

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 20 期 Vol.33 No.20 **2013**

中国生态学会  
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 33 卷 第 20 期      2013 年 10 月      (半月刊)

## 目 次

### 前沿理论与学科综述

- 中小尺度下西北太平洋柔鱼资源丰度的空间变异..... 杨铭霞,陈新军,冯永玖,等 (6427)
- 水分和温度对若尔盖湿地和草甸土壤碳矿化的影响..... 王 丹,吕瑜良,徐 丽,等 (6436)
- 荒漠啮齿动物群落对开垦干扰的响应及其种群生态对策..... 袁 帅,付和平,武晓东,等 (6444)
- 转 Bt 基因棉花对烟粉虱天敌昆虫龟纹瓢虫的影响 ..... 周福才,顾爱祥,杨益众,等 (6455)
- 微地形改造的生态环境效应研究进展..... 卫 伟,余 韵,贾福岩,等 (6462)

### 个体与基础生态

- 丹顶鹤春迁期觅食栖息地多尺度选择——以双台河口保护区为例..... 吴庆明,邹红菲,金洪阳,等 (6470)
- 新疆石河子南山地区表土花粉研究..... 张 卉,张 芸,杨振京,等 (6478)
- 鄱阳湖湿地两种优势植物叶片 C、N、P 动态特征 ..... 郑艳明,尧 波,吴 琴,等 (6488)
- 基于高分辨率遥感影像的森林地上生物量估算..... 黄金龙,居为民,郑 光,等 (6497)
- 异质性光照下匍匐茎草本狗牙根克隆整合的耗益..... 陶应时,洪胜春,廖咏梅,等 (6509)
- 湘潭锰矿废弃地栎树人工林微量元素生物循环..... 罗赵慧,田大伦,田红灯,等 (6517)
- 接种彩色豆马勃对模拟酸沉降下马尾松幼苗生物量的影响 ..... 陈 展,王 琳,尚 鹤 (6526)
- 生物炭对不同土壤化学性质、小麦和糜子产量的影响 ..... 陈心想,何绪生,耿增超,等 (6534)
- 延河流域植物功能性状变异来源分析 ..... 张 莉,温仲明,苗连朋 (6543)
- 榆紫叶甲赤眼蜂基础生物学特性及其实验种群生命表..... 王秀梅,臧连生,林宝庆,等 (6553)
- 几种生态因子对拟目乌贼胚胎发育的影响 ..... 彭瑞冰,蒋霞敏,于曙光,等 (6560)

### 种群、群落和生态系统

- 海南铜鼓岭灌木林稀疏规律..... 周 威,龙 成,杨小波,等 (6569)
- 青海三江源区果洛藏族自治州草地退化成因分析..... 赵志平,吴晓蕾,李 果,等 (6577)
- 模拟氮沉降对华西雨屏区苦竹林凋落物基质质量的影响..... 肖银龙,涂利华,胡庭兴,等 (6587)
- 基于光合色素的钦州湾平水期浮游植物群落结构研究 ..... 蓝文陆,黎明民,李天深 (6595)
- 基于功能性状的常绿阔叶植物防火性能评价..... 李修鹏,杨晓东,余树全,等 (6604)
- 北京西山地区大山雀与其它鸟类种群间联结分析..... 董大颖,范宗骥,李扎西姐,等 (6614)
- 被动式电子标签用于花鼠种群动态研究的可行性 ..... 杨 慧,马建章,戎 可 (6634)

### 景观、区域和全球生态

- 华北冬小麦降水亏缺变化特征及气候影响因素分析..... 刘 勤,梅旭荣,严昌荣,等 (6643)
- 基于 FAHP-TOPSIS 法的我国省域低碳发展水平评价 ..... 胡林林,贾俊松,毛端谦,等 (6652)
- 河漫滩湿地生态阈值——以二卡自然保护区为例..... 胡春明,刘 平,张利田,等 (6662)
- 应用 Le Bissonnais 法研究黄土丘陵区植被类型对土壤团聚体稳定性的影响 ..... 刘 雷,安韶山,黄华伟 (6670)
- 不同人为干扰下纳帕海湖滨湿地植被及土壤退化特征..... 唐明艳,杨永兴 (6681)

## 资源与产业生态

- 近 10 年北京极端高温天气条件下的地表温度变化及其对城市化的响应 ..... 李晓萌, 孙永华, 孟 丹, 等 (6694)
- 三峡库区小江库湾鱼类食物网的稳定 C、N 同位素分析 ..... 李 斌, 徐丹丹, 王志坚, 等 (6704)

## 研究简报

- 北京奥林匹克森林公园绿地碳交换动态及其环境控制因子 ..... 陈文婧, 李春义, 何桂梅, 等 (6712)
- 植被恢复对洪雅县近 15 年景观格局的影响 ..... 王 鹏, 李贤伟, 赵安玖, 等 (6721)
- 高盐下条斑紫菜光合特性和 S-腺苷甲硫氨酸合成酶基因表达的变化 ... 周向红, 易乐飞, 徐军田, 等 (6730)

## 学术信息与动态

- 生态系统服务研究进展——2013 年第 11 届国际生态学大会 (INTECOL Congress) 会议述评 ..... 房学宁, 赵文武 (6736)
- 生态系统服务评估——2013 年第 6 届生态系统服务伙伴国际学术年会述评 ..... 巩 杰, 岳天祥 (6741)
- 回顾过去, 引领未来——2013 年第 5 届国际生态恢复学会大会 (SER 2013) 简介 ..... 彭少麟, 陈宝明, 周 婷 (6744)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 320 \* zh \* P \* ¥90.00 \* 1510 \* 33 \* 2013-10



**封面图说:** 荒漠旱獭——旱獭属啮齿目、松鼠科、旱獭属, 是松鼠科中体型最大的一种。旱獭多栖息于平原、山地和荒漠草原地带, 集群穴居, 挖掘能力甚强, 洞道深而复杂, 多挖在岩石坡和沟谷灌丛下, 从洞中推出的大量沙石堆在洞口附近, 形成旱獭丘。荒漠啮齿动物是荒漠生态系统的重要成分, 农业开垦对功能相对脆弱的荒漠生态系统的干扰极大, 往往导致栖息地破碎化, 对动植物种产生强烈影响, 啮齿动物受到开垦干扰后对环境的响应及其群落的生态对策, 是荒漠生态系统生物多样性及其功能维持稳定的重要基础。

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

DOI: 10.5846/stxb201302030230

王丹, 吕瑜良, 徐丽, 张洪轩, 王若梦, 何念鹏. 水分和温度对若尔盖湿地和草甸土壤碳矿化的影响. 生态学报, 2013, 33(20): 6436-6443.

Wang D, Lv Y L, Xu L, Zhang H X, Wang R M, He N P. The effect of moisture and temperature on soil C mineralization in wetland and steppe of the Zoige region, China. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(20): 6436-6443.

