

不同轮牧方式对荒漠草原土壤理化性质及草地健康的影响

马静利^{1,2}, 马红彬^{1,2}, 沈艳^{1,2}, 许冬梅^{1,2}, 王丽², 谢应忠^{1,2}, 李小伟^{1,2}

(1. 宁夏大学西北土地退化与生态恢复省部共建国家重点实验室培育基地, 银川 750021;

2. 宁夏大学农学院草业科学研究所, 银川 750021)

摘要: 研究轮牧方式对草地土壤理化性质的影响, 对草地科学利用和草地生态保护具有重要意义。以宁夏面积最大的荒漠草原为研究对象, 通过放牧试验, 研究围封禁牧、连续放牧、二区、四区和六区轮牧对 0—40 cm 土壤理化性质的影响, 并运用模糊评判法对草地健康状况进行评价。结果表明: (1) 六区和四区轮牧土壤粉粒含量和含水率较高; 轮牧方式对土壤容重和孔隙度影响较小; 四区和六区轮牧有利于土壤物理结皮、地衣—藻类结皮维持。(2) 连续放牧的土壤有机质含量最低, 全氮含量以禁牧最低; 速效氮含量在四区轮牧最高, 六区轮牧下速效磷钾含量最高。(3) 土壤性状间存在一定的相关性, 但草地植物生物量与多数土壤性状相关性不明显。(4) 六区轮牧的健康指数最高, 连续放牧的健康指数最低。研究认为, 研究区草原以六区轮牧为宜。

关键词: 划区轮牧; 轮牧方式; 土壤理化性状; 荒漠草原

中图分类号: S158.3

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2018)05-0151-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2018.05.025

Effects of Different Rotational Grazing Methods on Soil Physical and Chemical Properties and Steppe Health in Desert Steppe

MA Jingli^{1,2}, MA Hongbin^{1,2}, SHEN Yan^{1,2}, XU Dongmei^{1,2},

WANG Li², XIE Yingzhong^{1,2}, LI Xiaowei^{1,2}

(1. State Key Laboratory Breeding Base of Land Degradation and Ecological Restoration of North-western China, Ningxia University, Yinchuan 750021; 2. Institute of Grassland Science, Agricultural College, Ningxia University, Yinchuan 750021)

Abstract: Studying the effects of rotational grazing on the physicochemical properties of grassland soil is of great significance for scientific utilization of grassland and ecological protection of grassland. Taking the desert grassland with the largest area in Ningxia as the research object, the effects of enclosure, continuous grazing, and rotational grazing on the physical and chemical properties of 0—40 cm soil were studied in the second, fourth and sixth districts through grazing experiments. Grassland health status was also evaluated by using evaluated method. The results showed that: (1) The silt content and moisture content of rotational soil in Sixth District and Fourth Region were higher. And the rotational grazing method had little effect on soil bulk density and porosity. The rotational grazing in Area IV and Region VI was prone to form soil physical crusts, lichen-algae Crust maintenance. (2) Continuous grazing had the lowest content of organic matter in the soil, and the total nitrogen content was the lowest in the grazing prohibition. The available nitrogen content was the highest in the four-area rotational grazing, and the available phosphorus and potassium contents were the highest in the six-area rotational grazing. (3) There were significant correlations between soil properties, but the correlation between grassland plant biomass and most soil properties was not obvious. (4) The health index of the six-region rotational grazing was the highest, and that of continuous grazing was the lowest. According to these findings, the grassland in the study area is suitable for rotation in six districts.

Keywords: rotational grazing; rotational grazing method; soil physical and chemical properties; desert steppe

收稿日期: 2018-05-03

资助项目: 中国科学院“西部之光”人才培养引进计划项目(XAB2015A10); 国家重点研发计划项目(2016YFC0500505); 宁夏高等学校一流学科建设(草学学科)项目(NXYLXK2017A01)

