

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第33卷 第6期 Vol.33 No.6 2013

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 (SHENTAI XUEBAO)

第33卷 第6期 2013年3月 (半月刊)

## 目 次

### 专论与综述

基于遥感技术的森林健康研究综述 ..... 高广磊,信忠保,丁国栋,等 (1675)

Agent 农业土地变化模型研究进展 ..... 余强毅,吴文斌,杨鹏,等 (1690)

### 个体与基础生态

辽东湾北部近海沙蚕的动态分布 ..... 王彬,秦宇博,董婧,等 (1701)

口虾蛄 proPO 基因全长 cDNA 的克隆与组织表达 ..... 刘海映,刘连为,姜玉声,等 (1713)

中缅树鼩头骨及下白齿几何形态与环境的关系 ..... 朱万龙,贾婷,黄春梅,等 (1721)

亚热带 3 种树种凋落叶厚度对其分解速率及酶活性的影响 ..... 季晓燕,江洪,洪江华,等 (1731)

浙北地区常见绿化树种光合固碳特征 ..... 张娇,施拥军,朱月清,等 (1740)

两种高质牧草不同生育期光合生理日变化及光响应特征 ..... 郭春燕,李晋川,岳建英,等 (1751)

基于 WOFOST 作物生长模型的冬小麦干旱影响评估技术 ..... 张建平,赵艳霞,王春乙,等 (1762)

基于线粒体 DNA 控制区的斑翅草螽不同地理种群遗传分化研究 ..... 周志军,尚娜,刘静,等 (1770)

圈养尖吻蝮雌体大小、窝卵数和卵大小之间的关系 ..... 胡明行,谭群英,杨道德 (1778)

应用寄生蜂和不育雄虫防控田间橘小实蝇 ..... 郑思宁,黄居昌,叶光禄,等 (1784)

青蒿素对外生菌根真菌化感效应 ..... 李倩,袁玲,王明霞,等 (1791)

### 种群、群落和生态系统

海湾生态系统健康评价方法构建及在大亚湾的应用 ..... 李纯厚,林琳,徐珊楠,等 (1798)

上升流和水团对浙江中部近海浮游动物生态类群分布的影响 ..... 孙鲁峰,柯昶,徐兆礼,等 (1811)

半干旱区生态恢复关键生态系统识别——以内蒙古自治区和林县为例 .....  
彭羽,高英,冯金朝,等 (1822)

太岳山油松人工林土壤呼吸对强降雨的响应 ..... 金冠一,赵秀海,康峰峰,等 (1832)

重庆酸雨区马尾松林凋落物特征及对干旱胁迫的响应 ..... 王轶浩,王彦辉,于澎涛,等 (1842)

### 景观、区域和全球生态

城市典型水域景观的热环境效应 ..... 岳文泽,徐丽华 (1852)

外来树种桉树引种的景观生态安全格局 ..... 赵筱青,和春兰 (1860)

基于耕地生态足迹的重庆市耕地生态承载力供需平衡研究 ..... 施开放,刁承泰,孙秀锋,等 (1872)

大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高对稻田根际土壤甲烷氧化细菌丰度的影响 ..... 严陈,许静,钟文辉,等 (1881)

### 资源与产业生态

基于可变模糊识别模型的海水环境质量评价 ..... 柯丽娜,王权明,孙新国,等 (1889)

亚热带养殖海湾皱纹海鞘生物沉积的现场研究 ..... 闫家国,齐占会,田梓杨,等 (1900)

黄土高原典型苹果园地深层土壤氮磷钾养分含量与分布特征 ..... 张丽娜,李军,范鹏,等 (1907)

- 旱作农田不同耕作土壤呼吸及其对水热因子的响应 ..... 张丁辰, 蔡典雄, 代快, 等 (1916)  
商洛低山丘陵区农林复合生态系统中大豆与丹参的光合生理特性 ..... 彭晓邦, 张硕新 (1926)  
外源油菜素内酯对镉胁迫下菊芋幼苗光合作用及镉富集的调控效应 ..... 高会玲, 刘金隆, 郑青松, 等 (1935)  
基于侧柏液流的测定对 Granier 原始公式系数进行校正 ..... 刘庆新, 孟平, 张劲松, 等 (1944)

#### 研究简报

- 湿地自然保护区保护价值评价方法 ..... 孙锐, 崔国发, 雷霆, 等 (1952)  
干热河谷印楝和大叶相思人工林根系生物量及其分布特征 ..... 高成杰, 唐国勇, 李昆, 等 (1964)  
海滨沙滩单叶蔓荆对沙埋的生理响应特征 ..... 周瑞莲, 王进, 杨淑琴, 等 (1973)  
宁夏贺兰山、六盘山典型森林类型土壤主要肥力特征 ..... 姜林, 耿增超, 张雯, 等 (1982)

#### 学术争鸣

- 小兴安岭十种典型森林群落凋落物生物量及其动态变化 ..... 侯玲玲, 毛子军, 孙涛, 等 (1994)  
中国生态学学会 2013 年学术年会征稿通知 ..... (2002)  
第七届现代生态学讲座、第四届国际青年生态学者论坛通知 ..... (I)  
中、美生态学会联合招聘国际期刊主编 ..... (i)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 328 \* zh \* P \* ¥ 90.00 \* 1510 \* 34 \* 2013-03



**封面图说:**亭亭玉立的白桦树——白桦为落叶乔木, 可高达 25m, 胸径 50cm。其树冠呈卵圆形, 树皮白色, 纸状分层剥离; 叶三角状、卵形或菱状卵形; 花单性, 雌雄同株。白桦树喜光, 耐严寒, 对土壤适应性强, 喜酸性土, 沼泽地、干燥阳坡及湿润阴坡都能生长。常与红松、落叶松、山杨、蒙古栎混生。白桦的天然更新好, 生长较快, 萌芽强, 在人为的采伐迹地或火灾、风灾等自然损毁的迹地里, 往往由白桦首先进入, 为先锋树种, 而形成白桦次生林。白桦分布甚广, 我国大、小兴安岭及长白山均有成片纯林, 在华北平原和黄土高原山区、西南山地亦为阔叶落叶林及针叶阔叶混交林中的常见树种。

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/stxb201110071460

张丁辰,蔡典雄,代快,冯宗会,张晓明,王小彬.旱作农田不同耕作土壤呼吸及其对水热因子的响应.生态学报,2013,33(6):1916-1925.  
Zhang D C, Cai D X, Dai K, Feng Z H, Zhang X M, Wang X B. Soil respiration and its responses to soil moisture and temperature under different tillage systems in dryland maize fields. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(6): 1916-1925.

## 旱作农田不同耕作土壤呼吸及其对水热因子的响应

张丁辰<sup>1,2</sup>, 蔡典雄<sup>1,3</sup>, 代快<sup>1</sup>, 冯宗会<sup>1</sup>, 张晓明<sup>1</sup>, 王小彬<sup>1,3,\*</sup>

(1. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 农业部作物营养与施肥重点开放实验室, 北京 100081;

2. 北京京诚嘉宇环境科技有限公司, 中冶京诚工程技术有限公司, 北京 100053; 3. 农业部旱作节水农业重点开放实验室, 北京 100081)

**摘要:**为研究旱作农田春玉米生育期不同耕作土壤呼吸变化特征及其对水热因子的响应情况,在山西省寿阳县旱农试验基地采用红外气体分析法测定了传统耕作(CT)、少耕(RT)和免耕(NT)土壤呼吸速率,并同步测定了各土层土壤水分、温度。研究表明:在春玉米生育期内,土壤呼吸速率均呈单峰型变化趋势,峰值出现在8月;传统耕作与少耕土壤呼吸速率变化趋势基本一致,而免耕土壤与前两者相比波动幅度较大;土壤呼吸峰值与水分、温度之间无明显相关,其余时期土壤呼吸与水分、温度因子具有良好的相关性;双因子模型较单因子模型能更好的描述土壤呼吸与水分、温度之间关系,基于水热双因子(10—20 cm)的指数-幂模型能够解释土壤呼吸变化的81%—87% ( $P<0.01$ );3种耕作土壤呼吸对水热因子协同影响的敏感性表现为CT>NT>RT。