## 水分和温度对若尔盖湿地和草甸土壤碳矿化的影响

王丹<sup>1,2</sup>, 吕瑜良<sup>1</sup>, 徐丽<sup>3</sup>, 张洪轩<sup>4</sup>, 王若梦<sup>2</sup>, 何念鹏<sup>2,\*</sup>

(1. 西南大学地理科学学院, 重庆 400715; 2. 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;

3. 华中农业大学资源与环境学院, 武汉 430070; 4. 四川省草原科学研究院, 成都 611731)

**摘要:** 土壤碳矿化及其温度和水分敏感性是研究生态系统碳循环的重要指标。以若尔盖高寒湿地和草甸为对象, 在不同水分(70%, 100%, 130% 饱和含水量(SSM))和温度(5, 10, 15, 20, 25 °C)培养下定期测定土壤碳矿化速率(或土壤微生物呼吸速率), 探讨水分和温度对高寒湿地和草甸土壤碳矿化的影响, 为揭示未来暖干化对若尔盖地区碳贮存及其碳汇功能的潜在影响提供科学依据。实验结果表明: 升温显著促进了高寒湿地和草甸土壤碳矿化, 而水分过高会抑制土壤碳矿化; 此外, 高寒湿地土壤碳矿化速率高于高寒草甸。土壤水分和草地类型对土壤碳矿化温度敏感性( $Q_{10}$ )的影响比较复杂。高寒草甸  $Q_{10}$  随水分升高而显著升高, 培养 7 d 时的  $Q_{10}$  变化趋势为 70% SSM(1.21) < 100% SSM(1.76) < 130% SSM(2.80), 培养 56 d 的  $Q_{10}$  从 1.17 上升为 4.53。高寒湿地的  $Q_{10}$  在培养 7 d 差异不显著, 但整个 56 d 培养期内  $Q_{10}$  随水分升高而显著增加。在评估暖干化对若尔盖地区碳贮量和碳汇功能的影响时, 应更加重视高寒草甸和高寒湿地  $Q_{10}$  对水分和温度变化的不同响应。

**关键词:** 草地类型; 温度; 水分; 土壤呼吸; 温度敏感性;  $Q_{10}$

## The effect of moisture and temperature on soil C mineralization in wetland and steppe of the Zoige region, China

WANG Dan<sup>1,2</sup>, LV Yuliang<sup>1</sup>, XU Li<sup>3</sup>, ZHANG Hongxuan<sup>4</sup>, WANG Ruomeng<sup>2</sup>, HE Nianpeng<sup>2,\*</sup>

1 College of Geographical Science, Southwest University, Chongqing 400715, China

2 Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

3 College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

4 Sichuan Academy of Grassland Science, Chengdu 611731, China

**Abstract:** Soil carbon (C) mineralization and its response to temperature and moisture are important components of an ecosystem's C cycle. In this study, soils of alpine wetlands and meadows in the Zoige region were incubated at various temperatures (5, 10, 15, 20, and 25°C) and soil moisture regimes (70%, 100%, and 130% saturated soil moisture (SSM)). Soil C mineralization rate (or soil microbial respiration rate) was measured regularly. The main objectives were to (1) explore whether the responses of soil C mineralization and in particular, its temperature sensitivity ( $Q_{10}$ ), are different between alpine wetland and meadow soil types, and (2) to reveal impact of warming and drying scenarios on soil C storage and C sequestration in alpine wetlands and steppe environments. The results showed that soil C mineralization increased significantly with increasing incubation temperature, but excessive soil moisture depressed soil C mineralization. The soil C mineralization capacity in the alpine wetland soil was higher than that of the alpine meadow, regardless of soil moisture. Moreover, soil water content and grassland types interactively influenced  $Q_{10}$  of soil C mineralization ( $F = 14.79, P < 0.001$ ).

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31270519, 31070431)

收稿日期: 2013-02-03; 修订日期: 2013-07-19

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

In the meadow, the values of  $Q_{10}$  increased significantly with increasing water content, as follows: 70% SSM (1.21) < 100% SSM (1.76) < 130% (2.80) in the 7-day incubation experiment, and rose from 1.17 to 4.53 in the 56-day incubation experiment. The  $Q_{10}$  values were not significantly different in the wetland under different soil moisture in the 7-day incubation experiment; but the  $Q_{10}$  values increased significantly with increasing soil moisture in the 56-day incubation experiment. On the basis of the different  $Q_{10}$  values, we concluded that soil C mineralization of the meadow soil is more sensitive to future regional warming and drying scenarios than that of the alpine wetland. When evaluating the effect of warming and drying scenarios on soil C storage and sequestration within alpine wetland and steppe environments, the phenomenon that the  $Q_{10}$  responds differently to changes in soil moisture and temperature in the alpine meadow and alpine wetland ecosystems should be considered.

**Key Words:** grassland types; incubation temperature; moisture; soil respiration; temperature sensitivity;  $Q_{10}$

土壤碳矿化是指土壤有机碳在微生物作用下转化为无机碳的过程,是生态系统碳循环的重要过程<sup>[1-2]</sup>;温度和水分对土壤碳矿化具有重要影响<sup>[3-7]</sup>。土壤碳矿化的水分和温度敏感性是揭示气候变化对生态系统碳循环影响的重要途径和指标<sup>[2, 4, 8-9]</sup>。土壤碳矿化的温度敏感性常采用  $Q_{10}$  来表示,  $Q_{10}$  越高温度敏感性越大<sup>[10]</sup>;而土壤碳矿化的水分敏感性是通过多个水分梯度的碳矿化速率来评价的<sup>[11]</sup>。通常,温度和水分共同作用于土壤碳矿化<sup>[12-15]</sup>。

我国科学家已经对土壤碳矿化及其温度敏感性开展了不少研究工作<sup>[16-18]</sup>;然而,关于高寒湿地和高寒草甸的研究却鲜有报道。若尔盖地区是我国最大的高寒湿地分布区,其独特的气候、土壤和生物区系使其具有较强的碳储量<sup>[19]</sup>;同时,其碳储量对气候变化(温度和水分)又非常敏感。然而,由于缺乏温度和水分对其土壤碳矿化影响的实验数据,目前科研人员仅能推测未来气候变化会对高寒湿地土壤碳矿化的影响。气候变暖和干旱化(或简称为暖干化)是若尔盖地区面临的重要生态环境问题之一,它对湿地和草甸土壤碳矿化的影响如何?它对二者间的影响是否存在差异?均具有重要科学意义。因此,研究该地区土壤碳矿化的温度和水分敏感性,有助于揭示该地区在暖干化情景下碳储量变化。

本文以若尔盖地区的高寒湿地和高寒草甸为研究对象,通过不同温度和水分的培养实验,探讨了不同水分状况下的土壤碳矿化速率及其温度敏感性。拟回答的科学问题包括:1)温度和水分变化对高寒湿地和草甸土壤碳矿化的影响?2)湿地和草甸土壤碳矿化及其温度敏感性对干旱化的响应是否相同?

