

doi:10.11733/j.issn.1007-0435.2015.05.006

不同牧压梯度下高寒草甸演替及植物 物种多样性分异特征

欧阳经政^{1,2}, 李以康^{1,2}, 林 丽¹, 杜岩功¹, 张法伟¹, 李 茜¹,
郭小伟¹, 刘淑丽^{1,2}, 孙亚男^{1,2}, 柯 洵^{1,2}, 曹广民^{1*}

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810008; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:通过对不同牧压梯度导致的 4 个相邻高寒草甸植物群落物种多样性的调查,探讨了放牧驱动下高寒草甸演替及植物物种多样性分异特征,以期为高寒草甸合理利用提供依据。结果表明:矮嵩草时期与小嵩草草毡表层开裂期的多样性指数 D 差异不显著,其他 3 个阶段间差异显著($P < 0.05$);多样性指数 H 除禾草矮嵩草时期与小嵩草草毡表层开裂期,矮嵩草时期与小嵩草草毡表层加厚期差异不显著外,其他均差异显著($P < 0.05$);均匀度指数除矮嵩草时期与小嵩草草毡表层加厚期差异不显著,其他 3 个时期差异均达到显著水平($P < 0.05$);放牧明显改变了高寒草甸的主要建群种和优势种,伴随牧压强度增大,植物群落发生更替,莎草科重要值增大,禾本科重要值减小,草甸植物群落由禾草矮嵩草时期向矮嵩草时期、小嵩草草毡表层加厚期、小嵩草草毡表层开裂期演替。

关键词:牧压梯度;高寒草甸;演替;物种多样性

中图分类号:S812.3

文献标识码:A

文章编号:1007-0435(2015)05-0944-07

Alpine Meadow Succession and Plant Species Diversity Characteristics under Different Grazing Gradients

OUYANG Jing-zheng^{1,2}, LI Yi-kang^{1,2}, LIN Li¹, DU Yan-gong¹,
ZHANG Fa-wei¹, GUO Xiao-wei¹, LI Qian¹, LIU Shu-li^{1,2}, SUN Ya-nan^{1,2},
KE Xun^{1,2}, CAO Guang-min^{1*}

(1. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining, Qinghai Province 810008, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: A comparative study on four adjacent plant community species characteristics with different grazing intensities was conducted in alpine meadows. The variations of plant species diversity at different successional stages were discussed under different grazing gradients, aiming to provide the basis of vegetation protection in this region. The results showed that Shannon-Wiener index changed indistinctively between the stage of *Kobresia humilis* community and matticepedon cracking stage of *K. pygmaea* community, however, it changed significantly among the other three stages. Simpson index did not significantly change between the matticepedon cracking stage of *K. pygmaea* community with Gramineae and *K. humilis* community stage, matticepedon thickening stage of *K. pygmaea* community and *K. pygmaea* community, whereas significantly changed among other stages. The evenness indices based on the Shannon-Wiener index did not change significantly between *K. pygmaea* community and matticepedon thickening stage of *K. pygmaea* community, whereas it changed significantly among the other three stages. Grazing measure significantly changed the constructive species and dominant species of meadow, resulting in the change of species important value. With the increases of grazing pressure, the plant community was significantly changed. The community succession of the alpine meadow was from Gramineae and *K. humilis* community to *K. pygmaea* community, matticepedon thickening stage of *K. pygmaea* community to matticepedon cracking stage of *K. pygmaea* community. The important value of Cyperaceae species in-

收稿日期:2014-08-22;修回日期:2014-12-18

基金项目:国家自然科学基金面上项目(31270576);青海省科技厅项目(2013-N-540)(2013-Z-915)资助

作者简介:欧阳经政(1988-),男,甘肃会宁人,硕士生,研究方向为生物结皮对高寒草甸生物多样性影响,E-mail:oyjzt@163.com; * 通信作者 Author for correspondence, E-mail:caogm@nwipb.ac.cn

creased with the successions of communities in the alpine meadow, whereas the important value of Gramineae species decreased.

