

放牧对黄土高原丘陵沟壑区林草地土壤理化性状的影响

范春梅¹, 廖超英^{1*}, 李培玉², 孙长忠³, 许喜明⁴

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 云南省曲靖市水利电力勘测设计研究院, 云南 曲靖 655000;
3. 中国林科院 华北林业实验中心, 北京 102300; 4. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨陵 712100)

摘要:在黄土高原丘陵沟壑区-山西偏关县通过放牧试验,研究了草地和柠条林地在不同放牧强度、不同放牧畜种条件下表层土(0~10 cm)的物理和化学性质。结果表明,放牧强度直接影响着草地和柠条林地土壤的物理结构。随放牧强度的增加,牲畜对土壤的践踏加剧,导致土壤紧实度增加,容重上升,含水量下降。草地和柠条林地土壤的有机C、全N和全P含量都随放牧强度的增加而减少,而速效K含量则都表现为中度放牧>重度放牧>轻度放牧;从畜牧羊种来看,绵羊相对于山羊来说对放牧地践踏较轻,其放牧地土壤容重较小,土壤含水量、有机C、全N、全P和速效K含量则较高。

关键词:放牧林草地;土壤理化性状;黄土高原;丘陵沟壑区

中图分类号:S714.2 文献标识码:A 文章编号:1001-7461(2006)02-0001-04

Effects of Grazing on Soil Physical and Chemical Properties of Grassland and Forest Floor in Hilly and Gully Regions on the Loess Plateau

FAN Chun-mei¹, LIAO Chao-ying^{1*}, LI Pei-yu², SUN Chang-zhong³, XU Xi-ming⁴

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Qujing Design Institute of Water Conservancy and Electric Power, Qujing, Yunnan 655000, China; 3. Experimental Center of Forestry in North China, CAF, Beijing 102300, China; 4. College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The effects of different grazing intensity and different species of livestock on physical and chemical properties of surface (0~10 cm) soil of grazing grassland and *Caragana korshinkii* forest floor were studied at hilly and gully regions on the Loess Plateau-Pianguan, Shanxi Province. The results showed that grazing intensity directly influenced the soil physical structure of grazing grassland and *C. korshinkii* forest floor. The soil bulk density increased along with the increase of grazing intensity, while water content was decreased. The contents of organic matter, gross nitrogen and gross phosphorus in the soil of grazing grassland and grazing *C. korshinkii* forest floor all decreased with the increase of grazing intensity, while the contents of quick available potassium in the soil of grazing grassland and grazing *C. korshinkii* forest floor were medium grazed paddocks > heavy grazed paddocks > light grazed paddocks. Compared with goat selected as grazing livestock, sheep had less effect on trampling soil with smaller soil bulk density, and also water content and the contents of soil organic matter, gross nitrogen, gross phosphorus and quick available potassium of the grazing land under sheep were higher than those under goats.

Key words: grazing land; soil physical and chemical property; the Loess Plateau; hilly and gully regions

随着畜牧业的发展,牲畜数量逐年增多,过度放牧不仅引起草场的产量和质量下降,而且对放牧林

收稿日期:2005-09-12 修回日期:2005-10-08

基金项目:国家自然科学基金(40171016)

作者简介:范春梅(1979-),女,云南嵩明人,硕士,研究方向:水土保持与荒漠化防治。电话:029-87082579

* 通讯作者:廖超英,教授,博士生导师,研究方向:水土保持与荒漠化防治。

草地的土壤理化性状产生一系列的影响^[1]。研究表明,长期放牧会导致草地土壤硬度和紧实度增加,持水量下降,有机质和养分向土壤的输入减少^[2]等,其他性状亦有变坏的趋势。对于水土流失及其严重的黄土高原,过度放牧对林草地土壤生态系统的负面影响更为明显,持续的过牧是该区域水土流失发生发展的主要原因之一^[3]。近年来,对黄土高原林草地生态系统的放牧演变,虽有定性的认识,并常被列为影响土壤侵蚀的人为因素之一,但在定量研究方面,由于该类问题常被归入草原学研究范畴,涉及畜牧科学的诸多方面,受学科等因素的限制,并未引起土壤学、林学、水土保持研究人员的足够重视。以黄土高原丘陵沟壑区-山西偏关为例,研究了沙打旺草地和柠条林地不同放牧强度和不同放牧畜种条件下表层土壤的物理和化学性状,旨在探讨不同放牧强度和方式对林草地土壤系统的长期影响,为进一步认识放牧的环境效应和确定适宜的载畜量提供理论依据。

