

阿拉善主要草地类型土壤有机碳特征及其影响因素

傅 华¹, 陈亚明², 王彦荣¹, 万长贵¹

(1. 兰州大学草地农业科技学院, 甘肃草原生态研究所, 兰州 730020; 2. 兰州大学生命科学学院, 兰州 730000)

摘要:以阿拉善左旗境内贺兰山中段(西坡)及其山前地带主要草地类型为研究对象, 分析了不同草地类型土壤有机碳(SOC)的分布特征及其与气候因子、植被特征和土壤特性的关系。结果表明: 土壤有机碳含量随海拔高度的降低而逐渐降低, 其垂直分异规律是: 山地荒漠草原沿土壤剖面依次降低, 高山草甸、草原化荒漠和沙砾质草原化荒漠 0~20cm 与 20~40cm 土层差异不显著, 但高于 40~60cm 土层。0~20cm 和 20~40cm 土层土壤有机碳含量与年降水量、植被盖度、草地生产力、土壤含水量和 $<0.05\text{mm}$ 颗粒含量呈极显著正相关, 与年均温、土壤 pH 值呈极显著负相关 ($P<0.001$)。偏相关分析显示, 影响 0~20cm 土层有机碳含量最主要的因素是植被盖度、草地生产力和年降水量, 而影响 20~40cm 土层有机碳含量的最主要因素是草地生产力和植被盖度。放牧与围封对荒漠草地土壤有机碳含量有显著影响, 在重度放牧下 0~20cm 土壤有机碳含量明显低于轻、中度放牧处理 ($P<0.05$); 重度退化草地围封 3a 后土壤有机碳含量比自由放牧草地显著增加。研究区沙砾质草原化荒漠区 0~20cm 土层土壤有机碳含量在 15a 持续过度放牧后下降了 25.2%。

关键词: 阿拉善; 草地; 土壤有机碳; 影响因素

Organic carbon content in major grassland types in Alex, Inner Mongolia

FU Hua¹, CHEN Ya-Ming², WANG Yan-Rong¹, WAN Chang-Gui¹ (1. College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Gansu Grassland Ecological Research Institute, Lanzhou 730020; 2. College of Life Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(3): 469~456.

Abstract: This study analyzed soil organic carbon content (SOC) in major types of grassland along the middle range of Helan mountain in Alex, Inner Mongolia. Factors affecting carbon distribution such as annual precipitation, temperature, plant cover and productivity, soil water content, $<0.05\text{mm}$ particle content and soil pH were also monitored. Results indicate that soil organic carbon content declined with a decrease in Altitude according to the following order: alpine meadow $>$ mountainous desert steppe $>$ steppe desert $>$ Gobi steppe desert. In the mountainous desert, soil organic carbon content showed a decline along the vertical soil profile. In the Alpine meadow, steppe desert and Gobi steppe desert, soil organic carbon content showed no difference between the 0~20cm and 20~40cm soil layers, but SOC was higher in these layers than in the 40~60cm layers.

Soil organic carbon in the 0~20cm and 20~40cm layers was positively correlated with annual precipitation, plant cover, plant productivity, soil water content, and $<0.05\text{mm}$ particle content ($P<0.001$), and negatively correlated with average temperature and soil pH ($P<0.001$). The most important factors affecting SOC in the 0~20cm soil layers, were plant cover (C), plant productivity (B) and annual precipitation (AP), and their relationship can be described as follows: $SOC = 0.0209C + 0.00389B + 0.00337AP - 0.486$ ($R^2 = 0.995$). To the 20~40cm soil layers, SOC was mostly affected by productivity and plant cover: $SOC = 0.0117B + 0.00831C - 0.0294$ ($R^2 = 0.984$). Among the environmental factors, soil water content (W), and average temperature (T) affected SOC in the 0~20cm layers the most: $SOC = 0.0526W - 0.314T + 2.632$ ($R^2 = 0.956$), with W being positive and T negative. To the 20~40cm soil layer, SOC was mostly affected by average temperature (T) and annual

基金项目: 国家自然科学基金重大研究计划资助项目(90102011); 国家自然科学基金重点资助项目(39730100); 国家重点基础研究规划资助项目(G200048704)

收稿日期: 2003-09-23; **修订日期:** 2003-12-28

作者简介: 傅华(1954~), 女, 山东枣庄市人, 教授, 主要从事草地营养生态学研究。E-mail: fuhua@lzu.edu.cn

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No. 90102011, No. 39730100); National Project for Basic Research (No. 2000048704)

Received date: 2003-09-23; **Accepted date:** 2003-12-28

Biography: FU Hua, Professor, mainly engaged in the research of nutrition ecology in grassland. E-mail: fuhua@lzu.edu.cn

precipitation(AP): $SOC = -3.622T - 0.107AP + 49.082$ ($R^2 = 0.977$).

Grazing and exclusion also affected SOC significantly. heavy grazing reduced SOC more than medium and light grazing ($P < 0.05$) through its effects on plant cover and productivity. Three years after the heavily grazed pasture was excluded from grazing, SOC was significant higher than in the pastures that had been freely grazed. In steppe desert, SOC was $0.247\% \pm 0.0541\%$, because of over grazing, SOC decreased 25.2% in 15 years.