**关键词:**旱作农田;耕作措施;土壤呼吸;土壤水分;土壤温度;水热因子

## Soil respiration and its responses to soil moisture and temperature under different tillage systems in dryland maize fields

ZHANG Dingchen<sup>1,2</sup>, CAI Dianxiong<sup>1,3</sup>, DAI Kuai<sup>1</sup>, FENG Zonghui<sup>1</sup>, ZHANG Xiaoming<sup>1</sup>, WANG Xiaobin<sup>1,3,\*</sup>

1 Key Laboratory of Plant Nutrition and Fertilizer, Ministry of Agriculture/ Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, CAAS, Beijing 100081, China

2 CERI eco Technology Co., LTD. Capital Engineering & Research Co., LTD, Beijing 100053, China

3 Key Laboratory of Dryland Farming and Water-saving Agriculture, Beijing 100081, China

**Abstract:** Soil respiration and its responses to soil moisture and soil temperature under different tillage systems during the period of spring maize growth were investigated in Shouyang Dryland Farming Experimental Station, Shanxi Province, China. The soil respiration rate, soil moisture and soil temperature were determined by dynamic chamber-IRGA method, in the maize field, with three tillage practices, including conventional (CT), reduced (RT), and no-till (NT). The results showed that the changes in soil respiration rates had a single peak curve, and its peak appeared in August. The seasonal variations in soil respiration rates under CT, RT and NT were 0.50—4.81, 1.11—5.44 and 0.40—5.89  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respectively. The trends in soil respiration between CT and RT were similar, while there was a larger fluctuation in soil respiration with NT. The regression analysis showed that soil respiration had a significant correction with soil moisture or temperature, but little at the peak values of soil respiration. Soil moisture (0—10 cm) could explain 57%—76% of seasonal variations in the soil respiration. The moisture sensitivities of soil respiration were NT>RT>CT. Soil temperature (15 cm) could explain 67%—82% of seasonal variations in the soil respiration. the  $Q_{10}$  was NT (2.47)>RT (2.02)>CT

**基金项目:**国家重点基础研究发展“973”计划项目(2011CB100501);国家十二五“863”计划项目(2011AA100505);国际合作项目(2010DFA34420)

收稿日期:2011-10-07; 修订日期:2012-12-14

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xbwang@caas.ac.cn

(1.59). The two-factor model  $y=ae^{bT}W^c$  or  $y=a+bT+cW$  could better describe the relationship between soil respiration and combination of soil moisture and temperature than the one-factor model. The index-power model of combination of soil moisture and temperature (10—20 cm)  $y=ae^{bT}W^c$  can explain 81%—87% of variations in soil respiration ( $P<0.01$ ). The sensitivities of three tillage treatments to the combination of soil moisture and temperature were: RT>CT>NT. Soil respiration was affected differently by the hydrothermic factor or by each of the single factor.

**Key Words:** dryland farming; maize; soil moisture; soil respiration; soil temperature; tillage practices

土壤呼吸是土壤碳库向大气碳库输入碳的主要途径<sup>[1]</sup>。研究表明,土壤碳库0.1%的变化将导致大气圈CO<sub>2</sub>浓度1 mg/L的变化,从而加剧或减缓全球气候变暖<sup>[2]</sup>。过去100a间(1906—2005年)全球地面平均温度升高了( $0.74\pm0.18$ )℃<sup>[3]</sup>,温度的升高会导致土壤释放出更多的CO<sub>2</sub>,进一步加剧气候变暖<sup>[4]</sup>,已经引起各国政府和科研工作者的高度重视。因此,明确陆地生态系统土壤呼吸变化规律及其影响因素的控制机理对制定温室气体减排政策与正确评估区域碳汇/源效应具有重要意义。陆地生态系统土壤呼吸作用主要有3个特征:土壤呼吸强度、时间变异性、空间变异性<sup>[5]</sup>。测定不同区域陆地生态系统土壤呼吸速率及其影响因素,明确其时间和空间变异特征,对于全球碳平衡预算、估测及其变化研究是最为基础的数据<sup>[6]</sup>。因此,必须加强不同区域土壤呼吸过程及其影响因素的研究<sup>[6-8]</sup>。

陆地生态系统中,森林和草原生态系统土壤呼吸是当前国内外研究重点,两生态系统土壤有机碳储量分别约占全球陆地生态系统土壤有机碳总量的40%和15.5%,是全球碳循环的重要组成部分<sup>[9-11]</sup>;近几十年来,作为人为干扰最为强烈的农田生态系统被证明也是影响气候变化的主要因素之一<sup>[12]</sup>。目前,我国农田土壤呼吸方面研究主要集中在黄淮海、东北和长江中下游地区<sup>[13-14]</sup>,而旱作农田土壤呼吸及其影响因素的研究报道较少,且对土壤呼吸与水热因素之间关系的研究结论存在争议<sup>[14-16]</sup>。本试验基于农业部寿阳旱作农业试验基地自2003年开始的长期定位试验,测定了传统耕作、少耕和免耕土壤呼吸速率,同步测定了0—10 cm和10—20 cm土壤水分以及5、10cm和15cm土壤温度,分析了春玉米生育期内不同耕作措施下土壤呼吸变化特征,对土壤呼吸与水热两因素之间关系进行了拟合和分析,以期为土壤碳循环过程及其变化机制研究提供理论依据和数据支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概况

试验设在半湿润偏旱区的山西省晋中地区寿阳旱农试验站(东经112°—113°,北纬37°—38°),属中纬度暖温带大陆性季风气候区。该区近10年的平均年降水量为443.8 mm,平均气温7.4 ℃。试验区大部分土地地势较高,海拔1066—1159 m。试验地选在较平缓、无灌溉条件的旱塬砂质壤土的褐土上,属全年无灌溉雨养地,基础养分含量为有机质25.7 g/kg,速效磷(P)7.3 mg/kg,速效钾(K)84.0 mg/kg,全氮1.04 g/kg,无机态碱解氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>+NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)54.0 mg/kg,pH值为7.87。

2009年春玉米生育期为4月27日至10月4日,共161 d;2010年春玉米生育期为4月26日至10月12日,共170 d。在春玉米生育期内,2009—2010年分别降水33次和37次,总量分别为359.3 mm和279.3 mm,两年中均为8月份降水量最大(图1)。

### 1.2 试验设计与管理

本试验为长期定位试验,始于2003年4月份。供试玉米品种为当地优势品种(4月下旬播种,10月中旬收获),2009—2010年均为晋单48号。试验设3种耕作处理,分别为传统耕作(CT)、少耕(RT)和免耕(NT)。

- (1)传统耕作处理,秋收后秸秆移出并耕翻(秸秆残留量约25%),春播前施化肥并耕翻;
- (2)少耕处理,秋收后秸秆还田并配合施化肥及翻耕(秸秆、残茬还田量约90%),春季免耕播种;
- (3)免耕处理(NT),秋收后秸秆顺行覆盖(秸秆、残茬还田量约90%),春季改秸秆垄沟覆盖(垄、沟宽度

