

DOI:10.11829/j.issn.1001-0629.2017-0634

刘娜,白可喻,杨云卉,张睿洋,韩国栋.放牧对内蒙古荒漠草原草地植被及土壤养分的影响.草业科学,2018,35(7):1323-1331.

Liu N, Bai K Y, Yang Y H, Zhang R Y, Han G D. Effect of grazing on vegetation and soil nutrients of a desert steppe in Inner Mongolia. Pratacultural Science, 2018, 35(7): 1323-1331.



放牧对内蒙古荒漠草原草地植被及土壤养分的影响

刘娜¹, 白可喻^{1,2}, 杨云卉¹, 张睿洋³, 韩国栋³

(1. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 2. 国际生物多样性中心东亚办事处, 北京 100081;
3. 内蒙古农业大学生态环境学院, 内蒙古 呼和浩特 010021)

摘要:以内蒙古荒漠草原为研究对象,分析一个生长季内不同放牧强度下荒漠草原植被和土壤养分变化状况。试验设置禁牧(CK)、轻度放牧(LG)、中度放牧(MG)和重度放牧(HG)4个放牧梯度。结果表明,随着放牧强度的增加,草地植被地上生物量减少,且生长旺季(8月),轻度放牧、中度放牧和重度放牧比禁牧分别降低了7.47%、41.96%和51.75%;草地植被群落生物多样性变化不显著($P>0.05$);植被物种丰富度随着放牧强度增加而下降;放牧强度对土壤有机质和土壤全氮无显著影响;植被群落生物多样性与表层土壤有机质呈负相关关系。

关键词:荒漠草原;放牧;地上生物量;多样性;土壤养分

中图分类号:S812.2 文献标志码:A 文章编号:1001-0629(2018)06-1323-09

Effect of grazing on vegetation and soil nutrients of a desert steppe in Inner Mongolia

Liu Na¹, Bai Ke-yu^{1,2}, Yang Yun-hui¹, Zhang Rui-yang³, Han Guo-dong³

(1. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. Bioversity International East Asia office, Beijing 100081, China;
3. College of Ecology and Environment Science of Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010021, Inner Mongolia, China)

Abstract: The effect of grazing on vegetation and soil nutrients during growing season were examined in a desert steppe in Inner Mongolia. There were four treatments; no grazing (CK), light grazing (LG), moderate grazing (MG), and heavy grazing (HG). The results of the study indicated that with increased grazing intensity, the aboveground biomass declined significantly. In August, as compared with CK, the aboveground biomass of LG, MG, HG decreased by 7.47%, 41.96%, and 51.75%, respectively. There was no significant change in the biodiversity of grassland vegetation communities; however, with increased grazing intensity, the richness decreased. Grazing intensity had no significant impact on soil organic matter and total nitrogen in the short term. The biodiversity of grassland and the organic matter in the surface of the soil were negatively correlated.

Key words: desert steppe; grazing; aboveground biomass; diversity; soil nutrient

Corresponding author: Bai Ke-yu E-mail: kybai@caas.net.cn

收稿日期:2017-11-17 接受日期:2018-03-15

基金项目:国家行业公益项目(201003019)

第一作者:刘娜(1990-),女,河南信阳人,在读博士生,主要从事草地生态和农业生态方面的研究。E-mail: liuna900207@126.com

通信作者:白可喻(1971-),女,内蒙古呼和浩特人,副研究员,博士,主要从事草地资源利用和保护方面的研究。E-mail: kybai@caas.net.cn

<http://cykx.lzu.edu.cn>

草地资源是牧民赖以生存的环境基础,但近年来随着人口数量的剧增和人们对草地资源的过度开发利用,草地生态系统遭到严重破坏。放牧是草地最常见的一种利用方式,对草地植被及土壤养分都会产生直接或间接的影响^[1]。近年来围绕放牧已有大量研究,草原生态系统碳储量动态变化^[2],植被群落生物多样性和功能群^[3],土壤水分空间异质性^[4]等都是研究的热点问题。大多数研究表明,随着载畜率增加草地地上生物量显著下降^[5-7],植被群落生物多样性随着放牧强度增加而降低^[8],同时放牧也加快了土壤养分的周转、养分输出量的增加和土壤肥力的下降^[9-10]。但也有学者提出中度干扰假说理论,认为适度的放牧反而更有利于草地生态系统的发展,在中度放牧压力下草地的净初级生产力^[11]、根系生物量^[12]和草地植物群落多样性^[13]反而最高。

荒漠草原生态系统作为最脆弱的生态系统之一,生境恶劣,抗干扰能力弱,对荒漠草原的保护和利用已经越来越受到人们的重视。尤其是如何提高草地生产力和家畜产量及品质是牧民最为关心的问题。四子王旗地处我国农牧交错带的中段,作为内蒙古最大的农牧结合旗,在整个农牧交错带中属最为脆弱和贫困的地区之一^[14]。四子王旗主要以荒漠草原为主,严酷的自然环境加上人类的干扰,使得草原植被种类越来越贫乏,草地生产力不断下降,草地生态破坏严重,保护草原迫在眉睫。目前围绕草地生产力和土壤养分的研究比较多,但是对于荒漠草原植被生物多样性,以及其与土壤养分之间关系的研究还比较少,如何通过管理放牧提高草地生态稳定性是研究的重点。本研究通过