Key words: Alxa; grassland; soil organic carbon; effect factor

文章编号: 1000-0933(2004)03-0469-08 中图分类号: Q948 文献标识码: A

土壤作为草地的基质,在一定大气条件下与动植物群落共同构成草地生态系统碳的贮存库和交换库。据估计,目前草地生态系统中土壤碳贮量占草地碳总贮量的 92%,在生物量中的贮量则不到 10%^[1]。由于土壤有机碳储量的库容量巨大,其较小幅度的变化就可能影响到大气排放,以温室效应影响全球气候变化。同时,土壤有机碳含量及其动态平衡也是反映土壤质量和草地健康的重要指标,直接影响着土壤肥力和草地生产力^[2]。因此,国内外学者对土壤有机碳储量、分布、转化及其影响因素极为关注,已开展了大量的研究工作^[3~10]。然而,对阿拉善主要草地类型土壤碳特征及其影响因素(如气候、植被和人类活动等)的研究少见报道。本文以内蒙古阿拉善左旗境内贺兰山中段西坡及其山前地带主要草地类型为研究对象,根据不同草地类型土壤、植被的测定数据,探讨了土壤有机碳空间分布特征及其与气候因素(降水和温度)、土壤特性(土壤含水量、 $<0.05\text{mm}$ 颗粒含量和 pH 值)和植被特征(盖度和生产力)的关系,研究了自然因素和人类活动(放牧及围封)对土壤有机碳的影响,旨在为该区域草地的恢复及重建提供依据。

1 材料与研究方法

1.1 研究区自然概况

研究区阿拉善左旗,位于亚洲荒漠东部,地理坐标为北纬 $37^{\circ}41' \sim 41^{\circ}52'$,东经 $103^{\circ}21' \sim 106^{\circ}51'$,总面积 $8.04 \times 10^4 \text{km}^2$ 。该区年均气温 8.3°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温 $3000 \sim 3500^{\circ}\text{C}$,无霜期 $120 \sim 180\text{d}$,年降水量 $60 \sim 200\text{mm}$ ^[11]。东部贺兰山主峰海拔 3556m,由于山体相对高差大,使大气降水、植被及土壤类型有明显的地带性垂直分布规律。随海拔的降低,植被的分布依次为高寒草甸、亚高山针叶林、中低山阔叶混交林、山地荒漠草原、草原化荒漠和典型荒漠(图 1)。土壤类型依次为亚高山草甸土-灰褐土-棕钙土-灰漠土-风沙土。高寒草甸植被为隐域性植被,主要是高山蒿草(*Kobresia pygmaea* Clarke)群落。山地荒漠草原植被分布于贺兰山低山部位,主要为短花针茅(*Stipa breviflora* Griseb)+冷蒿(*Artemisia frigida* Willd)群落。荒漠化草原是草原向典型荒漠过渡的植被类型,分布于贺兰山与腾格里沙漠之间的冲积扇上,主要建群种或优势种有红砂(*Reaumuria soongorica* Maxim)、霸王(*Zygophyllum Xanthoxylum* Maxim)、珍珠柴(*Salala passerina* Bunge)、驼绒藜(*Ceratoides lateens* Reveal et Holmgren)、小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla* Lam)和无芒隐子草(*Cleistogenens songorica* Ohwi)等。典型荒漠主要分布于贺兰山和腾格里沙漠以北,乌兰布和以西,主要建群种或优势种有红砂、绵刺(*Potaminia monglium* Maxim)、珍珠柴和霸王。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置 为了反映阿拉善主要草地类型土壤碳特征,揭示气候因素、植被和土壤特征及草地利用方式对土壤有机碳含量的影响,沿贺兰山中段西坡以海拔高度、植被类型和植被盖度为指标,分别在高寒草甸、山地荒漠草原、草原化荒漠和沙砾质草原化荒漠上设置了调查样地。为了研究草地利用方式对土壤有机碳的影响,在占该区面积最大的沙砾质草原化荒漠区选择不同放牧强度和封育草地为试验样地。不同放牧强度样地选自 1995 年迁入并承包的一牧户草地,迁入时草地条件基本一致。通过实地调查确定家畜的主要采食路线,从畜群宿营地出口作为牧压最强地段^[12],分别在 30、300 和 800m 处,设利用程度不同(重牧、中牧、轻牧)的 3 块样地,样地编号 8~10。封育草地样地,1998 年 7 月起进行围栏封育试验,栏外一直处于自由放牧状态,样地编号 6~7。各样地采用全球定位系统(GPS-eTrex)定位。各样地植被类型、海拔高度、地理位置见表 1。

1.2.2 土壤样品采集与分析 土壤采集 于 2001 年 9 月在各样地选择有代表性地段随机选取 25 个采样点,采用挖土壤剖面的方法按 0~20cm、20~40cm 和 40~60cm 采集土壤样品,每 5 个样点混合为一个样本。

