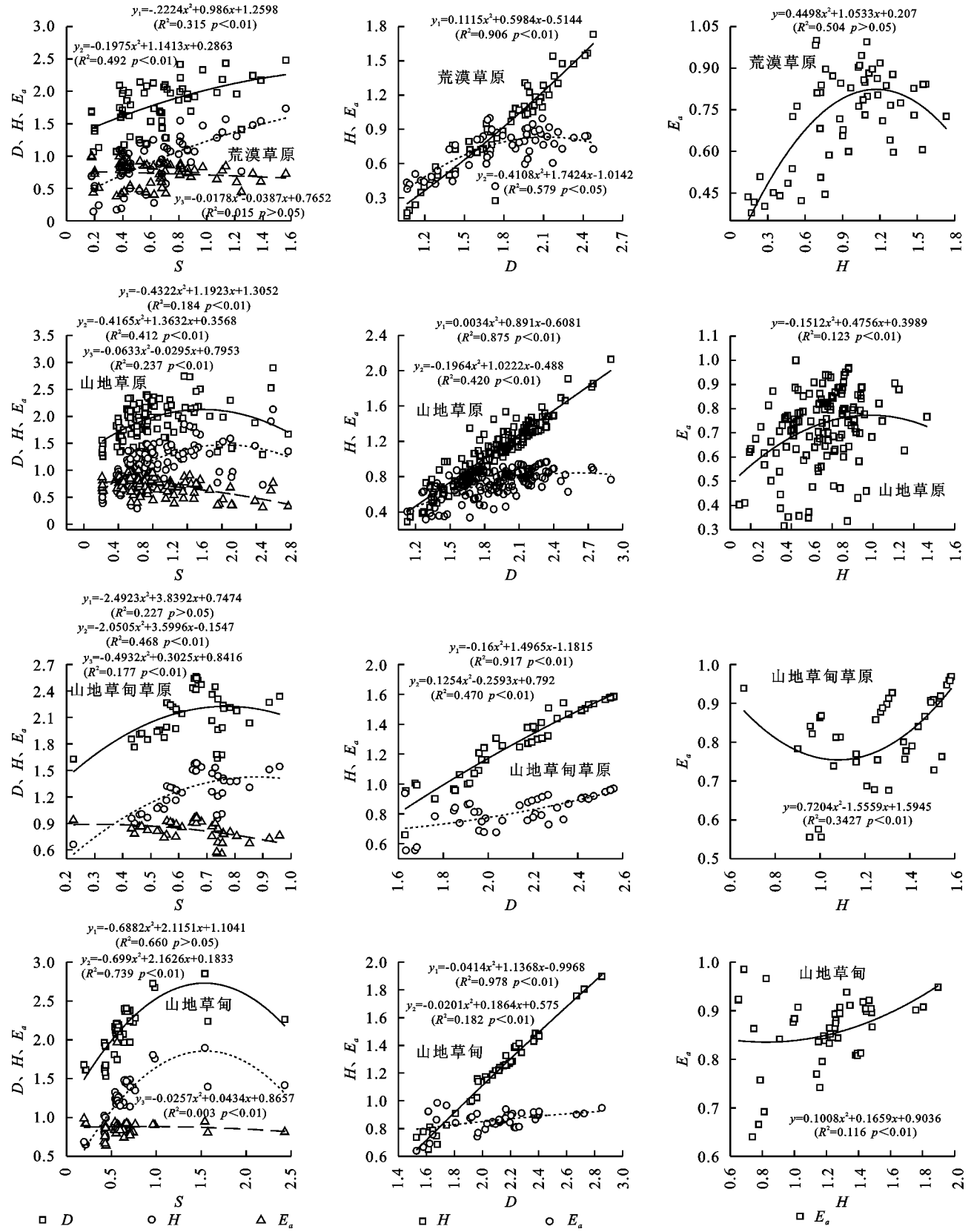


图 2 不同草地类型物种多样性指标参数分析

根据哈巴河地区的 5 个林区草地数据分析不同林区的草地健康水平,由图 5 可知,VOR 值均大于 0.75,等级为健康。6 月草地生态系统健康水平排序为那仁(0.912)>白哈巴(0.852)>呼吉尔特(0.837)>齐巴契列克(0.829)>铁列克(0.802),9 月

