

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

# 生态学报

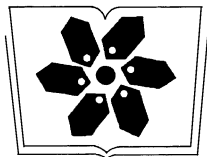
## Acta Ecologica Sinica



第34卷 第2期 Vol.34 No.2 **2014**

中国生态学学会  
中国科学院生态环境研究中心  
科学出版社

主办  
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

# 生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 2 期      2014 年 1 月    (半月刊)

## 目 次

### 前沿理论与学科综述

- 连续免耕对不同质地稻田土壤理化性质的影响 ..... 龚冬琴, 吕 军 (239)
- 下辽河平原景观格局脆弱性及空间关联格局 ..... 孙才志, 闫晓露, 钟敬秋 (247)
- 完全水淹环境中光照和溶氧对喜旱莲子草表型可塑性的影响 ..... 许建平, 张小萍, 曾 波, 等 (258)
- 赤潮过程中“藻-菌”关系研究进展 ..... 周 进, 陈国福, 朱小山, 等 (269)
- 盐湖微微型浮游植物多样性研究进展 ..... 王家利, 王 芳 (282)
- 臭氧胁迫对植物主要生理功能的影响 ..... 列淦文, 叶龙华, 薛 立 (294)
- 啮齿动物分子系统地理学研究进展 ..... 刘 铸, 徐艳春, 戎 可, 等 (307)
- 生态系统服务制图研究进展 ..... 张立伟, 傅伯杰 (316)

### 个体与基础生态

- NaCl 胁迫下沙枣幼苗生长和阳离子吸收、运输与分配特性 ..... 刘正祥, 张华新, 杨秀艳, 等 (326)
- 不同生境吉首蒲儿根叶片形态和叶绿素荧光特征的比较 ..... 向 芬, 周 强, 田向荣, 等 (337)
- 小麦 LAI-2000 观测值对辐亮度变化的响应 ..... 王 龔, 田庆久, 孙绍杰, 等 (345)
- $K^+$ 、 $Cr^{6+}$  对网纹藤壶幼虫发育和存活的影响 ..... 胡煜峰, 严 涛, 曹文浩, 等 (353)
- 马铃薯甲虫成虫田间扩散规律 ..... 李 超, 彭 赫, 程登发, 等 (359)

### 种群、群落和生态系统

- 莱州湾及黄河口水域鱼类群落结构的季节变化 ..... 孙鹏飞, 单秀娟, 吴 强, 等 (367)
- 黄海中南部不同断面鱼类群落结构及其多样性 ..... 单秀娟, 陈云龙, 戴芳群, 等 (377)
- 苏南地区湖泊群的富营养化状态比较及指标阈值判定分析 ..... 陈小华, 李小平, 王菲菲, 等 (390)
- 盐城淤泥质潮滩湿地潮沟发育及其对米草扩张的影响 ..... 侯明行, 刘红玉, 张华兵 (400)
- 江苏省农作物最大光能利用率时空特征及影响因子 ..... 康婷婷, 高 苹, 居为民, 等 (410)
- 1961—2010 年潜在干旱对我国夏玉米产量影响的模拟分析 ..... 曹 阳, 杨 婕, 熊 伟, 等 (421)
- 黑龙江省 20 世纪森林变化及对氧气释放量的影响 ..... 张丽娟, 姜春艳, 马 骏, 等 (430)
- 松嫩草原不同演替阶段大型土壤动物功能类群特征 ..... 李晓强, 殷秀琴, 孙立娜 (442)
- 小兴安岭 6 种森林类型土壤微生物量的季节变化特征 ..... 刘 纯, 刘延坤, 金光泽 (451)

### 景观、区域和全球生态

- 黄淮海地区干旱变化特征及其对气候变化的响应 ..... 徐建文, 居 辉, 刘 勤, 等 (460)

我国西南地区风速变化及其影响因素 ..... 张志斌,杨 莹,张小平,等 (471)

青海湖流域矮嵩草草甸土壤有机碳密度分布特征 ..... 曹生奎,陈克龙,曹广超,等 (482)

基于生命周期评价的上海市水稻生产的碳足迹 ..... 曹黎明,李茂柏,王新其,等 (491)

研究简报

荒漠草原区柠条固沙人工林地表草本植被季节变化特征 ..... 刘任涛,柴永青,徐 坤,等 (500)

跨地带土壤置换实验研究 ..... 靳英华,许嘉巍,秦丽杰 (509)

SWAT 模型对景观格局变化的敏感性分析——以丹江口库区老灌河流域为例 .....  
..... 魏 冲,宋 轩,陈 杰 (517)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 288 \* zh \* P \* ¥90.00 \* 1510 \* 29 \* 2014-01



封面图说：高原盐湖——中国是世界上盐湖分布比较稠密的国家,主要分布在高寒的青藏高原以及干旱半干旱地区的新疆、内蒙古一带。尽管盐湖生态环境极端恶劣,但它们依然是陆地特别是高原生态系统中十分重要的组成部分。微微型浮游植物通常是指粒径在 0.2—3 μm 之间的光合自养型浮游生物。微微型浮游植物不仅是海洋生态系统中生物量和生产力的最重要贡献者,也是盐湖生态系统最重要的组成部分。研究显示,水体矿化度是影响微微型浮游植物平面分布及群落结构组成的重要因子,光照、营养成分和温度等也会影响盐湖水体中微微型浮游植物平面分布及群落结构组成(详见 P282)。

彩图提供：陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201304100668

曹生奎,陈克龙,曹广超,朱锦福,芦宝良,张涛,王记明.青海湖流域矮嵩草草甸土壤有机碳密度分布特征.生态学报,2014,34(2):482-490.  
Cao S K, Chen K L, Cao G C, Zhu J F, Lu B L, Zhang T, Wang J M.Characteristics of soil carbon density distribution of the *Kobresia humilis* meadow in the Qinghai Lake basin.Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(2):482-490.

# 青海湖流域矮嵩草草甸土壤有机碳密度分布特征

曹生奎<sup>1,2,3,\*</sup>, 陈克龙<sup>1,2</sup>, 曹广超<sup>1,2</sup>, 朱锦福<sup>1</sup>, 芦宝良<sup>4</sup>, 张 涛<sup>1</sup>, 王记明<sup>1</sup>

(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:**通过对青海湖流域不同退化程度矮嵩草草甸土壤容重和有机碳含量的测定,确定了其土壤有机碳密度。结果表明:不同退化程度下矮嵩草草甸土壤有机碳含量和变化特征各有不同。从未退化-重度退化,0—100 cm 土壤剖面平均有机碳含量分别为(25.17±4.73) g/kg, (17.51±3.06) g/kg, (20.79±1.30) g/kg 和 (14.53±1.20) g/kg,即未退化>中度退化>轻度退化>重度退化; 0—20 cm 土壤平均有机碳含量从(64.47±11.70) g/kg 减少为(14.52±1.52) g/kg,减少了 77.48%。土壤剖面有机碳密度变化趋势与其有机碳含量变化趋势一致。0—100 cm 土壤剖面有机碳密度分别为(18.16±4.12) kg/m<sup>3</sup>, (14.24±3.52) kg/m<sup>3</sup>, (18.64±2.82) kg/m<sup>3</sup>和(13.27±2.28) kg/m<sup>3</sup>,即中度退化>未退化>轻度退化>重度退化;土壤有机碳集中分布在 0—40 cm 深度,从未退化到严重退化,该深度有机碳密度分别为(32.06±6.41) kg/m<sup>3</sup>, (25.10±4.20) kg/m<sup>3</sup>, (22.68±3.17) kg/m<sup>3</sup>和(17.10±2.77) kg/m<sup>3</sup>,比整个剖面有机碳密度高出 76.53%, 76.25%, 21.68%和 28.88%。不考虑其他因素,以空间尺度代替时间尺度,这一结果说明矮嵩草草甸的退化导致土壤逐渐释放有机碳,其作为储存碳的功能在减弱,必须加强对矮嵩草草甸生态系统的保护,以防止其碳库变为碳源。

