

放牧和补播对草地土壤有机碳和微生物量碳的影响

赵娜¹, 庄洋¹, 赵吉^{1,2,3}

(1. 内蒙古大学环境与资源学院, 内蒙古 呼和浩特 010021;

2. 中美生态能源及可持续性科学内蒙古研究中心, 内蒙古 呼和浩特 010021;

3. 内蒙古低碳发展研究院, 内蒙古 呼和浩特 010010)

摘要:为评估草地的碳源/汇功能,探索可持续发展的草地管理措施,以内蒙古锡林郭勒典型草原为研究区域,采用野外调查取样结合室内分析的方法,分析了土壤有机碳(Soil Organic Carbon, SOC)和土壤微生物量碳(Soil Microbial Biomass Carbon, SMBC)的变化规律,探讨了围栏封育 29 年(WF29)、围栏封育 8 年(WF8)、补播苜蓿(*Medicago sativa*)(RA)、补播羊草(*Leymus chinensis*)(RC)、以及轻度放牧(LG)、中度放牧(MG)和重度放牧(HG)共 7 种处理对 SOC 和 SMBC 分布的影响以及草地 SOC 和 SMBC 碳库储量的大小。结果表明,从土壤剖面来看, SOC、SMBC 含量在土壤表层较高,为草地的主要碳库,随着土壤深度的增加呈现降低的趋势。土壤根系层(0—30 cm)中, WF8、WF29、RA、RC、LG 和 MG 的 SOC 和 SMBC 均高于 HG, 其中 WF8 正效应较为明显,有利于提高 SMBC 与 SOC 含量。SOC 与 SMBC 呈显著正相关关系($P < 0.05$)。可以通过 SMBC 的变化反映 SOC 的变化,进而反映 SOC 碳库的变化。经估算,锡林浩特市草地 0—30 cm 总的 SOC 和 SMBC 碳储量分别为 788.86 和 9.48 Gg。其中,围封 8 年的 SOC 和 SMBC 碳储量的值都为最高,分别为 661.76 和 6.76 Gg,人工种草措施的值均为最低,分别为 0.61 Gg 和 5.73 t。SOC 和 SMBC 含量对于土壤肥力和土壤品质变化有指示作用,可作为草地碳汇的重要评估指标。

关键词:典型草原;管理措施;有机碳;微生物量碳

中图分类号: S812.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0629(2014)03-0368-08^{*1}

Effects of grassland managements on soil organic carbon and microbial biomass carbon

ZHAO Na¹, ZHUANG Yang¹, ZHAO Ji^{1,2,3}

(1. College of Environment and Resources, Inner Mongolia University, Hohhot 010021, China;

2. Sino-US Center for Conservation, Energy and Sustainability Science,

Inner Mongolia, Hohhot 010021, China;

3. Inner Mongolia Low-Carbon Research Institute, Hohhot 010010, China)

Abstract: In order to evaluate the carbon source/carbon sink function of grassland and explore the sustainable grassland management measures, the combined methods of field sampling and laboratory analysis were employed to analyze the variation of soil organic carbon (SOC) and soil microbial biomass carbon (SMBC) in Xilingol typical grassland in Inner Mongolia. The effects of different management and grazing measures on the distribution and carbon reserves of SOC and SMBC were discussed. The studied measures included fenced enclosure for 29 years (WF29), fenced enclosure for 8 years (WF8), filling-up *Medicago sativa*

* 收稿日期: 2013-04-07 接受日期: 2013-06-18

基金项目: 国家自然科学基金(31160129); 德国国际合作机构(GIZ)绿色金融项目(83086091)

第一作者: 赵娜(1987-), 女, 内蒙古杭锦旗后旗人, 硕士, 研究方向为环境规划与管理。E-mail: zhaona2006@163.com

通信作者: 赵吉(1962-), 男, 内蒙古呼和浩特人, 教授, 博导, 博士, 研究方向为环境微生物学和土壤生态学。E-mail: ndzj@imu.edu.cn

(RA), filling-up *Leymus chinensis* (RC), and three grazing measures [light grazing (LG), moderate grazing (MG) and heavy grazing (HG)]. The surface soil layer was higher carbon pool because the SOC and SMBC in the soil profile decreased with soil depth increasing. The SOC and SMBC of WF8 and WF29 were higher than that of HG in root system soil layer (0–30 cm). There were significantly positive effects of WF8 management on SMBC and SOC. There was significantly positive correlation ($P < 0.05$) between SOC and SMBC. The variations of SMBC not only reflect the changes of SOC, but also reflect the changes of soil organic carbon pool. The total SOC and SMBC carbon reserves were 788.84 Gg C and 9.47 Gg C in Xilinhot, respectively. The SOC and SMBC carbon reserves were highest under fenced enclosure for 8 years (661.76 Gg C, 6.76 Gg C), and lowest under the artificial filling-up measures (0.61 Gg C, 5.73 t C). SOC and SMBC were the indicators of soil fertility and soil quality and important evaluation index of grassland carbon sink.

