

农垦及放牧对温带半干旱草原土壤碳素的影响

耿元波, 罗光强, 袁国富, 李明峰, 孟维奇, 董云社

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要:通过对内蒙古锡林河流域贝加尔针茅草原、羊草草原和大针茅草原 3 种草原群落不同层位土壤样品碳素含量的测定和统计分析,探讨了农垦及放牧对该区主要草原土壤类型有机碳及无机碳的影响。结果表明:(1)贝加尔针茅草原开垦为农田 30 a 后,与未开垦的打草场相比,农田 1 m 土层内的土壤有机碳含量明显下降,且农田 0~10 cm 和 10~20 cm 土壤层有机碳含量趋于一致。(2)放牧使羊草草原和大针茅草原表层的土壤有机碳含量下降,较深层的土壤有机碳含量升高。放牧强度较大、较干旱的大针茅草原 0~20 cm 下降,30 cm 以下升高,放牧强度较小较湿润的羊草草原 0~10 cm 下降,10 cm 以下升高。(3)贝加尔针茅草原开垦为农田使 1 m 土层内的土壤无机碳含量升高,钙积化位置变浅。(4)放牧使羊草草原和大针茅草原 1 m 土层内的土壤无机碳含量下降,钙积化位置加深,放牧强度较大、较干旱的大针茅草原表现尤为明显。(5)草地开垦为农田,在使土壤有机碳的含量降低的同时,也增加了土壤无机碳的含量;放牧在使草原表层土壤有机碳含量减少、深层有机碳含量增加的同时,也减少了无机碳的含量。

关键词:半干旱草原;土壤有机碳;土壤无机碳;农垦;放牧

中图分类号:X171.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2008)06-2518-06

Effects of Cultivating and Grazing on Soil Organic Carbon and Soil Inorganic Carbon in Temperate Semiarid Grassland

GENG Yuan-bo, LUO Guang-qiang, YUAN Guo-fu, LI Ming-feng, MENG Wei-qi, DONG Yun-she

(Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: The contents of soil organic carbon(SOC)and soil inorganic carbon(SIC)in different soil layers within 1 m depths in three different kinds of steppes (*Stipa baicalensis* steppe, *Leymus chinensis* steppe and *Stipa grandis* steppe), in the Xilin River Basin of Inner Mongolia, China, were determined in order to investigating effects of cultivating and grazing on the soil carbon in temperate grassland. The results showed that: (1)The content of SOC in the soil layers within 1 m depth obviously decreased in croplands which had been cultivated from the *Stipa baicalensis* steppe for 30 years compared with those of the *Stipa baicalensis* steppe. The content of SOC tended to accord between 0~10 cm and 10~20 cm depth soil layers in croplands after 30 years of cultivating. (2)Grazing resulted in the decrease of the content of SOC in shallow soil layers and the increase of the content of SOC in deep soil layers in the *Leymus chinensis* steppe and the *Stipa grandis* steppe. The content of SOC decreased in 0~20 cm depth soil layers and increased in 30~100 cm depth soil layers in the *Stipa grandis* steppe. The content of SOC decreased in 0~10 cm depth soil layer and increased in 10~100 cm depth soil layers in the *Leymus chinensis* steppe. The reason might be that grazing intensity and soil moisture of the *Stipa grandis* steppe was heavier and lower than the *Leymus chinensis* steppe. (3)The content of SIC in the 1 m depth soil layer was higher in cropland reclaimed from the *Stipa baicalensis* steppe than in the *Stipa baicalensis* steppe, and the place of calcic horizon was shallower in the cropland than in the *Stipa baicalensis* steppe.(4)As a result of grazing, the contents of SIC in the soil layers within 1 m depth declined in the *Leymus chinensis* steppe and the *Stipa grandis* steppe, and the contents had more intense decrease in the *Stipa grandis* steppe than in the *Leymus chinensis* steppe because the *Stipa grandis* steppe had a stronger grazing intensity, a lower primary productivity, a lower plant species richness and a lower cover than the *Leymus chinensis* steppe. In addition, the place of calcic horizon went down in the two steppes.(5)In general, the soils of croplands from reclaimed grasslands had lower SOC content and higher SIC content than the soil of uncultured grassland; Grazing resulted in SOC content decreasing in upper soil layer and increasing in lower soil layer in grasslands. At the same time, grazing also resulted in SIC content decreasing in whole soil layer in grasslands.

