

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

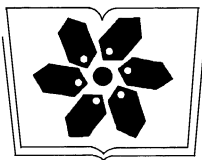
Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 14 期 Vol.32 No.14 **2012**

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 32 卷 第 14 期

2012 年 7 月 (半月刊)

目 次

海滨沙地砂引草对沙埋的生长和生理适应对策.....	王 进,周瑞莲,赵哈林,等 (4291)
外源 K ⁺ 和水杨酸在缓解融雪剂对油松幼苗生长抑制中的效应与机理 ...	张 莹,李法云,严 霞,等 (4300)
钱塘江中游流域不同空间尺度环境因子对底栖动物群落的影响.....	张 勇,刘朔孺,于海燕,等 (4309)
贡嘎山东坡非飞行小型兽类物种多样性的垂直分布格局.....	吴永杰,杨奇森,夏 霖,等 (4318)
基于斑块的红树林空间演变机理分析方法.....	李春干,刘素青,范航清,等 (4329)
亚热带六种天然林树种细根养分异质性.....	熊德成,黄锦学,杨智杰,等 (4343)
浙江省植被 NDVI 动态及其对气候的响应	何 月,樊高峰,张小伟,等 (4352)
亚热带 6 种天然林树种细根呼吸异质性.....	郑金兴,熊德成,黄锦学,等 (4363)
亚高山/高山森林土壤有机层氨氧化细菌和氨氧化古菌丰度特征	王 奥,吴福忠,何振华,等 (4371)
耕作方式对紫色水稻土轻组有机碳的影响.....	张军科,江长胜,郝庆菊,等 (4379)
火烧对长期封育草地土壤碳固持效应的影响.....	何念鹏,韩兴国,于贵瑞,等 (4388)
闽江河口潮汐湿地二氧化碳和甲烷排放化学计量比.....	王维奇,曾从盛,仝 川,等 (4396)
2010 年夏季珠江口海域颗粒有机碳的分布特征及其来源	刘庆霞,黄小平,张 霞,等 (4403)
新疆冷泉沉积物葡萄糖利用细菌群落多样性的稳定同位素标记分析.....	楚 敏,王 芸,曾 军,等 (4413)
土壤微生物群落多样性解析法:从培养到非培养.....	刘国华,叶正芳,吴为中 (4421)
伊洛河河岸带生态系统草本植物功能群划分	郭屹立,卢训令,丁圣彦 (4434)
濒危植物蒙古扁桃不同地理种群遗传多样性的 ISSR 分析	张 杰,王 佳,李浩宇,等 (4443)
强潮区较高纬度移植红树植物秋茄的生理生态特性.....	郑春芳,仇建标,刘伟成,等 (4453)
冬季高温对白三叶越冬和适应春季“倒春寒”的影响	周瑞莲,赵 梅,王 进,等 (4462)
中亚热带细柄阿丁枫和米槠群落细根的生产和死亡动态.....	黄锦学,凌 华,杨智杰,等 (4472)
欧美杨水分利用效率相关基因 <i>PdEPF1</i> 的克隆及表达	郭 鹏,金 华,尹伟伦,等 (4481)
再力花地下部水浸提液对几种水生植物幼苗的化感作用.....	缪丽华,王 媛,高 岩,等 (4488)
无致病力青枯雷尔氏菌对烟草根系土壤微生物脂肪酸生态学特性的影响.....	郑雪芳,刘 波,蓝江林,等 (4496)
基于更新和同化策略相结合的遥感信息与水稻生长模型耦合技术的研究.....	王 航,朱 艳,马孟莉,等 (4505)
温度和体重对克氏双锯鱼仔鱼代谢率的影响.....	叶 乐,杨圣云,刘 敏,等 (4516)
夏季西南印度洋叶绿素 a 分布特征.....	洪丽莎,王春生,周亚东,等 (4525)
大沽排污河生态修复河道水质综合评价及生物毒性影响.....	王 敏,唐景春,朱文英,等 (4535)
李肖叶甲成虫数量及三维空间格局动态.....	汪文俊,林雪飞,邹运鼎,等 (4544)
专论与综述	
基于景观格局的城市热岛研究进展	陈爱莲,孙然好,陈利顶 (4553)
沉积物质量评价“三元法”及其在近海中的应用	吴 斌,宋金明,李学刚,等 (4566)
问题讨论	
中国餐厨垃圾处理的现状、问题和对策	胡新军,张 敏,余俊锋,等 (4575)
研究简报	
稻秸蓝藻混合厌氧发酵沼液及其化学物质对尖孢镰刀菌西瓜专化型生长的影响.....	刘爱民,徐双锁,蔡 欣,等 (4585)
佛山市农田生态系统的生态损益.....	叶延琼,章家恩,秦 钟,等 (4593)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 314 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 33 * 2012-07



封面图说: 噶龙山南坡的高山湖泊——喜马拉雅山南坡的噶龙山光照强烈、雨量充沛,尽管是海拔 4500 多米的高寒地区,山上的草甸依然泛着诱人的翠绿色,冰川和雪山的融水汇集在山梁的低洼处形成了一个又一个的高山湖泊,由于基底的差别和水深的不同,使得纯净清澈的冰雪融水在湖里呈现出不同的颜色,湖面或兰或绿,颜色或深或浅,犹如一块块通透透明的翡翠镶嵌在绿色的绒布之中。兰天下面,白云落在山间,通往墨脱的公路像丝带一样随随便便地缠绕着,一幅美丽的自然生态画卷就这样呈现在你的面前。

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

DOI: 10.5846/stxb201106270956

何念鹏, 韩兴国, 于贵瑞, 代景忠. 火烧对长期封育草地土壤碳固持效应的影响. 生态学报, 2012, 32(14): 4388-4395.

He N P, Han X G, Yu G R, Dai J Z. Effects of prescribed fire on carbon sequestration of long-term grazing-excluded grasslands in Inner Mongolia. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(14): 4388-4395.