对不同放牧压力下草地生产力、草地植被物种多样性、土壤养分以及对这些指标间关系的分析,旨在为荒漠草原的放牧管理、生态保护及恢复提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本研究选取的试验样地位于内蒙古自治区乌兰察布市四子王旗农牧科学院试验基地(41°47'17" N, 110°53'46" E)。样地深处欧亚大陆腹地,温带半干旱大陆性季风气候区,属于典型的大陆性干旱气候。四季分明,冬季寒冷漫长,春季干旱多风,夏季炎热短促。降水主要集中在6、7、8、9月,6—9月平均温度最高,气温日较差大,雨热同期。年均降水量为280 mm,降水主要集中在7、8月份,降水量均超过500 mm。蒸发量远大于降水量。试验期间四子王旗降水量低于多年平均水平,2014年属于干旱的一年,年均降水量仅有236 mm(图1)。该地区草地类型为短花针茅(*Stipa breviflora*) + 冷蒿(*Artemisia frigida*) + 无芒隐子草(*Cleistogenes songorica*)。植被层低矮稀疏,种类组成较贫乏。土壤主要为淡栗钙土,含沙量大且疏松。土壤贫瘠,有机质含量低,处于少氮、低磷、高钾状态^[15]。植被稀疏,拦截水土流失能力较差,故而水土流失较严重。

1.2 试验设计

1.2.1 样地设置 从2004年6月开始进行放牧试验,放牧小区总面积约50 hm²。试验采用完全随机区组设计,设置4个载畜率水平,即禁牧(CK)、轻度放牧(LG)、中度放牧(MG)和重度放牧(HG),每个处理

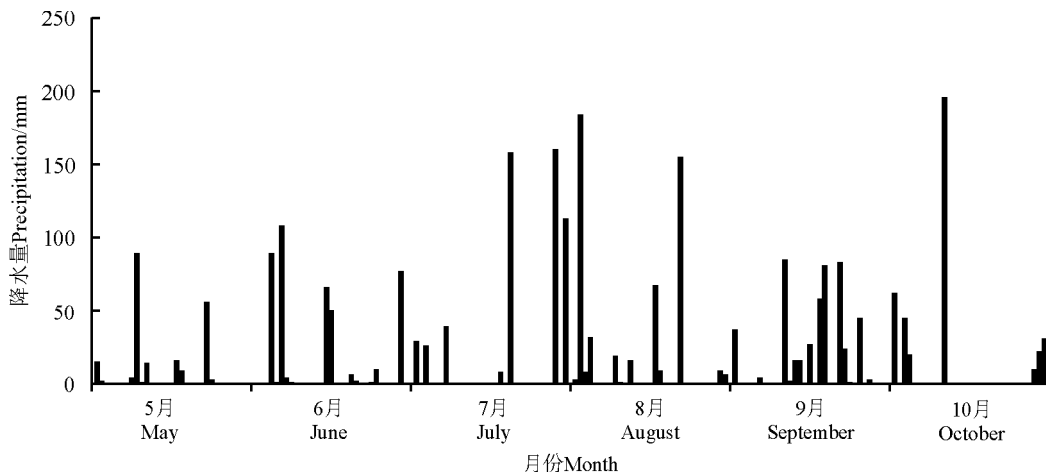


图1 2014年降水量的月季动态变化

Fig. 1 Monthly dynamic changes in precipitation

3 个重复。根据卫智军等^[16]对内蒙古短花针茅草原载畜量的研究,结合实地调查结果,载畜率设定为每半年 0 (CK)、0.91 (LG)、1.82 (MG) 和 2.71 (MG) 羊单位·hm⁻²。家畜品种为当地成年蒙古羯羊。

1.2.2 样品采集与测定方法 2014 年 5 月放牧开始到 10 月放牧结束,每个月对每个处理小区随机选 10 个 0.5 m×0.5 m 的样方进行样方描述,记录植物群落的种类、盖度、高度和多度,并分种齐地面刈割,取其地上生物量并收集凋落物,带回实验室于 65 °C 烘箱烘干至恒重后取出,称取重量,用于计算草地群落地上生物量。8 月份在采样的同时对每个小区分层取 0—10、10—20、20—30 和 30—40 cm 土层土壤,3 次重复,带回实验室测定土壤有机质和全氮含量。采用重铬酸钾法测定土壤有机质,采用凯氏定氮法测定土壤全氮^[17]。

草地生物多样性用物种丰富度指数、香农—威尔多样性指数 (Shannon-Wiener)、Pielou 均匀度指数和 Simpson 生态优势度指数表示,物种丰富度指数为每一个样方中物种总数。

Shannon-Wiener 多样性指数:

$$H = - \sum P_i \ln P_i \quad (1)$$

Pielou 均匀度指数:

$$E = H / \ln S \quad (2)$$

Simpson 生态优势度指数:

$$\lambda = 1 - \sum_{i=1}^s P_i^2 \quad (3)$$

式中: P_i 为样区内第 i 类群的个体数 (N_i) 与群落中总

个体数量 (N) 的比值, $P_i = N_i / N$, S 为群落中物种数目。

1.3 数据处理

用 Excel 2013 对数据进行初步处理,利用 SPSS 统计分析软件对草地群落地上生物量,草地植物物种多样性指数以及土壤有机质、全氮进行单因素方差分析,并分析载畜率及时间二者的交互作用对草地群落地上生物量和群落物种多样性的影响。同时对 8 月份草地植物物种多样性指数和表层土壤养分进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 载畜率对草地群落地上生物量的影响