Key words: Grazing pressure gradient; Alpine meadow; Succession; Species diversity;

物种多样性是指物种种类与数量的丰富程度^[1],是一个区域或一个生态系统可测定的生物学特征^[2],反映了生物群落功能的组织特征。高寒草甸是我国青藏高原的主要草地类型,面积达 $1.28 \times 10^8 \text{ hm}^2$,占青藏高原面积50.9%^[3]。但近年来,该地区超载放牧严重,造成草地持续退化,植物种群生境恶化,群落物种多样性降低和群落结构简单化,对该地区的生物多样性造成严重威胁^[4-5]。研究放牧对草甸群落多样性的影响,对于高寒草甸生态系统物种多样性的保护,合理利用草地资源以及制定科学合理的放牧制度都有重要意义。而以往有关放牧对高寒草甸生态系统物种多样性的研究,大多以先假定草甸退化程度,再研究不同环境因子、不同放牧干扰强度、干扰类型、不同放牧季节下高寒草甸植物多样性的特征^[6-14]。

已有关于放牧对高寒草甸物种多样性影响的研究表明,随着放牧强度增加,物种多样性指数呈现单峰变化,先增加后降低,中度放牧最大^[6-8]。也有研究表明随着放牧强度加大,物种丰富度在封育样地最高,在重牧样地最低^[9]。而臧岳铭等^[10]的研究提出高寒草甸物种多样性在牧道生境>封育草地>人工草地,但不同季节适度放牧对植物群落物种丰富度、多样性指数以及均匀度指数的影响均不显著^[11]。草地群落多样性的变化还可能与土壤养分资源供给水平有关^[12]。这些研究样地草甸之间往往相离较远,利用方式各异,样地背景不清。然而有关同一块草甸在不同放牧强度下生物多样性变化的研究却鲜有报导。为此,我们以同一块样地为对象,研究由于放牧强度的不同而导致的植被演替,明晰其生物多样性的连续变化过程,进一步丰富放牧对高寒草甸物种多样性理论的研究,以期为了保护高寒草甸的物种多样性及制定科学的放牧制度提供依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

试验地位于青海省海北州门源县皇城乡(N $37^{\circ}39.910' \sim 37^{\circ}40.064'$, E $101^{\circ}10.741' \sim 101^{\circ}10.668'$,海拔3200~3250 m),属典型的高原大陆性气候,年平均气温在 $-0.4 \sim 2.5^{\circ}\text{C}$ 间波动,多年

平均为 -1.6°C ,最暖的7月月均温为 10.1°C ,最冷的1月为 -15.0°C 。气温日较差多年平均为 15.7°C ,日较差冷季大,暖季小;气温年较差平均约为 25.1°C 。年日照时间可达2467.7 h,水面蒸发 1238.0 mm ,平均风速较低,年平均仅为 $1.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,空气相对湿度为67%。年降水量在 $425.3 \sim 850.4 \text{ mm}$ 之间,多年平均为 560.0 mm ,暖季的5—9月降水量为 444.6 mm ,占年降水量的79%,冷季的10月至翌年4月降水量只有 115.3 mm ,只占年降水的21%。该地区空气稀薄,气温较低,年内无霜期极短,降水量相对充沛,日照充足,暖季湿润、短暂、凉爽,而冷季干燥、漫长、寒冷^[15-18]。