火烧对长期封育草地土壤碳固持效应的影响

何念鹏^{1,2,*}, 韩兴国², 于贵瑞¹, 代景忠³

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 生态系统网络观测与模拟重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院植物研究所, 植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093; 3. 内蒙古农业大学, 呼和浩特 010018)

摘要: 火烧是内蒙古典型草原的自然现象, 对长期封育草地碳固持效应具有潜在的重要影响。基于野外控制火烧实验(未火烧、1a 火烧 1 次、2a 火烧 1 次、4a 火烧 1 次), 采用土壤和土壤粒级组分相结合的指标体系, 分析了火烧以及火烧频率对长期封育草地土壤碳贮量的影响。结果表明: 火烧会降低长期封育草地 0—30 cm 土壤碳贮量; 其中, 频繁火烧将显著降低草地土壤碳贮量, 而 4a 1 次的火烧对土壤碳贮量影响较小。火烧对 0—10 cm 土壤碳贮量影响明显, 而对 10—30 cm 土层影响较小。此外, 火烧对长期封育草地土壤砂粒和粉粒碳氮贮量影响较大、对粘粒碳氮贮量影响较小。火烧后表层土壤砂粒和粉粒 C:N 比下降, 表层土壤有机质的稳定性有所提高。与自由放牧草地相比, 连续遭受火烧处理的长期封育草地仍具有较高的碳贮量。总之, 火烧会一定程度降低长期封育草地的碳贮量, 但并不会彻底改变其显著的碳固持效应。

关键词: 草地; 封育; 火烧; 粒级; 碳贮存; 碳固持

Effects of prescribed fire on carbon sequestration of long-term grazing-excluded grasslands in Inner Mongolia

HE Nianpeng^{1,2,*}, HAN Xingguo², YU Guirui¹, DAI Jingzhong³

1 Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China

2 Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China

3 Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China

Abstract: Natural and prescribed fires are common in the typical temperate grasslands in Inner Mongolia and are considered to have a significant impact on the terrestrial ecosystems and even on regional carbon (C) balance because they profoundly alter the biota, land cover, and biogeochemical cycles. Natural and prescribed fires may play important roles and increase the uncertainty in the evaluation of C sequestration in the long-term grazing-excluded grasslands in this region.

By conducting a field fire experiment at 4 different frequencies (no burning, and burning every 1, 2, and 4 years) and measuring the C and nitrogen (N) storage in both soil and soil particle-size fractions, researchers have investigated the effects of fire and fire regimes on soil C and N storage in the long-term grazing-excluded grasslands in Inner Mongolia, China. Understanding the effects of fire on soil C storage would help us scientifically evaluate C sequestration of long-term fenced grasslands under different fire regimes in the future.

The results of the 4-year prescribed fire experiment showed that fire treatment significantly decreased C storage in the 0- to 30cm soil layer in the approximately 30-year fenced grassland, particularly under frequent fire perturbation. Moreover, the influence of prescribed fire was more apparent in the 0 to 10cm soil layer than in the 10 to 30cm layer. We also found

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31070431 和 40803024); 国家基础研究发展计划项目(2010CB833504)

收稿日期: 2011-06-27; **修订日期:** 2012-03-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: henp@igsrr.ac.cn

that prescribed fire had an apparent influence on soil organic C in different soil particlesize fractions; the decline of C storage in the sand fraction was higher than that in the silt and silt fractions, indicating that prescribed fire redistributed the organic C in the sand, silt, and clay fractions and significantly affected the stability of soil organic matter (SOM). Compared to freegrazing grasslands outside the fences, long-term fenced grasslands of northern China were found to have tremendous capacity to sequester C in soil, even when these were subjected to different fire regimes.

To summarize, fire and fire regimes have significant effect on C storage in soil and soil fractions in these long-term grazingexcluded grasslands in Inner Mongolia; frequent fire significantly decreased soil C storage, and lowfrequency fire (burning every 4 years) decreased soil C storage to a lesser extent. Importantly, the stability of SOM in the surface layer was enhanced after burning in view of the decrease in the C:N ratio in the sand and silt fractions. Compared to the unburned grasslands, the grasslands exposed to lowfrequency burning showed a decrease in soil C storage to a less extent and simultaneous enhancement in SOM stability; therefore, we suggest that lowfrequency fire should, to some extent, be a useful management approach for increasing C storage in these long-term-grazingexcluded grasslands in Inner Mongolia.

Key Words: grassland; grazing exclusion; prescribed fire; soil fractions; carbon storage; carbon sequestration

内蒙古温带草地是巨大的碳库、同时也是潜在的重要碳汇^[1]。自 2001 年以来,中央政府和各级地方政府对该地区天然草地实施了大面积封育措施;在这些长期封育草地中,草地植被和土壤逐渐恢复,草地碳贮量显著增加并表现出明显的碳汇功能^[2-5]。目前,大多数科学家在研究长期封育草地碳汇功能时,常常忽略火烧扰动的潜在影响。随着封育年限的增长,封育草地的地表可燃物显著增加,长期封育草地发生火烧的机率和强度均会明显增加^[6];因此,人们不可能在大面积封育草地内长期杜绝火烧干扰的发生。长期封育草地一旦发生火烧必将是高强度火烧干扰,将剧烈改变长期封育草地的植被、地表覆盖状况和生物地球化学过程等,从而对生态系统碳循环与碳贮存产生重要影响^[7]。因此,准确评估长期封育草地的碳固持效应应考虑到这些新增碳贮量能否经受一次或多次火烧干扰,或经过火烧干扰后还能存留多少。

自 20 世纪 60 年代以来,科学家已广泛认识到火烧或计划火烧对维持生态系统结构和功能的重要意义,在某些地区还将计划火烧作为生态系统管理手段广为利用^[6, 8-11]。长期以来,火烧一直是内蒙古典型草地重要的扰动因素之一,我国科学家围绕火烧对内蒙古典型草地群落结构、生产力和生物多样性开展了一系列研究工作^[10-11]。然而,在陆地生态系统碳固持效应研究如火如荼开展的今天,仍未见火烧对内蒙古地区长期封育草地碳固持效应的影响的研究报道。近年来,科学家广泛采用土壤物理组分分级的技术手段来研究土地利用变化或各种干扰对土壤碳库及其周转的影响^[12-13];土壤物理组分(砂粒、粉粒和粘粒)的砂粒对各种扰动的反应非常迅速,常作为重要指标来分析土壤有机质周转、土壤碳固持效应及其稳定性等^[12, 14-18]。

总之,在科学地评估内蒙古地区长期封育草地的碳固持效应时应考虑火烧扰动的潜在影响,否则可能高估其碳固持效应。基于锡林河流域已封育 23a 的温带草地,本研究设置了不同火烧频率的野外控制实验,从土壤和土壤物理组分相结合的角度,探讨了火烧对长期封育草地土壤碳贮量的影响,其研究结论将为准确科学评估长期封育草地的碳固持效应提供科学依据。

1 实验方法

1.1 实验样地与实验处理

野外实验在中国科学院内蒙古草原生态系统定位研究站的退化恢复实验样地内进行,该实验样地原为退化草地,自 1984 年开始围栏封育至今。目前,优势植物为羊草(*Leymus chinensis*),大针茅(*Stipa grandis*),黄囊苔草(*Carex korshinskyi*)和糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)。土壤为暗栗钙土。关于该样地的植被和土地利用历史,请参见相关参考文献^[19-20]。

