

新疆富蕴地区草地生物量与物种多样性及 VOR 指数的关系

郭建兴^{1,2}, 叶茂^{1,2}, 殷锡凯^{1,2}, 张凯丽^{1,2}, 赵凡凡^{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. 新疆干旱区湖泊环境与资源实验室, 新疆 乌鲁木齐 830054)

摘要:为了解草地生物量对物种多样性和草地生态系统健康的影响,以2020年新疆富蕴地区草地群落为研究对象,通过计算物种多样性指数 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)、VOR 评价指数并结合草地生物量来探讨三者之间关系。结果表明:1)富蕴地区神钟山林区和沙库尔布拉克林区地上生物量存在显著差异($P < 0.05$),沙库尔布拉克林区和其他林区 Margalef 丰富度指数和 Shannon-Wiener 多样性指数存在显著差异($P < 0.05$),喀依尔特林区和沙库尔布拉克林区的 Simpson 优势度指数和 Alatalo 均匀度指数存在显著差异($P < 0.05$)。2)各林区 VOR 指数评价中沙库尔布拉克林区处于不健康水平。3)富蕴地区草地物种多样性和 VOR 指数随着地上生物量的增加呈现出先增大后降低的趋势,表现出典型的单峰关系,主要与草地生产力、物种间共生、竞争有关。

关键词:草地生物量;物种多样性;VOR 指数;新疆富蕴

中图分类号:S812;Q948 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2022)01-0069-07

DOI: 10.13817/j.cnki.cyycp.2022.01.009



草地生态系统是我国陆地上最大的生态系统,具有防风固沙、保持水土和生态屏障的作用,也是发展畜牧养殖业的承载主体;我国草地面积约为 3.92×10^6 km²,占我国国土面积的 $2/5$ ^[1]。目前,我国草地生态系统评价研究主要集中在放牧草地^[2]和高寒草地^[3],主要针对生态系统服务价值评估^[4-5]、土壤质量评价^[6]、生物量和多样性评价^[7]及土壤微生物^[8]等方面;对草地物种多样性的研究主要集中在群落演替^[9]和人类活动干扰的影响^[10]。VOR 指数是根据活力(vigor, V)、组织力(organization, O)和恢复力(resilience, R)来评价草地生态系统健康情况的一种综合指数,在生态环境领域得到了一定的应用^[11-16]。VOR 指数能够

反映草地植物群落结构的稳定性、物种多样性、草地生产能力、组织力和活力状况,可定量描述草地恢复及健康状况。生物量是表征生态系统数量特征的主要指标,能反映生态系统的生产力,是研究生态系统功能的基本要素;物种多样性和 VOR 指数与生物量的关系不仅能够揭示生物多样性对生态系统功能的作用途径和过程,也能反应研究区的植物资源现状。生物多样性不仅能表征生态系统的基本特征,也能反映生态系统的变化,为生态系统的正常运行和周转提供种源基础,对维持全球生态平衡、促进可持续发展具有重要作用。一般认为,生物多样性越丰富越有助于维持生态系统的稳定,同时物种间的种群动态具有非同步性,进而对群落的整体功能起到了促进作用。许多研究者对新疆富蕴地区草地的研究主要集中在草地生产能力^[17]、草畜平衡^[18]以及草地资源现状评价^[19]等方面,对富蕴地区草地生物量与物种多样性及 VOR 指数的关系报道较少。近年来,富蕴地区草地出现不同程度的退化^[20],草畜不平衡问题突出^[18];相关部门也实行

收稿日期:2021-06-08; **修回日期:**2021-06-25

基金项目:阿尔泰山生态保护管理规划项目

作者简介:郭建兴(1998-),男,云南保山人,硕士研究生。

E-mail: guojianxing199800@163.com

叶茂为通信作者。

E-mail: yemao1111@163.com

了一系列生态恢复工程及生态保护措施,但对于富蕴地区草地物种多样性及草地健康状况与生物量之间的耦合机理依然不明确。本研究通过对新疆富蕴地区的草地群落生物量与物种多样性及 VOR 指数关系的探讨,以为富蕴地区草地恢复和治理提供一定的参考。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

