

# 羊粪归还对荒漠草原表层土壤碳氮的影响

王兴<sup>1,2</sup>, 宋乃平<sup>1,2</sup>, 杨新国<sup>1</sup>, 肖绪培<sup>2</sup>, 杨明秀<sup>1</sup>

(1. 宁夏大学 西北土地退化与生态恢复国家重点实验室培育基地,  
宁夏 银川 750021; 2. 宁夏大学 资源环境学院, 宁夏 银川 750021)

**摘要:**以宁夏回族自治区盐池县的荒漠草原围栏放牧草地为研究对象,按自然形成的地表羊粪积累量梯度,设置了 6 个梯度序列控制样地(1.41~1 581.68 g/m<sup>2</sup>),分析羊粪量与表层 0—5 cm 土壤有机碳、全氮含量的对应关系。同时,以羊粪量对数 ln $f$  为自变量  $X$ ,与表层土壤有机碳、全氮含量构建回归模型。结果表明:(1) 地表羊粪量在较低水平时,表层 0—5 cm 土壤有机碳含量未发生显著变化;羊粪量在较高水平时,土壤有机碳含量跃变特征明显。(2) 表层 0—5 cm 土壤全氮含量在羊粪积累量较少时,开始出现显著的增长,跃变特征明显。(3) 随着地表羊粪量的增加,土壤 C/N 比分别发生转折性变化,整体呈先降低后上升的趋势。初步研究认为,自由放牧条件下,羊粪归还还是影响荒漠草原表层土壤有机碳和全氮含量的重要过程。地表羊粪积累量在较低水平时,羊粪对土壤全氮归还作用开始显现,但是,只有当羊粪积累量在较高水平时,对土壤有机碳及全氮的净归还作用才会显著增强。受土壤有机碳和全氮归还作用的交互影响,土壤碳氮比呈现出先下降后上升的变化趋势。

**关键词:** 羊粪积累量; 养分归还; 土壤有机碳; 土壤全氮; 荒漠草原

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)05-0006-05

中图分类号: S812.8

## Effect of Sheep Dung Return on Surface Soil Organic Carbon and Total Nitrogen Contents in Deserted Grassland

WANG Xing<sup>1</sup>, SONG Nai-ping<sup>1,2</sup>, YANG Xin-guo<sup>1</sup>, XIAO Xu-pe<sup>2</sup>, YANG Ming-xiu<sup>1</sup>

(1. *Breeding Base of the State Key Laboratory for Preventing Land Degradation and Ecological Restoration, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China;*

2. *School of Resources and Environment, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China*)

**Abstract:** The relationships between sheep dung quantity and the organic carbon and total nitrogen contents within 5 cm of surface soil were studied by setting up sequential plots of six grades(1.41~1 581.68 g/m<sup>2</sup>) according to sheep dung quantity grade formed naturally in Ningxia Hui Autonomous Region deserted steppe ecosystem. Models were then established for logarithmic sheep dung quantity, as an independent variable, and the surface soil organic carbon and total nitrogen contents, as dependent variables. Results showed the surface soil organic carbon content did not change significantly at a low level of sheep dung quantity, but changed obviously at a high level. The surface soil total nitrogen content changed obviously at a low level of sheep dung quantity. Ratio of soil carbon to soil nitrogen increased firstly and then decreased with the increased sheep dung quantity. Preliminary research concluded that sheep dung nutrients return is a very important process affecting soil organic carbon and total nitrogen contents under free grazing conditions in the deserted steppe ecosystem. The effect of the returned sheep dung quantity on soil total nitrogen began to appear when accumulated sheep dung quantity was at a low lever, but the net returns of soil organic carbon and soil total nitrogen contents were significantly enhanced at a higher level. The ratio of soil carbon to nitrogen showed a complex trend because of the interactive effect of the returned soil organic carbon and total nitrogen.

