

草地退化对青海湖流域小嵩草草甸土壤碳密度的影响

曹生奎^{1,2,3}, 陈克龙^{1,2}, 曹广超^{1,2}, 朱锦福¹, 芦宝良⁴, 王记明¹

(1. 青海师范大学 生命与地理科学学院, 西宁 810008; 2. 青海师范大学 青海省自然地理与环境过程重点实验室, 西宁 810008; 3. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000; 4. 中国科学院 青海盐湖研究所, 西宁 810008)

摘 要:以青海湖流域小嵩草草甸土壤为研究对象, 对不同退化程度下小嵩草草甸土壤容重和有机碳含量进行了测定, 并在此基础上确定了土壤有机碳密度。结果表明: 随着小嵩草草甸退化程度的加剧, 其土壤容重在剖面上表现为逐渐增大趋势, 土壤有机碳含量从表面逐渐减小, 特别是 0—10 cm 表层有机碳含量减少尤为明显, 未退化的表层有机碳平均含量是严重退化的 6.5 倍。土壤有机碳密度变化与有机碳含量在 4 种不同退化植被土壤中表现一致; 4 种不同退化程度小嵩草草甸 0—100 cm 土壤有机碳密度分别为 (10.74 ± 3.03) , (12.41 ± 4.15) , (8.04 ± 6.24) kgC/m^2 和 (4.56 ± 0.70) kg/m^2 , 即轻度退化 > 未退化 > 中度退化 > 重度退化, 说明随退化程度的加剧, 土壤有机碳密度呈现显著下降趋势, 但轻度退化有助于碳积累。

关键词: 土壤有机碳密度; 小嵩草草甸; 草地退化; 青海湖流域

中图分类号: S812.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2014)01-0071-05

Influence of Grassland Degradation on the Soil Carbon Density of the *Kobresia pygmaea* Meadow in the Qinghai Lake Basin

CAO Sheng-kui^{1,2,3}, CHEN Ke-long^{1,2}, CAO Guang-chao^{1,2}, ZHU Jin-fu¹, LU Bao-liang⁴, WANG Ji-ming¹

(1. College of Life and Geography Science, Qinghai Normal University, Xi'ning 810008, China;

2. Qinghai Province Key Laboratory of Physical Geography and Environmental Process, Qinghai Normal University,

Xining 810008, China; 3. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 4. Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xi'ning 810008, China)

Abstract: The soil of *Kobresia pygmaea* meadow in the Qinghai Lake Basin was selected as the studying object, and on the basis of measurement of soil bulk density and organic carbon content under the four different degradation degrees, the soil organic carbon density was determined. Results showed that since the *Kobresia pygmaea* meadow was gradually degraded, the soil bulk density in the profile presented gradually increasing trend, and soil organic carbon content decreased from the surface, especially soil organic carbon content in the 0—10 cm surface layer. The surface average soil organic carbon content in no degeneration meadow was 6.5 times of severe degeneration one. Variations of soil carbon density similarly behaved with the soil organic carbon concentration in the four different degrading *Kobresia pygmaea* meadows. The soil carbon densities in the 0—100 cm profile under the four different degrading *Kobresia pygmaea* meadows respectively were (10.74 ± 3.03) , (12.41 ± 4.15) , (8.04 ± 6.24) , (4.56 ± 0.70) kg/m^2 . That is in the order of slight degrading > no degradation > moderate degradation > severe degradation. This indicated that the soil organic carbon density showed a significant reduction trend along with the *Kobresia pygmaea* meadows degradation, but slight degradation was helpful to accumulate more organic carbon.