四子王旗荒漠草原一般 5 月份开始返青,进入生长季,8 月份生长达到高峰,10 月份进入生长季末期 (图 2)。5、6、7 月,放牧草地群落地上生物量均显著低于 CK ($P < 0.05$)。5 月份, HG 群落地上生物量水平显著低于 LG 和 MG ($P < 0.05$)。6、7 月份, LG 草地群落地上生物量显著高于 MG 和 HG ($P < 0.05$)。8 月份, CK 和 LG 群落地上生物量无显著差异 ($P > 0.05$), 但均高于 MG 和 HG, LG、MG 和 HG 分别比 CK 降低了 7.47%、41.96% 和 51.75%。9 月份, HG 群落地上生物量显著低于其他 3 个放牧强度 ($P < 0.05$), MG 草地也显著低于 CK 和 LG ($P < 0.05$)。10 月份放牧草地草地群落地上生物量显著低于 CK ($P < 0.05$), MG 和 HG 群落地上生物量显著低于 LG ($P < 0.05$)。

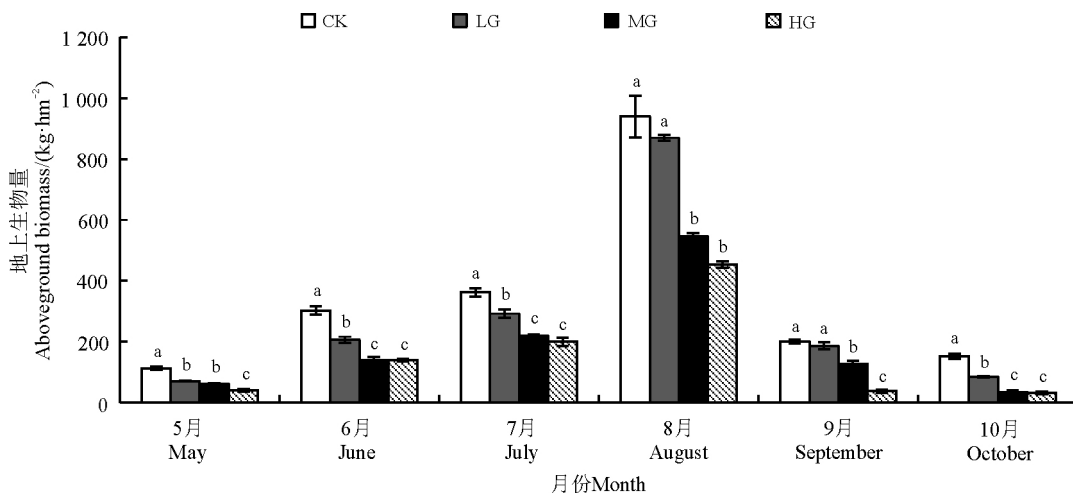


图 2 不同放牧强度草地群落地上净初级生产力月动态变化

Fig. 2 The community aboveground net primary productivity for different stocking rate during the grazing period

CK, 禁牧; LG, 轻度放牧; MG, 中度放牧; HG, 重度放牧; 同一月份不同小写字母表示不同放牧强度间差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

CK, enclosure; LG, light grazing; MG, moderate grazing; HG, heavy grazing. Different lowercase letters of same month indicate significant differences at the 0.05 level; similarly for the following figures and tables.

2.2 载畜率对草地群落生物多样性指数的影响

各放牧梯度下植物群落 Shannon-Wiener 指数均在 8 月份达到最高值,显著高于 10 月份 ($P < 0.05$)。放牧期间均以 CK 草地植物群落 Shannon-Wiener 指数最高,显著高于 HG ($P < 0.05$)。8 月份 MG 放牧下植物群落 Shannon-Wiener 指数高于 LG 和 HG,但差异不显著 ($P > 0.05$)。除 8 月份外,植物群落 Shannon-Wiener 指数随着放牧强度增加而降低(表 1)。

5、6、9、10 月份, MG 均匀度指数最高,显著高于 HG ($P < 0.05$)。7 月份, CK 均匀度指数最高,显著高于 HG ($P < 0.05$),但与 LG 和 MG 无显著差异。8 月份,各处理间草地植被均匀度指数无显著差异, CK 和 MG 植被均匀度几乎一样,但高于 LG 和 HG。CK、LG 和 HG,各月份之间均匀度指数均无显著差异。MG 草地,7 月份和 8 月份草地群落均匀度指数显著低于其他月份 ($P < 0.05$) (表 2)。

所有处理的植物群落丰富度指数均在 8 月份到达最大值。同一月份植物群落丰富度指数随着放牧强度的增加而降低,其中 5 月份、6 月份和 8 月份, CK 植物群落丰富度指数显著高于放牧草地 ($P < 0.05$)。10 月份各处理间植被丰富度指数差异不显著 ($P > 0.05$)

(表 3)。

8 月份几乎所有处理的 Simpson 优势度指数均达到最大值,10 月份最小。同一月份以 CK 最高, HG 最低。其中 5、8、9 和 10 月份, MG 均高于 LG 和 HG。6 和 7 月份 Simpson 优势度指数随着放牧强度的增加而降低(表 4)。

2.3 载畜率对土壤养分的影响

相同放牧压力下,表层(0—10 cm)土壤有机质含量最高。0—10 cm 土层,不同放牧强度下土壤有机质差异不显著 ($P > 0.05$), HG 草地土壤有机质含量最高, CK 最低。10—20 cm 土层, MG 土壤有机质含量最高,显著高于 LG 草地 ($P < 0.05$)。20—30 cm 土层, CK 土壤有机质含量显著高于放牧草地 ($P < 0.05$)。30—40 cm 土层,各处理间土壤有机质含量差异不显著 ($P > 0.05$), LG 最高, MG 最低(图 3)。

同放牧压力下,土壤全氮随着土层深度的加深而减少。0—10 cm 土层,各处理间差异不显著 ($P > 0.05$), HG 最高。10—20 cm 土层 LG 显著高于 MG ($P < 0.05$)。20—30 cm 各放牧梯度间差异不显著。30—40 cm 土层各放牧梯度间差异不显著 ($P < 0.05$), CK 最高(图 4)。