**Keywords:** sheep dung quantity; nutrient return; soil organic carbon; soil total nitrogen; deserted steppe

收稿日期:2012-03-10

修回日期:2012-04-04

资助项目:国家重点基础研究发展计划前期研究专项“荒漠草原农牧系统稳定性与维持机理研究”(2012CB723206); 国家科技支撑计划课题“荒漠草原区农牧复合生态系统构建与可持续利用技术集成试验与示范”(2011BAC07B03)

作者简介:王兴(1986—),男(汉族),陕西省韩城市人,硕士研究生,主要研究方向为恢复生态。E-mail:shamohuyang.good@163.com。

通信作者:宋乃平(1963—),男(汉族),陕西省扶风县人,教授,博士生导师,主要从事土地利用变化与生态过程研究。E-mail:songnp@163.com。

自由放牧条件下荒漠草原草地土壤养分动态变化受到多种因素的影响:一方面在一定放牧强度范围内,家畜排泄物养分归还作用增加,从而推动草地养分循环过程<sup>[1-2]</sup>;另一方面,家畜选择性采食改变草地群落结构,过度采食践踏甚至引起植被和土壤退化<sup>[3-4]</sup>。受制于放牧强度和草地自身条件等因素的影响,放牧既可以改善土壤养分条件<sup>[5-9]</sup>,也可以使之进一步恶化<sup>[3,10-12]</sup>。因此,放牧对土壤养分含量的影响是一个正向和负向作用综合驱动的复杂过程,是否存在一个最适放牧强度范围,协调养分有效归还与表土践踏损失的关系,值得深入研究。自由放牧情况下,家畜排泄物归还作用不可忽视<sup>[13]</sup>,由于家畜的长期选择性活动行为,以地表排泄物量为标志,在草地内部会形成一定的相对放牧强度的明显空间分异。为此,我们以排泄物梯度模拟放牧强度,开展放牧对“家畜—土壤系统”养分归还作用的影响的研究,深入认识“家畜—土壤系统”养分归还的一般规律,为荒漠草原自由退化放牧草地的生态恢复提供一定的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于宁夏回族自治区盐池县皖记沟村,地理坐标 37°47′—37°57′N,107°22′—107°33′E,属中温带半干旱区,典型中温带大陆性气候。年平均气温 8.2 °C,7 月(最热)平均气温 22.4 °C,1 月(最冷)平均气温 -8.7 °C; $\geq 10$  °C 年积温为 2 751.7 °C, $\geq 0$  °C 年积温为 3 430.3 °C。多年平均降水量 289 mm,7—9 月降水量占全年的 60%以上,且降水年际变率大,多暴雨,潜在年蒸发量 2 014 mm。年无霜期 165 d。风沙天气多集中于冬、春季,年大风(风速 $\geq 17$  m/s)日数为 24.2 d。本区大地貌为缓坡丘陵,地势南高北低。土壤主要类型为灰钙土、黑垆土等地带性土壤和风沙土、黄绵土、盐碱土等非地带性土壤,其中风沙土广泛分布于中北部。土壤质地以沙壤、粉砂壤和沙土为主。植被类型有灌丛、草原、沙地植被、荒漠植被和草甸。其中数量大,分布广的植被有灌丛、草原、沙地植被。研究区土壤为风沙土,主要植物种有山苦荬 [*Ixeris chinensis* (Thunb.) Nakai]、白草 [*Pennisetum centrasialicuru* Tzvel.]、苦豆子 (*Sophora alopecuroides* L.)、绵蓬 (*Corispermum chinganicum* iljin.)、刺蓬 (*Salsola colina* Pall.)、铁杆蒿 [*Seriphidium* (Bess.) Poljak.]。

### 1.2 样地设置

在盐池县皖记沟村选取一围栏放牧草地作为试

验样地,草地基质环境条件相似,均为沙质土壤,植被类型为灌草结合,面积约 52 hm<sup>2</sup>。试验地放牧时间为全年夜间 18:00 到次日 5:00,近 3 a 的草地载牧量大致为 160~200 只羊,造成地表枯落物和立枯较少。放牧羊群每天从围栏口进入草地取食,由于夜间放牧时羊只根据气味辨别草情,游走线路短,一旦吃饱就会返回围栏口。因此,导致地表排泄粪便从围栏口向草地中心呈自然辐射状梯度分布。通过实地调查访问,根据羊只采食时间及区域范围,地表羊粪量的变化及植被特征(表 1)等,沿围栏口到草场内部方向,按照地表羊粪量多少划分 6 个羊粪量梯度:距围栏口 620.25 m 样地为对照梯度(CK),羊粪量平均为 1.41 g/m<sup>2</sup>;梯度 T<sub>1</sub> 距围栏口 392.6 m,羊粪量平均为 14.94 g/m<sup>2</sup>;梯度 T<sub>2</sub> 距围栏口 233.09 m,羊粪量平均为 74.58 g/m<sup>2</sup>;梯度 T<sub>3</sub> 距围栏口 75.66 m,羊粪量平均为 233.46 g/m<sup>2</sup>;梯度 T<sub>4</sub> 距围栏口 29.43 m,羊粪量平均为 638.48 g/m<sup>2</sup>;梯度 T<sub>5</sub> 在围栏口附近,羊粪量平均为 1 581.68 g/m<sup>2</sup>。