富蕴地区位于新疆阿尔泰山南麓、准噶尔盆地北缘,东临青河县,西连福海县,南延准噶尔盆地与昌吉州毗邻,北与蒙古国接壤,地理坐标 E 88°10′~90°31′、N 45°00′~48°03′;地势北高南低,属北温带大陆性气候。年平均气温 1.8 ℃,无霜期 140 d,年平均降水量 158.3 mm,年平均蒸发量 1 692.5 mm(图 1)。土壤以棕钙土、栗钙土、灰色森林土及棕色针叶林土为主。草地植被种类繁多,有蒲公英(*Taraxacum mongolicum*)、禾草(*Grasses*)、草莓(*Fragaria ananassa*)、千叶蓍(*Achillea millefolium*)、野火球(*Tri folium lupinaster*)和苔藓植物(Bryophyte)等;全区共有天然草场 481.7 万 hm²,占全区总面积的 22.44%。

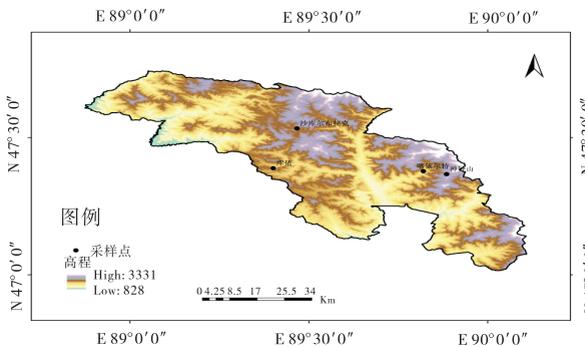


图 1 富蕴地区各林区分布图

Fig. 1 Distribution map of each forest area in fuyun area

1.2 试验设计

2020 年 7 月对富蕴地区的库依、喀依尔特、沙库尔布拉克和神钟山 4 个林区 41 个样地进行草地群落调查。选取不同方向样带,在每个样带里设置不同距离的样地,样地面积 20 m×20 m,在每个样地内选取 3 个 1 m×1 m 的小样方,调查样地的物种数量、长势、高度和生物量等。根据富蕴地区自然条件和不同影响因素特征,样带分为两种类型:1)海拔梯度样带:在每个林场的两段山脉中选择典型区域,在垂直方向各设置一条样带;确定监测样线,以海拔高度为基准,海拔

每升高 100 m 设定一个点;每一个点,在道路同一侧平行向外推进 50 m,设定监测样地,并编号。2)河谷样带:不同林区各设置一条典型的垂直于河道方向的样带;基于各林区确定好的河谷样带,在距离河边 50 m 处设置第 1 个样地,然后每隔 100 m 分别设置 1 个样地。各林区样地情况见表 1。

表 1 富蕴地区样地布设情况

Table 1 The layout of sample plots in fuyun area

林区	样地数量	样地类型
库依	10	海拔、河谷
喀依尔特	12	海拔
沙库尔布拉克	9	河谷
神钟山	10	河谷

1.3 物种多样性测度与方法

植物多样性采用 α -多样性测度中的 Margalef 丰富度指数、Simpson 优势度指数、Shannon-Wiener 多样性指数、Alatalo 均匀度指数,计算公式如下^[21-22]:

$$\text{Margalef 丰富度指数: } M = (S - 1) / \ln N \quad (1)$$

$$\text{Simpson 优势度指数: } S' = 1 - \ln \left[\sum_{i=1}^S \left(\frac{N_i}{N} \right)^2 \right] \quad (2)$$

$$\text{Shannon-Wiener 多样性指数: } H' = - \sum P_i \ln P_i \quad (3)$$

$$\text{Alatalo 均匀度指数: } A = [1 / (\sum P_i^2) - 1] / [\exp(-P_i \ln P_i) - 1] \quad (4)$$