Key words: soil organic carbon density; *Kobresia pygmaea* meadow; grassland degradation; Qinghai Lake Basin

收稿日期: 2013-06-19

修回日期: 2013-07-18

资助项目: 国家自然科学基金(31260130, 41261020); 国家社科基金(10CJY015); 教育部重点项目(2012178); 中科院“西部之光”(科发人数字[2012]179号); 中国博士后面上项目(2013M542400); 青海师范大学科技创新计划项目

作者简介: 曹生奎(1979—), 男, 青海西宁人, 博士, 副教授, 主要从事全球变化生态学及陆地生态系统碳氮循环方面的研究。E-mail: caoshengkuai@163.com

土壤是陆地生态系统最大的碳库,其碳储量问题已成为近年来全球变化与地球科学研究的前沿与热点^[1-2]。国内外已对不同类型生态系统和土地利用方式下的土壤碳储量进行了研究,取得了丰硕的成果^[3-5],但大多在宏观尺度上进行,中小尺度的研究较少。青藏高原被称为地球“第三极”,是全球气候变化的敏感区和启动区^[6-7],其土壤碳储量巨大,占全球总碳库的 2.4%~2.6%^[5,8]。高寒草甸约占青藏高原总面积的 35%,其 1 m 深度土壤碳储量为 7.4 PgC^[9]。因此,青藏高原高寒草甸的碳库地位十分重要。国内众多学者对青藏高原土壤有机碳库进行了不同的估算和研究^[5,8-11],但各个计算结果间的差异仍较大,碳密度估算不精确是其主要原因之一^[1,5-6]。青海湖是我国最大的内陆高原咸水湖,属于全球变化的敏感地区和生态系统典型脆弱地区,其生态环境特征及演变在很大程度上反映着青藏高原整体生态变化趋势。近几十年来,青海湖流域正面临着极其严重的生态和环境变化危机^[12-13]。为此,本文选择青海湖流域的小嵩草草甸作为研究对象,试图通过不同退化程度下小嵩草草甸土壤碳密度变化特征的研究,为高寒草甸对气候变化的响应机制研究提供科学依据。

1 实验材料与方法

1.1 研究区概况

青海湖流域位于青海省东北部,地处 36°15′—

38°20′N,97°50′—101°20′E,东西长 106 km,南北宽 63 km,周长约 360 km,海拔 3 194~5 174 m,流域面积 296 646 km²。区内是典型的高原大陆性气候,以干旱、寒冷、多风为其主要特征;多年平均气温-1.4~-1.7℃,降水量 253~515 mm,蒸发量 800~1 000 mm^[12]。主要植被类型为高寒草甸、高寒草原、高寒流石坡稀疏植被和沼泽草甸等,土壤以草甸土、黑钙土、栗钙土、沼泽土和风沙土等类型为主^[14]。

1.2 数据来源及研究方法

(1) 样方调查及样品采集。在青海湖流域选择了小嵩草草甸生长的典型生境(表 1),以群落建群种仍以小嵩草为主的依据,根据小嵩草群落盖度,将群落盖度低于 50%的定为严重退化,50%~70%的定为中度退化,70%~80%定为轻度退化,80%以上为未退化。分别选取重度退化的小嵩草群落 2 个,中度、轻度和未退化的小嵩草群落各 3 个样地。在每个样地中,设置 5 m×5 m 样地,在每个样地内随机设置 1 个 1 m×1 m 样方作为采样点,在样方内调查主要优势种植物类型及盖度。土壤样品采集用直径 5 cm 的土钻钻取,取样深度为 0—100 cm,每 10 cm 为一层取样,重复 3 次,并将相同层次土壤样品分别混合为一个样品;然后挖开剖面用环刀取原状土测定各层土壤容重。所有土壤样品带回实验室后经自然风干、除杂,研磨后过 80 目筛,移入密封袋封好,用于有机碳含量的测定。