健康水平排序为铁列克(0.920)>那仁(0.915)>白哈巴(0.884)>呼吉尔特(0.843)>齐巴契列克(0.825),平均健康水平排序为那仁(0.914)>白哈巴(0.863)>铁列克(0.848)>呼吉尔特(0.845)>齐巴契列克(0.827)。

表 3 物种多样性测度参数相关性矩阵

| 草地类型   | 指标             | 海拔        | 盖度         | S          | D         | H         | E <sub>a</sub> | 生物量   |
|--------|----------------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|----------------|-------|
| 荒漠草原   | 海拔             | 1.000     |            |            |           |           |                |       |
|        | 盖度             | 0.320 *   | 1.000      |            |           |           |                |       |
|        | S              | 0.310 *   | 0.093      | 1.000      |           |           |                |       |
|        | D              | 0.106     | 0.257 *    | 0.556 * *  | 1.000     |           |                |       |
|        | H              | 0.127     | 0.182      | 0.698 * *  | 0.951 * * | 1.000     |                |       |
|        | E <sub>a</sub> | 0.115     | 0.340 * *  | -0.062     | 0.293 *   | 0.031     | 1.000          |       |
|        | 生物量            | 0.093     | 0.474 * *  | -0.044     | -0.008    | 0.008     | -0.066         | 1.000 |
| 山地草原   | 海拔             | 1.000     |            |            |           |           |                |       |
|        | 盖度             | 0.107     | 1.000      |            |           |           |                |       |
|        | S              | -0.050    | 0.153      | 1.000      |           |           |                |       |
|        | D              | -0.078    | -0.037     | 0.282 * *  | 1.000     |           |                |       |
|        | H              | -0.095    | 0.083      | 0.555 * *  | 0.935 * * | 1.000     |                |       |
|        | E <sub>a</sub> | 0.019     | -0.296 * * | -0.475 * * | 0.615 * * | 0.313 * * | 1.000          |       |
|        | 生物量            | 0.018     | 0.625 * *  | -0.081     | 0.255 * * | 0.255 * * | 0.132          | 1.000 |
| 山地草甸草原 | 海拔             | 1.000     |            |            |           |           |                |       |
|        | 盖度             | -0.067    | 1.000      |            |           |           |                |       |
|        | S              | -0.058    | 0.162      | 1.000      |           |           |                |       |
|        | D              | 0.298 * * | 0.078      | 0.028      | 1.000     |           |                |       |
|        | H              | 0.263 * * | 0.177 *    | 0.315 * *  | 0.939 * * | 1.000     |                |       |
|        | E <sub>a</sub> | 0.233 * * | -0.176 *   | -0.560 * * | 0.707 * * | 0.432 * * | 1.000          |       |
|        | 生物量            | -0.009    | 0.630 * *  | -0.181 *   | 0.254 * * | 0.237 * * | 0.184 *        | 1.000 |
| 山地草甸   | 海拔             | 1.000     |            |            |           |           |                |       |
|        | 盖度             | -0.084    | 1.000      |            |           |           |                |       |
|        | S              | -0.054    | 0.196 *    | 1.000      |           |           |                |       |
|        | D              | 0.286 * * | 0.172 *    | 0.144      | 1.000     |           |                |       |
|        | H              | 0.105     | 0.284 * *  | 0.360 * *  | 0.845 * * | 1.000     |                |       |
|        | E <sub>a</sub> | 0.047     | 0.039      | -0.222 * * | 0.399 * * | 0.596 * * | 1.000          |       |
|        | 生物量            | -0.196 *  | 0.641 * *  | -0.105     | 0.277 * * | 0.253 * * | 0.138          | 1.000 |

注: \* 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关; \* \* 表示在 0.01 水平(双侧)上极显著相关。

