

放牧制度对荒漠草原生态系统土壤养分状况的影响

闫瑞瑞^{1,2}, 卫智军^{2,*}, 辛晓平¹, 乌仁其其格^{2,3}

(1. 呼伦贝尔草原生态系统国家野外科学观测研究站, 农业部资源遥感与数字农业重点开放实验室,

中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081;

2. 内蒙古农业大学生态环境学院, 呼和浩特 010019; 3. 呼伦贝尔学院生命科学与化学学院, 海拉尔 021008)

摘要:从土壤 N、P、K 及土壤有机质等方面研究了在连续进行了 7a 的放牧制度试验对荒漠草原生态系统土壤养分含量的影响。研究表明:放牧制度对土壤的养分状况有明显的影响。划区轮牧区和禁牧提高了土壤有机质、土壤氮素、土壤全钾和土壤速效钾含量。土壤表层磷含量划区轮牧区最高。放牧导致碳氮比减少。同时,土壤养分含量随土壤深度的变化在不同处理没有表现出较为一致的变化趋势。禁牧区土壤全氮含量随土壤深度的增加而增加;不同处理土壤速效氮、土壤速效钾含量均随土壤深度的增加逐渐降低;土壤全磷在自由放牧区随土壤深度的增加逐渐升高;土壤速效磷、全钾含量在划区轮牧区随土壤深度的增加逐渐降低;土壤养分含量与土壤深度的拟合曲线为二次幂函数。研究表明,禁牧和划区轮牧较自由放牧可以提高荒漠草原土壤养分元素的含量,有利于遏制草原土壤的退化。

关键词:放牧制度;荒漠草原;土壤养分;划区轮牧;自由放牧

The effect of different grazing systems on soil nutrient contents in desert steppe

YAN Ruirui^{1,2}, WEI Zhijun^{2,*}, XIN Xiaoping¹, Wurenqiqige^{2,3}

1 Hulunber Grassland Ecosystem Research Station, Key Laboratory of Resources Remote Sensing and Digital Agriculture, Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, China, Beijing 100081, China

2 College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China

3 Life Science and Chemistry School at Hulunbuir College, Hailar 021008, China

Abstract: The effect of different grazing systems, including continuous grazing system, rotational grazing system and banning grazing system, on soil nutrient content was discussed in the paper, based on 7 years grazing experiments in desert steppe. The results showed that soil nutrient contents were affected by different grazing systems obviously. The ratio of carbon to nitrogen was decreased. The contents of organic matter, N, total K and available K were increased by rotational grazing and banning grazing. At the same time, different grazing systems also affected the change trend of soil nutrient contents with soil depth. The available N, available K decreased with soil depth in different grazing systems. With the increase of soil depth, the total N content increased in banning grazing system, the total P content increased in continuous grazing system, and the available P, total K decrease in rotational grazing system. The fitting curve was quadratic power function between soil nutrient contents and soil depth. The results implied that rotational and banning grazing would increase soil nutrient contents and restrained the degradation of soil in desert steppe.

Key Words: grazing system; desert steppe; soil nutrients; rotational grazing; continuous grazing

基金项目:内蒙古草业研究院草业专项资助项目(20071923);国家重点基础研究发展规划(973)资助项目(2007CB106806);国家高技术研究发展计划(863)资助项目(2007AA10Z230);国家科技支撑计划资助项目(2006BAC01A12, 2006BAD16B05-2)

收稿日期:2008-11-07; 修订日期:2009-02-02

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: nmndwzj@163.com

荒漠草原处在草原向荒漠过渡的生态交错带,是最干旱的草原类型。近年来,由于人类严重干扰和气候日趋干旱,草地环境遭受严重破化,草地荒漠化和土地沙化现象逐步发生,草地生态系统的退化现象日益严重^[1],土壤的退化是草地生态系统发生退化的一个明显特征之一^[2]。放牧是草地利用的主要方式之一,不合理的放牧活动是草地退化的主要原因^[3]。放牧家畜在采食过程中,除践踏影响草地土壤的物理结构外^[4],还通过采食活动及畜体对营养物质的转化影响草地营养物质的循环,从而使草地土壤的化学成分发生变化^[5,6]。放牧对草地土壤的影响主要取决于放牧强度、放牧制度、放牧季节和放牧动物的牧食行为等。国内外许多学者研究了放牧对草地土壤理化性质的影响^[7-30],但结果不相一致。Baurer 等的研究结果认为,未放牧地 0—45.7cm 土层中有机碳、全磷含量高于放牧样地^[9]。Altesor, A. 等报道,禁牧区土壤表层土壤有机碳的含量更低,但是放牧区土壤深层的有机碳含量比禁牧区高 8%^[16]。Milchunas 和 Lauenroth 对比了世界 236 个点的放牧和禁牧资料,结果发现地下生物量、有机 C、N 的变化与放牧间没有统一的变化规律,有时呈正相关,有时呈负相关^[21]。

放牧制度是草地在用于放牧时的基本利用体系,其中规定了家畜对放牧地利用的时间和空间上的通盘安排。完善的放牧制度应能减少放牧强度、频率、季节性对植物的不良影响,能减轻牧压对草地土壤的影响,有利于土壤物理性状的良好保持,土壤元素的永续循环,从而使整个土壤-草地生态系统和谐统一、良性发展。关于放牧制度对土壤养分状况造成的影响已开展了部分工作^[20,25-28],然而在荒漠草原放牧系统中放牧制度对土壤营养含量变化研究的报道少见。所以本试验以短花针茅荒漠草原为研究对象,结合草地畜牧业生产实践,研究了放牧制度下短花针茅荒漠草原土壤养分状况的变化规律,以便认识不合理放牧影响草地土壤退化的过程和机制,对于采取合理的管理措施,保护草地资源及遏制草地生态系统的退化具有重要的意义。