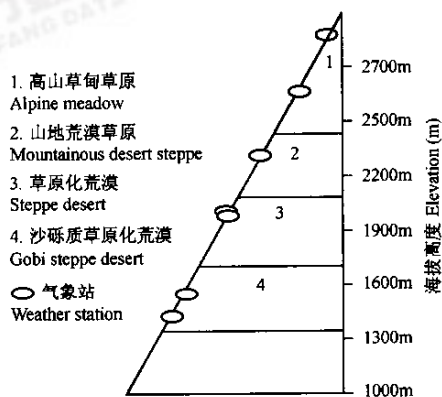


图 1 研究区主要草地类型随海拔分布示意图

Fig. 1 Distribution of major grassland types with elevation in research area

样品分析 土壤样品过 0.5mm 筛。土壤有机质测定用重铬酸钾容量法;土壤含水量用烘干法;土壤 pH 值以 1:1 水土比悬液用 pHs-3C 型酸度计测定。

土壤颗粒组成 用 10%双氧水、10%盐酸和 5%的六偏磷酸钠处理后,用德国产 MALVERN 全自动激光粒度仪测定,所有测定 2 次重复^[13]。

表 1 各观测样地的基本情况
Table 1 General conditions of sampled plots

样地号 Plot No.	植被类型 Vegetation type	群落类型 Community type	海拔 Elevation(m)	纬度 Latitude	经度 Longitudes	利用方式 Land use type
1	高山草甸草原 Alpine meadow	高山嵩草(<i>Kobresia pygmaea</i>)群落	2480	38°39′53″	105°51′47″	放牧 Grazing
2	山地荒漠草原 Mountainous desert steppe	针茅(<i>Stipa breviflora</i>)+冷蒿(<i>Artemisia frigida</i>)群落	2100	38°54′48″	105°50′05″	放牧 Grazing
3	草原化荒漠 Steppe desert	珍珠柴(<i>Salala passerina</i>)+红砂(<i>Reaumuria soongorica</i>)+早熟禾(<i>Poa</i> spp.)群落	1700	38°52′58″	105°44′27″	放牧 Grazing
4	沙砾质草原化荒漠 Gobi steppe desert	红砂+珍珠+无芒隐子草(<i>Cleistogenens songorica</i>)群落	1380	39°58′11″	105°35′47″	放牧 Grazing
5	沙砾质草原化荒漠 Gobi steppe desert	霸王(<i>Zygophyllum xanthoxylum</i>)+驼绒藜(<i>Ceratoides lateens</i>)群落	1380	39°19′21″	105°35′15″	放牧 Grazing
6	沙砾质草原化荒漠 Gobi steppe desert	霸王+小叶锦鸡儿(<i>Caragana microphylla</i>)群落	1370	39°08′32″	105°36′25″	围封 3a 3 year's enclosure
7	沙砾质草原化荒漠 Gobi steppe desert	霸王+小叶锦鸡儿群落	1370	39°08′32″	105°36′25″	放牧 Grazing
8	沙砾质草原化荒漠 Gobi steppe desert	红砂+无芒隐子草群落	1360	39°05′07″	105°34′11″	放牧(轻度)Light grazing
9	沙砾质草原化荒漠 Gobi steppe desert	红砂+无芒隐子草群落	1360	39°05′07″	105°34′11″	放牧(中度)Moderate grazing
10	沙砾质草原化荒漠 Gobi steppe desert	红砂+无芒隐子草群落	1360	39°05′07″	105°34′11″	放牧(重度)Heavy grazing

1.2.3 生产力与植被盖度测定 草地生产力 在高山草甸和山地荒漠草原样地随机设置 6 个 0.25m×0.25m 样方,草原化荒漠样地随机设置 6 个 2m×2m 样方。各样方草本植物齐地面收获,灌木仅收获其地上当年同化器官,按种称其鲜重和烘干重(65℃)。

植被盖度 高山草甸采用样点法,荒漠化草原和草原化荒漠用样线法^[14],6 次重复测定各植物种的分盖度,并计算总盖度。

1.3 气象资料的收集及计算

根据研究区域阿拉善左旗、锡林高勒和贺兰山高山 3 个气象站年平均温度与年降水量资料以及宁夏自治区农业局和区气象局气候资料中心在 20 世纪 80 年代中期组织的贺兰山中部剖面考察期间西坡的 5 个气象站观测资料^[15],依据海拔高度采用分段线性插值法求出各样地的年降水量和年均温。

1.4 统计分析

用 Excel 作图,用 SPSS 软件对实验数据进行统计分析,采用简单线性相关及偏相关确定土壤有机碳含量与各影响因素的关系^[16]。

2 结果

2.1 土壤有机碳含量特征

表 2 表明,随着海拔高度和植被类型的变化,有机碳在不同类型土壤中积累的顺序依次是,高山草甸-亚高山草甸土>山地荒漠草原-灰褐土>草原化荒漠-淡棕钙土>沙砾质草原化荒漠-灰漠土($P<0.05$)。在沙砾质草原化荒漠的 7 个样地,由于放牧利用程度和植被类型的不同,0~20cm 土层土壤有机碳含量变幅在 0.18%~0.30%之间。各草地类型土壤有机碳含量沿不同剖面的垂直分布表现不一。山地荒漠草原沿土壤剖面自上而下依次降低($P<0.05$),高山草甸、荒漠草原和沙砾质荒漠草原的 5 个样地 0~20cm 和 20~40cm 层差异不显著,但高于 40~60cm 土层($P<0.05$)。

2.2 自然因素对土壤有机碳的影响

2.2.1 气候因素 图 2 结果显示,各样地表层(0~20cm)、中层(20~40cm)和底层(40~60cm)土壤中有有机碳含量均随降水的

增加和年均温降低呈增加趋势。相关分析表明,表层、中层和底层土壤有机碳含量与年降水量呈显著正相关, R^2 分别为 0.911、0.783 和 0.778($P=0.0001$);与年均温呈极显著负相关, R^2 分别为 0.940、0.84 和 0.778($P=0.0001$)。