第一作者: 马静利(1994—), 女, 硕士研究生, 主要从事草地生态与资源环境研究。E-mail: 372744273@qq.com.cn

通信作者: 马红彬(1975—), 男, 博士, 教授, 主要从事草地生态与草地管理研究。E-mail: ma_hb@nxu.edu.cn

草地是重要的农业资源和生态屏障,在提供饲草、防风固沙、保持水土等方面起着极其重要的作用^[1]。放牧是人类对天然草地主要的利用方式,家畜的采食、践踏和粪便排泄不仅影响草地植被,还对草地土壤的理化性质产生影响^[2]。已有研究^[3-4]表明,放牧使草地土壤总孔隙度、含水量和有机质含量下降,容重增加,这与家畜的践踏、采食作用息息相关。也有研究^[5-7]发现,随着放牧强度的增加土壤中有机质和速效养分含量随之提高,但全氮含量呈现先上升后下降的趋势,这可能与放牧改变了植被的群落组成有关。划区轮牧是根据当地自然条件、放牧需求将草地划分为若干小区,在一定的时间内按照一定顺序依次利用的放牧制度^[8]。划区轮牧对内蒙古荒漠草原土壤理化性状有改善的作用,表现为土壤表层化学成分含量、总孔隙度高于连续放牧,而表层容重和硬度下降^[9]。宁夏荒漠草原土壤理化性状在放牧强度相同时,划区轮牧土壤表层的有机质和全氮含量高于连续放牧,增加轮牧分区数量有利于土壤养分的保持^[10]。在亚高山草甸草原进行划区轮牧和连续放牧时,草地土壤中全氮、全磷和全钾的含量比禁牧草地低,但差异不显著,划区轮牧制度略优于连续放牧^[11]。

草地健康评价是草地合理管理的基础,对草地进行健康评价有助于从整体上了解草地现状。一些学者^[12]对草地生态系统健康评价进行了尝试,但目前相关研究还处于起步阶段,评价指标与方法的研究仍需进一步加强。

不合理的放牧会破坏草地生态系统平衡,造成草地土壤的退化演替^[7]。从已有的研究结果来看,放牧对草地土壤理化性质的影响不尽相同,这与草地植被类型、放牧强度、放牧方式等多种因素有关。宁夏荒漠草原为宁夏地区面积最大的草原类型,地处干旱半干旱地区,生态环境脆弱。自 2003 年起,宁夏在全境实施了禁牧封育政策,禁牧后草地生态恢复显著,但生态恢复后的草地,如何进行合理放牧利用还需进一步深入研究。因此,本文在前期研究放牧强度的基础上,进一步研究不同轮牧方式对荒漠草原土壤理化性质的影响,并对不同方式轮牧草地状况进行评价,旨在为当地荒漠草原的科学利用提供理论依据,对荒漠草原适应性管理具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于宁夏盐池县花马镇草泥洼村荒漠草原上,位于北纬 37°47',东经 107°25',地貌为缓坡丘陵,海拔 1 380 m。气候为典型大陆性气候,年均气温 7.7 °C,≥0 °C 的年积温 3 430.3 °C,多年平均降水量 289.4 mm,年蒸发量 2 131.8 mm,无霜期 162 d。

地带性土壤为灰钙土,质地为沙壤和粉沙壤。地带性植被为荒漠草原,主要分布有赖草(*Leymus secalinus*)、隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)、牛枝子(*Lespedeza potaninii* Vass)、刺叶柄棘豆(*Oxytropis aciphylla* Ledeb)、中亚白草(*Pennisetum centrasiaticum*)等多年生植物和狗尾草(*Setaria viridis*)、画眉草(*Eragrostis pilosa* (Linn.) Beauv)等一年生植物。

1.2 试验设计

在研究区选择 169 hm² 荒漠草原,随机设置六区轮牧(SG)、四区轮牧(FG)、二区轮牧(TG)、连续放牧(CG)和围封禁牧(CK)5 个处理。除围封禁牧外,每个轮牧小区面积 9.3 hm²。各小区要求在地形、土壤及植被等方面尽量一致。根据前期研究结果^[13],确定适宜的载畜率为 0.75 只/hm²。轮牧时间为 2013 年和 2014 年的 5 月 17 日至 10 月 7 日,轮牧周期为 48 天,放牧频率为 3,每年放牧 144 天。

每年选择体重相近的 2 龄健康滩羊母羊 87 只,公羊 4 只,随机分为 4 组,每组羊中有 1 只公羊,其中六区轮牧 42 只、四区轮牧 28 只、二区轮牧 14 只、连续放牧 7 只,羊只体重重组间差异不显著($p>0.05$)。

1.3 测定项目和方法

1.3.1 野外调查和样品采集 2014 年放牧开始前,在处理小区内沿对角线设置 5 个大小为 1 m×1 m 固定样方,每个轮牧周期结束后收集各固定样方中凋落物,并在实验室于 65 °C 烘至恒重称量,5 次重复。

2014 年 7 月下旬至 8 月上旬,在植物生长高峰期,在每个处理小区沿对角线设置 5 个 1 m×1 m 样方,调查土壤结皮发育特征,记录结皮色泽,用针刺法测定土壤物理结皮、地衣—藻类结皮和苔藓结皮盖度^[14],同时用常规方法测定地上生物量,5 次重复。