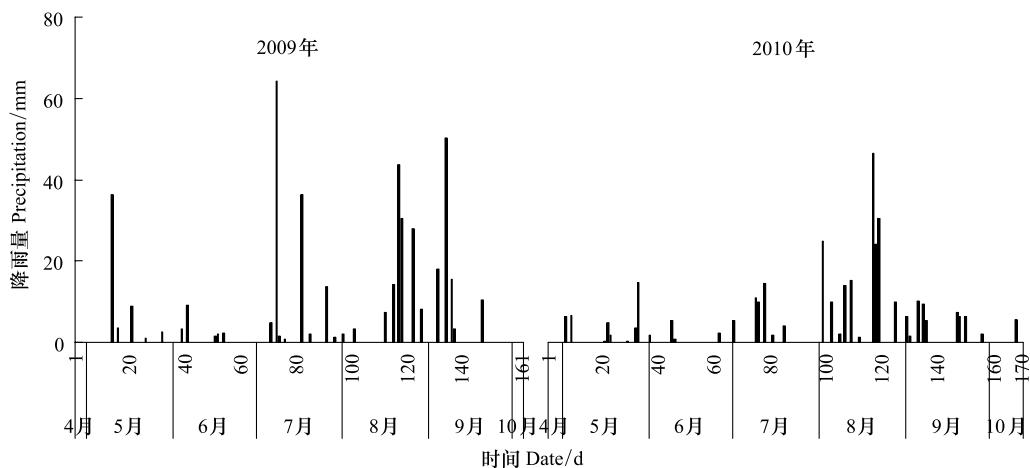


图1 2009—2010年降水量

Fig. 1 Precipitation in 2009—2010

均为60 cm, 垒高、沟深均为5 cm, 坡度约10°), 顺垄开5 cm深小槽, 点播玉米种子并在两播种点之间穴施化肥。处理小区面积为10 m×5 m=50 m<sup>2</sup>, 重复6次, 每年不同耕作处理NP施肥量为105 kg/hm<sup>2</sup>, 肥料为复合肥20-20-0 (N%-P%-K%)。

### 1.3 观测指标与数据处理

#### 1.3.1 土壤呼吸、温度与水分测定方法

采用红外气体分析法测定土壤呼吸速率, 测定仪器型号为LI-6400-09 (LI-COR, Lincoln, NE, USA), 在玉米播种期(4月底)、苗期(5月份)、拔节期(6月份)、大喇叭口期(7—8月份)、灌浆期(9月份)、成熟期和收获期(10月份)分别选取一天进行土壤呼吸测定, 每个处理5—6组重复, 具体测定方法详见韩广轩等<sup>[17]</sup>。每次测定均限定在08:00—10:00点之间, 此时土壤呼吸速率最为接近24 h均值<sup>[18]</sup>。为避免测定土壤受到扰动, 每年播种后在各小区内随机放置测定基座后整个生育期内不再移动, 测定基座放置在相邻两行的4棵玉米植株之间(免耕处理中, 在相邻沟、垄分别放置1个测定基座, 记为1组, 随机放置3组, 土壤呼吸速率取该组的平均值), 插入土壤深度为2 cm, 作为气室连接LI-6400的呼吸探头, 测定时仪器直接输出结果。

在测定土壤呼吸时采用酒精温度计同步测定当天5、10 cm和15 cm土壤温度; 采用经典烘干法测定0—10 cm和10—20 cm土壤水分, 以质量含水率(%)表示; 降水量采用不锈钢雨量器收集记录。

#### 1.3.2 温度敏感性系数计算方法

土壤呼吸速率随温度变化程度使用温度敏感性系数 $Q_{10}$ 表示, 即温度每升高10℃土壤呼吸增加的倍数<sup>[19]</sup>, 公式<sup>[20]</sup>为:

$$y = ae^{bT}, Q_{10} = e^{10b}$$

式中,  $y$ 为土壤呼吸速率( $\mu\text{CO}_2\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ),  $T$ 为土壤温度(℃),  $a$ 、 $b$ 为模拟计算值。

#### 1.3.3 数据分析与处理

采用Microsoft excel 2003进行数据处理和图表制作, 土壤呼吸与水热两因子之间关系采用SAS V8中的REG统计程序进行统计分析, 各关系方程如下:

土壤呼吸与土壤水分关系方程

$$y = aW^2 + bW + c$$

土壤呼吸与土壤温度关系方程

$$y = aT^b$$

土壤呼吸与水热因子关系方程

$$y = ae^{bT}W^c, y = a + bT + cW$$

式中,  $y$ 为土壤呼吸速率( $\mu\text{CO}_2\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ),  $W$ 为土壤质量含水量(%),  $T$ 为土壤温度(℃),  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 为模拟计算值。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同耕作处理玉米生育期地表土壤水分、温度

#### 2.1.1 不同耕作处理玉米生育期地表土壤水分变化

土壤水分很大程度上随降水量的变化而变化,图2显示,生育期内土壤含水率波动剧烈,呈波浪形变化趋势,波动程度最大的少耕土壤含水率变化范围为5.6%—23.9%;3种耕作处理之间,免耕土壤含水率最高,其次是少耕土壤,传统耕作土壤最小,2009—2010年生育期内平均土壤含水率(0—20 cm)三者分别为15.7%、13.7%和13.5%,前者分别比后两者高出14.8%和17.7%,可见免耕的保水性能最好;不同土层间,0—10 cm与10—20 cm相比,后者土壤含水率均高于前者(图2)。

#### 2.1.2 不同耕作处理玉米生育期地表土壤温度变化

由图3可见,春玉米生育期内,土壤温度呈单峰型变化趋势,峰值出现在7月份;不同土层间,土壤温度随土层的不断加深而逐渐降低;不同处理间,CT、RT和NT土壤0—15 cm平均温度变化范围分别是:4.5—28.5、5.0—28.2和3.3—25.2 °C,波动幅度较大,传统耕作和少耕土壤在各土层上均相差无几,但都略高于免耕土壤,在夏季高温时期尤为明显。

### 2.2 不同耕作措施土壤呼吸速率

由表1可见,春玉米生育期内,除2010年7月份土壤呼吸速率略低于2010年6月份外(差异不显著),土壤呼吸变化趋势基本表现为单峰型,相同处理下各月份土壤呼吸速率差异显著,自5月份开始逐渐升高,至8月份达到峰值,后又逐渐降低;3种耕作处理之间,除2009年8月份、2010年6月份和8月份之外土壤呼吸速率均无显著差异(表1),CT、RT和NT土壤呼吸速率变化范围分别是0.50—4.81、1.11—5.44和0.40—5.89  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,传统耕作与少耕土壤呼吸速率变化趋势基本一致,其中少耕略高于传统耕作,而免耕土壤与前两者相比波动幅度较大;免耕土壤呼吸速率在4月底玉米播种期最小,8月份玉米生长旺季超过传统耕作和少耕土壤达到最大,10月份玉米收获后又降至三者中最低水平;年际间,除2010年8月份免耕土壤呼吸速率与2009年同期相比无明显变化外,其它时期2010年各处理土壤呼吸速率均低于2009年,这可能是2010年土壤含水率(0—20 cm)和温度(0—15 cm)相较2009年均略有降低导致(图2,图3)。

### 2.3 土壤呼吸与水热因子之间的关系

基于土壤水分( $y=aW^2+bW+c$ )或土壤温度( $y=aT^b$ )的单因素模型拟合结果显示,2009年、2010年两年土壤呼吸峰值与水分、温度单因子之间均无显著相关,其余时期土壤呼吸与水热因子表现出了良好的相关关系(图4,图5);基于土壤水分和土壤温度的双因素模型( $y=ae^{bT}W^c$ 或 $y=a+bT+cW$ )拟合结果显示,整个生育期