1 研究区概况

试验地设在黄土高原半干旱丘陵沟壑区的山西偏关县,位于东经 111°21'2"~112°0'48",北纬 39°12'56"~39°39'8",海拔 1 250 m。土壤属黄绵土型,为黄土质,间有灰褐土,土质松散、贫瘠,自然土壤有机质含量 0.29%,pH 值为 7.5,该区干旱多风,植被稀少,土壤质量低下^[4]。试验区的主要造林树种为油松和柠条,还有沙打旺等根系发达、耐干旱瘠薄、抗风沙的人工牧草。

2 材料与方法

2.1 试验地选择及试验布设

根据黄土高原森林草原区退耕地及现有荒坡地坡度范围以斜—陡坡为主要的实际,选取 20~30°的坡面为试验区;根据偏关县生态环境治理中可作为牧场放牧的植被状况,选取人工放牧植被主体的人工柠条灌木林和人工改良草地(沙打旺)(供试建群种均为 3 年生植物)为试验对象;根据偏关县放牧畜种以羊占绝对优势的传统,以及地形坡度大,牛放牧困难及不喜食柠条的实际,选山羊、绵羊(40 kg 左右的周岁母羊)为试验家畜。按羊单位日食干草 2 kg^[5],3 年生柠条,3 年生半人工草地可食产草量均按 1.5 t/hm² 计,放牧强度轻、中、重分别取利用率 40%、65%、80%^[6,7];小区大小长×宽,轻、中、重强度分别为 40 m×20 m,30 m×15 m,40 m×20 m;相应的供试羊只数为 1 只、1 只和 2 只。

万方数据

按供试家畜山羊、绵羊,试验放牧地柠条灌木林、人工改良草地,放牧强度轻、中、重 3 级进行试验处理完全组合,共计 12 种处理。按暖季(5~10 月)6 个月放牧 184 d,实行划区轮牧制,放牧频率 5 次,则每一处理样地需设轮牧小区 8 个,每小区均可作为 1 个试验重复,共计 96 个放牧试验小区。另外,在柠条林地和草地内各设 3 个对照小区,面积分别为 20 m×20 m,对照小区内禁牧。按试验设计的要求,以铁丝围栏将各放牧试验小区及对照小区分隔开。本试验研究期限从 2002 年 1 月~2005 年 11 月,每年于 5、7、9 月和 10 月采 0~10 cm 的表层土样 4 次,带回实验室进行室内分析。本实验数据由 10 月份所采土样分析而得,因为每一轮放牧将于 10 月结束,而放牧对土壤理化性状的影响具有累积性^[8],所以对这一次的土样进行分析,较能反映每一轮放牧对土壤理化性状的影响。

2.2 测定项目

土壤容重、含水量、有机质、全 N、全 P、速效 K。

2.3 测定方法

土壤容重 环刀法(土壤容重 $dv(\text{g}/\text{cm}^3) = w/v$) 式中: v —环刀内容积(cm^3) w —环刀内干土重(g)

含水量 烘干法含水量($\%$) = $(w_2 - w_1) / (w_2 - w_1) \times 100\%$ 式中: w_1 —铝盒重(g); w_2 —铝盒重 + 湿样重(g); w_3 —铝盒重 + 烘干样品重(g)

有机质 重铬酸钾—外加热法;

全 N Kjeldahl 定氮法(凯氏法);

全 P 硫酸—高氯酸消化钼锑抗比色法;

速效 K 1 mol/L NH_4OAc 浸提,火焰光度法。

3 结果与分析

3.1 放牧对土壤物理性质影响

3.1.1 放牧对土壤容重的影响 土壤容重是土壤紧实度的指标之一,它与土壤孔隙度和渗透率密切相关^[10,11]。

由图 1、图 2 可以看出,草地和柠条林地 0~10 cm 土层放牧地的土壤容重都大于对照地。草地山羊轻度、中度和重度放牧阶段土壤容重比对照地分别增加了 41%、44%和 52%;绵羊轻度、中度和重度放牧阶段土壤容重比对照地分别增加了 17%、30%和 40%。而柠条林地山羊轻度、中度和重度放牧阶段土壤容重比对照地分别增加了 29%、34%和 41%;绵羊轻度、中度和重度放牧阶段土壤容重比对照地分别增加了 26%、29%和 38%。就不同放牧强度间相比较而言,均有随放牧强度增加而上升的趋势。这