表 1 不同放牧强度植物群落 Shannon-Wiener 指数月动态

Table 1 Monthly dynamic changes in the Shannon-Wiener index for different stocking rates during the grazing period

放牧强度 Grazing gradient	5月 May	6月 June	7月 July	8月 August	9月 September	10月 October
CK	1.12±0.01ABa	1.25±0.11ABa	1.17±0.18ABa	1.40±0.12Aa	1.19±0.05ABa	0.81±0.29Ba
LG	0.85±0.06Ab	0.97±0.05Ab	1.01±0.13Aab	1.08±0.08Ab	1.03±0.05Aab	0.44±0.08Bab
MG	0.81±0.09BCb	0.82±0.07BCb	0.66±0.08Cb	1.17±0.10Aab	0.98±0.08ABbc	0.35±0.11Dab
HG	0.80±0.07Ab	0.57±0.06Bc	0.61±0.03Bb	0.96±0.06Ab	0.82±0.05Ac	0.19±0.03Cb

%

同行不同大写字母表示相同放牧强度不同月份之间差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

Different capital letters indicate significant differences among different month in the same stocking rate at the 0.05 level; similarly for the following tables.

表 2 不同放牧强度植物群落均匀度指数月动态

Table 2 The monthly dynamic change of Pielou index in different stocking rate during the grazing period

放牧强度 Grazing gradient	5月 May	6月 June	7月 July	8月 August	9月 September	10月 October
CK	0.84±0.01Aab	0.86±0.01Aa	0.88±0.02Aa	0.81±0.03Aa	0.85±0.01Aab	0.86±0.02Aa
LG	0.81±0.02Ab	0.85±0.01Aa	0.84±0.01Aa	0.78±0.02Aa	0.80±0.03Abc	0.83±0.04Aab
MG	0.90±0.01Aa	0.90±0.01Aa	0.85±0.02BCa	0.81±0.01Ca	0.89±0.01Aa	0.92±0.02Aa
HG	0.63±0.03Ac	0.74±0.03Ab	0.76±0.03Ab	0.75±0.01Aa	0.77±0.02Ac	0.68±0.08Ab

%

表 3 不同放牧强度植物群落丰富度指数月动态

Table 3 The monthly dynamic change of richness index in different stocking rate during the grazing period

放牧强度 Grazing gradient	5 月 May	6 月 June	7 月 July	8 月 August	9 月 September	10 月 October
CK	4.23±0.28Ba	4.67±0.35ABa	4.10±0.61Ba	6.10±0.55Aa	4.37±0.19Ba	3.03±0.90Ba
LG	3.30±0.15Bb	3.27±0.12Bb	3.30±0.32Bab	4.60±0.26Ab	3.73±0.33ABab	1.93±0.28Ca
MG	2.93±0.50Bb	2.97±0.48Bb	2.30±0.23BCb	4.33±0.42Ab	3.13±0.29Bbc	1.57±0.19Ca
HG	2.63±0.18Bb	2.40±0.17Bb	2.53±0.33Bb	3.57±0.41Ab	2.60±0.21Bc	1.37±0.07Ca

表 4 不同放牧强度植物群落优势度指数月动态

Table 4 The monthly dynamic change of dominance index in different stocking rate during the grazing period

放牧强度 Grazing gradient	5 月 May	6 月 June	7 月 July	8 月 August	9 月 September	10 月 October
CK	0.59±0.01Aa	0.65±0.05Aa	0.64±0.08Aa	0.67±0.04Aa	0.57±0.04Aa	0.55±0.05Aa
LG	0.49±0.03Ab	0.55±0.03Aab	0.58±0.06Aab	0.57±0.04Aa	0.54±0.04Ba	0.28±0.05Bbc
MG	0.50±0.03Bb	0.49±0.03Bb	0.48±0.03Bab	0.62±0.03Aa	0.57±0.03ABa	0.34±0.02Cb
HG	0.49±0.03ABb	0.33±0.04Cc	0.40±0.04BCb	0.55±0.03Aa	0.48±0.03ABa	0.16±0.01Dc

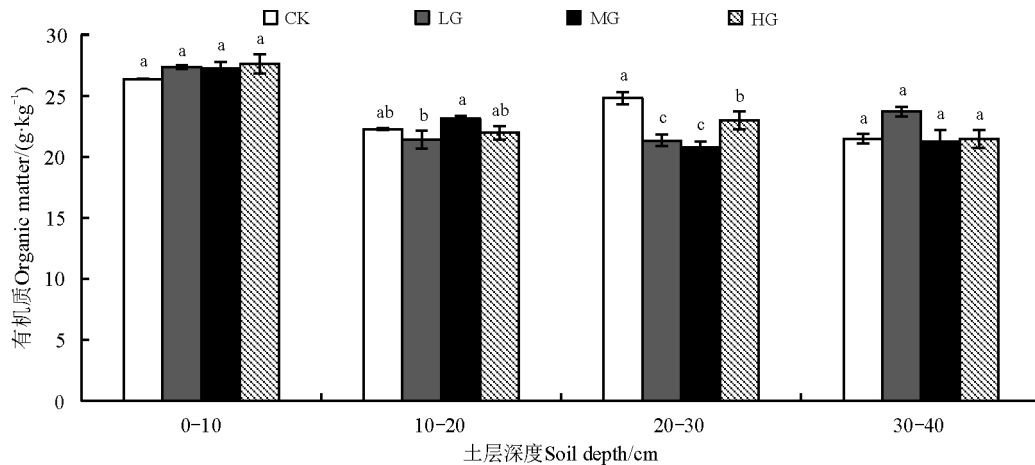


图 3 不同放牧强度不同土层在放牧期间土壤有机质含量变化

Fig. 3 Soil organic matter of different depth in different stocking rate during grazing period