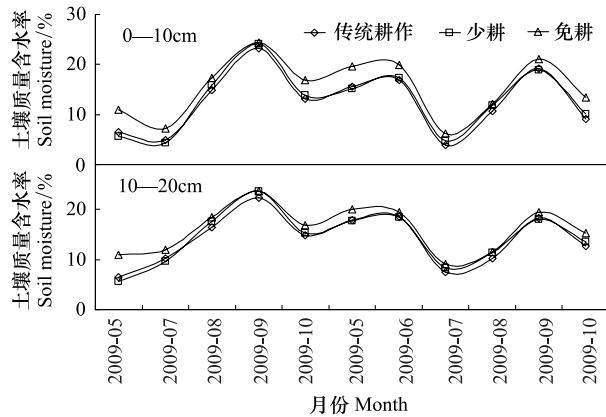


图2 春玉米生育期内土壤水分

Fig. 2 Soil moisture in spring maize growth stage

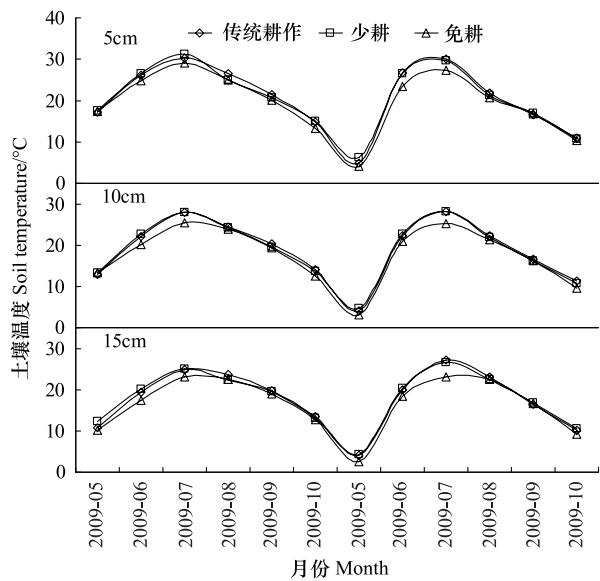


图3 春玉米生育期内土壤温度

Fig. 3 Soil temperature in spring maize growth stage

表1 春玉米生育期内不同耕作土壤呼吸速率

Table 1 Soil respiration rate under different tillage treatment in spring maize growth stage

年份 Year	处理 Treatment	平均值±标准误差 Mean±SE/(μCO <sub>2</sub> mol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )					
		4月 Apr	5月 May	7月 Jul	8月 Aug	9月 Sep	10月 Oct
2009	少耕 RT	0.87±0.20ghi	1.28±0.61fghi	2.24±0.33de	5.44±3.77ab	3.77±1.35c	1.90±0.27ef
	传统耕作 CT	0.53±0.07i	0.50±0.22i	1.93±0.08ef	4.81±1.05b	3.11±1.11cd	1.70±0.14efg
	免耕 NT	0.61±0.16i	0.72±0.25hi	2.44±0.47de	5.88±1.38a	3.54±1.05c	1.58±0.19efgh
2010		5月 May	6月 Jun	7月 Jul	8月 Aug	9月 Sep	10月 Oct
	少耕 RT	1.11±0.16ghi	2.86±0.42c	2.85±0.91c	3.65±1.52b	2.07±0.41de	1.45±0.14efg
	传统耕作 CT	0.52±0.10hi	1.98±0.14def	2.36±0.38cd	2.90±0.81c	1.60±0.34efg	1.15±0.22gh
	免耕 NT	0.40±0.04i	1.65±0.23defg	2.93±0.56c	5.89±0.65a	1.84±0.44defg	1.29±0.12fg

分别对2009年和2010年春玉米生育期不同耕作土壤呼吸速率做了方差分析,不同字母表示两者差异达到5%的显著性水平

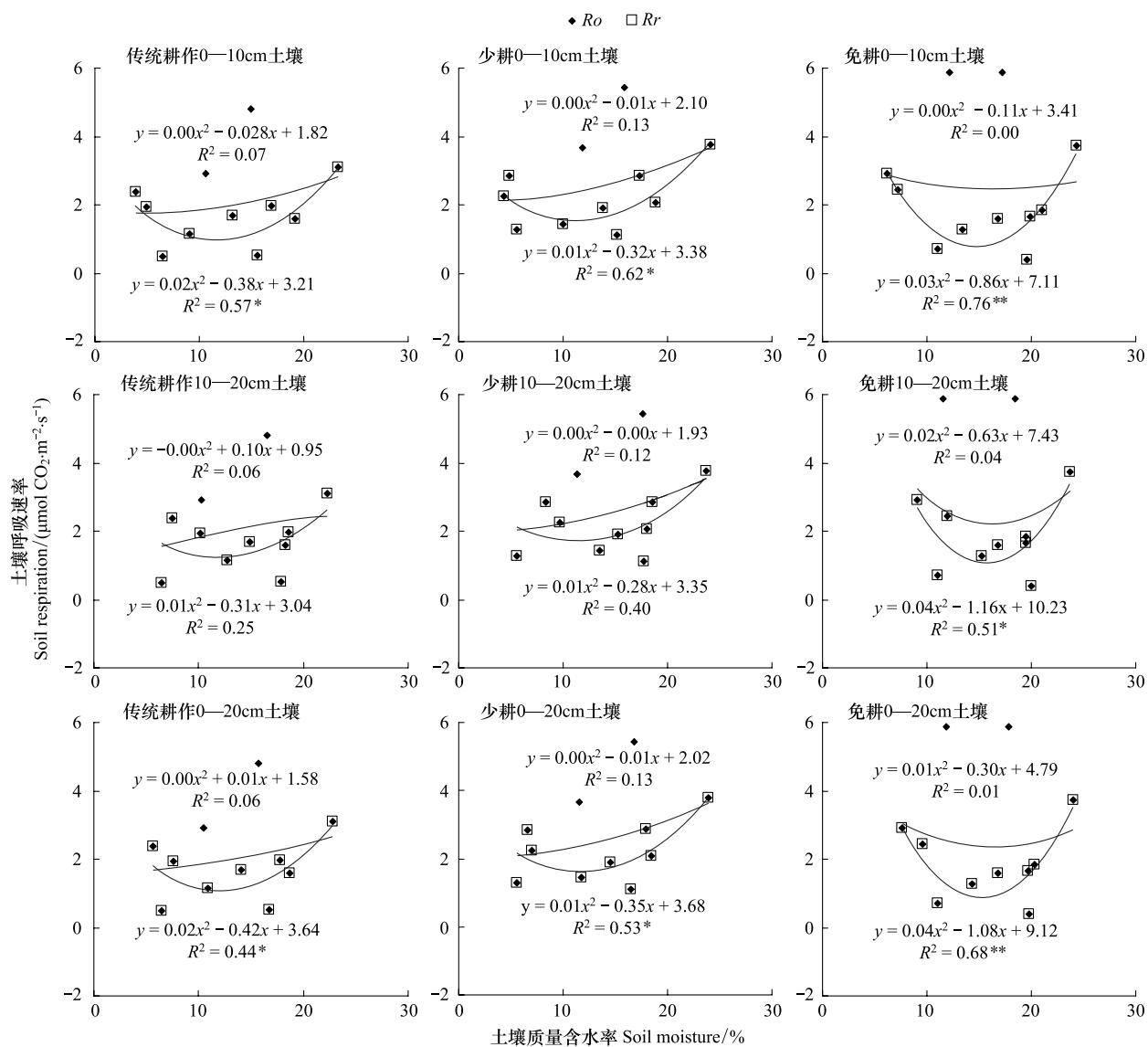


图4 春玉米生育期内土壤呼吸与水分的关系

Fig. 4 Relationship between soil respiration and moisture in spring maize growth stage

Ro:原始数据,Rr:除峰值时期外其它时期数据

内土壤呼吸和水热因子之间均呈显著相关关系( $P<0.05$ )，而除土壤呼吸峰值外其他时期土壤呼吸和水热因子相关程度更高。峰值时期作物生长旺盛，土壤微生物代谢活动增强，土壤有机质矿化速率提高<sup>[21]</sup>，与生育期内其它时期相比上述因素对土壤呼吸的影响作用大幅提高，可能是导致土壤呼吸峰值对水热因子响应程度降低的主要原因，有待于进一步研究论证。为更好的研究其它时期土壤呼吸对水热因子的响应情况，本文对有无峰值两种情况下土壤呼吸与水热因子之间的关系分别做了数据统计分析。