上述式中, 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 草地 VOR 指数

VOR 评价模型是国际上广泛采用的草地健康评价模型,VOR 指数计算模型为:

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

式中:活力(V),根据草地的地上生物量进行测算, $V = B_x / B_{ck}$,其中 B_x 为监测点内样方草地地上生物量, B_{ck} 为对照值。组织力(O),用草地的物种频度、高度以及生物量进行计算, $O = O_x / O_{ck}$, $O_x = \sum [(F_i + B_i + H_i) / 3]$, $F_i = f_i / f$ 表示相对频度, f_i 为样地内草地物种 i 的频度, f 为样地频度总数; $B_i = b_i / b$ 为相对草地地上生物量, b_i 为样方内草地物种 i 地上生物量, b 为草样方内总地上生物量; $H_i = h_i / h_{i \max}$ 表示相对高度, h_i 为样方草地物种 i 的平均高度, $h_{i \max}$ 为 h_i 中的最大值; O_{ck} 为对照值。

恢复力(R), $R = S_x / S_{ck}$, $S_x = [\sum_{i=1}^n (L_i \times I_i \times V)] / P$

式中, L_i 为草地物种 i 的寿命; I_i 为物种 i 的相对生物量, P 是物种数量, S_{ck} 为对照值。

计算 VOR 指数时, 选择整个地区监测平均值为对照值。同时 $W_V = W_O = W_R = 1/3$, 各单项指数 V 、 O 、 R 介于 $0 \sim 1$, 大于 1 时均取值为 $1^{[23-24]}$ 。

结合国内对寒旱区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(表 2)来评价草地生态系统的健康状况^[24]。

表 2 草地生态系统健康指数及健康等级

Table 2 Grassland ecosystem health index and health grade

健康指数	健康等级	健康指数	健康等级
0.75~1.00	健康	0.25~0.50	警戒
0.50~0.75	不健康	0.00~0.25	崩溃

表 3 富蕴地区不同林区草地生物量和物种多样性

Table 3 Grassland biomass and species diversity in different forest areas in Fuyun area

林区	生物量/($g \cdot m^{-2}$)	Margalef 指数	Simpson 指数	Shannon-Wiener 指数	Alatalo 指数
库依	105.97±84.18 ^{ab}	0.96±0.21 ^b	1.94±0.25 ^{ab}	1.19±0.27 ^a	0.71±0.09 ^{ab}
喀依尔特	78.49±57.63 ^{ab}	1.52±0.44 ^a	2.08±0.38 ^a	1.35±0.42 ^a	0.64±0.09 ^b
沙库尔布拉克	46.84±31.22 ^a	0.35±0.08 ^c	1.68±0.26 ^b	0.81±0.23 ^b	0.76±0.16 ^a
神钟山	111.81±84.67 ^b	1.28±0.41 ^{ab}	1.17±0.28 ^{ab}	1.15±0.36 ^a	0.64±0.06 ^{ab}

