

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第18期 Vol.32 No.18 **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 18 期

2012 年 9 月 (半月刊)

目 次

亚热带典型树种对模拟酸雨胁迫的高光谱响应.....	时启龙,江 洪,陈 健,等 (5621)
珠江三角洲地面风场的特征及其城市群风道的构建.....	孙 武,王义明,王越雷,等 (5630)
粤北山地常绿阔叶林自然干扰后冠层结构与林下光照动态.....	区余端,苏志尧 (5637)
四种猎物对南方小花蝽生长发育和繁殖的影响.....	张昌容,鄧军锐,莫利锋 (5646)
普洱季风常绿阔叶林次生演替中木本植物幼苗更新特征.....	李帅锋,刘万德,苏建荣,等 (5653)
喀斯特常绿落叶阔叶混交林物种多度与丰富度空间分布的尺度效应.....	张忠华,胡 刚,祝介东,等 (5663)
格氏栲天然林土壤养分空间异质性.....	苏松锦,刘金福,何中声,等 (5673)
种植香根草对铜尾矿废弃地基质化学和生物学性质的影响.....	徐德聪,詹 婧,陈 政,等 (5683)
灌溉对三种荒漠植物蒸腾耗水特性的影响.....	单立山,李 毅,张希明,等 (5692)
真盐生植物盐角草对不同氮形态的响应.....	聂玲玲,冯娟娟,吕素莲,等 (5703)
鹿泉沟自然保护区寒温性针叶林演替优势种格局动态分析.....	张钦弟,毕润成,张金屯,等 (5713)
不同水肥条件下 AM 真菌对丹参幼苗生长和营养成分的影响.....	贺学礼,马 丽,孟静静,等 (5721)
垄沟覆膜栽培冬小麦田的土壤呼吸.....	上官宇先,师日鹏,韩 坤,等 (5729)
不同方式处理牛粪对大豆生长和品质的影响.....	郭立月,刘雪梅,战丽杰,等 (5738)
基于大气沉降与径流的乌鲁木齐河源区氮素收支模拟.....	王圣杰,张明军,王飞腾,等 (5747)
基于能值理论的循环复合农业生态系统发展评价——以福建省福清星源循环农业产业示范基地为例.....	钟珍梅,翁伯琦,黄勤楼,等 (5755)
低温暴露和恢复对棘胸蛙雌性亚成体生存力及能量物质消耗的影响.....	凌 云,邵 晨,颜志刚,等 (5763)
暗期干扰对棉铃虫两个不同地理种群滞育抑制作用的比较.....	陈元生,涂小云,陈 超,等 (5770)
水土流失治理措施对小流域土壤有机碳和全氮的影响.....	张彦军,郭胜利,南雅芳,等 (5777)
不同管理主体对泸沽湖流域生态系统影响的比较分析.....	董仁才,苟亚青,李思远,等 (5786)
连江鱼类群落多样性及其与环境因子的关系.....	李 捷,李新辉,贾晓平,等 (5795)
溶氧水平对鲫鱼代谢模式的影响.....	张 伟,曹振东,付世建 (5806)
象山港人工鱼礁区的网采浮游植物群落组成及其与环境因子的关系.....	江志兵,陈全震,寿 鹿,等 (5813)
填海造地导致海湾生态系统服务损失的能值评估——以套子湾为例.....	李睿倩,孟范平 (5825)
城市滨水景观的视觉环境质量评价——以合肥市为例.....	姚玉敏,朱晓东,徐迎碧,等 (5836)
专论与综述	
生态基因组学研究进展.....	施永彬,李钧敏,金则新 (5846)
海洋酸化生态学研究进展.....	汪思茹,殷克东,蔡卫君,等 (5859)
纺锤水蚤摄食生态学研究进展.....	胡思敏,刘 胜,李 涛,等 (5870)
河口生态系统氨氧化菌生态学研究进展.....	张秋芳,徐继荣,苏建强,等 (5878)
嗜中性微好氧铁氧化菌研究进展.....	林超峰,龚 骏 (5889)
典型低纬度海区(南海、孟加拉湾)初级生产力比较.....	刘华雪,宋星宇,黄洪辉,等 (5900)
植物叶片最大羧化速率及其对环境因子响应的研究进展.....	张彦敏,周广胜 (5907)
中国大陆鸟类栖息地选择研究十年.....	蒋爱伍,周 放,覃 玥,等 (5918)
研究简报	
孵化温度对赤链蛇胚胎代谢和幼体行为的影响.....	孙文佳,俞 霄,曹梦洁,等 (5924)
不同培肥茶园土壤微生物量碳氮及相关参数的变化与敏感性分析.....	王利民,邱珊莲,林新坚,等 (5930)
施肥对两种莧菜吸收积累镉的影响.....	李凝玉,李志安,庄 萍,等 (5937)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 322 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 36 * 2012-09



封面图说: 冬天低空飞翔的丹顶鹤——丹顶鹤是鹤类中的一种,因头顶有“红肉冠”而得名。是东亚地区特有的鸟种,因体态优雅、颜色分明,在这一地区的文化中具有吉祥、忠贞、长寿的象征,是传说中的仙鹤,国家一级保护动物。丹顶鹤具备鹤类的特征,即三长——嘴长、颈长、腿长。成鸟除颈部和飞羽后端为黑色外,全身洁白,头顶皮肤裸露,呈鲜红色。丹顶鹤每年要在繁殖地和越冬地之间进行迁徙,只有在日本北海道等地是留鸟,不进行迁徙,这可能与冬季当地人有组织地投喂食物,食物来源充足有关。

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

DOI: 10.5846/stxb201107301117

上官宇先, 师日鹏, 韩坤, 王林权. 垄沟覆膜栽培冬小麦田的土壤呼吸. 生态学报, 2012, 32(18): 5729-5737.

Shangguan Y X, Shi R P, Han K, Wang L Q. The dynamics of soil respiration in a winter wheat field with plastic mulched-ridges and unmulched furrows. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(18): 5729-5737.

垄沟覆膜栽培冬小麦田的土壤呼吸

上官宇先, 师日鹏, 韩 坤, 王林权*

(西北农林科技大学资源环境学院, 杨凌 712100)

摘要:通过大田试验研究了垄沟覆膜栽培条件下冬小麦生长过程中土壤呼吸规律。结果表明, 垄沟覆膜栽培条件下垄脊土壤呼吸速率高于平作栽培, 而垄沟部土壤呼吸速率小于平作。冬小麦生育期内垄脊平均呼吸速率为 $(2.06 \pm 0.44) \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 垄沟为 $(0.75 \pm 0.11) \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 而平作栽培为 $(1.14 \pm 0.20) \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。土壤呼吸季节变化显著, 越冬期低, 夏季高。不同生育期土壤呼吸日变化规律不同, 越冬前和返青期土壤呼吸与土壤温度成正相关, 随着土壤温度的升高而增加, 呈单峰曲线; 拔节期后垄脊部的土壤呼吸日变化明显, 呈现双峰曲线; 而平作和垄沟的土壤呼吸速率平稳, 没有明显峰值。5 cm 土壤温度与土壤呼吸之间的相关性最好。在一定范围内 ($<24-31^\circ\text{C}$), 土壤呼吸随着温度的增加而增加, 温度过高反而会抑制土壤呼吸速率。土壤呼吸 $f(R)$ 与 5 cm 土壤温度之间的关系可以用二次函数表示; 5 cm 土壤温度 T 和土壤含水量 W 的交互效应可用函数 $f(R) = a(bT^2 + cT)(1 + d \ln(2W)/T) + e$ 表示。垄沟覆膜栽培显著改变了冬小麦田的土壤呼吸作用。