## 1 实验材料与方法

### 1.1 自然概况

若尔盖地区位于青藏高原南缘,行政上隶属于四川省阿坝藏族羌族自治州的红原县和若尔盖县。该区海拔 3400—3900 m,属大陆性高原气候;严寒湿润、霜冻期长、四季变化不明显;年平均气温 0.7—1.1 °C,极端最低和最高温度出现在 1 月和 6 月,分别为 -36 °C 和 26 °C。年均降水量为 749.1 mm,年均蒸发量 1262.5 mm<sup>[20]</sup>。若尔盖地区是我国最大的高寒湿地分布区,高寒草甸和高寒湿地是该地区的主要景观类型。高寒草甸区主要为草甸土,而高寒湿地主要为泥炭土,另外还发育有高原褐土和冲击土等土壤类型。高寒湿地的优势种包括木里苔草 (*Carex muliensis*)、毛苔草 (*C. lasiocarpa*)、乌拉苔草 (*C. meyeriana*)、藏嵩草 (*Kobresia tibetica*) 和双柱头蔗草 (*Scirpus distigmaticus*) (四川植被协作组)<sup>[21]</sup>;高寒草甸植被以嵩草属 (*Kobresia*) 和蓼属 (*Polygonum*) 植物为主,优势物种有羊茅 (*Festuca ovina*)、四川嵩草 (*K. setchwanensis*)、圆穗蓼 (*P. macrophyllum*)、发草 (*Deschampsia caespitosa*) 和垂穗披碱草 (*Elymus nutans*) 等。

### 1.2 样地设置及野外取样

在若尔盖地区,高寒湿地的地势较低、地下水位高,常有积水;在干旱年份,部分湿地出现干湿交替现象。高寒草甸大多分布在二阶台地,地势较高,不会遭到水淹,目前退化和沙化比较普遍。为了探讨不同类型草地土壤碳矿化对温度和水分的变化是否存在显著性差异,根据该地区的主要景观类型,选择了该地区最具代表

性的湿地和草甸作为本文的研究对象。

2012年5月,在四川省草原科学研究院红原基地的放牧实验样地附近,选择了4个点,分别成对地设置了湿地样地和草甸样地(即本文共有8个实验样地,其中4个湿地、4个草甸)。第1对样地的位置:湿地(32°54' N, 102°35' E, 海拔3483.6 m),草甸(32°54' N, 102°35' E, 海拔3506.7 m);其它3对样地是以第1对样地为基础,沿河水分别前推移1 km左右。

在每个实验样地,随机设置10—20个采集点,采用土钻法对0—10 cm土壤样品进行取样;多个采集点的土壤混合形成一个土壤样品(>5 kg)。在湿地和草甸分别获得4个混合土壤样品,作为重复。土壤样品在室内进行过筛处理(2 mm土壤筛)后,手工挑除根系和杂质;约100 g经过预处理的土壤样品风干处理,其余土壤样品在4℃冷藏。

### 1.3 室内测试与培养

#### 1.3.1 土壤指标测定

土壤饱和含水量使用简易法进行测定<sup>[22]</sup>。土壤全碳和全氮含量采用元素分析仪测定,土壤pH值利用pH计测定,土壤电导率使用电导仪测定(表1)。

表1 实验样地的土壤理化性质

Table 1 Soil properties of experimental plots

实验样地 Experimental plots	电导率 Electric conductivity	pH	全碳 Total C/%	全氮 Total N/%	C/N
湿地 Wetland	143.00 ± 6.20 a	5.99 ± 0.22 a	5.44 ± 0.03 a	0.44 ± 0.01 a	12.25 ± 0.11 a
草甸 Meadow	109.50 ± 2.10 b	6.10 ± 0.18 a	7.78 ± 0.01 b	0.56 ± 0.01 b	13.96 ± 0.02 b

表中数据为平均值±SD (standard deviation, n=4);不同字母表示样地间差异显著(P<0.05)

#### 1.3.2 室内培养

称取新鲜土壤样品40 g和石英砂10 g,装入150 mL塑料圆瓶,摇匀后用蒸馏水调节至70%,100%或130%土壤饱和含水量(SSM)。样品先在20℃培养1周,在测定土壤碳矿化速率后,分别放入5、10、15、20和25℃的恒温恒湿培养箱。在为期8周的测定期内,土壤碳矿化速率共测定12次,分别为培养1、2、3、7、14、21、28、30、35、42、49和56 d。培养过程中,每隔2—3 d调节1次土壤含水量;补水量采用称重法确定,将蒸馏水均匀喷洒在土壤表面使其分别维持70%、100%、130% SSM。本研究共包括2种草地类型(高寒湿地和高寒草甸)、3个土壤水分(70%、100%、130% SSM)、5个培养温度(5、10、15、20和25℃)、4次重复,共120个培养样品。

土壤碳矿化速率采用土壤微生物呼吸自动测定系统进行测定,有关该设备的详细说明详见代景忠等的文章<sup>[22]</sup>。

### 1.4 计算和统计方法分析

土壤碳矿化速率计算方法<sup>[22]</sup>:

$$R = \frac{C \times V \times \alpha \times \beta}{m} \quad (1)$$

式中,R为土壤微生物呼吸速率( $\mu\text{gC g}^{-1} \text{d}^{-1}$ ),C为测试时间内CO<sub>2</sub>浓度变化的直线斜率,V是培养瓶和管线的总体积,m是培养瓶内土壤干重, $\alpha$ 是CO<sub>2</sub>气体质量转化系数, $\beta$ 是时间转化系数。

本文利用培养7 d的数据和培养56 d的数据来评估(短期和长期)土壤碳矿化的温度敏感性(Q<sub>10</sub>)。利用指数方程 $R = a \times e^{bT}$ 来拟合温度对土壤碳矿化速率的影响,式中,R为土壤碳矿化速率,T为培养温度(℃),a为基质质量指数,表示0℃时土壤净碳矿化速率,b为温度反应系数。Q<sub>10</sub>值采用指数模型进行计算:Q<sub>10</sub>=e<sup>10b</sup>,即温度每升高10℃土壤碳矿化速率所增加的倍数。