表 1 不同羊粪量梯度的植被特征

羊粪量梯度	物种数	地上生物量/(g·m <sup>-2</sup> )	总盖度/%
CK	6	29.57	27.71
T <sub>1</sub>	10	47.23	30.22
T <sub>2</sub>	12	62.08	37.76
T <sub>3</sub>	15	46.52	48.75
T <sub>4</sub>	12	44.01	40.01
T <sub>5</sub>	11	39.13	22.00

### 1.3 羊粪收集和土样采取

2012 年 5 月,分别在 6 个羊粪量梯度上随机选取 5 个 1 m×1 m 样方,每个样方间隔 15 m,共计 30 个样方。每一个样方中人工捡拾地表羊粪,过筛清除土壤中的羊粪。用套筒长 10 cm,直径 9 cm 的土钻钻取 0—5 cm 土样,将所有羊粪和土样装入塑封袋,编号带回实验室。

### 1.4 样品测定

羊粪在自然条件下风干,称重。土壤样品风干后过 1 mm 筛,采用重铬酸钾法测定土壤有机碳(SOC),凯氏定氮法测定土壤全氮(STP)<sup>[14]</sup>。

### 1.5 数据分析与建模

基础数据处理和作图利用 Excel 软件,运用 SAS 8.2 进行方差分析,用于不同羊粪密度下各指标间的比较和差异显著性检验( $p=0.01$ )。采用 SPSS 17.0 的 Bivariate Correlation 分析法对地表不同羊粪密度与土壤有机碳(SOC)及全氮(STP)的相关性进行分析,选择最佳估测模型,同时利用 Excel 软件分别对地

表不同羊粪密度与土壤表层有机碳和全氮含量进行拟合,建立有机碳和全氮含量估测回归方程。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同羊粪密度对表层土壤有机碳的影响

从表 2 可知,0—5 cm 土壤有机碳含量由小到大顺序为  $T_1 < CK < T_3 < T_2 < T_4 < T_5$ 。方差分析表明,表层 0—5 cm 土壤有机碳含量,在不同羊粪量梯度 CK,  $T_1, T_2, T_3$  间无显著差异 ( $p > 0.05$ ),但均显著小于  $T_4, T_5$  ( $p < 0.05$ );  $T_4, T_5$  间差异显著 ( $p < 0.05$ )。整体上看,土壤有机碳随地表羊粪量增加而增加,羊粪积累量在  $T_4$  梯度水平上,对土壤有机碳归还效应显著。 $T_4, T_5$  梯度土壤有机碳含量分别为 4.19, 6.96 g/kg,分别是其他几个梯度的 2, 3 倍左右。从养分归还过程看,在 CK 到  $T_3$  梯度羊粪密度范围内,表层土壤有机碳含量相对稳定,土壤有机碳的差异和积累效应均不明显,与羊粪密度的相关性也较差。也就是说,  $T_1—T_3$  梯度的羊粪密度对土壤有机碳的归还很容易受其他因素干扰。这可能是由于土壤具有一定的缓冲作用,同时植被和土壤生物等因素也可能对土壤有机碳的收支平衡起到重要作用。 $T_4$  梯度,土壤有机碳开始显著增长,羊粪归还作用对土壤有机碳积累效应凸显;同时放牧干扰下,草地受多种生态因子共同作用,羊粪输入与表层土壤有机碳变化并非一个简单的线性关系,有可能存在一种临界变化。以羊粪量作为自变量建立模型,拟合函数自变量系数的数量级较大。因此,为了简化模拟函数,并且不影响模拟函数的实质意义,用羊粪量对数  $\ln f$  为自变量  $X$ ,土壤有机碳含量作为因变量  $Y$ ,进行回归分析,估测最优模型为二次函数(图 1)。羊粪量对土壤有机碳含量的影响存在明显的转折点,有机碳含量在  $T_4$  梯度显著增加。