1 研究地区与研究方法

1.1 试验地概况

试验地位于锡林郭勒苏尼特右旗朱日和镇附近,北纬 42°16'26",东经 112°47'16",海拔 1100—1150m 之间。据试验区以东 15km 的朱日和国家基准气象站 2000—2007 年气象资料表明,年平均气温为 6.2℃,年平均降水量为 165.23mm,年蒸发量为 2197.02mm,日照时数 2816.48h,降水量主要集中在 6—8 月份,前 3 个月的降水量占全年降水量的 60%,该地区无霜期为 191d,大风日数年平均为 63d 左右。年均气温和降水变化如图 1。

试验地波状起伏,比较开阔,土壤为淡栗钙土较贫

瘠,腐殖质层厚 5—10cm,发育不明显,钙积层分布在 10—35cm。各试验区群落类型和优势种相同,以短花针茅(*Stipa breviflora*)为建群种,它在决定群落外貌和建造群落环境方面起着主导作用,群落形成特有的景观特征。优势种为无芒隐子草(*Cleistogenes songorica*)和碱韭(*Allium polyrhizum*),3 个种群的数量消长,时空变化及结构的位移均会引起群落的巨大波动,构成了短花针茅+无芒隐子草+碱韭群落类型。主要伴生种还有糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)、细叶韭(*Allium tenuissimum*)、木地肤(*Kochia prostrata*)、银灰旋花(*Convolvulus ammannii*)、阿尔泰狗娃花(*Heteropappus altaicus*)、寸草苔(*Carex duriuscula*)等。

1.2 试验设计

放牧试验于 1999 年开始,每年(1999—2007 年)5 月 1 日放牧开始,并开展了定量放牧观测,11 月份放牧终止。试验区为天然放牧场,载畜量为 1.24 羊单位/hm²,设划区轮牧(RG)、自由放牧(CG)和对照(CK)3 个试验处理。划区轮牧草地为 320hm²,又分为 8 个等面积的轮牧小区进行划区轮牧,每个轮牧小区面积为 40hm²;自由放牧区草场面积为 338hm²;禁牧区 1hm²,1999 年禁牧。

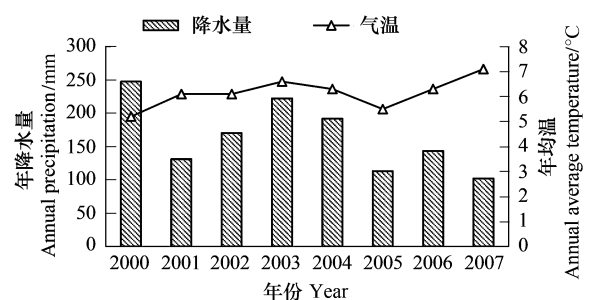


图 1 试验区年均气温和年降水动态特征

Fig.1 Properties of annual average temperature and annual precipitation in the experiment region

1.3 研究方法

土壤取样于 2006 年 8 月中旬进行,在不同轮牧小区、自由放牧区和围栏封育小区分别随机取 0—10cm、10—20cm、20—30cm、30—40cm 深度的土样,3 次重复,其中各重复以土钻分别取 10 个样点,所取土样混合均匀后,用四分法取土 1kg 左右,带回实验室进行养分分析。

土壤有机质采用重铬酸钾容量法-外加热法;土壤全氮采用半微量凯氏定氮法;土壤全磷采用钼锑抗比色法;土壤全钾采用 NaOH 熔融-火焰光度计法;土壤速效氮采用蒸馏法;土壤速效磷采用 0.5mol/L 碳酸氢钠浸提法;土壤速效钾采用 NH_4OAc 浸提,火焰光度法。

1.4 试验数据处理方法

应用 Excel2003 和 SAS9.0 统计软件。

2 结果与分析

2.1 同一土层不同放牧制度之间的养分含量

2.2.1 土壤全氮和速效氮

从图 2 可以看出,0—10cm、10—20cm、20—30cm 和 30—40cm 4 层土壤全氮含量由大到小的排列顺序都为对照区 > 划区轮牧区 > 自由放牧区。方差分析表明,0—10cm、10—20cm 和 20—30cm 3 层土壤全氮含量对照区和划区轮牧区显著高于自由放牧区 ($P < 0.05$),对照区与划区轮牧区无显著差异 ($P > 0.05$)。30—40cm 土层全氮含量 3 处理存在显著差异 ($P < 0.05$)。

土壤速效氮含量由图 3 表明,0—10cm 土层的土壤速效氮对照区和划区轮牧区显著高于自由放牧区 ($P < 0.05$),其它 3 层土壤速效氮含量对照区显著高于划区轮牧区与自由放牧区 ($P < 0.05$),划区轮牧区与自由放牧区无显著差异 ($P > 0.05$)。