采用成对T检验对实验样地土壤碳、氮和pH值等指标进行显著性检验,采用单变量多因素分析方法检

验水分、温度和草地类型等对土壤碳矿化及其温度敏感性的影响。统计分析利用 SPSS 13.0 统计软件完成,显著性差异水平为  $P = 0.05$ 。

### 2 结果

#### 2.1 温度和水分对土壤碳矿化的影响

温度升高显著提升了高寒湿地和草甸的土壤碳矿化量 ( $F = 97.32, P < 0.0001$ ) (图 1)。水分对土壤碳矿化累积量具有显著影响 ( $F = 38.73, P < 0.0001$ ), 水分含量越高, 土壤碳矿化累积量越少 (表 2)。在相同土壤水分状况下, 湿地土壤碳矿化累积量高于草甸, 以 70% SSM 和温度 20 °C 为例, 湿地的土壤碳矿化累积量 ( $459.76 \mu\text{g C/g}$ ) 明显高于草甸 ( $191.30 \mu\text{g C/g}$ ), 温度越高这种趋势越明显; 随着土壤水分升高, 两者之间的差距逐渐降低。温度和水分对土壤碳矿化影响显著, 且二者存在着显著的交互效应 ( $P < 0.0001$ , 表 2)。

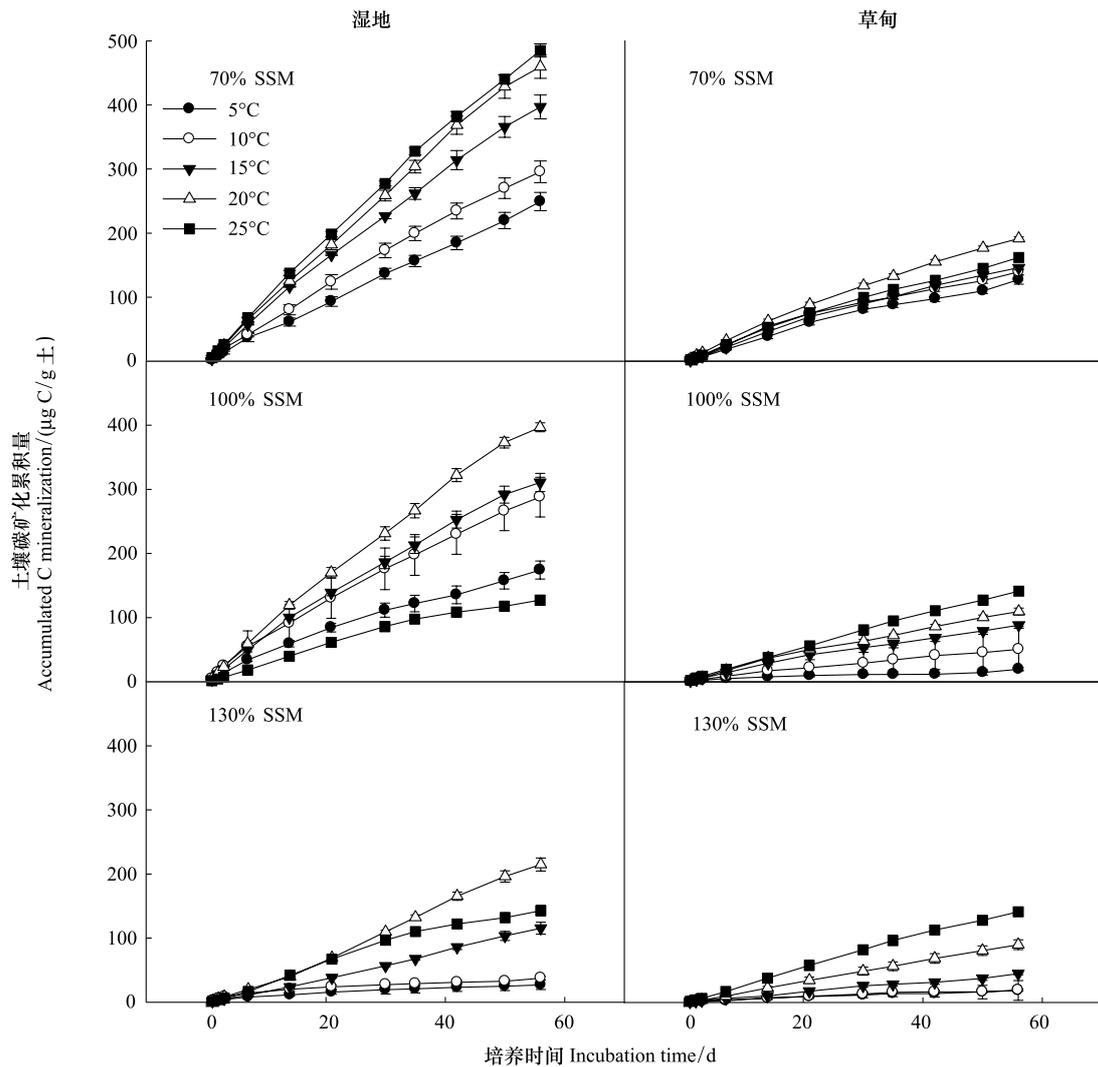


图 1 土壤碳矿化累积量的动态变化

Fig.1 Dynamics of soil C mineralization under different incubation temperature and moisture

SSM 为土壤饱和含水量

#### 2.2 草地类型和水分对温度敏感性 ( $Q_{10}$ ) 的影响

草地类型 ( $P < 0.05$ ) 和水分 ( $P < 0.05$ ) 对  $Q_{10}$  具有显著影响, 且二者间存在显著的交互效应 ( $P < 0.001$ )。当含水量为 70% SSM 时, 高寒湿地的  $Q_{10}$  值大于高寒草甸 (图 2); 当含水量为 100% 和 130% SSM 时, 高寒草甸的  $Q_{10}$  值大于高寒湿地。

表 2 草地类型、温度和水分对土壤碳矿化累积量的影响

Table 2 Effects of grassland type, incubation temperature and moisture on the accumulation of soil C mineralization

源 Source	土壤碳矿化累积量(7 d)		土壤碳矿化累积量(56 d)	
	Accumulated soil C mineralization in the duration 7-day		Accumulated soil C mineralization in the duration 56-day	
	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
草地类型 Grassland types (G)	606.01	<0.0001	185.05	<0.0001
温度 Temperature (T)	35.12	<0.0001	97.32	<0.0001
水分 Moisture (M)	340.28	<0.0001	38.73	<0.0001
G × M	77.66	<0.0001	177.81	<0.0001
G × T	9.32	<0.0001	3.61	<0.0001
T × M	11.98	<0.0001	37.83	<0.0001
G × T × M	15.99	<0.0001	63.39	<0.0001

培养 7 d,水分对高寒湿地  $Q_{10}$  的影响不大,70%,100%,130% SSM 的  $Q_{10}$  值分别为 1.46,1.39,1.45。而整个 56 d 培养期间,湿地的  $Q_{10}$  随水分增加而显著增加( $P < 0.05$ )。对草甸而言,无论是培养 7 d 还是培养 56 d, $Q_{10}$  均随着水分升高而显著升高(图 2)。例如,培养 7 d 的  $Q_{10}$  变化趋势为 70% SSM(1.210) < 100% SSM(1.759) < 130% SSM(2.800);培养 56 d 的  $Q_{10}$  随土壤含水量升高而升高。