注: 同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

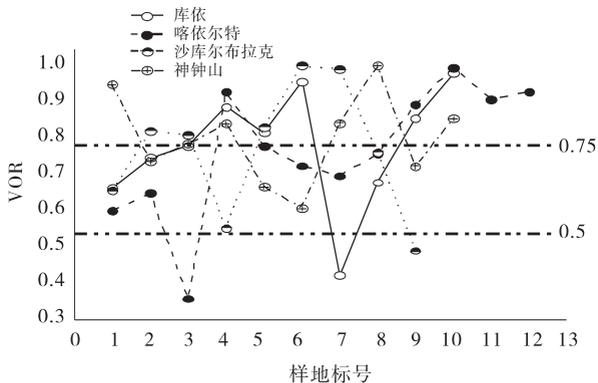


图 2 富蕴地区不同草地健康水平

Fig. 2 Grassland health level in different regions of Fuyun

2 结果与分析

2.1 富蕴地区 4 个林区草地的地上生物量和物种多样性指数

根据差异性分析结果(表 3), 神钟山林区和沙库尔布拉克林区生物量存在显著差异($P < 0.05$); 沙库尔布拉克林区和其他林区的 Margalef 丰富度指数及 Shannon-Wiener 多样性指数存在显著差异($P < 0.05$), 喀依尔特林区和沙库尔布拉克林区的 Simpson 优势度指数及 Alatalo 均匀度指数存在显著差异($P < 0.05$)。

2.2 富蕴地区 4 个林区的草地 VOR 指数及等级

根据富蕴地区的库依、喀依尔特、沙库尔布拉克和神钟山草地健康调查数据分析富蕴不同林区的草地健康水平(图 2)。VOR 值除沙库尔布拉克林区(0.722)外其余林区均大于 0.75, 等级为健康; VOR 健康水平排序为库依(0.838) > 神钟山(0.812) > 喀依尔特(0.755) > 沙库尔布拉克(0.722)。

2.3 富蕴地区 4 个林区地上生物量与物种多样性指数和 VOR 指数的关系

各林区的物种多样性都与草地生物量存在“单峰”关系(图 3), 其中库依林区和神钟山林区 Simpson 优势度与草地生物量拟合效果最好, 喀依尔特林区 Margalef 丰富度指数与草地生物量拟合最好, 沙库尔布拉克林区则是 Simpson 优势度和 Alatalo 均匀度指数拟合最优。沙库尔布拉克林区 Simpson 优势度指数与草地生物量存在显著负相关关系($P < 0.05$); 沙库尔布拉克林区 Alatalo 均匀度指数与草地生物量存在极显著负相关关系($P < 0.01$)。