在 2014 年放牧结束时,在各处理小区沿对角线采用土柱法测定 0—40 cm 地下生物量,土柱直径为 17 cm,3 次重复。用干筛法进行根土分离,将筛后根系装入自封袋带回室内清洗后于 65 °C 烘至恒重。测定地下生物量时,沿对角线 5 点法采用环刀分 0—5, 5—15, 15—25, 25—40 cm 共 4 个土层取样,将土样保存在环刀中并加盖带回实验室测量土壤容重、孔隙度;同时用土钻沿对角线五点法分层取样并将土样置于自封袋带回实验室,用于测定土壤颗粒组成和养分分析。

2014 年放牧期间,于 5—9 月每月中旬采用烘干法测定 0—5, 5—15, 15—25, 25—40 cm 土壤含水率^[15]。

1.3.2 土壤理化性状测定 土壤颗粒组成采用 S3500 型激光粒度分析仪测定;土壤全氮采用半微量凯氏法测定;土壤速效氮采用碱解扩散法测定;土壤有效磷采用 NaHCO₃ 浸提、紫外分光光度计法测定;土壤速效钾采用 NH₄OAc 浸提、火焰光度计法测定;

有机质含量采用重铬酸钾容量法测定^[15]。

用于容重和孔隙度测定的样品在室内揭去环刀上盖,仅留垫有滤纸的带网眼的底盖,放入水盆中,保持盆中水盆的高度与环刀上沿齐平,使其吸水 12 h 后立即称重(A)。将称量(A)后的环刀去掉底盖,放置在干沙上达 2 h 后立即称重(B)。再将称量(B)后的环刀继续放置在干沙上 24 h 后称重,并将土壤烘干,称量土壤干重,计算土样孔隙度和持水性^[15]。

1.3.3 草地健康评价 对测定的草地土壤植被指标进行主成分分析,筛选出相关参与评价的指标,然后运用模糊评判法对不同轮牧方式下的草地状况进行综合评价^[16],获取草地的健康指数。根据模糊评判法理论,设不同处理的样地集(处理集)为: $X=X_1, X_2, X_3, X_4, X_5$; 设各项影响土壤健康的因素集为 $U=U_1, U_2, \dots, U_m$; 特征矩阵为 $U_{5 \times m}=(U_{ij})_{5 \times m}$ 。评价的隶属函数为:

$$r_{ij}=R(X_{ij}, U_{ij}) = \begin{cases} \frac{U_{ij}}{\max(U_{1j}, U_{2j}, \dots, U_{mj})} \\ \text{当 } U_{ij} < \max(U_{1j}, U_{2j}, \dots, U_{mj}); r \in (0, 1) \end{cases}$$

评价矩阵 $R=(r_{ij})_{5 \times m}$ 取评价函数分别为: $D_1=1/m \times (r_{i1}+r_{i2}+\dots+r_{im})$; $D_2=\max(r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im})$; $D_3=\min(r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im})$, 分别计算得 d_{i1}, d_{i2}, d_{i3} , 令 $U_1=(D_1, D_2, D_3)$, $R_1=F(X \times U_1)$ 得到矩阵。再令 $D=1/3 \times (d_{i1}+d_{i2}+d_{i3})$, 最后根据评判指标 d_i 做出评价。

各个处理评价的系数在 0~1, 系数越接近 1, 土壤越接近健康状态。

1.4 数据分析

采用 Excel 软件处理数据,用 R、DPS 软件进行方差分析(One-way ANOVA)和主成分分析,用 Origin 作图。

2 结果与分析

2.1 不同轮牧方式对土壤物理性质的影响

2.1.1 不同轮牧方式对土壤的颗粒组成和容重的影响 由图 1、图 2 可知,各处理 0—40 cm 土层以砂粒为主,粉粒次之,黏粒极少。禁牧草地、二区和六区轮牧草地土壤中黏粒含量有 0.12% 左右,其他 2 个处理没有黏粒含量。粉粒的含量由高到低为六区轮牧>四区轮牧>禁牧>二区轮牧>连续放牧,连续放牧的砂粒含量最高,二区轮牧次之,四区轮牧和六区轮牧最低。0—40 cm 土层不同处理间容重差异不大($p>0.05$),容重垂直分布规律不显著。

2.1.2 不同轮牧方式对土壤孔隙度的影响 由图 3、图 4 可知,0—40 cm 土壤的总孔隙度、毛管孔隙度在各处理间差异不显著($p>0.05$)。垂直变化方面,除四区轮牧 5—15 cm 总孔隙度和毛管孔隙度均较高外,其他处理下孔隙度垂直变化不显著。