**关键词:**土壤有机碳密度;矮嵩草草甸;退化;青海湖流域

## Characteristics of soil carbon density distribution of the *Kobresia humilis* meadow in the Qinghai Lake basin

CAO Shengkui<sup>1,2,3,\*</sup>, CHEN Kelong<sup>1,2</sup>, CAO Guangchao<sup>1,2</sup>, ZHU Jinfu<sup>1</sup>, LU Baoliang<sup>4</sup>, ZHANG Tao<sup>1</sup>, WANG Jiming<sup>1</sup>

1 College of Life and Geographical Science, Qinghai Normal University, Xining 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, Xining 810008, China

**Abstract:** Soil is the largest carbon stock in the terrestrial ecosystem, storing about two-thirds of organic carbon in the terrestrial biosphere. Our understanding on the dynamic change of soil organic carbon belongs to one one of the important issue in terrestrial carbon cycle. *Kobrecia humilis* meadow is one major grassland type on the Qinghai-Tibetan Plateau, which has the high organic matter in soil. Under the dual effects of natural and human activities, there had great influence on the carbon balance alpine because the *Kobrecia humilis* meadows appeared different degree of degradation. To provide basic data and theoretical reference on accurate assessments of the Qinghai-Tibetan Plateau alpine meadow ecosystem carbon source/sink effect, this paper determined the soil organic density through measuring the soil bulk density and organic carbon

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(31260130, 41261020);国家社科基金资助项目(10CJY015);教育部重点资助项目(2012178);中国科学院“西部之光”资助项目;青海师范大学科技创新计划资助项目

**收稿日期:**2013-04-10; **修订日期:**2013-07-30

\* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: ckl7813@163.com

content under different degrading *Kobresia humilis* meadow in the Qinghai Lake basin. Our results showed that there existed discrepant in the soil organic carbon content and variable characteristics under different degrading *Kobresia humilis* meadow. The average organic carbon content in the 0—100 cm soil profiles respectively was estimated at  $(25.17 \pm 4.73)$  g/kg,  $(17.51 \pm 3.06)$  g/kg,  $(20.79 \pm 1.30)$  g/kg and  $(14.53 \pm 1.20)$  g/kg from no degrading to heavy degraded *Kobresia humilis* meadow. That is, no degradation>moderate one >slight one >heavy one. Moreover, the mean of organic carbon content in 0—20 cm soil profiles from no degrading to heavy degraded reduced from  $(64.47 \pm 11.70)$  g/kg to  $(14.52 \pm 1.52)$  g/kg, and fallen by 77.48%. Variations of the soil organic carbon density in the different degrading *Kobresia humilis* meadow soil profiles had the same trends of soil organic carbon content. From no degrading to heavy degraded *Kobresia humilis* meadow, the total organic carbon density in the 0—100 cm soil profiles respectively amounted to  $(18.16 \pm 4.12)$  kg/m<sup>3</sup>,  $(14.24 \pm 3.52)$  kg/m<sup>3</sup>,  $(18.64 \pm 2.82)$  kg/m<sup>3</sup>, and  $(13.27 \pm 2.28)$  kg/m<sup>3</sup>, respectively. That is, moderate degradation> no one > slight one >heavy one. Soil organic carbon content mainly concentrated in the 0—40 cm depth. The 0—40 cm soil organic carbon density respectively was  $(32.06 \pm 6.41)$  kg/m<sup>3</sup>,  $(25.10 \pm 4.20)$  kg/m<sup>3</sup>,  $(22.68 \pm 3.17)$  kg/m<sup>3</sup>,  $(17.10 \pm 2.77)$  kg/m<sup>3</sup>, higher than 76.53%, 76.25%, 21.68% and 28.88% in 0—100 cm soil total organic carbon density. If we do not think other factors, those results indicated that the degradation of the *Kobresia humilis* meadow caused that soil gradually released the organic carbon and weakened the store carbon function. Especially, surface soil was more prone to release CO<sub>2</sub> to the atmosphere due to the continuous climatic warming. Moreover, soil organic densities in *Kobresia humilis* meadow were evidently higher than the mean of alpine grassland and meadow in the Qinghai-Tibetan Plateau and in the Qinghai Province and across the China, highlighting that we could not neglect it in evaluation soil organic stock across the whole Qinghai-Tibet plateau.

**Key Words:** soil organic carbon density; *Kobresia humilis* meadow; degradation; Qinghai Lake basin

近几十年来,大气 CO<sub>2</sub> 浓度增加引起的全球变化是目前人们共同关注的一个全球问题,全球碳循环也因此成为国际学术界关注的研究热点和学术前沿<sup>[1-2]</sup>。土壤是陆地生态系统中碳的最大储蓄库,其有机碳含量约占陆地生物圈碳库的 2/3,极为活跃,是全球碳循环的重要组成部分<sup>[3]</sup>。气候变暖直接导致土壤有机碳库的损失,造成土壤作为地球碳循环汇或源功能的改变<sup>[4]</sup>。土壤有机碳库的动态变化研究是地球碳循环的重要过程之一。

青藏高原被称为气候变化的启动区,是全球气候变化的敏感区和放大器<sup>[5-6]</sup>。其碳储量占全球总碳库的 2.4%—2.6%<sup>[7-8]</sup>,占全国土壤有机碳库的 23.44%<sup>[7]</sup>,在全球碳收支平衡中占有重要地位。矮嵩草(*Kobresia humilis*)草甸是青藏高原主要植被类型之一,约占高原面积的 33%<sup>[9]</sup>,土壤有机质含量高,是碳素的巨大储存库<sup>[10]</sup>,其生态系统结构简单、功能脆弱<sup>[11]</sup>。在自然与人类活动的双重影响下,高寒矮嵩草草甸出现了不同程度的退化<sup>[12-13]</sup>,对其碳收支平衡产生了巨大影响。据研究近 30 年来,青藏高原草地土壤由于土地利用变化和草地退化所释放

的 CO<sub>2</sub> 估计约有 3.023 PgC<sup>[7]</sup>。青海湖是我国最大的内陆咸水湖,是维系青藏高原东北部生态安全的重要水体,位于青南高原高寒区、西北干旱区和东部季风区的交汇处,属于全球变化的敏感区和生态系统典型脆弱区。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<sup>[14-15]</sup>。这种情况下其生态系统碳循环过程势必会发生变化,但目前对这一流域的碳循环研究报道较少,这无疑会阻碍人们深入认识青海湖流域碳循环特征及其对未来气候变化的响应。为此,本文以青海湖流域不同退化程度的矮嵩草草甸土壤为研究对象,对其碳密度特征进行研究,以期为青藏高原高寒草甸生态系统碳源/汇效应的准确评估提供基础数据和理论参考。