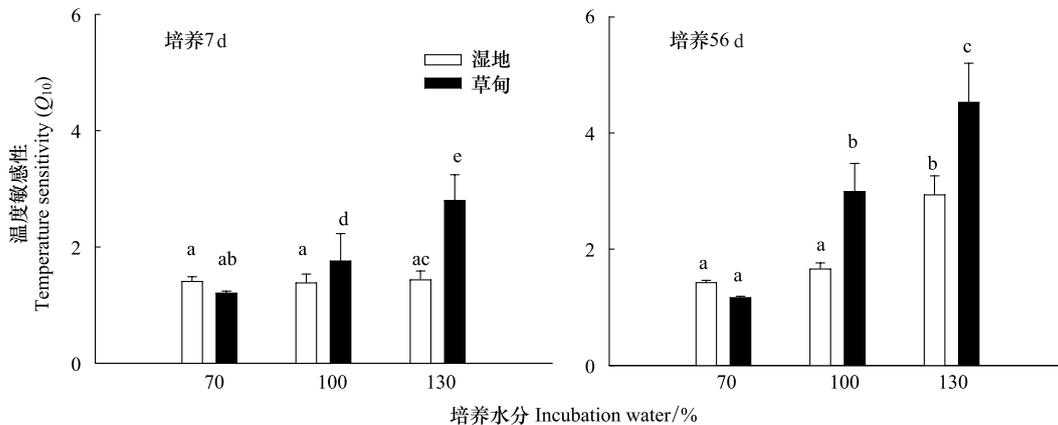


图 2 水分对土壤碳矿化温度敏感性的影响

Fig. 2 The effect of moisture on the temperature sensitivity of soil C mineralization

图中具有相同小写字母表示差异不显著 ( $P > 0.05$ )

$Q_{10}$  值随着培养时间的延长而逐渐增大。在高寒湿地和草甸,70% SSM 的  $Q_{10}$  在不同培养期的差异均不显著;然而,在 100% ( $P = 0.012$ ) 和 130% SSM ( $P < 0.01$ ) 状况下, $Q_{10}$  值随着培养时间的增长而显著增加(图 3)。

### 3 讨论

#### 3.1 温度与土壤碳矿化

温度对若尔盖高寒湿地和草地土壤碳矿化具有显著影响,温度越高土壤碳矿化量越高。在森林生态系统<sup>[14, 23]</sup>、青藏高原高寒草地<sup>[24]</sup>,科学家也发现类似的规律。在温度较低时,土壤微生物和酶活性受到温度限制,土壤碳矿化速率较慢<sup>[25-26, 10]</sup>;随着温度升高,土壤微生物和土壤酶的活性增强,从而促进了土壤碳矿化。然而,土壤碳矿化对温度的响应是土壤性质、微生物种类和数量以及可利用性碳、氮基质(如 DOC、DON 等)的综合结果<sup>[27]</sup>,其作用过程和机理还有待于进一步研究。

#### 3.2 水分与土壤碳矿化

土壤水分过高会抑制土壤碳矿化。高寒湿地和草甸的碳矿化累积量均在 70% SSM 最高;土壤水分过高时,会抑制土壤碳矿化。大量研究结果表明:60%—70% 含水量最利于土壤呼吸作用的进行,土壤水分过低或

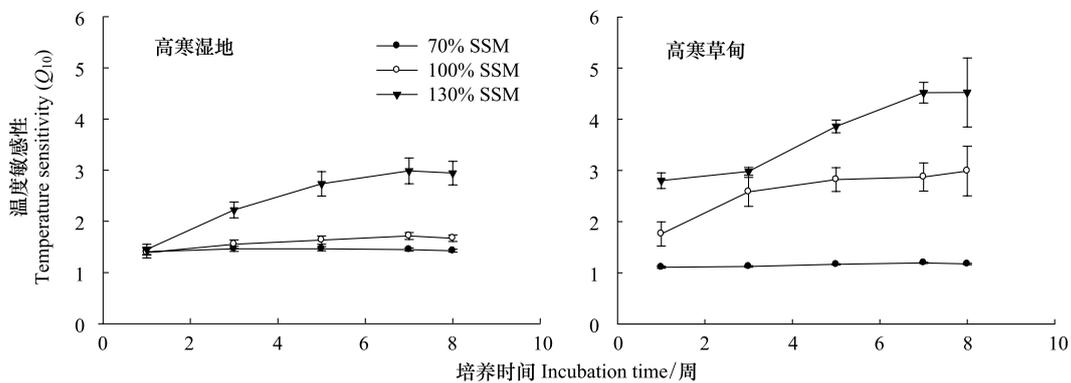


图3 土壤碳矿化温度敏感性的动态变化

Fig.3 Dynamics of the temperature sensitivity of soil C mineralization

过高会抑制土壤 CO<sub>2</sub>的释放<sup>[3]</sup>;含水量过高会降低土壤的空隙和氧气含量,从而抑制土壤微生物呼吸与气体交换过程<sup>[28]</sup>;此外,含水量过低时土壤微生物和酶的活性会降低,不利于土壤呼吸。因此,可以推测未来的暖干化进程将增加若尔盖地区土壤碳矿化,并最终影响到该地区的碳汇功能。

高寒湿地和草甸的土壤碳矿化温度敏感性( $Q_{10}$ )与土壤水分关系密切。 $Q_{10}$ 变化范围为 1.17—4.53,且随着水分升高而显著升高,培养时间越长,不同培养水分的  $Q_{10}$ 值差距越明显。目前,水分变化对于土壤碳矿化的影响仍存在争议。Smith 等<sup>[29]</sup>在对 5 种生境土壤进行室内培养时研究发现  $Q_{10}$ 与水分正相关;而 Gardenas 发现水分变化对土壤碳矿化没有显著影响<sup>[30]</sup>。这些不一致的结论主要是由于不同实验的研究对象和土壤质地等多种因素所造成的。

7d 培养期内,(70%—130% SSM)水分对高寒湿地  $Q_{10}$ 的影响不大(图 2),随着培养时间的延长,各水分梯度之间  $Q_{10}$ 值差异增大。该结果意味着高寒湿地在经历短暂水淹-干旱过程中,水分变化对湿地  $Q_{10}$ 的影响较小。该现象可能是湿地土壤的微生物群落结构长期适应这种往复性水淹-干旱干扰的结果,然而由于缺乏土壤微生物的直接数据,该推测仍需进一步实验论证。