表 1 青海湖流域不同退化小嵩草草甸土壤采样点概况

序号	经度	纬度	海拔/m	盖度/%	退化程度	优势植物
1	37°11.646′	99°13.459′	3353	80	未退化	小嵩草、豆科、冰草、针茅
2	37°09.248′	99°40.876′	3239	85	未退化	小嵩草、芨芨草、紫菀、蓝白龙胆
3	37°43.363′	98°30.325′	3730	80	未退化	小嵩草、早熟禾、火绒草
4	37°32.407′	98°41.088′	3633	65	轻度退化	小嵩草、早熟禾、针茅、棘豆
5	37°41.114′	98°38.525′	3695	70	轻度退化	小嵩草、早熟禾
6	37°33.882′	100°25.926′	3552	75	轻度退化	小嵩草、垂穗披碱草、麻花椒、紫菀
7	37°33.820′	99°31.705′	3935	55	中度退化	小嵩草、紫花针茅
8	37°22.432′	99°02.428′	3474	60	中度退化	小嵩草、穗披碱草、棘豆、冰草
9	37°14.730′	99°06.228′	3374	60	中度退化	小嵩草、穗披碱草、萎软紫菀、针茅、棘豆、早熟禾
10	37°50.540′	98°26.161′	3778	45	严重退化	小嵩草、早熟禾、冰草、金露梅
11	37°38.243′	98°38.172′	3637	45	严重退化	小嵩草、早熟禾、狼毒

(2) 有机碳含量测定。有机碳含量采用重铬酸钾容量—外加热法测定,用一定浓度的重铬酸钾—硫酸氧化土壤样品有机碳,剩余重铬酸钾的量用硫酸亚铁溶液滴定,根据重铬酸钾的消耗量计算有机碳含量。

(3) 数据计算与分析。土壤碳密度计算:土壤剖面某一土层 i 土壤有机碳密度 SOC_{di} (kg/m²) 的计算公式为^[15-16]:

$$SOC_{di}=C_iB_iD_i(1-\delta_i)/100 \quad (1)$$

式中: C_i ——第 i 层土壤有机碳质量分数(g/kg); B_i ——第 i 层土壤容重(g/cm³); D_i ——第 i 层土层厚度(cm); δ_i ——第 i 层土壤中>2 mm 的砾石体积百分比;本研究中以 1 m 深为标准。

对于单个剖面的土壤 SOC 密度,以分层厚度作为权重来计算,可减少 SOC 在不同深度上的差异所

造成的估算误差,计算公式为:

$$SOC_p=\frac{\sum_{i=1}^nSOC_{di}}{\sum_{i=1}^nH_i}$$

(2)

式中: SOC_p ——土壤剖面的 SOC 密度 (kg/m^3);
 SOC_{di} ——土壤剖面某一土层 i 的土壤有机碳密度 (kg/m^2); H_i ——第 i 层厚度(m)。

用 SPSS 16.0 单因素方差分析进行不同深度和不同退化下土壤容重、土壤有机碳含量和有机碳密度的差异显著性检验,用 LSD 进行组间多重比较。

表 2 青海湖流域不同退化程度小嵩草草甸土壤容重 g/cm³

退化程度	土层深度/cm									
	0—10	10—20	20—30	30—40	40—50	50—60	60—70	70—80	80—90	90—100
未退化	0.87±0.01	0.82±0.04	0.78±0.04	0.89±0.04	0.89±0.08	0.84±0.17	0.87±0.07	0.87±0.11	0.96±0.09	1.07±0.14
轻度退化	0.98±0.11	0.95±0.13	1.02±0.21	1.13±0.08	1.15±0.02	1.18±0.18	1.14±0.02	1.04±0.07	1.00±0.13	1.01±0.18
中度退化	0.91±0.16	1.07±0.20	0.95±0.15	0.97±0.03	0.86±0.07	0.89±0.11	0.96±0.14	0.96±0.17	1.01±0.20	1.03±0.15
重度退化	1.06±0.15	1.22±0.07	1.05±0.47	1.06±0.35	1.12±0.30	1.18±0.21	1.17±0.13	1.14±0.15	1.14±0.15	1.24±0.10

2.2 土壤有机碳含量变化

青海湖流域 4 种不同退化程度小嵩草草甸土壤有机碳含量分布特征如图 1 所示,结果显示,未退化小嵩草草甸土壤有机碳含量呈缓慢下降趋势,0—20 cm 表层土壤有机碳含量最高,80 cm 以下有机碳含量缓慢减小(图 1a)。轻度退化下 0—40 cm 有机碳含量较高,且变化不定,表现为增加、波动和下降;50 cm 以下一致表现为减小(图 1b)。中度退化下表现为先增加后波动减小的趋势(图 1c);严重退化下表现为先