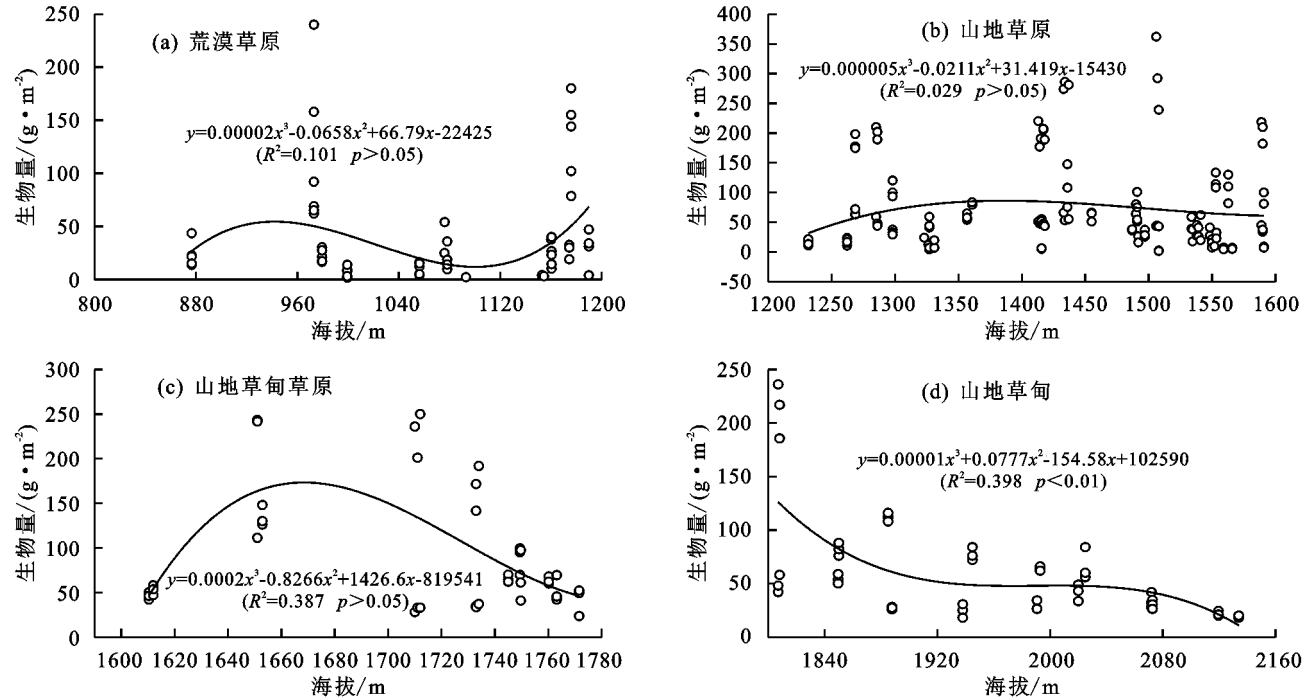


图 3 不同草地类型海拔与生物量的关系分析

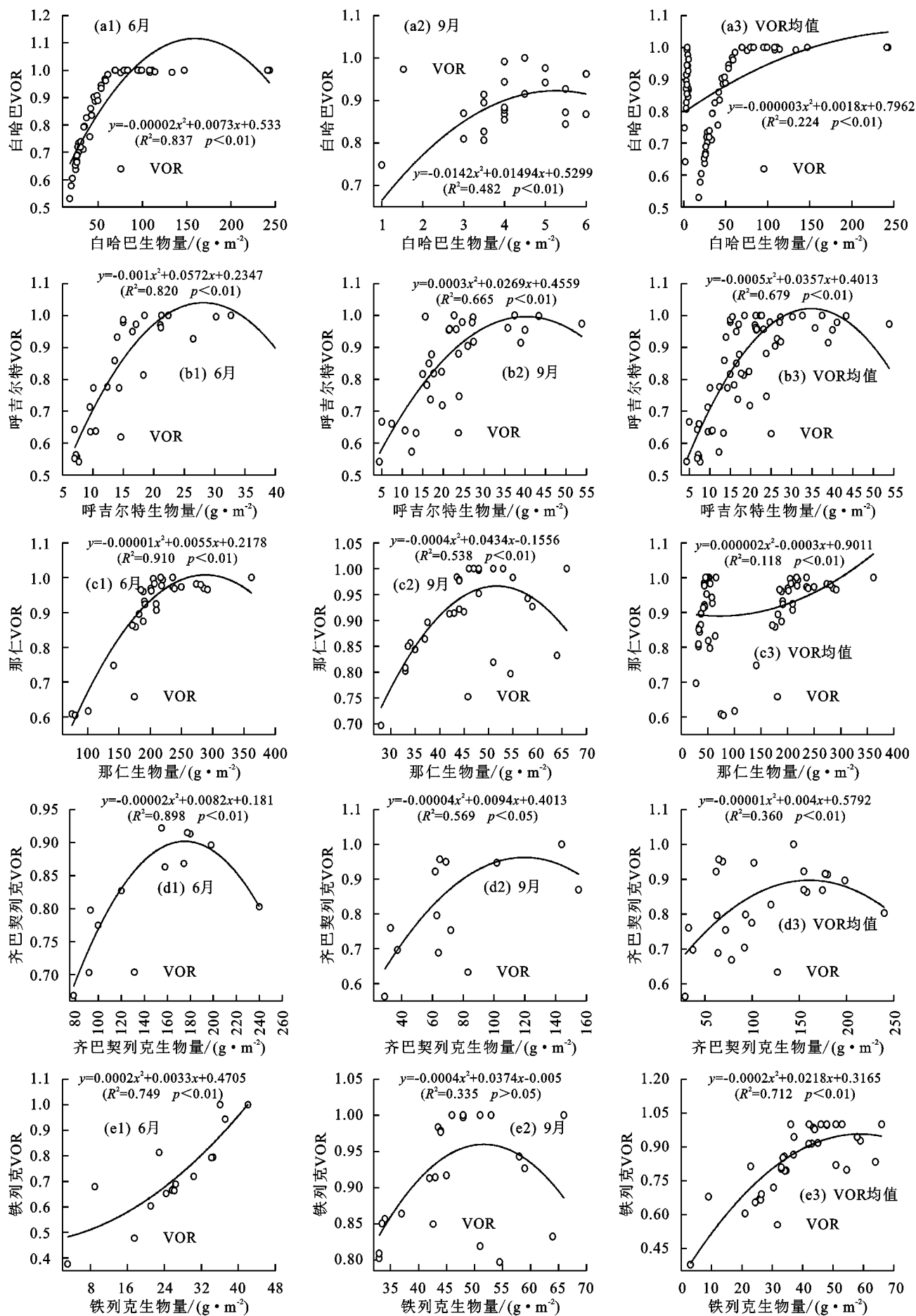


图 4 5 个林区生物量与 VOR 指数的关系

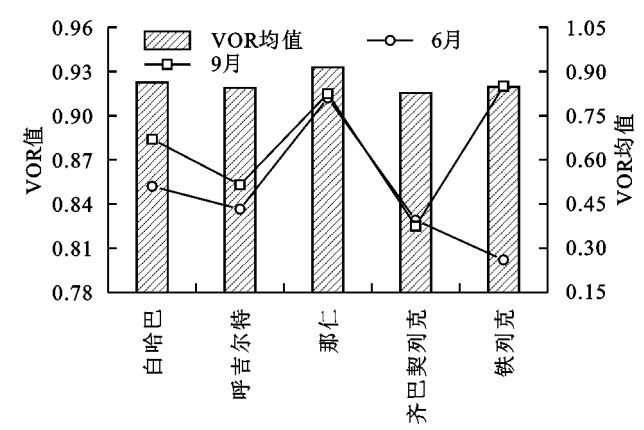


图 5 各林区 VOR 指数比较

### 2.6 哈巴河地区 5 个林区不同草地类型物种多样性分析

总体来看,5 个林区的 9 月生物量小于 6 月,但白哈巴林区的山地草原和山地草甸草原的生物量 6 月小于 9 月,呼吉尔特林区的荒漠草原生物量 6 月小于 9 月(图 6)。5 个林区 Margalef 指数除铁列克外,6 月均大 9 月,Simpson 指数和 Shannon-Wiener 指数均 9 月大于 6 月,Alatalo 指数除铁列克外,9 月均大于 6 月,但在不同的草地类型中变化差异较为明显,由于牧民放牧的原因,可能造成草地类型中各指数差异化的表现。由图 7 可知,对 5 个林区的生物量与各指数进行二次项拟合发现,整体上白哈巴和铁列克的生物量与各指数的二次项拟合较好,其余均较差。在 5 个林区中,生物量与各指数拟合较好的为铁列克 9 月的生物量与 Margalef 指数( $R^2=0.794$ )、白哈巴 9 月的生物量与 Simpson 指数( $R^2=0.641$ )、白哈巴 9 月的生物量与 Shannon-Wiener 指数( $R^2=0.610$ )和齐巴契列克 6 月的生物量与 Alatalo 指数( $R^2=0.306$ )。