1.2 研究方法

1.2.1 样地选择 试验样地位于一个滩地,地形和环境条件一致,1982—2000年间草地属1家牧民,牲畜以牦牛为主,草甸以小嵩草(*Kobresia pygmaea*)为优势种,之后草地承包给4户牧民,各自用围栏分开,4个样地都为冬春草场,由于各户的放牧强度不同,草地演化为4个阶段,根据曹广民等^[18]提出的高寒嵩草草甸主动被动退化分异特征理论,群落演替分别处于禾草矮嵩草时期(Gramineae and *Kobresia humilis* community stage, GK; 9.5 ± 1.8 羊单位 $\cdot \text{ha}^{-1}$)、矮嵩草时期(*Kobresia humilis* community stage, KH; 11.3 ± 0.9 羊单位 $\cdot \text{ha}^{-1}$)、小嵩草草毡表层加厚期(mattic epipedon thickening stage of *Kobresia pygmaea* community, MT; 15.6 ± 2.4 羊单位 $\cdot \text{ha}^{-1}$)、小嵩草草毡表层开裂期(mattic epipedon cracking stage of *Kobresia pygmaea* community, MC; 17.2 ± 1.3 羊单位 $\cdot \text{ha}^{-1}$)。除GK样地放牧时间是3—5月外,其他3块样地放牧时间都是12月底到次年5月。样地放牧强度通过现场调查牲畜数量和土地面积获得。取样时间为2012年6月到2013年6月。在各样地随机选取6个面积大小为 $25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$ 样方,调查植物物种频度、盖度、高度,生物量测定采用收获法,齐地面剪去植物的地上部分,装在信封中带回实验室以 80°C 的温度烘干至恒重^[19]。

1.2.2 数量指标的计算方法 重要值=(相对盖度+相对频度+相对高度+相对生物量) $\times 100/4$ ^[20];物种相对重要值 $P_i = N_i/N$, N_i 为物种*i*的重要值, N 为样地物种总重要值;

多样性指数的计算选取 3 种指数对各草场的物种多样性进行描述,即多样性指数、丰富度指数和均匀度指数。多样性指数采用 Simpson 指数和 Shannon-Wiener 指数,其计算公式如下:

Simpson 指数 (D); Shannon-Wiener 指数

$$(H): H = - \sum_{i=1}^s P_i \times \ln P_i ;$$

式中: s 为物种总数; P_i 为物种 i 的相对重要值。

均匀度指数取 Pielou 的均匀度指数 J_{sw} :

$$J_{sw} = 1 - \sum_{i=1}^s P_i^2 / \ln S \text{ 和 } J_{si} ;$$

式中: J_{sw} 为基于 Shannon-Wiener 指数计算的 Pielou 均匀度指数; J_{si} 为基于 Simpson 指数计算的均匀度指数。

丰富度指数用 patrick 多样性指数,Patrick 丰富度指数: $D_{pa} = S$;以上方法均参照覃林编著的统计生态学^[21]。

Simpson 生态优势度计算公式为

$$\bar{\lambda} = \sum [N_i(N_i - 1) / N(N - 1)] ;$$

S 为群落物种数, N_i 为物种 i 的重要值, N 为样地物种总重要值^[22]。

1.3 数据处理

前期数据通过 Excel 2013 整理,后期数据采用

SPSS 19.0 软件进行分析,单因子方差分析 (ANOVA)用于不同放牧强度下各指标间的比较和差异显著性检验 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同演替阶段高寒草甸植物功能群相对重要值比较

如图 1 所示,4 种演替阶段莎草科重要值在群落中的比例大小顺序:MT > MC > KH > GK;禾本科重要值:MT < MC < GK < KH;豆科:MC > GK > KH > MT;杂类草:MT > MC > GK > KH。牛羊喜食的禾本科在牧压强度小的矮嵩草时期和禾草矮嵩草时期重要值显著大于牧压强度大的小嵩草阶段,而以根茎无性繁殖的莎草科,随着牧压强度的增大,重要值显著增加,表现出对放牧更强的适应性。豆科在放牧干扰严重和放牧干扰较轻时重要值要显著高于放牧干扰强度中等的草地阶段。当放牧强度增大为 $9.5 \pm 1.8 \sim 17.2 \pm 1.3$ 羊单位 $\cdot \text{ha}^{-1}$,群落建群种发生明显的变化,植被建群种由禾草矮嵩草群落的针茅、羊茅、早熟禾、矮嵩草群落,过渡到矮嵩草群落的藏异燕麦、针茅、矮嵩草、小嵩草群落;到小嵩草草毡表层加厚期,植物建群种则变化为小嵩草、矮嵩草、藏异燕麦;在小嵩草草毡表层开裂期,形成小嵩草、矮嵩草、针茅群落。