表 2 阿拉善主要草地类型土壤碳含量比较

Table 2 Organic carbon content (%) in major grassland types in Alex				
样地号 Plot No.	植被类型 Vegetation type	0~20cm	20~40cm	40~60cm
		均值±标准误 Average±SE	均值±标准误 Average±SE	均值±标准误 Average±SE
1	高山草甸草原 Alpine meadow	3.637±0.301Aa	3.849±0.103Aa	—
2	山地荒漠草原 Mountains desert steppe	1.742±0.0628Ab	1.069±0.0347Bb	0.457±0.0237Ca
3	草原化荒漠 Steppe desert	0.612±0.0716Ac	0.602±0.0308Ac	0.326±0.0565Bb
4	沙砾质草原化荒漠 Gobi steppe desert	0.212±0.0264Ad	0.224±0.0380Ad	0.153±0.0068Bc
5	沙砾质草原化荒漠 Gobi steppe desert	0.181±0.0040Ad	0.174±0.006Ad	0.127±0.0105Bc
6	沙砾质草原化荒漠 Gobi steppe desert	0.205±0.0087Ad	0.185±0.0108Ad	0.153±0.0164Bc
7	沙砾质草原化荒漠 Gobi steppe desert	0.181±0.0064Ad	0.174±0.0058Ad	0.151±0.0123Bc
8	沙砾质草原化荒漠 Gobi steppe desert	0.302±0.012Ad	0.2755±0.0105Bd	0.159±0.0074Cc
9	沙砾质草原化荒漠 Gobi steppe desert	0.281±0.0065Ad	0.258±0.0033Bd	0.155±0.0091Cc
10	沙砾质草原化荒漠 Gobi steppe desert	0.267±0.0126Ad	0.273±0.0171Ad	0.150±0.0078Bc

每一行大写字母表示土壤深度,每一列小写字母表示草地类型,大(小)写字母不同者表示差异显著($P<0.05$)Capital letters in a row indicate soil profile depth; little letters in a column indicate grassland type; Means with different letters indicate significant differences at the 0.05 level

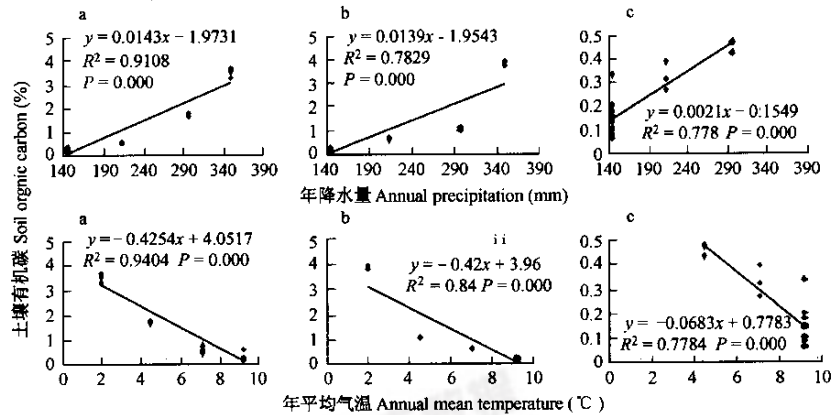


图 2 土壤有机碳含量与年降水量和年均温的关系

Fig. 2 The relationships between soil organic carbon and annual precipitation and annual mean temperature
(a)0~20cm 土层 Layer;(b)20~40cm 土层 Layer;(c)40~60cm 土层 Layer;下同 the same below

2.2.2 植被特征 图 3 结果表明,各土层土壤有机碳含量与植被盖度和草地生产力均呈显著正相关。表层、中层和底层土壤有机碳与植被盖度的 R^2 值分别为 0.988、0.924 和 0.662($P=0.0001$);与草地生产力的 R^2 值分别为 0.890、0.984 和 0.701($P=0.0001$)。

2.2.3 土壤特征 样地各土层土壤有机碳与土壤中 $<0.05\text{mm}$ 粘粉粒含量、土壤含水量呈极显著正相关,与土壤 pH 值呈负相关(图 4)。

2.2.4 气候、土壤和植被特征对土壤有机碳影响的分析 从以上的分析结果可以看出,所选择的气候、土壤和植被特征因子都与 0~20、20~40 和 40~60cm 土层土壤有机碳含量呈显著相关,都对土壤有机碳含量有影响。将各因子与土壤有机碳含量分别进行偏相关分析(表 3)结果显示,对 0~20cm 土壤有机碳影响最大的是植被盖度(C)和草地生产力(B)($P=0.0001$),其次为年降水量(AP)($P=0.043$),有机碳与三者的多元回归方程是: $SOC=0.0209C+0.00389B+0.00337AP-0.486$ ($R^2=0.995$)。影响 20~40cm 土层土壤有机碳最显著的因子是草地生产力($P=0.0001$),其次为植被盖度($P=0.029$),土壤有机碳与二者的多元回归方程为: $SOC=0.0177B+0.00831C-0.0294$ ($R^2=0.984$)。对 40~60cm 土层土壤有机碳含量影响最大的因子是土壤粘粉粒含量(PC)($P=0.092$),相应的方程为 $SOC=0.009PC+0.0341$ ($R^2=0.845$)。