2.4 草地群落生物多样性及表层土壤养分的皮尔森 (Pearson) 相关性分析

草地植被的生长与表层土壤养分有紧密的关系,对草地群落生物多样性和土壤表层有机质及全氮进行相关分析,结果显示,草地群落生物多样与表层土壤有机质呈负相关关系,均匀度指数与表层土壤全氮呈负相关关系(表 5)。

3 讨论与结论

3.1 放牧对草地群落地上生物量的影响

放牧对草地生态系统的影响最直观的反映是草地植被的变化。植物生产力分为地上部分和地下部分,而地上部分生物量是衡量草地生态系统是否健康的重要指标。草地类型、放牧强度和放牧时间的差异以及

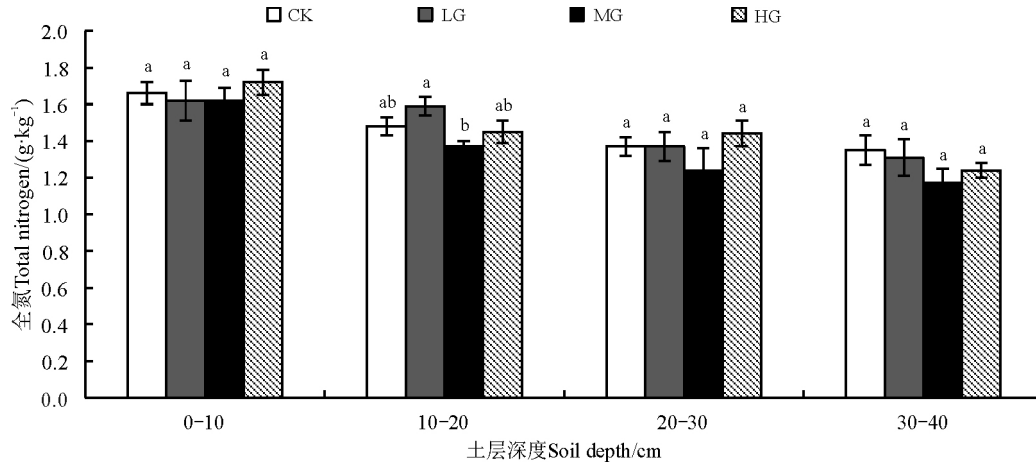


图4 不同放牧强度不同土层在放牧期间土壤全氮含量变化

Fig. 4 Soil total nitrogen of different depth in different stocking rate during grazing peiod

表5 草地植被指标及土壤养分的皮尔森(Pearson)相关性分析

Table 5 Pearson correlation coefficients of vegetation index and soil nutrient

指标 Parameter	Shannon-Wiener 指数 Shannon- Wiener index	丰富度指数 Richness index	优势度指数 Dominance index	均匀度指数 Pielou index	有机质 Organic matter (0-10 cm)	全氮 Total nitrogen (0-10 cm)
Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	1.000					
丰富度指数 Richness index	0.923**	1.000				
优势度指数 Dominance index	0.961**	0.804**	1.000			
均匀度指数 Pielou index	0.500	0.307	0.553	1.000		
有机质 Organic matter (0-10 cm)	-0.474	-0.443	-0.451	-0.365	1.000	
全氮 Total nitrogen(0-10 cm)	0.239	0.251	0.194	-0.533	0.577*	1.000

气候变化等都会影响研究结果。有学者认为,适度的放牧反而能促进草地生态系统的健康发展,家畜采食行为在一定程度上刺激了植物的生长,同时抑制了优势种对草地资源的竞争,群落中耐牧性强的物种增加,有利于维持草地生态系统的稳定性^[18-19]。在中度放牧压力下,草地净初级生产力^[11]和根系生物量^[12]达到最高水平。然而目前大部分研究认为随着放牧强度的增加,草地群落生物量呈下降趋势。董全民等^[5]通过对草甸草原的放牧研究发现,放牧强度对暖季型牧场上生物量有极显著的影响,而对冷季型牧场影响不显著。李凤霞等^[20]和高永恒等^[21]发现高寒草甸草原在封育条件下草地生物量最高。在宁夏荒漠草原,重度、中度和轻度放牧草地地上生物量分别比禁牧区降低了43.8%、42.0%和15.4%^[13]。本研究中,草地群落地上生物量随放牧强度增加显著降低,与前人研究结果基本一致^[3,12]。荒漠草原生态系统较为脆弱,对放牧强度的变化反应更敏感,家畜采食行为降低了草

地群落地上生物量。

3.2 放牧对草地生物多样性的影响

家畜主要通过采食影响草地群落生物多样性^[22],适口性好的植物往往更容易被家畜采食而数量减少。随着放牧强度的增加,植物多样性和均匀度指数呈下降趋势,群落优势度反而增加^[8]。持续重牧会导致草地物种丰富度和多样性显著降低^[23]。但有学者认为,在缺乏干扰的情况下,植物种内竞争更激烈,一些竞争力弱的物种就会被排除系统外或消失,植物生物多样性降低,这一假说先后在青藏高原北部高寒草甸、东北草原、海北高寒草甸草原和内蒙古草甸草原中关于植物多样性和放牧强度的关系中得到验证^[24-29]。还有研究发现,草地植物群落多样性和均匀度在重度放牧下最高^[13]。本研究中禁牧区物种丰富度、Shannon-Wiener指数和Simpson优势度指数均高于其他处理。