### 3 讨论

草地植物群落组成特征包括植物种类及其优势度组成、群落优势种、次优势种、伴生种、偶见种等组成及数量特征,是草地生态状况及生境条件的直观体现<sup>[14]</sup>。本研究区植物主要集中在禾本科、菊科、蔷薇科、豆科、茜草科,这 5 大科植物对该地区的生态环境有很强的适应性,是该地区草地的主要组成部分,这与李晓敏等<sup>[20]</sup>对阿勒泰山不同草地类型草群的研究结果一致。有学者<sup>[21]</sup>对多样性指数统计结果进行分析得出,各草地群落的 Margalef 指数、Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数及 Alatalo 指数均表现出先升高后降低再升高的趋势,处于水分条件较好的山地草甸草原草地的多样性指数均高于山地荒漠草原和山地草原草地。

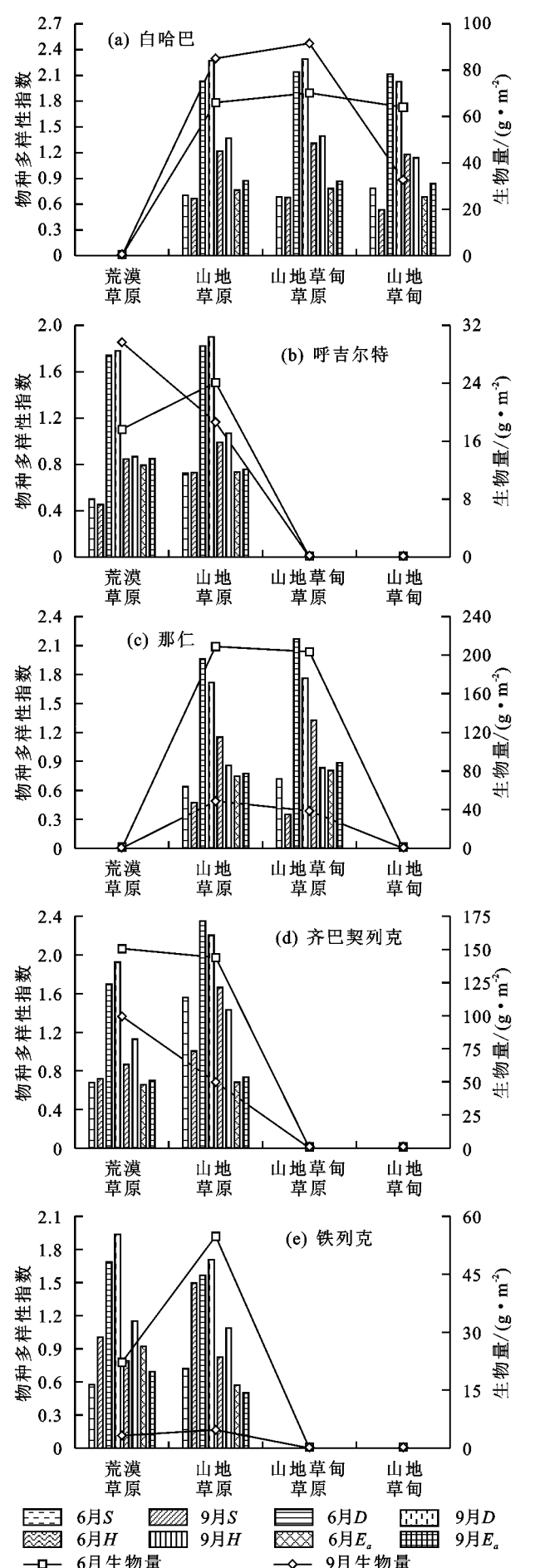


图 6 5 个林区不同草地类型物种多样性指数和生物量



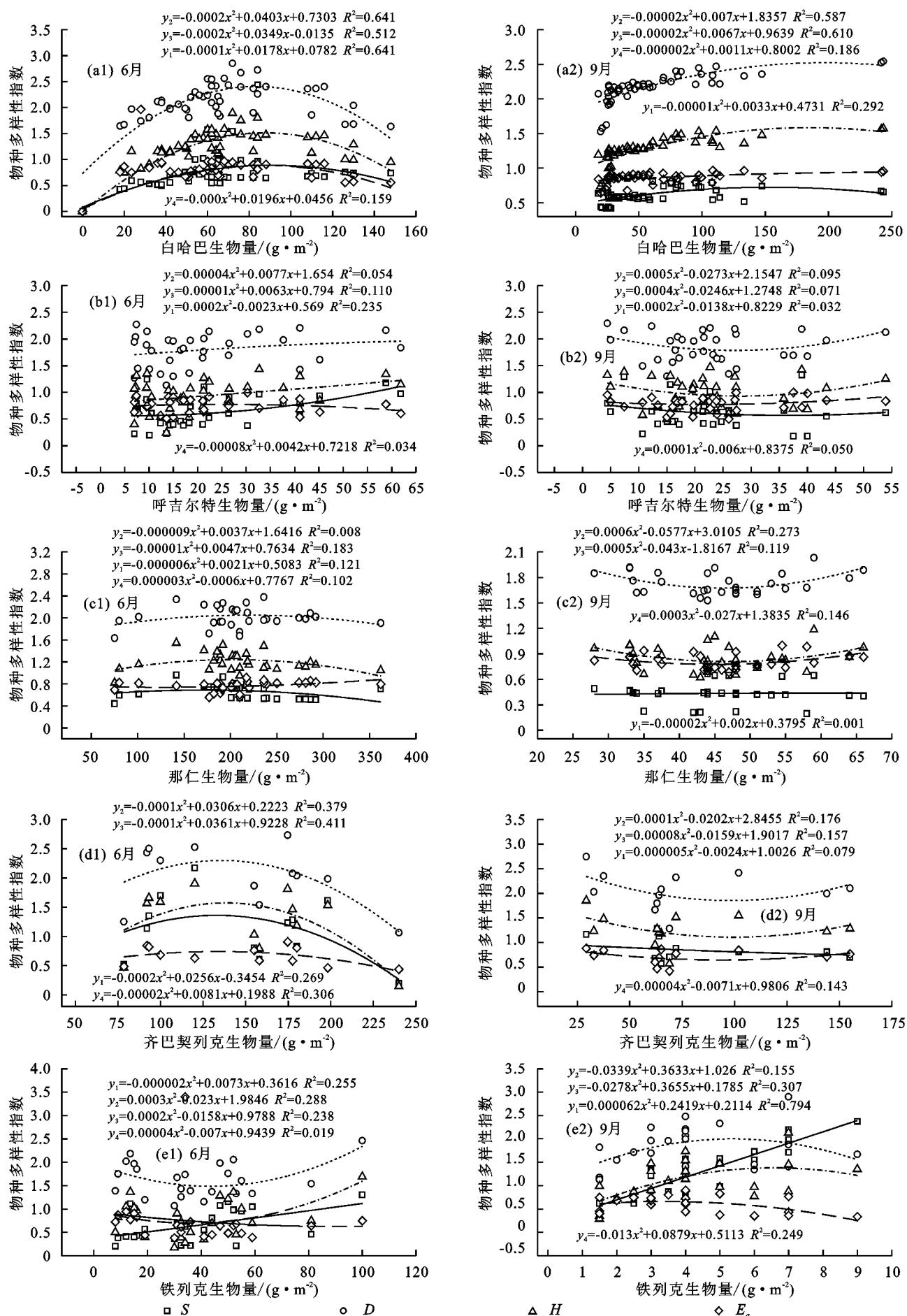


图 7 5 个林区不同草地类型物种多样性指数与生物量分析

本文在此研究的基础上对 4 种草地类型中 Margalef 指数与 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数及 Alatalo 指数之间进行二次项拟合,差异较大,但均呈极显著相关。