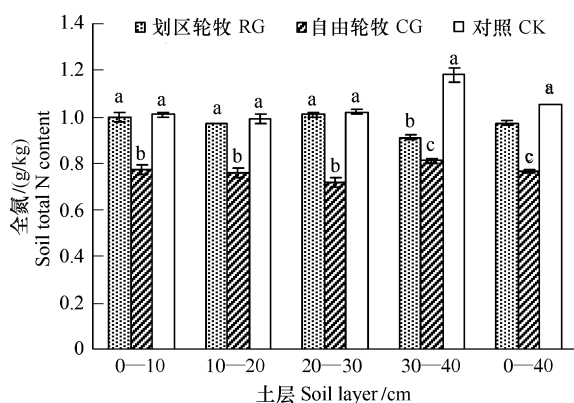


图 2 同一土层不同放牧制度土壤全氮含量

Fig. 2 The soil total N content of same soil layer under different grazing systems

a, b, c: 5% 水平上差异显著 ($P < 0.05$), 下同

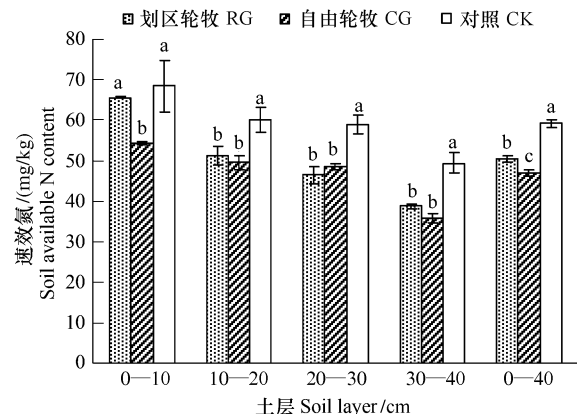


图 3 同一土层不同放牧制度土壤速效氮含量

Fig. 3 The soil available N content of same soil layer under different grazing systems

土壤全氮和速效氮 0—40cm 平均含量 3 处理存在显著差异 ($P < 0.05$),呈现出相同的变化规律,均以对照区最高,划区轮牧区次之,自由放牧区最低,全氮含量分别为 1.05、0.98g/kg 和 0.77g/kg,对照区和划区轮牧区分别是自由放牧区的 1.36 倍和 1.27 倍。速效氮含量分别为 59.12、50.44g/mkg 和 47.01 mg/kg,对照区和划区轮牧区分别是自由放牧区的 1.26 倍和 1.07 倍,这表明荒漠草原的连续放牧导致了土壤氮素含量的降低,禁牧和划区轮牧使土壤氮素含量有增加的趋势。这与李香真^[20]研究放牧对暗栗钙土氮的贮量和形态的影响,其结果表明,内蒙古锡林浩特白音锡勒牧场羊草草原连续自由放牧 19a 后,与未放牧地相比,放牧草地土壤 1—60cmN 贮量分别损失了 24.1%—24.9%,0—100cm 贮量损失了 23% 和 21% 结果相吻合。

2.2.2 土壤全磷和速效磷

土壤全磷包括速效磷、有机磷和微生物磷。世界上大多数草地普遍缺磷^[31]。就不同放牧制度从图 4 可知,土壤全磷含量 0—10cm 和 20—30cm 划区轮牧区显著高于自由放牧区 ($P < 0.05$),其它两层无显著差异 ($P > 0.05$),0—40cm 土层不同处理间存在显著差异 ($P < 0.05$),呈现出划区轮牧区 > 对照区 > 自由放牧区的趋势,其均值分别为 0.42、0.38mg/kg 和 0.35mg/kg,划区轮牧区和对照区分别是自由放牧区的 1.2 倍和 1.09 倍。

土壤速效磷的含量除了与放牧制度不同有极大相关性外,还随土壤类型、气候、施肥水平、灌溉、耕作栽培措施等条件的不同而不同,测定土壤有效磷的含量能够了解土壤的供磷状况。图 5 表明,土壤速效磷表层 0—10cm 划区轮牧区与对照区显著高于自由放牧区 ($P < 0.05$),表现为轮牧区最高,为 7.74mg/kg;自由放牧区最低,为 6.95mg/kg。10—20cm 和 20—30cm 层不同处理间存在显著差异 ($P < 0.05$),自由放牧区显著高于划区轮牧区 ($P < 0.05$)。30—40cm 层划区轮牧区与自由放牧区无显著差异 ($P > 0.05$)。

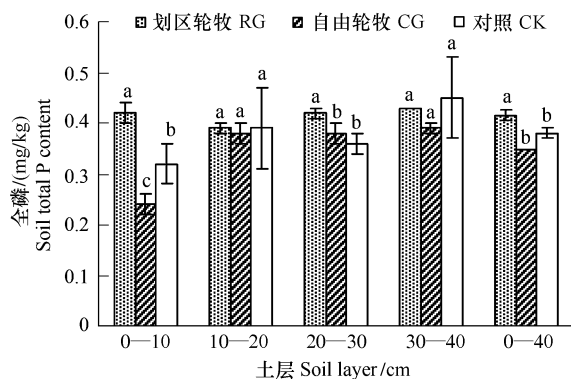


图 4 同一土层不同放牧制度土壤全磷含量

Fig. 4 The soil total P content of same soil layer under different grazing systems

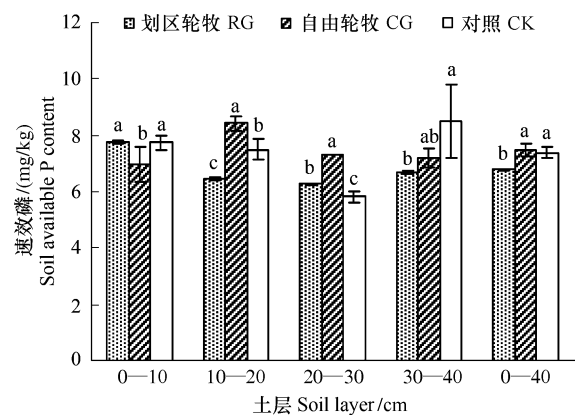


图 5 同一土层不同放牧制度土壤速效磷含量

Fig. 5 The soil available P content of same soil layer under different grazing systems