Keywords: semiarid grassland; soil organic carbon; soil inorganic carbon; cultivating; grazing

收稿日期:2008-01-25

基金项目:国家自然科学基金项目(40673067);中国科学院地理科学与资源研究所三期创新项目;国家 973 项目(2002CB412503);国家“十一五”支撑计划(2006BAJ10B04)

作者简介:耿元波(1969—),男,新疆人,博士,副研,主要研究方向为草地生态系统碳循环。E-mail:gyb0741@sina.com

草原中碳素主要贮存在地下土壤库中,碳循环的主要过程是在土壤中进行的。全球草地的碳贮量约为 761 PgC,其中 89.4%贮存在草地土壤中^[1],草地土壤有机碳和生物量碳贮量分别占世界碳贮量的 15.5%和 6%^[2-3],我国草地生态系统的碳贮量约为 44.09 PgC^[4]。全球草地面积约为 3.2×10^9 hm²,约占陆地总面积的 25%^[5],在区域气候变化及陆地碳循环中扮演着重要的角色。

开垦和放牧是人类对草原的主要利用方式,也是对草原土壤碳贮量产生影响的主要方式,碳素的含量变化是这种影响的直接结果。就影响强度而言,草地开垦是影响草原土壤碳贮量最为剧烈的人类活动因素。草地开垦为农田通常会导致土壤中有机碳的大量释放。开垦使土壤中的有机质暴露于空气中,改善了土壤温度和湿度条件,从而极大地促进了土壤呼吸作用,加速了土壤有机质的分解^[6]。就影响规模而言,过度放牧是人类施于草原生态系统最强大的影响因素,在全世界草地退化总面积中,约有 35%是由于过度放牧造成的,要远远超过草地开垦^[7]。过度放牧可使草地初级生产固定碳素的能力降低,家畜采食也减少了碳素由植物凋落物向土壤中的输入。有研究表明,过度放牧可促进草地土壤的呼吸作用,从而加速了碳素从土壤向大气中的释放^[8]。我国草地受人类活动(如农垦及放牧等)影响日益严重,草地退化和沙化面积逐渐增大,研究草地土壤碳素受人类活动的影响十分必要。本文拟就农垦和放牧对我国半干旱草原地区主要草原类型的土壤碳素的影响作一探讨。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究区位于内蒙古锡林郭勒盟锡林河流域(43°26′~44°39′N,115°32′~117°12′E),属锡林浩特市白音锡勒牧场管辖,地处国际地圈-生物圈计划(IGBP)陆地样带——中国东北陆地生态系统样带(NECT, Northeast China Transect)内。地势东南高,西北低,东西部相对高差达 600 m。属中温带半干旱大陆性季风气候,夏季温和,冬季严寒而漫长,年降水 250~450 mm,由东南向西北递减,年均气温-1.4~2℃,由东南向西北递增^[9]。锡林河由东南流向西北,流域总面积约为 10 786 km²,草原植被约占流域面积的 89.7%,该流域的草原在内蒙古高原有很强的代表性^[10]。锡林河流域的草原在 20 世纪 50 年代以前基本处于原始状态,人烟稀少,1950 年以后陆续被利用,农垦面积在