关键词: 土壤呼吸; 垄沟覆膜; 土壤温度; 土壤含水量

The dynamics of soil respiration in a winter wheat field with plastic mulched-ridges and unmulched furrows

SHANGGUAN Yuxian, SHI Ripeng, HAN Kun, WANG Linquan*

College of Resources and Environment, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100, China

Abstract: The objectives of this experiment were to study the effects of a plastic mulched-ridges and unmulched furrows (PMRF) cropping system on soil respiration. The experiment field was planted to winter wheat. Soil CO_2 emission was determined with an SR1LP chamber (Qubit Inc., Canada) between October 2010 and June 2011. The data suggested that soil CO_2 emission in the plastic film mulched-ridge (RM) was greater than that in an unmulched, smooth field (FC). Furthermore, CO_2 emission rates from the plastic film-mulched ridges were greater than those from the unmulched furrows (FU). The mean soil CO_2 fluxes were $(1.14 \pm 0.20) \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ from the unmulched, smooth field, $(2.06 \pm 0.44) \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ from the plastic film-mulched ridge, and $(0.75 \pm 0.11) \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ from the unmulched furrow. There were significant seasonal variations in soil respiration. Soil respiration was lowest during the winter when the wheat was in the seedling stage and highest during the summer when the wheat was mature. Diurnal CO_2 emissions from plastic film-mulched ridges, unmulched furrows, and unmulched, smooth fields followed similar patterns during the winter and early spring. Specifically, CO_2 emissions increased during the morning, reached a peak around noon, and then decreased in the afternoon. In contrast, there were differences in diurnal CO_2 emissions among the treatments after jointing stage. There was a double peak in soil CO_2 emission from plastic film-mulched ridges. However, CO_2 emissions from unmulched furrows and unmulched, smooth fields remained steady throughout the day. Soil respiration was significantly correlated with soil

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30571085); 西北农林科技大学创新团队资助项目 (2010)

收稿日期: 2011-07-30; 修订日期: 2012-03-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: linquanw@yahoo.com.cn

temperature at the 5 cm depth. Soil respiration increased as the soil temperature increased from 10 to 24—31 °C. Soil respiration decreased at soil temperatures >31 °C. The effect of soil temperature on soil CO₂ emission was best described by a quadratic function, whereas the interactive effects of soil temperature (T) and soil moisture (W) on soil CO₂ emission were best described by the following equation: $f(R) = a(bT^2 + cT)(1 + d \ln(2W)/T) + e$. The soil respiration in winter wheat field was changed with the plastic mulched-ridges and unmulched furrows practice.

Key Words: soil respiration; plastic mulched-ridges and unmulched furrows; soil temperature; soil moisture

近年来温室效应受到人们普遍关注,CO₂ 浓度升高是全球温室效应的首要原因^[1]。土壤呼吸是土壤碳流向大气圈的主要途径,全球土壤呼吸释放的碳通量约为 80.4 Pg/a,是燃料释放和森林砍伐排放量的 10 倍以上^[2],因此土壤碳库的微小变化都会影响大气 CO₂ 浓度及全球气候变化。据估计大气中 20% 的 CO₂,70% 的 CH₄ 和 90% 的 N₂O 源于农业活动和土地利用方式的转换等过程^[3]。研究农业活动中温室气体的排放对于降低温室气体排放量具有重要意义^[4]。

土壤呼吸是复杂的生物化学过程^[5],不仅受到气温、土壤温度、湿度、有机质、太阳辐射、大气压强等非生物因子的影响,而且还受到植被、土壤动物^[6]、土壤微生物^[7]等生物因素及土地利用方式^[8]、环境污染^[9] 和不合理施肥^[10] 等人为因素的综合影响^[11]。

不同的耕作方式主要通过土壤温度和含水量影响土壤碳通量。秸秆覆盖和地膜覆盖能显著增加土壤呼吸^[12-13]。近年来,传统的垄沟栽培技术中融入了垄脊覆盖地膜等技术措施,显著提高了垄沟栽培的保墒、节水和增温等效应^[14-15]。垄沟覆膜栽培明显改变了土壤微环境及土壤微生物的活性^[16],必然对土壤呼吸及其碳排放产生显著影响,但垄作覆膜条件下的土壤呼吸研究较少。为了阐明垄沟覆膜栽培对土壤呼吸及碳排放的影响,本文研究了垄沟覆膜栽培冬小麦田土壤呼吸变化规律及其土壤水、热效应,目的是探讨垄沟覆膜栽培的生态环境效益。

1 材料与方法

1.1 试验地概况与供试材料

试验于 2010 年 10 月—2011 年 6 月在西北农林科技大学农作一站进行,该站位于黄土高原南部(34° 18' N,108° 04' E),属半湿润易旱区,降水主要集中在 7—9 月,年均降水量为 550—600 mm,海拔 524 m,年均气温 13 °C。2004—2010 年冬小麦生育期平均降水 265.7 mm,2010—2011 年小麦生育期间当地降雨及气温变化见图 1,总降水量 220 mm,其中无效降水 49.4 mm 有效降水 170.6 mm,与往年相比降水偏少,≥10 °C 有效积温 1418 °C。供试土壤类型为红油土,0—20 cm 土壤基本理化性质如下:有机质含量为 14.6 g/kg,碱解氮 34.6 mg/kg,pH 值为 8.0,速效磷(P)15.7 mg/kg,速效钾(K)189.8 mg/kg。供试冬小麦品种为小偃 22,氮肥为尿素(N≥46%),磷肥为过磷酸钙(P₂O₅≥16%)。

1.2 试验设计

本试验设置 2 个栽培模式:平作和垄沟覆膜。试验小区面积为 14.4 m²(3.6 m×4 m),每个处理重复 3 次。垄作栽培每小区 6 垄,垄的结构为:垄宽 25 cm,垄沟宽 35 cm,垄高 15 cm。垄脊覆膜,沟内种植,每垄两侧各种 1 行,共计播种 12 行/区,播种量为 112.5 kg/hm²。平作处理不起垄不覆膜,每小区播种 12 行。

施肥方法:垄脊覆膜,垄下集中施肥。垄下施肥是先开沟将肥料均匀条施,后覆土起垄,垄脊覆膜。平作区施肥方式为播种前先将肥料均匀撒在地表,然后用锄头深翻 15 cm 与土壤混匀。各小区的肥料均在播种前一次施入,不施追肥,不灌水。氮肥水平为 180 kg/hm²,磷肥为 P₂O₅ 120 kg/hm²。

小麦于 2010 年 10 月 16 日播种,2011 年 6 月 6 日收获。

1.3 土壤呼吸速率的测定

在冬小麦不同生育阶段分别测定平作小区(FC 处理),垄作覆膜小区的垄脊(RM)和垄沟(FU)土壤呼吸

速率。所用仪器为加拿大 Qubit 公司生产的 SR1LP 土壤呼吸测量系统。每次测定前 24 h 将土壤呼吸环(高 6 cm, 内径 11 cm 的 PVC 管)置于土体中 3 cm, 以减少对土体的扰动。平作处理每个小区内于小麦行间随机放置 2 个呼吸环, 垄作覆膜小区于垄脊及垄沟内分别放置 2 个土壤呼吸环。