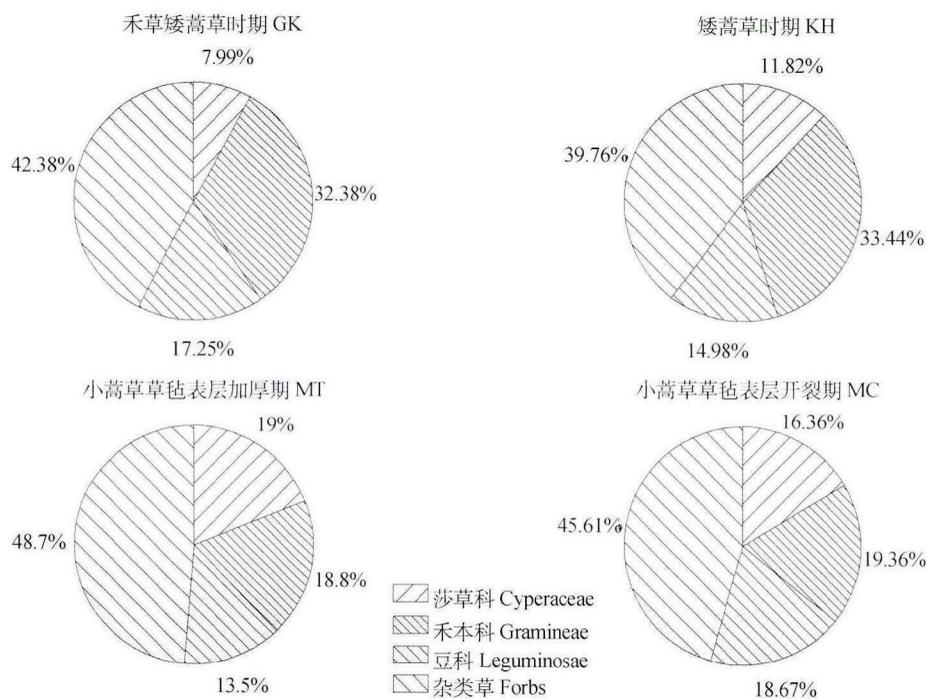


图 1 高寒草甸群落主要功能群重要值

Fig. 1 The main species important value of alpine meadow community

2.2 不同演替阶段高寒草甸的植物物种多样性比较

Shannon-Wiener 物种多样性指数(图 2)表现为以 MC 最大, GK 最小;而 Simpson 指数却以 GK 最高, KH 时期最小。多重比较 Shannon-Wiener 多样性指数, GK 与 MC 差异未达到显著,

其他各个阶段差异显著($P < 0.05$)。采用单因素方差分析,多重比较 4 个样地 Simpson 多样性指数得出, MC 与 KH, MT 与 GK 差异不显著,使用单因素方差分析得出 4 个阶段差异显著($P < 0.05$)。