表明家畜的放牧活动,尤其是高强度放牧会导致土

壤坚实度增加。

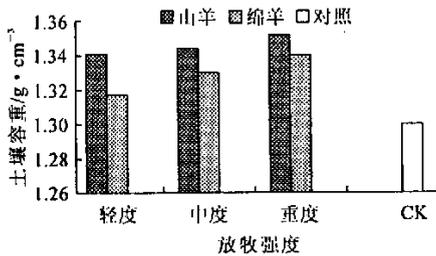


图1 草地山羊、绵羊不同放牧强度土壤容重对比
Fig. 1 Dynamics of soil bulk density for goat and sheep in grassland under different grazing intensity

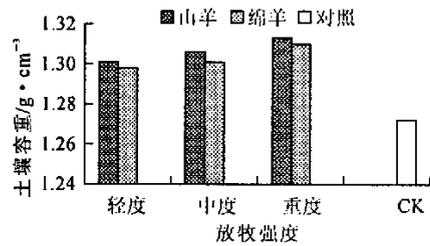


图2 柠条林地山羊、绵羊不同放牧强度土壤容重对比
Fig. 2 Dynamics of soil bulk density for goat and sheep in *C. korshinkii* under different grazing intensity

3.1.2 放牧对土壤含水量的影响

由图3和图4显示,随着放牧强度的增加,草地和柠条林地土壤表层(0~10 cm)的含水量都相应的降低。而且对照地的含水量均高于3个放牧处理,这与许多学者的研究结果是一致的,即不管在何种放牧制度下,高载畜量均能减少土壤渗透率,增加土壤

冲积物^[12,13]。这是由于放牧强度增加,牲畜啃食与践踏强度加大,表层土壤容重与硬度都相应增大,直接影响土壤团聚体的形成与数量,其分散系数亦相应增大,导致总空隙度减小。再加上山坡微地形的倾斜,容易形成地表径流,使得降水渗透到土壤中的量减少了,因而土壤的含水量也相应减少。

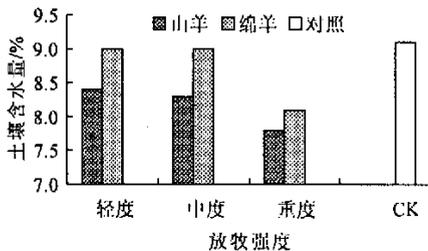


图3 草地山羊、绵羊不同放牧强度土壤含水量对比
Fig. 3 Dynamics of soil water content for goat and sheep in grassland under different grazing intensity

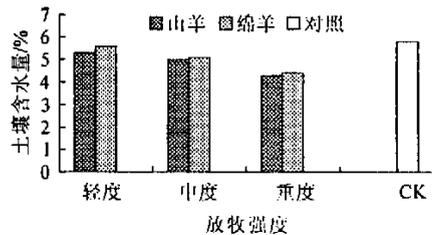


图4 柠条林地山羊、绵羊不同放牧强度土壤含水量对比
Fig. 4 Dynamics of soil water content for goat and sheep in *C. korshinkii* under different grazing intensity

就不同放牧家畜间相比较可得(图1~图4),在同等放牧强度下,山羊放牧地土壤层的土壤容重均高于绵羊放牧地,而表层的土壤含水量均低于绵羊放牧地的。原因是山羊对放牧地的践踏较绵羊重,对土壤容重和含水量的影响也较绵羊大。总之,放牧活动导致土壤坚实,通透性变差,含水量下降。而且,这种影响随放牧强度、放牧时间的增加而加剧。

3.2 放牧对土壤化学性质的影响

放牧对土壤有机碳和养分的影响是一个较为复杂的过程,其影响程度和方向与放牧强度、频度、方式、放牧的时间尺度以及草地本身的土壤特性等有关^[14]。

3.2.1 土壤有机碳 土壤有机碳含量是土壤肥力高低的一个重要指标,其含量的多少直接影响着土壤氮素的供应。草地和柠条林地0~10 cm土壤有机

C含量都随放牧强度的增加,依次降低(表1),这可能是由于过度放牧使草地初级生产固定C素的能力降低,家畜采食减少了C素由植物凋落物向土壤中的输入所致^[15]。Greene等^[16]和Johnston等^[17]认为放牧使草地生态系统C的移出量增加(牲畜的屠宰和动物的消化过程)。也有人认为在重牧条件下有机质的降低是土壤侵蚀加重所致。若放牧地土壤本身含有较低的有机质,土壤的缓冲性能低,放牧后,也可导致土壤有机质降低。特别是在生态环境相对脆弱的半干旱和干旱地区^[18]。