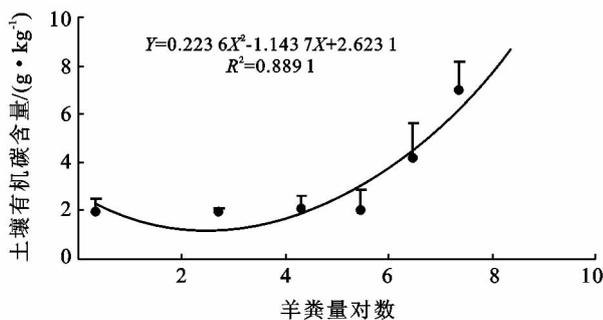


图 1 羊粪量对数与土壤有机碳含量关系

### 2.2 不同羊粪量对表层土壤全氮的影响

由表 2 可知,表层土壤全氮含量由小到大顺序大体为  $CK < T_1 < T_3 < T_2 < T_4 < T_5$ 。方差分析表

明,  $T_1, T_2, T_3$  梯度 0—5 cm 的土壤全氮含量无显著差异 ( $p > 0.05$ ),显著高于 CK ( $p < 0.05$ )。  $T_4, T_5$  显著高于 CK,  $T_1, T_2, T_3$  ( $p < 0.05$ )。整体上看,表层土壤全氮含量随地表羊粪量的增加而增加。当羊粪积累量达到  $T_1, T_4$  梯度时显著提高土壤氮含量。 $T_1$  梯度土壤全氮含量为 0.29 g/kg,相对于 CK 梯度提高了 2 倍,  $T_4, T_5$  梯度土壤全氮含量分别为 0.43 和 0.64 g/kg,是 CK 梯度的 4 和 6 倍,是  $T_1—T_3$  梯度的 1.4 和 2.2 倍。说明羊粪对荒漠草原土壤氮的影响程度高于土壤有机碳,  $T_1—T_5$  梯度土壤全氮含量变化与有机碳变化相似,说明土壤有机碳与全氮演变可能存在一定的耦合关系。与有机碳变化相类似,全氮与羊粪的对应变化也表现出一种非线性趋势,并出现一种更为复杂的阶梯状跃变特征,这种特征很可能与羊只尿液的输入有关,具体影响需要进一步实验验证。以羊粪量对数  $\ln f$  为自变量  $X$ ,土壤全氮含量作为因变量  $Y$  进行回归分析,估测最优模型为二次函数(图 2)。羊粪量对土壤全氮含量的影响存在明显的转折点,土壤全氮含量在  $T_1, T_4$  梯度显著增加。

表 2 不同羊粪积累量梯度土壤碳氮比

羊粪量梯度	有机碳/ (g · kg <sup>-1</sup> )	全氮/ (g · kg <sup>-1</sup> )	C/N
CK	1.95 ± 0.37c	0.11 ± 0.03d	15.19 ± 2.75a
$T_1$	1.94 ± 0.09c	0.29 ± 0.06c	7.04 ± 1.42c
$T_2$	2.12 ± 0.35c	0.29 ± 0.05c	7.39 ± 1.40c
$T_3$	2.03 ± 0.57c	0.27 ± 0.05c	7.48 ± 1.15c
$T_4$	4.19 ± 1.02b	0.43 ± 0.07b	9.98 ± 1.75bc
$T_5$	6.96 ± 0.85a	0.64 ± 0.04a	10.90 ± 0.91b