越冬前, 两周测定 1 次土壤呼吸速率, 测定于当天的 10:00—14:00 进行, 每小时测定 1 次, 测定 4 次取平取值。土壤上冻后即 12 月中旬停止测定, 待第 2 年 3 月初小麦返青后开始测定。在冬小麦各个生育时期(返青期 3 月 24 日, 拔节期 4 月 14 日, 开花期 4 月 28 日, 成熟期 6 月 3 日)选天气晴朗的日期测定土壤呼吸日变化, 冬季 8:00—17:00, 夏季 7:00—19:00, 每小时测定 1 次。

测定土壤呼吸的同时, 采用水银地温计分别测定地表、5、10、15 cm 和 20 cm 深度土层温度; 同时取 0—20 cm 表层土, 采用烘干法测定土壤含水量。

试验数据采用 ORIGIN8.0、PASW18.0 数据处理系统进行统计分析并绘制图表。

2 结果与分析

2.1 冬小麦生长期土壤呼吸的季节性变化

冬小麦生育期的土壤呼吸动态变化见图 2。冬小麦播种后, 土壤呼吸速率随着气温的降低而降低, 垄沟栽培下降幅度较平作小。返青后, 土壤呼吸速率随着气温的升高迅速上升, 其中垄脊(RM)上升速度快, 变化剧烈, 平作(FC)次之, 垄沟(FU)变化比较平稳。FC 处理土壤呼吸速率范围为 $0.8—1.5 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 垄沟 RM 处为 $1.4—2.9 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, FU 处为 $0.5—0.9 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。RM 的土壤呼吸速率始终大于平作(FC)处理, FC 处的呼吸速率高于 FU。5 月中旬, 垄脊处(RM)土壤呼吸出现一个低谷。这可能与高温对土壤微生物和根系呼吸的抑制效应有关。5 月 17 日, 垄脊处(RM)的温度达到了 47.4°C , 而 FC 和 FU 处理的分别为 34.0°C 和 37.0°C 。成熟期麦田的呼吸速率比较高, 其中垄作 RM 处和 FC 处理的呼吸速率峰值分别为 $(2.90 \pm 0.24) \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $(1.47 \pm 0.11) \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, FU 处的峰值为 $(0.91 \pm 0.04) \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

由图 3 可以看出, 冬小麦生育期内平作处理土壤呼吸速率平均为 $(1.14 \pm 0.20) \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 垄脊处平均为 $(2.06 \pm 0.44) \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 垄沟处为 $(0.75 \pm 0.11) \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 三处土壤呼吸差异显著。

2.2 不同生育阶段土壤呼吸日变化

由图 4 可得, 越冬前土壤呼吸日变化呈现单峰曲线。11 月 25 日土壤呼吸最高值出现在 14:00 达到 $2.12 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。平作处理(FC)的土壤呼吸速率的最高值出现在 16:00, 为 $1.15 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 较垄沟栽培略低。返青期土壤呼吸变化比较复杂, 垄脊处(RM)土壤呼吸速率最高, 波动剧烈。RM 处土壤呼吸日变化峰值出现在 16:00, 为 $2.75 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, FC 处理与垄作 FU 处的呼吸速率变化平稳。拔节期与开花

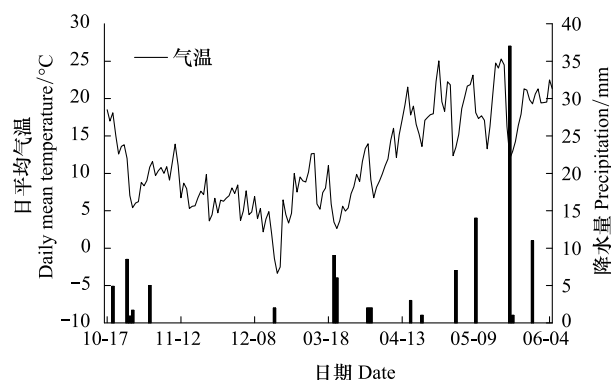


图 1 小麦生育期间的降雨及气温变化

Fig. 1 Precipitation and mean daily temperature during the 2010–2011 winter wheat growing season

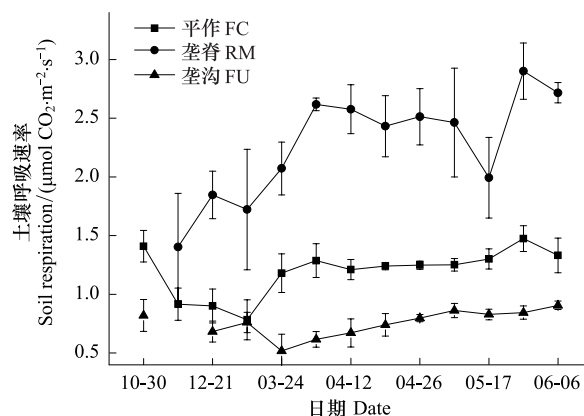


图 2 冬小麦生育期土壤呼吸的季节性变化

Fig. 2 Seasonal changes in the soil respiration rate of a winter wheat field

期, RM 处土壤呼吸日变化呈现双峰型。第 1 个峰值出现在 9:00—10:00, 拔节期为 $2.74 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和开花期为 $3.12 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; 第 2 个峰值出现在 18:00—19:00, 分别为 $2.9 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $3.13 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。成熟期 RM 处的峰值出现在 10:00 和 13:00 时, 分别为 $3.10 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $3.23 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, FC 处理和垄作 FU 处拔节期-成熟期的日变化平稳, 无明显峰值出现。

2.3 土壤呼吸速率与土壤温度之间的关系

函数模拟结果表明, 土壤呼吸速率与温度之间的关系可以用二次函数表示, 其中 5 cm 土壤温度与土壤呼吸速率值间拟合的函数的决定系数最高, 二次函数可以解释土壤呼吸变异的 64%—83% (表 1)。随着深度的增加, 土壤温度与土壤呼吸速率之间的相关性减小。

由图 5 和图 6 可以看出土壤呼吸速率随地温的升高而升高, 到达峰值后出现下降趋势。3 处土壤呼吸速率的峰值出现的土壤温度并不相同, FC 处理和垄作 FU 处分别在 24°C 和 25°C 达到最高值, RM 处在 31°C 下出现最高值。垄脊处的土壤呼吸远高于垄沟处和平作。

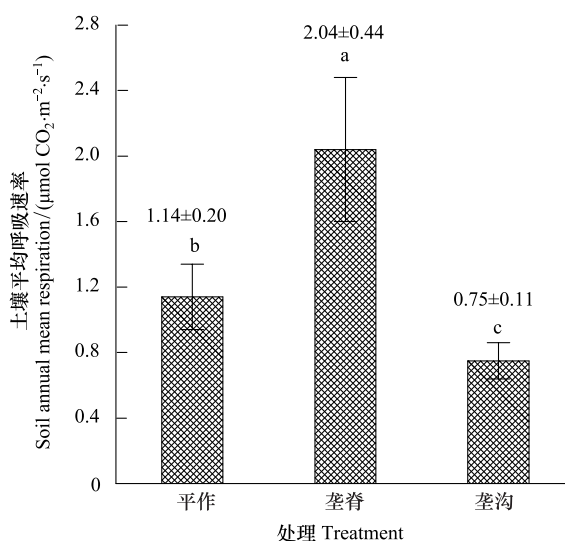


图 3 小麦生育期内土壤平均呼吸速率 ($n=13$)