Key words: typical grassland; management measures; organic carbon; microbial biomass carbon

Corresponding author: ZHAO Ji E-mail: ndzj@imu.edu.cn

土壤有机碳 (Soil Organic Carbon, SOC) 和土壤微生物量碳 (Soil Microbial Biomass Carbon, SMBC) 是表征土壤肥力和土壤中物质和能量流动的重要参数^[1-4]。土地利用方式和管理措施会改变土壤理化性质和植被特征, 进而影响草地 SOC 的分布和碳库储量^[5]。全球 SOC 贮量约为 1 550 Pg, 是大气碳库的两倍^[6]。草地是陆地生态系统的重要组成部分^[7], 占我国国土面积的 40% 左右, 是我国分布最广的陆地生态系统^[8]。土壤微生物也是草地碳循环的一部分, 参与各种元素的循环过程, 主导有机物的分解转化^[9]。虽然 SMBC 在 SOC 中所占比例较小, 但微生物对环境变化非常敏感, 能够及时反映土壤状况^[10]。通过检测不同措施下 SMBC 的变化可以间接了解 SOC 的响应状况, 用 SMBC 反映土壤有机碳库, 可为草地碳汇评估提供依据。

目前, 关于草地碳汇及其交易方面的研究还不成熟, 尚处于起步阶段, 相关基础数据、方法学、交易模式及政策措施等的研究和实践还非常薄弱。因此, 针对草地碳汇的基础性研究有着十分重要的意义。对于内蒙古来说, 草地面积和碳储量远大于森林面积和碳储量, 在研究碳固持潜力和价值时, 草地是最主要的研究对象。

按照 1:100 万数字化中国植被图, 内蒙古草地面积 (不含荒漠) 为 $5.7587 \times 10^7 \text{ hm}^2$, 约占总土地面积的 48.68%。其中, 典型草原分布面积最大, 为 $2.860 \times 10^7 \text{ hm}^2$, 占总草地面积的 49.67%; 草甸草原、荒漠草原和草甸分别占总草地面积的 10.87%、15.48% 和 17.09%, 沼泽类所占面积最小, 为

6.89%, 在此基础上估算出内蒙古温带草地总碳储量为 3 760 Tg。典型草原因分布面积最大而具有最高碳储量 (2 110 Tg), 占内蒙古草地总碳储量的 56.1%; 草甸草原和草甸的碳储量分别为 780、500 Tg; 荒漠草原的碳储量最低, 为 370 Tg, 占内蒙古草地总碳储量的 9.8%。可见, 内蒙古草地, 尤其是典型草原碳储量巨大。可以在碳贸易中为内蒙古带来利益, 有望在碳交易市场中占主导地位, 为内蒙古经济发展带来新的增长点。

本研究以锡林浩特市草地为例, 揭示 SOC 和 SMBC 在不同草地管理措施下的变化规律, 并探索草地增汇措施, 评估其碳储量现状, 以期今后的碳汇交易提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区自然概况

锡林浩特市位于内蒙古自治区锡林郭勒盟中部, $115^{\circ}16' - 117^{\circ}13' \text{ E}$, $43^{\circ}02' - 44^{\circ}52' \text{ N}$ 。锡林浩特市草原总面积为 $1.4433 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 退化草原面积 $5.546 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 其中轻度、中度和重度退化面积分别为 2.762×10^5 、 1.658×10^5 和 $1.126 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 。目前主要恢复措施为封山育林、人工造林、飞播造林、围栏封育、草地改良、划区轮牧、人工种草和建高产饲料基地等, 其中, 人工种草保有面积 $1.4 \times 10^3 \text{ hm}^2$, 围栏草地 $8.8 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 改良草地 $6.7 \times 10^3 \text{ hm}^2$, 基本牧场 $6.7 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 。

试验地位于内蒙古锡林浩特市锡林河流域的典型草原。海拔 1 200~1 250 m, 年平均温度 1°C , 属

于温带半干旱大陆性气候,年平均降水量为 350 mm,集中于 6—8 月。样地土壤类型为栗钙土。

1.2 采样方法

采样时间选在 2012 年 8 月中旬。设置两个围栏封育处理,即围栏封育 8 a (WF8) 和 29 a (WF29);两个栽培草处理:补播苜蓿(*Medicago sativa*)(RA)和补播羊草(*Leymus chinensis*)(RC),RC 和 RA 是在重度退化草地上补播后的两年草