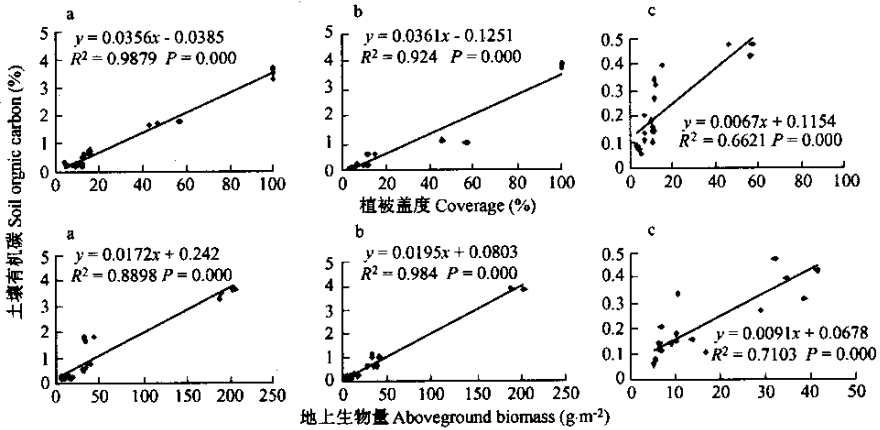


图 3 土壤有机碳含量与植被盖度和草地生产力的关系

Fig. 3 The relationships between soil organic carbon and vegetation coverage and productivity

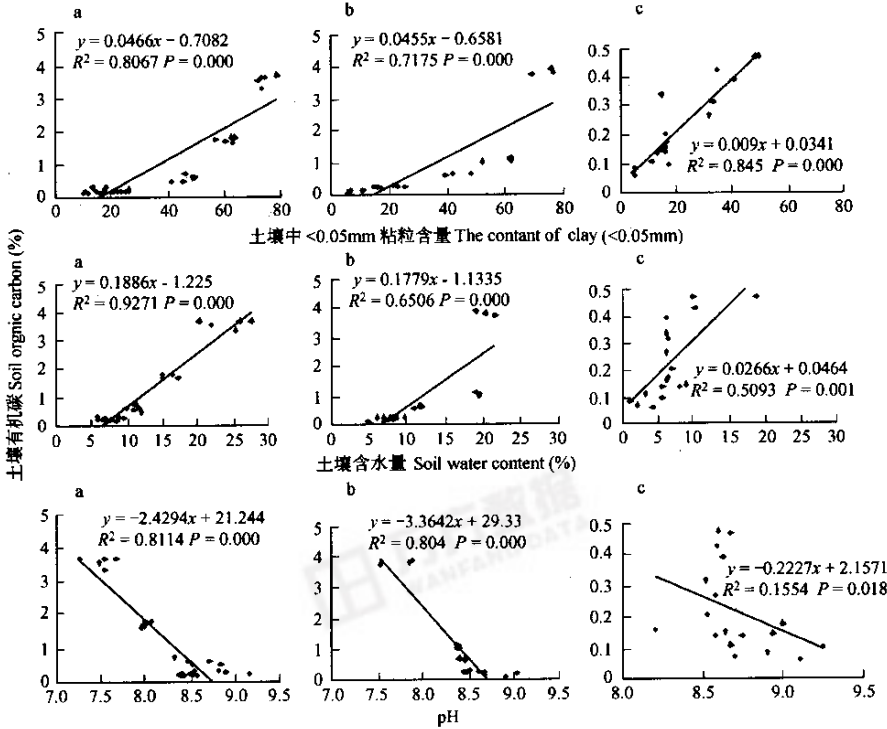


图 4 土壤有机碳含量与土壤特性的关系

Fig. 4 The relationships between SOC and soil characteristics

各环境因素与土壤有机碳偏相关分析表明(表 4),环境因素中影响土壤有机碳含量的主要因素 0~20cm 土层为土壤含水量(W)和年均温(T),其回归方程为 $SOC = -0.0526W - 0.314T + 2.632$ ($R^2 = 0.956$),而 20~40cm 有机碳主要受年均温和年均降水量(AP)的影响,其回归方程为 $SOC = -3.622T - 0.107AP + 49.082$ ($R^2 = 0.977$)。

2.3 放牧与围封对土壤有机碳的影响

图 5 显示,红砂荒漠草地经过连续 6a 不同强度的放牧后,重牧比中度和轻度放牧草地 0~20cm 土层土壤有机碳含量显著减少($P < 0.05$),20~40cm 和 40~60cm 土层差异不显著。霸王-小叶锦鸡儿荒漠草地封育后表层土壤有机碳含量较自由放牧地显著增加,围封 3a 后表层土壤有机碳含量提高了 11.2%(图 6)。

表 3 土壤有机碳与各影响因素的偏相关系数

影响因素 Factors	0~20cm		20~40cm		40~60cm	
	偏相关系数 P. C.	<i>P</i>	偏相关系数 P. C.	<i>P</i>	偏相关系数 P. C.	<i>P</i>
盖度 Coverage(%)	0.777	0.000	0.500	0.029	0.318	0.314
地上生物量 Above-ground biomass(g·m ⁻²)	0.697	0.000	0.876	0.000	-0.200	0.534
土壤含水量 Soil water content(%)	-0.101	0.633	0.059	0.704	-0.195	0.544
<0.05mm 颗粒含量<0.05mm particle content(%)	0.0420	0.842	0.370	0.249	0.508	0.092
pH	-0.023	0.974	0.439	0.103	0.167	0.604
年均降水 Annual precipitation(mm)	0.429	0.043	0.106	0.719	-0.290	0.360
年均温 Annual mean temperature(℃)	-0.193	0.356	0.156	0.573	-0.290	0.360