典型草原由于自然环境条件处于中等水平,而人类活动是造成生态环境脆弱的主要因子,典型草原生态环境脆弱性表现在植被退化上,造成物种多样性在空间上和时间上的变化,群落植被变化主要反映在不同植物种在群落中作用大小的消长,研究结果认为是以上这些因素综合作用的结果。因此,在进一步分析其多样性形成机理时,需结合区域环境、地形等多方面共同分析,才能得出较为客观的结论<sup>[22-23]</sup>。马婧婧等<sup>[12]</sup>分析新疆草地中优势种相对生物量与海拔的关系发现,二者关系可分为 5 类,其中一类为无显著关系,本文研究区符合无显著关系这一结论,仅山地草甸的海拔与生物量呈极显著相关( $p < 0.01$ ),其余草地类型均呈不显著相关关系( $p > 0.05$ )。陈春波等<sup>[24]</sup>研究得出新疆草地生态系统是一个复合的生态系统,是土壤—大气—水分的连续体,草地健康评价的时间尺度延续与空间范围扩展非常重要;单贵莲等<sup>[25]</sup>研究认为,利用 VOR 综合指数来评价个别年份草原生态系统的健康状况也可取得良好的评价效果,与俞鸿千等<sup>[26]</sup>研究宁夏干旱风沙区荒漠草原健康评价结论相似,与本文对哈巴河地区草地生态系统健康状况评价一致,表明符合该区草地健康状况评价。通过对阿尔泰山哈巴河地区 5 个林区的 4 种草地类型物种多样性指标参数进行对比,分析不同草地类型物种多样性及草地的健康水平,解析 5 个林区生物量和 VOR 指数的关系,有助于了解哈巴河地区 5 个林区的健康水平,为该区草地植被恢复提供数据支持,为草地资源的可持续利用和畜牧业发展奠定基础。