地;3 个放牧梯度:轻度放牧(2.7 羊单位·hm⁻²)(LG)、中度放牧(5.3 羊单位·hm⁻²)(MG)和重度放牧(8 羊单位·hm⁻²)(HG)。选取地势平坦且植被有代表性的地段,土壤取样深度分 3 层(0—10、10—20 和 20—30 cm),按“S”型采集 5 个重复。取回的土样除去细根及杂质后,过 0.25 mm 筛。将前处理的土壤样品放于 4 ℃ 冰箱中保存,待测 SMBC、SOC 和 TN。样地布置及基本情况见表 1。

表 1 样地布置
Table 1 Sample plots arrangement

编号 Number	管理措施 Management measure	基本情况 Basic information
1	围栏封育 8 a Fencing for 8 years(WF8)	2004 年围栏封育后不进行任何人为干扰,自行恢复。 No disturbance since 2004.
2	围栏封育 29 a Fencing for 29 years(WF29)	1983 年围栏封育后不进行任何人为干扰,自行恢复。 No disturbance since 1983.
3	轻度放牧 Light grazing(LG)	放牧强度 2.7 羊单位·hm ⁻² 。 Grazing intensity is 2.7 sheep unit·hm ⁻² .
4	中度放牧 Moderate grazing(MG)	放牧强度 5.3 羊单位·hm ⁻² 。 Grazing intensity is 5.3 sheep unit·hm ⁻² .
5	重度放牧 Heavy grazing(HG)	放牧强度 8 羊单位·hm ⁻² 。 Grazing intensity is 8 sheep unit·hm ⁻² .
6	补播苜蓿 Reseed (<i>Medicago sativa</i>)(RA)	先耕翻处理,机播苜蓿,播种量为 22.5 kg·hm ⁻² 。 Sowing <i>Medicago sativa</i> by machine after ploughing, sowing rate 22.5 kg·hm ⁻² .
7	补播羊草 Reseed <i>Leymus chinensis</i> (RC)	先耕翻处理,机播羊草,播种量为 37.5 kg·hm ⁻² 。 Sowing <i>Leymus chinensis</i> by machine after ploughing, sowing rate 37.5 kg·hm ⁻² .

1.3 样品分析方法

SOC 使用 Liqui TOC 分析仪测定,SMBC 采用氯仿熏蒸—K₂SO₄ 提取方法测定^[11-12],全氮用 Elementar 公司的 Vario PYRO CUBE 元素分析仪进行测定。

1.4 数据分析

运用 Microsoft Excel 软件和 SAS 软件对数据进行显著性分析和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 管理措施对 SOC 的影响

2.1.1 SOC 的垂直分布特征 土壤有机碳对环境变化较为敏感,可以迅速反映土壤理化性质变化,为草地维护和可持续利用提供指示^[13]。本研究

中,不同管理措施下,不同土层间 SOC 呈现出较大差异。其中 WF8、WF29、RA、LG 和 MG 处理下,在 3 个土层中表层土(0—10 cm)SOC 含量最高,并随土层加深逐渐降低,各土层间差异显著($P<0.05$)。WF8、WF29 和 RA 处理下 SOC 更集中于 0—10 cm,其他处理下各土层 SOC 的分布更为均匀。RC 处理下,10—20 cm 层 SOC 含量最高,其次为表层,最低的为 20—30 cm。HG 条件下 SOC 含量在各土层间无显著差异($P>0.05$)。SOC 最大值出现在 WF8 处理的 0—10 cm 土层,为 21.63 g·kg⁻¹,可见围栏封育增加了表层 SOC 含量。最小值出现在 MG 处理的 20—30 cm,仅为 3.94 g·kg⁻¹,相对于轻度放牧而言,中度和重度放牧降低了 SOC 含量(图 1)。