3 讨论

3.1 土壤有机碳含量的变化特征

土壤有机碳主要来源于植物、动物、微生物残体和根系分泌物,并处于不断分解与形成的动态过程,因此土壤有机碳含量是生态系统在特定条件下的动态平衡值。在不同的生物气候条件和人类扰动下,土壤有机碳积累的数量存在很大差异。研究表明,陆地土壤碳密度一般随降水增加而增加,在降雨量相同的条件下,温度越高碳浓度越低,温度和降水的综合作用决定了陆地土壤碳密度分布的地理地带性特征^[3, 4]。阿拉善主要草地类型有机碳的分布与上述结果一致,各样地随海拔高度、降水量的降低和温度的升高,土壤有机碳含量依次降低。王艳芬对我国内蒙古锡林郭勒地区的研究也得出草甸草原>典型草原>荒漠草原的相同结论^[6]。各草地类型土壤有机碳垂直分布规律为山地荒漠草原沿土壤剖面依次降低,高山草甸、草原化荒漠和 70% 以上沙砾质草原化荒漠样区 0~20cm 和 20~40cm 土层差异不显著,但均高于 40~60cm 土层。

3.2 影响土壤有机碳的主要自然因素

在草地生态系统中,土壤有机碳含量主要受气候、植被、土壤属性以及人类活动的综合影响,且各种因素间存在着互作效应。在自然条件下,进入土壤的植物残体由植被类型决定,而植被类型受气候条件如温度和水分等因素的制约。同时,水热条件、土壤特性在很大程度上决定着微生物的生物量及其活动,从而影响有机质在土壤中的分解速率。以往的研究表明,影响土壤有机碳含量的主要决定因素因区域环境的不同而不同。Burke^[9]等在美国中部大平原草地的研究认为,土壤有机碳含量随降雨量和土壤粘粒含量增加而增加,随温度增加而降低。Nichols^[17]在美国南部大平原的研究认为,土壤有

机碳含量与土壤粘粒含量呈正相关,而降雨量的影响很小。Percival 等^[10]对新西兰草地土壤的研究结果表明,粘粒含量、降雨、温度与土壤有机碳有一定的联系,但起决定作用的是土壤中铅氧化物的含量。本研究结果表明,研究区域内土壤有机碳含量与降雨、温度、植被盖度、草地生产力、土壤含水量、pH 和<0.05mm 粘粉粒含量均有一定的关系,但影响土壤有机碳的关键因素随土壤深度不同而有所不同。如影响 0~20cm 土层有机碳的主要因素顺序为植被盖度>草地生产力>年降水量,而 20~40cm 土层则为草地生产力>植被盖度,40~60cm 土层为土壤粘粉粒含量。年均温度和土壤特性主要通过影响植被盖度和草地生产力影响土壤有机碳含量。环境因素中影响土壤有机碳的主要因子在 0~20cm 土层为土壤含水量和年均温,在 20~40cm 土层为年降水量和年均温。

3.3 人类活动影响

表 4 土壤有机碳和环境因素的偏相关系数

Table 4 Partial correlation coefficients of soil organic carbon with environmental factors

影响因素 Factors	0~20cm		20~40cm	
	偏相关系数 P. C.	<i>P</i>	偏相关系数 P. C.	<i>P</i>
土壤含水量 Soil water content(%)	0.543	0.002	0.044	0.872
<0.05mm 颗粒含量<0.05mm particle content(%)	-0.173	0.361	0.340	0.197
pH	-0.254	0.162	-0.207	0.440
年均降水 Annual precipitation(mm)	0.059	0.756	-0.894	0.000
年均温 Annual mean temperature(℃)	-0.583	0.000	-0.922	0.000