注:同列不同小写字母表示不同梯度间差异显著 ( $p < 0.05$ )。

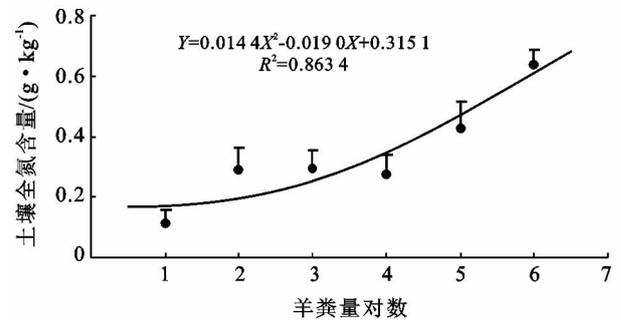


图 2 羊粪积累量对数与土壤全氮含量关系

### 2.3 土壤 C/N

由表 2 可知,土壤 C/N 在 7.0~15.1,多数分布在 7.5 左右,且随着羊粪密度的增加呈先降低后升高趋势。方差分析表明,0—5 cm 表层土壤 C/N 在 CK 梯度均显著高于其他 5 个梯度 ( $p < 0.05$ ),主要由于此梯度氮素含量最低,碳氮元素相对丰度差异较大。

$T_1, T_2, T_3, T_4$  梯度间 C/N 差异不显著 ( $p > 0.05$ ), 说明地表不同的羊粪积累量对土壤 C/N 没有显著影响, 这 4 个梯度上, 植被生物量和盖度相对较高 (表 1), 植物需要从土壤中获取充足的资源, 从而调节了土壤碳氮的相对丰度。 $T_5$  梯度土壤 C/N 显著高于  $T_1-T_4$  梯度 ( $p < 0.05$ ), 植被生物量和盖度降低 (表 1), 土壤碳氮大量盈余, 很可能使得碳氮相对丰度平衡破坏。从整体上看, 土壤 C/N 比分别在  $T_1, T_4$  梯度出现转折。

### 3 讨论

(1) 羊粪归还对表层土壤碳氮的影响。土壤有机碳能够衡量土壤的健康状况, 是陆地生物圈地球化学循环的主要成分之一<sup>[15]</sup>, 土壤中的氮素对于草地初级生产力起到至关重要的作用<sup>[16]</sup>。放牧是荒漠草原区主要土地利用方式之一, 家畜的采食及对营养物质的转化影响草地土壤养分循环<sup>[17]</sup>, 其排泄物增加了草地养分库, 通过践踏、风蚀、淋溶等作用, 排泄物中养分归还到土壤。

已有研究表明, 家畜排泄物作为一种有机肥可以直接增加土壤中的有机质<sup>[18-20]</sup>, 但是野外条件下羊粪归还量与土壤有机碳含量间可能并非一种简单的线性关系。从本试验回归分析可知, 表层土壤有机碳、全氮与地表羊粪积累量的关系式分别为:

$$Y_1 = 0.304 1X^2 - 1.568 2X + 4.280 5$$

$$(R^2 = 0.879 4, p = 0.045)$$

$$Y_2 = 0.014 4X^2 - 0.019X + 0.351$$

$$(R^2 = 0.864, p = 0.049)$$

式中:  $Y_1$ ——土壤有机碳 (g/kg);  $Y_2$ ——全氮含量 (g/kg);  $X$ ——地表羊粪量对数。

拟合的一元二次方程显示, 地表羊粪对土壤有机碳和全氮的归还存在明显的转折点, 羊粪积累量在较高水平时显著影响表层土壤有机碳含量。同时, 相对有机碳, 地表羊粪量增加可以更为快速提高土壤全氮含量, 这与王蓓等<sup>[7]</sup>的研究结果相似。羊粪积累量在  $T_1$  梯度水平时, 对土壤全氮归还作用开始显现; 在  $T_4$  梯度水平时, 对于土壤氮素归还作用显著增强。这表明放牧干扰情况下, 羊粪归还作用不是简单的增加土壤养分含量, 而是当某种因素积累到一定程度产生激发效应才使得土壤养分含量发生显著的改变。本试验中  $T_4$  梯度土壤有机碳、全氮均显著提高, 一方面, 主要与其距离羊圈位置较近有关, 羊圈周围羊粪大量积累, 其归还作用使得土壤养分在草场局部形成较大的碳氮储存库<sup>[21]</sup>; 另一方面, 家畜粪便中养分释放到土壤中的最主要方式是转化为溶解态, 再经淋