Fig. 3 Mean annual soil respiration rate ($n=13$)

各个处理为不同时期内土壤呼吸速率的加权平均值

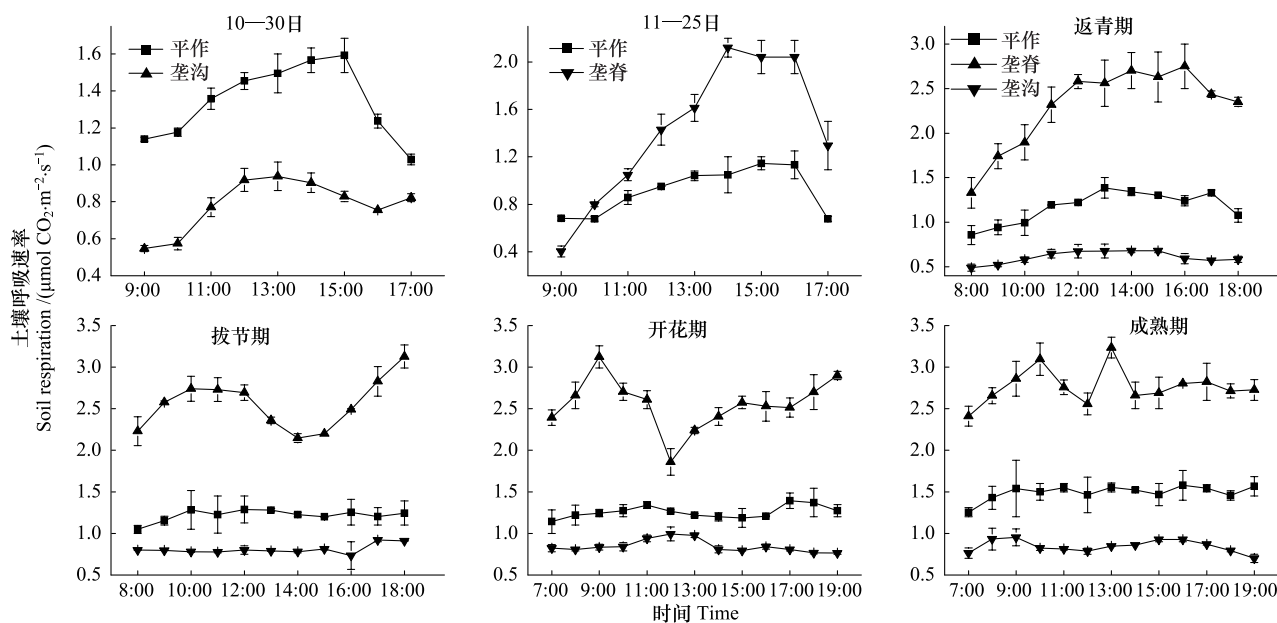


图 4 不同时期土壤呼吸日变化

Fig. 4 Diurnal changes in soil respiration at different wheat growth stages

2.4 土壤呼吸与土壤温度及含水量的关系

模拟结果表明土壤呼吸 ($f(R)$) 与土壤温度 T 和含水量 W 的关系可用函数: $f(R) = a(bT^2 + cT)(1 + d \ln(2W)/T) + e$ 表示, 拟合度 R^2 在 0.68—0.83 之间 (表 2)。土壤呼吸主要受土壤温度影响, 土壤含水量影响较小。平作 (FC) 处理的土壤温度, 含水量对土壤呼吸的影响达极显著。垄脊土壤温度对土壤呼吸的影响极显著, 垄沟 (FU) 处土壤含水量对土壤呼吸有一定影响, 但垄脊 (RM) 处土壤含水量对土壤呼吸的影响不显著。平作下的土壤温度与水分对土壤呼吸的效应见图 7。土壤呼吸随着土壤温度的升高而升高, 高于 26°C 后, 继

续升温土壤呼吸开始下降;土壤含水量变化对土壤呼吸的影响较弱。温度在 17.1—30.5 °C 范围内,土壤呼吸速率高,约为 $1.3 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。垄作处理的温度和湿度效应见(图 8)。在含水量低于 12%—15% 的条件下,随着含水量的增加土壤呼吸速率升高。RM 处土壤温度在 22—37.8 °C 范围内,含水量小于 10.5% 时,土壤呼吸速率较高,约为 $2.8 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。当土壤温度为 16.8—32.2 °C,土壤含水量 <20% 时,FU 的土壤呼吸速率较大,约为 $0.85 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

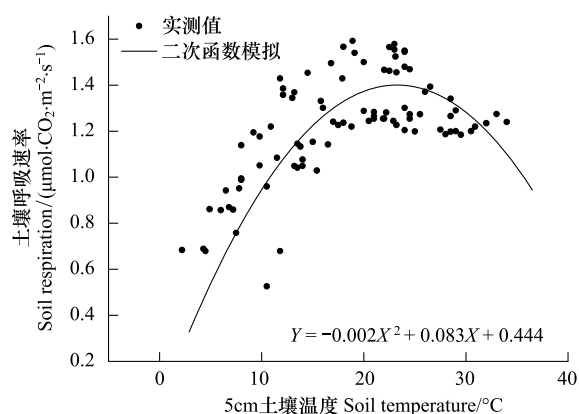


图 5 平作处理 (FC) 土壤呼吸速率与土壤温度模拟函数 ($n=88$)

Fig. 5 Relationship between soil respiration (SR) and soil temperature in a smooth, unmulched field ($n=88$)

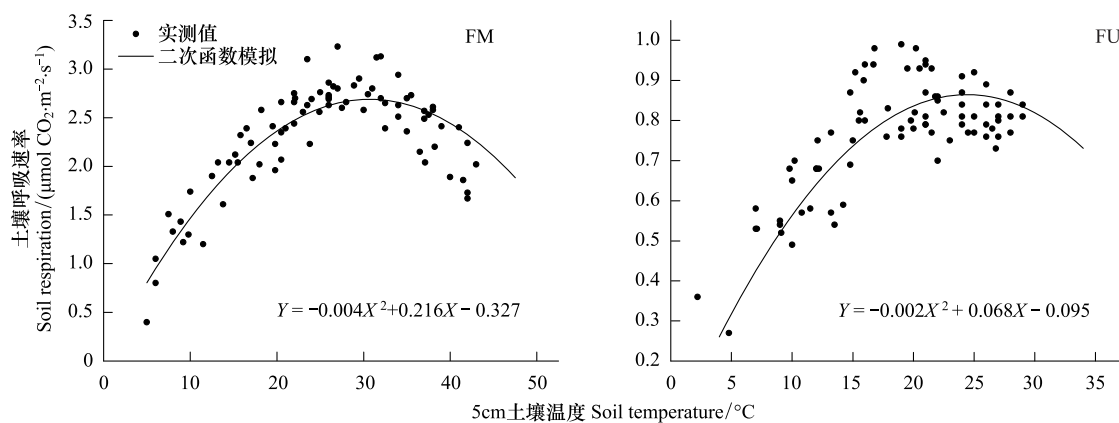


图 6 垄作处理 RM、FU 处土壤呼吸速率与土壤温度模拟函数 ($n=82$)