对各林区 VOR 指数与草地生物量进行回归拟合, 结果都呈二次函数关系(图 4), 其中库依林区和喀

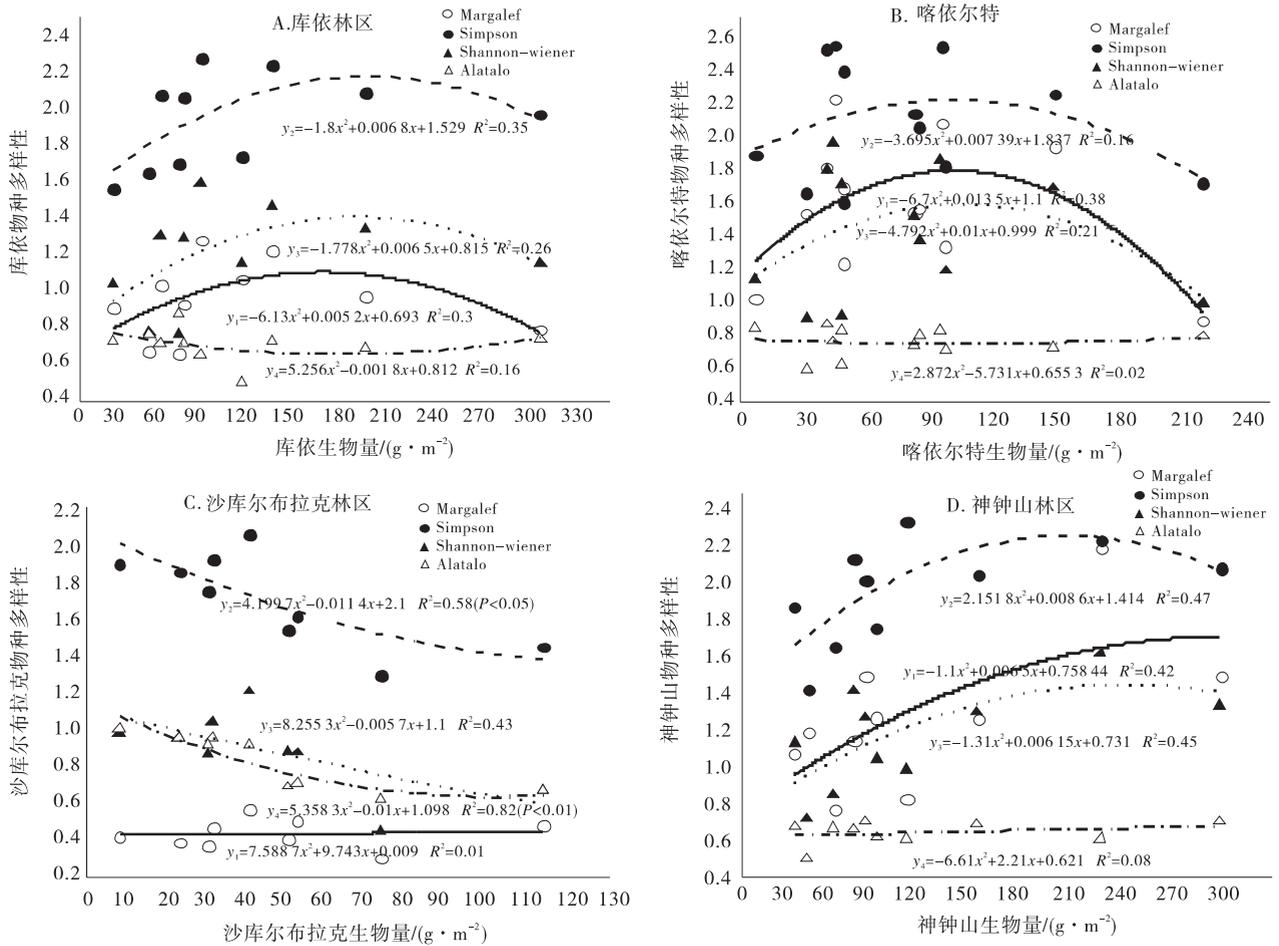


图3 富蕴地区不同林区草地生物量与物种多样性的关系

Fig. 3 The relationship between grassland biomass and species diversity in different forest areas in Fuyun area

依尔特林区草地生物量与 VOR 指数拟合 R^2 大于 0.8, 沙库尔布拉克林区和神钟山林区拟合 R^2 也在 0.5 以上。喀依尔特林区 VOR 指数与草地生物量存在极显著相关性 ($P < 0.01$), 沙库尔布拉克林区 VOR 指数与草地生物量存在显著相关性 ($P < 0.05$)。

3 讨论

针对物种多样性与生物量的关系研究, 生态学研究者们得出了两者之间存在正相关、负相关、单峰和不相关等关系^[25-27]。同时由于不同的地域环境^[28]、草地类型^[29]以及研究尺度^[30], 其研究结果也各不相同, 所以目前为止并没有形成统一结论。本研究发现, 富蕴地区不同林区草地物种多样性随着生物量的增加呈现出先增加后降低的单峰关系。这种关系产生的原因可能是草地物种之间的相互竞争作用^[31], 随着生物量不断增加, 各草地物种间的竞争作用也会增加, 但当生物量增加至最大容量时, 会导致一些草地物种消失, 进而使草地物种多样性呈现下降趋势^[32], 陈生云^[33]的研究

也出现类似现象。富蕴地区沙库尔布拉克林区草地生物量和 Simpson 优势度指数、Alatalo 均匀度指数存在显著的线性相关。随着草地生物量的增加, Simpson 优势度指数和 Alatalo 均匀度指数则会进一步降低, 也进一步证实富蕴地区草地物种存在相互竞争的关系。这与杨路存等^[34]对高寒灌丛的研究得出草本生物量与植物多样性呈显著负相关, 与牛钰杰等^[35]得出在低放牧强度下植物丰富度与生物量呈负相关关系相一致。同时该地区 4 个林区草地生物量和物种多样性拟合效果相对较差, 可能是由于海拔、坡度、坡向及土壤环境等因素的综合影响, 使草地物种多样性发生改变。综上所述, 富蕴地区各林区草地物种之间存在相互竞争的作用, 当草地生物量到一定程度时会造成一些草本植物死亡, 使物种多样性降低, 进而重新构造物种的共生作用。因此, 草地生物量与物种多样性表现出单峰^[27,31]关系。