1976 年曾高达 1.40 万余 hm²,1981 年以后有所减少,但也有 1.06 万余 hm²^[10]。20 世纪 80 年代以后,随着人口压力的增大和经济体制的改革,牧压也随之迅速增大。目前,放牧草场已处于过牧状态,很多牧场已经采取围栏封育和限制牲畜头数的措施恢复草场资源。流域内主要的草原类型为典型草原,是当地牧场的主体,另有少量草甸草原分布于流域的上游,主要被用作打草场为牲畜储备冬季饲料。典型草原主要有羊草草原、大针茅草原、克氏针茅草原和羊茅草原等 5 个群落。草甸草原主要有贝加尔针茅草原和线叶菊草原 2 个群落,分布于东南部的上游地区,土地较为肥沃,六七十年代有些被开垦为农田。本文以贝加尔针茅草原、羊草草原和大针茅草原 3 个草原群落作为主要研究对象,对应的土壤类型为黑钙土、暗栗钙土和栗钙土,黑钙土面积不很大,但代表全流域最湿润的类型,暗栗钙土和栗钙土分布最广,面积约 7 216 km²,约占流域总面积的 66.9%^[9]。在研究区选择具典型性及代表性地点进行采样,羊草草原和大针茅草原取样地点分别为中国科学院内蒙古草原生态系统定位研究站 1979 年建立的羊草草原实验样地和大针茅草原实验样地以及两样地外的自由放牧场,分布于锡林河流域的中上游地区;贝加尔针茅草原取样点位于本流域东南部海拔最高的嘎松山的北面,草地主要用作打草场,每年打草一次;农田取样点位于贝加尔针茅草原取样点的西侧,农田是 1972 年开垦的贝加尔针茅草原草场,隔年种植春小麦。各采样点的生境特征差异较大,由贝加尔针茅草原到大针茅草原,海拔、降水、物种数、生产力依次降低,气温依次升高(表 1)。

1.2 样品采集及分析

在各采样地点按 S 形法在每个采样地点布设样点 10 个,控制面积约 100 m×100 m,每点用 4 cm 直径土钻打 5 个 100 cm 深的钻孔,每个钻孔按 0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm、30~50 cm、50~70 cm 和 70~100 cm 6 个层次取土壤混合样约 1 kg,挑去草根和石块,风干分装。挖取土壤剖面,用环刀法测定土壤 0~20 cm 容重,取 0~20 cm 剖面土样 1 kg,挑去草根和石块,风干分装,用以测定表层土壤的有机碳、pH 和机械组成等理化性质。风干后的土壤样品,磨碎过 20 目,除去细小植物碎屑,4 分法取适量,用玛瑙碾钵磨至 100 目待测。有机碳的含量用外加热-重铬酸钾容量法测定,内插土壤标样(GSS-1)监控分析质量,测定值相对标准偏差(RSD,又称变异系数)2.18%,均值置信区间(18.1±0.5)g·kg⁻¹[推荐值置信区间(18.0±

表 1 锡林河流域 3 种草原群落的生境特征

Table 1 The abiotic characteristics of three grassland communities in Xinlin River Basin

草原群落	贝加尔针茅草原	羊草草原	大针茅草原
海拔/m	1 343	1 265	1 156
土壤	黑钙土	暗栗钙土	栗钙土
年降水量/mm	369.2	350.8	335.0
年平均气温/℃	-0.4	0.3	0.9
物种数	58	35	27
地上部初级生产力/g·m ⁻²	225.68	205.38	125.29
草原利用方式	打草场	围栏样地	围栏样地

注:据白永飞等^[11]。

1.3)g·kg⁻¹],置信度 95%,分析的精密度及准确度均为满意。碳酸盐碳用气量法测定,先测出 CO₂ 含量,再换算为碳酸盐碳的含量,内插土壤标样(GSS-8),测定值相对标准偏差 3.58%,均值置信区间(59.2±2.1)g·kg⁻¹ [推荐值置信区间(59.7±2.0)g·kg⁻¹],置信度 95%,分析的精密度及准确度均为满意。

1.3 数据处理

每个采样地点的 10 个重复样品分析数据取平均值,计算标准偏差,如有特异值($\bar{x}-3S\geq x\geq \bar{x}+3S$)剔除后再计算平均值及标准偏差。应用 Microsoft Excel 软件“数据分析”模块进行成对样本 *t* 检验及成组样本 *t* 检验。