## 4 结论

(1)阿尔泰山哈巴河地区主要草地类型有荒漠草原、山地草原、山地草甸草原和山地草甸,荒漠草原与山地草甸草原、山地草甸群落间的相似性系数在 0~0.25,异质性大,山地草原和山地草甸草原群落间的相似性系数处于 0.50~0.75,异质性小。

(2)在 4 种草地类型中,草地群落的 Margalef 指数与 Simpson 指数和 Shannon-Wiener 指数之间  $R^2$  均小于 0.75,且二次项拟合显示出较大的差异, $R^2$  由大到小为山地草甸、荒漠草原、山地草甸草原、山地草原,且均呈极显著相关( $p < 0.01$ ),盖度与生物量均呈极显著相关( $p < 0.01$ )。

(3)荒漠草原与山地草原的海拔与生物量关系较差, $R^2$  均小于 0.15,且  $p$  均大于 0.5。山地草甸草原

和山地草甸的海拔与生物量关系相对较好, $R^2$  分别为 0.387 和 0.398,山地草甸的海拔与生物量呈极显著相关( $p < 0.01$ )。

(4)5 个林区总体来看,9 月生物量小于 6 月,对 5 个林区的生物量与各指数进行二次项拟合发现,白哈巴和铁列克的生物量与各指数的二次项拟合较好,其余均较差。

(5)通过对 5 个林区平均的生物量与 VOR 指数进行拟合关系分析, $R^2$  为 0.118~0.712,健康水平依次为那仁(0.914)>白哈巴(0.863)>铁列克(0.848)>呼吉尔特(0.845)>齐巴契列克(0.827)。

## 参考文献:

- [1] 张海燕,樊江文,邵全琴,等.2000—2021 年中国退牧还草工程区生态系统宏观结构和质量及其动态变化[J].草业学报,2016,25(4):1-15.
- [2] 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.
- [3] 徐鹏彬,邓建明,赵长明.甘肃尕斯湖湿地不同海拔草地群落组分及物种多样性研究[J].草业学报,2012,21(2):219-226.
- [4] Damesin C, Rambal S, Joffre R. Seasonal and annual changes in leaf  $\delta^{13}\text{C}$  in two co-occurring Mediterranean oaks: Relations to leaf growth and drought progression [J].Functional Ecology,1998,12(5):778-785.
- [5] 杨晓玫,姚拓,王理德,等.天祝不同退化程度草地植物群落结构与物种多样性研究[J].草地学报,2018,26(6):1290-1297.
- [6] 杨光,郝玉光,包斯琴,等.乌兰布和沙漠绿洲东缘植被群落结构及物种多样性研究[J].水土保持研究,2016,23(3):257-261.
- [7] 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.
- [8] Paul A, Bhattacharjee S, Choudhury B I, 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] Loreau M, Hector A. Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments[J].Nature,2001,412(6842):72-76.
- [10] 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.
- [11] 邹蕴,贺晓,赵金花,等.我国北方草原区露天煤炭开采对周边草原群落的影响:以锡林浩特市西二矿为例[J].干旱区资源与环境,2019,33(8):199-203.

究,2022,29(4):121-126.

[14] 宁婷,郭忠升.半干旱黄土丘陵区撂荒坡地土壤水分循环特征[J].生态学报,2015,35(15):5168-5174.

[15] 冯伟,杨文斌,党宏忠,等.毛乌素沙地流动沙丘土壤水分对降雨的响应[J].中国沙漠,2015,35(2):400-406.

[16] 李萍,李同录,王阿丹,等.黄土中水分迁移规律现场试验研究[J].岩土力学,2013,34(5):1331-1339.

[17] 孙仕军,丁跃元,马树文,等.地下水埋深较大条件下井灌区土壤水分动态变化特征[J].农业工程学报,2003,3(2):70-74.