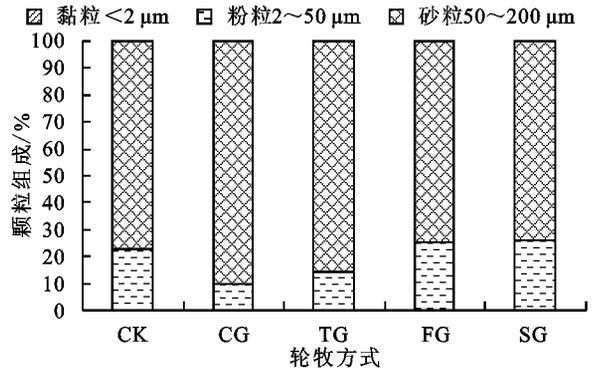
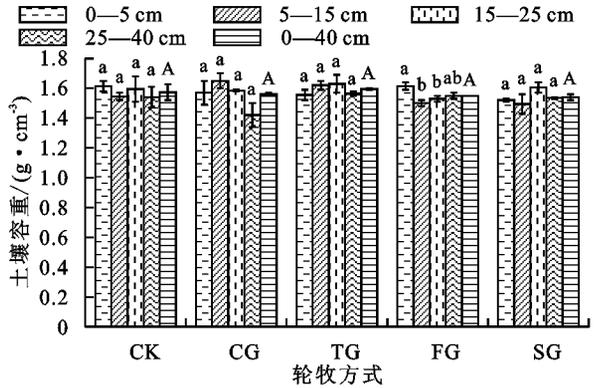


图 1 不同轮牧方式对不同土层土壤颗粒组成的影响



注:不同大写字母表示不同处理间 0—40 cm 显著差异 ($p < 0.05$); 不同小写字母表示同一处理不同土层差异显著 ($p < 0.05$)。下同。

图 2 不同轮牧方式对不同土层土壤容重的影响

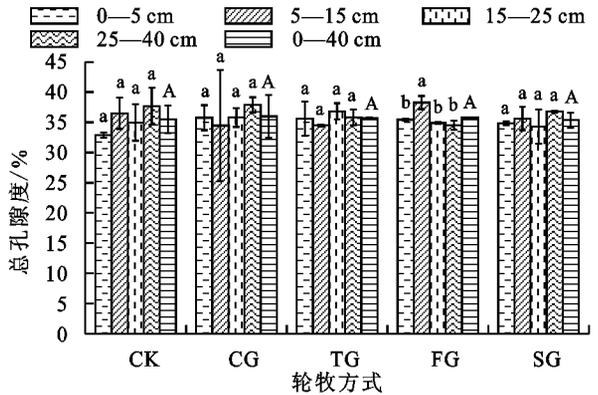


图 3 不同轮牧方式对不同土层总孔隙度的影响

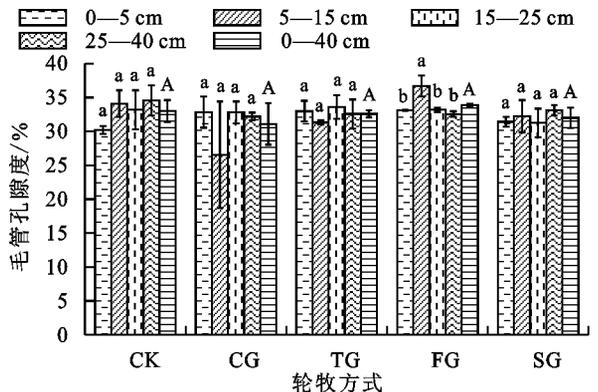


图 4 不同轮牧方式对不同土层土壤毛管孔隙度的影响

2.1.3 不同轮牧方式对土壤含水率的影响 0—5 cm 处各个处理之间的土壤含水率较为接近(图 5); 5—40

cm 土层含水率以四区轮牧的最高,其次是六区轮牧和禁牧草地,连续放牧的含水率最低。随着土层深度的加深,四区轮牧、六区轮牧的含水率呈现先上升后下降的趋势,连续放牧、二区轮牧的含水率呈现上升状态,禁牧草地的含水率则呈现上升—下降—再上升的趋势。

2.1.4 不同轮牧方式对土壤结皮的影响 由表 1 可知,各处理下土壤结皮总盖度以禁牧最高,六区轮牧次之,各轮牧方式下土壤结皮总盖度随着轮牧分区数的增加而增加。其中土壤物理结皮、地衣—藻类结皮盖度以连续放牧的最低,其他处理间差异不大;苔藓结皮的盖