1 研究区及研究方法

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 3194—5174 m,流域面积 29646 km<sup>2</sup>。区内是典型的高原大陆性气候,以干旱、寒冷、多风为主要特征;多年平均气温-1.4—1.7℃,降水量 253—515 mm,蒸发量 800—1000 mm<sup>[14]</sup>。主要植被类型为高寒草甸、高寒草原、高寒流石坡稀疏植被、沙生植被、盐生草甸、寒漠草原和沼泽草甸等,土壤以草甸土、黑钙土、栗钙土、沼泽土和风沙土等类型为主<sup>[16]</sup>。

1.2 研究方法

1.2.1 样方调查及样品采集

在青海湖流域选择了处于不同退化演替状态的高寒矮嵩草草甸为研究对象(表 1),其主要优势植物种包括矮嵩草、小嵩草(*Kobresia pygmaea*)、紫花针茅(*Stipa purpurea* Griseb var. *purpurea*)、垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、早熟禾(*Poa* sp.)、麻花艽(*Gentiana straminea*)、羊茅(*Festuca ovina*)、矮火绒草(*Leontopodium nanllm*)、鹅绒萎陵菜(*Potentilla ansrina*)、美丽风毛菊(*Saussurea superba*)、棘豆(*Oxytropis falcata*)、紫菀(*Radix Asteris*)、甘肃马先蒿(*Pedicularis* L)、蒲公英(*Herba Taraxaci*)等。

根据青海湖流域矮嵩草草甸群落的生长环境,

选择其典型生境,以群落建群种仍以矮嵩草为主的依据,根据矮嵩草群落盖度,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。分别选取了重度、中度、轻度和未退化的矮嵩草群落各 4 个样地,在每个样地,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,共 10 层,重复 3 次,将相同层次土壤样品分别混合为一个样品;挖开土壤剖面在剖面每个土壤层中部平稳打入环刀,待环刀全部进入土壤后,用铁锹挖去环刀周围的土壤,取出环刀,小心脱出环刀上端的环刀托,然后用削土刀削平环刀两端的土壤,使得环刀内土壤容积一定。将已采集好的环刀内土壤样品小心的全部转移到采样袋中,称量土壤样品鲜重量,将样品带回室内,放在 105℃烘箱内烘干至恒重,称量烘干土重量,最后按照环刀法计算方法测定土壤容重。所有土样带回实验室,在室内自然风干,除杂、研磨、过 80 筛,将处理好的土壤样品移入密封袋中封好,用于有机碳含量测定。

表 1 青海湖流域矮嵩草草甸土壤采样点位置						
Table 1 The locations of soil sampling plots of <i>Kobresia humilis</i> meadow in Qinghai Lake basin						
序号 No.	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔/m Elevation	盖度/% Coverage	退化程度 Degradation degree	优势植物 Dominant plant
1	37°36.551'	99°23.332'	3952	85	未退化	矮嵩草,小嵩草,紫花针茅,羊茅
2	37°52.251'	98°26.194'	3801	90	未退化	矮嵩草,小嵩草,垂穗披碱草,紫花针茅
3	37°21.122'	100°30.779'	3436	95	未退化	矮嵩草,垂穗披碱草,麻花艽,紫菀,棘豆,甘肃马先蒿
4	37°31.554'	100°23.097'	3563	80	轻度退化	矮嵩草,垂穗披碱草,蒲公英,棘豆
5	37°20.488'	100°12.586'	3395	75	轻度退化	矮嵩草,早熟禾,紫花针茅
6	37°15.391'	100°37.040'	3404	70	轻度退化	矮嵩草,虎耳草,鹅绒萎陵菜,蒲公英
7	37°23.902'	100°13.893'	3458	60	中度退化	矮嵩草,垂穗披碱草,早熟禾
8	37°32.000'	100°04.900'	3485	65	中度退化	矮嵩草,小嵩草,麻花艽,紫花针茅
9	37°41.984'	98°42.759'	4051	55	中度退化	矮嵩草,小嵩草,矮火绒草
10	37°10.067'	99°42.492'	3232	40	重度退化	矮嵩草,垂穗披碱草,冰草,芨芨草
11	37°08.845'	99°23.731'	3281	45	重度退化	矮嵩草,萎软紫菀,紫花针茅,马莲
12	37°32.031'	99°19.732'	3668	45	重度退化	矮嵩草,紫花针茅,棘豆,甘肃马先蒿

1.2.2 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<sup>[17]</sup>,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。

1.2.3 数据计算与分析

土壤碳密度计算:土壤有机碳密度是指单位面积一定深度的土层中土壤有机碳的储量。一般认为土壤有机碳密度是由土壤有机碳质量分数、>2 mm 砾石体积百分比和土壤容重共同决定的。土壤剖面

内某一土层*i*的土壤有机碳密度 SOC<sub>di</sub>(kg/m<sup>2</sup>) 计算公式为<sup>[18-19]</sup>:

SOC<sub>di</sub> = C<sub>i</sub>B<sub>i</sub>D<sub>i</sub>(1-δ<sub>i</sub>) 100 (1)

式中,C<sub>i</sub>为第*i*层土壤有机碳质量分数(g/kg),B<sub>i</sub>为第*i*层土壤容重(g/cm<sup>3</sup>),D<sub>i</sub>为第*i*层土层厚度(cm),δ<sub>i</sub>为第*i*层土壤中>2 mm的砾石体积百分比;本研究是以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,计算公式如下:

SOC<sub>p</sub> = (Σ<sup>n</sup><sub>i=1</sub> SOC<sub>di</sub>) / (Σ<sup>n</sup><sub>i=1</sub> H<sub>i</sub>) (2)

式中,SOC<sub>p</sub>为土壤剖面的SOC密度(kg/m<sup>3</sup>);SOC<sub>di</sub>为土壤剖面某一土层*i*的土壤有机碳密度(kg/m<sup>2</sup>);H<sub>i</sub>为第*i*层厚度(m)。

数据处理:用SPSS 16.0(SPSS Inc, USA)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。所有数据均表示为平均值±标准误差。

2 结果

2.1 矮嵩草草甸土壤容重变化

青海湖流域不同退化程度矮嵩草草甸土壤容重变化如表2所示,结果显示,不同退化程度矮嵩草草甸0—100 cm剖面土壤容重差异不显著,个别差异主要出现在0—60 cm深度范围内(表2),4种退化下土壤剖面容重平均值分别为(0.83±0.21) g/cm<sup>3</sup>, (0.87±0.14) g/cm<sup>3</sup>, (0.91±0.12) g/cm<sup>3</sup>和(0.92±0.10) g/cm<sup>3</sup>,说明土壤容重随退化程度加剧而稍有增大。对于同一类型,土壤容重总体上都是随深度而增大,0—20 cm表层土壤容重最小,越深容重则越大(表2)。