[18] Zhang D B, Zhang C, Ren H L, et al. Trade-offs between winter wheat production and soil water consumption via leguminous green manures in the Loess Plateau of China[J]. Field Crops Research, 2021,10(272):108278-108283.

[19] 陈娟,宋乃平,陈林,等.荒漠草原不同覆被类型土壤水分动态及其对降水的响应[J].水土保持学报,2021,35(6):198-206.

[20] 赵丹阳,毕华兴,侯贵荣,等.晋西黄土区典型林地土壤水分变化特征[J].水土保持学报,2021,35(1):181-187.

[21] 胡守林,贾志宽,万素梅.陇东黄土高原苜蓿草地土壤水分消耗及水分生态效应[J].农业工程学报,2009,25(8):48-53.

[22] 邹俊亮,邵明安,龚时慧.不同植被和土壤类型下土壤水分剖面的分异[J].水土保持研究,2011,18(6):12-17.

[23] 赵亚楠,于露,周玉蓉,等.宁夏东部荒漠草原灌丛引入对土壤水分动态及亏缺的影响[J].生态学报,2020,40(4):1305-1315.

[24] Wei L, Yang M Y, Li Z, et al. Experimental investigation of relationship between infiltration rate and soil moisture under rainfall conditions[J]. Water, 2022, 14(9):e1347.

[25] 杨志成,柯奇画,马芊红,等.喀斯特地区黄壤坡面土壤水分对降雨的响应[J].水土保持学报,2021,35(2):75-79.

[26] 王亚琳,周秋文,谢雪梅,等.湿润喀斯特地区冬季灌丛土壤水分对降雨的响应[J].水资源与水工程学报,2021,32(6):229-235.

[27] 徐露,张丹,向宇国,等.季节性干旱区紫色土坡耕地土壤水分对降雨的响应[J].水土保持学报,2020,34(6):37-45.

[28] 王博,段玉玺,王伟峰,等.油蒿灌丛群落浅层土壤水分对不同降雨格局的响应[J].应用生态学报,2020,31(5):1571-1578.

[29] 高露,张圣微,朱仲元,等.干旱半干旱区退化草地土壤水分变化及其对降雨时间格局的响应[J].水土保持学报,2020,34(1):195-201.

[30] 石明明,王晓敏,周秉荣,等.高寒草原根系层土壤水分动态及其对降雨格局的响应[J].生态环境报,2020,29(9):1723-1729.

(上接第 271 页)

[12] 马婧婧,刘耘华,盛建东,等.新疆草地优势种植物相对生物量沿海拔梯度变化特征[J].草业学报,2021,30(8):25-35.

[13] 周泉,叶茂,赵凡凡.基于 VOR 模型的阿尔泰山林区森林生态系统健康评价[J].甘肃农业大学学报,2021,56(3):137-148.

[14] 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.

[15] 乔木,陈亚宁,赵兴有.中国哈巴河流域农业地貌条件分区评价[J].干旱区地理,1997,20(2):67-72.

[16] 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.

[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] 何芳兰,金红喜,郭春秀,等.民勤绿洲边缘人工梭梭(*Haloxyylon 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.

[19] 马全林,卢琦,魏林源,等.干旱荒漠白刺灌丛植被演替过程土壤种子库变化特征[J].生态学报,2015,35(7):2285-2294.

[20] 李晓敏,宋跃斌,姜万利.天山、阿尔泰山不同草地类型草群养分评价[J].草业与畜牧,2015,219(2):44-48.

[21] 张丽,张鲜花.天山北坡山地草原类组草地植物群落特征及多样性动态分析[J].新疆农业科学,2017,54(1):148-155.

[22] 刘东霞,卢欣石,李文红.呼伦贝尔退化草地植被演替特征研究[J].干旱区资源与环境,2008,22(8):103-110.

[23] 陶利波,于双,王国会,等.封育对宁夏东部风沙区荒漠草原植物群落特征及其稳定性的影响[J].中国草地学报,2018,40(2):67-74.

[24] 陈春波,彭建,李刚勇.新疆草地生态系统健康评价体系构建[J].干旱区研究,2022,39(1):270-281.

[25] 单贵莲,陈功,刘钟龄,等.典型草原健康评价的 VOR 和 VCOR 指数[J].草地学报,2012,20(3):401-406.

[26] 俞鸿千,蒋齐弘,王占军,等.VOR、CVOR 指数在宁夏干旱风沙区荒漠草原健康评价中的应用:以盐池县为例[J].草地学报,2018,26(3):584-590.