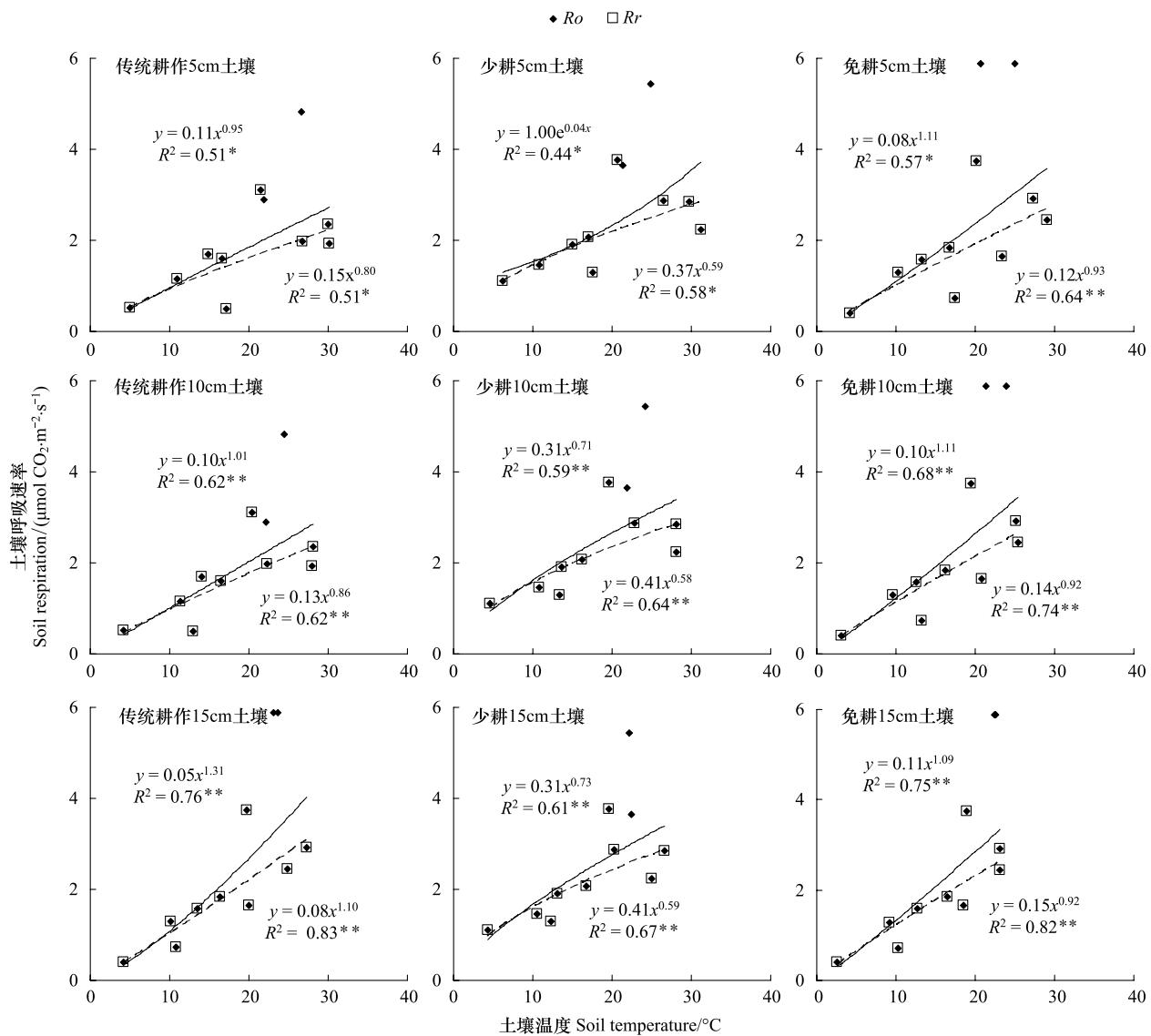


图5 春玉米生育期内土壤呼吸与温度的关系

Fig. 5 Relationship between soil respiration and temperature in spring maize growth stage

### 2.3.1 土壤呼吸与水分之间的关系

土壤呼吸和水分之间的拟合方法很多，本试验使用一元二次方程  $y=aW^2+bW+c$  的拟合效果最好。由图4可见，除峰值时期外其它时期土壤呼吸和水分之间在一定范围内呈现出了良好的“U”型曲线关系，此时土壤水分(0—10 cm)能够解释57%—76%的土壤呼吸季节变化；由图5中土壤呼吸与水分的关系公式可得，当传统耕作、少耕和免耕土壤含水率(0—10 cm)分别小于12.0%、11.4%和14.7%时，土壤呼吸与水分呈显著负相关关系，而分别大于上述三值时土壤呼吸与水分呈显著正相关关系。

不同耕作处理之间，除峰值时期外其它时期，土壤呼吸与水分(0—20 cm)的关系均达到了显著相关( $P<0.05$ )，其中免耕土壤对水分变化敏感性最高，相关程度表现为免耕>少耕>传统耕作；不同土层之间土壤呼吸

对0—10 cm 土壤水分的响应程度高于10—20 cm 土壤,3种耕作0—10 cm 土壤呼吸与水分的关系均达到显著水平( $P<0.05$ ),其中免耕0—10 cm 土壤达到极显著水平( $P<0.01$ ),在10—20 cm 土壤上只有免耕处理达到显著水平( $P<0.05$ )。

### 2.3.2 土壤呼吸与温度之间的关系

本试验使用 $y=aT^b$ 乘幂方程模拟土壤呼吸与温度的关系效果最好,图5可见,除峰值时期外其他时期,3种耕作土壤呼吸与温度均呈现出了显著相关关系( $P<0.05$ ),土壤呼吸速率随温度的上升而逐渐增大,土壤温度(15 cm)最高可以解释土壤呼吸变化的67%—82%;不同处理间,免耕土壤呼吸与温度的相关性最高,决定系数最高达到0.82,少耕和传统耕作分别为0.67和0.70;不同土层间,土层越深土壤呼吸与温度的相关性越好,10 cm 和15 cm 土层均达到极显著水平;国内外学者一般将土壤呼吸速率随温度的变化程度使用温度敏感性系数( $Q_{10}$ )表示,由公式计算可得,除峰值时期外其他时期土壤呼吸对传统耕作、少耕和免耕土壤(15 cm)温度敏感性系数 $Q_{10}$ 分别为2.02、1.59和2.47。由上可知,3种耕作处理下,免耕土壤呼吸对土壤温度变化最为敏感,其次是传统耕作土壤,少耕土壤最低。

### 2.3.3 土壤呼吸与水热因子之间的关系

分别使用指数-幂函数 $y=ae^{bT}W^c$ 和线性方程 $y=a+bT+cW$ 两种模型拟合了土壤呼吸与水热因子之间的关系,其中指数-幂函数能够更好的拟合试验结果。由表2可知,在0—10 cm 和10—20 cm 土层土壤上,水热因子分别可以解释土壤呼吸变化的66%—83%和81%—87%;不考虑峰值时,水热因子分别可以解释土壤呼吸变化的70%—90%和85%—90%。两模型对无峰值数据拟合结果中 $R^2$ 较有峰值数据拟合结果均有不同幅度的增大,其中线性模型拟合结果变化巨大,说明峰值时期有水分和温度以外的因素对土壤呼吸有较大影响,且均高于水分、温度单因子模型拟合结果,说明水热两因子对土壤呼吸的协同影响作用高于单因子的影响程度。

不同土层间,两种模型拟合结果均显示10—20 cm 土壤水热综合状况对土壤呼吸变化的影响高于0—10 cm;不同处理间,水热因子对土壤呼吸的影响程度均达到了显著水平( $P<0.05$ ),其中传统耕作土壤呼吸速率对水热因子(10—20 cm)的响应程度最高( $R^2=0.87$ ),其次是免耕( $R^2=0.83$ ),少耕响应程度最低( $R^2=0.81$ ),与水分和温度单因子模型拟合结果有明显不同,说明土壤呼吸在水热双因子的协同影响下与只受水分或温度单因子影响具有不同的变化趋势,水热双因子的协同影响机制有待进一步研究。