表2 青海湖流域不同退化程度矮嵩草草甸土壤容重变化

Table 2 Soil bulk density of different degraded Kobresia humilis meadow in the Qinghai Lake basin

类型 Type	深度 Depth/cm									
	0—10	10—20	20—30	30—40	40—50	50—60	60—70	70—80	80—90	90—100
未退化/(g/cm <sup>3</sup> )	0.72±	0.59±	0.85±	0.85±	0.95±	0.76±	0.85±	0.78±	0.93±	1.04±
no degradation	0.08abA	0.01bA	0.07abA	0.02abA	0.04abAB	0.12abA	0.24abA	0.21aA	0.08abA	0.11aA
轻度退化/(g/cm <sup>3</sup> )	0.76±	0.68±	0.81±	0.86±	1.02±	0.91±	0.98±	0.87±	0.89±	0.95±
slight degradation	0.05acA	0.12aA	0.07acA	0.03aA	0.06bA	0.03bcAB	0.07bA	0.04aA	0.08abcA	0.08bcA
中度退化/(g/cm <sup>3</sup> )	0.77±	0.84±	0.94±	0.92±	0.94±	1.00±	0.89±	0.98±	0.92±	0.87±
moderate degradation	0.03aA	0.08abA	0.06abA	0.04abA	0.08abAB	0.02bB	0.12abA	0.09bA	0.06abA	0.02abA
重度退化/(g/cm <sup>3</sup> )	0.91±	0.87±	0.95±	0.91±	0.80±	0.92±	0.90±	0.90±	0.92±	1.09±
Heavy degradation	0.04aB	0.05aB	0.03abA	0.08aA	0.07aB	0.01aAB	0.03aA	0.02aA	0.09aA	0.04bA

不同小字母代表同一类型不同深度间差异显著(P<0.05),不同大写字母代表同一深度不同类型间差异显著(P<0.05)

2.2 矮嵩草草甸土壤有机碳含量变化

矮嵩草草甸土壤有机碳含量变化结果如图1所示,结果显示,不同退化程度的矮嵩草草甸,其土壤有机碳含量和变化特征各有不同,但总体趋势是随深度加深而减小,有机碳含量一般在0—40 cm深度最高。随退化程度加剧,有机碳含量在0—40 cm深度内波动较为剧烈,40 cm以下有机碳含量随退化程度加剧呈明显减少趋势。矮嵩草草甸0—10 cm土壤有机碳含量在未退化、轻度退化和重度退化间存在显著差异(P<0.05);0—100 cm土壤剖面平均有机碳含量分别为(25.17±4.73) g/kg, (17.51±3.06) g/kg, (20.79±1.30) g/kg和(14.53±1.20) g/kg,说

明青海湖流域不同退化程度矮嵩草草甸土壤有机碳含量由大到小顺序为未退化>中度退化>轻度退化>重度退化。土壤剖面有机碳含量在未退化和重度退化群落间存在显著差异(P<0.05),其他类型间差异不显著(P>0.05)。

2.3 矮嵩草草甸土壤碳密度分布特征

不同退化程度矮嵩草草甸土壤剖面有机碳密度结果显示(图2),不同退化程度矮嵩草草甸土壤剖面有机碳密度变化趋势与其有机碳含量变化趋势一致。有机碳密度在0—40 cm深度最高,且不同退化程度间在该深度有机碳密度差异较为突出,土壤有机碳密度在未退化矮嵩草草甸和中度、重度退化存

在显著差异 ( $P<0.05$ )。0—100 cm 剖面土壤平均有机碳密度分别为  $(1.86\pm0.11)$  kg/m<sup>2</sup>,  $(1.82\pm0.29)$  kg/m<sup>2</sup>,  $(1.42\pm0.23)$  kg/m<sup>2</sup> 和  $(1.33\pm0.11)$  kg/m<sup>2</sup>。

即剖面平均有机碳密度大小为中度退化>未退化>轻度退化>重度退化,但彼此间差异不显著 ( $P>0.05$ )。

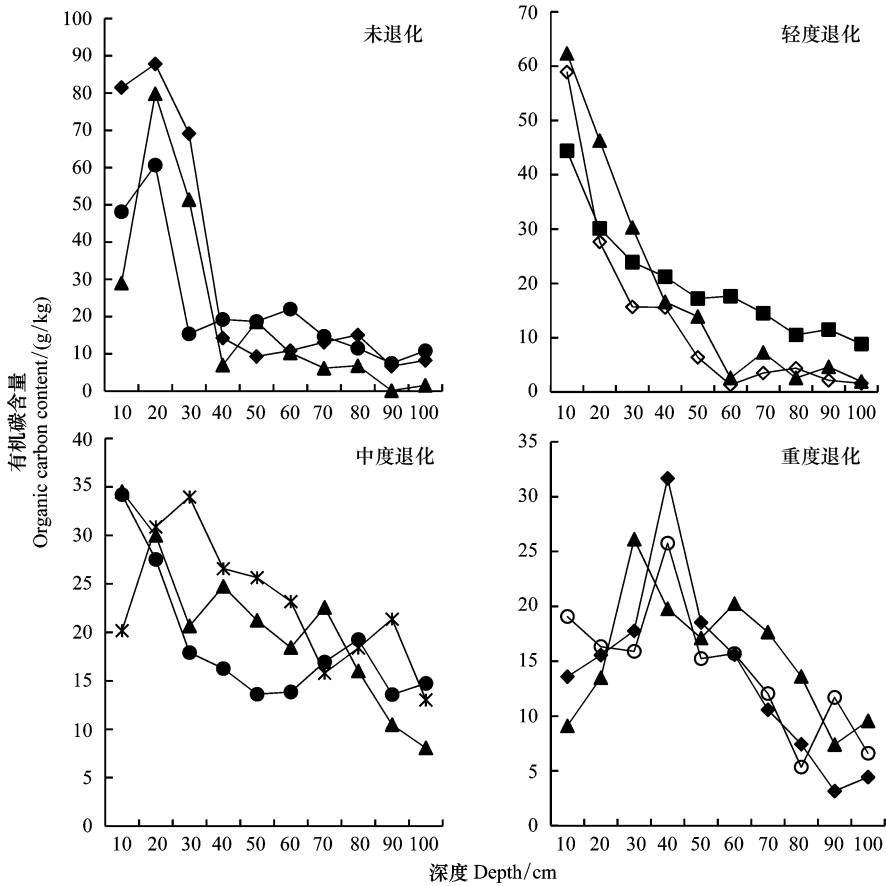


图1 青海湖流域不同退化程度矮嵩草草甸土壤有机碳含量分布  
Fig.1 Distribution of soil organic carbon content under the *Kobresia humilis* meadow in Qinghai Lake basin

3 讨论

3.1 植被退化对矮嵩草草甸土壤碳累积的影响

植被退化已成为我国重大的资源环境问题之一,青藏高原生态系统脆弱、抗干扰能力差,草甸退化尤为突出<sup>[20-21]</sup>。这会改变植被生产力及土壤有机质的积累和分解速率,进而影响土壤有机碳含量和储量。对于矮嵩草草甸,植物根系是土壤有机质输入的主要来源<sup>[8]</sup>。据研究<sup>[22]</sup>,矮嵩草草甸植物根系主要分布于土壤0—20 cm 土层,该土层根系量约占剖面的 85%左右,是土壤植物和微生物的活跃层。由此证明青海湖流域矮嵩草草甸土壤有机碳最高含量也在这个范围内,随着深度加深有机碳含量逐渐减少。不同退化程度下,矮嵩草草甸地上生物量逐渐减少,植物残体及地下根系也逐渐减小,导致土壤