2 结果与分析

2.1 土壤容重变化

4 种不同退化程度小嵩草草甸土壤容重测定结果(表 2)显示,除轻度退化外,其他 3 种小嵩草草甸的土壤容重随土层深度的增加先减小后增大,差异在于转折深度。随退化程度加剧,土壤容重在剖面上表现为逐渐增大趋势。4 种小嵩草草甸土壤容重平均值依次为(0.89±0.12),(1.06±0.14),(0.96±0.14) g/cm³ 和(1.14±0.19) g/cm³。

减小后增加,其中 20—30 cm 深度土壤有机碳含量最低(图 1d)。以上结果说明随着小嵩草生态系统的逐渐退化,土壤有机碳含量逐渐减少,特别是 0—10 cm 表层有机碳含量减少尤为明显,未退化的表层有机碳平均含量是严重退化的 6.5 倍。从未退化到严重退化,4 种小嵩草草甸土壤有机碳含量的剖面平均值分别为(12.74±7.80),(11.75±6.01),(8.83±7.51) g/kg 和(3.96±1.82) g/kg。

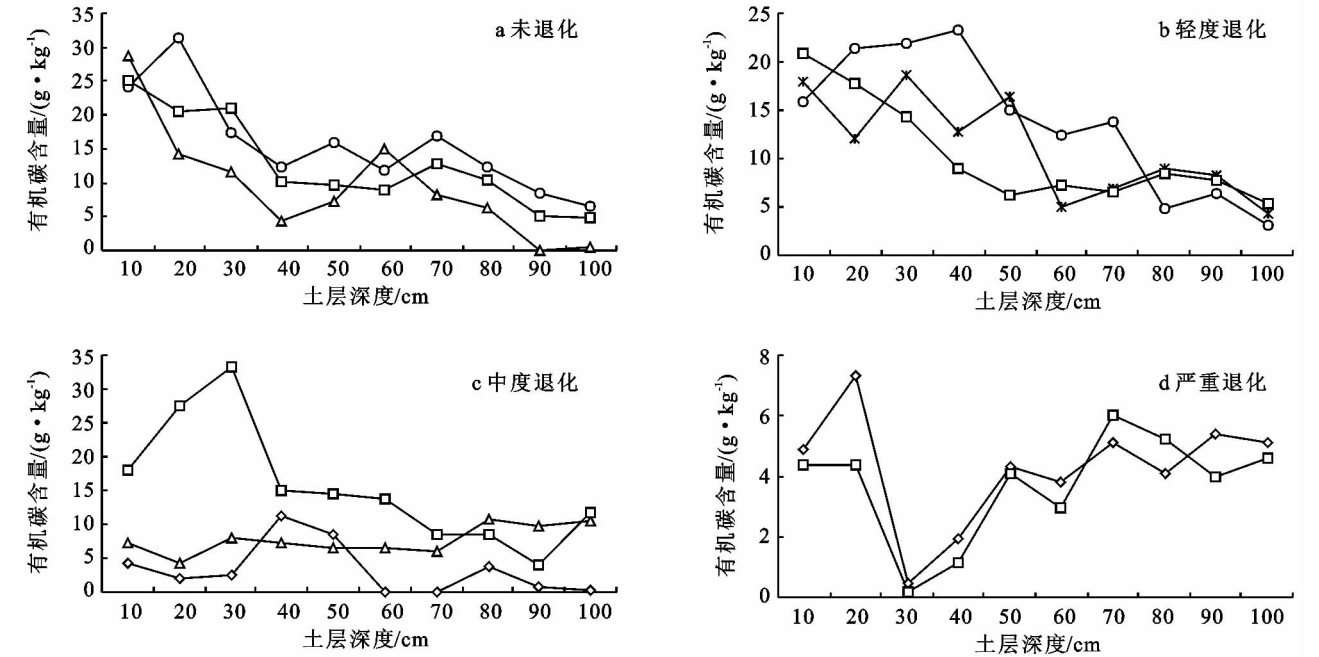


图 1 青海湖流域不同退化程度小嵩草草甸土壤剖面有机碳含量变化

2.3 土壤碳密度变化

小嵩草草甸不同退化程度土壤有机碳密度分布 如图 2 所示,结果显示,土壤有机碳密度变化与有机

碳含量在4种不同退化植被土壤中表现一致。0—10 cm表层土壤有机碳密度随着植被退化程度的加剧而减小。未退化小嵩草草甸土壤0—10 cm平均有机碳密度为 $(2.27 \pm 0.19) \text{ kg/m}^2$,轻度退化为 $(1.77 \pm 0.05) \text{ kg/m}^2$,中度退化为 $(0.86 \pm 0.59) \text{ kg/m}^2$,严

重退化仅为 $(0.49 \pm 0.03) \text{ kg/m}^2$ 。4种不同退化草甸的土壤平均碳密度分别为 (1.07 ± 0.63) , (1.24 ± 0.65) , $(0.80 \pm 0.65) \text{ kg/m}^2$ 和 $(0.46 \pm 0.22) \text{ kg/m}^2$,说明随退化程度的加剧,土壤有机碳密度呈显著下降趋势,但轻度退化有助于碳积累。