度以连续放牧和四区轮牧较低,禁牧最高($p < 0.05$)。

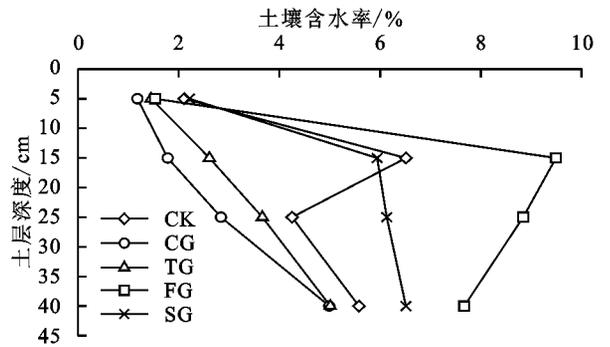


图 5 不同轮牧方式对土壤含水量的影响

表 1 不同轮牧方式对土壤结皮的影响

单位: %

处理	总盖度	物理结皮盖度	比例	地衣—藻类结皮盖度	比例	苔藓结皮盖度	比例
CK	88.86	45.00±6.05a	50.64	40.33±7.09a	45.39	3.53±3.53ab	3.97
CG	42.60	28.80±5.55b	67.61	13.80±3.06b	32.39	0.00±0.00b	0.00
TG	79.86	44.53±4.25a	55.76	27.00±4.16ab	33.81	8.33±4.51a	10.43
FG	78.26	43.13±3.84a	55.11	34.93±4.07a	44.63	0.20±0.20b	0.26
SG	81.86	45.93±4.18a	56.11	32.93±4.67a	40.23	3.00±1.86ab	3.66

注:同列不同小写字母表示处理之间差异显著($p < 0.05$)。

2.2 不同轮牧方式对土壤化学性质的影响

2.2.1 不同轮牧方式对土壤有机质和全氮的影响

由表 2 可知,0—40 cm 土壤有机质受轮牧方式影响显著,有机质含量以连续放牧最低,禁牧和四区轮牧

较高($p < 0.05$),各处理下有机质含量随着土层加深而降低。0—40 cm 土层全氮含量禁牧最高,但各处理间没有达到 5% 差异显著水平。随着土层深度的加深,全氮含量呈现降低趋势。

表 2 不同轮牧方式对土壤有机质和全氮的影响

单位: g/kg

处理	土层深度/cm	CK	CG	TG	FG	SG
有机质	0—5	4.09±0.12a	2.80±0.29a	3.15±0.37a	4.23±0.15a	3.09±0.46a
	5—15	3.29±0.27ab	2.65±0.07a	3.01±0.23a	3.78±0.06a	2.96±0.18a
	15—25	2.90±0.07b	1.98±0.70a	2.52±0.06ab	2.31±0.08b	2.69±0.15a
	25—40	2.54±0.31b	1.87±0.40a	2.12±0.09b	2.40±0.32b	2.42±0.13a
全氮	0—40	3.20±0.02A	2.32±0.36B	2.70±0.18AB	3.18±0.11A	2.79±0.23AB
	0—5	0.48±0.03a	0.41±0.01a	0.41±0.00a	0.49±0.04a	0.45±0.08a
	5—15	0.43±0.01ab	0.40±0.04a	0.34±0.01ab	0.38±0.11a	0.36±0.06a
	15—25	0.39±0.00ab	0.31±0.06ab	0.36±0.04a	0.36±0.10a	0.29±0.03a
	25—40	0.37±0.05b	0.24±0.04b	0.25±0.03b	0.33±0.03a	0.36±0.02a
	0—40	0.42±0.02A	0.34±0.03A	0.34±0.00A	0.39±0.07A	0.36±0.05A

注:同列数据后不同小写字母表示同一处理不同土层差异显著($p < 0.05$);同行不同大写字母表示处理间差异显著($p < 0.05$)。

2.2.2 不同轮牧方式对土壤速效养分的影响 0—40 cm 土层速效氮含量由高到低为四区轮牧>二区轮牧≈六区轮牧≈连续放牧>禁牧,垂直变化方面,禁牧草地呈现随土层加深先上升后下降,其他处理表现为随着土层加深而降低。0—40 cm 速效磷含量以禁牧和连续放牧最低,其他处理间差异不大。各处理下随着土层加深速效磷含量降低。0—40 cm 的速效钾含量以禁牧最低,六区轮牧最高。垂直变化方面,禁牧草地的速效钾含量随着土层加深先升高后降低,其他处理下的速效磷含量随着土层加深而降低(表 3)。