火烧实验于 2006 年开始,包括 4 种火烧频度:未火烧(F0)、每 4a 火烧 1 次(F1)、每 2a 火烧 1 次(F2)和每年火烧 1 次(F4);每种火烧频率试验重复 5 次,共有 20 个实验小区。实验小区规模 10 m × 10 m,各小区

间隔 1 m。根据前人的研究结论,春季是内蒙古地区典型草原发生火烧的高发季节^[10-11],因此本实验的火烧处理在每年 5 月初进行。其中,F0 为未火烧草地、F1 仅在 2006 年火烧 1 次、F2 分别在 2006 年和 2008 年火烧 2 次、F4 分别在 2006、2007、2008、2009 年共火烧 4 次。

1.2 野外取样

野外取样于 2009 年 8 月中旬进行,首先齐地面剪取地上生物量(不分物种的混合样);根据前人的研究结论,这一时期是该地区草地地上生物量最大的时期,因此本研究将所获得的地上生物量作为草地地上净初级生产力。随后,对地表凋落物进行了收集。在地上生物量调查的样方内,采用土钻法进行土壤取样,每个实验小区取 3 钻混合土壤样品,分 0—10 cm 和 10—30 cm 进行收集;土壤样品在阴凉通风处风干。采用环刀法对 0—10 cm、10—20 cm 和 20—30 cm 土壤容重进行分层测定(每种实验处理重复 3 次)。所获得的生物和凋落物样品在 65 °C 烘干至恒重后称重。

1.3 样品分析

为了探讨实验处理对草地土壤碳组分的影响,对 0—10 cm 和 10—30 cm 土壤进行了物理粒级分析,将土壤分为砂粒(53—2000 μm)、粉粒(2—53 μm)和粘粒(< 2 μm)3 个组分。土壤粒级分析简要过程:称取过 2 mm 筛土壤样品 50 g 放入烧杯,加入 250 mL 蒸馏水,经超声波处理后,用筛分方法分离砂粒和粗粉粒(20—53 μm);再通过不同转速离心的方法得到细粉粒(2—20 μm)和粘粒(< 2 μm);其中粗粉粒和细粉粒混合后获得粉粒样品。土壤粒级样品经 50 °C 烘干称重^[5,21]。

经过预处理和粉碎的土壤(粒级)样品,采用重铬酸钾氧化-外加加热法测定有机碳含量(%);采用半微量凯氏定氮法测定氮含量(%)。

1.4 数据计算与统计

为了便于比较,土壤碳(soil organic carbon (SOC), g C/m²)和氮贮量(Soil total nitrogen (STN), g N m⁻²)均换算为表面积 1 m² 的碳氮贮量;不同土层碳氮贮量均换算为 10 cm 土壤深度的数据,单位分别为 g C/m² 和 g N/m²。计算公式如下:

$$\text{SOC} = \sum D_i \times B_i \times OM_i \times S \quad (1)$$

$$\text{STN} = \sum D_i \times B_i \times TN_i \times S \quad (2)$$

式中, D_i 、 B_i 、 OM_i 、 TN_i 、 S 和 i 分别代表土层厚度(cm)、土壤容重(g/cm³)、有机碳含量(%)、氮含量(%)、取样面积(cm⁻²)和土层($i = 1, 2$)。

在计算土壤粒级碳(g C/m²)和土壤粒级氮(g N/m²)时,计算公式如下:

$$C_{\text{storage}}(\text{fraction}_i) = C_{\text{Conc.}}(\text{fraction}_i) \times M_i \times B \times D \times S \div 100 \quad (3)$$

$$N_{\text{storage}}(\text{fraction}_i) = N_{\text{Conc.}}(\text{fraction}_i) \times M_i \times B \times D \times S \div 100 \quad (4)$$

式中, $C_{\text{Conc.}}$ 是土壤粒级碳含量(g C/kg), $N_{\text{Conc.}}$ 是土壤粒级氮含量(g N/kg), M 是土壤粒级的含量(g/kg), D 是土层厚度(cm), S 是面积(m²)。

此外,通过与围栏外自由放牧草地的数据进行对比^[22],初步评估了不同火烧频率下长期封育草地的土壤碳固持能力。本研究采用单因素方差分析(one-way ANOVA)检验不同火烧频率对土壤碳氮贮量是否具有显著效应,并采用 Duncan 多重比较进行进一步的差异性检验。数据为平均值 ± 1 标准差($n = 5$),显著性水平为 $P = 0.05$,所有统计分析均使用 SPSS 11.0 完成。

2 实验结果

2.1 不同火烧频率对草地生物量和凋落物的影响

从数据上看低频率火烧(F1)地上净初级生产力更高一些,但火烧处理并未显著提高草地地上净初级生产力(图 1)。此外,随着火烧频率的增加,地表凋落物显著下降($P < 0.01$)。

2.2 不同火烧频率对土壤容重和土壤粒级组成的影响

火烧显著提高了 0—10 cm 土壤容重,每年火烧 1 次样地(F4)显著高于未火烧样地(F0) ($P < 0.01$)。在

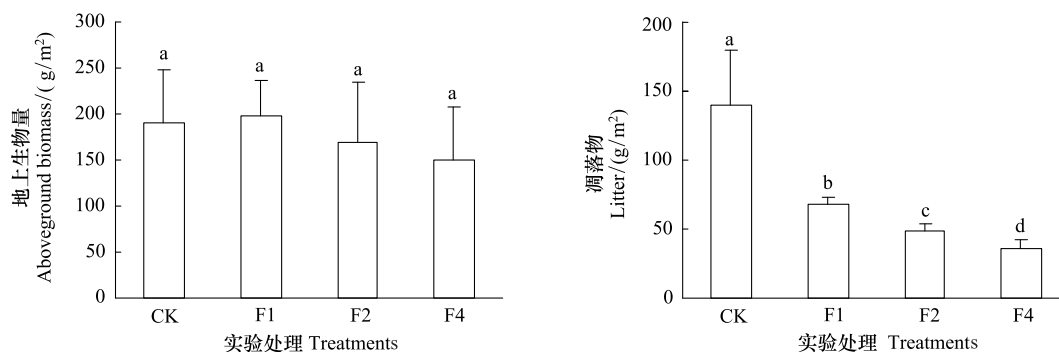


图1 火烧对长期封育草地上生物量和凋落物量的影响

Fig.1 Effect of prescribed fire on aboveground biomass and litter in long-term fenced grasslands