2 结果与分析

2.1 农垦和放牧对锡林河流域草原土壤有机碳的影响

农垦和放牧是人类对草原进行利用的主要方式,都会影响到草原植被和土壤的性状。适度的放牧有利于草原初级生产力的增加,过度放牧则会引起植被盖度和初级生产力的严重下降,进而造成土壤有机碳的损失^[12-16]。对研究区开垦、打草、放牧和禁牧 4 种草原利用方式下表层土壤(0~20 cm)基本理化性质的研究表明(表 2),开垦降低了土壤表层的容重和有机碳含量,增加了土壤 pH,改变了土壤的机械组成,使粉粒

的含量减少;放牧增加了土壤表层的容重,降低了有机碳含量,改变了土壤的机械组成,使砂粒的含量增加,粉粒的含量减少。而且,有机碳含量与粉粒(0.05~0.002 mm)含量存在正相关关系,当土壤粉粒含量减少时,有机碳含量也随之减少,相关系数 0.967 7。造成这些结果的原因主要在于:(1) 草地开垦种植小麦 30 a 已经改变了土壤和植被的结构,破坏了原有的草原植被,而小麦的根系不如草原植被的发达,再加上每年地表秸秆的移走,使得土壤有机物质的回归减少。每年的土壤翻耕也使得土壤通气性增加,容重降低,土壤温度和湿度条件得到改善,极大地促进了土壤呼吸作用,加速了土壤有机质的分解^[17],从而进一步降低了土壤有机碳的含量。(2)自由放牧场的放牧强度较大,与禁牧近 30 a 的研究实验区相比,植被稀疏,盖度较小,凋落物层几乎没有,而且由于放牧家畜的践踏,表层土壤的结持能力和抗风蚀能力减弱,沙化程度有所增加,这些一方面使地上部的有机物质回归土壤的量减少,另一方面加速了表层土壤有机质的分解,进而降低了土壤表层的有机碳含量。马秀枝等^[18]对该区 0~20 cm 表层土壤碳组分受放牧影响的研究也表明了放牧能够导致表层土壤碳含量的降低。

为进一步研究农垦和放牧对土壤层有机碳的影响,加深加密了土壤层的采样,土壤层采至 1 m,1 m 内分为 6 层(表 3),采样深度与国际上通行的土壤碳贮量计算深度一致。成对样本 *t* 检验结果表明,在 1 m 土层内,贝加尔针茅草原打草场和开垦的农田土壤有机碳差异较显著($P=0.08<0.1$, P 为双尾 *t* 检验的显著性概率,下同),羊草草原围栏样地和自由放牧地土壤有机碳差异较显著($P=0.07<0.1$),大针茅草原围栏样地和自由放牧地差异不明显($P=0.66>0.1$)。对大针茅草原各层土壤在围封禁牧和自由放牧条件下的有机碳含量做成组样本 *t* 检验,结果表明,0~10 cm 和 10~20 cm 土壤有机碳含量差异极显著 ($P_{0-10}=0.001<0.01$, $P_{10-20}=$

表 2 锡林河流域三种草原群落的土壤(0~20 cm)基本理化性质

Table 2 The physical and chemical properties of the soils of three grassland communities in Xilin River Basin

草原类型	土壤类型	有机碳/g·kg ⁻¹	pH(CaCl ₂ 浸提,1:1)	容重/g·cm ⁻³	机械组成(粒径:mm)/ % [美国制]			
					2~0.05	0.05~0.002	<0.002	土壤质地
贝加尔针茅草原(打草)	黑钙土	23.8	6.37	1.04	47.1	37.7	15.2	壤质
贝加尔针茅草原(农田)	黑钙土	20.7	6.46	0.99	47	34.7	18.3	壤质
羊草草原(禁牧)	暗栗钙土	18.5	6.92	1.15	62.3	23.6	14.1	砂壤质
羊草草原(牧场)	暗栗钙土	17.4	7.92	1.22	64	21.2	14.8	砂壤质
大针茅草原(禁牧)	典型栗钙土	16.0	7.64	1.26	67.4	20.0	12.6	砂壤质
大针茅草原(牧场)	典型栗钙土	15.6	7.63	1.36	72	15.9	12.1	砂壤质