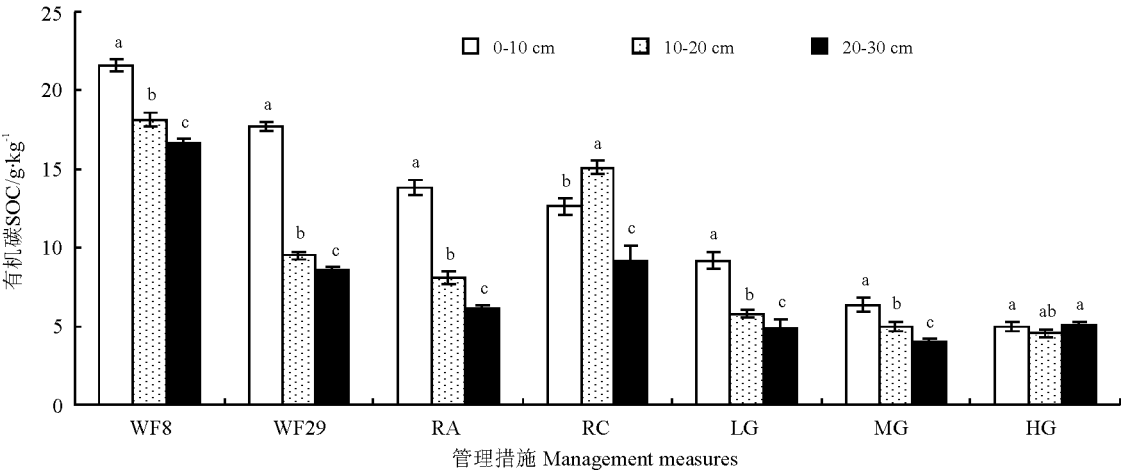


图 1 不同管理措施下 SOC 垂直分布

Fig. 1 Vertical distribution characteristics of SOC under different management measures

注:不同字母表示同一管理措施不同土层间差异显著($P<0.05$)。下同。
Note: Different lower case letters for the same management measure indicate significant differences among different soil layers at 0.05 level. The same below.

2.1.2 SOC 的空间异质性 不同处理间 SOC 含量表现为 $WF8>RC>WF29>RA>LG>MG>HG$ 。WF8 处理下 SOC 含量最高,为 $18.80\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,显著高于其余处理($P<0.05$)。HG 处理下 SOC 含量最低($4.45\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)。两种围栏封育处理下 SOC 含量 $WF8(18.80\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1})>WF29(11.91\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1})$ 。说明 SOC 并非与围栏封育时间呈正比,而是达到一定峰值后,随着年限的增加而降低。3 个放牧梯度下 SOC 含量表现为 $LG>MG>HG$,说明降低牧压能够显著提高有机碳量(图 2)。分析数据看出,RC 和 RA 可以显著增加 SOC 含量,且 RA 处理下 SOC 含量高于 RC,主要是因为苜蓿

根系较羊草更发达,为土壤提供较多碳素。所以,建议多进行苜蓿和羊草的补播尤其是苜蓿的补播,以期达到显著改善草地品质,提高有机碳含量的目的。

2.2 不同管理措施对 SMBC 的影响

2.2.1 SMBC 的垂直分布特征 土壤理化性质和凋落物均对微生物生长有较大影响,所以不同深度土壤 SMBC 有一定差异(图 3)。其中 WF29、WF8、RA 和 MG 处理下,表层土(0-10 cm)SMBC 最高,说明表层土壤微生物活动强烈,向下呈现明显的下降趋势。LG 和 HG 处理下,10-20 cm 土层 SMBC 含量最高,其次为表层,最低的为 20-30 cm。RC 处理下,20-30 cm 土层 SMBC 含量最高,表层次之,10-20 cm 土层最低。SMBC 最大值出现在 WF29 处理的 0-10 cm 土层,为 $242.08\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,最小值出现在 HG 的 20-30 cm,仅为 $26.31\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (图 3)。

对于两种围栏封育处理,WF29 处理下表层 SMBC 达 $242.08\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,占总量的 58%,中层和下层分别占 24%和 18%,而 WF8 处理下表层 SMBC 含量为 $235.63\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,占总量的 41%,中层和下层分别占总量的 33%和 26%(图 3)。可见,原本分布较为均匀的 SMBC 随着围栏封育年限的增加更集中于 0-10 cm 土层。两种补播措施可以较好地提高草地 SMBC,从 3 个土层土壤的 SMBC 总量来看,RC 和 RA 处理分别达 329.81 和