试验结果表明,轮牧条件下,土壤表层磷含量不但比自由放牧区高,而且也高于不放牧对照区,土壤表层全磷和速效磷含量分别是自由放牧区的 1.75 倍和 1.11 倍。可能是由于自由放牧在长期放牧下,家畜的频繁采食使磷从系统中输出增加,引起土壤中全磷的各组分向速效磷成分转移量增大,通过植物吸收后,转向系统外输出,从而使土壤中全磷和速效磷下降^[10]。本文研究结果与姚爱兴^[24]研究不同放牧制度下奶牛对多年生黑麦草/白三叶草地土壤特性的影响指出,轮牧草地的土壤多数养分尤其是速效 P 和速效 K 的含量均高于连续放牧草地结果相一致。

2.2.3 土壤全钾和速效钾

土壤全钾含量图 6 表明,0—10cm、10—20cm 和 20—30cm 层两放牧区显著高于对照区 ($P < 0.05$),30—40cm 不同处理间无显著差异 ($P > 0.05$)。两放牧处理相比,10—20cm 层土壤全钾含量划区轮牧区显著高于自由放牧区 ($P < 0.05$),其它 3 层土壤全钾含量划区轮牧区与自由放牧区无显著差异 ($P > 0.05$)。0—40cm 土壤全钾平均含量两放牧区显著高于对照区 ($P < 0.05$),划区轮牧区和自由放牧区无显著差异 ($P > 0.05$),但以轮牧区居高。

试验结果表明(图 7),不同土层速效钾含量 3 处理均存在显著差异 ($P < 0.05$),0—10cm 层土壤速效钾含量对照区 > 划区轮牧区 > 自由放牧区。10—20cm、20—30cm 和 30—40cm 层土壤速效钾含量由大到小的排列顺序都为划区轮牧区 > 对照区 > 自由放牧区。0—40cm 土壤速效钾平均含量 3 处理也存在显著差异 ($P < 0.05$),以划区轮牧区最高,对照区次之,自由放牧区最低,含量分别为 156.61、156.57mg/kg 和 134.99mg/kg。

这表明荒漠草原的连续放牧导致了土壤速效钾含量的降低,禁牧和划区轮牧使土壤速效钾含量有增加的趋势。

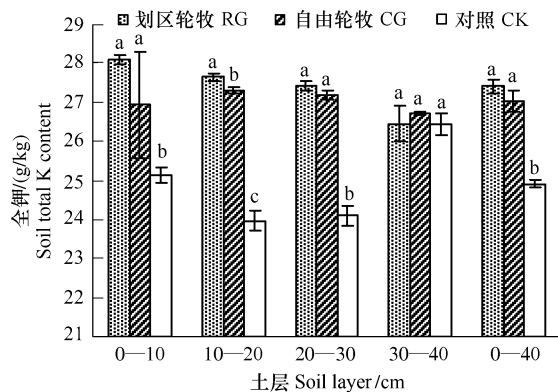


图6 同一土层不同放牧制度土壤全钾含量

Fig. 6 The soil total K content of same soil layer under different grazing systems

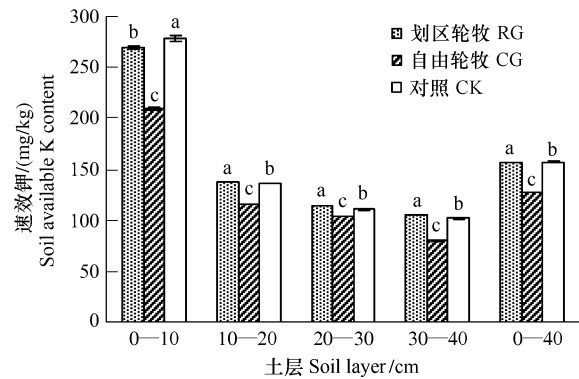


图7 同一土层不同放牧制度土壤速效钾含量

Fig. 7 The soil available K content of same soil layer under different grazing systems

2.2.4 土壤有机质与土壤 C/N 比

土壤有机质含量是土壤肥力高低的一个重要指标,有机质含量的多少直接影响着土壤氮素的供应。对于草原生态系统来说,不同土壤层次土壤有机质含量对放牧制度的响应不同,0—10cm 和 10—20cm 层土壤有机质对照区和划区轮牧区显著高于自由放牧区 ($P < 0.05$),对照区与划区轮牧区无显著差异 ($P > 0.05$)。均呈现出对照区 > 划区轮牧区 > 自由放牧区的趋势 (图8),对照区和划区轮牧区分别是自由放牧区的 1.29 倍、1.23 倍 (0—10cm) 和 1.47 倍、1.45 倍 (10—20cm)。这与李香真和陈佐忠^[30]曾观察到的未放牧区 0—10cm 表层土壤有机碳含量显著高于各放牧处理;张伟华等^[26]对围封与围栏外的自由放牧地进行对比研究指出,围封后土壤表层 (0—10cm) 有机质增加了 0.54%,围封 8a 后,土壤有机质增加了 1.06% 研究结果相一致。20—30cm 土层的土壤有机质变化则与放牧没有表现出明显的规律性,划区轮牧区与自由放牧区无显著差异 ($P > 0.05$)。30—40cm 土层 3 处理存在显著差异 ($P < 0.05$),呈现出划区轮牧区 > 自由放牧区 > 对照区的趋势。0—40cm 土壤有机质 3 处理存在显著差异 ($P < 0.05$),表现为划区轮牧区平均含量最高,为 24.02g/kg;对照区次之,为 23.01g/kg;自由放牧区最低,为 20.97g/kg;划区轮牧区和对照区分别是自由放牧区的 1.45 和 1.10 倍。