Fig. 6 The relationship between soil temperature (T) and respiration (R) in the plastic film-mulched ridges (RM) and unmulched-furrows (FU) ($n=82$)

表 1 土壤呼吸与各层土壤温度间二次函数模拟

Table 1 Coefficients for the quadratic equation describing the effect of soil temperature (T) at different depths on soil respiration (R)

土壤深度/cm Soil depth	FC 处理 Treatment				RM 处理 Treatment				FU 处理 Treatment			
	R^2	A	B	C	R^2	A	B	C	R^2	A	B	C
0	0.590	-0.001	0.069	0.439	0.837	-0.003	0.188	-0.389	0.602	-0.001	0.045	0.208
5	0.636	-0.002	0.083	0.444	0.829	-0.004	0.216	-0.327	0.682	-0.002	0.068	0.095
10	0.609	-0.002	0.079	0.646	0.641	-0.005	0.197	0.536	0.471	-0.001	0.041	0.349
15	0.495	-0.002	0.055	0.849	0.640	-0.006	0.223	0.643	0.48	-0.001	0.038	0.464
20	0.451	-0.002	0.077	0.659	0.394	-0.005	0.182	0.990	0.528	-0.001	0.049	0.374
气温 Temperature	0.542	-0.002	0.075	0.564	0.660	-0.005	0.226	0.371	0.586	-0.001	0.051	0.272

图中 0 cm 温度表示为地表温度;二次函数方程为: $f(X) = AX^2 + BX + C$

表 2 土壤呼吸与土壤温度含水量函数模拟

Table 2 Coefficients for the equation describing the interactive effects of soil temperature (T) and moisture (M) on soil respiration (R)

处理 Treatment	a	b	c	d	e	P_T	P_W	P_{TW}	R^2
FC	0.046	-0.036	1.65	1	0.54	0.001 **	0.001 **	0.307	0.76
RM	0.052	-0.076	4.32	-1	-0.58	0.001 **	0.896	0.800	0.83
FU	0.053	-0.024	1.20	-1	0.03	0.001 **	0.05 *	0.144	0.68

模拟函数为 $f(R) = a(bT^2 + cT)(1 + d \ln(2W)/T) + e$; 表中 a, b, c, d, e 为函数中的系数; T : 土壤温度 Soil temperature; W : 土壤水分 Soil moisture; TW : 土壤水热交互因子 Interaction of soil water and temperature; * * $P=0.01$ 水平上极显著, * $P=0.05$ 水平上显著

3 讨论

垄沟覆膜栽培显著改变冬小麦田的土壤呼吸。垄脊处的土壤呼吸高于平作,这与王同朝^[17]的研究结果一致;但垄沟内(FU)土壤呼吸却显著小于平作处理,这一结果未见报道。垄脊处土壤呼吸速率高是由于垄作栽培可以增加土壤孔隙率,覆盖地膜能提高垄脊处地温^[18],导致根系较集中。Bolinder^[19]对6种不同冬小麦品种的研究结果表明,小麦根系在垄上土壤中0—15 cm分布量要远远高于其它位置,郑飞^[20]的研究表明土壤表层根系分布量为:垄脊>平作>垄沟。垄脊处较高的温度和土壤湿度既有利于植物根系活动,也有利于土壤微生物呼吸。Yoshitaka^[21]的研究表明在17—27℃范围内,随着土壤温度升高,根系呼吸(R_{RD})大幅升高,而土壤有机质(R_{OM})呼吸对温度的敏感性受土壤肥力影响,高肥力下 R_{OM} 随温度升高而增加,低肥力下 R_{OM} 不受温度影响。垄脊处水肥条件好,因此 R_{RD} 和 R_{OM} 均受温度影响较大。

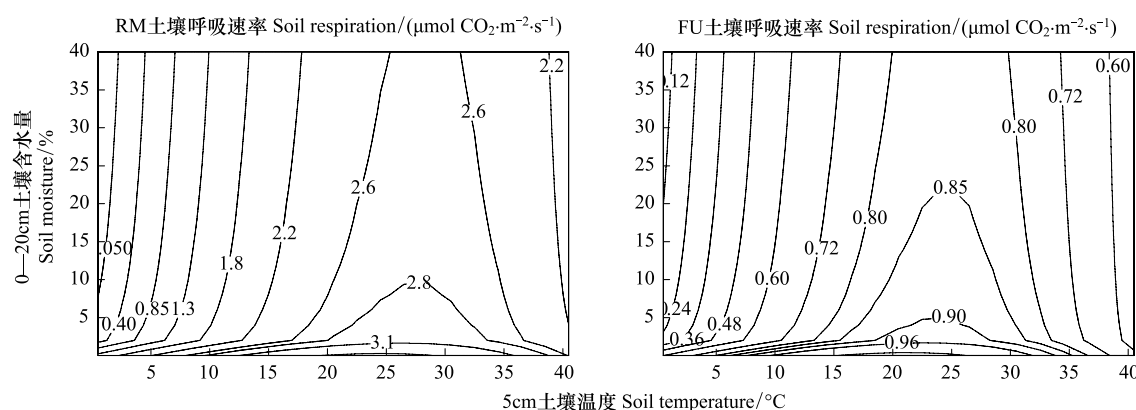


图8 垄作RM与FU处土壤温度和土壤湿度对土壤呼吸效应的等高图

Fig. 8 Contour plots showing the effect of soil temperature and moisture on soil respiration in the plastic film-mulched ridges and unmulched-furrows

土壤呼吸受植物根系与土壤微生物的影响较大^[22-23],而这些都与土壤温度关系密切。越冬前土壤呼吸下降,返青后升高,成熟期达到峰值,与土壤温度变化规律基本一致。垄脊处土壤温度显著高于平作与垄沟(图9),其小麦生育期的土壤呼吸也高,二者的变化规律基本吻合。本研究表明5 cm土壤温度对土壤呼吸的变异解释度最高,随着深度的增加,土壤温度与土壤呼吸之间的关系越来越小。这与官情^[24]等人的研究一致。越冬-拔节期土壤呼吸日变化呈现单峰曲线,与温度的相关性极好,峰值出现的时间与地温出现最高值的时间一致。到了开花-成熟期,随着的气温的回升,垄脊覆膜处的温度在中午时超过40℃(图10)。在过高的土壤温度下,土壤中动植物微生物的活动必然受到抑制^[25],因此土壤呼吸出现了明显的“午休”现象。至于这是植物的“午休现象”造成的,还是土壤微生物呼吸受到抑制,还有待进一步研究。

关于土壤温度和湿度的交互作用对土壤呼吸的影响众说纷纭。在水分不受限制时,增温使土壤呼吸速率显著增加;而当水分受限时,增温对土壤呼吸的刺激效应会被水分缺乏导致的负效应抵消^[26],当土壤水分成为胁迫因子时可能取代温度而成为土壤呼吸的主要控制因子^[27]。王森姬^[28]等研究表示,在0—35℃范围内,