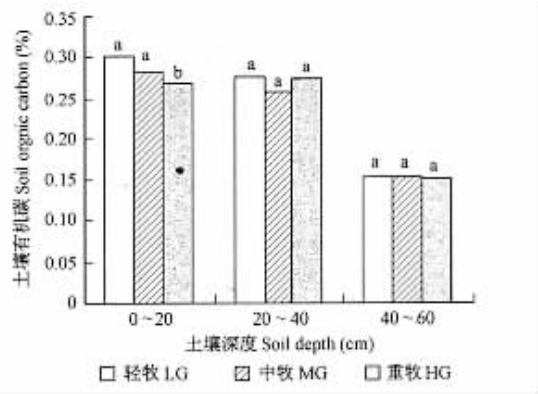


图 5 放牧对荒漠草地土壤有机碳含量的影响

Fig. 5 Effects of grazing on SOC in desert grasslands

过度放牧是人类施加于草地生态系统最大的影响因素,在世界草地退化总面积中约有 35% 是过度放牧造成的;就其影响规模而言,远远超过草地开垦^[7]。过度放牧也是土地荒漠化的主要根源^[18]。过度放牧可使草地第一性生产能力降低,而家畜采食减少了植物凋落物中的碳素向土壤的输入^[7]。同时过度放牧使草地的植被盖度降低,加速了土壤的风蚀作用,使土壤细颗粒物被吹走,从而对土壤有机碳有保护作用的粘粒物质减少^[17]。有研究表明,过度放牧促进草地土壤呼吸作用,从而加速碳素从土壤向大气释放^[7]。阿拉善荒漠草地由于受自然条件的限制,放牧是该类草地主要生产利用方式,迫于人口增长压力,过牧已成为当地普遍的现象。研究表明,6a 的不同强度放牧草地的植被盖度和生产力显著降低,其中重度比轻度放牧降低了 68%。与此相应,土壤有机碳含量也由 0.30% 降至 0.27%,下降了 11.59%。本文所调查的沙砾质草原化荒漠 7 个样地表层土壤有机碳含量为 0.181%~0.302% ($n=35$),平均为 $0.243\% \pm 0.0541\%$,比 1986 年的 0.325% 绝对值减少了 0.082%^[11],15a 的过度放牧导致 0~20cm 土壤有机碳含量下降了 25.2%。李凌浩^[8]对内蒙古锡林河流域羊草草原研究结果表明,40a 过度放牧使羊草草原表层土壤(0~20cm)中碳的贮量下降了约 12.4%。过度放牧对荒漠草地表层土壤有机碳的影响远远大于内蒙古羊草草原。王炜和汪诗平^[19,20]的研究表明,内蒙古羊草草原群落退化的显著特征是群落生产力的大幅度下降和优势种的更替。本研究区为沙砾质草原化荒漠,植被稀疏以灌木为主,过度放牧后草地初级生产力由 20 世纪 80 年代的 440.9kg/hm² 降低至 20 世纪末的 262.87kg/hm²,下降了 40.4%,同时灌木所占比例增加,草本特别是多年生草本比例下降^①。过度放牧导致草地的盖度由 20 世纪 80 年代的 20%~25%,降至目前 6%~11%,下降了 56%~70%^[21~23]。草地初级生产力的降低,特别是多年生草本在草地群落中所占的比例降低,减少了表层土壤根系的生物量。灌木大部分为粗壮根系,而土壤又长期处于比较干燥的状态,不利于根的分解,因而形成的土壤有机碳较少^[6]。草地盖度的降低又加剧了土壤风蚀沙化。董志宝等人^[24]风洞模拟实验结果以及李锋瑞等人^[25,26]在内蒙古科尔沁沙地的野外观测试验结果均表明,植被盖度对风沙土风蚀作用的影响很大,当植被盖度大于 60% 时几乎无风蚀发生,在 60%~20% 之间时为中度风蚀,小于 20% 为强烈风蚀。本文所调查的 3 个不同牧压强度的放牧地,重牧盖度比轻牧减少 68%。土壤中极粗、粗和中砂含量增加 28.71%,细、极细砂含量减少 11.15%,粘粉粒含量减少 19.08%,土壤有机质显著降低。本研究区域植被盖度,在 20 世纪 80 年代中期已达土壤风蚀的临界阈限,近 20a 的过牧更为严重,植被盖度急剧降低,土壤风蚀加剧,地表呈现明显粗砾化,已成为沙漠化严重发展区。

References:

[1] Houghton R A. Changes in the storage of terrestrial carbon since 1850. In: Lai R, Kimble J, Levine E, Steward B eds. *Soils and Global Change*. Boca Raton, Florida: CRC Press Inc., 1995. 45~65.

[2] Doran J W, Jones A J, Arshad M A, et al. *Determinants of soil quality and health, Soil Quality and Soil Erosion*. CRC Press, 1999. 17~36.

[3] Post W M, Emanuel W R, Zinke P J, et al. Soil carbon pools and world life zones. *Nature*, 1982, **298**(8): 156~159.

[4] Xiao H L. Climate change in relation to soil organic matter. *Soil and Environment Sciences*, 1999, **8**(4): 300~304.

[5] Wang S P, Zhou G S, Lu Y C, et al. Distribution of soil carbon, nitrogen and phosphorus along northeast china transect (nect) and their relationships with climatic factors. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, **26**(5): 513~517.

[6] Wang Y F, Chen Z Z, et al. Distribution of soil organic carbon in the major grasslands of Xilinguole, Inner Mongolia, China. *Acta Phytocologica Sinica*, 1998, **22**(6): 545~551.

[7] Li L H. Effects of land-use change on soil carbon storage in grassland ecosystems. *Acta Phytocologica Sinica*, 1998, **22**(4): 300~302.

[8] Li L H, Liu X H, Chen Z Zh. Study on the carbon cycle of *Leymus chinensis* steppe in the Xilin River basin. *Acta Botanica Sinica*, 1998, **40**(10): 955~961.

[9] Burke I C, Yonker C M, Ponton W J, et al. Texture, climate, and cultivation effects on soil organic matter content in U. S. Grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1989, **53**: 800~805.

[10] Percival H J, Roger L P, Scott N A. Factors controlling soil carbon levels in New Zealand grasslands: Is clay content important?. *Soil Sci.*

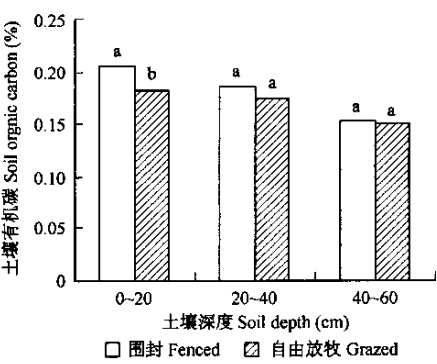


图 6 围封与放牧草地土壤有机碳含量的变化
Fig. 6 Changes in SOC in fenced and grazed grasslands

Soc. Am. J., 2000, **64**: 1623~1630.