有机质得不到补充而减少,土壤有机碳含量逐渐被分解释放,其含量也随之减少。据报道未退化草甸地上生物量为 265.1 g/m<sup>2</sup>,地下生物量(0—30 cm)为 6982 g/m<sup>2</sup>,重度退化草甸地上、地下生物量分别为 139.9 g/m<sup>2</sup>、916 g/m<sup>2</sup><sup>[22]</sup>。在本研究中,从未退化到严重退化,矮嵩草草甸 0—20 cm 土壤平均有机碳含量从  $(64.47\pm11.70)$  g/kg 减少为  $(14.52\pm1.52)$  g/kg,减少了 77.48%。说明表层有机碳含量由于与大气空气接触交换较快,白天升温快,有机碳分解加快,其有机碳减少速率也很快。对草地土壤有机碳的研究也表明草地退化导致土壤有机碳减少<sup>[23-24]</sup>, Bauer 等的研究表明<sup>[25]</sup>,轻度、中度和重度退化草地土壤有机碳含量与未退化草地相比,分别降低了 36.1%、66.7%和 73.5%;黄耀等总结了我国草地土壤有机碳变化的结果,表明重度、中度和轻度退化草



地土壤有机碳分别比未退化草地低 55%, 49% 和 27%<sup>[26]</sup>。有机碳的这种释放最终导致土壤剖面有机碳储量随退化程度加剧而减小。在本研究中从未退化-轻度退化-中度退化-重度退化, 0—40 cm 表层有机碳密度所占比例在减小。矮嵩草草甸 0—100 cm 土壤剖面有机碳密度分别为  $(18.16 \pm 4.12) \text{ kg/m}^3$ ,  $(14.24 \pm 3.52) \text{ kg/m}^3$ ,  $(18.64 \pm 2.82) \text{ kg/m}^3$ ,  $(13.27 \pm 2.28) \text{ kg/m}^3$ , 未退化与重度退化相比, 有机碳密度减少了  $(4.89 \pm 1.84) \text{ kg/m}^3$ 。本次研究结果也

与陶贞<sup>[27-28]</sup>, 林丽<sup>[29]</sup>, 张金霞<sup>[30]</sup> 等的研究结果一致。除有机碳含量的影响外, 矮嵩草草甸退化下有机碳密度的减小还受土壤容重的影响。土壤容重作为土壤紧实度的重要指标, 当土壤容重偏高时, 土壤孔隙度小, 土壤有效水分减少, 植物根系生长受阻, 甚至使植物受到损伤<sup>[31]</sup>。矮嵩草在重度退化下, 土壤容重变大, 特别是 0—20 cm 表层 (表 2), 这使得土壤变得较为坚硬, 土壤透水和通气功能变差, 不利于矮嵩草扎根和生长, 进一步导致土壤有机碳的减少。

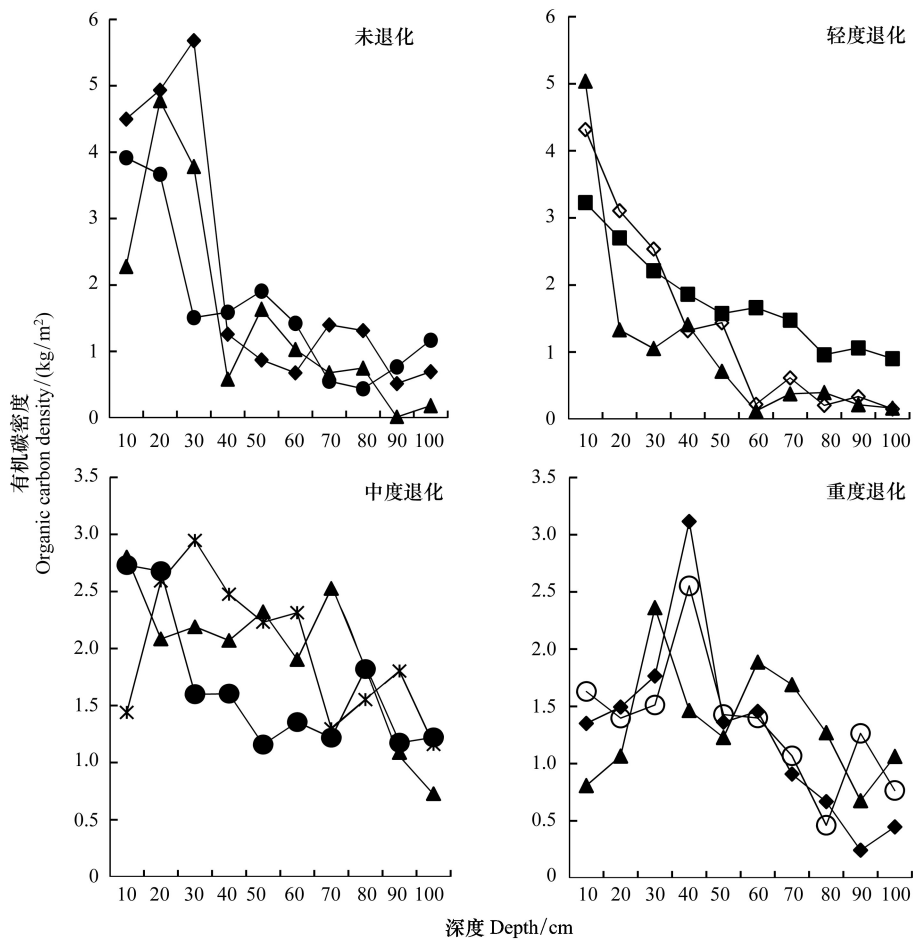


图 2 青海湖流域不同退化程度矮嵩草草甸土壤有机碳含量分布  
Fig.2 Distribution of soil organic carbon density of *Kobresia humilis* meadow in Qinghai Lake basin

3.2 青海湖地区与其它地区土壤碳密度比较

与全国及青藏高原其他地区的草甸土壤有机碳密度相比较 (表 3), 青海湖流域矮嵩草草甸土壤有机碳密度显著高于全国、青海省和青藏高原高寒草甸和高寒草原的土壤平均有机碳密度, 比青藏高原及其草甸土的平均有机碳密度稍低一点。说明青海湖流域矮嵩草草甸土壤有机碳密度较高, 在估算整个青藏高原土壤有机碳储量时其作用不容忽视。

3.3 草地生产功能与碳储生态功能的不同步性

青海湖流域不同退化程度矮嵩草草甸土壤有机碳密度大小说明中度退化利于有机碳的积累, 而重度退化矮嵩草草甸土壤是在释放碳, 其碳汇功能在弱化。陶贞等的研究结果也表明青藏高原高寒草甸的扰动土壤有机碳密度比自然土壤高, 合理的土地利用变化有利于高寒草甸土壤有机碳的积累和储存<sup>[27]</sup>。对于矮嵩草草甸的生物量和生产量来说, 则