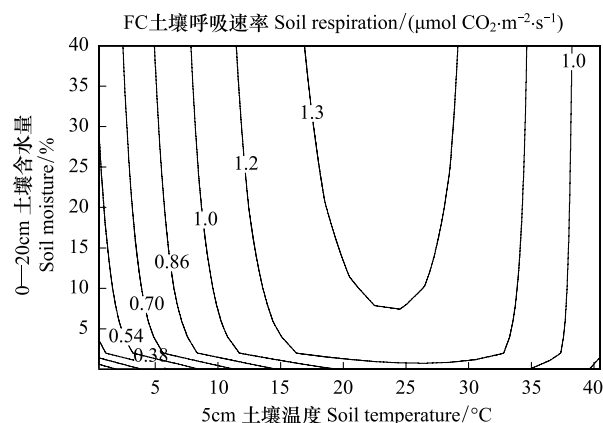


图7 FC处理土壤温度和土壤湿度对土壤呼吸效应的等高图

Fig. 7 Contour plot showing the effect of soil temperature and moisture on soil respiration in the smooth, unmulched treatment (FC)

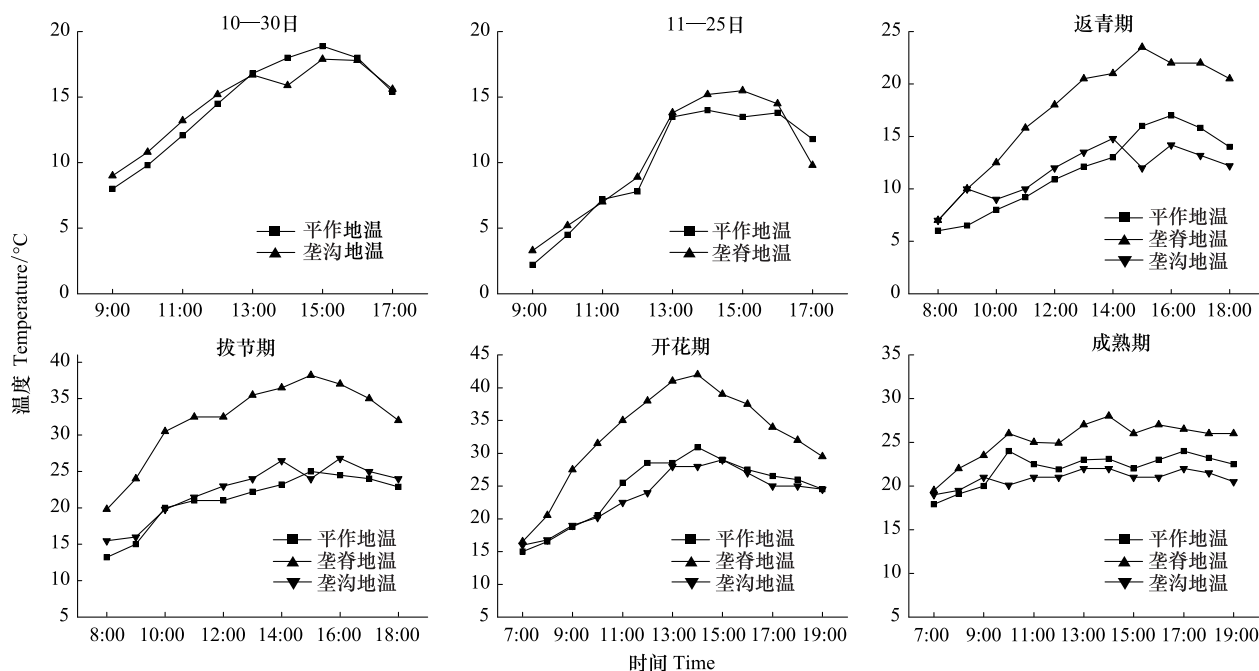


图9 5cm 土壤温度日变化

Fig. 9 Diurnal changes in soil temperature (5cm depth) at six wheat growth stages

森林中土壤呼吸随着土壤温度的增加而增加,而土壤含水量则在一定范围内能促进土壤呼吸,超过 12% (质量含水量) 后土壤含水量对土壤呼吸由促进作用变为消减作用^[29],两者之间有显著的交互作用。冬小麦播种后土壤含水量迅速下降,到了返青期后含水量因春雨有所上升,之后土壤含水量又快速降低,开花期前土壤含水量达小麦生育期内的最低值,开花期后随着降雨增加,土壤湿度迅速上升(图 10)。虽然整个生育期土壤湿度变化剧烈、幅度大,但在冬小麦生长期没有出现极端干燥(萎蔫含水量)或淹水(饱和含水量)现象,因此在本研究中土壤呼吸对含水量的响应不明显。

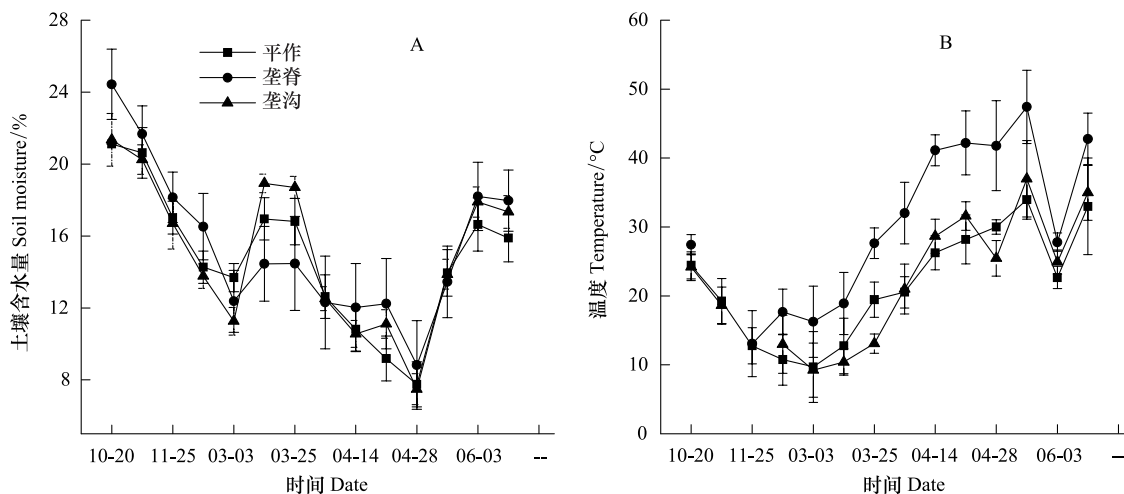


图 10 小麦生育期内土壤含水量与地表温度变化

Fig. 10 Changes in soil moisture and soil surface temperature during the wheat growing season

4 结论

4.1 垄作覆膜栽培条件下,垄脊(RM)处的土壤呼吸速率显著高于平作(FC),而垄沟(FU)处的土壤呼吸则低于平作。

4.2 越冬期前土壤呼吸日变化呈现单峰曲线,最高值出现在午后地温最高时。返青后平作和垄沟(FU)处的土壤呼吸日变化平稳,无明显的峰值;而垄脊(RM)处土壤呼吸日变化大,有明显的峰值。在拔节期和开花期,垄脊(RM)处的土壤日变化则呈双峰曲线。

4.3 5 cm 土壤温度与土壤呼吸的相关性高,土壤温度对土壤呼吸的效应可以用一元二次方程描述。5cm 土壤温度和土壤含水量的交互效应可以用函数 $f(R) = a(bT^2 + cT)(1 + d\ln(2W)/T) + e$ 描述。

References:

- [1] Shi X H, Zhang X P, Liang A Z, Shen Y, Fan R Q, Yang X M. Advance in the main factors controlling soil CO₂ flux. Chinese Journal of Soil Science, 2010, 41(3): 761-768.
- [2] Raich J W, Potter C S, Bhagawati D. Interannual variability in global soil respiration, 1980-94. Global Change Biology, 2002, 8(8): 800-812.
- [3] Bouwman A F. Soils and the Greenhouse Effect. Chichester: John Wiley and Sons, 1990: 78-78.
- [4] Li C S, Xiao X M, Frolking S, Moore B III, Salas W, Qiu J J, Zhang Y, Zhuang Y H, Wang X K, Dai Z H, Liu J Y, Qin X G, Liao B H, Sass R. Greenhouse gas emissions from croplands of China. Quaternary Sciences, 2003, 23(5): 493-503.
- [5] Singh J S, Gupta S R. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. The Botanical Review, 1977, 43(4): 449-528.
- [6] Bohlen P J, Edwards C A. Earthworm effects on N dynamics and soil respiration in microcosms receiving organic and inorganic nutrients. Soil Biology and Biochemistry, 1995, 27(3): 341-348.
- [7] Lande O L, Green T G A. Lichens show that fungi can acclimate their respiration to seasonal changes in temperature. Oecologia, 2005, 142(1): 11-19.
- [8] Chagas C I, Santanatoglia O J, Castiglioni M G, Marelli H J. Tillage and cropping effects on selected properties of an argiudoll in Argentina. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1995, 26(5/6): 643-655.
- [9] Komulainen M, Mikola J. Soil processes as influenced by heavy metals and the composition of soil fauna. Journal of Applied Ecology, 1995, 32(1): 234-241.
- [10] Li J M, Ding W X, Cai Z C. Effects of nitrogen fertilization on soil respiration during maize growth season. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(8): 2025-2030.
- [11] Zhang D Q, Shi P L, Zhang X Z. Some advance in the main factors controlling soil respiration. Advance in Earth Sciences, 2005, 20(7): 778-785.
- [12] Gong Y H, Yang J F, Wang J R, Li S X, Liu P L. Effect of film-mulching on the remobilization and distribution of ¹⁴C-reserves in wheat grain-filling stage. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(2): 258-263.
- [13] Lü D Q, Shao M Q, Wang Q J. Experimental study on soil water distribution under ridge and furrow cultivation. Acta Pedologica Sinica, 2003, 40(1): 147-150.
- [14] Gao M, Zhou B T, Wei C F, Xie D T, Zhang L. Effect of tillage system on soil animal, microorganism and enzyme activity in paddy field. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(7): 1177-1181.
- [15] Niu X S, Niu L A, Zhang H Y, Fan J F, Hao J M, Ma Y L. Effect of no-tillage with maize straw mulching on soil respiration. Ecology and Environment, 2008, 17(1): 256-260.
- [16] Zhang Q Z, Wu W L, Wang M X, Zhou Z R, Chen S F. The effects of crop residue amendment and N rate on soil respiration. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(11): 2883-2887.
- [17] Wang T C, Wei L, Tian Y, Ma C, Du Y Y, Tan Y. Dynamic changes of soil respiration on mulched bed planting under winter wheat and summer maize double cropping integration. Journal of Agro-Environment Science, 2009, 28(9): 1970-1974.
- [18] Wang T C, Wang Y, Wei L, Wang J Z, Nie S W, Liu S W. Research progress on crop raised-bed planting in China. Journal of Henan Agricultural University, 2005, 39(4): 377-382.
- [19] Bolinder M A, Angers D A, Dubuc J P. Estimating shoot to root ratios and annual carbon inputs in soils for cereal crops. Agriculture, Ecosystems and Environment, 1997, 63(1): 61-66.
- [20] Zheng F, Sun X H, Shao Y H, Ren Z X. Effects of bed-planting on the root system and it's developing environment in winter wheat. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2005, (5): 11-14.
- [21] Uchida Y, Hunt J E, Barbour M M, Clough T J, Kelliher F M, Sherlock R R. Soil properties and presence of plants affect the temperature sensitivity of carbon dioxide production by soils. Plant and Soil, 2010, 337(1/2): 375-387.
- [22] Boone R D, Nadelhoffer K J, Canary J D, Kaye J P. Roots exert a strong influence on the temperature sensitivity of soil respiration. Nature, 1998,

396(6711): 570-572.

- [23] Kelting D L, Burger J A, Edoards G S. Estimating root respiration, microbial respiration in the rhizosphere, and root-free soil respiration in forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 1998, 30(7): 961-968.
- [24] Guan Q, Wang J, Song S Y, Liu W Z. Effects of different mulching measures on winter wheat field soil respiration in loess plateau dry Land Region. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(6): 1471-1476.
- [25] Hu Y L, Wang S L, Yan S K. Research advances on the factors influencing the activity and community structure of soil microorganism. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37(1): 170-176.
- [26] Bontti E E, Decant J P, Munson S M, Gathany M A, Przeszlowska A, Haddix M L, Owens S, Burke I C, Parton W J, Harmon M E. Litter decomposition in grasslands of Central North America. *Global Change Biology*, 2009, 15(5): 1356-1363.
- [27] Wang Y S, Hu Y Q, Ji B M, Liu G R, Xue M. An investigation on the relationship between emission/uptake of greenhouse gases and environmental factors in semiarid grassland. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2003, 20(1): 119-127.
- [28] Wang M, Ji L Z, Li Q R, Liu Y Q. Effects of soil temperature and moisture on soil respiration in different forest types in Changbai Mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(8): 1234-1238.
- [29] 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.

参考文献:

- [1] 时秀焕, 张晓平, 梁爱珍, 申艳, 范如芹, 杨学明. 土壤 CO₂ 排放主要影响因素的研究进展. *土壤通报*, 2010, 41(3): 761-768.
- [4] 李长生, 肖向明, Frolking S, Moore B III, Salas W, 邱建军, 张宇, 庄亚辉, 王效科, 戴昭华, 刘纪远, 秦小光, 廖柏寒, Sass R. 中国农田的温室气体排放. *第四纪研究*, 2003, 23(5): 493-503.
- [10] 李建敏, 丁维新, 蔡祖聪. 氮肥对玉米生长季土壤呼吸的影响. *应用生态学报*, 2010, 21(8): 2025-2030.
- [11] 张东秋, 石培礼, 张宪洲. 土壤呼吸主要影响因素的研究进展. *地球科学进展*, 2005, 20(7): 778-785.
- [12] 龚月桦, 杨俊峰, 王俊儒, 李生秀, 刘普灵. 覆膜对小麦¹⁴C-储备物在灌浆期转运分配的影响. *中国农业科学*, 2007, 40(2): 258-263.
- [13] 吕殿青, 邵明安, 王全九. 垄沟耕作条件下的土壤水分分布试验研究. *土壤学报*, 2003, 40(1): 147-150.
- [14] 高明, 周保同, 魏朝富, 谢德体, 张磊. 不同耕作方式对稻田土壤动物、微生物及酶活性的影响研究. *应用生态学报*, 2004, 15(7): 1177-1181.
- [15] 牛新胜, 牛灵安, 张宏彦, 范聚芳, 郝晋珉, 马永良. 玉米秸秆覆盖免耕对土壤呼吸的影响. *生态环境*, 2008, 17(1): 256-260.
- [16] 张庆忠, 吴文良, 王明新, 周中仁, 陈淑峰. 秸秆还田和施氮对农田土壤呼吸的影响. *生态学报*, 2005, 25(11): 2883-2887.
- [17] 王同朝, 卫丽, 田原, 马超, 杜园园, 谭阳. 冬小麦-夏玉米一体化垄作覆盖下农田土壤呼吸变化研究. *农业环境科学学报*, 2009, 28(9): 1970-1974.
- [18] 王同朝, 王燕, 卫丽, 王俊忠, 聂胜委, 刘书伟. 作物垄作栽培法研究进展. *河南农业大学学报*, 2005, 39(4): 377-382.
- [20] 郑飞, 孙向辉, 邵运辉, 任中信. 垄作栽培对冬小麦根系及其发育环境的影响. *河南农业科学*, 2005, (5): 11-14.
- [24] 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.
- [25] 胡亚林, 汪思龙, 颜绍堃. 影响土壤微生物活性与群落结构因素研究进展. *土壤通报*, 2006, 37(1): 170-176.
- [28] 王森, 姬兰柱, 李秋荣, 刘延秋. 土壤温度和水分对长白山不同森林类型土壤呼吸的影响. *应用生态学报*, 2003, 14(8): 1234-1238.