表2 基于土壤水分( $W$ )和土壤温度( $T$ )的土壤呼吸模型参数

Table 2 Parameters of soil respiration models based on soil temperature and soil moisture

耕作处理 Tillage treatment	土层/cm Soil depth	$y=ae^{bT}W^c$							$y=a+bT+cW$							
		a	b	c	$P_T$	$P_W$	P	$R^2$	a	b	c	$P_T$	$P_W$	P	$R^2$	
传统耕作	$Ro$	0—10	0.08	0.08	0.61	0.001	0.027	0.003	0.76	-1.43	0.12	0.09	0.011	0.094	0.026	0.60
		10—20	0.06	0.09	0.76	<0.001	0.010	<0.001	0.87	-1.70	0.14	0.09	0.005	0.097	0.012	0.67
	$Rr$	0—10	0.11	0.07	0.52	0.006	0.069	0.018	0.74	-0.85	0.09	0.07	0.005	0.032	0.011	0.78
		10—20	0.06	0.08	0.71	0.001	0.015	0.002	0.88	-1.08	0.10	0.08	0.001	0.018	0.003	0.86
少耕	$Ro$	0—10	0.21	0.06	0.51	<0.001	0.005	0.001	0.83	-1.24	0.13	0.11	0.011	0.045	0.020	0.63
		10—20	0.21	0.06	0.51	0.001	0.023	0.001	0.81	-1.45	0.14	0.11	0.009	0.067	0.016	0.65
	$Rr$	0—10	0.29	0.05	0.41	<0.001	0.004	0.001	0.90	-0.62	0.09	0.09	0.001	0.004	0.002	0.87
		10—20	0.29	0.05	0.43	0.001	0.010	0.001	0.90	-0.78	0.10	0.09	0.001	0.007	0.002	0.88
免耕	$Ro$	0—10	0.07	0.10	0.55	0.005	0.236	0.013	0.66	-1.85	0.18	0.07	0.043	0.455	0.113	0.42
		10—20	0.09	0.11	0.47	<0.001	0.286	0.001	0.83	-1.93	0.22	0.06	0.010	0.550	0.029	0.59
	$Rr$	0—10	0.11	0.09	0.45	0.011	0.272	0.028	0.70	-1.20	0.12	0.06	0.018	0.206	0.048	0.64
		10—20	0.09	0.10	0.49	0.001	0.222	0.004	0.85	-1.33	0.14	0.07	0.005	0.172	0.013	0.77

$Ro$  表示原始数据, $Rr$  表示除峰值时期外其它时期数据;5 cm 和10 cm 土壤温度的平均值作为0—10 cm 土壤温度,15 cm 土壤温度作为10—20 cm 土壤温度; $a$ 、 $b$ 、 $c$  为模拟计算值, $T$  为土壤温度( $^{\circ}\text{C}$ ), $W$  为土壤水分(质量含水率%)

### 3 讨论与结论

#### 3.1 不同耕作土壤呼吸变化规律

众多研究结果显示,土壤呼吸季节变化一般呈现单峰型特点<sup>[22-26]</sup>,本试验得到相同的结论,虽然出现高峰的时间多有不同,但土壤呼吸的整体变化规律基本一致,峰值出现时间的差异可能由测定时期、地域、土壤类型以及土地利用方式等因素的不同造成。

#### 3.2 土壤呼吸与水热因子之间的关系

本文研究表明,土壤水分和温度是影响土壤呼吸的关键因子,与前人研究结果一致<sup>[21-24]</sup>;但两年的试验结果均显示,土壤呼吸峰值对土壤水分和土壤温度单因子响应异常,本研究认为在土壤呼吸峰值时期,有水分和温度以外的因素对土壤呼吸起了较大的影响作用,如作物生长、微生物代谢活动等,具体因素仍需要进一步的研究论证。

水热因子对土壤呼吸的协同影响程度高于单因子,最高(10—20 cm 土壤)可以解释土壤呼吸季节变化的81%—87%,这与韩广轩<sup>[27]</sup>、姜艳<sup>[28]</sup>等的结论相同,韩广轩<sup>[27]</sup>在锦州玉米农田的研究中指出水热因子可以解释土壤呼吸的87%,姜艳<sup>[28]</sup>在江西大岗山不同林分土壤呼吸的研究中发现水热因子可以解释土壤呼吸的66%—81%,两者研究结果均显示双因子影响程度高于单因子。

土壤水分对呼吸的影响较为复杂,取决于环境因子的配置状况。Wagai R<sup>[29]</sup>研究表明土壤呼吸与水分呈正相关关系,但不显著;Wildung R E<sup>[30]</sup>发现两者呈极显著相关;姜艳<sup>[28]</sup>指出当杉木林土壤质量含水率小于22.13%时,土壤呼吸与水分呈显著负相关关系,大于22.13%时呈显著正相关关系;本文研究结果与姜艳<sup>[28]</sup>基本一致,除峰值时期外其它时期土壤水分(0—10 cm)可以解释呼吸的57%—76%,当传统耕作、少耕和免耕土壤含水率(0—10 cm)分别小于12.0%、11.4%和14.7%时,土壤呼吸与水分呈显著负相关关系,大于上述三值时呈显著正相关关系。

在土壤温度对呼吸影响的研究中,马骏<sup>[31]</sup>在内蒙古农牧交错区的研究中指出不同土地利用方式土壤温度(10—15 cm)在表土层中对呼吸速率的影响最为显著,决定系数为0.66—0.72,刘爽<sup>[23]</sup>研究了10 cm 土壤呼吸与之温度间的关系,指出传统耕作、秸秆还田和免耕覆盖土壤温度对呼吸的决定系数分别为0.55、0.62和0.77,大量文献表明,土壤呼吸随温度变化的敏感性系数 $Q_{10}$ 在1.3—3.3之间<sup>[6]</sup>;本文研究表明,除峰值时期外其它时期传统耕作、少耕和免耕土壤呼吸速率对温度(15 cm)的敏感性系数 $Q_{10}$ 分别是2.02、1.59和2.47,土壤温度对呼吸的决定系数分别是0.70、0.67和0.82,与前人研究结果一致;同区域结果比较,与刘爽<sup>[23]</sup>不同耕作土壤温度对呼吸的决定系数之间关系基本一致,均表现出免耕远高于传统耕作和少耕土壤,而后两者差异不大,但其决定系数均小于本文对15 cm 土壤的研究结果,由此说明,在本研究区域内土壤呼吸对15 cm 土壤温度单因子的敏感性较0—10 cm 土壤更高。

#### 3.3 结论

本研究结果得出,在春玉米生育期内,土壤呼吸呈单峰型变化趋势。水热因子是影响土壤呼吸的重要因素,基于水热双因子(10—20 cm 土壤)的指数-幂模型最高能够解释土壤呼吸变化的81%—87% ( $P<0.01$ );3种耕作土壤呼吸对水热双因子的协同影响敏感性关系表现为少耕<免耕<传统耕作,对水分单因子敏感性关系表现为:传统耕作<少耕<免耕,而对温度单因子敏感性关系表现为少耕<传统耕作<免耕。峰值时期土壤呼吸的主要影响因素需要进一步研究论证。

#### References:

- [1] Schlesinger W H, Andrews J A. Soil respiration and the global carbon cycle. *Biogeochemistry*, 2000, 48(1): 7-20.
- [2] Pan G X, Li L Q, Zhang X H, Dai J Y, Zhou Y C, Zhang P J. Soil organic carbon storage of China and the sequestration dynamics in agricultural lands. *Advances in Earth Sciences*, 2003, 18(4): 609-618.
- [3] IPCC. Climate change 2007: the physical science basis// Contribution of working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. UK: Cambridge University Press, 2007.