本研究所采用的 VOR 指数法在草地生态系统健

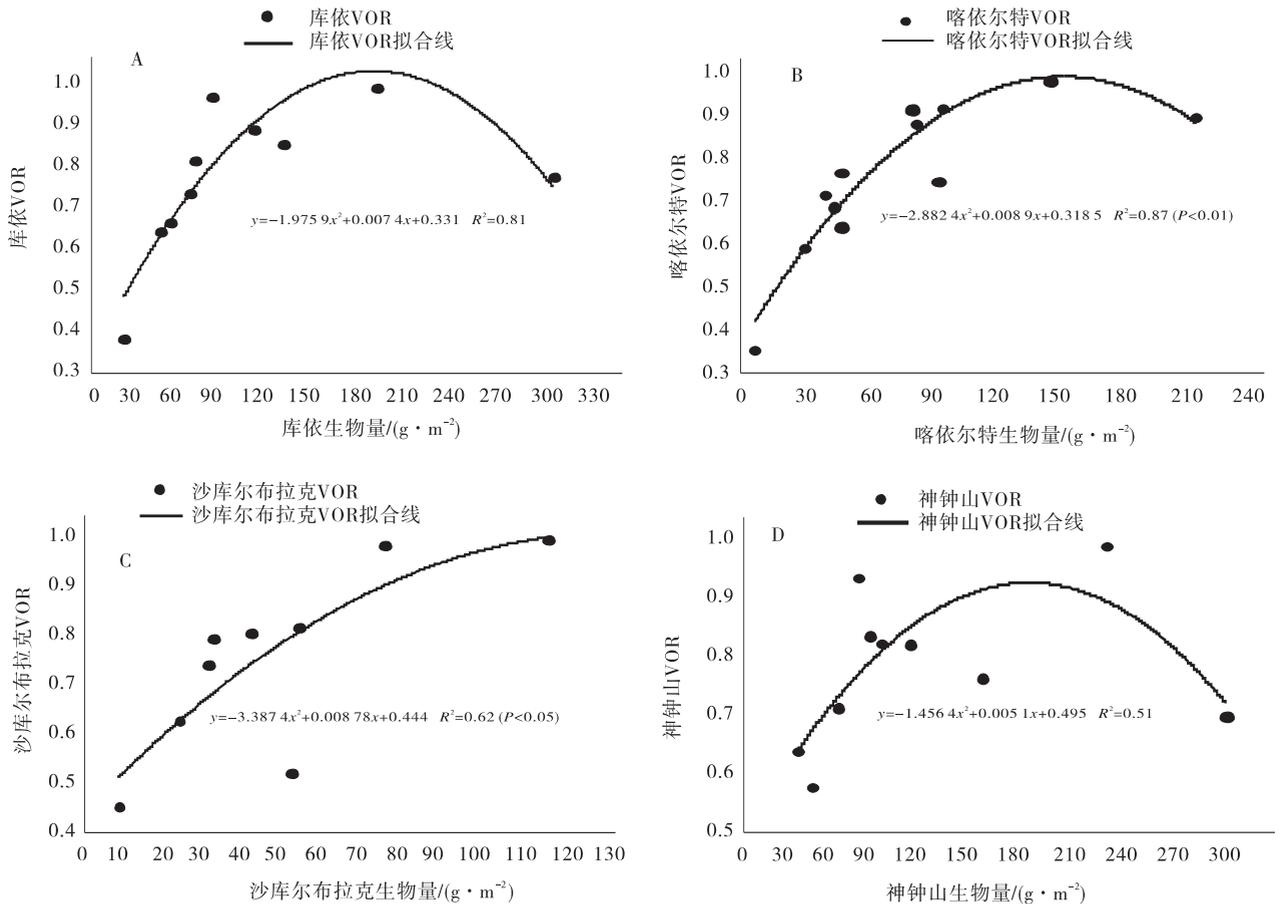


图 4 富蕴地区各林区草地生物量与 VOR 指数的关系

Fig. 4 The relationship between grassland biomass and VOR index in each forest area in Fuyun area

康评价中已得到比较广泛的应用^[23],侯扶江等^[12-13]研究指出,VOR指数法评价相关生命系统,各单项指标的尺度缺乏统一的对照系统及其选择标准,影响了VOR指数的普遍适用性。本研究利用VOR指数对富蕴地区各林区草地生态系统的健康状况进行了相关评价,结果表明VOR指数可以用来评价富蕴地区草地健康状况。评价结果与王立新等^[36]对内蒙古典型草原生态系统健康评价结果基本一致。随着生物量增加,各林区草地VOR指数呈现先升高后降低趋势,出现这种现象的原因可能是草地生产力和草地物种之间相互共生、竞争的结果。值得关注的是随着生物量不断增加,草地健康水平会呈先上升的趋势,当生物量达到一定峰值后,草地健康水平逐渐降低,具体影响机制还需进一步研究。同时,外界各种因素干扰对草地生态系统的影响体现在草地植被演替的过程中,草地生物量只是其中的一个影响因素^[37-38]。

4 结论

富蕴地区神钟山林区和沙库尔布拉克林区草地的