对于对照地来说,放牧草地和柠条林地的土壤有机C含量都表现为轻度>中度>对照>重度,这说明重度放牧对土壤生态系统的影响是严重的,而适度的放牧干扰却有利于林草地营养物质的循环,腐殖质的形成和C的截存^[19]。

表 1 放牧草地、柠条林地土壤的化学性状

Table 1 Chemical properties in soils of grazing grassland and *C. korshinkii* forest floor

植被类型	畜种	放牧强度	有机碳 /g · kg ⁻¹	全氮 /g · kg ⁻¹	全磷 /g · kg ⁻¹	速效钾 /mg · kg ⁻¹	
草地	山羊	轻度	5.358a	0.280a	0.667a	75.9a	
		中度	4.999b	0.277a	0.433b	96.4b	
		重度	4.856b	0.256a	0.325b	84.2ab	
		对照	5.544a	0.304a	0.900c	94.7b	
	绵羊	轻度	5.450a	0.303a	0.842a	77.0a	
		中度	5.105b	0.293a	0.691b	98.7b	
		重度	4.971b	0.278a	0.491c	89.9ab	
		对照	5.544a	0.304a	0.900a	94.7b	
	柠条	山羊	轻度	4.722a	0.330a	0.834a	46.8a
			中度	4.658a	0.311a	0.809a	81.3b
			重度	4.011b	0.255a	0.776b	73.6b
			对照	4.205c	0.282a	0.890ac	77.8b
绵羊		轻度	5.734a	0.367a	0.878a	49.8a	
		中度	5.590a	0.360a	0.842a	84.1b	
		重度	3.903b	0.263a	0.783b	73.9b	
		对照	4.205c	0.282a	0.890ac	77.8b	

注:同一植被类型、同一畜种标有不同字母,表示在 5%水平上差异显著($P < 0.05$)。

3.2.2 土壤全 N 草地和柠条林地的全 N 都与有机 C 的变化趋势相似(表 1)。0~10 cm 土壤中的全 N 含量在对照及其 3 种放牧强度间差异均不显著($P < 0.05$)。因为土壤 N 主要来自于有机质的分解,即土壤中全 N 的 95%来源于土壤有机质,故不难看出全 N 的变化趋势和有机 C 的结果相同。放牧对土壤中 N 含量的影响,国内外学者作了许多工作,但由于研究对象、放牧管理方法、时间等方面的差异,使结果不尽一致。Baurer 等的研究结果认为,未放牧地 0~45.7 cm 土层中全 N 含量低于放牧地, Berg 等的研究结果显示,经过几十年放牧,土壤表层中 N 含量,未发生明显变化。我国学者关世英对锡林郭勒盟羊草草原的研究得出,随着放牧强度的增加,0~10 cm 层土壤 N 含量呈降低趋势。而姚爱兴等在黑麦草/白三叶人工草地上的研究土壤全 N 含量随放牧强度的增加而增加^[20]。在本研究中,草地和柠条林地 0~10 cm 土壤中的 N 都随着放牧强度的增加而降低。这说明在农林业系统中,土壤 N 的变化比较复杂,该变化可能与很多因素有关。

3.2.3 土壤全 P 由表 1 看出,随着放牧强度增加,草地和柠条林地 0~10 cm 土层全 P 含量都呈降低趋势。安渊等^[21]在羊草草地上也得到相同的结论。土壤 P 含量随放牧强度增加而降低,一方面是由于在高强度放牧条件下,家畜频繁的采食使 P 从

系统中输出量增加,引起土壤中全 P 的各组分向速效成分转移量加大,通过植物吸收后转向系统外输出,从而导致土壤全 P 含量减少。另一方面土壤风蚀作用也是造成 P 损失的主要原因。

3.2.4 土壤速效 K 无论是草地还是柠条林地 0~10 cm 土层的速效 K 含量都表现为中度放牧>重度放牧>轻度放牧。而且草地轻度放牧下的速效 K 含量显著低于对照和中度放牧地,柠条林地轻度放牧下的速效 K 含量则显著低于对照、中度和重度放牧地($P < 0.05$)(表 1)。土壤中速效养分主要与土壤的矿化作用、植物的吸收量、牲畜排泄物量和速效养分含量有关^[22]。故 0~10 cm 土层速效 K 含量在中度放牧处理中最高,这可能是由于在中度放牧下,矿化速率较快,家畜排泄物多,而植物的吸收量又较少所致。