从图 9 可看出,0—10cm 和 20—30cm 层 C/N 两放牧区之间无显著差异 ($P > 0.05$),10—20cm 和 30—40cm 层划区轮牧区显著高于自由放牧区 ($P < 0.05$)。不同土层 C/N 均呈现出对照区最高,说明放牧降低草地的初级生产力和凋落物的积累,从而使进入土壤的有机碳减少,导致碳氮比减少。这与 Shariff^[28], Dormaar^[29]研究所得放牧可以降低植物残体和土壤的 C:N 比结论一致。

2.2 同一放牧制度不同土层之间的养分含量

土壤全氮含量随土壤深度的变化没有表现出较为一致的变化趋势,对照区土壤全氮含量随土壤深度的增加呈高度的正相关,二者可以用二次幂函数很好的拟合,相关达到了极显著水平 ($P < 0.0001$)。方差分析表

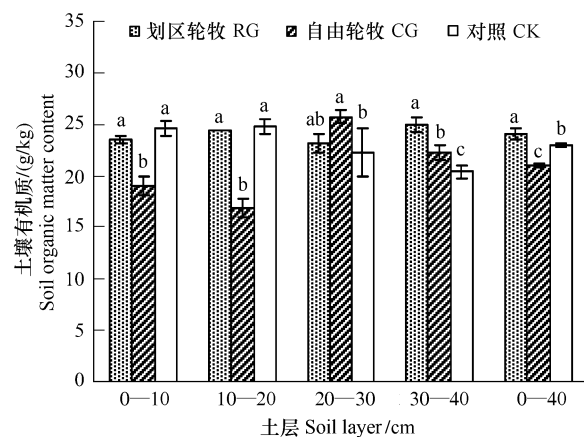


图8 同一土层不同放牧制度土壤有机质含量

Fig. 8 The soil organic matter content of same soil layer under different grazing systems

明(表1),土壤全氮含量30—40cm显著高于0—10cm、10—20cm和20—30cm 3层($P < 0.05$),且这3层无显著差异($P > 0.05$)。划区轮牧区和自由放牧区土壤全氮含量与深度没有表现出极显著的相关关系。土壤速效氮含量随土壤深度的增加逐渐降低,且不同层次间存在显著的差异($P < 0.05$),划区轮牧区和自由放牧区土壤速效氮和深度二者也符合二次幂函数关系,有极显著的相关关系。但对照区变化不明显(表2)。

土壤全磷和速效磷含量随土壤深度的变化与全氮相似,没有表现出较为一致的变化趋势(表2),划区轮牧区和对照区土壤全磷含量与深度二者没有表现出显著的相关关系。自由放牧区土壤全磷含量随土壤深度的增加逐渐升高,二者可以用二次幂函数很好的拟合,相关达到了显著。划区轮牧区土壤速效磷含量随土壤

深度的增加逐渐降低,二者可以用二次幂函数很好的拟合,相关达到了显著,不同层次间存在显著的差异($P < 0.05$)(表1)。对照区和自由放牧区土壤速效磷含量与深度二者没有表现出显著的相关关系。

表1 同一放牧制度不同层次下荒漠草原土壤养分的比较

Table 1 The comparisons of soil nutrients of different soil layer in the same grazing systems in desert steppe

养分 Nutrients		土层 Soil layer/cm			
		0—10	10—20	20—30	30—40
RG	全氮 Total N/(g/kg)	1.00 ± 0.02a	0.97 ± 0.00b	1.01 ± 0.01a	0.91 ± 0.01c
	速效氮 Available N/(mg/kg)	65.50 ± 0.30a	51.18 ± 2.24b	46.36 ± 2.21c	38.73 ± 0.54d
	全磷 Total P/(mg/kg)	0.42 ± 0.02a	0.39 ± 0.01b	0.42 ± 0.01a	0.43 ± 0.00a
	速效磷 Available P/(mg/kg)	7.74 ± 0.06a	6.44 ± 0.06c	6.27 ± 0.04d	6.68 ± 0.06b
	全钾 Total K/(g/kg)	28.10 ± 0.13a	27.65 ± 0.10ba	27.42 ± 0.13b	26.45 ± 0.46c
	速效钾 Available K/(mg/kg)	269.37 ± 0.88a	137.47 ± 0.08b	104.23 ± 0.17d	105.29 ± 0.48c
	有机质 Organic matter/(g/kg)	23.50 ± 0.35bc	24.46 ± 0.04ba	23.21 ± 0.93c	24.90 ± 0.75a
CG	全氮/(g/kg)	0.77 ± 0.02b	0.76 ± 0.02b	0.72 ± 0.02c	0.81 ± 0.01a
	速效氮/(mg/kg)	54.19 ± 0.39a	49.58 ± 1.72b	48.54 ± 0.69b	35.74 ± 1.17c
	全磷/(mg/kg)	0.24 ± 0.02b	0.38 ± 0.02a	0.38 ± 0.02a	0.39 ± 0.01a
	速效磷/(mg/kg)	6.95 ± 0.61b	8.42 ± 0.26a	7.31 ± 0.00b	7.21 ± 0.34b
	全钾/(g/kg)	26.95 ± 1.36a	27.29 ± 0.08a	27.18 ± 0.13a	26.70 ± 0.04a
	速效钾/(mg/kg)	209.24 ± 1.01a	136.55 ± 0.22b	114.14 ± 0.38c	80.02 ± 0.38d
	有机质/(g/kg)	19.06 ± 0.90c	16.84 ± 0.95d	25.73 ± 0.58a	22.26 ± 0.70b
CK	全氮/(g/kg)	1.01 ± 0.01b	0.99 ± 0.02b	1.02 ± 0.01b	1.18 ± 0.03a
	速效氮/(mg/kg)	68.35 ± 6.26a	59.91 ± 3.17b	58.88 ± 2.16b	49.34 ± 2.42c
	全磷/(mg/kg)	0.32 ± 0.04b	0.39 ± 0.08ba	0.36 ± 0.02ba	0.45 ± 0.08a
	速效磷/(mg/kg)	7.74 ± 0.26a	7.50 ± 0.35a	5.81 ± 0.18b	8.49 ± 1.31a
	全钾/(g/kg)	25.15 ± 0.20b	23.97 ± 0.25c	24.10 ± 0.26c	26.44 ± 0.29a
	速效钾/(mg/kg)	277.62 ± 2.76a	115.73 ± 0.01b	110.50 ± 0.81c	101.78 ± 0.61d
	有机质/(g/kg)	24.63 ± 0.74a	24.78 ± 0.79a	22.26 ± 2.41ba	20.38 ± 0.67b