F1: 每4a 火烧1次草地; F2: 每2a 火烧1次草地; F4: 每年火烧a次草地; 图中具有相同小写字母则表示处理间差异不显著 ($P < 0.05$)

10—30 cm 土层, 火烧对土壤容重无显著影响(表1)。火烧对0—10 cm 和10—30 cm 土壤砂粒、粉粒和粘粒含量均无显著影响。

表1 火烧对草地土壤容重和颗粒组分的影响

Table 1 Effect of prescribed fire on bulk density and soil physical fractions of grassland

土壤深度/cm Soil depth	实验处理 Treatments	土壤容重 Bulk density /(g/cm³)	土壤颗粒组分 Soil particle-size fractions		
			砂粒 Sand (53—2000 μm) /(g/kg 土壤)	粉粒 Silt (2—53 μm) /(g/kg 土壤)	粘粒 Clay (<2 μm) /(g/kg 土壤)
0—10	未火烧草地 (F0)	1.36 ± 0.03 a	792.43 ± 27.70 a	162.71 ± 28.08 a	44.86 ± 9.56 a
	4a 火烧1次 (F1)	1.38 ± 0.02 ab	789.20 ± 41.48 a	169.16 ± 36.99 a	41.64 ± 6.80 a
	2a 火烧1次 (F2)	1.38 ± 0.02 ab	795.10 ± 16.82 a	161.53 ± 13.67 a	43.36 ± 7.00 a
	1a 火烧1次 (F4)	1.40 ± 0.02 b	805.92 ± 37.26 a	148.63 ± 45.25 a	45.46 ± 8.19 a
10—30	未火烧草地 (F0)	1.47 ± 0.01 a	838.07 ± 5.68 a	123.52 ± 12.38 a	38.41 ± 10.39 a
	4a 火烧1次 (F1)	1.45 ± 0.05 a	832.72 ± 24.17 a	128.01 ± 22.33 a	39.26 ± 5.91 a
	2a 火烧1次 (F2)	1.48 ± 0.02 a	840.55 ± 12.14 a	121.72 ± 17.25 a	37.74 ± 6.49 a
	1a 火烧1次 (F4)	1.47 ± 0.02 a	837.22 ± 17.33 a	124.11 ± 16.55 a	38.67 ± 7.49 a

数据为平均值 ± 1 SD ($n = 5$); 同一组数据中具有相同的小写字母则表示差异不显著 ($P < 0.05$)

2.3 不同火烧频率对草地土壤碳氮贮量的影响

火烧对0—10 cm 草地土壤碳贮量的影响较为明显, 但对10—30 cm 土层碳贮量影响较小。随着火烧频率的增加, 0—10 cm 土壤碳贮量逐渐降低, 未火烧样地 (F0) 显著高于每年火烧1次样地 (F4, 图2)。在10—30 cm 土层, 草地土壤碳贮量也随着火烧频率增加而逐渐降低, 但未达到 $P = 0.05$ 的显著水平。整体而言, 长期封育草地0—30 cm 土壤碳贮量随着火烧频率的增加而逐渐降低, 但即使连续4a 火烧草地与未火烧草地间差异仍不显著。火烧处理对0—10 cm 和10—30 cm 土壤的氮贮量的影响不显著(图3)。

2.3.3 不同火烧频率扰动下长期封育草地土壤碳/氮固持效应

长期封育草地碳固持效应受火烧频率的影响非常明显, 随着火烧频率的增强, 封育草地碳固持能力显著下降(图4)。以围栏外放牧草地为基准^[22], 草地封育27a 后0—30 cm 土壤碳固持量为1213 g C/m² (F0); 而当其连续4a 遭受火烧干扰后, 仍能固持532 g C/m²; 因此, 长期封育草地在遭受火烧干扰状况下仍表现出较强的碳氮固持能力, 即长期封育后草地土壤碳固持在遭到连续火烧不会消失。

2.4 不同火烧频率对长期封育草地土壤粒级组分碳氮贮量的影响

2.4.1 不同火烧频率对草地土壤粒级碳贮量的影响

火烧降低了0—10 cm 草地土壤砂粒碳贮量, 但不同处理间差异不显著; 另外, 火烧处理对10—30 cm 土壤

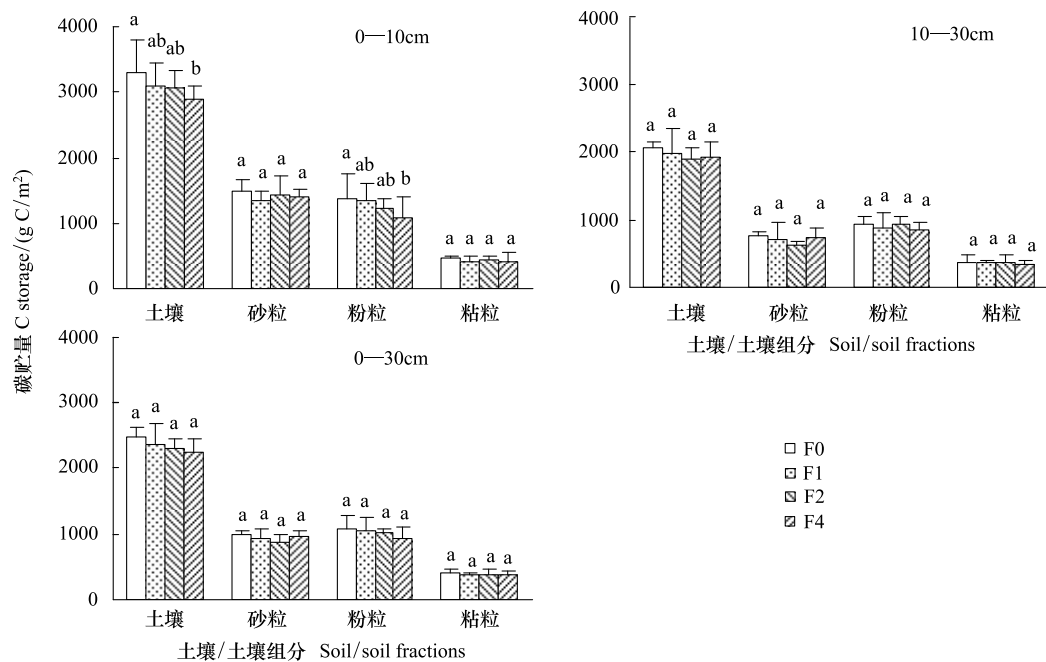


图2 火烧对长期封育草地土壤和土壤物理组分碳贮量的影响

Fig. 2 Effects of prescribed fire on carbon (C) storage in soil and soil particle-size fractions in long-term fenced grasslands