放牧家畜种类不同,对土壤有机 C、全 N、全 P 和速效 K 的影响也不同。从表 1 可明显看出,对于草地和柠条地,在同等放牧强度下,与山羊相比,绵羊放牧地有机 C、全 N、全 P 以及速效 K 含量均高于山羊放牧地,表明绵羊对土壤养分的影响较山羊小。究其原因,山羊采食能力强,性格活泼好动,行动敏捷,喜欢攀登,善于游走^[23],对放牧地践踏严重。绵羊性情温顺、懒动,四肢较笨,行走较慢^[24],对放牧地践踏较轻。因此与山羊相比,在高强度放牧条件下,绵羊采食使养分从系统中输出量少。

4 结论

放牧强度直接影响着林草地土壤的物理结构。随着放牧强度增加,山羊、绵羊对林草地土壤的践踏加剧,导致土壤紧实度增加,容重上升,含水量下降。

放牧强度在影响土壤物理结构的同时,也影响着其化学特性。草地和柠条林地土壤的有机 C、全 N 和全 P 含量都随放牧强度的增加而减少,而速效 K 含量则表现为中度放牧>重度放牧>轻度放牧。

放牧家畜种类不同,对土壤容重、含水量、有机 C、全 N、全 P 和速效 K 的影响也不同。从畜牧羊种选择来看,绵羊相对于山羊来说对放牧地践踏较轻,土壤容重较小,土壤含水量、有机 C、全 N、全 P 和速效 K 含量则较高。

参考文献:

- [1] 任海,彭少麟. 恢复生态导论[M]. 北京:科学出版社,2001.
- [2] 贾树海,崔学明,李绍良,等. 牧压梯度上土壤理化性质的变化[A]. 见:中国科学院内蒙古生态系统定位站编. 草原生态系统研究(第 5 集)[C]. 北京:科学出版社,1995.

(下转第 8 页)

2001年提高了20.0%。可持续发展度增大的根本因素,在于社会发展能力和资源环境承载能力的增加。

经济发展能力较低,是影响蔡川示范区综合治理可持续发展的重要因素。人均纯收入低和非农比重偏小制约了可持续发展度。

参考文献:

- [1] 毛汉英. 山东省可持续发展指标体系初步研究[J]. 地理研究, 1996, 15(4): 16-24.
- [2] 程淑兰, 潘宝林. 安徽省岳西县生态示范区评价指标体系和可持续发展度研究[J]. 农村生态环境, 2000, 16(3): 27-30.
- [3] 国家环境保护总局全国生态示范区建设试点工作领导小组. 生态环境考核标准选编[C]. 北京: 中国环境科学出版社, 1999.
- [4] 李金华. 中国可持续发展核算体系(SSDA)[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2000.
- [5] 王礼先. 流域管理学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999.
- [6] 段文彪. 北京山区蒲洼小流域可持续发展评价与分析[J]. 中国水土保持科学, 2004, 2(4): 54-59.
- [3] 蒋定生, 王宁, 王煜, 等. 黄土高原水土流失与治理模式. 北京: 中国水利电力出版社, 1997.
- [4] 唐克丽. 黄土高原地区土壤侵蚀区域特征及其防止途径[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1990.
- [5] 中国科学院黄土高原综合考察队. 黄土高原地区农林牧业综合发展与合理布局[M]. 北京: 科学出版社, 1991, 71-75.
- [6] 刘永红, 刘新民, 乾德门, 等. 放牧对草原生态多样性及环境的影响之七: 不同牧压强度对草原动物的影响研究[A]. 见: 中国科学院内蒙古生态系统定位站编. 草原生态系统研究(第5集)[C]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [7] 农业部畜牧兽医司, 全国畜牧兽医总站. 中国草地资源[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1996.
- [8] 牛海山, 李香真, 陈佐忠. 放牧率对土壤饱和导水率及其空间变异的影响[J]. 草地学报, 1999, 7(3): 211-216.
- [9] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1983.
- [10] 关世英, 齐沛钦, 康师安, 等. 不同牧压强度对土壤养分含量的影响[A]. 见: 中国科学院内蒙古生态系统定位站编. 草原生态系统研究(第五集)[C]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [11] 姚爱兴. 放牧对多年生黑麦草/白三叶草地及奶牛生产性能的影响[M]. 北京: 中国农业大学草地研究所, 1995.
- [12] 张蕴薇, 韩建国, 李志强. 放牧强度对土壤物理性质的影响[J]. 草地学报, 2002, 10(1): 74-78.
- [13] Warren S D, Nevill M B, Blackburn W H, et al. Soil response to trampling under intensive rotation grazing[J]. Soil Sci. Soc. Am J. 1986, 50: 1336-1340.
- [14] 王艳芬, 陈佐忠, Larry T. 人类活动对锡林郭勒地区主要草原土壤有机碳分布的影响[J]. 植物生态学报, 1988, 22(6): 545-551.
- [15] 李凌浩. 土地利用变化对草原生态系统土壤碳贮量的影响[J]. 植物生态学报, 1998, 22(4): 300-302.
- [16] Greene R S B, Kinnell P I A, Wood J T. Role of plant cover and stock trampling on runoff and soil erosion from semiarid wooded rangelands[J]. Aus. J. Soil Res., 1994, 32: 953-973.
- [17] Johnston A, Dormmar J F, Smoliak S. Long-term grazing effects on fescue grassland soils[J]. J. Range Manage., 1971, 24: 185-188.
- [18] Hiernaux P, Biielders C L, Valentin C, et al. Effects of livestock grazing on physical and chemical properties of sandy soils in Sahelian rangelands [J]. Journal of Arid Environments. 1999, 41(3): 231-245.
- [19] Reeder J D, Schuman G E. Influence of livestock grazing on C sequestration in semi-arid mixed-grass and short-grass rangelands [J]. Environmental Pollution, 2000, 116: 457-463.
- [20] 付华, 王彦荣, 吴彩霞, 等. 放牧对阿拉善荒漠草地土壤性状的影响[J]. 中国沙漠, 2002, 22(4): 339-343.
- [21] 安渊, 徐柱, 阎志坚, 等. 不同退化梯度草地植物和土壤的差异[J]. 中国草地, 1999, (4): 31-36.
- [22] 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[J]. 草地学报, 1998, 6(2): 90-98.
- [23] 陈宗椿, 周华茂, 徐文华, 等. 山羊的行为习性及其饲养管理要点[J]. 当代畜牧, 2000, (1): 16-17.
- [24] 张怀礼, 张红军. 牧羊两不宜[J]. 畜牧兽医, 2000, (19): 29.

(上接第4页)

- [3] 蒋定生, 王宁, 王煜, 等. 黄土高原水土流失与治理模式. 北京: 中国水利电力出版社, 1997.
- [4] 唐克丽. 黄土高原地区土壤侵蚀区域特征及其防止途径[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1990.
- [5] 中国科学院黄土高原综合考察队. 黄土高原地区农林牧业综合发展与合理布局[M]. 北京: 科学出版社, 1991, 71-75.
- [6] 刘永红, 刘新民, 乾德门, 等. 放牧对草原生态多样性及环境的影响之七: 不同牧压强度对草原动物的影响研究[A]. 见: 中国科学院内蒙古生态系统定位站编. 草原生态系统研究(第5集)[C]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [7] 农业部畜牧兽医司, 全国畜牧兽医总站. 中国草地资源[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1996.
- [8] 牛海山, 李香真, 陈佐忠. 放牧率对土壤饱和导水率及其空间变异的影响[J]. 草地学报, 1999, 7(3): 211-216.
- [9] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1983.
- [10] 关世英, 齐沛钦, 康师安, 等. 不同牧压强度对土壤养分含量的影响[A]. 见: 中国科学院内蒙古生态系统定位站编. 草原生态系统研究(第五集)[C]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [11] 姚爱兴. 放牧对多年生黑麦草/白三叶草地及奶牛生产性能的影响[M]. 北京: 中国农业大学草地研究所, 1995.
- [12] 张蕴薇, 韩建国, 李志强. 放牧强度对土壤物理性质的影响[J]. 草地学报, 2002, 10(1): 74-78.
- [13] Warren S D, Nevill M B, Blackburn W H, et al. Soil response to trampling under intensive rotation grazing[J]. Soil Sci. Soc. Am J. 1986, 50: 1336-1340.
- [14] 王艳芬, 陈佐忠, Larry T. 人类活动对锡林郭勒地区主要草