同一放牧制度不同土层标有不同字母表示在5%水平上差异显著($P < 0.05$)

土壤全钾含量划区轮牧区随土壤深度的增加呈下降趋势,二者可以用二次幂函数很好的拟合,相关达到了显著($P < 0.0001$)。0—10cm和10—20cm层土壤全钾含量显著高于20—30cm和30—40cm($P < 0.05$),20—30cm层与30—40cm层也存在显著差异($P < 0.05$)。对照区土壤全钾含量随土壤深度的增加呈微弱的上升趋势,与深度二者表现出显著的相关关系($P < 0.05$)。自由放牧区土壤全钾含量与深度二者没有表现出

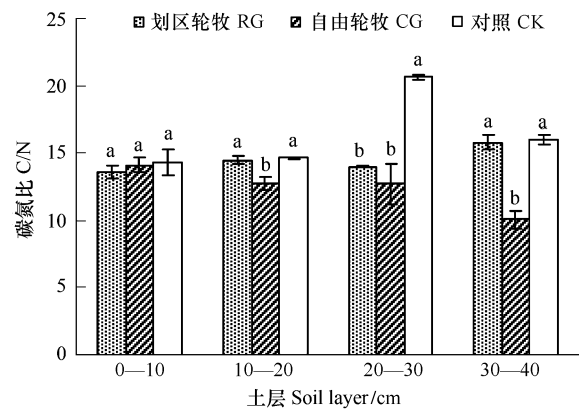


图9 同一土层不同放牧制度土壤碳氮比

Fig.9 The soil C/N of same soil layer under different grazing systems

显著的相关关系,不同层次间无显著差异($P > 0.05$)。土壤速效钾含量随土壤深度的增加逐渐降低(表2),二者的关系都符合二次幂函数关系,相关关系达到了显著或极显著,方差分析表明,不同土壤层次间存在显著差异($P < 0.05$)。

表2 不同放牧制度下土壤养分含量与土壤深度的关系

Table 2 The correlation between soil nutrients and soil depth under different grazing systems

养分元素 Nutrients	处理 Treatments	相关方程 Regression equation	相关系数 R^2 Correlation coefficient	P-值 P-value
全氮 Total N	RG	$y = -0.00016667x^2 + 0.00440x + 0.97450$	0.5841 *	0.0193
	CG	$y = 0.00024167x^2 - 0.00897x + 0.81996$	0.5945 *	0.0172
	CK	$y = 0.00045833x^2 - 0.01310x + 1.07221$	0.9458 **	0.0001
速效氮 Available N	RG	$y = 0.01673x^2 - 1.52040x + 72.06467$	0.9628 **	0.0001
	CG	$y = -0.02048x^2 + 0.25527x + 52.66175$	0.9211 **	0.0001
	CK	$y = -0.00274x^2 - 0.047090x + 69.97988$	0.7627 *	0.0015
全磷 Total P	RG	$y = 0.00008333x^2 - 0.00260x + 0.42325$	0.4686	0.0581
	CG	$y = -0.00034167x^2 - 0.01830x + 0.16087$	0.9021 **	0.0001
	CK	$y = 0.00005833x^2 - 0.00117x + 0.32687$	0.3434	0.1506
速效磷 Available P	RG	$y = 0.00429x^2 - 0.20517x + 8.63437$	0.9829 **	0.0001
	CG	$y = -0.00392x^2 - 0.15327x + 6.46425$	0.3803	0.1161
	CK	$y = 0.00730x^2 - 0.28633x + 9.27917$	0.4196	0.0865
全钾 Total K	RG	$y = -0.00131x^2 - 0.00063333x + 28.08171$	0.8692 **	0.0001
	CG	$y = -0.00205x^2 - 0.07340x + 26.63825$	0.1409	0.5048
	CK	$y = -0.00880x^2 - 0.31187x + 26.53067$	0.9498 **	0.0001
速效钾 Available K	RG	$y = 0.33240x^2 - 18.55100x + 350.60000$	0.9887 **	0.0001
	CG	$y = 0.09643x^2 - 7.95807x + 243.52050$	0.9785 **	0.0001
	CK	$y = 0.38294x^2 - 20.64503x + 363.26379$	0.9396 **	0.0001
有机质 Organic matter	RG	$y = 0.00184x^2 - 0.04430x + 23.93662$	0.194	0.3789
	CG	$y = -0.00312x^2 - 0.30990x + 16.41513$	0.3742	0.1213
	CK	$y = -0.00508x^2 + 0.05010x + 24.67487$	0.6986 *	0.0045