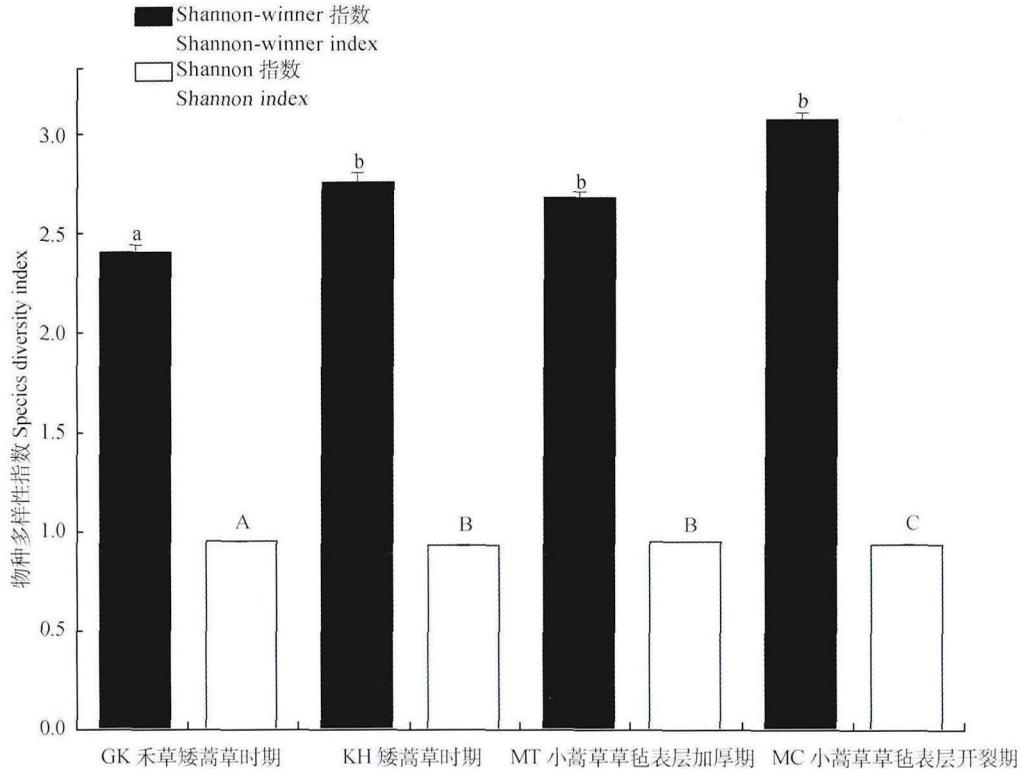


图 2 高寒草甸群落多样性变化

Fig. 2 Variation of alpine meadow community

注:不同字母表示差异显著($p < 0.05$),下同

Note: Different letters indicate significant differences at the 0.05 level. The same as below

基于 Simpson 指数的均匀度指数(图 3), MC 最大, KH 最小, 4 个阶段均匀度差异显著($P < 0.05$)。但多重比较 GK 与 MT 和 MC 均匀度指数差异不显著。基于 Shannon-Wiener 多样性指数的均匀度指数, 4 个时期除 GK 与 MT 差异未达显著, 其他各个时期相互间差异均达到显著水平($P < 0.05$)。

4 个演替阶段群落优势度指数如表 1 所示, MC > KH > MT > GK。

3 讨论与结论

Shannon-Wiener 多样性指数, 矮嵩草时期与小嵩草草毡表层开裂期差异未达到显著。在小嵩草草毡表层开裂期, 小嵩草死亡后形成的黑斑面积达

18.1%, 斑块周边草皮塌陷, 面积达到 24.6%, 草毡表层裂缝广泛发育, 裂缝松软的土壤基底比坚硬草皮给植物提供更多的定植机会和可利用的微生物境, 也增加了物种出现的不确定性, 这可能是小嵩草草毡表层开裂期物种多样性指数最大的主要原因。裂缝中禾草科、菊科植物广泛分布斑块状包围着小嵩草、矮嵩草草甸。小嵩草草毡表层开裂期, 草甸放牧强度大, 牲畜取食和践踏等行为减弱了优势种的竞争能力, 增加了物种分布的空间异质性。禾草矮嵩草群落是高寒草甸地带性植被, 极易受到放牧干扰而向矮嵩草群落演替, 物种出现的不确定性大, 其 Shannon-Wiener 多样性指数在 4 块样地中最低。小嵩草草毡表层开裂期裂缝大面积发育, 放牧越重, 裂缝产生的越多、面积越大, 鼠类极易从裂缝处入侵定居, 使草甸有进一步退化成为杂类草“黑土

滩^[28];草地在轻牧时,草甸处于禾草矮嵩草时期,随着牧压增大,矮嵩草极易演替成为草甸的优势种,草甸群落进入矮嵩草时期;假如放牧强度继续维持或增大,小嵩草则逐渐演变为优势种,形成小嵩草群落;相反,一旦牧压减轻,小嵩草群落就又会逐渐恢复为禾草矮嵩草群落^[29]。物种丰富度指数表现

为:矮嵩草时期(41)>禾草矮嵩草时期(38)>小嵩草草毡表层加厚期(35)>小嵩草草毡表层开裂期(33),群落物种的多样性随着植被退化程度的加剧而降低,但矮嵩草时期却高于禾草矮嵩草时期,这可能是植被退化演替过程中某些阶段,群落物种数可能会增加(即丰富度指数未必降低)。