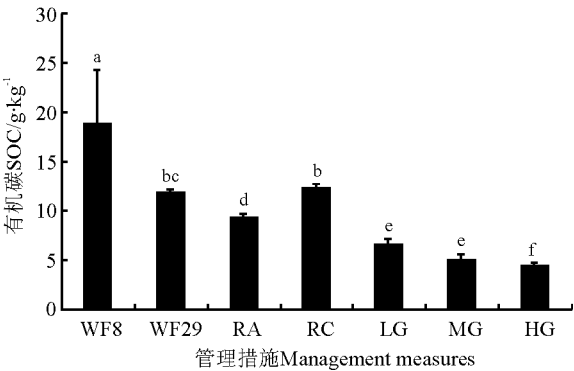


图 2 不同管理措施下 SOC 的比较

Fig. 2 Comparison of SOC under different management measures

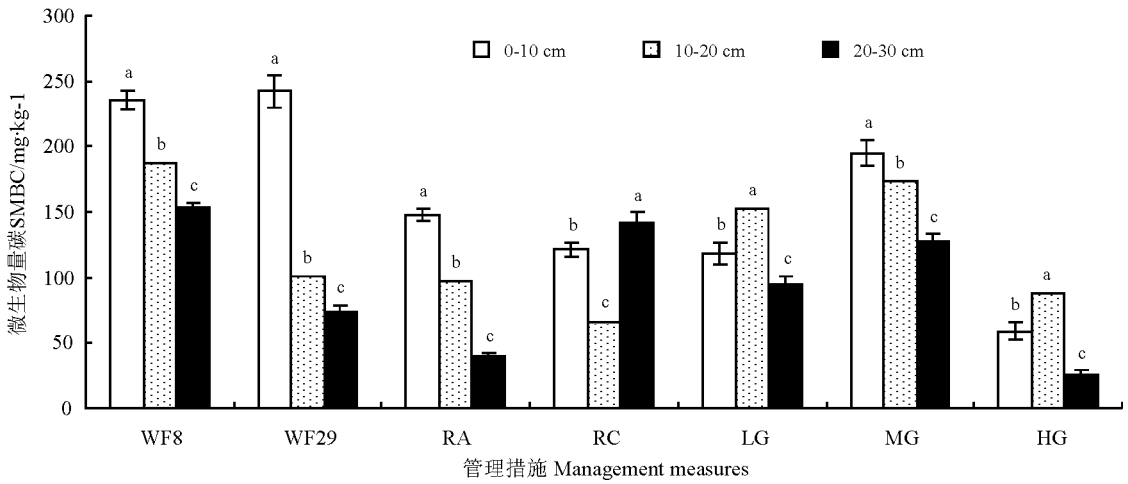


图 3 不同管理措施下 SMBC 的垂直分布

Fig. 3 Vertical distribution characteristics of SMBC under different management measures

284.18 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 与 LG 的 SMBC 总量 365.93 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 相接近, 远高于 HG 的 173.56 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。可见, 通过栽培种草措施可以迅速增加 SMBC, 进而间接的较大幅度的改善草地条件。

2.2.2 SMBC 的空间异质性 不同管理措施下 SMBC 含量表现为 $\text{WF8} > \text{MG} > \text{WF29} > \text{LG} > \text{RA} > \text{RC} > \text{HG}$ (图 4)。SMBC 的变化受到多种因素的综合影响, 包括环境条件、植物生长、放牧强度、土壤深度及其他因素。SMBC 最高值出现在 WF8 (192.04 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), 最低值在 HG (57.85 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)。

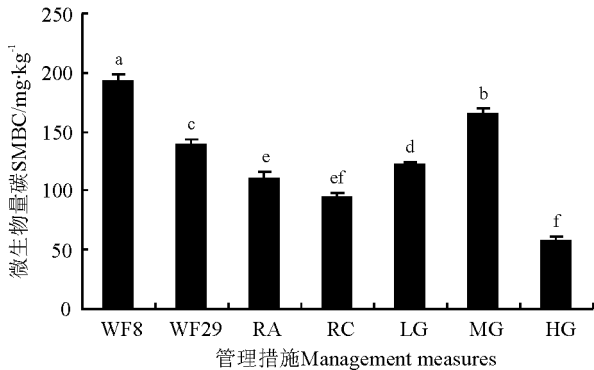


图 4 不同管理措施下 SMBC 的对比

Fig. 4 Comparison of SMBC under different management measures

2.3 有机碳储量与微生物量碳储量

SOC 含量不能反映草地 SOC 碳库的真实水平, 所以, 结合草地面积对草地碳储量进行估算发现, WF8 处理下的 SOC 和 SMBC 值都大于 WF29

处理, 故假设围栏草地全部进行 WF8 处理, 并计算土壤有机碳储量和微生物量碳储量的大小。在本研究中, 补播的两个处理对于提高 SOC 和 SMBC 含量不相上下。

经估算, 锡林浩特市草地 0—30 cm 土层总的土壤有机碳库储量和微生物量碳库储量分别为 788.86 和 9.48 Gg (表 2)。其中, WF8 处理下的土壤有机碳库储量和微生物量碳库储量比同期其他措施的值都高, 分别为 661.76 和 6.76 Gg, 人工种草措施的值均最低, 分别为 0.61 和 0.01 Gg。