数据是按 10 cm 土层标准化的平均值 $\pm$ 1 SD ($n = 5$); 同一组数据具有相同小写字母则表示差异不显著 ($P < 0.05$)

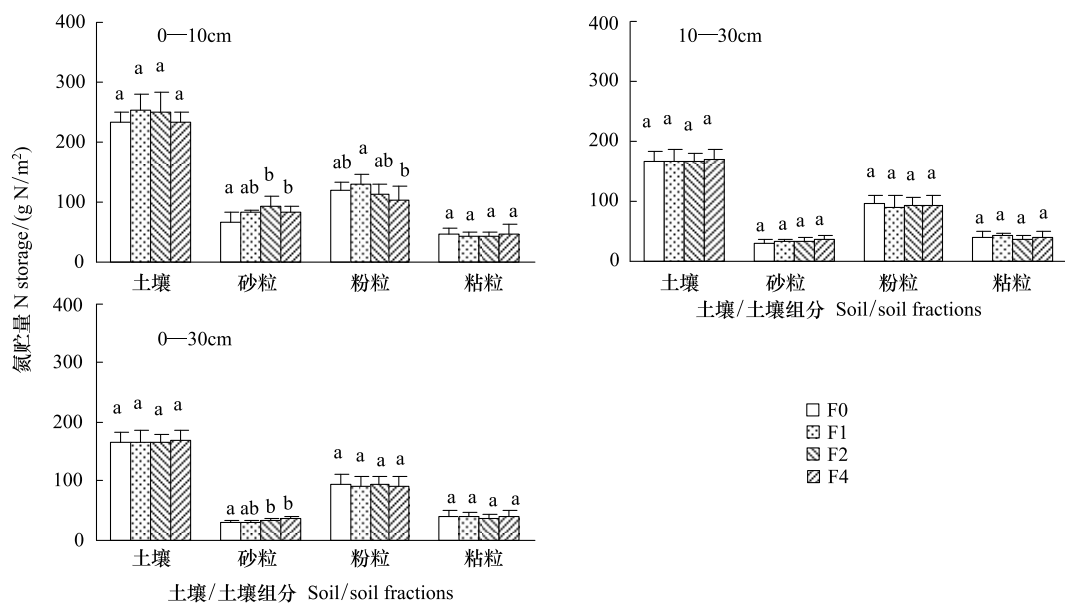


图3 火烧对长期封育草地土壤和土壤物理组分氮贮量的影响

Fig. 3 Effects of prescribed fire on Nitrogen (N) storage in soil and soil particle-size fractions in long-term fenced grasslands

数据是按 10 cm 土层标准化的平均值 $\pm$ 1 SD ($n = 5$); 同一组数据具有相同小写字母则表示差异不显著 ($P < 0.05$)

砂粒碳贮量的影响较小(图2)。0—10 cm 和 10—30 cm 土壤粉粒碳贮量随着火烧频率增加而逐渐下降,但均未达到 $P = 0.05$ 的显著差异水平;此外,火烧处理对土壤粘粒含量的影响相对较小。

2.4.2 不同火烧频率对草地土壤粒级氮贮量的影响

火烧处理显著地改变了 0—10 cm 土壤砂粒氮贮量,其中 F2 和 F4 显著高于 F0 ($P < 0.05$); 0—10 cm 土壤粉粒氮贮量表现为 F1 显著高于 F4(图3)。在 10—30 cm 土层,火烧对土壤砂粒、粉粒和粘粒氮贮量的影响

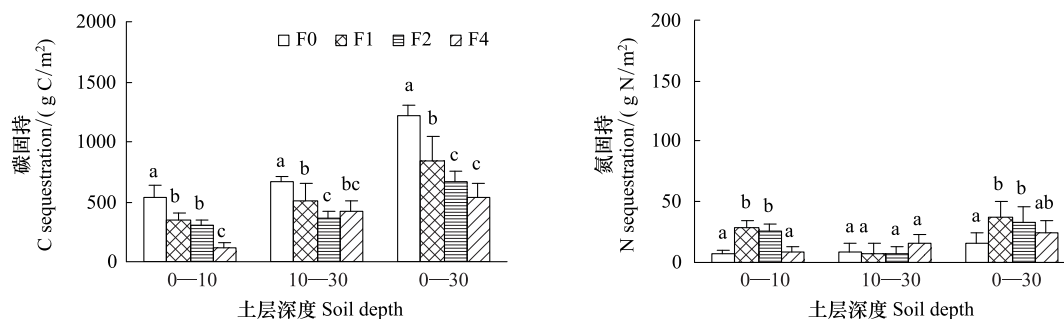


图4 火烧对长期封育草地土壤碳氮固持的影响

Fig. 4 Effects of prescribed fire on the C and N sequestration of long-term grazing exclusion grasslands

图中数据为本研究实验数据与围栏外自由放牧草地数据之差,其中自由放牧草地数据引自文献^[5];同一组数据具有相同小写字母则表示差异不显著 ($P < 0.05$)

不显著。

2.5 不同火烧频率对草地土壤 C:N 的影响

与未火烧草地相比,火烧显著降低了 0—10 cm 和 10—30 cm 土壤 C:N 比(表 2)。同时,火烧显著降低了 0—10 cm 土壤砂粒 C:N 比,但对 0—10 cm 土壤粉粒和粘粒 C:N 影响不显著;此外,火烧不同程度地降低了 10—30 cm 土壤砂粒、粉粒和粘粒 C:N 比值。

表 2 火烧对长期封育草地土壤和土壤组分 C:N 比的影响

Table 2 Effect of prescribed fire on C:N ratios in soil and soil particle-size fractions in the long-term fenced grasslands

土壤深度 Soil depth	实验处理 Treatment	C:N 比率 C:N ratios			
		土壤 Soil	砂粒 Sand (53—2000 μm)	粉粒 Silt (2—53 μm)	粘粒 Clay ($< 2 \mu\text{m}$)
0—10 cm	未火烧草地 (CK)	14.8 $\pm$ 2.7 a	24.9 $\pm$ 8.4 a	11.6 $\pm$ 1.8 a	10.8 $\pm$ 2.9 a
	4a 火烧 1 次 (F1)	12.2 $\pm$ 0.3 b	16.5 $\pm$ 2.0 b	10.3 $\pm$ 0.9 a	9.5 $\pm$ 0.7 a
	2a 火烧 1 次 (F2)	12.2 $\pm$ 0.9 b	15.0 $\pm$ 1.1 b	10.8 $\pm$ 1.9 a	10.0 $\pm$ 1.5 a
	1a 火烧 1 次 (F4)	13.6 $\pm$ 2.4 ab	18.4 $\pm$ 3.3 b	11.6 $\pm$ 2.3 a	9.4 $\pm$ 1.5 a
10—30 cm	未火烧草地 (CK)	14.1 $\pm$ 2.1 a	28.0 $\pm$ 6.7 a	11.1 $\pm$ 1.5 a	10.6 $\pm$ 2.8 a
	4a 火烧 1 次 (F1)	12.3 $\pm$ 0.6 ab	22.8 $\pm$ 5.0 ab	10.0 $\pm$ 0.8 ab	9.3 $\pm$ 0.9 a
	2a 火烧 1 次 (F2)	10.9 $\pm$ 0.8 b	17.5 $\pm$ 2.2 b	9.3 $\pm$ 0.6 b	9.1 $\pm$ 1.7 a
	1a 火烧 1 次 (F4)	10.8 $\pm$ 1.8 b	20.3 $\pm$ 9.6 ab	8.9 $\pm$ 1.6 b	8.3 $\pm$ 1.3 a