表 3 不同地区土壤有机碳密度对比

Table 3 Comparison of soil organic carbon density in different areas					
类型或位置 Type/Locaton	有机碳密度 Soil organic carbon density /(kgC/m <sup>3</sup> )	参考文献 References	类型或位置 Type/Locaton	有机碳密度 Soil organic carbon density /(kgC/m <sup>3</sup> )	参考文献 References
中国	10.83	[32]	青藏高原草甸土	19.57	[33]
青藏高原(0—72 cm)	19.49	[8]	青藏高原高寒草原	12.72±0.93	[34]
青藏高原高寒草甸	5.17±0.49	[34]	海北原生高寒草甸(0—40 cm)	17.1	[19]
海北矮嵩草草甸	24.32 —22.12	[27]	海北退化高寒草甸(0—40 cm)	11.46	[19]
青海省(0—65 cm)	13.60	[35]	矮嵩草草毡寒冻锥形土(0—30 cm)	12.87	[30]
青海湖未退化矮嵩草草甸	18.16±4.12	本文	青海湖重度退化矮嵩草草甸	13.27±2.28	本文

恰恰相反,在未退化状态下是最大的<sup>[36]</sup>。这种情况下,矮嵩草生产功能与碳储生态功能存在着不同步性。刘育红等的结果也表明高寒草甸退化与土壤有机碳降低并不同步<sup>[37]</sup>。这可能与土壤结构和稳定性有关,但对其原因还需进一步探究。值得注意的是,尽管本研究结果表明中度退化矮嵩草草甸 0—100 cm 土壤剖面总有机碳最高,但由于土壤有机碳主要集中在 0—40 cm,必须要注意矮嵩草草甸土壤表层有机碳密度的变化。从未退化到严重退化矮嵩草草甸,0—40 cm 土壤有机碳密度分别占整个剖面总有机碳密度的 70.61%, 70.50%, 48.67% 和 51.55%。不考虑其他因素,以空间尺度代替时间尺度,这一结果说明矮嵩草草甸的退化导致了土壤逐渐在释放有机碳,其作为储存碳的功能在减弱。特别是表层土壤,由于受气候变暖的影响,更易于向大气释放 CO<sub>2</sub>。矮嵩草草甸的退化导致地上地下生物量减小,造成退化\生物量减小-土壤有机质含量减小-土壤呼吸增强-土壤碳损失加速-退化加剧的恶性循环。而且青藏高原本身高寒的自然环境导致其生态系统极度脆弱,一旦遭到退化就很难再度恢复。因此。考虑到这一草甸类型在青藏高原高寒草甸中所占比例较大,必须加强矮嵩草草甸生态系统的保护,以防止其碳库变为碳源。

References:

[ 1 ] Liu D S. Global changes and sustainability science. *Earth Science Frontiers*, 2002, 9(1): 1-8.

[ 2 ] Piao S L, Fang J Y, Huang Y. The carbon balance of terrestrial ecosystems in China. *China Basic Science. Research Progress*, 2010, (2): 20-22.

[ 3 ] Schimel D S. Terrestrial ecosystems and the carbon cycle. *Global Change Biology*, 1995, 1(1): 77-91.

[ 4 ] Chen Z P. The influence effects of the climate change on plants and soils. *Yunnan Geographic Environment Research*, 2010, 22(2): 39-42.

[ 5 ] Feng S, Tang M C, Wang D M. Tibetan Plateau is the new evidence of climate change in China starting area. *Chinese Science Bulletin*, 1998, 43(6): 633-636.

[ 6 ] Liu X D, Chen B D. Climatic warming in the Tibetan plateau during recent decades. *International Journal of Climatology*, 2000, 20(14): 1729-1742.

[ 7 ] Wang G X, Cheng G D, Shen Y P. Soil organic carbon pool of grasslands on the Tibetan plateau and its global implication. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2002, 24(6): 693-700.

[ 8 ] Fang J Y, Liu G H, Xu S L. Carbon reserivior of terrestrial ecosystem in China // Wang G C, Wen Y P, eds. *Greenhouse Gas Concentrations and Emissions Monitoring and Related Process*. Beijing: China Environmental Science Press, 1996: 109-128.

[ 9 ] Zhang J X, Cao G M, Zhou D W, Hu Q B, Zhao X Q. The carbon storage and carbon cycle among the atmosphere, soil, vegetation and a nimal in the *Kobresia humilis* alpine meadow ecosystem. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(4): 627-633.

[ 10 ] Cao G M, Long R J, Zhang F W, Li Y K, Lin L, Guo X W, Han D R, Li J. A method to estimate carbon storage potential in alpine *Kobresia* meadows on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2010,30(23): 6591-6597.

[ 11 ] Zhou X M, Zhao X Q, Cao G M. *Kobresia* Meadow in China. Beijing: Science Press, 2001.

[ 12 ] Zhao X Q, Zhou X M. Ecological basis of alpine meadow ecosystem management in Tibet: Haibei alpine meadow ecosystem research station. *Ambio*, 1999, 28(8): 642-647.

[ 13 ] Cao G M, Du Y G, Liang D Y, Wang Q L, Wang C T. Character of passive-active degradation process and its mechanism in alpine *Kobresia* meadow. *Journal of Mountain Science*, 2007, 25(6): 641-648.

[ 14 ] Sun Y L, Li X Y, Tang J, He X Y. Climate change and hydrological response in the watershed of Qinghai lake. *Resources*

Science, 2008, 30(3): 354-362.

[15] Li D Q, Guo L, Duo H R, Wu H B. Analysis of temporal and spatial change of land use of Qinghai Lake and its ecological protection. Journal of the Central University for Nationalities; Natural Sciences Edition, 2009, 18(1): 18-22.

[16] Chen X G, Li J P, Li Z J, Han Y J, Chen B D. Vegetation coverage and its relation with climate change in Qinghai Lake Area. Journal of Desert Research, 2007, 27(5): 797-804.

[17] Bao S D. Soil Chemical Analysis. Beijing: China Agriculture Press, 2000.

[18] Xu Y, Zhang F R, Duan Z Q, Zhang L, Kong X B. Calculation method for density and storage of soil organic carbon. Chinese Journal of Soil Science, 2005, 36(6): 836-839.

[19] Han D R, Cao G M, Guo X W, Zhang F W, Li Y K, Lin L, Li J, Tang Y H, Gu S. The potential of carbon sink in alpine meadow ecosystem on the Qinghai-Tibetan Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(24): 7408-7417.

[20] Dong Q M, Zhao X Q, Ma Y S, Li Q Y, Wang Q J, Shi J J. effects of stocking rate and grazing time of yaks on soil nutrient contents in *Kobrecia parva* alpine meadow. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24(7): 729-735.

[21] Dong S C, Zhou G J, Wang H Y. Ecological crisis and countermeasures of the three rivers' headstream regions. Journal of Natural Resources, 2002, 17(6): 713-720.

[22] Lin L, Cao G M, Li Y K, Zhang F W, Guo X W, Han D R. Effects of human activities on organic carbon storage in the *Kobresia hummilis* meadow ecosystem on the Tibetan Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(15): 4012-4018.