2.4 土壤微生物量碳与土壤有机碳之间的关系

根据分析, 得到 SOC 含量与 SMBC 含量、土壤 TN 含量和 C/N 的相关关系 (表 3)。SOC 与土壤 TN 含量极显著正相关 ($P < 0.01$), 与 SMBC 和 C/N 呈显著正相关 ($P < 0.05$), SMBC 作为土壤的生物碳库, 可以反映典型草原 SOC 的变化情况, 并指示土壤的生态肥力状况。

3 讨论

本研究中, 不同草地管理措施对 SOC 和 SMBC 含量产生的影响各不相同。合理适宜的管理措施能够提高植物吸收和固定 CO_2 的量, 从而增加 SOC 的输入, 这与付友芳等^[14]在内蒙古锡林郭勒盟典型草原上进行的研究, 以及贾宏涛等^[15]在新疆典型亚高山草原上的研究结果相一致。相反, 不合理的管理措施, 不仅不能提高草地的固碳能力, 还使草地生态环境恶化, 如 Lal^[16]的研究结果。

表 2 土壤有机碳储量和微生物量碳储量的大小

Table 2 The size of the soil organic carbon pool and soil microbial biomass carbon pool

处理 Management	面积 Area/×10 ⁵ hm ²	SOC 碳储量 Soil organic carbon pool/Gg	SMBC 碳储量 Soil microbial biomass carbon pool/Gg
围栏封育 8 年 Fencing for 8 years(WF8)	8.80	661.76	6.76
轻度放牧 Light grazing(LG)	2.76	72.81	1.35
中度放牧 Moderate grazing(MG)	1.66	33.64	1.10
重度放牧 Heavy grazing(HG)	1.13	20.04	0.26
人工种草 Reseeding(R)	0.01	0.61	0.01
合计 Total	14.36	788.86	9.48

注：1 Gg=1×10⁹ g。

表 3 SOC、TN、C/N 与 SMBC 之间的相关关系

Table 3 Correlations among SOC, TN, C/N and SMBC

指标 Parameter	土壤有机碳 SOC	总氮 TN	碳氮比 C/N	土壤微生物量碳 SMBC
有机碳 SOC	1.00			
总氮 TN	0.87* *	1		
土壤碳氮比 Soil C/N	0.72*	0.47	1	
土壤微生物量碳 SMBC	0.69*	0.82* *	0.64*	1

注：* P<0.05，* * P<0.01。

WF8 的正效应较为明显，SOC 和 SMBC 值都最大。围栏避免了牲畜进入草地肆虐啃食和对土壤的踩踏以及其他人为活动的扰动，改良土壤结构，增加土壤含水量，防止土壤的退化和板结，从而提高水分利用率，使植被恢复，地上生物量得到了有效的提高，进一步增加了有机碳的地上来源。众多研究表明，与放牧措施相比，围栏草地有机碳含量显著高于天然放牧草地，有效提高了土壤有机碳，是一种实施简单并且效果显著的草地恢复措施^[17-19]。Conant 等^[20]分析了 133 篇文献后指出，对由于放牧而退化的草原进行围栏封育，碳含量平均增加了 34%。但是，并不是围栏封育年限越长越好，要想通过围栏封育来进行草地增汇，围栏封育时间的选择是关键。本研究中，WF8 的 SOC 和 SMBC 均大于 WF29，主要是因为围栏封育一定年限后，地表凋落物的增加会抑制牧草幼苗的生长和植被的再生，不利于草地的长期发展，因此出现土壤有机碳反而降低的结果。

本研究中，RC 和 RA 处理下 SOC 和 SMBC 均显著高于放牧。RC 处理下 SMBC 和 SOC 是 HG 条件的 1.9 倍和 2.8 倍，RA 措施下 SMBC 和 SOC

是 HG 条件的 1.6 和 2.1 倍。草地补播也是一种很好的退化草地恢复措施，通过播种与当地自然条件相适应的优良牧草，既可以保持草地原有植被，又可以增强草地生态系统的机能，增加生物量改善土壤环境^[21]。例如种植多年生豆科植物，如苜蓿，它能从大气中固定氮，从而为生物生产力减轻了氮的限制。用动物粪便施肥能够促进 SOC 的增加^[20]。在高山草甸区的黑沙滩，与退化草原相比，多年生牧草增加了生物生产力^[22]。