0.006<0.01), 20~30 cm 差异不显著 ($P=0.98>0.1$), 30~50 cm, 50~70 cm 和 70~100 cm 差异显著($P_{30-50}=0.049<0.05$, $P_{30-70}=0.05$, $P_{70-100}=0.03<0.05$), 也就是说虽然 1 m 土层内禁牧与放牧所造成有机碳差异不大, 但表层和底层的差异却十分明显, 且方向是相反的, 表层的减少(放牧<禁牧)与底层的增加(放牧>禁牧)相互抵消, 达到最终 1 m 土层差异不明显的程度, 统计结果掩盖了两者的细分差异。草原开垦为农田, 表层(0~10 cm, 10~20 cm)土壤有机碳明显降低, 且 0~20 cm 土层有机碳含量均一化, 这跟农垦的常年翻耕有关; 20~30 cm 是个过渡层, 打草场土壤和农田土壤两者有机碳含量接近, 再往下农田土壤有机碳的含量都低于打草场的, 原因如前所述。羊草草原和大针茅草原经近 30 a 的自由放牧后, 尤其是近 10 a 来的强度放牧以来, 表层有机碳下降明显, 尤以大针茅草原为甚, 已经影响到 10~20 cm 土层, 这跟大针茅草原研究区附近牧户较多、牧压较羊草草原为重有关。放牧对较深土壤层有机碳的影响表现为羊草草原自 10 cm 以下土壤有机碳含量放牧高于禁牧, 大针茅草原自 30 cm 以下放牧高于禁牧, 原因估计在于根系生长的补偿机制。在自由放牧场, 地表覆盖度小, 凋落物层几乎没有, 水分易蒸发散失, 地上部植物体不断被采食, 为了维持地上部植物体的生长, 地下部根系向下补偿性增生, 相应脱落于土壤较深处的有机物质也增加, 且较深处的土壤有机碳受地表凋落物回归影响较小, 主要是根系凋落物及分泌物等的产物, 这就造成放牧地较深处的土壤有机碳高于禁牧地的结果。农垦对土壤有机碳的影响表层和深层一致, 都使得土壤有机碳降低。

2.2 农垦和放牧对锡林河流域草原土壤无机碳的影响

土壤中无机碳以碳酸盐碳为主, 在全球变化研究中因其周转时间长而不受重视, 但是部分碳酸盐碳源

自有机碳的分解, 从而截留部分二氧化碳做为碳汇的一部分, 转移的较快。潘根兴对此进行了较为详细的阐述^[19], 雷文进^[20]也曾指出过源自土壤有机碳的次生碳酸盐问题, 从这点上说探讨农垦和放牧对草原土壤无机碳的影响有其一定的现实意义。

由于土壤的淋溶作用, 研究区草原不同利用类型的表层土壤碳酸盐碳的含量很低, 6 个采样地点 0~30 cm 的土壤碳酸盐碳的含量 4 个都在 $n\times10^{-2} \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的量级上, 只有被开垦的农田和较干旱的大针茅草原样地稍高(表 4)。从表 4 可以看出, 从土壤表层到底层, 碳酸盐碳含量都有一个急剧跃升的层位, 该层位与钙积化现象的位置相对应, 降水量大、植被丰富度大, 初级生产力高及年均温低的土壤该层位的深度就大一些, 在此层位之上的土壤碳酸盐碳含量都很低。该层位贝加尔针茅草原黑钙土打草场的在 70~100 cm 处, 开垦为农田的在 30~50 cm 处, 升高约 40 cm; 羊草草原暗栗钙土围封样地的在 30~50 cm 处, 自由放牧的在 50~70 cm 处, 降低约 20 cm; 大针茅草原栗钙土围封样地的在 10~20 cm 处, 自由放牧的在 30~50 cm 处, 降低约 20 cm。总体表现为开垦使该层位的深度减小, 放牧使该层位的深度增加。原因在于开垦破坏了原有的植被和土壤结构, 加速了有机质的分解, 使得有机碳含量降低(表 3), 同时导致次生碳酸盐碳(无机碳)含量的增加。加之开垦前贝加尔针茅草原物种丰富度及初级生产力较高, 开垦后产生的次生碳酸盐碳也较多, 碳酸盐碳淋溶聚集的层位有所提升, 升高到 30~50 cm 的层位上。可以预测, 保持现有条件, 此深度还会逐渐下降。放牧使该层位的深度增加的原因在于常年自由放牧减小了地表植被覆盖度, 增强了土壤的淋溶作用, 使土壤无机碳进一步向下聚集, 钙积化的位置也就随之降低。