- [ 4 ] Grace J, Rayment M. Respiration in the balance. *Nature*, 2000, 404(6780) : 819-820.
- [ 5 ] Fang C, Moncrieff J B, Gholz H L, Clark K L. Soil CO<sub>2</sub> efflux and its spatial variation in a Florida slash pine plantation. *Plant and Soil*, 1998, 205(2) : 135-146.
- [ 6 ] Raich J W, Schlesinger W H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus Series B: Chemical and Physical Meteorology*, 1992, 44(2) : 81-99.
- [ 7 ] Janssens I A, Pilegaard K. Large seasonal changes in Q<sub>10</sub> of soil respiration in a beech forest. *Global Change Biology*, 2003, 9(6) : 911-918.
- [ 8 ] Lee X H, Wu H J, Sigler J, Oishi C, Siccamo T. Rapid and transient response of soil respiration to rain. *Global Change Biology*, 2004, 10(6) : 1017-1026.
- [ 9 ] Houghton, J T, Ding Y, Griggs D J. Climate change 2001 : the scientific basis// Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- [ 10 ] Zhou X Y, Zhang C Y, Guo G F. Effects of climate change on forest soil organic carbon storage: a review. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(7) : 1867-1874.
- [ 11 ] Liu L X, Dong Y S, Qi Y C. The development on the soil respiration of grassland ecosystem. *Progress in Geography*, 2004, 23(4) : 35-42.
- [ 12 ] Lal R. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO<sub>2</sub>-enrichment. *Soil and Tillage Research*, 1997, 43(1/2) : 81-107.
- [ 13 ] Han G X, Zhou G S, Xu Z Z. Research and prospects for soil respiration of farmland ecosystems in China. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(3) : 719-733.
- [ 14 ] Yan J X, Li H J, You L F. Studies on soil respiration and its relation with environmental factors in a Maize (*Zea mays L.*) field in Taiyuan Basin. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2010, 24(3) : 183-189.
- [ 15 ] Guan Q, Wang J, Song S Y, Liu W Z. Effects of different mulching measures on winter wheat field soil respiration in Loess Plateau dryland region. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(6) : 1471-1476.
- [ 16 ] Sun X H, Zhang R S, Cai L Q, Chen Q Q. Effects of different tillage measures on upland soil respiration in Loess Plateau. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(9) : 2173-2180.
- [ 17 ] Han G X, Zhou G S, Xu Z Z, Yang Y, Liu J L, Shi Q Q. Responses of soil respiration to the coordinated effects of soil temperature and biotic factors in a maize field. *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(3) : 363-371.
- [ 18 ] Wang X, Zhou G S, Jiang Y L, Jia B R, Wang F Y, Zhou L. Soil respiration in natural mixed (*Betula platyphylla* and *Populus davidiana*) secondary forest and primary broad-leaved Korean pine forest, China. *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(3) : 348-354.
- [ 19 ] Davidson E A, Janssens I A, Luo Y Q. On the variability of respiration in terrestrial ecosystems: moving beyond Q<sub>10</sub>. *Glob Change Biology*, 2006, 12(2) : 154-164.
- [ 20 ] Luo Y Q, Wan S Q, Hui D F, Wallace L L. Acclimatization of soil respiration to warming in a tall grass prairie. *Nature*, 2001, 413 (6856) : 622-625.
- [ 21 ] Dilustro J J, Collins B, Duncan L, Crawford C. Moisture and soil texture effects on soil CO<sub>2</sub> efflux components in southeastern mixed pine forests. *Forest Ecology and Management*, 2005, 204(1) : 87-97.
- [ 22 ] Jiang C S, Hao Q J, Song C C, Hu B Q. Effects of marsh reclamation on soil respiration in the Sanjiang Plain. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(17) : 4539-4548.
- [ 23 ] Xie H H, Fan J, Qi L B, Hao M D. Seasonal characteristics of soil respiration and affecting factors under typical vegetations in the water-wind erosion crisscross region of the loess plateau. *Chinese Journal of Environmental Science*, 2010, 31(12) : 2995-3003.
- [ 24 ] Liu S, Yan C R, He W Q, Liu Q. Soil respiration and it's affected factors under different tillage systems in dryland production systems. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30 (11) : 2919-2924.
- [ 25 ] Huang B, Wang J G, Gong Y S, Karl S, Yang Q. Soil respiration and carbon balance in winter wheat and summer maize fields. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(1) : 156-160.
- [ 26 ] Wang X B, Wang Y, Dai K, Wu X P, Zhao Q S, Zhang D C, Feng Z H, Cai D X. Coupled energy and carbon balance analysis under dryland tillage systems. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(16) : 4638-4652.
- [ 27 ] Han G X, Zhou G S, Xu Z Z. Temporal variation of soil respiration and its affecting factors in a maize field during maize growth season. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(10) : 1698-1705.
- [ 28 ] Jiang Y, Wang B, Wang Y R, Yang Q P. Soil respiration in subtropical forests and model simulation of its relationships with soil temperature and moisture content. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(7) : 1641-1648.
- [ 29 ] Wagai R, Brye K R, Gower S T, Norman J M, Bundy L G. Land use and environmental factors influencing soil surface CO<sub>2</sub> flux and microbial biomass in natural and managed ecosystems in Southern Wisconsin. *Soil Biology and Biochemistry*, 1998, 30(12) : 1501-1509.

- [30] Wildung R E, Garland T R, Buschom R L. The interdependent effects of soil temperature and water content on soil respiration rate and plant root decomposition in arid grassland soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 1975, 7: 373-378.
- [31] Ma J, Tang H P. Variations of soil respiration rate and its temperature sensitivity among different land use types in the agro-pastoral ecotone of Inner Mongolia. *China Journal of Plant Ecology*, 2011, 35(2): 167-175.

**参考文献:**

- [2] 潘根兴,李恋卿,张旭辉,代静玉,周运超,张平究. 中国土壤有机碳库量与农业土壤碳固定动态的若干问题. *地球科学进展*,2003,18(4): 609-618.
- [10] 周晓宇,张称意,郭广芬. 气候变化对森林土壤有机碳贮藏影响的研究进展. *应用生态学报*,2010,21(7):1867-1874.
- [11] 刘立新,董云社,齐玉春. 草地生态系统土壤呼吸研究进展. *地理科学进展*,2004,23(4):35-42.
- [13] 韩广轩,周广胜,许振柱. 中国农田生态系统土壤呼吸作用研究与展望. *植物生态学报*,2008,32(3):719-733.
- [14] 严俊霞,李洪建,尤龙凤. 玉米农田土壤呼吸与环境因子的关系研究. *干旱区资源与环境*,2010,24(3):183-189.
- [15] 官情,王俊,宋淑亚,刘文兆. 黄土旱塬区不同覆盖措施对冬小麦农田土壤呼吸的影响. *应用生态学报*,2011,22(6):1471-1476.
- [16] 孙小花,张仁陟,蔡立群,陈强强. 不同耕作措施对黄土高原旱地土壤呼吸的影响. *应用生态学报*,2009,20(9):2173-2180.
- [17] 韩广轩,周广胜,许振柱,杨扬,刘景利,史奎桥. 玉米地土壤呼吸作用对土壤温度和生物因子协同作用的响应. *植物生态学报*,2007,31(3):363-371.
- [18] 王旭,周广胜,蒋延玲,贾丙瑞,王凤玉,周莉. 山杨白桦混交次生林与原始阔叶红松林土壤呼吸作用比较. *植物生态学报*,2007,31(3): 348-354.
- [22] 江长胜,郝庆菊,宋长春,胡必琴. 垚殖对沼泽湿地土壤呼吸速率的影响. *生态学报*,2010,30(17):4539-4548.
- [23] 谢慧慧,樊军,齐丽彬,郝明德. 黄土高原水蚀风蚀交错区典型植被下土壤呼吸季节变化特征与影响因素. *环境科学*,2010,31(12): 2995-3003.
- [24] 刘爽,严昌荣,何文清,刘勤. 不同耕作措施下旱地农田土壤呼吸及其影响因素. *生态学报*,2010,30(11):2919-2924.
- [25] 黄斌,王敬国,龚元石,Karl S,杨倩. 冬小麦夏玉米农田土壤呼吸与碳平衡的研究. *农业环境科学学报*,2006,25(1):156-160.
- [26] 王小彬,王燕,代快,武雪萍,赵全胜,张丁辰,冯宗会,蔡典雄. 旱地农田不同耕作系统的能量/碳平衡. *生态学报*,2011,31(16): 4638-4652.
- [27] 韩广轩,周广胜,许振柱. 玉米生长季土壤呼吸的时间变异性及其影响因素. *生态学杂志*,2008,27(10):1698-1705.
- [28] 姜艳,王兵,汪玉如,杨清培. 亚热带林分土壤呼吸及其与土壤温湿度关系的模型模拟. *应用生态学报*,2010,21(7):1641-1648.
- [31] 马骏,唐海萍. 内蒙古农牧交错区不同土地利用方式下土壤呼吸速率及其温度敏感性变化. *植物生态学报*,2011,35(2):167-175.

**ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33 ,No. 6 March ,2013( Semimonthly)**  
**CONTENTS**

**Review and Monograph**

- Forest health studies based on remote sensing: a review ..... GAO Guanglei, XIN Zhongbao, DING Guodong, et al ( 1675)  
Progress of agent-based agricultural land change modeling: a review ..... YU Qiangyi, WU Wenbin, YANG Peng, et al ( 1690)

**Autecology & Fundamentals**

- Dynamic distribution of *Nemopilema nomurai* in inshore waters of the northern Liaodong Bay, Bohai Sea .....  
..... WANG Bin, QIN Yubo, DONG Jing, et al ( 1701)  
Full length cDNA cloning and tissue expression of prophenoloxidase from *Oratosquilla oratoria* .....  
..... LIU Haiying, LIU Lianwei, JIANG Yusheng, et al ( 1713)  
Morphometrics investigation of the skulls, mandibles and molar in *Tupaia belangeri* from Yunnan, Guizhou, Guangxi .....  
..... ZHU Wanlong, JIA Ting, HUANG Chunmei, et al ( 1721)  
Effects of litter thickness on leaf litter decomposition and enzyme activity of three trees in the subtropical forests .....  
..... JI Xiaoyan, JIANG Hong, HONG Jianghua, et al ( 1731)  
The photosynthetic carbon fixation characteristics of common tree species in northern Zhejiang .....  
..... ZHANG Jiao, SHI Yongjun, ZHU Yueqing, et al ( 1740)  
Diurnal changes in the photosynthetic characteristics of two high yield and high quality grasses during different stages of growth  
and their response to changes in light intensity ..... GUO Chunyan, LI Jinchuan, YUE Jianying, et al ( 1751)  
Evaluation technology on drought disaster to yields of winter wheat based on WOFOST crop growth model .....  
..... ZHANG Jianping, ZHAO Yanxia, WANG Chunyi, et al ( 1762)  
Genetic diversity of *Conocephalus maculatus* of different geographic populations based on mitochondrial DNA control region analysis .....  
..... ZHOU Zhijun, SHANG Na, LIU Jing, et al ( 1770)  
Relationships among female body size, clutch size, and egg size in captive *Deinagkistrodon acutus* .....  
..... HU Minghang, TAN Qunying, YANG Daode ( 1778)  
The field control of *Bactrocera dorsalis* ( Hendel) with parasitoid and sterile male .....  
..... ZHENG Sining, HUANG Juchang, YE Guanglu, et al ( 1784)  
Allelopathic effects of artemisinin on ectomycorrhizal fungi ..... LI Qian, YUAN Ling, WANG Mingxia, et al ( 1791)

**Population, Community and Ecosystem**

- Establishment of integrated methodology for bay ecosystem health assessment and its application in Daya Bay .....  
..... LI Chunhou, LIN Lin, XU Shannan, et al ( 1798)  
The influence of upwelling and water mass on the ecological group distribution of zooplankton in Zhejiang coastal waters .....  
..... SUN Lufeng, KE Chang, XU Zhaoli, et al ( 1811)  
Identification of key ecosystem for ecological restoration in semi-arid areas: a case study in Helin County, Inner Mongolia .....  
..... PENG Yu, GAO Ying, FENG Jinzhao, et al ( 1822)  
The great rainfall effect on soil respiration of *Pinus tabulaeformis* plantation in Taiyue Mountain .....  
..... JIN Guanyi, ZHAO Xiuhai, KANG Fengfeng, et al ( 1832)  
The litter-fall characteristics and their response to drought stress in the Masson pins forests damaged by acid rain at Chongqing,  
China ..... WANG Yihao, WANG Yanhui, YU Pengtao, et al ( 1842)

**Landscape, Regional and Global Ecology**

- Thermal environment effect of urban water landscape ..... YUE Wenze, XU Lihua ( 1852)  
Landscape ecological security pattern associated with the introduction of exotic tree species *Eucalyptus* .....  
..... ZHAO Xiaoqing, HE Chunlan ( 1860)  
Ecological balance between supply and demand in Chongqing City based on cultivated land ecological footprint method .....  
..... SHI Kaifang, DIAO Chengtai, SUN Xiufeng, et al ( 1872)  
Effect of elevated CO<sub>2</sub> on methanotrophs in the rhizosphere of rice plant ..... YAN Chen, XU Jing, ZHONG Wenhui, et al ( 1881)

## **Resource and Industrial Ecology**

- The seawater environment quality evaluation research base on variable fuzzy pattern recognition model ..... KE Lina, WANG Quanming, SUN Xinguo, et al (1889)
- An *in situ* study on biodeposition of ascidian (*Styela plicata*) in a subtropical aquaculture bay, southern China ..... YAN Jiaguo, QI Zanhui, TIAN Ziyang, et al (1900)
- Distribution of soil NPK nutrient content in deep soil profile of typical apple orchards on the Loess Plateau ..... ZHANG Lina, LI Jun, FAN Peng, et al (1907)
- Soil respiration and its responses to soil moisture and temperature under different tillage systems in dryland maize fields ..... ZHANG Dingchen, CAI Dianxiong, DAI Kuai, et al (1916)
- Photosynthetic characteristics of soybean and salvia in an agroforestry system in the Hilly Region, Shangluo, China ..... PENG Xiaobang, ZHANG Shuoxin (1926)
- Regulation of exogenous brassinosteroid on growth and photosynthesis of *Helianthus tuberosus* seedlings and cadmium biological enrichment under cadmium stress ..... GAO Huiling, LIU Jinlong, ZHENG Qingsong, et al (1935)
- Calibration coefficients of Granier original formula based on sap flow of *Platycladus orientalis* ..... LIU Qingxin, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (1944)

## **Research Notes**

- An evaluation index system classifying the conservation value of wetland nature reserves based on AHP ..... SUN Rui, CUI Guofa, LEI Ting, et al (1952)
- Root biomass and its distribution of *Azadirachta indica* and *Acacia auriculiformis* plantations in the Dry-hot Valley ..... GAO Chengjie, TANG Guoyong, LI Kun, et al (1964)
- Physiological response of *Vitex trifolia* to sand burial in the sand coast ..... ZHOU Ruilian, WANG Jin, YANG Shuqin, et al (1973)
- Soil fertility under different forest types in the Helan and Liupan Mountain ranges of Ningxia Province ..... JIANG Lin, GENG Zengchao, ZHANG Wen, et al (1982)

## **Opinions**

- Dynamic of litterfall in ten typical community types of Xiaoxing'an Mountain, China ..... HOU Lingling, MAO Zijun, SUN Tao, et al (1994)

# 《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研工作者,探索自然奥秘,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研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

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

## 生 态 学 报

(SHENTAI XUEBAO)

(半月刊 1981年3月创刊)

第33卷 第6期 (2013年3月)

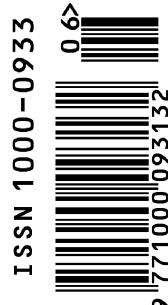
## ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 6 (March, 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