数据是平均值 $\pm$ 1 SD ($n = 5$); 同一组数据中具有相同的小写字母则表示差异不显著

3 结论与讨论

火烧降低了长期封育草地 0—30 cm 土壤碳贮量,且火烧效应在 0—10 cm 土层比 10—30 cm 土层更强。火烧显著地降低了地表凋落物量、改变了草地的地表覆盖状况^[23-24];因此,火烧通过改变地表水热状况、温度、水分、氮矿化和灰烬营养元素输入等途径,降低了通过地表凋落物途径的土壤碳输入,从而对草地碳贮量形成重要影响。短期内,火烧可增加土壤 N 可获得性;但从长期角度看,频繁火烧将降低土壤 N 可获得性、N 矿化率和土壤水分等^[25-27]。所有这些因素,共同决定了火烧扰动下长期封育草地碳固持效应远比未发生火烧扰动时低。

火烧处理对长期封育草地的土壤有机碳组分具有重要影响。火烧对土壤粒级碳氮的影响主要表现在砂粒和粉粒,对粘粒的影响相对较小,从而显著地改变了土壤有机碳的分配格局。在草地封育过程中,土壤沙粒碳贮量增长对整个土壤碳累积具有重要的作用;在 0—10 cm 土层,碳贮量增长更多源于沙粒碳贮量的增长,而随着土层深度的增加,粉粒和粘粒扮演着更重要的作用^[5,21]。相关的研究也表明:当草原转化为农田、森林

转化为农田和森林转化为人工草地时,表层土壤砂粒有机碳含量显著降低,而粘粒和粉粒有机碳含量变化不显著^[28]。此外,前人的研究也指出:不同的种植制度和耕作方式对土壤砂粒组分有机碳影响最大,而对粘粒组分的影响较小^[18,29-30],其影响程度甚至还与土壤特性和空间位置有关^[31]。

火烧处理虽然一定程度上降低了长期封育草地 0—30 cm 土壤碳固持总量,但仍未改变长期封育草地的碳固持效应。频繁火烧使长期封育草地土壤碳贮量显著下降,适度火烧(每 4a 火烧 1 次)对草地土壤碳贮量的影响较小。从土壤粒级角度分析,火烧处理对表层土壤碳的影响主要发生砂粒;火烧处理后,表层土壤砂粒和粉粒的 C:N 显著降低,表层土壤有机质的稳定性有所增加。因此,从有机碳贮量和有机质稳定性角度综合考虑,适度火烧可能是草地碳管理的有效措施之一,但仍需进一步深入研究。事实上,火烧是内蒙古典型草原生态系统的自然现象,从长时间尺度而言,完全消除火烧是不可能的;尤其是随着退化草地生态系统逐渐恢复,草地地表可燃物累积量逐渐增多,草地发生火灾的机率或风险均随之增强。因此,未来应更加深入地研究火烧对内蒙古典型草地碳固持效应及其稳定性的影响;同时,提倡适度火烧,避免因剧烈火烧给长期封育草地土壤碳库造成巨大损失。总之,火烧扰动不会改变长期封育草地巨大的碳固持能力,即使在发生火烧扰动的情况下,长期封育草地仍具有较大的碳汇效应。

References:

- [1] Fang J Y, Yang Y H, Ma W H, Mammatt A, Shen H H. Ecosystem carbon stocks and their changes in China's grasslands. *Science China Life Sciences*, 2010, 53(7): 757-765.
- [2] Zhou Z Y, Sun O J, Huang J H, Li L H, Liu P, Han X G. Soil carbon and nitrogen stores and storage potential as affected by land-use in an agropastoral ecotone of northern China. *Biogeochemistry*, 2007, 82(2): 127-138.
- [3] Wu L, He N, Wang Y, Han X. Storage and dynamics of carbon and nitrogen in soil after grazing exclusion in *Leymus chinensis* grasslands of northern China. *Journal of Environmental Quality*, 2008, 37(2): 663-668.
- [4] He N P, Yu Q, Wu L, Wang Y S, Han X G. Carbon and nitrogen store and storage potential as affected by land-use in a *Leymus chinensis* grassland of northern China. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40(12): 2952-2959.
- [5] He N P, Zhang Y H, Yu Q, Chen Q S, Pan Q M, Zhang G M, Han X G. Grazing intensity impacts soil carbon and nitrogen storage of continental steppe. *Ecosphere*, 2011, 2(1), art8, doi: 10.1890/ES1810-00017.00011.
- [6] Zhou D W. Method for determining fire cycle in treeless meadow grasslands. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, 15(1): 61-65.
- [7] IPCC. IPCC WGI fourth assessment report. Climate change 2007: the physical science basis. Geneva, Switzerland, 2007.
- [8] Bond W J, Keeley J E. Fire as a global 'herbivore': the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution*, 2005, 20(7): 387-394.
- [9] Blair J M. Fire, N availability, and plant response in grasslands: a test of the transient maxima hypothesis. *Ecology*, 1997, 78(8): 2359-2368.
- [10] Li Z H, Jiang Q. The effects of fire on the nutrient states of steppe soil. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Neimongol*, 1994, 25(4): 444-449.
- [11] Zhou D W, Zhang Z S. Grassland fire and its ecological significance. *Grassland of China*, 1996, 18(2): 73-76.
- [12] Christensen B T. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. *European Journal of Soil Science*, 2001, 52(3): 345-353.
- [13] Olk D C, Gregorich E G. Overview of the symposium proceedings, "Meaningful pools in determining soil carbon and nitrogen dynamics". *Soil Science Society of America Journal*, 2006, 70(3): 967-974.
- [14] Pan G X, Zhou P, Li L Q, Zhang X L. Core issues and research progresses of soil science of C sequestration. *Acta Pedologica Sinica*, 2007, 44(2): 327-337.
- [15] Liu M Q, Hu F, Chen X Y. A review on mechanisms of soil organic carbon stabilization. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(6): 2642-2650.
- [16] Su Y Z. Soil carbon and nitrogen sequestration following cropland to forage grassland conversion in the marginal land in the middle of heihe River Basin, northwest China. *Environmental Science*, 2006, 27(7): 1312-1318.
- [17] Wang Q K, Wang S L, Feng Z W, Huang Y. Active soil organic matter and its relationship with soil quality. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3): 513-519.
- [18] Tang G M, Xu W L, Sheng J D, Liang Z, Zhou B, Zhu M. The variation of soil organic carbon and soil particle-size in xinjiang oasis farmland of different years. *Acta Pedologica Sinica*, 2010, 47(2): 279-285.
- [19] Wang W, Liu Z L, Hao D Y, Liang C Z. 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 Phytocologica Sinica*, 1996, 20(5): 449-459.
- [20] Wang W, Liang C Z, Liu Z L, Hao D Y. Mechanism of degradation succession in *Leymus chinensis*+*Stipa grandis* steppe community. *Acta*