CONTENTS

Hyperspectral characteristics of typical subtropical trees at different levels of simulated acid rain	SHI Qilong, JIANG Hong, CHEN Jian, et al (5621)
Wind fields and the development of wind corridors in the urban metropolis of the Pearl River Delta	SUN Wu, WANG Yiming, WANG Yuelei, et al (5630)
Dynamics of canopy structure and understory light in montane evergreen broadleaved forest following a natural disturbance in North Guangdong	OU Yudian, SU Zhiyao (5637)
The influence of 4 species of preys on the development and fecundity of <i>Orius similis</i> Zheng	ZHANG Changrong, ZHI Junrui, MO Lifeng (5646)
Woody seedling regeneration in secondary succession of monsoon broad-leaved evergreen forest in Puer, Yunnan, Southwest China	LI Shuaifeng, LIU Wande, SU Jianrong, et al (5653)
Scale-dependent spatial variation of species abundance and richness in two mixed evergreen-deciduous broad-leaved karst forests, Southwest China	ZHANG Zhonghua, HU Gang, ZHU Jiedong, et al (5663)
The spatial heterogeneity of soil nutrients in a mid-subtropical <i>Castanopsis kawakamii</i> natural forest	SU Songjin, LIU Jinfu, HE Zhongsheng, et al (5673)
Effects of <i>Vetiveria zizanioides</i> L. growth on chemical and biological properties of copper mine tailing wastelands	XU Decong, ZHAN Jing, CHEN Zheng, et al (5683)
Effects of different irrigation regimes on characteristics of transpiring water-consumption of three desert species	SHAN Lishan, LI Yi, ZHANG Ximing, et al (5692)
The response of euhalophyte <i>Salicornia europaea</i> L. to different nitrogen forms	NIE Lingling, FENG Juanjuan, LÜ Sulian, et al (5703)
Dynamic analysis on spatial pattern of dominant tree species of cold-temperate coniferous forest in the succession process in the Pangquangou Nature Reserve	ZHANG Qindi, BI Runcheng, ZHANG Jintun, et al (5713)
Effects of AM fungi on the growth and nutrients of <i>Salvia miltiorrhiza</i> Bge. under different soil water and fertilizer conditions	HE Xueli, MA Li, MENG Jingjing, et al (5721)
The dynamics of soil respiration in a winter wheat field with plastic mulched-ridges and unmulched furrows	SHANGGUAN Yuxian, SHI Ripeng, HAN Kun, et al (5729)
Cattle dung composted by different methods had different effects on the growth and quality of soybean	GUO Liyue, LIU XueMei, ZHAN Lijie, et al (5738)
Nitrogen budget modelling at the headwaters of Urumqi River Based on the atmospheric deposition and runoff	WANG Shengjie, ZHANG Mingjun, WANG Feiteng, et al (5747)
Evaluating the ecosystem sustainability of circular agriculture based on the energy theory: a case study of the Xingyuan circular agriculture demonstration site in Fuqing City, Fujian	ZHONG Zhenmei, WENG Boqi, HUANG Qinlou, et al (5755)
Effects of cold exposure and recovery on viability and energy consumption in the sub-adult female giant spiny frogs (<i>Paa spinosa</i>)	LING Yun, SHAO Chen, XIE Zhigang, et al (5763)
A comparison of night-interruption on diapause-averting among two populations of the cotton bollworm, <i>Helicoverpa armigera</i>	CHEN Yuansheng, TU Xiaoyun, CHEN Chao, et al (5770)
Effects of soil erosion control measures on soil organic carbon and total nitrogen in a small watershed	ZHANG Yanjun, GUO Shengli, NAN Yafang, et al (5777)
Comparative analysis of Lugu Lake watershed ecosystem function under different management authorities	DONG Rencai, GOU Yaqing, LI Siyuan, et al (5786)
Relationship between fish community diversity and environmental factors in the Lianjiang River, Guangdong, China	LI Jie, LI Xinhui, JIA Xiaoping, et al (5795)
Effect of dissolved oxygen level on metabolic mode in juvenile crucian carp	ZHANG Wei, CAO Zhendong, FU Shijian (5806)
Community composition of net-phytoplankton and its relationship with the environmental factors at artificial reef area in Xiangshan Bay	JIANG Zhibing, CHEN Quanzhen, SHOU Lu, et al (5813)
Emergency appraisal on the loss of ecosystem service caused by marine reclamation: a case study in the Taozi Bay	LI Ruiqian, MENG Fanping (5825)
Assessing the visual quality of urban waterfront landscapes: the case of Hefei, China	YAO Yumin, ZHU Xiaodong, XU Yingbi, et al (5836)
Review and Monograph	
Advances in ecological genomics	SHI Yongbin, LI Junmin, JIN Zexin (5846)
Advances in studies of ecological effects of ocean acidification	WANG Siru, YIN Kedong, CAI Weijun, et al (5859)
Advances in feeding ecology of <i>Acartia</i>	HU Simin, LIU Sheng, LI Tao, et al (5870)
Research progress on ammonia-oxidizing microorganisms in estuarine ecosystem	ZHANG Qiufang, XU Jirong, SU Jianqiang, et al (5878)
Recent progress in research on neutrophilic, microaerophilic iron(II)-oxidizing bacteria	LIN Chaofeng, GONG Jun (5889)
A comparison study on primary production in typical low-latitude seas (South China Sea and Bay of Bengal)	LIU Huaxue, SONG Xingyu, HUANG Honghui, et al (5900)
Advances in leaf maximum carboxylation rate and its response to environmental factors	ZHANG Yanmin, ZHOU Guangsheng (5907)
10-years of bird habitat selection studies in mainland China: a review	JIANG Aiwu, ZHOU Fang, QIN Yue, et al (5918)
Scientific Note	
The effects of incubation temperature on embryonic metabolism and hatchling behavior in the Red-banded Snake, <i>Dinodon rufonotatum</i>	SUN Wenjia, YU Xiao, CAO Mengjie, et al (5924)
Sensitivity analysis and dynamics of soil microbial biomass carbon, nitrogen and related parameters in red-yellow soil of tea garden with different fertilization practices	WANG Limin, QIU Shanlian, LIN Xinxian, et al (5930)
Effect of fertilizers on Cd uptake of two edible amaranthus herbs	LI Ningyu, LI Zhian, ZHUANG Ping, et al (5937)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,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,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

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 18 期 (2012 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 18 (September, 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:1000717	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