对研究区不同草原利用类型的土壤碳酸盐碳做

表 3 不同利用状态草原群落有机碳含量的比较

Table 3 The content of SOC in the grasslands of different utilizing patterns

土壤深度/cm	贝加尔针茅草原/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$		羊草草原/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$		大针茅草原/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	
	打草	农田	围封样地	放牧	围封样地	放牧
0~10	29.5±2.9	18.2±0.8	21.5±2.1	20.3±2.5	17.8±1.3	14.1±1.3
10~20	21.9±2.1	18.2±0.6	14.5±0.8	15.1±2.6	15.7±1.7	11.9±2.0
20~30	17.2±1.9	17.4±2.7	10.2±0.8	11.6±1.2	11.0±1.9	11.0±1.7
30~50	13.2±1.2	11.2±1.5	7.3±1.9	9.6±0.4	7.3±0.9	8.8±1.2
50~70	8.4±1.1	7.4±1.5	6.2±1.9	8.4±0.6	4.7±0.8	6.5±1.2
70~100	6.8±1.7	3.2±0.7	3.9±3.0	6.8±0.9	3.1±0.1	4.3±0.8

注: ±号后为标准偏差, 样本数 $n=10$ 。

表 4 不同利用状态草原群落碳酸盐碳含量的比较

Table 4 The content of SIC in the grasslands of different utilizing patterns

土壤深度/cm	贝加尔针茅草原/g·kg ⁻¹		羊草草原/g·kg ⁻¹		大针茅草原/g·kg ⁻¹	
	打草	农田	围封样地	放牧	围封样地	放牧
0~10	0.058±0.033	0.421±0.286	0.047±0.014	0.027±0.010	2.477±0.578	0.027±0.020
10~20	0.057±0.015	0.340±0.253	0.035±0.011	0.034±0.015	9.443±2.122	0.040±0.023
20~30	0.029±0.012	0.522±0.206	0.043±0.003	0.045±0.032	10.965±2.002	0.040±0.019
30~50	0.032±0.015	3.957±1.550	5.017±1.194	0.059±0.033	9.367±1.278	6.698±3.672
50~70	0.036±0.020	6.506±0.580	6.277±1.249	0.542±0.244	9.045±1.362	7.822±2.355
70~100	4.659±2.714	9.558±1.048	4.449±0.847	4.158±1.886	9.327±1.952	6.200±2.758