溶渗漏进入土壤<sup>[22-23]</sup>。在干旱区, 羊粪中养分充分释放到土壤中的主要控制因素是适宜的水分含量和环境温度<sup>[13]</sup>, 研究区干旱少雨, 地表羊粪量覆盖一定程度上可以保持土壤水分含量, 这很可能使得高密度羊粪覆盖条件下, 养分输入量远远大于损失量, 对土壤碳氮的归还作用也较明显。同时,  $T_4$  梯度植被盖度开始下降 (表 1), 这可能使得地表温度升高, 更加有利于羊粪中养分的释放。土壤有机碳的积累与有机肥的量有密切关系<sup>[24-25]</sup>, CK— $T_3$  梯度土壤有机碳没有显著增加, 除了可能与水分和温度有关外, 还可能是因为地表羊粪归还对土壤中有机碳的积累效应还未显现。与有机碳不同, 土壤全氮在  $T_1$  梯度出现转折点很可能是因为家畜尿液的影响, 因为氮素是家畜尿液的主要成分; 同时土壤全氮与有机碳之间存在一定的耦合关系, 即有机碳的输入一定程度促使土壤氮素积累<sup>[26]</sup>。

(2) 羊粪归还与表层土壤碳氮比的关系。在羊粪的归还作用下, 土壤碳氮比呈现先下降后上升趋势。并且, 在 C/N 比变化过程中, 出现两个比较明显的转折点:  $T_1$  和  $T_4$  梯度。CK— $T_1$  梯度, 土壤碳氮比呈下降趋势, 主要是在此梯度范围内, 地表羊粪归还作用对于有机碳归还作用不显著, 但是, 对于土壤全氮归还作用显著提高。 $T_1-T_5$  梯度, 随着羊粪积累量的增加, 对于土壤有机碳和全氮的归还作用均显著增强, 土壤碳氮比呈逐渐上升趋势。相对第一转折点, 第二转折点土壤有机碳和全氮分别提高了 2.02 和 1.30 倍。所以, 土壤碳氮比的变化本质在于碳素和氮素提高程度不同, 导致两种元素相对丰度发生改变。

土壤碳氮比变化往往与微生物有着密切的关系。本试验得出土壤碳氮比在 CK 梯度显著高于其他 5 个梯度, 很可能是由于羊粪积累量大于  $1.41 \text{ g/m}^2$  时, 输入土壤有机质的数量发生改变, 对土壤微生物特性和有机碳矿化作用产生显著影响。尤其是在本研究区域, 草原土壤沙化, 土壤养分相对贫瘠, 羊粪作为有机肥归还到草原, 很可能改善了微生物活性, 使得土壤有机碳矿化作用加强, 有机质分解加快, 土壤碳氮比下降。就  $T_1-T_5$  梯度分析, 土壤碳氮比逐渐升高, 并且在  $T_4$  梯度显著升高, 这可能与土壤湿度和温度的变化有关。也有研究发现, 在一定的放牧强度下, 随着放牧率的增加, 土壤小型动物、微生物数量总体下降, 土壤有机质分解程度降低, 碳素大量积累, 碳氮比升高。这说明放牧干扰能够对土壤微生物产生负效应, 同时, 家畜的排泄物的输入又可以减缓这种负效应。放牧导致土壤碳氮比变化除了与 2 种元素自身