放牧对草地的影响与放牧梯度有直接关系。本研究表明，SMBC 的含量顺序为 MG>LG>HG。因为 MG 条件下土壤根系相对丰富，大量根系分泌物可以为微生物的代谢和繁殖提供营养物质，同时 MG 在牲畜的活动下使植物的茎叶进入土壤，加入土壤氮循环，促使微生物活动旺盛。HG 措施下，则因为牲畜的踩踏和植被的损耗，致使土壤水分含量和土壤通透性受到很大影响，制约了土壤微生物的生长繁殖^[23]。与 SMBC 比较，SOC 为 LG>MG>HG，含量表现 LG 中 SOC 含量最高，主要原因在于牲畜啃食和踩踏程度较轻，草地受干扰程度较轻，草

地利用率大于牲畜采食率,所以植被破坏较小,地上生物量积累较多,土壤碳源充足。HG 会加速土壤呼吸,增加土壤碳的释放,使草地变成碳源。王玉辉等^[24]对不同放牧梯度下 SOC 的研究发现,强放牧条件下 SOC 显著低于轻度放牧和对照,也有研究^[25-26]指出长期重度放牧能够增加表层土壤的 SOC 和总的氮含量。然而,有学者发现,在中国,所有放牧强度按平均来说,HG 降低了草地的土壤碳含量^[27]。放牧主要减少 SOC,但是在内蒙古草原和高山草甸中的某些中度放牧条件下 SOC 增加了^[28-30]。因此,寻求一个适宜合理的放牧强度是重中之重^[31]。降低牧压的措施是解决草原退化的最主要途径之一,是实现草原可持续发展的基础,同时也是治理草原退化的根本途径。

许多管理方式都适合退化草地恢复。围栏封育是增加植被覆盖的一种长期广泛实施的措施^[21]。对于提高 SOC 并恢复草原的结构和功能方面,围栏封育和轻度放牧是理想的管理措施;中度放牧作为草地退化的临界点,结合草地的实际情况与牧民的生活生产需要,实际放牧强度不超过中度放牧,既能提高草地利用率,又能保证牲畜的畜养量;重度放牧

导致草地严重退化,改用栽培种草措施可以快速增加 SOC 和 SMBC,恢复草地的群落结构,提高草地生态系统的作用和功能,固定更多 CO₂。

人工种草就是在废弃的耕地里种植豆科作物或草。在种植牧草的过程中,施肥和水分条件是限制栽培草地的主要因素。其他学者也指出,草地 SOC 和 SMBC 受多种因素影响,如气候条件、土壤肥力和有机质含量、土壤理化性状、植被类型及生长状况,其中气候变化特别是降水变化是最主要影响因素^[32-33],气候条件改善、降水增加可以促进草地 SOC 和 SMBC 的积累。

4 结论

围栏封育 29 年、围栏封育 8 年、补播苜蓿、补播羊草以及轻度、中度和重度放牧共 7 种管理措施对草地土壤起到了不同程度的固碳效果,其中,围栏封育和补播措施对增加土壤有机碳含量尤为明显。长期围栏封育和补播措施是增加土壤有机碳和微生物量碳的有效措施。而若适度放牧,既能维持牲畜的正常生长和生产,同时也能实现牧草的持久利用。

参考文献

- [1] Carter M R, Stewart B A. Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils[M]. Boca Raton: CRC Press, 1996: 182-245.
- [2] Hargreaves P R, Brookes P C, Ross G J S, Poulton P R. Evaluating soil microbial biomass carbon as an indicator of long-term environmental change[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2003, 35(3): 401-407.
- [3] 马效国, 樊丽琴, 陆妮, 沈禹颖. 不同土地利用方式对苜蓿茬地土壤微生物生物量碳、氮的影响[J]. 草业科学, 2005, 22(10): 13-17.
- [4] 马秀枝, 王艳芬, 汪诗平, 王金枝, 李长生. 放牧对内蒙古锡林河流域草原土壤碳组分的影响[J]. 植物生态学报, 2005, 29(4): 569-576.
- [5] 崔楠. 内蒙古抓紧筹划低碳经济积极构建碳汇大区[N]. 内蒙古日报, 2010-03-03(第 7 版).
- [6] Lal R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change[J]. Geoderma, 2004, 123: 1-22.
- [7] 何亚婷, 齐玉春, 董云社, 彭琴, 肖胜生, 刘欣超. 外源氮输入对草地土壤微生物特性影响的研究进展[J]. 地球科学进展, 2010, 25(8): 877-885.
- [8] 李博, 雍世鹏, 李瑶, 刘永江. 中国的草原[M]. 北京: 科学出版社, 1990: 213-218.
- [9] Chilima J, Huang C Y, Wu C F. Microbial biomass carbon trends in black and red soils under single straw application: Effect of straw placement mineral N addition and tillage[J]. Pedosphere, 2002, 12(1): 59-72.
- [10] Bucher A E, Lanyon L E. Evaluating soil management with microbial community level physiological profiles[J]. Applied Soil Ecology, 2005, 29(1): 59-71.
- [11] 李振高, 骆永明, 滕应. 土壤与环境微生物研究法[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 322-325.