- Phytoecologica Sinica, 2000, 24(4): 468-472.
- [21] He N P, Wu L, Wang Y S, Han X G. Changes in carbon and nitrogen in soil particle-size fractions along a grassland restoration chronosequence in northern China. *Geoderma*, 2009, 150(3/4): 302-308.
- [22] He N P, Han X G, Yu G R. Carbon and nitrogen sequestration rate in long-term fenced grasslands in Inner Mongolia, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(15): 4270-4276.
- [23] Zhou D W, Jiang S C, Guo P, Zhou W. Burning effects on soil nutrients in a Hulunbeier grassland. *Journal of Northeast Normal University: Natural Science Edition*, 1999, 31(1): 111-117.
- [24] Tian S Y, Zhou D W, Sun G, Zhou W. Changes of soil physical characters following grassland burning in a Hulunbeier steppe. *Journal of Northeast Normal University: Natural Science Edition*, 1999, 31(1): 107-110.
- [25] Cui Q, Lü X T, Wang Q B, Han X G. Nitrogen fertilization and fire act independently on foliar stoichiometry in a temperate steppe. *Plant and Soil*, 2010, 334(1/2): 209-219.
- [26] Zhou L S, Huang J H, Lü F M, Han X G. Effects of prescribed burning and seasonal and interannual climate variation on nitrogen mineralization in a typical steppe in Inner Mongolia. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(4): 796-803.
- [27] Yuan Z Y, Li L H, Han X G, Chen S P, Wang Z W, Chen Q S, Bai W M. Nitrogen response efficiency increased monotonically with decreasing soil resource availability: a case study from a semiarid grassland in northern China. *Oecologia*, 2006, 148(4): 564-572.
- [28] Zhang M K, Zheng S A, Wang L P. Chemical forms and distributions of organic carbon, nitrogen and phosphorus in sandy soil aggregate fractions as affected by land uses. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(8): 1703-1711.
- [29] Li Z P, Pan G X, Zhang X H. Topsoil organic carbon pool and ^{13}C natural abundance changes from a paddy after 3 years corn cultivation. *Acta Pedologica Sinica*, 2007, 44(2): 244-251.
- [30] Liu M Y, Chang Q R, Qi Y B, Sun N. Soil organic carbon and particulate organic carbon under different land use types on the loess Plateau. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(2): 218-227.
- [31] Fang H J, Yang X M, Zhang X P, Liang A Z, Shen Y. Spatial distribution of particulate organic carbon and aggregate associated carbon in topsoil of a sloping farmland in the Black soil region, Northeast China. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(9): 2847-2854.

参考文献:

- [1] 方精云, 杨元合, 马文红, 安尼瓦·买买提, 沈海花. 中国草地生态系统碳库及其变化. *中国科学*, 2010, 40(7): 566-576.
- [6] 周道玮. 无树草甸草原火周期研究方法的探讨. *生态学报*, 1995, 15(1): 61-65.
- [10] 李政海, 绛秋. 火烧对草原土壤养分状况的影响. *内蒙古大学学报: 自然科学版*, 1994, 25(4): 444-449.
- [11] 周道玮, 张智山. 草地火因子及其生态作用. *中国草地*, 1996, 18(2): 73-76.
- [14] 潘根兴, 周萍, 李恋卿, 张旭辉. 固碳土壤学的核心科学问题与研究进展. *土壤学报*, 2007, 44(2): 327-337.
- [15] 刘满强, 胡锋, 陈小云. 土壤有机碳稳定机制研究进展. *生态学报*, 2007, 27(6): 2642-2650.
- [16] 苏永中. 黑河中游边缘绿洲农田退耕还草的土壤碳、氮固存效应. *环境科学*, 2006, 27(7): 1312-1318.
- [17] 王清奎, 汪思龙, 冯宗炜, 黄宇. 土壤活性有机质及其与土壤质量的关系. *生态学报*, 2005, 25(3): 513-519.
- [18] 唐光木, 徐万里, 盛建东, 梁智, 周勃, 朱敏. 新疆绿洲农田不同开垦年限土壤有机碳及不同粒径土壤颗粒有机碳变化. *土壤学报*, 2010, 47(2): 279-285.
- [19] 王炜, 刘钟龄, 郝敦元, 梁存柱. 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.
- [20] 王炜, 梁存柱, 刘钟龄, 郝敦元. 羊草+大针茅草原群落退化演替机理的研究. *植物生态学报*, 2000, 24(4): 468-472.
- [22] 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. *生态学报*, 2011, 31(15): 4270-4276.
- [23] 周道玮, 姜世成, 郭平, 周维. 草原火烧后土壤养分含量的变化. *东北师大学报: 自然科学版*, 1999, 31(1): 111-117.
- [24] 田尚衣, 周道玮, 孙刚, 周维. 草原火烧后土壤物理性状的变化. *东北师大学报: 自然科学版*, 1999, 31(1): 107-110.
- [28] 章明奎, 郑顺安, 王丽平. 利用方式对砂质土壤有机碳、氮和磷的形态及其在不同大小团聚体中分布的影响. *中国农业科学*, 2007, 40(8): 1703-1711.
- [29] 李志鹏, 潘根兴, 张旭辉. 改种玉米连续3年后稻田土壤有机碳分布和 ^{13}C 自然丰度变化. *土壤学报*, 2007, 44(2): 244-251.
- [30] 刘梦云, 常庆瑞, 齐雁冰, 孙宁. 黄土台塬不同土地利用土壤有机碳与颗粒有机碳. *自然资源学报*, 2010, 25(2): 218-227.
- [31] 方华军, 杨学明, 张晓平, 梁爱珍, 申艳. 东北黑土区坡耕地表层土壤颗粒有机碳和团聚体结合碳的空间分布. *生态学报*, 2006, 26(9): 2847-2854.