3 结论

3.1 从土壤的氮、磷、钾元素和有机质的比较来看,放牧制度对土壤的养分状况有明显的影响。划区轮牧区和禁牧提高了土壤有机质、土壤氮素、土壤全钾和土壤速效钾含量。土壤表层磷含量划区轮牧区也大于自由放牧区。不同土层 C/N 均呈现出禁牧区最高,放牧导致碳氮比减少。

3.2 土壤养分含量随土壤深度的变化在不同处理没有表现出较为一致的变化趋势。禁牧区土壤全氮含量随土壤深度的增加而增加;不同处理土壤速效氮、土壤速效钾含量均随土壤深度的增加逐渐降低,且不同土层间存在显著的差异;土壤全磷在自由放牧区随土壤深度的增加逐渐升高;土壤速效磷、全钾含量在划区轮牧区随土壤深度的增加逐渐降低,不同土层间存在显著的差异,它们与土壤深度的拟合曲线为二次幂函数,相关关系也达到了显著或极显著。

References:

- [1] Li Q F, Hu C Y, Wang M J. Analysis on the Causes of Eco-environmental Deterioration in Xilinguole Typical Grassland Region and Counter Measures. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Neimongol, 2003, 3(2): 166-172.
- [2] The station of Grassland Ecosystem Research in Inner Mongolia Steppe, the Chinese Academy of Sciences. Research of grassland ecosystem (5). Beijing: Science Press, 1997: 88-94.
- [3] Chen Z Z. Typical grassland ecosystem of China. Beijing: Science Press, 2000: 125-156.
- [4] Dakhah M, Gifford G F. Influence of vegetation, rock cover and tramp ling on infiltration rates and sediment production. Water Resource Bull. ,

- 1980, 16: 979-986.
- [5] Haynes R J, William s P H. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture eco system. *Adv. Agron.*, 1993, 49: 119-199.
- [6] Krzic M, Broersma K, Thompson D J, Bomke A A. Soil properties and species diversity of grazed crested wheatgrass and native rangelands. *J. Range Manage*, 2000, 53: 353-358.
- [7] Rong Y P, Han J G, Wang P, Mao P S. The Effects of Grazing Intensity on Soil Physics and Chemical Properties. *Grassland of China*, 2001, (4): 41-47.
- [8] Wang Y H, He X Y, Zhou G S. Study on the Responses of *Leymus chinensis* Steppe to Grazing in Songnen Plain. *Acta Agrestia Sinica*, 2002, 10 (1): 46-49.
- [9] Bauer A, Cole C V, Black A L. Soil property comparisons in virgin grasslands between grazed and nongrazed management systems. *Soil Science Society of America Journal*, 1987, 51: 176-182.
- [10] Yao A X, Wang P, Xia J X, Fan F C. Effects of Different Grazing Intensity for Dairy Cows on Soil Characteristics of Perennial Ryegrass/White Clover Sward. *Acta Agrestia Sinica*, 1995, 3(3): 181-189.
- [11] Zhang S Y, Zhang Y L, Liu S X. Effect of Grazing on the Soil Reserve Nitrogen Season Dynamics of *Stipa*. *Journal of Zhelimu Animal Husbandry College*, 1998, 8(1): 54-58.
- [12] Abbasi M K, Adams W A. Estimatin of simultaneous nitrification and denitrification in grassland soil association with urea-N using ^{15}N and nitrification inhibitor. *Biol Fertil Soils*, 2000(31): 38-44.
- [13] Valentine Zeller, Michael Baln, Meinhard Aichner, Ulrike Tappeiner. Impact of land-use change on nitrogen mineralization in subalpine grasslands in the Southern Alps. *Biol Fertil Soils*, 2000(31): 441-448.
- [14] Pei H K. Effect of different grazing intensity on soil nutrient and texture. *Journal of Qinghai University*, 2004, (4): 29-31.
- [15] Xu Z Q, Min Q W, Wang Y S, Li W H, Xu Q. Impact of Human Disturbances on Soil Nutrient Contents of Typical Grasslands. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, (5): 38-42.
- [16] Altesor A, Pineiro G, Lezama F, Jackson R B, Sarasola M, Paruelo J M. Ecosystem changes associated with grazing in subhumid South American grasslands. *Journal of Vegetation Science*, 2006, 17: 323-332.
- [17] Dong Q M, Zhao X Q, Ma Y S, Shi J J, Wang Y L, Sheng L. Effect of Grazing Intensity on Soil Organic Matter and Organic Carbon in Alpine-cold Artificial Grassland. *Chinese Qinghai Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 2007, 37(1): 6-8.
- [18] Gao Y Z, Han X G, Wang S P. The effects of grazing on grassland soils. *Acta Ecologica Sinica*, 2004(4): 790-797.
- [19] Dong Q M, Zhao X Q, Ma Y S. Effects of Grazing Intensity on Soil Nutrition in the Alpine Mixed- sown Grassland Chinese. *Journal of Soil Science*, 2008, 39(3): 553-557.
- [20] Li X Z, Zhang S M. Nitrogen forms and grazing's influence in dark chestnut soils of Inner Mongolian grassland. *Acta Pratacultural Science*, 2002, 11(2): 15-211.
- [21] Milchunas D G, Laurenroth W K, Burke L C. Livestock grazing; animal and plant biodiversity of shortgrass steppe and the relationship to ecosystem functioning. *Oikos*, 1998, 83: 65-74.
- [22] Murphy W M, Barreto A D M, Silman J P, Dindal D L. Cattle and sheep grazing effects on soil organisms, fertility and compaction in a smooth-stalked meadowgrass-dominant white clover sward. *Grass Forage Sci*, 1995, 50(3): 191-194.
- [23] Hou F J, Chang S H, Yu YW, Lin H L. A review on trampling by grazed livestock. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(4): 784-789.
- [24] Yao A X, Li P, W P, Xia J X, Hu T M. Effects of Different Grazing system for Dairy Cows on Soil Characteristics of Perennial Ryegrass/White Clover Sward. *Acta Agrestia Sinica*, 1996, 4(2): 95-102.
- [25] Yang Z M, Wang N, Zhang Z Q. Influence of Grazing on Grassland Ecosystem I. Influence of Grazing on the Grassland Soil. *Journal of Ningxia Agricultural Colleg*, 2004, 25(1): 70-72.
- [26] Zhang W H, Guan S Y, Li Y J, Wu Y Z. Effect of Different Restoration Measure on the Moisture and Nutrient of Soil of Degradated Grassland. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University*, 2000, 21(4): 31-35.
- [27] Bai KY, Han J G, Wang P, Song J F, Wang X G. The Distribution and Growing Seasonal Dynamics of Soil Nitrogen Fractions on Russian Wildrye Grass Pasture Under Different Grazing Intensities. *Acta Agrestia Sinica*, 1999, 7(4): 308-318.
- [28] Shariff A R, Biondini M E, Crygiel C E. Grazing intensity effects on litter decomposition and soil nitrogen mineralization. *J. Range Manage.*, 1994, 47: 444-449.
- [29] Dormaar J F, Smoliak S, Willms W D. Distribution of nitrogen fractions in grazed and ungrazed fescue grassland Ahorizons. *J Range Manag*, 1990, 43(1): 6-9.
- [30] Li Z X, Chen Z Z. Influences of stocking rates on C, N, P contents in plant-soil system. *Acta Agrestia Sinica*, 1998, 6 (2): 90-98.
- [31] Adepoju A Y, Pratt P F, Mattigod S V. Availability and Extractability of Phosphorus from Soils Having High Residual Phosphorus. *Soil Science*