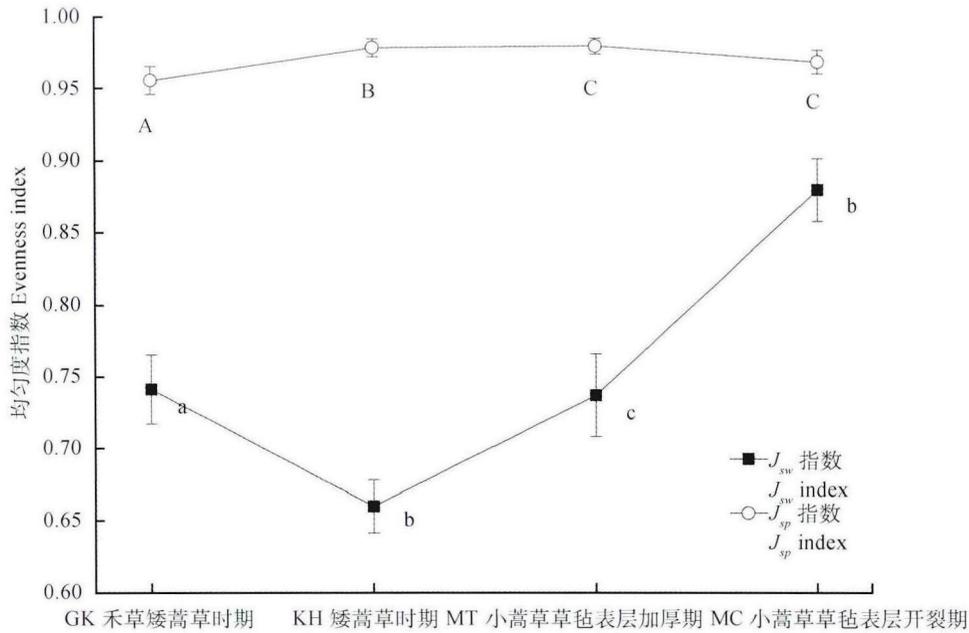


图3 高寒草甸群落均匀度指数变化(平均值加减标准误)

Fig. 3 Variation of evenness in alpine meadow community (mean ± SE)

表1 高寒草甸群落生态优势度指数变化

Table 1 Variations of ecological dominance in alpine meadow community

草地演化阶段 Succession stage	小嵩草草毡表层开裂期 MC	小嵩草草毡表层加厚期 MT	矮嵩草时期 KH	禾草矮嵩草时期 GK
小嵩草草毡表层开裂期 MC	—			
小嵩草草毡表层加厚期 MT	-0.0123*	—		
矮嵩草时期 KH	0.0063	0.0187*	—	
禾草矮嵩草时期 GK	0.1637*	0.0013	0.0399*	—

注释: * 均值差的显著性水平($P < 0.05$)

Note: * significant difference between mean values ($P < 0.05$)

基于 Shannon-Wiener 多样性指数、均匀度指数,矮嵩草时期与小嵩草草毡表层加厚期差异未达显著,其他各个时期差异均达到显著水平。这可能是矮嵩草时期为高寒草甸群落演替的过渡阶段,群落不稳定,物种组分容易发生变化,容易向小嵩草群落演变^[30],而呈现出物种均匀度相近,但矮嵩草时期生态优势度指数要高于小嵩草草毡表层加厚期,矮嵩草时期群落内物种数量分布更不均匀,优势种的地位比小嵩草草毡表层加厚期明显,尽管两个阶段 Shannon-Wiener 均匀度指数差异性不显著。这说明随着草甸退化,植物群落的优势种、常见种和偶见种的差异程

度逐渐变小,群落向物种均匀化方向发展。

4 块样地在不同的放牧压力下,植物群落发生了显著变化,放牧压力最轻时草甸群落停留在青藏高原的地带性植被禾草矮嵩草时期,随着牧压加重,禾草矮嵩草群落向矮嵩草群落转变,群落中矮嵩草、禾草增多,在重牧下继续向小嵩草群落转变,小嵩草、矮嵩草在群落中的重要值增加明显,地位更加突出。这与周兴民等^[31]的研究一致,在轻度放牧下,植物群落以中生多年生禾草为建群种,在重度放牧下,植物群落以耐牧践踏的矮嵩草为建群种。随着牧压加重,草甸群落的多样性、均匀度、生态优势