3.3 放牧对土壤养分的影响

放牧不仅会干扰植被的生长,也会影响土壤的

理化性质及土壤微生物的活动。家畜主要通过践踏、采食和排泄粪便等行为改变草地土壤容重和养分等^[30]。轻度放牧压力下,羊草草原土壤中氮素转化细菌显著增加,促进了土壤氮素的循环^[31]。放牧模式也会影响土壤养分含量,在青藏高原,全年放牧加快了土壤养分的周转和养分输出量,导致土壤肥力下降,草地发生退化^[9]。荒漠草原土壤碳和氮的含量会随放牧强度的增加而减少^[10]。不同土层土壤受放牧强度的影响也不相同^[2,32],土壤表层有机质含量随土层加深而下降,轻度放牧土壤有机质含量较不放牧草地土壤更高^[33]。

本研究通过分析草地群落一个生长季中放牧对土壤养分的影响,发现各放牧梯度间土壤有机质含量和全氮含量差异不显著,但是重度放牧下表层土壤有机质含量和全氮略高于其他处理。初步分析,造成这种变化的主要原因是家畜排泄的粪便还停留在土壤表

层,表层土壤有机质积累较多,故而表层土壤有机质含量最高。随着放牧家畜数量增多,家畜粪便也增多,而土壤化学元素循环需要较长周期,故而表层土壤养分有机质和全氮含量稍高。也可能是2014年较往年干旱,植被严重干枯,家畜践踏也会破坏植被本身的结构,同时也会使草地凋落物碎化,加速植物残体的分解,促进养分循环^[34],但是这种差异不显著。因此,放牧对土壤物理化学性质的影响还需要更长时间尺度的探究。

研究还发现草地植被群落生物多样性指数与表层土壤有机质呈负相关关系,可能是草地生态系统为了维持植被生物多样性及其生态功能,消耗了土壤中的养分。但是群落生物多样性与土壤理化性状并不是简单的线性关系,生物多样性水平较高时,植被群落盖度高,生态系统稳定性好,也能改善土壤理化性状。这与前人的研究结果相似^[35]。

参考文献 References:

- [1] 泽让东科,文勇立,艾鹭,赵洪文,陈有军.放牧对青藏高原高寒草地土壤和生物量的影响.草业科学,2016,33(10):1975-1980.
Tserang Donko Mipam, Wen Y L, Ai Y, Zhao H W, Chen Y J. Impact of different grazing intensity on soil physical properties and plant biomass in Qinghai-Tibet Plateau alpine meadow ecosystem, Pratacultural Science, 2016, 33(10):1975-1980. (in Chinese)
- [2] 胡向敏,侯向阳,丁勇,陈海军,运向军,武自念.不同放牧制度下短花针茅荒漠草原生态系统碳储量动态.中国草地学报,2014,36(5):6-11.
Hu X M, Hou X Y, Ding Y, Chen H J, Yun X J, Wu Z N. Dynamics of organic carbon storage in *Stipa breviflora* desert steppe ecosystem under different grazing systems. Chinese Journal of Grassland, 2014, 36(5):6-11. (in Chinese)
- [3] 韩梦琪,王忠武,靳宇曦,康静,李江文,王悦华,王舒新,韩国栋.短花针茅荒漠草原物种多样性及生产力对长期不同放牧强度的响应.西北植物学报,2017,37(11):2273-2281.
Han M Q, Wang Z W, Jin Y X, Kang J, Li W J, Wang Y H, Wang S X, Han G D. Response of species diversity and productivity to Long-term grazing in the *Stipa breviflora* desert stepp. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2017, 37(11):2273-2281. (in Chinese)
- [4] 王亚婷,张宇,杜宇凡,王玺,赵天启,古琛,陈万杰,赵萌莉.不同载畜率下短花针茅草原土壤水分空间异质性的分析.草业科学,2017,34(6):1159-1167.
Wang Y T, Zhang Y, Du Y F, Wang X, Zhao T Q, Gu C, Chen W J, Zhao M L. Spatial heterogeneity of soil moisture in *Stipa breviflora* grasslands under different stocking rates. Pratacultural Science, 2017, 34(6):1159-1167. (in Chinese)
- [5] 董全民,赵新全,李青云,马玉寿,王启基,施建军.牦牛放牧率与小嵩草高寒草甸暖季草地地上、地下生物量相关分析.草业科学,2005,22(5):65-71.
Dong Q M, Zhao X Q, Li Q Y, Ma Y S, Wang Q J, Shi J J. Regressive analysis between stocking rate for yak and aboveground and underground biomass of warm-season pasture in *Kobresia parva* alpine meadow. Pratacultural Science, 2005, 22(5):65-71. (in Chinese)
- [6] 刘建军,浦野忠朗,鞠子茂,及川武久.放牧对草原生态系统地下生产力及生物量的影响.西北植物学报,2005,25(1):88-93.
Liu J J, Urano Tadaaki, Mariko Shigeru, Oikawa Takehisa. Influence of grazing pressures on belowground productivity and biomass in Mongolia Steppe. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2005, 22(1):88-93. (in Chinese)
- [7] 董全民,赵新全,马玉寿,施建军,王彦龙,李世雄,杨时海,王柳英,盛丽.放牧对小嵩草草甸生物量及不同植物类群生长率和补偿效应的影响.生态学报,2012,32(9):2640-2650.
Dong Q M, Zhao X Q, Ma Y S, Shi J J, Wang Y L, Li S X, Yang S H, Wang L Y, Sheng L. Influence of grazing on biomass,