[23] Wu R G, Tiessen H. Effect of land use on soil degradation in alpine grassland soil, China. Soil Science Society of America Journal, 2002, 66(5): 1648-1655.

[24] Zou C J, Wang K Y, Wang T H, Xu W D. Overgrazing and soil carbon dynamics in eastern Inner Mongolia of China. Ecological Research, 2007, 22(1): 135-142.

[25] Bauer A, Cole C V, Black A L. Soil property comparisons in virgin grasslands between grazed and nongrazed management systems. Soil Science Society of America Journal, 1987, 51(1): 176-182.

[26] Huang Y, Sun W J, Zhang W, Yu Y Q. Progress on changes of soil organic carbon terretsrial ecosystem in China. Scientia Sinica (Vitae), 2010, 40(7): 577-586.

[27] Tao Z, Shen C D, Gao Q Z, Sun Y M, Yi W X, Li Y N. Soil organic carbon storage and soil CO<sub>2</sub> flux in the alpine meadow ecosystem. Science in China (Series D: Earth Sciences), 2007, 50(7): 1103-1114.

[28] Tao Z, Shen C D, Gao Q Z, Sun Y M, Yi W X, Li Y N. Soil organic carbon storage and vertical distribution of alpine meadow on the Tibetan plateau. Acta Geographica Sinica, 2006, 61(7): 720-728.

[29] Lin L, Zhang F W, Li Y K, Han D R, Guo X W, Cao G M. The soil carbon and nitrogen storage and C/N metrological characteristics of chemistry in *Kobresia humilis* meadow in degradation succession stages. Chinese Journal of Grassland, 2012, 34(3): 42-47.

[30] Zhang J X, Cao G M, Zhou D, Hu Q B, Zhao X Q. The carbon storage and carbon cycle among the atmosphere, soil, vegetation and animal in the *Kobresia humilis* alpine meadow ecosystem. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(4): 627-634.

[31] Zou Y J, Ma F W, Han M Y, Wu Y W. Advance in research of effect and mechanism of higher soil compaction on plant growth. Agricultural Research in the Arid Areas, 2007, 25(6): 212-215.

[32] Wang S Q, Zhou C H. Estimating soil carbon reservior of terrestrial ecosystem in China. Geographical Research, 1999, 18(4): 349-356.

[33] Wu Y Q, Liu G H, Fu B J, Guo Y H. Study on the vertical distribution of soil organic carbon density in the Tibetan Plateau. Acta Scientiae Circumstantiae, 2008, 28(2): 362-367.

[34] Yang Y H, Fang J Y, Ma W H, Smith P, Mohammad A, Wang S P, Wang W. Soil carbon stock and its changes in northern China's grasslands from 1980s to 2000s. Global Change Biology, 2010, 16(11): 3036-3047.

[35] Zhong C, Yang Z F, Xia X Q, Hou Q Y, Jiang W. Estimation of soil organic carbon storage and analysis of soil carbon source/sink factors in Qinghai Province. Geoscience, 2012, 26(5): 896-909.

[36] Li H Y, Peng H C, Wang Q J. Study on the aboveground biomass of plant communities among the stages of regressive succession in alpine *Kobresia humilis* meadow. Acta Prataculturae Sinica, 2004, 13(5): 26-32.

[37] Liu Y H, Li X L, Li C H, Sun H Q, Lu G X, Pan G X. Vegetation decline and reduction of soil organic carbon stock in high-altitude meadow grasslands in the source area of three major rivers of China. Journal of Agro-Environment Science, 2009, 28(12): 2559-2567.

参考文献:

[1] 刘东生. 全球变化和可持续发展科学. 地学前缘, 2002, 9(1): 1-8.

[2] 朴世龙, 方精云, 黄耀. 中国陆地生态系统碳收支. 中国基础科学·研究进展, 2010, (2): 20-22.

[4] 陈重藩. 气候变化对植被和土壤的影响效应. 云南地理环境研究, 2010, 22(2): 39-42.

[5] 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. 科学通报, 1998, 43(6): 633-636.

[7] 王根绪, 程国栋, 沈永平. 青藏高原草地土壤有机碳库及其全球意义. 冰川冻土, 2002, 24(6): 693-700.

[8] 方精云, 刘国华, 徐嵩龄. 中国陆地生态系统的碳库 // 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.

[ 9 ] 张金霞, 曹广民, 周党卫, 胡启武, 赵新全. 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. 生态学报, 2003, 23(4): 627-633.

[ 10 ] 曹广民, 龙瑞军, 张法伟, 李以康, 林丽, 郭小伟, 韩道瑞, 李婧. 青藏高原高寒矮嵩草草甸碳增汇潜力估测方法. 生态学报, 2010, 30(23): 6591-6597.

[ 11 ] 周兴民, 赵新全, 曹广民. 中国嵩草草甸. 北京: 科学出版社, 2001.

[ 13 ] 曹广民, 杜岩功, 梁东营, 王启兰, 王长庭. 高寒嵩草草甸的被动与主动退化分异特征及其发生机理. 山地学报, 2007, 25(6): 641-648.

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

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

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

[ 17 ] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2000.

[ 19 ] 韩道瑞, 曹广民, 郭小伟, 张法伟, 李以康, 林丽, 李婧, 唐艳鸿, 古松. 青藏高原高寒草甸生态系统碳增汇潜力. 生态学报, 2011, 31(24): 7408-7417.

[ 20 ] 董全民, 赵新全, 马玉寿, 李青云, 王启基, 施建军. 牦牛放牧率和放牧季节对小嵩草高寒草甸土壤养分的影响. 生态学杂志, 2005, 24(7): 729-735.

[ 21 ] 董锁成, 周长进, 王海英. “三江源”地区主要生态环境问题与对策. 自然资源学报, 2002, 17(6): 713-720.

[ 22 ] 林丽, 曹广民, 李以康, 张法伟, 郭小伟, 韩道瑞. 人类活动对青藏高原高寒矮嵩草草甸碳过程的影响. 生态学报, 2010, 30(15): 4012-4018.

[ 26 ] 黄耀, 孙文娟, 张稳, 于永强. 中国陆地生态系统土壤有机碳变化研究进展. 中国科学: 生命科学, 2010, 40(7): 577-586.

[ 27 ] 陶贞, 沈承德, 高全洲, 孙彦敏, 易惟熙, 李英年. 高寒草甸土壤有机碳储量和 CO<sub>2</sub> 通量. 中国科学(D 辑): 地球科学, 2007, 37(4): 553-563.

[ 28 ] 陶贞, 沈承德, 高全洲, 孙彦敏, 易惟熙, 李英年. 高寒草甸土壤有机碳储量及其垂直分布特征. 地理学报, 2006, 61(7): 720-728.

[ 29 ] 林丽, 张法伟, 李以康, 韩道瑞, 郭小伟, 曹广民. 高寒矮嵩草草甸退化过程土壤碳氮储量及 C/N 化学计量学特征. 中国草地学报, 2012, 34(3): 42-47.

[ 30 ] 张金霞, 曹广民, 周党卫, 胡启武, 赵新全. 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. 生态学报, 2003, 23(4): 627-634.

[ 31 ] 邹养军, 马锋旺, 韩明玉, 吴亚维. 土壤紧实胁迫与植物抗胁迫响应机理研究进展. 干旱地区农业研究, 2007, 25(6): 212-215.