2.3 土壤理化性质与植被的相关性

土壤的理化性质与植被之间存在一定的相关关系。将土壤孔隙状况、含水率、有机质、全氮、速效氮磷钾、草地凋落物量、地下生物量和地上生物量进行相关性分析

(表 4),发现总孔隙度与毛管孔隙度极显著正相关($p < 0.01$);速效氮和速效磷显著正相关($p < 0.05$);速效磷与速效钾呈极显著正相关($p < 0.01$),与凋落物呈现显著负相关($p < 0.05$),其余相关性不显著。

2.4 草地健康评价

由于土壤和植被因子间存在一定相关性(表 4),为方便评价,可基于主成分分析法的降维理论把上述因子转化为较少的综合指标。本文将测定的黏粒($x_1, \%$)、粉粒($x_2, \%$)、砂粒($x_3, \%$)、容重($x_4, \text{g/cm}^3$)、总孔隙度($x_5, \%$)、毛管孔隙度($x_6, \%$)、含水率($x_7, \%$)、有机质($x_8, \text{g/kg}$)、全氮($x_9, \text{g/kg}$)、速效氮($x_{10}, \text{mg/kg}$)、速效磷($x_{11}, \text{mg/kg}$)、速效钾($x_{12}, \text{mg/kg}$)、地上生物量($x_{13}, \text{g/m}^2$)、地下生物量($x_{14}, \text{g/m}^2$)和凋落物($x_{15}, \text{g/m}^2$)15 个指标进行主成分分析。

表 3 不同轮牧方式对土壤速效养分的影响

单位:mg/kg

指标	土层深度/cm	CK	CG	TG	FG	SG
速效氮	0-5	30.52±0.60c	56.41±3.49a	60.24±0.81a	68.49±1.11a	67.61±4.23a
	5-15	42.44±0.15a	43.78±0.72b	43.76±3.49b	62.28±1.24a	53.28±3.14b
	15-25	38.56±0.49b	39.46±1.51b	38.88±1.16bc	39.10±2.66b	32.27±2.91c
	25-40	28.20±0.48d	27.81±1.92c	34.69±2.07c	39.90±2.94b	22.07±2.11c
	0-40	34.93±0.35C	41.86±1.55B	44.39±1.30B	52.44±1.37A	43.81±2.04B
速效磷	0-5	0.84±0.09ab	1.30±0.02a	1.81±0.08a	1.78±0.17a	1.79±0.10a
	5-15	1.05±0.08a	1.07±0.11a	1.22±0.06b	1.29±0.07ab	1.52±0.07ab
	15-25	0.93±0.06ab	0.82±0.12a	1.29±0.04b	0.99±0.31b	1.05±0.22b
	25-40	0.71±0.04b	1.00±0.27a	0.92±0.11c	1.12±0.01ab	1.03±0.22b
	0-40	0.88±0.05C	1.04±0.06BC	1.31±0.02AB	1.29±0.14AB	1.35±0.04A
速效钾	0-5	16.75±1.25bc	25.34±0.31a	26.55±0.51a	26.14±1.11a	30.53±1.46a
	5-15	21.98±0.55a	24.01±0.36a	22.16±0.76b	20.84±0.15b	26.70±3.39a
	15-25	19.61±0.56ab	17.31±0.96b	18.21±0.85c	20.14±0.36bc	25.33±3.13a
	25-40	16.28±0.70c	18.06±0.01b	26.40±0.46a	17.46±0.81c	21.02±1.04a
	0-40	18.65±0.41C	21.18±0.41BC	23.33±0.04AB	21.14±0.43BC	25.89±2.25A

注:同列数据后不同小写字母表示同一处理不同土层差异显著($p < 0.05$);同行不同大写字母表示处理间差异显著($p < 0.05$)。

表 4 不同轮牧方式土壤植被与理化性质相关系数

相关系数	总孔隙度	毛管孔隙度	含水率	有机质	全氮	速效氮	速效磷	速效钾	凋落物	地下生物量	地上生物量
容重	-0.56	-0.45	-0.51	0.02	0.23	-0.25	-0.18	-0.13	-0.07	0.34	0.07
总孔隙度	1	0.84**	0.01	0.21	-0.47	0.16	-0.1	-0.05	0.25	-0.14	0.26
毛管孔隙度		1	0.29	0.52	-0.18	0.33	-0.01	-0.19	0.40	0.12	-0.21
含水率			1	0.15	0.27	0.39	0.30	-0.19	0.01	0.18	-0.45
有机质				1	0.37	0.03	-0.16	-0.17	0.60	0.06	-0.28
全氮					1	-0.18	0	-0.15	0.35	0.23	-0.51
速效氮						1	0.70*	0.28	-0.50	0.19	-0.15
速效磷							1	0.76**	-0.71*	-0.14	-0.22
速效钾								1	-0.54	-0.35	0.10
凋落物									1	0.32	-0.23
地下生物量										1	-0.23