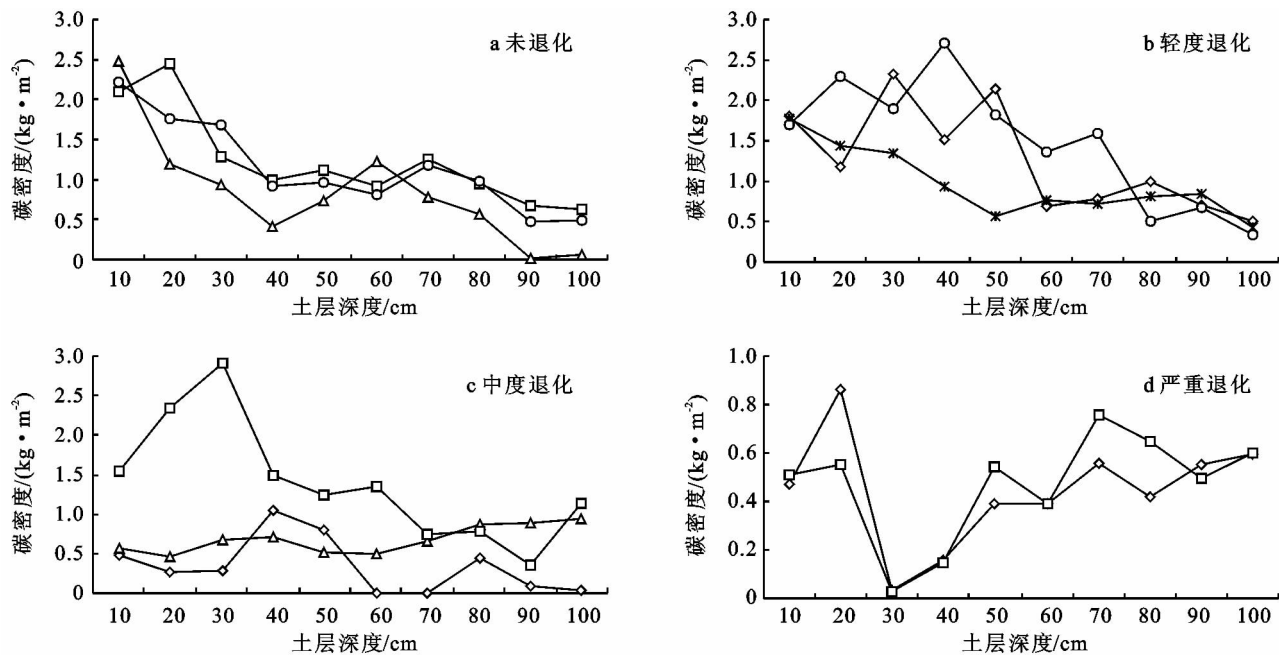


图2 青海湖流域不同退化程度小嵩草草甸土壤碳密度分布特征

3 讨论

在草地生态系统中,随着生态系统的退化,植物生物量下降,减少了输入土壤中的有机质,导致有机碳含量下降。小嵩草草甸退化也表现出同样的规律。从未退化—轻度退化—中度退化,土壤有机碳含量在土壤剖面上随土层深度增加而减小,但在严重退化土壤剖面,以30 cm为界限,30 cm以下土壤有机碳含量随土层深度增加而增加。这种变化趋势恰好证明了小嵩草草甸土壤有机碳含量主要来源于植被地下生物量。据野外实际调查,小嵩草草甸植被根系主要集中在0—30 cm范围内。严重退化下土壤30 cm以下有机碳呈增加趋势说明土壤有机碳的排放主要是从表层开始的,随着植被地上和地下生物量的减少,土壤逐渐干化,土壤孔隙度增加,氧气含量也增加,导致土壤微生物活性增强,加速了有机质分解,使其不断向大气排放碳素。杨力军等^[17]的研究也表明,高寒草甸退化减少了土壤有机质输入量,加快了分解速率,使土壤有机质大量流失。刘育红等^[18]、王长庭等^[19-20]的研究也表明随高寒草甸退化程度加剧,表层土壤有机碳含量也在明显减少,且幅度随退化程度的加剧而加强。

随着小嵩草草甸的退化,土壤结构和物理性质发

生了变化,土壤湿度减小,土壤有机质、全氮等营养物质含量减少^[20-21],土壤容重逐渐增加,这些最终都会影响土壤有机碳密度的减少。从未退化—轻度退化—中度退化—严重退化,0—100 cm土壤有机碳密度分别为 (10.74 ± 3.03) , (12.41 ± 4.15) , $(8.04 \pm 6.24) \text{ kg/m}^2$ 和 $(4.56 \pm 0.70) \text{ kg/m}^2$,未退化和轻度退化土壤剖面有机碳密度分别是严重退化的2.36和2.72倍,说明随着青海湖流域小嵩草草甸的退化,其土壤碳汇功能在逐渐减少,但轻度退化有利于土壤有机碳的积累和碳汇功能的增强,这主要是因为轻度退化可能加速了地表凋落物的分解,促进了碳素由地上向土壤的迁移;王长庭^[20]也证实了高寒草甸轻度退化利于土壤有机碳的积累。