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

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

[ 35 ] 钟聪, 杨忠芳, 夏学齐, 侯青叶, 姜伟. 青海省土壤有机碳储量估算及其源汇因素分析. 现代地质, 2012, 26(5): 896-909.

[ 36 ] 李海英, 彭红春, 王启基. 高寒矮嵩草草甸不同退化演替阶段植物群落地上生物量分析. 草地学报, 2004, 13(5): 26-32.

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



ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34 ,No.2 Jan. ,2014 (Semimonthly)  
CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

Effects of soil texture on variations of paddy soil physical and chemical properties under continuous no tillage ..... GONG Dongqin, LÜ Jun (239)

Evaluation of the landscape patterns vulnerability and analysis of spatial correlation patterns in the lower reaches of Liaohe River Plain ..... SUN Caizhi, YAN Xiaolu, ZHONG Jingqiu (247)

Effects of light and dissolved oxygen on the phenotypic plasticity of *Alternanthera philoxeroides* in submergence conditions ..... XU Jianping, ZHANG Xiaoping, ZENG Bo, et al (258)

A review of the relationship between algae and bacteria in harmful algal blooms ..... ZHOU Jin, CHEN Guofu, ZHU Xiaoshan, et al (269)

Biodiversity and research progress on picophytoplankton in saline lakes ..... WANG Jiali, WANG Fang (282)

Effects of ozone stress on major plant physiological functions ..... LIE Ganwen, YE Longhua, XUE Li (294)

The current progress in rodents molecular phylogeography ..... LIU Zhu, XU Yanchun, RONG Ke, et al (307)

The progress in ecosystem services mapping: a review ..... ZHANG Liwei, FU Bojie (316)

Autecology & Fundamentals

Growth, and cationic absorption, transportation and allocation of *Elaeagnus angustifolia* seedlings under NaCl stress ..... LIU Zhengxiang, ZHANG Huaxin, YANG Xiuyan, et al (326)

Leaf morphology and PS II chlorophyll fluorescence parameters in leaves of *Sinosenecio jishouensis* in Different Habitats ..... XIANG Fen, ZHOU Qiang, TIAN Xiangrong, et al (337)

Response of change of wheat LAI measured with LAI-2000 to the radiance ..... WANG Yan, TIAN Qingjiu, SUN Shaojie, et al (345)

Effects of K<sup>+</sup> and Cr<sup>6+</sup> on larval development and survival rate of the acorn barnacle *Balanus reticulatus* ..... HU Yufeng, YAN Tao, CAO Wenhao, et al (353)

Diffusion of colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata*, adults in field ..... LI Chao, PENG He, CHENG Dengfa, et al (359)

Population, Community and Ecosystem

Seasonal variations in fish community structure in the Laizhou Bay and the Yellow River Estuary ..... SUN Pengfei, SHAN Xiujuan, WU Qiang, et al (367)

Variations in fish community structure and diversity in the sections of the central and southern Yellow Sea ..... SHAN Xiujuan, CHEN Yunlong, DAI Fangqun, et al (377)

Research on the difference in eutrophication state and indicator threshold value determination among lakes in the Southern Jiangsu Province, China ..... CHEN Xiaohua, LI Xiaoping, WANG Feifei, et al (390)

Effect of tidal creek system on the expansion of the invasive *Spartina* in the coastal wetland of Yancheng ..... HOU Minghang, LIU Hongyu, ZHANG Huabing (400)

The spatial and temporal variations of maximum light use efficiency and possible driving factors of Croplands in Jiangsu Province ..... KANG Tingting, GAO Ping, JU Weimin, et al (410)

Simulation of summer maize yield influenced by potential drought in China during 1961—2010 ..... CAO Yang, YANG Jie, XIONG Wei, et al (421)

Forest change and its impact on the quantity of oxygen release in Heilongjiang Province during the Past Century ..... ZHANG Lijuan, JIANG Chunyan, MA Jun, et al (430)

Soil macro-faunal guild characteristics at different successional stages in the Songnen grassland of China .....	LI Xiaoqiang, YIN Xiuqin, SUN Lina (442)
Seasonal dynamics of soil microbial biomass in six forest types in Xiaoxing'an Mountains, China .....	LIU Chun, LIU Yankun, JIN Guangze (451)
<b>Landscape, Regional and Global Ecology</b>	
Variation of drought and regional response to climate change in Huang-Huai-Hai Plain ...	XU Jianwen, JU Hui, LIU Qin, et al (460)
Wind speed changes and its influencing factors in Southwestern China .....	ZHANG Zhibin, YANG Ying, ZHANG Xiaoping, et al (471)
Characteristics of soil carbon density distribution of the <i>Kobresia humilis</i> meadow in the Qinghai Lake basin .....	CAO Shengkui, CHEN Kelong, CAO Guangchao, et al (482)
Life cycle assessment of carbon footprint for rice production in Shanghai .....	CAO Liming, LI Maobai, WANG Xinqi, et al (491)
<b>Research Notes</b>	
Seasonal changes of ground vegetation characteristics under artificial <i>Caragana intermedia</i> plantations with age in desert steppe .....	LIU Rentao, CHAI Yongqing, XU Kun, et al (500)
The experimental study on trans-regional soil replacement .....	JIN Yinghua, XU Jiawei, QIN Lijie (509)
Sensitivity analysis of swat model on changes of landscape pattern: a case study from Lao Guanhe Watershed in Danjiangkou Reservoir Area .....	WEI Chong, SONG Xuan, CHEN Jie (517)

# 《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 34 卷 第 2 期 (2014 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 2 (January, 2014)

**编 辑** 《生态学报》编辑部  
地址:北京海淀区双清路 18 号  
邮政编码:100085  
电话:(010)62941099  
www.ecologica.cn  
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

**主 编** 王如松

**主 管** 中国科学技术协会

**主 办** 中国生态学学会  
中国科学院生态环境研究中心  
地址:北京海淀区双清路 18 号  
邮政编码:100085

**出 版** 科 学 出 版 社  
地址:北京东黄城根北街 16 号  
邮政编码:100717

**印 刷** 北京北林印刷厂

**发 行** 科 学 出 版 社  
地址:东黄城根北街 16 号  
邮政编码:100717  
电话:(010)64034563  
E-mail: journal@cspg.net

**订 购** 全国各地邮局

**国外发行** 中国国际图书贸易总公司  
地址:北京 399 信箱  
邮政编码:100044

**广告经营** 京海工商广字第 8013 号

**许 可 证**

**Edited** by Editorial board of  
ACTA ECOLOGICA SINICA  
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China  
Tel: (010)62941099  
www.ecologica.cn  
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

**Editor-in-chief** WANG Rusong

**Supervised** by China Association for Science and Technology

**Sponsored** by Ecological Society of China  
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS  
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

**Published** by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China

**Printed** by Beijing Bei Lin Printing House,  
Beijing 100083, China

**Distributed** by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North  
Street, Beijing 100717, China  
Tel: (010)64034563  
E-mail: journal@cspg.net

**Domestic** All Local Post Offices in China

**Foreign** China International Book Trading  
Corporation  
Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China