注:*表示 $p < 0.05$; **表示 $p < 0.01$ 。

通过主成分分析,得知前 3 个主成分的累积贡献率已达到 87.77%(表 5),因而前 3 个主成分的综合因子包含了 15 个土壤植被指标的所有信息,能较好地反映草地健康状况,故只需讨论第 1、第 2、第 3 主成分。根据主成分分析结果可知第 1 主成分的表达式为 $Prin1 = 0.40x_2 - 0.40x_3 + 0.38x_7 + 0.36x_8$;第 2 主成分的表达式为 $Prin2 = -0.36x_{10} - 0.39x_{11} - 0.37x_{12} + 0.35x_{15}$;第 3 主成分的表达式为 $Prin3 = 0.55x_1 - 0.46x_5 + 0.38x_{12}$ 。因此,试验区草原健康状况评价指标可确立为黏粒、粉粒、砂粒、总孔隙度、含水率、有机质、速效氮、速效磷、速效钾、凋落物 10 个指标。

表 5 各主成分特征值及方差贡献率

主成分	特征值	方差贡献率	累积方差贡献率
1	5.93	39.56	39.56
2	4.52	30.16	69.73
3	2.71	18.04	87.77

根据主成分筛选出来的指标,运用模糊评判法计算不同轮牧方式下的草地健康状况。结果(图 6)表明,健康指数由高到低为六区轮牧>禁牧>二区>四区轮牧>连续放牧,六区轮牧的健康指数最高,连续

放牧最低。

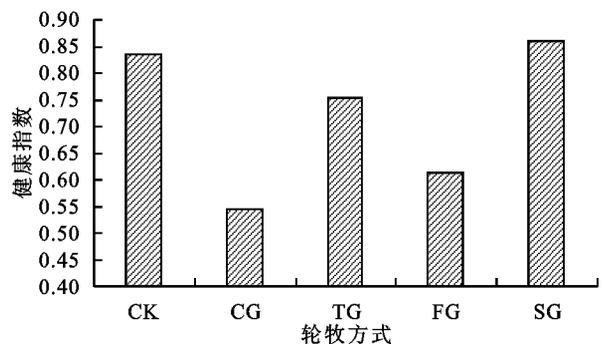


图 6 不同轮牧方式下草地健康指数

3 讨论

放牧通过家畜采食、践踏改变了草地地上生物量、地下生物量以及凋落物的量,土壤作为草地植被的栖息之所,其物理特性也因放牧的干扰发生一定的变化^[17]。连续放牧和二区轮牧的草地由于休息恢复时间短,土壤砂粒增加。放牧家畜对土壤的践踏作用,影响土壤的含水量、孔隙度和有机质的含量,从而对土壤容重产生影响^[6]。已有研究^[11]表明,随着放牧压力增强,土壤容重随之增加,但本研究中放牧小

区放牧强度一致,只是轮牧方式不同,容重在处理间差异不显著,可能与放牧时间较短有关。5—40 cm 土层含水率在四区轮牧和六区轮牧较高,说明增加轮牧分区有利于土壤含水率保持^[6]。生物土壤结皮是干旱荒漠地区的产物,禁牧草地没有家畜践踏,土壤结皮盖度最高。轮牧小区中,家畜的践踏使土壤结皮的盖度降低、土壤结皮的种类组成发生改变,趋向于单一化^[18]。

放牧干扰影响了化学元素的固持、转移和再分配的过程。连续放牧草地植物休养生息降低、减少了归还土壤的枯枝落叶量,有机质含量下降。有机质含量分布呈现表聚性与放牧增加了表层土壤的植物的根系比例有关^[7]。本研究中,全氮在各处理间差异不显著,与沈艳等^[10]在荒漠草原发现增加轮牧分区有利于保持土壤的全氮含量结论并不一致,这可能与放牧史长短有关,还有待于进一步研究。不同轮牧方式下,速效氮、速效磷含量变化表明一定轮牧方式下,家畜排泄物加快了元素周转,增加了土壤速效养分含量^[10],排泄物的归还亦增加了土壤表层的速效养分含量^[19]。相关性分析发现,草地生物量与多数土壤性状相关性不显著,这可能与家畜的采食、践踏以及排泄物的影响有关,还有待于进一步研究。