- growth ratio and compensatory effect of different plant groups in *Kobresia parva* meadow. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(9): 2640-2650. (in Chinese)
- [8] 汪诗平, 李永宏, 王艳芬, 陈佐忠. 不同放牧率对内蒙古冷蒿草原植物多样性的影响. *植物学报*, 2001, 45(1): 89-96.
Wang S P, Li Y H, Wang Y F, Chen Z Z. Influence of different stocking rates on plant diversity of *Artemisia frigida* community in Inner Mongolia Steppe. *Bulletin of Botany*, 2001, 45(1): 89-96. (in Chinese)
- [9] 何永贵, 孙浩志, 史小明, 齐威, 杜国祯. 青藏高原高寒湿地不同季节土壤理化性质对放牧模式的响应. *草业学报*, 2015, 24(4): 12-20.
He G Y, Sun H Z, Shi X M, Qi W, Du G Z. Soil properties of Tibetan Plateau alpine wetland affected by grazing and season. *Acta Prataculturae Sinica*, 2015, 24(4): 12-20. (in Chinese)
- [10] 红梅, 余娜, 赵宏儒, 胡吉亚, 韩国栋. 放牧对土壤碳、氮含量空间变异的影响. *草业科学*, 2013, 30(4): 521-527.
Hong M, Yu N, Zhao H R, Hu J Y, Han G D. Effects of grazing intensity on spatial variation of organic carbon and total nitrogen contents of soil. *Pratacultural Science*, 2013, 30(4): 521-527. (in Chinese)
- [11] 锡林图雅, 徐柱, 郑阳. 不同放牧率对内蒙古克氏针茅草原地下生物量及地上净初级生产量的影响. *中国草地学报*, 2009, 31(3): 26-29.
Xilintuya, Xu Z, Zheng Y. Influence of different stocking rates on underground biomass and net primary productivity on *Stipa krylovii* Steppe in Inner Mongolia. *Chinese Journal of Grassland*, 2009, 31(3): 26-29. (in Chinese)
- [12] 董亭, 李群, 赵萌莉, 贾乐, 阿穆拉, 韩国栋, 白玮杰. 放牧对大针茅根系生物量影响的研究. *草地学报*, 2011, 13(2): 237-241.
Dong T, Li Q, Zhao M L, Jia L, Amule, Han G D, Bai W J. Effect of grazing intensity on root biomass of *Stipa grandis*. *Acta Agrectir Sinica*, 2011, 13(2): 237-241. (in Chinese)
- [13] 安慧, 李国旗. 放牧对荒漠草原植物生物量及土壤养分的影响. *植物营养与肥料学报*, 2013, 19(3): 705-712.
An H, Li G Z. Effect of grazing on plant biomass and soil nutrient in desert steppe. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2013, 19(3): 705-712. (in Chinese)
- [14] 武艳萍, 潘学标. 四子王旗生物气候资源及其变异分析. *干旱区资源与环境*, 2005, 19(1): 126-130.
Wu Y P, Pan X B. Analysis on biologic climate resources and its changes in Siziwangqi. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2005, 19(1): 126-130. (in Chinese)
- [15] 宋艳华. 荒漠草原家庭牧场资源优化配置管理经济模式分析. 呼和浩特: 内蒙古农业大学硕士学位论文, 2012.
Song Y H. Management and economic mode on optimal resources allocation of household ranch in desert steppe. Master Thesis. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2010. (in Chinese)
- [16] 卫智军, 韩国栋, 杨静, 吕雄. 短花针茅荒漠草原植物群落特征对不同载畜率水平的响应. *中国草地学报*, 2000, 22(6): 1-5.
Wei Z J, Han G D, Yang J, Lyu X. The response of *Stipa breviflora* community to stocking rate. *Chinese Journal of Grassland*, 2000, 22(6): 1-5. (in Chinese)
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 1999.
Bao S D. Soil Agro-chemical Analysis. Beijing: China Agriculture Press, 1999. (in Chinese)
- [18] 郑群英, 刘刚, 肖冰雪, 陈莉敏, 陈立坤, 张洪轩, 倪泽霖. 放牧对川西北高寒草甸植物物种丰富度和生物量的影响. *草业科学*, 2017, 34(7): 1390-1396.
Zheng Q Y, Liu G, Xiao B X, Chen L M, Chen L K, Zhang H X, Ni Z L. Effect of grazing intensity on species richness and biomass of alpine meadow in northwest Sichuan. *Pratacultural Science*, 2017, 34(7): 1390-1396. (in Chinese)
- [19] 张小红, 宋彦涛, 乌云娜, 霍光伟, 张凤杰, 王晓光, 邱择雷. 放牧强度对克氏针茅草原植物功能群的影响. *草业科学*, 2017, 34(10): 2033-2041.
Zhang X H, Song Y T, Wu Y N, Huo G W, Zhang F J, Wang X G, Di Z L. Effects of grazing intensity on plant functional groups of *Stipa krylovii* steppe. *Pratacultural Science*, 2017, 34(10): 2033-2041. (in Chinese)
- [20] 李凤霞, 李晓东, 周秉荣, 祁栋林, 王力, 傅华. 放牧对三江源典型高寒草地生物量和土壤理化特征的影响. *草业科学*, 2015, 32(1): 11-18.
Li F X, Li X D, Zhou B R, Qi D L, Wang L, Fu H. Effects of grazing intensity on biomass and soil physical and chemical characteristics in alpine meadow in the source of here rivers. *Pratacultural Science*, 2015, 32(1): 11-18. (in Chinese)
- [21] 高永恒, 陈槐, 罗鹏, 吴宁, 王根绪. 放牧对川西北高寒草甸植物生物量及其分配的影响. *生态与农村环境学报*, 2008, 24(3): 26-32.
Gao Y H, Chen H, Luo P, Wu N, Wang G X. Effect of grazing intensity on biomass of alpine meadow and its allocation in