### 3.3 草地类型与土壤碳矿化

高寒湿地的土壤碳矿化显著高于高寒草甸。在不考虑土壤水分的状况下,白洁冰<sup>[24]</sup>等发现当温度超过 20 °C 时青藏高原高寒湿地碳矿化速率明显高于高寒草甸。类似地,吴建国等<sup>[31]</sup>通过培养实验发现祁连山 4 种典型生态系统(山地森林、高寒草甸、荒漠草原、干旱草原)的土壤碳矿化速率差异显著。本文所涉及的高寒湿地的全碳(5.44%)和全氮含量(0.44%)均低于高寒草甸的全碳(7.78%)和全氮含量(0.56%),但是土壤碳矿化量却表现为高寒湿地大于高寒草甸。因此,除了土壤底物外,土壤微生物群落结构和数量差异可能是上述现象的真正原因<sup>[32-33]</sup>。未来应深入开展底物和土壤微生物对高寒湿地和草甸土壤碳矿化贡献的研究,为揭示高寒地区土壤碳循环机理提供科学依据。

草地类型对  $Q_{10}$ 具有显著影响。在水分适中时(70% SSM),高寒湿地  $Q_{10}$ 显著高于高寒草甸。类似地,白洁冰<sup>[24]</sup>等提出在正常水分培养下高寒湿地(土壤含水量 70%)的  $Q_{10}$ 显著高于草甸(土壤含水量 24%)。然而,在本研究中发现当含水量为 100%和 130% SSM 时,高寒湿地土壤碳矿化的  $Q_{10}$ 值显著低于高寒草甸( $P < 0.05$ ),随着培养时间的延长,这种差距变得更为明显,这一结果暗示全球暖干化对水分相对较充裕区域土壤碳矿化的影响可能会超过干旱区域<sup>[34]</sup>。本文结果表明土壤水分与高寒地区  $Q_{10}$ 的关系非常复杂,对高寒湿地和草甸  $Q_{10}$ 具有不一致的影响;因此,未来气候变化对高寒地区碳循环的影响及其机理非常复杂,应更深入地研究。

## 4 结论

温度对若尔盖高寒湿地和草地土壤碳矿化具有重要影响,温度越高土壤碳矿化量越大。在 70% SSM 时,

湿地和草甸土壤碳矿化能力更大,过高的土壤水分会抑制土壤碳矿化。整体而言,高寒湿地土壤碳矿化能力高于高寒草甸。在水分适中时(70% SSM),高寒湿地  $Q_{10}$  高于高寒草甸;当水分过高时(100% SSM 和 130% SSM),高寒湿地  $Q_{10}$  值显著低于高寒草甸。在培养前 7 天,水分对高寒湿地  $Q_{10}$  的影响不大,而对草甸的影响明显,从而意味着短暂水淹-干旱交替对高寒湿地土壤碳矿化的影响相对较小。研究结果表明温度和水分对高寒地区土壤碳矿化及其温度敏感性具有重要的影响。

#### References:

- [ 1 ] Taggart M, Heitman J L, Shi W, Vepraskas M. Temperature and water content effects on carbon mineralization for sapric soil material. *Wetlands*, 2012, 32(5): 939-944.
- [ 2 ] Cox P M, Betts R A, Jones C D, Spall S A, Totterdell I J. Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature*, 2000, 408(6809): 184-187.
- [ 3 ] Bowden R D, Newkirk K M, Rullo G M. Carbon dioxide and methane fluxes by a forest soil under laboratory-controlled moisture and temperature conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, 1998, 30(12): 1591-1597.
- [ 4 ] Davidson E A, Belk E, Boone R D. Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. *Global Change Biology*, 1998, 4(2): 217-227.
- [ 5 ] Illstedt U, Nordgren A, Malmer A. Optimum soil water for soil respiration before and after amendment with glucose in humid tropical acrisols and a boreal mor layer. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 32(11/12): 1591-1599.
- [ 6 ] Noormets A, Desai A R, Cook B D, Euskirchen E S, Ricciuto D M, Davis K J, Bolstad P V, Schmid H P, Vogel C V, Carey E V, Su H B, Chen J. Moisture sensitivity of ecosystem respiration: Comparison of 14 forest ecosystems in the Upper Great Lakes Region, USA. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2008, 148(2): 216-230.
- [ 7 ] Suseela V, Conant R T, Wallenstein M D, Dukes J S. Effects of soil moisture on the temperature sensitivity of heterotrophic respiration vary seasonally in an old-field climate change experiment. *Global Change Biology*, 2012, 18(1): 336-348.
- [ 8 ] Xu M, Qi Y. Soil-surface  $CO_2$  efflux and its spatial and temporal variations in a young ponderosa pine plantation in northern California. *Global Change Biology*, 2001, 7(6): 667-677.
- [ 9 ] Gaumont-Guay D, Black T A, Griffis T J, Barr A G, Jassal R S, Nesic Z. Interpreting the dependence of soil respiration on soil temperature and water content in a boreal aspen stand. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2006, 140(1/4): 220-235.
- [ 10 ] Yang Q P, Xu M, Liu H S, Wang J S, Liu L X, Chi Y G, Zhang Y P. Impact factors and uncertainties of the temperature sensitivity of soil respiration. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(8): 2301-2311
- [ 11 ] Nadelhoffer K J, Giblin A E, Shaver G R, Laundre J A. Effects of temperature and substrate quality on element mineralization in six arctic soils. *Ecology*, 1991, 72(1): 242-253.
- [ 12 ] Flanagan L B, Johnson B G. Interacting effects of temperature, soil moisture and plant biomass production on ecosystem respiration in a northern temperate grassland. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2005, 130(3/4): 237-253.
- [ 13 ] Tan J R, Zha T G, Zhang Z Q, Sun G, Dai W, Fang X R, Xu F. Effects of soil temperature and moisture on soil respiration in a poplar plantation in Daxing district, Beijing. *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18(5): 2308-2315.
- [ 14 ] Yan J X, Tang Y, Li H J. Soil respiration and its relations to environmental factors over three urban vegetation covers. *Arid Land Geography*, 2009, 32(4): 604-609.
- [ 15 ] Ceccon C, Panzacchi P, Scandellari F, Prandi L, Ventura M, Russo B, Millard P, Tagliavini M. Spatial and temporal effects of soil temperature and moisture and the relation to fine root density on root and soil respiration in a mature apple orchard. *Plant and Soil*, 2011, 342(1/2): 195-206.
- [ 16 ] Wang C T, Long R J, Wang Q J, Jing Z C, Shang Z H, Ding L M. Distribution of organic matter, nitrogen and phosphorus along an altitude gradient and productivity change and their relationships with environmental factors in the Alpine meadow. *Acta Prataculturae Sinica*, 2005, 14(4): 15-20.
- [ 17 ] Li Y Q, Zhao H L, Zhao X Y, Zhang T H, Chen Y P. Soil respiration, carbon balance and carbon storage of sandy grassland under post grazing natural restoration. *Acta Prataculturae Sinica*, 2006, 15(5): 25-31.
- [ 18 ] Ai L, Wu J G, Zhu G, Liu J Q, Tian Z Q, Chang W, Xia X. The mineralization of alpine meadow soil organic carbon and factors influencint it in the Qilian Mountain. *Acta Prataculturae Sinica*, 2007, 16(5): 22-33.
- [ 19 ] Meng X M. *Wetlands and global environmental change*. Scientia Geographica Sinica, 1999, 19(5): 385-339.
- [ 20 ] Sichuan Province Hongyuan County Annals Compilation Committee. *Hongyuan County Annals*. Chengdu: Sichuan People's Publishing House, 1996.
- [ 21 ] Sichuan Vegetation Collaborative Group. *Sichuan Vegetation*. Chengdu: Sichuan People's Publishing House, 1980.
- [ 22 ] Dai J Z, Wei Z J, He N P, Wang R M, Wen X H, Zhang Y H, Zhao X N, Yu G R. Effect of grazing enclosure on the priming effect and temperature sensitivity of soil C mineralization in *Leymus chinensis* grasslands, Inner Mongolia, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2012, 12(6): 1226-1236.