增减程度差异有关外,很可能与放牧对微生物生物学性状的正负交互影响有关。

## 4 结论

放牧对家畜—土壤系统养分归还影响具有累积效应,主要表现为:当地表羊粪积累量在较低水平时,对土壤全氮归还作用开始显现;羊粪积累量在较高水平时,对土壤有机碳及全氮归还作用均显著增强。随着地表羊粪量的增加,土壤 C/N 比呈现明显的先降低后升高趋势。目前研究放牧对草地土壤的影响多集于某一单因素影响机制层面,从生态系统角度研究草地对放牧响应较少。因此,从长远来看,进一步的研究需要将家畜排泄物、微生物、植被等多种因素有机结合,从更深层次阐述放牧干扰对草地影响的机制。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 张静妮,赖欣,贝加尔针茅草原植物多样性及土壤养分对放牧干扰的响应[J]. 草地学报, 2010, 18(2): 177-182.
- [2] Krzic M, Broner K, Thomposon D J, et al. Soil properties and species diversity of grazed crested wheat grass and native rangelands[J]. J. Rang. Manage., 2000, 53(3): 353-358.
- [3] 王长庭,王启兰,景增春,等. 不同放牧梯度下高寒小高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] 林慧龙,王军,徐震,等. 草地农业生态系统中碳循环研究动态[J]. 草业科学, 2005, 22(4): 59-62.
- [5] 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]. Soil Research, 1994, 32(5): 953-973.
- [6] 高永恒,陈槐,罗鹏,等. 放牧强度对川西北高寒草甸植物生物量及其分配的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2008, 24(3): 26-32.
- [7] 王蓓,孙庚,罗鹏,等. 模拟升温 and 放牧对高寒草甸土壤有机碳氮组分和微生物量的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(6): 1506-1514.
- [8] Frank A B, Tanaka D L, Hofmann L, et al. Soil carbon and nitrogen of Northern Great Plains grasslands as influenced by long-term grazing[J]. Journal of Range Management, 1995, 48(5): 470-474.
- [9] Schuman G E, Reader J D, Manley J T, et al. Impact of grazing management on the carbon and nitrogen balance of a mixed-grass rangeland[J]. Ecological applications, 1999, 9(1): 65-71.
- [10] 杨红善,那·巴特尔,周学辉,等. 不同放牧强度对肃北高寒草甸土壤肥力的影响[J]. 水土保持学报, 2009, 23(1): 23-24.
- [11] 刘宽忠,汪诗平,陈佐忠. 不同放牧强度草原休牧后土壤养分和植物群落变化特征[J]. 生态学报, 2006, 26(6): 2051-2052.
- [12] Demer J D, Boutton T W, Briske D D. Grazing and ecosystem carbon storage in the North American Great Plains[J]. Plant and Soil, 2006, 280(1/2): 77-90.
- [13] 刘新民,陈海燕,嵒嵘,等. 内蒙古典型草原羊粪和牛粪的分解特征[J]. 应用与环境生态学报, 2011, 17(6): 791-796.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 28-49.
- [15] Percival H J, Parfitt R L, Scott N A. Factors controlling soil carbon levels in New Zealand grassland: Is clay content important? [J]. Soil Science Society of American Journal, 2000, 64(5): 1623-1630.
- [16] 刘楠,张英俊. 放牧对典型草原土壤有机碳及全氮的影响[J]. 草业科学, 2010, 27(4): 11-14.
- [17] 戎郁萍,韩建国,王培,等. 放牧强度对草地土壤理化性质的影响[J]. 中国草地, 2001, 23(4): 41-47.
- [18] 林瑞余,林豪森,张重义,等. 不同施肥条件对鱼腥草根际土壤酶活性及根系活力的影响[J]. 中国农学通报, 2007, 23(1): 280-284.
- [19] 高菊生,秦道珠. 长期施用有机肥对水稻生长发育及产量的影响[J]. 耕作与栽培, 2002(2): 31-33.
- [20] 孟磊,蔡祖聪. 长期施肥对土壤碳储量和作物固定碳的影响[J]. 土壤学报, 2005, 42(5): 769-776.
- [21] Hirata M, Hasegawa N, Nomura M, et al. Deposition and decomposition of cattle dung in forest grazing in Southern Kyushu, Japan [J]. Ecological Research, 2009, 24: 119-125.
- [22] Aarous S R, Hosseini H M, Dorling L, et al. Dung decomposition in temperate dairy pastures ( II ): Contribution to plant-available soil phosphorus [J]. Australian Journal of Soil Research, 2004, 42(1): 115-123.
- [23] Aarous S R, Oconnor C R, Gourley C J P. Dung decomposition in temperate dairy pastures ( I ): Changes in soil properties [J]. Australian Journal of Soil Research, 2004, 42(3): 353-353.
- [24] 郑海霞,齐莎,赵小蓉,等. 连续 5 年施用氮肥和羊粪的内蒙山羊草草原土壤颗粒状有机质特征[J]. 中国农业科学, 2008, 41(4): 1083-1088.
- [25] 吴庆标,王效科,张德平,等. 呼伦贝尔草原土壤黏粉粒组分对有机碳和全氮含量的影响[J]. 生态环境, 2004, 13(4): 630-632.
- [26] 刘畅,唐国勇,童成立,等. 不同施肥措施下亚热带稻田土壤碳、氮演变特征及其耦合关系[J]. 应用生态学报, 2008, 19(7): 1489-1493.