注:±号后为标准偏差,样本数 $n=10$ 。

成对样本 t 检验,结果表明,贝加尔针茅草原打草场和农垦地土壤碳酸盐碳差异显著($P=0.06<0.1$),羊草草原围封样地和自由放牧地差异不很大($P=0.16>0.1$),大针茅草原围封样地和自由放牧地差异显著($P=0.03<0.05$)。对羊草草原围封样地和自由放牧地各层做成组样本 t 检验,结果表明,0~10 cm 土壤碳酸盐碳含量差异显著($P=0.03<0.05$),30~50 cm 和50~70 cm 差异极显著($P_{30-50}=0.000\ 4<0.01,P_{50-70}=0.000\ 6<0.01$),10~20 cm,20~30 cm 和 70~100 cm 差异不显著($P_{10-20}=0.95>0.1,P_{20-30}=0.91>0.1,P_{70-100}=0.81>0.1$)。这表明草原开垦为农田土壤碳酸盐碳含量在 0~100 cm 土壤层中产生明显差异,农田中的要远高于草原中的;草原在常年自由放牧后,牧压重,物种丰富度和初级生产力低的 0~100 cm 草原土壤层与围封草原土壤层差异明显,如大针茅草原自由放牧地土壤中的碳酸盐碳要远低于围封样地。羊草草原围封样地和自由放牧地虽然在 0~100 cm 整个土壤层中碳酸盐碳差异不很明显($P=0.16>0.1$),但表层(0~10 cm)和钙积化层(30~70 cm)仍然差异显著,放牧地要明显低于围封样地,从整体看依然有放牧地低于围封样地的趋势。农田碳酸盐碳升高的原因如前所述主要是由于有机质丰富的黑钙土在开垦后次生碳酸盐碳的增加。强度放牧土壤中碳酸盐碳的减少则与以下原因有关:(1)地表植被覆盖度减小,增强了土壤的淋溶作用;(2)地表有机物质供应减少,形成的次生碳酸盐碳(无机碳)也相应减少,导致总碳酸盐碳的降低,这从羊草草原和大针茅草原表层土壤碳酸盐碳放牧的要低于围封的可以明显看出。

总之,草地开垦为农田,在使土壤有机碳的含量降低的同时,也增加了土壤碳酸盐碳的含量,也就是说有机质的分解使有机碳一部分转化为 CO₂ 排放到土壤植被系统外,一部分转化为无机碳保留在系统

内;放牧在使表层有机碳含量减少、深层有机碳含量增加的同时,也减少了无机碳的含量,也就是说放牧在使表层土壤有机质加速分解的同时,增加了深层土壤有机碳固定,也使无机碳进一步向下部运移和聚集。

3 结论

综上所述,可以得到以下主要的结论:

(1)贝加尔针茅草原开垦为农田使 0~100 cm 土壤层有机碳含量下降,0~20 cm 土壤层有机碳含量趋于一致。

(2)放牧使羊草草原和大针茅草原表层土壤有机碳含量下降,较深层土壤有机碳升高,放牧强度较大较干旱的大针茅草原 0~20 cm 下降,30 cm 以下升高,放牧强度较小较湿润的羊草草原 0~10 cm 下降,10 cm 以下升高。

(3)贝加尔针茅草原开垦为农田使 0~100 cm 土壤层无机碳含量升高,钙积化层变浅。

(4)放牧使羊草草原和大针茅草原 0~100 cm 土壤无机碳含量下降,钙积化层加深,放牧强度较大较干旱的大针茅草原表现尤为明显。

(5)草地开垦为农田,在使土壤有机碳的含量降低的同时,也增加了土壤无机碳的含量;放牧在使表层有机碳含量减少、深层有机碳含量增加的同时,也减少了无机碳的含量。

参考文献:

[1] Atjay G L, Ketner P, Duvigneaud P. Terrestrial primary production and phytomass[C]//Bolin B, Degens E T, Kempe S, et al, eds. The Global Carbon Cycle. Chichester: John Wiley & Sons, 1979. 129~181.
[2] Whittaker R H, Likens G E. The Biosphere and Man[C]//In: Lieth H and Whittaker R H, ds. Primary Productivity of the Biosphere. New York: Springer-Verlag, 1975. 305~308.