度都呈现上升趋势。这与史惠兰等^[32]在江河源区的高寒草甸群落特征多样性研究一致,他们提出群落处于退化演替阶段,物种丰富度和多样性增大,但物种的丰富度,我们调查的结果不同于他们,这可能是他们的研究对象是高寒草甸人工草地。本研究多样性最高的是小嵩草草毡表层开裂期(Shannon-Wiener),在4块样地中退化最严重,这与柳小妮^[22]等人在东祁连山高寒草甸的调查一致,他们调查结果为重度退化阶段多样性指数最高,中度退化阶段次之,未退化较低,极度退化阶段最低。当放牧强度增大由 $9.5 \pm 1.8 \sim 17.2 \pm 1.3$ 羊单位 $\cdot \text{ha}^{-1}$,群落建群种发生明显的变化,植被建群种由禾草矮嵩草群落的针茅、羊茅、早熟禾、矮嵩草群落,过渡到矮嵩草群落的藏异燕麦、针茅、矮嵩草、小嵩草群落;到小嵩草草毡表层加厚期,植物建群种则变化为小嵩草、矮嵩草、藏异燕麦;在小嵩草草毡表层开裂期,形成小嵩草、矮嵩草、针茅群落,该结果在同一地形条件下印证了曹广民、杜岩功等^[34]的高寒草甸退化演替过程理论。

高寒嵩草草甸的4个退化演替阶段,多样性指数H, GK显著高于MT, KH,表现出随着草地的退化多样性降低的趋势,多样性指数D在MC与KH, MT与GK差异不明显,但各个时期差异显著。基于Simpson指数的均匀度指数表现出随着草地退化先上升后将降低的趋势,基于Shannon-Wiener多样性指数的均匀度指数表现为先降低再升高;草甸植物群落功能群组成基本一致,都是多年生莎草、禾草和多年生杂类草。但各功能群在群落中所占比重及各功能群内所含物种数则大不相同,群落建群种差异很大。随着退化程度的加剧,物种的优势地位发生了明显改变,原有优势种和牲畜喜食的嵩草属植物和禾草类优良牧草种类减少、优势度降低,成为群落的伴生种类。