- [11] Editorial Committee of Agricultural and Pastoral Divisions of Alashan Prefecture. *Agricultural and Pastoral Divisions of Alashan Prefecture*. Huhhot: Inner Mongolia People Press, 1992. 75~115, 405~441.
- [12] Yang L M, Li J D, Yang Y F. β -diversity of grassland communities along gradient of grazing disturbance. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, **10**(4): 442~446.
- [13] Nanjing soil Institute, Chinese Academy of Science. *Analysis on Physical and Chemical Property of Soil*. Shanghai: Shanghai Sciences & Technology Press, 1978. 62~141.
- [14] Ren J Z, *et al.* *Research Methods of Pratacultural Science*. Beijing: Chinese Agricultural Press, 1998. 1~29.
- [15] Xu Z Z, Lin Z G, Wang Y Z. Some problems of Helan Mountain climate. *Acta Geographica Sinica*, 1993, **48**(2): 171~176.
- [16] Zhao L Y, Li F R, Wang X Z. Characteristics of soil seed bank and standing vegetation change in sandy grasslands along a desertification gradient. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, **23** (9): 1745~1756.
- [17] Nichols J D. Relation of organic carbon to soil properties and climate in the southern Great Plains. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1984, **48**: 1382~1384.
- [18] Zhao H L, Masayuki NEMOTO, *et al.* Study on desertification process of overgrazing grassland in Horqin sandy land in Inner Mongolia, China. *Journal of Desert Research*, 1997, **17**(Suppl): 15~24.
- [19] Wang S P, Li Y H. Degradation mechanism of typical grassland in Inner Mongolia. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, **10**(4): 437~441.
- [20] Wang W, Liu Z L, Hao D Y, *et al.* Research on the restoring succession of the degenerated grassland in Inner Mongolia I. Basic characteristics and driving force for restoration of the degenerated grassland. *Acta Phytoecologica Sinica*, 1996, **20**(5): 449~459.
- [21] Sun X. The types and evaluation of Lingnan Valley grassland resources. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 1991, **5**(4): 76~88.
- [22] Zhou Z Y, Fu H, Cheng Y M. Changes of the species diversity and productivity of A-la-shan steppe area in restoration succession. *Acta Prataculturae Sinica*, 2003, **12**(1): 34~40.
- [23] Wang Y R, Zeng Y J, Fu H. Affects of over grazing and enclosure on desert vegetation succession of *Reaumuria soongrica*. *Journal of Desert Research*, 2002, **22**(4): 321~327.
- [24] Dong Z B, Chen W N, Dong G R, *et al.* Influences of vegetation cover on the wind erosion of sandy soil. *Acta scientiae circumstantiae*, 1996, **16**(4): 437~443.
- [25] Li F R, Zhang H, Zhang T H, *et al.* Variations of sand transportation rates in sandy grasslands along a desertification of gradient in northern China. *Catena*, 2003, **53**: 255~272.
- [26] Li F R, Zhang H, Shirato Y, *et al.* Pedoecological effects of a sand-fixing poplar (*Populus simonii* Carr.) forest in a desertified sandy land of Inner Mongolia, China. *Plant and Soil*, 2003, **256**: 431~442.

参考文献:

- [5] 王淑平, 周广胜, 等. 中国东北样带(NECT)土壤碳、氮、磷的梯度分布及其与气候因子的关系. *植物生态学报*, 2002, **26**(5): 513~517.
- [6] 王艳芬, 陈佐忠, Tieszen L 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. *植物生态学报*, 1988, **22**(6): 545~551.
- [7] 李凌浩. 土地利用变化对草原生态系统土壤碳贮量的影响. *植物生态学报*, 1998, **22**(4): 300~302.
- [8] 李凌浩, 刘先华, 陈佐忠. 内蒙古锡林河流域羊草草原生态系统碳素循环研究. *植物学报*, 1998, **40**(10): 955~961.
- [11] 阿拉善农牧业区划编辑委员会. 阿拉善盟农牧业区划. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 1992. 75~115, 405~411.
- [12] 杨利民, 李建东, 杨允菲. 草地群落放牧干扰梯度 β 多样性研究. *应用生态学报*, 1999, **10**(4): 442~446.
- [13] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978. 62~141.
- [14] 任继周主编. 草业科学研究方法. 北京: 中国农业出版社, 1998. 1~29.
- [15] 许朝斋, 林之光, 汪奕琮, 贺兰山区气候若干问题. *地理学报*, 1993, **48**(2): 171~176.
- [16] 赵丽娅, 李锋瑞, 王先之. 草地沙化过程地上植被与土壤种子库变化特征. *生态学报*, 2003, **23**(9): 1945~1956.
- [18] 赵哈林, 根本正之, 大黑俊哉. 内蒙古科尔沁沙地放牧草地的沙漠化过程研究. *中国沙漠*, 1997, **17**(增刊 1): 15~24.
- [19] 汪诗平, 李永宏. 内蒙古典型草原退化机理的研究. *应用生态学报*, 1999, **10**(4): 437~441.
- [20] 王伟, 刘钟龄, 郝敦元. 内蒙古草原退化群落恢复演替的研究 I. 退化草原的基本特征与恢复演替动力. *植物生态学报*, 1996, **20**(5): 449~459.
- [21] 孙祥. 阿拉善岭南沟流域草场资源类型及评价. 干旱区资源与环境, 1991, **5**(4): 74~88.
- [22] 周志宇, 傅华, 陈亚明. 阿拉善荒漠草地恢复演替过程中物种多样性与生产力的变化. *草业学报*, 2003, **12**(1): 34~40.
- [23] 王彦荣, 曾彦军, 傅华, 等. 过牧及封育对红砂荒漠植被演替的影响. *中国沙漠*, 2002, **22**(4): 321~327.
- [24] 董治宝, 陈渭南, 董光荣, 等. 植被对风沙土风蚀作用的影响. *环境科学学报*, 1996, **16**(4): 437~443.