对草地健康进行评价,可整体表明草地生态系统健康状况,对草地合理利用和科学管理具有重要意义。目前,草地生态系统健康评价还是一个相对薄弱的领域,草地健康评价尚无统一的方法。运用主成分分析方法对数据进行降维处理,结合模糊数学进行定量评价的常用方法之一^[20]。本文中利用最大值归一化的方法构建隶属函数矩阵,对不同轮牧方式下草地健康状况进行了尝试性评价^[16],发现增加轮牧分区数有利于草地生态系统的维持和草地的持续发展,这对当地草地的科学利用具有重要意义,但有关草地健康评价研究仍需今后进一步加强。

4 结论

(1)通过 2 年轮牧试验发现,四区和六区轮牧 0—40 cm 土壤粉粒较高,5—15 cm 土层含水率较高,连续放牧土壤砂粒含量最高,含水率最低;轮牧方式对土壤容重、孔隙度影响较小。禁牧草地土壤结皮总盖度最高,四区和六区轮牧有利于土壤物理结皮、地衣—藻类结皮维持。

(2)0—40 cm 土层有机质以连续放牧最低,全氮含量以禁牧的最低;速效氮在四区轮牧最高,速效磷钾在六区轮牧下最高。

(3)相关性分析发现,总孔隙度与毛管孔隙度、速效氮与速效磷、速效磷与速效钾呈显著正相关;速效磷与凋落物呈现显著负相关,但草地生物量与多数土

壤性状相关性不明显。

(4)采用模糊评判法计算的草地健康指数以六区轮牧最高,连续放牧最低。研究表明在适宜的载畜率水平下,试验区荒漠草原以六区轮牧为宜。

参考文献:

- [1] 孙吉雄. 草地培育学[M]. 北京:中国农业出版社,2007:55.
- [2] 张亮,沈潮. 放牧干扰对草地土壤理化性质的影响[J]. 防护林科技,2016,34(12):1-4,17.
- [3] 王长庭,王启兰,景增春,等. 不同放牧梯度下高寒小嵩草草甸植被根系和土壤理化特征的变化[J]. 草业学报,2008,17(5):9-15.
- [4] 文都日乐,张静妮,李刚,等. 放牧干扰对贝加尔针茅草原土壤微生物与土壤酶活性的影响[J]. 草地学报,2010,18(4):517-522.
- [5] 戎郁萍,韩建国,王培,等. 放牧强度对草原土壤理化性质的影响[J]. 中国草地,2001,23(4):41-47.
- [6] 安慧,徐坤. 放牧干扰对荒漠草原土壤性状的影响[J]. 草业学报,2013,22(4):35-42.
- [7] 高英志,韩兴国,汪诗平. 放牧对草原土壤的影响[J]. 生态学报,2004,24(4):790-797.
- [8] 张军,吕世春. 划区轮牧对草原保护的重要性[N]. 锡林郭勒日报,2006-07-03(2).
- [9] 卫智军,乌日图,达布希拉图,等. 荒漠草原不同放牧制度对土壤理化性质的影响[J]. 中国草地,2005,27(5):6-10.
- [10] 沈艳,谢应忠,马红彬. 不同轮牧方式下的宁夏荒漠草原土壤性质分异特征[J]. 水土保持学报,2011,25(2):153-156.
- [11] 武红旗,范艳敏,孙宗玖. 不同放牧制度对亚高山草甸土壤理化性质的影响[J]. 草原与草坪,2010,31(4):30-34.
- [12] 杨斌,隋鹏,陈源泉,等. 生态系统健康评价研究进展[J]. 中国农学通报,2010,26(21):291-296.
- [13] 周静静,马红彬,周瑶,等. 轮牧方式对荒漠草原滩羊牧食特征、体重及繁殖性能的影响[J]. 中国农业科学,2017,50(8):1525-1534.
- [14] 韩炳宏,牛得草,袁晓波,等. 围封与放牧措施下生物土壤结皮发育及其微生境土壤养分特征[J]. 草地学报,2016,24(6):1218-1225.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,1999:42-50.
- [16] 敖登高娃. 荒漠草原土壤健康状况研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2008.
- [17] 郑淑华,赵萌莉,韩国栋,等. 不同放牧压力下典型草原土壤物理性质与植被关系的研究[J]. 干旱区资源与环境,2005,19(7):199-203.
- [18] 张元明,陈晋,王雪芹,等. 古尔班通古特沙漠生物土壤结皮的分布特征[J]. 地理学报,2005,60(1):53-60.
- [19] 益西措姆,许岳飞,付娟娟,等. 放牧强度对西藏高寒草原植被群落和土壤理化性质的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2014,42(6):27-33.
- [20] 常骏,韩国栋. 呼伦贝尔草地利用单元划分与生态系统健康评价[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2010.