- northwestern Sichuan. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2008, 24(3): 26-32. (in Chinese)
- [22] Ellison L. The influence of grazing on plant succession. *Botanical Review*, 1960, 26: 78.
- [23] 赵哈林, 大黑俊哉, 李玉霖, 左小安, 黄刚, 周瑞莲. 人类放牧活动与气候变化对科尔沁沙质草地植物多样性的影响. *草业学报*, 2008, 17(5): 1-8.
- Zhao H L, Okuro Toshiya, Li Y L, Zuo X A, Huang G, Zhou R L. Effects of human activities and climate changes on plant diversity in Horqin sandy grassland, Inner Mongolia. *Acta Prataculturae Sinica*, 2008, 17(5): 1-8. (in Chinese)
- [24] 江小蕾, 张卫国, 杨振宇, 王刚. 不同干扰类型对高寒草甸群落结构和植物多样性的影响. *西北植物学报*, 2003, 23(9): 1479-1485.
- Jiang X L, Zhang W G, Yang Z Y, Wang G. The influence of disturbance on community structure and plant diversity of alpine meadow. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2003, 23(9): 1479-1485. (in Chinese)
- [25] 段敏杰, 高清竹, 万运帆, 李玉娥, 郭亚奇, 旦久罗布, 洛桑加措. 放牧对藏北紫花针茅高寒草原植物群落特征的影响. *生态学报*, 2010, 30(14): 3892-3900.
- Duan M J, Gao Q Z, Wan Y F, Li Y E, Guo Y Q, Danjiuluobu, Luosangjiacuo. Effect of grazing on community characteristics and species diversity of *Stipa purpurea* a Ipine grassland in Northern Tibet. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(14): 3892-3900. (in Chinese)
- [26] 杨利民, 韩梅, 李建东. 中国东北样带草地群落放牧干扰植物多样性的变化. *植物生态学报*, 2001, 25(1): 110-114.
- Yang L M, Han M, Li J D. Plant diversity change in grassland communities along a grazing disturbance gradient in the north-east China transect. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2001, 25(1): 110-114. (in Chinese)
- [27] 刘颖, 王德利, 王旭, 巴雷, 孙伟. 放牧强度对羊草草地植被特征的影响. *草业学报*, 2002, 11(2): 22-28.
- Liu Y, Wang D L, Wang X, Ba L, Sun W. The effect of grazing intensity vegetation characteristics in *Leymus chinensis* grassland. *Acta Prataculturae Sinica*, 2002, 11(2): 22-28. (in Chinese)
- [28] 袁建立, 江小蕾, 黄文冰, 王刚. 放牧季节及放牧强度对高寒草地植物多样性的影响. *草业学报*, 2004, 13(3): 16-21.
- Yuan J L, Jiang X L, Huang W B, Wang G. Effects of grazing intensity and grazing season on plant species diversity in alpine meadow. *Acta Prataculturae Sinica*, 2004, 13(3): 16-21. (in Chinese)
- [29] 郑淑华, 郭慧清, 赵萌莉, 韩国栋, 王堃. 草甸草原草地基况与生物多样性关系的研究. *中国草地学报*, 2007, 29(4): 9-14.
- Zheng S H, Guo H Q, Zhao M L, Han G D, Wang K. Relationship between rangeland condition and biodiversity in meadow steppe. *Chinese Journal of Grassland*, 2007, 29(4): 9-14. (in Chinese)
- [30] 王忠武. 载畜率对短花针茅荒漠草原生态系统稳定性的影响. 呼和浩特: 内蒙古农业大学博士学位论文, 2009.
- Wang Z W. Effect of stocking rate on ecosystem stability of *Stipa breviflora* desert steppe. PhD Thesis. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2009. (in Chinese)
- [31] 高雪峰, 韩国栋. 放牧对羊草草原土壤氮素循环的影响. *土壤*, 2011, 43(2): 161-166.
- Gao X F, Han G D. Study of effect of grazing on steppe soil nitrogen cycle. *Solis*, 2011, 43(2): 161-166. (in Chinese)
- [32] 孙世贤, 卫智军, 陈立波, 吕世杰, 陈越, 王敏. 放牧强度季节调控对短花针茅荒漠草原土壤养分的影响. *生态环境学报*, 2013, 22(5): 748-754.
- Sun S X, Wei Z J, Chen L B, Lyu S J, Chen Y, Wang M. Effects of seasonal regulation of grazing intensity on soil nutrients in *Stipa breviflora* desert grassland. *Ecology and Environment*, 2013, 22(5): 748-754. (in Chinese)
- [33] 侯钰荣, 李学森, 任玉平, 易华, 朱昊, 王吉云, 托里肯·阿达力别克, 海拉提别克·哈哈尔曼. 放牧对草地植物养分和土壤理化性质的影响. *草业科学*, 2014, 31(3): 375-380.
- Hou Y R, Li X S, Ren Y P, Yi H, Zhu H, Wang J Y, Tuoliken · Asalibieke, Hailatibieke · Hahaerman. Effects of grassland vegetation nutrient and soil physical and chemical properties under grazing pressures. *Pratacultural Science*, 2014, 31(3): 375-380. (in Chinese)
- [34] Hofstede R G M. The effects of grazing and burning on soil and plant nutrient concentrations in Colombia Páramo grasslands. *Plant and Soil*, 1995, 173: 111-132.
- [35] 白可喻, 戎郁萍, 杨云卉, 林长存. 北方农牧交错带草地生物多样性与草地生产力和土壤状况的关系. *生态学杂志*, 2013, 3(1): 22-26.
- Bai K Y, Rong Y P, Yang Y H, Lin C C. Relationship between grassland biodiversity and primary productivity and soil content in farming-pastoral regions of northern China. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 3(1): 22-26. (in Chinese)

(责任编辑 苟燕妮)