地上生物量存在显著差异,多样性各项指数也存在差异,沙库尔布拉克林区草地生态系统处于不健康水平。富蕴地区各林区草地物种多样性和VOR指数随着地上生物量的增加呈先增大后降低的典型单峰关系。

参考文献:

- [1] 张海燕,樊江文,邵全琴,等. 2000—2010年中国退牧还草工程区生态系统宏观结构和质量及动态变化[J]. 草业学报, 2016, 25(4): 1—15.
- [2] 高安社. 羊草草原放牧地生态系统健康评价[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2005: 78—79.
- [3] 董云龙. 甘南桑科高寒草甸草原对几种培育措施的响应及其健康评价[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2014: 48—49.
- [4] 周丽. 甘肃省天祝县高寒草甸草原退化特征及生态服务价值估算研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2016: 35—38.
- [5] 高雅, 林慧龙. 草地生态系统服务价值估算前瞻[J]. 草业学报, 2014, 23(3): 290—301.
- [6] 王婷, 花蕊, 楚彬, 等. 高寒草原退化植物群落及土壤理化性质的影响[J]. 草原与草坪, 2019, 39(4): 65—71.
- [7] 董世魁, 汤琳, 张相锋, 等. 高寒草地植物物种多样性与功能多样性的关系[J]. 生态学报, 2017, 37(5): 1—12.