Society of America, 1982, 46:583-588.

参考文献:

- [1] 李青丰,胡春元,王明玖. 锡林郭勒草原生态环境劣化原因诊断及治理对策. 内蒙古大学学报(自然科学版),2003,3(2):166-172.
- [2] 中国科学院内蒙古草原生态系统定位站编. 草原生态系统研究(5). 北京:科学出版社,1997: 88-94.
- [3] 陈佐忠. 中国典型草原生态系统. 北京: 科学出版社, 2000:125-156.
- [7] 戎郁萍,韩建国,王培,毛培胜. 放牧强度对草地土壤理化性质的影响. 中国草地,2001,(4):41-47.
- [8] 王玉辉,何兴元,周光胜. 放牧强度对羊草草原的影响. 草地学报,2002, 10(1): 46-49.
- [10] 姚爱兴,王培,夏景新,樊奋成. 不同放牧强度下奶牛对多年生黑麦草/白三叶草地土壤特性的影响. 草地学报,1995,3(3):181-189.
- [11] 张淑艳,张永亮,刘淑贤. 放牧对短花针茅草原生态系统土壤贮氮季节动态的影响. 哲里木畜牧学院学报,1998,8(1): 54-58.
- [14] 裴海昆. 不同放牧强度对土壤养分及质地的影响. 青海大学学报(自然科学版),2004,(4):29-31.
- [15] 许中旗,闵庆文,王英舜,李文华,许晴. 人为干扰对典型草原生态系统土壤养分状况的影响. 水土保持学报,2006,(5):38-42.
- [17] 董全民,赵新全,马玉寿,施建军,王彦龙,盛丽. 放牧强度对高寒人工草地土壤有机质和有机碳的影响. 青海畜牧兽医杂志, 2007,37(1): 6-8.
- [18] 高英志,韩兴国,汪诗平. 放牧对草原土壤的影响. 生态学报, 2004,(4):790-797.
- [19] 董全民,赵新全,马玉寿. 放牧强度对高寒混播草地土壤养分含量的影响. 土壤通报, 2008,39(3):553-557.
- [20] 李香真,张淑敏. 内蒙古草原暗栗钙土中氮的形态及放牧的影响. 草业学报,2002,11(2):15-211.
- [23] 侯扶江,常生华,于应文,林慧龙. 放牧家畜的践踏作用研究评述. 生态学报, 2004, 24(4): 784-789.
- [24] 姚爱兴,李平,王培,夏景新,呼天明. 不同放牧制度下奶牛对多年生黑麦草/白三叶草地土壤特性的影响. 草地学报,1996,4(2):95-102.
- [25] 杨智明,王宁,张志强. 放牧对草原生态系统的影响 I. 放牧对草原土壤的影响. 宁夏农学院学报,2004,25(1):70-72.
- [26] 张伟华,关世英,李跃进,武永智. 不同恢复措施对退化草地土壤水分和养分的影响. 内蒙古农业大学学报,2000,21(4):31-35.
- [27] 白可喻,韩建国,王培,宋锦峰,王显国. 放牧强度对新麦草土壤氮素分配及其季节动态的影响. 草地学报,1999,7(4):308-318.
- [30] 李香真,陈佐忠. 不同放牧率对草原植物与土壤 C、N、P 含量的影响. 草地学报, 1998, 6(2): 90-98.