参考文献

- [1] 王伯荪,彭少麟. 植被生态学—群落与生态系统[M]. 北京:中国环境科学技术出版社,1997:5-12
- [2] 王献浦,刘玉凯. 生物多样性的理论与实践[M]. 北京:中国环境科学出版社,1994:1-67
- [3] 谢高地,鲁春霞,肖玉,等. 青藏高原高寒草地生态系统服务价值评估[J]. 山地学报,2003,21(1):50-55
- [4] Naeem S, Li S. Biodiversity enhances ecosystem reliability[J]. Nature,1997,390(4):507-509
- [5] Tilman D, Downing J A. Biodiversity and stability in grassland[J]. Nature,1994,367(27):363-365
- [6] 李春刚. 放牧干扰对高寒草甸植物群落特征的影响[J]. 贵州农业科学,2010,38(5):128-132
- [7] 仁青吉,武高林,任国华. 放牧强度对青藏高原东部高寒草甸植物群落特征的影响[J]. 草业学报,2009,18(5):256-261
- [8] 臧岳铭,朱志红,李英年,等. 高寒矮嵩草草甸物种多样性与功能多样性对初级生产力的影响[J]. 生态学杂志,2009,28(6):999-1005
- [9] 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
- [10] 王向涛,张世虎,陈懂懂,等. 不同放牧强度下高寒草甸植被特征和土壤养分变化研究[J]. 草业学报,2010,18(4):510-516
- [11] 崔树娟,布仁巴音,朱小雪,等. 不同季节适度放牧对高寒草甸植物群落特征的影响[J]. 西北植物学报,2014,34(2):349-357
- [12] 王长庭,龙瑞军,王启兰,等. 放牧扰动下高寒草甸植物多样性、生产力对土壤养分条件变化的响应[J]. 生态学报,2008,28(9):4145-4151
- [13] 张伟娜,干珠扎布,李亚伟,等. 禁牧休牧对藏北高寒草甸物种多样性和生物量的影响[J]. 中国农业科技导报,2013,15(3):143-149
- [14] 许岳飞,益西措姆,付娟娟,等. 青藏高原高山嵩草草甸植物多样性和土壤养分对放牧的响应机制[J]. 草地学报,2012,20(6):1026-1032
- [15] 李以康,林丽,张法伟,等. 小嵩草群落-高寒草甸地带性植被放牧压力下的偏途顶极群落[J]. 山地学报,2010,28(3):257-265
- [16] 李以康,林丽,张法伟,等. 嵩草草甸退化和恢复过程中主要牧草演替和地表特征变化[J]. 草业学报,2010,19(5):179-185
- [17] 林丽,李以康,张法伟,等. 高寒矮嵩草群落退化演替系列氮、磷生态化学计量学特征[J]. 生态学报,2013,33(17):5245-5251
- [18] 曹广民,杜岩功,梁东营,等. 高寒嵩草草甸的被动与主动退化分异特征及其发生机理[J]. 山地学报,2007,25(6):641-648
- [19] 任继周. 草业科学研究方法[M]. 北京:中国农业出版社,1998:1-29
- [20] 李永强,许志信. 典型草原区撂荒地植物群落演替过程中物种多样性变化[J]. 内蒙古农业大学学报,2002,23(4):26-31
- [21] 覃林. 统计生态学[M]. 北京:中国林业出版社,2009:61-73
- [22] 柳小妮,孙九林,张德盟,等. 东祁连山不同退化阶段高寒草甸群落结构与植物多样性特征研究[J]. 草业学报,2008,17(4):1-11
- [23] 刘军,陈益泰,罗阳富,等. 毛红椿天然林群落结构特征研究[J]. 林业科学研究,2010,23(1):93-97
- [24] 郝文芳,杜峰,陈小燕,等. 黄土丘陵区天然群落的植物组成、植物多样性及其与环境因子的关系[J]. 草地学报,2012,20(5):609-615
- [25] 许中旗,李文华,许晴,等. 禁牧对锡林郭勒典型草原物种多样性的影响[J]. 生态学杂志,2008,27(8):1307-1312
- [26] 许晴,张放,许中旗,等. Simpson指数和Shannon-Wiener指数若干特征的分析及“稀释效应”[J]. 草业科学,2011,28(4):527-531
- [27] 罗天相,刘莎. 中度放牧干扰对草地生物多样性影响的思考

- [J]. 安徽农业科学, 2007, 35(21): 6567-6568
- [28] 马玉寿, 郎百宁, 王启基. 黑土型”退化草地研究进展工作的回顾与展望[J]. 草业科学, 1999, 16(2): 5-9
- [29] 曹广民, 龙瑞军. 放牧高寒嵩草草甸的稳定性及自我维持机制[J]. 中国农业气象, 2009, 30(4): 553-559
- [30] 林丽, 曹广民, 李以康, 等. 人类活动对青藏高原高寒矮嵩草草甸碳过程的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(15): 4012-4018
- [31] 周兴民, 王启基, 张堰青, 等. 不同放牧强度下高寒草甸植被演替规律的数量分析[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1987, 11(4): 276-285
- [32] 史惠兰, 王启基, 景增春, 等. 江河源区人工草地群落特征、多样性及其稳定性分析[J]. 草业学报, 2005, 14(3): 23-30
- [33] 王文颖, 王启基. 高寒嵩草草甸退化生态系统植物群落结构特征及物种多样性分析[J]. 草业学报, 2001, 10(3): 8-14
- [34] 曹广民, 林丽, 张法伟, 等. 青藏高原高寒矮嵩草草甸稳定性的维持、丧失与恢复[J]. 草业科学, 2010, 27(8): 34-38

(责任编辑 赵 欢)