CONTENTS

Growth and physiological adaptation of <i>Messerschmidia sibirica</i> to sand burial on coastal sandy	WANG Jin, ZHOU Ruilian, ZHAO Halin, et al (4291)
Alleviation effect and mechanism of exogenous potassium nitrate and salicylic acid on the growth inhibition of <i>Pinus tabulaeformis</i> seedlings induced by deicing salts	ZHANG Ying, LI Fayun, YAN Xia, et al (4300)
Influence of different spatial-scale factors on stream macroinvertebrate assemblages in the middle section of Qiantang River Basin	ZHANG Yong, LIU Shuoru, YU Haiyan, et al (4309)
Species diversity and distribution pattern of non-volant small mammals along the elevational gradient on eastern slope of Gongga Mountain	WU Yongjie, YANG Qisen, XIA Lin, et al (4318)
A patch-based method for mechanism analysis on spatial dynamics of mangrove distribution	LI Chungan, LIU Suqing, FAN Huangqing, et al (4329)
Nutrient heterogeneity in fine roots of six subtropical natural tree species	XIONG Decheng, HUANG Jinxue, YANG Zhijie, et al (4343)
Variation of vegetation NDVI and its response to climate change in Zhejiang Province	HE Yue, FAN Gaofeng, ZHANG Xiaowei, et al (4352)
Heterogeneity in fine root respiration of six subtropical tree species	ZHENG Jinxing, XIONG Decheng, HUANG Jinxue, et al (4363)
Characteristics of ammonia-oxidizing bacteria and ammonia-oxidizing archaea abundance in soil organic layer under the subalpine/alpine forest	WANG Ao, WU Fuzhong, HE Zhenhua, et al (4371)
Effect of tillage systems on light fraction carbon in a purple paddy soil	ZHANG Junke, JIANG Changsheng, HAO Qingju, et al (4379)
Effects of prescribed fire on carbon sequestration of long-term grazing-excluded grasslands in Inner Mongolia	HE Nianpeng, HAN Xingguo, YU Guirui, et al (4388)
Stoichiometry of carbon dioxide and methane emissions in Minjiang River estuarine tidal wetland	WANG Weiqi, ZENG Congsheng, TONG Chuan, et al (4396)
Distribution and sources of particulate organic carbon in the Pearl River Estuary in summer 2010	LIU Qingxia, HUANG Xiaoping, ZHANG Xia, et al (4403)
The glucose-utilizing bacterial diversity in the cold spring sediment of Shawan, Xinjiang, based on stable isotope probing	CHU Min, WANG Yun, ZENG Jun, et al (4413)
Culture-dependent and culture-independent approaches to studying soil microbial diversity	LIU Guohua, YE Zhengfang, WU Weizhong (4421)
The classification of plant functional types based on the dominant herbaceous species in the riparian zone ecosystems in the Yiluo River	GUO Yili, LU Xunling, DING Shengyan (4434)
Genetic diversity of different eco-geographical populations in endangered plant <i>Prunus mongolica</i> by ISSR Markers	ZHANG Jie, WANG Jia, LI Haoyu, ZHANG Huirong, et al (4443)
Ecophysiological characteristics of higher-latitude transplanted mangrove <i>Kandelia candel</i> in strong tidal range area	ZHENG Chunfang, QIU Jianbiao, LIU Weicheng, et al (4453)
The effect of artificial warming during winter on white clover (<i>Trifolium repens</i> Linn): overwintering and adaptation to coldness in late spring	ZHOU Ruilian, ZHAO Mei, WANG Jin, et al (4462)
Estimating fine root production and mortality in subtropical <i>Altingia grilipes</i> and <i>Castanopsis carlesii</i> forests	HUANG Jinxue, LING Hua, YANG Zhijie, et al (4472)
The cloning and expression of WUE-related gene (<i>PdEPF1</i>) in <i>Populus deltoides</i> × <i>Populus nigra</i>	GUO Peng, JIN Hua, YIN Weilun, et al (4481)
The allelopathy of aquatic rhizome and root extract of <i>Thalia dealbata</i> to seedling of several aquatic plants	MIAO Lihua, WANG Yuan, GAO Yan, et al (4488)
Effect of the avirulent strain of <i>Ralstonia solanacearum</i> on the ecological characteristics of microorganism fatty acids in the rhizosphere of tobacco	ZHENG Xuefang, LIU Bo, LAN Jianglin, et al (4496)
Coupling remotely sensed information with a rice growth model by combining updating and assimilation strategies	WANG Hang, ZHU Yan, MA Mengli, et al (4505)
Effects of water temperature and body weight on metabolic rates of Yellowtail clownfish <i>Amphiprion clarkii</i> (Pisces: Perciformes) during larval development	YE Le, YANG Shengyun, LIU Min, et al (4516)
The distribution of chlorophyll a in the Southwestern Indian Ocean in summer	HONG Lisha, WANG Chunsheng, ZHOU Yadong, et al (4525)
Evaluation of the effects of ecological remediation on the water quality and biological toxicity of Dagou Drainage River in Tianjin	WANG Min, TANG Jingchun, ZHU Wenyong, et al (4535)
Quantitative dynamics of adult population and 3-D spatial pattern of <i>Ceoporus variabilis</i> (Baly)	WANG Wenjun, LIN Xuefei, ZOU Yunding, et al (4544)
Review and Monograph	
Studies on urban heat island from a landscape pattern view: a review	CHEN Ailian, SUN Ranhao, CHEN Liding (4553)
Sediment quality triad and its application in coastal ecosystems in recent years	WU Bin, SONG Jinming, LI Xuegang, et al (4566)
Discussion	
Food waste management in China: status, problems and solutions	HU Xinjun, ZHANG Min, YU Junfeng, et al (4575)
Scientific Note	
Effects of microchemical substances in anaerobic fermented liquid from rice straw and cyanobacteria on <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>niveum</i> growth	LIU Aimin, XU Shuangsoo, CAI Xin, et al (4585)
Ecological benefit-loss analysis of agricultural ecosystem in Foshan City, China	YE Yanqiong, ZHANG Jiaen, QIN Zhong, et al (4593)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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 70 元/册,全年定价 1680 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 32 卷 第 14 期 (2012 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 14 (July, 2012)

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	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
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
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	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
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	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
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	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元