与其他地区相比较,青海湖流域小嵩草草甸未退化土壤碳密度与全国土壤平均碳密度 (10.83 kg/m^2) ^[22]接近,但轻度退化的土壤碳密度高于全国平均水平;与整个青藏高原高寒草原和高寒草甸0—100 cm土壤碳密度[分别为 (12.72 ± 0.93) , $(5.17 \pm 0.49) \text{ kg/m}^2$]^[23]相比,本研究区轻度退化小嵩草草甸的土壤碳密度与高寒草原接近,未退化和轻度退化小嵩草草甸土壤碳密度要明显高于青藏高原高寒草甸平均值。与青藏高原原生高寒草甸0—40 cm平均碳密度 (15.77 kg/m^2) ^[16]相比,青海湖流域小嵩草草甸0—

40 cm 平均碳密度为 6.14 kg/m²,其值仅为前者的一半。可见,青海湖流域小嵩草草甸土壤有机碳地位处于全国平均和高寒草原的位置,高于高寒草甸,在区域碳储量估算中不容忽视。

4 结 论

(1) 随着青海湖流域小嵩草草甸的逐渐退化,土壤容重在剖面上表现为逐渐增大趋势。土壤有机碳含量也从表面逐渐减小,特别是 0—10 cm 表层有机碳含量减少尤为明显,未退化草甸的表层土壤有机碳平均含量是严重退化的 6.5 倍。

(2) 随着小嵩草草甸退化程度的加剧,土壤有机碳密度在逐渐减小,特别是 0—30 cm 土层的碳密度在显著减少。未退化和轻度退化草甸 0—100 cm 土壤剖面有机碳密度分别是严重退化的 2.36 和 2.72 倍,其土壤碳汇功能在逐渐减小,但轻度退化利于土壤有机碳的积累和碳汇功能增强。

参考文献:

[1] 刘留辉,邢世和,高承芳,等. 国内外土壤碳储量研究进展和存在问题及展望[J]. 土壤通报,2009,40(3):697-701.