- [8] 贾晓妮,程积民,万惠娥. 云雾山本氏针茅草地群落恢复演替过程中的物种多样性变化动态[J]. 草业学报,2008,17(4):12-18.
- [9] Rapport D J. Ecosystems not optimized;reply[J]. Aquatic Ecosystem Health,1993,2(1):57.
- [10] 李瑾,安树青,程小莉,等. 生态系统健康评价的研究进展[J]. 植物生态学报,2001,25(6):641-647.
- [11] 叶鑫,周华坤,赵新全,等. 草地生态系统健康研究述评[J]. 草业科学,2011,28(4):549-560.
- [12] 侯扶江,徐磊. 生态系统健康的研究历史与现状[J]. 草业学报,2009,18(6):210-225.
- [13] 侯扶江,王春梅,娄珊宁,等. 我国草原生产力[J]. 中国工程科学,2016,18(1):80-93.
- [14] 温仲明,焦峰,刘宝元,等. 黄土高原森林草原区退耕地植被自然恢复与土壤养分变化[J]. 应用生态学报,2005,16(11):2025-2029.
- [15] Coatanza R, Mageau M T. What is a healthy ecosystems [J]. Aquatic Ecology,1999,33(1):1105-1115.
- [16] 肖风劲,欧阳华,傅伯杰,等. 森林生态系统健康评价指标及其在中国的应用[J]. 地理学报,2003,58(6):303-309.
- [17] 万里强,李向林,何峰. 新疆阿勒泰地区草地生产力变化及对策研究[J]. 草原与草坪,2011,31(3):20-26.
- [18] 姚小伟,王丽,韩文光,等. 富蕴县天然草地草畜平衡现状评价[J]. 草业与畜牧,2012(7):10-12.
- [19] 马丽. 富蕴县天然草地资源现状及其评价[J]. 新疆畜牧业,2012(6):51-54.
- [20] 张炜,祖力菲娅·买买提. 浅析新疆草地资源利用与保护现状[J]. 新疆畜牧业,2014(2):24-27.
- [21] 马克平. 生物群落多样性的测度方法 Ia 多样性的测度方法(上)[J]. 生物多样性,1994,2(3):162-168.
- [22] 马克平,刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 Ia 多样性的测度方法(下)[J]. 生物多样性,1994,2(4):231-239.
- [23] 刘延斌,张典业,张永超,等. 不同管理措施下高寒退化草地恢复效果评估[J]. 农业工程学报,2016,32(24):268-275.
- [24] 单贵莲,陈功,刘钟龄,等. 典型草原健康评价的 VOR 和 CVOR 指数[J]. 草地学报,2012,20(3):401-406.
- [25] Newman E I. Competition and diversity in herbaceous vegetation[J]. Nature,1973,244(5414):310.
- [26] Huston M A, Smith T. Plant succession: life history and competition[J]. American Naturalist, 1987, 130(2):168-198.
- [27] Guo Q F, Berry W. Species richness and biomass: dissection of the humpshaped relationships[J]. Ecology, 1998, 79(7):2555-2559.
- [28] Whittaker R H. Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California[J]. Ecological Monographs, 1960, 30(4):1-80.
- [29] 江小雷,岳静,张卫国,等. 生物多样性,生态系统功能与时空尺度[J]. 草业学报,2010,19(1):219-225.
- [30] Kokkoris G D, Troumbis A Y, Lawton J H. Patterns of species interaction strength in assembled theoretical competition communities [J]. Ecology Letters, 2000, 2(2):70-74.
- [31] Huston M A, Smith T. Plant succession: life history and competition[J]. American Naturalist, 1987, 130(2):168-198.
- [32] Bonser S P, Reader R J. Plant competition and herbivory in relation to vegetation biomass[J]. Ecology, 1995, 76(7):775-787.
- [33] 杨元合,饶胜,胡会峰,等. 青藏高原高寒草地植物物种丰富度及其与环境因子和生物量的关系[J]. 生物多样性,2004,12(1):200-205.
- [34] 杨路存,赵玉红,徐文华,等. 青海省高寒灌丛物种多样性、生物量及其关系[J]. 生态学报,2018,38(1):309-315.
- [35] 牛钰杰,杨思维,王贵珍,等. 放牧干扰下高寒草甸物种、生活型和功能群多样性与生物量的关系[J]. 生态学报,2018,38(13):4733-4743.
- [36] 王立新,刘钟龄,刘华民,等. 内蒙古典型草原生态系统健康评价[J]. 生态学报,2008,28(2):544-550.
- [37] 俞鸿千,蒋齐,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.
- [38] 侯扶江,于应文,傅华,等. 阿拉善草地健康评价的 CVOR 指数[J]. 草业学报,2004,13(4):117-126.