- [23] Menyailo O V, Huwe B. Denitrification and C, N mineralization as function of temperature and moisture potential in organic and mineral horizons of an acid spruce forest soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 1999, 162(5): 527-531.
- [24] Bai J B, Xu X L, Song M H, He Y T, Jiang J, Shi P L. Effects of temperature and added nitrogen on carbon mineralization in alpine soils on the Tibetan Plateau. *Ecology and Environmental Sciences*, 2011, 20(5): 855-859.
- [25] Mikan C J, Schimel J P, Doyle A P. Temperature controls of microbial respiration in arctic tundra soils above and below freezing. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, 34(11): 1785-1795.
- [26] Liu Y P, Tang Y P, Lu Q, Gao R. Effects of temperature and land use change on soil organic carbon mineralization. *Journal of Anhui Agriculture*, 2011, 39(7): 3896-3927.
- [27] Yang J S, Liu J S, Sun L N. Effects of temperature and soil moisture on wetland soil organic carbon mineralization. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(1): 38-42.
- [28] Merila P, Ohtonen R. Soil microbial activity in the coastal Norway spruce forests of the Gulf of Bothnia in relation to humus-layer quality moisture and soil types. *Biology and Fertility of Soils*, 1997, 25(4): 361-365.
- [29] Smith V R. Soil respiration and its determinants on a sub-Antarctic island. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003, 35(1): 77-91.
- [30] Gardenas A I. Soil respiration fluxes measured along a hydrological gradient in a Norway spruce stand in south Sweden (Skogaby). *Plant and Soil*, 2000, 221(2): 273-280.
- [31] Wu J G, Ai L, Chang W. Soil organic carbon mineralization and its affecting factors under four typical vegetations in mid Qilian Mountains. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(11): 1703-1711.
- [32] Balser T C, Wixon D L. Investigating biological control over soil carbon temperature sensitivity. *Global Change Biology*, 2009, 15(12): 2935-2949.
- [33] Yang Y, Huang M, Liu H S, Liu H J. The interrelation between temperature sensitivity and adaptability of soil respiration. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(10): 1811-1820.
- [34] Chen Q S, Li L H, Han X G, Yan Z D, Wang Y F, Zhang Y, Xiong X G, Chen S P, Zhang L X, Gao Y Z, Tang F, Yang J, Dong Y S. Temperature sensitivity of soil respiration in relation to soil moisture in 11 communities of typical temperate steppe in Inner Mongolia. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(4): 831-836.

#### 参考文献:

- [10] 杨庆朋, 徐明, 刘洪升, 王劲松, 刘丽香, 迟永刚, 郑云普. 土壤呼吸温度敏感性的影响因素和不确定性. *生态学报*, 2011, 31(8): 2301-2311.
- [13] 谭炯锐, 查同刚, 张志强, 孙阁, 戴伟, 方显瑞, 徐枫. 土壤温湿度对北京大兴杨树人工林土壤呼吸的影响. *生态环境学报*, 2009, 18(5): 2308-2315.
- [14] 严俊霞, 汤亿, 李洪建. 城市绿地土壤呼吸与土壤温度土壤水分的关系研究. *干旱区地理*, 2009, 32(4): 604-609.
- [16] 王长庭, 龙瑞军, 王启基, 景增春, 尚占环, 丁路明. 高寒草甸不同海拔梯度土壤有机质氮磷的分布和生产力变化及其与环境因子的关系. *草业学报*, 2005, 14(4): 15-20.
- [17] 李玉强, 赵哈林, 赵学勇, 张铜会, 陈银萍. 不同强度放牧后自然恢复的沙质草地土壤呼吸、碳平衡与碳储量. *草业学报*, 2006, 15(5): 25-31.
- [18] 艾丽, 吴建国, 朱高, 刘建泉, 田自强, 茆伟, 夏新. 祁连山中部高山草甸土壤有机碳矿化及其影响因素研究. *草业学报*, 2007, 16(5): 22-33.
- [19] 孟宪民. 湿地与全球环境变化. *地理科学*, 1999, 19(5): 385-339.
- [20] 四川省红原县志编写委员会. 红原县县志. 成都: 四川人民出版社, 1980.
- [21] 四川植被协作组. 四川植被. 成都: 四川人民出版社, 1980.
- [22] 代景忠, 卫智军, 何念鹏, 王若梦, 温学华, 张云海, 赵小宁, 于贵瑞. 封育对羊草草地土壤碳矿化激发效应和温度敏感性的影响. *植物生态学报*, 2012, 12(6): 1226-1236.
- [24] 白洁冰, 徐兴良, 宋明华, 何永涛, 蒋婧, 石培礼. 温度和氮素输入对青藏高原三种高寒草地土壤碳矿化的影响. *生态环境学报*, 2011, 20(5): 855-859.
- [26] 刘燕萍, 唐英平, 卢茜, 高人. 温度和土地利用变化对土壤有机碳矿化的影响. *安徽农业科学*, 2011, 39(7): 3896-3927.
- [27] 杨继松, 刘景双, 孙丽娜. 温度、水分对湿地土壤有机碳矿化的影响. *生态学杂志*, 2008, 27(1): 38-42.
- [31] 吴建国, 艾丽, 茆伟. 祁连山中部四种典型生态系统土壤有机碳矿化及其影响因素. *生态学杂志*, 2007, 26(11): 1703-1711.
- [33] 杨毅, 黄玫, 刘洪升, 刘华杰. 土壤呼吸的温度敏感性和适应性研究进展. *自然资源学报*, 2011, 26(10): 1811-1820.
- [34] 陈全胜, 李凌浩, 韩兴国, 阎志丹, 王艳芬, 张焱, 熊小刚, 陈世革, 张丽霞, 高英志, 唐芳, 杨晶, 董云社. 典型温带草原群落土壤呼吸温度敏感性与土壤水分的关系. *生态学报*, 2004, 24(4): 831-836.

# ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33 ,No.20 Oct. ,2013 ( Semimonthly)

## CONTENTS

### Frontiers and Comprehensive Review

- Spatial variability of small and medium scales' resource abundance of *Ommastrephes bartramii* in Northwest Pacific ..... YANG Mingxia, CHEN Xinjun, FENG Yongjiu, et al (6427)
- The effect of moisture and temperature on soil C mineralization in wetland and steppe of the Zoige region, China ..... WANG Dan, LV Yuliang, XU Li, et al (6436)
- Response and population bionomic strategies of desert rodent communities towards disturbance of cultivation ..... YUAN Shuai, FU Heping, WU Xiaodong, et al (6444)
- Effects of Bt-cotton on *Propylea japonica*, an Enemy Insect of *Bemisia tabaci* (Gennadius) ..... ZHOU Fucui, GU Aixiang, YANG Yizhong, et al (6455)
- Research progress in the ecological effects of micro-landform modification ..... WEI Wei, YU Yun, JIA Fuyan, et al (6462)

### Autecology & Fundamentals

- A multi-scale feeding habitat selection of Red-crowned crane during spring migration at the Shuangtaihekou Nature Reserve, Liaoning Province, China ..... WU Qingming, ZOU Hongfei, JIN Hongyang, et al (6470)
- Surface pollen research of Nanshan region, Shihezi City in Xinjiang ..... ZHANG Hui, ZHANG Yun, YANG Zhenjing, et al (6478)
- Dynamics of leaf carbon, nitrogen and phosphorus of two dominant species in a Poyang Lake wetland ..... ZHENG Yanming, YAO Bo, WU Qin, et al (6488)
- Estimation of forest aboveground biomass using high spatial resolution remote sensing imagery ..... HUANG Jinlong, JU Weimin, ZHENG Guang, et al (6497)
- Cost-benefits of the clonal integration of *Cynodon dactylon*, a stolon herbaceous plant, under heterogeneous lighting condition ..... TAO Yingshi, HONG Shengchun, LIAO Yongmei, et al (6509)
- Biological cycling of *Koelreuteria paniculata* plantation microelements in Xiangtan Manganese Mine wasteland ..... LUO Zhaohui, TIAN Dalun, TIAN Hongdeng, et al (6517)
- Effects of ectomycorrhizal fungi (*tinctorius* (Pers.) Coker & Couch) on the biomass of masson pine (*Pinus massoniana*) seedlings under simulated acid rain ..... CHEN Zhan, WANG Lin, SHANG He (6526)
- Effects of biochar on selected soil chemical properties and on wheat and millet yield ..... CHEN Xinxiang, HE Xusheng, GENG Zengchao, et al (6534)
- Source of variation of plant functional traits in the Yanhe river watershed; the influence of environment and phylogenetic background ..... ZHANG Li, WEN Zhongming, MIAO Lianpeng (6543)
- The general biology and experimental population life table about *Asynacta ambrostomae* ..... WANG Xiumei, ZANG Liansheng, LIN Baoqing, et al (6553)
- Effect of several ecological factors on embryonic development of *Sepia lycidas* ..... PENG Ruibing, JIANG Xiamin, YU Shuguang, et al (6560)

### Population, Community and Ecosystem

- The thinning regular of the the shrubbery at Tongguling National Nature Reserve on Hainan Island, China ..... ZHOU Wei, LONG Cheng, YANG Xiaobo, et al (6569)
- The cause of grassland degradation in Golog Tibetan Autonomous Prefecture in the Three Rivers Headwaters Region of Qinghai Province ..... ZHAO Zhiping, WU Xiaopu, LI Guo, et al (6577)
- Effects of simulated nitrogen deposition on substrate quality of litterfall in a *Pleiblastus amarus* plantation in Rainy Area of West China ..... XIAO Yinlong, TU Lihua, HU Tingxing, et al (6587)
- Phytoplankton community structure based on pigment composition in Qinzhou bay during average water period ..... LAN Wenlu, LI Mingmin, LI Tianshen (6595)
- Functional trait-based evaluation of plant fireproofing capability for subtropical evergreen broad-leaved woody plants ..... LI Xiupeng, YANG Xiaodong, YU Shuquan, et al (6604)
- Interspecific associations between *Parus major* and other bird communities in Beijing Xishan region ..... DONG Daying, FAN Zhongji, LI Zhaxijie, et al (6614)

- Feasibility analysis of passive integrated transponders in population ecology studies of Siberian chipmunk .....  
 ..... YANG Hui, MA Jianzhang, RONG Ke (6634)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- Dynamic variation of water deficit of winter wheat and its possible climatic factors in Northern China .....  
 ..... LIU Qin, MEI Xurong, YAN Changrong, et al (6643)
- Study on the levels' evaluation of provincial low-carbon development in China based on the FAHP-TOPSIS method .....  
 ..... HU Linlin, JIA Junsong, MAO Duanqian, et al (6652)
- An investigation of the safety threshold of a floodplain wetland: a case study of the Er-Ka Nature Reserve, China .....  
 ..... HU Chunming, LIU Ping, ZHANG Litian, et al (6662)
- Application of le bissonnais method to study soil aggregate stability under different vegetaion on the loess plateau .....  
 ..... LIU Lei, AN Shaoshan, Huang Huawei (6670)
- Analysis of vegetation and soil degradation characteristics under different human disturbance in lakeside wetland, Napahai .....  
 ..... TANG Mingyan, YANG Yongxing (6681)
- Resource and Industrial Ecology**
- Changes of land surface temperature and its response to urbanization under the extreme high-temperature background in recent  
 ten years of Beijing ..... LI Xiaomeng, SUN Yonghua, MENG Dan, et al (6694)
- Stable isotope ( $^{13}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$ ) analysis of fish food web of the Xiaojiang Bay in Three Gorges Reservoir .....  
 ..... LI Bin, XU Dandan, WANG Zhijian, et al (6704)
- Research Notes**
- Dynamics of  $\text{CO}_2$  exchange and its environmental controls in an urban green-land ecosystem in Beijing Olympic Forest Park .....  
 ..... CHEN Wenjing, LI Chunyi, HE Guimei, et al (6712)
- Effects of vegetation restoration on landscape pattern of Hongya Country in recent 15 years .....  
 ..... WANG Peng, LI Xianwei, ZHAO Anjiu, et al (6721)
- Photosynthetic characteristics and SAMS gene expression in the red alga *Porphyra yezoensis* Ueda under high salinity .....  
 ..... ZHOU Xianghong, YI Lefei, XU Juntian, et al (6730)

# 《生态学报》2013 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,300 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

本期责任副主编 宋金明 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 33 卷 第 20 期 (2013 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA  
(Semimonthly, Started in 1981)  
Vol. 33 No. 20 (October, 2013)

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



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 90.00 元