[2] Post W M, Rmanuel W R, Zinke P J, et al. Soil carbon pools and world life zones[J]. Nature, 1982, 298: 156-159.

[3] Schlesinger W H. Evidence from chronosequence studies for a low carbon storage potential of soil[J]. Nature, 1990, 348: 232-234.

[4] Fisher M J, Rao I M, Ayarza C E, et al. Carbon storage by introduced deep rooted grasses in the South American Savannas[J]. Nature, 1994, 371: 236-238.

[5] 方精云,刘国华,徐嵩龄. 中国陆地生态系统的碳库[M]//王庚辰,温玉璞. 温室气体浓度和排放监测及相关过程. 北京:中国环境科学出版社,1996:109-128

[6] 张金霞,曹广民,周党卫,等. 高寒矮嵩草草甸大气—土壤—植被—动物系统碳素储量及碳素循环[J]. 生态学报,2003,23(4):627-634.

[7] 冯松,汤懋苍,王冬梅. 青藏高原是我国气候变化启动区的新证据[J]. 科学通报,1998,43(6):633-636.

[8] Wang G X, Qian J, Cheng G D, et al. Soil organic carbon pool of grassland soils on the Qinghai-Tibetan Plateau and its global implication[J]. The Science of the To-

tal Environment, 2002, 291(1/3): 207-217.

[9] Yang Y H, Fang J Y, Tang Y H, et al. Storage, patterns and controls of soil organic carbon in the Tibetan grasslands[J]. Global Change Biology, 2008, 14(7): 1592-1599.

[10] 陶贞,沈承德,高全洲,等. 高寒草甸土壤有机碳储量和 CO₂ 通量[J]. 中国科学 D 辑:地球科学,2007,37(4): 553-563.

[11] 吴雅琼,刘国华,傅伯杰,等. 青藏高原土壤有机碳密度垂直分布研究[J]. 环境科学学报,2008,28(2): 362-367.

[12] 李小雁,孙永亮,汤佳,等. 青海湖流域气候变化及其水文效应[J]. 资源科学,2008,30(3):354-362.

[13] 李迪强,郭冻,朵海瑞,等. 青海湖流域土地覆盖时空变化与生态保护对策[J]. 中央民族大学学报:自然科学版,2009,18(1):18-22.

[14] 陈晓光,李剑萍,李志军,等. 青海湖地区植被覆盖及其与气温降水变化的关系[J]. 中国沙漠,2007,27(5): 797-804.

[15] 徐艳,张凤荣,段增强,等. 区域土壤有机碳密度及碳储量计算方法探讨[J]. 土壤通报,2005,36(6):836-839.

[16] 韩道瑞,曹广民,郭小伟,等. 青藏高原高寒草甸生态系统碳增汇潜力[J]. 生态学报,2011,31(24):7408-7417.

[17] 杨力军,李希来,石德军. 青藏高原“黑土滩”退化草地植被演替规律的研究[J]. 青海草业,2005,14(1):1-5.

[18] 刘育红,李希来,李长慧,等. 三江源区高寒草甸湿地植被退化与土壤有机碳损失[J]. 农业环境科学学报, 2009,28(12):2559-2567.

[19] 王长庭,龙瑞军,王启兰,等. 放牧扰动下高寒草甸植物多样性、生产力对土壤养分条件变化的响应[J]. 生态学报,2008,28(9):4144-4152.

[20] 王长庭,龙瑞军,王启兰,等. 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.

[21] 张静,李希来,于海. 青藏高原不同退化程度小嵩草草甸群落结构特征与土壤理化特征分析[J]. 草原与草坪,2008(4):5-9.

[22] 王绍强,周成虎. 中国陆地土壤有机碳库的估算[J]. 地理研究,1999,18(4):349-356.

[23] Yang Y, Fang J, Ma W, et al. Soil carbon stock and its changes in northern China's grasslands from 1980s to 2000s[J]. Global Change Biology, 2010, 16(11): 3036-3047.