- [12] 王长庭,龙瑞军,王启兰,景增春,施建军,杜岩功,曹广民. 三江源区高寒草甸不同退化演替阶段土壤有机碳和微生物量碳的变化[J]. 应用与环境生物学报,2008,14(2):225-230.
- [13] 李丽君,朱新萍,贾宏涛,赵成义,胡玉昆,苏建红. 长期围栏封育对天山中部草地土壤有机碳及微生物量碳的影响[J]. 农业环境科学学报,2012,31(8):1554-1559.
- [14] 付友芳,于永强,黄耀. 2000—2007 年内蒙古锡林郭勒盟草地土壤有机碳变化估计[J]. 草业科学,2011,28(9):1589-1597.
- [15] 贾宏涛,蒋平安,赵成义,胡玉昆,李赞. 围栏年限对草地生态系统碳分配的影响[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(1):33-36.
- [16] Lal R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security[J]. Science,2004,304(5677):1623-1627.
- [17] 韩天虎,赵忠,王安禄,冯今. 青藏高原东缘异针茅草地群落组成及生产力研究[J]. 草业学报,2007,16(6):62-66.
- [18] 陈全功. 江河源区草地退化与生态环境的综合治理[J]. 草业学报,2007,16(1):10-15.
- [19] 何念鹏,韩兴国,于贵瑞. 长期封育对不同类型草地碳贮量及其固持速率的影响[J]. 生态学报,2011(3):4270-4276.
- [20] Conant R, Faustian K, Elliott E. Grassland management and conversion into grassland: Effects on soil carbon[J]. Ecological Applications,2001,11(2):343-355.
- [21] Wang S, Wilkes A, Zhang Z, Chang X, Lang R, Wang Y, Niu H. Management and land use change effects on soil carbon in northern China's grasslands: A synthesis[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment,2011,142(3):329-340.
- [22] Wang J K, Solomon D, Lehmann J, Zhang X, Amelung W. Soil organic sulfur forms and dynamics in the Great Plains of North America as influenced by long-term cultivation and climate[J]. Geoderma,2006,133(3):160-172.
- [23] 张蕴薇. 放牧强度对土壤物理性质的影响[J]. 草地学报,2002,10(1):73-75.
- [24] 王玉辉,何兴元,周广胜. 放牧强度对羊草草原的影响[J]. 草地学报,2002,10(1):45-49.
- [25] Reeder J D, Schuman G E, Morgan J A, LeCain D R. Response of organic and inorganic carbon and nitrogen to long-term grazing of the short grass steppe[J]. Environment Management,2004,33(4):485-495.
- [26] Liebig M A, Gross J R., Kronberg S L, Hanson J D, Frank A B, Phillips R L. Soil response to long-term grazing in the northern Great Plains of North America[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment,2006,115(1):270-276.
- [27] 石峰,李玉娥,高清竹,万运帆,秦晓波,金琳,刘运通,武艳娟. 管理措施对我国草地土壤有机碳的影响[J]. 草业科学,2009,26(3):9-15.
- [28] 卫智军,乌日图,达布希拉图,苏吉安,杨尚明. 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,2005,5(2):6-10.
- [29] Li C, Hao X, Zhao M, Han G, Willms W D. Influence of historic sheep grazing on vegetation and soil properties of a desert steppe in Inner Mongolia[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment,2008,128(1):109-116.
- [30] GAO Y H, Luo P, Wu N, Chen H, Wang G X. Grazing intensity impacts on carbon sequestration in an alpine meadow on the eastern Tibetan Plateau[J]. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences,2007,3(6):642-647.
- [31] Han G D, Hao X Y, Zhao M, Wang M, Ellert B H, Willms W, Wang M. Effect of grazing intensity on carbon and nitrogen in soil and vegetation in a meadow steppe in Inner Mongolia[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment,2008,125(1):21-32.
- [32] Bai Y, Han X, Wu J, Chen Z, Li L. Ecosystem stability and compensatory effects in the Inner Mongolia grassland[J]. Nature,2004,431(7005):181-184.
- [33] McCuley R L, Burke I C, Nelson J A, Lauenroth W K, Knapp A K, Kelly E P. Regional patterns in carbon cycling across the Great Plains of North America[J]. Ecosystems,2005,8(1):106-121.