- [3] Whittaker R H, Likens G E. Carbon in the biota[C]//Pecan E V, Woodwell G M, eds. Carbon and the Biosphere. Springfield, Virginia: National Technical Information Service(CONF-720510), 1973.
- [4] Ni J. Carbon storage in grasslands of China[J]. *Journal of Arid Environments*, 2002, 50(2): 205–218.
- [5] Graetz D. Grassland[C]//Meyer W B, Turner B L, eds. Changes in land–use and land cover: A global perspective. London: Cambridge University Press, 1994. 125–145.
- [6] Anderson D W, Coleman D C. The dynamics of organic matter in grassland soils[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1985, 40: 211–216.
- [7] The World Resources Institute. World Resources 1994–1995[M]. New York/Oxford: Oxford University Press, 1994. 137.
- [8] Risser D G, Birney E C, Blocker H D, et al. The true prairie ecosystem[M]. Stroudsburg/Pennsylvania: Hutchinson Ross Publish Company, 1981.
- [9] 汪久文, 蔡蔚祺. 锡林河流域土壤的发生类型及其性质的研究[C]//中科院内蒙古草原生态系统定位站编. 草原生态系统研究(第三集). 北京: 科学出版社, 1988. 23–83.
WANG Jiu-wen, CAI Wei-qi. Studies on genesis, types and characteristics of the soils of the Xilin River Basin[C]//Inner Mongolia Grassland Ecosystem Research Station, ed. Research on grassland ecosystem, No. 3. Beijing: Science Press, 1988. 23–83.
- [10] 李 博, 雍世鹏, 李忠厚. 锡林河流域植被及其利用[C]//中科院内蒙古草原生态系统定位站编. 草原生态系统研究(第三集). 北京: 科学出版社, 1988. 84–183.
LI Bo, YONG Shi-peng, LI Zhong-hou. The vegetation of the Xilin River Basin and Its Utilization[C]//Inner Mongolia Grassland Ecosystem Research Station, ed. Research on grassland ecosystem, No. 3. Beijing: Science Press, 1988. 84–183.
- [11] 白永飞, 李凌浩, 王其兵, 等. 锡林河流域草原群落植物多样性和初级生产力沿水热梯度变化的样带研究[J]. 植物生态学报, 2000, 24(6): 667–673.
BAI Yong-fei, LI Ling-hao, WANG Qi-bing, et al. Changes in plant species diversity and productivity along gradients of precipitation and elevation in the Xilin River Basin, Inner Mongolia[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(6): 667–673.
- [12] Tanaka D L, Frank A B, 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: 470–474.
- [13] Manley J T, Scheman G E, Reeder J D, et al. Range land soil carbon and nitrogen responses to grazing[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1995, 50: 294–298.
- [14] Stuedemann J A, Franzluebbbers A J, Schomberg H H, et al. Soil organic C and N pools under long-term pasture management in the Southern Piedmont USA[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2000, 32: 469–478.
- [15] Abril A, Bucher E H. Overgrazing and soil carbon dynamics in the Western Chaco of Argentina[J]. *Applied Soil Ecology*, 2001, 16: 243–249.
- [16] Wienhold B J, Hendrickson J R, Karn J F. Pasture management influences on soil properties in the Northern Great Plains[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2001, 56: 27–34.
- [17] Anderson D W, Coleman D C. The dynamics of organic matter in grassland soils[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1985, 40: 211–216.
- [18] 马秀枝, 王艳芬, 汪诗平, 等. 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.
MA Xiu-zhi, WANG Yan-fen, WANG Shi-ping, et al. Impacts of grazing on soil carbon fractions in the grasslands of Xilin River Basin, Inner Mongolia[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(4): 569–576.
- [19] 潘根兴. 中国干旱性地区土壤发生性碳酸盐及其在陆地系统碳转移上的意义[J]. 南京农业大学学报, 1999, 22(1): 51–57.
PAN Gen-xing. Pedogenic carbonates in aridic soils of China and the significance in terrestrial carbon transfer[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 1999, 22(1): 51–57.
- [20] 雷文进, 顾国安. 我国干旱土的发生和主要诊断层划分的理论基础[C]//《中国土壤系统分类研究丛书》编委会. 中国土壤系统分类探讨. 北京: 科学出版社, 1992. 73–98.
LEI Wen-jin, GU Guo-an. Genesis of aridisols in China and theoretical basis for the designation of their main diagnostic horizons[C]//A Committee on Research in Chinese Soil Taxonomic Classification, Series, ed. Approach to Chinese Soil Taxonomic Classification. Beijing: Science Press, 1992. 73–98.