

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

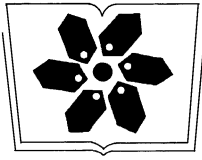
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第7期 Vol.31 No.7 **2011**

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 31 卷 第 7 期

2011 年 4 月 (半月刊)

目 次

川南天然常绿阔叶林人工更新后土壤氮库与微生物的季节变化·····	龚 伟,胡庭兴,王景燕,等 (1763)
IBIS 模拟东北东部森林 <i>NPP</i> 主要影响因子的敏感性·····	刘 曦,国庆喜,刘经纬 (1772)
不同坡位沙棘光合日变化及其主要环境因子·····	靳甜甜,傅伯杰,刘国华,等 (1783)
氮、硫互作对克隆植物互花米草繁殖和生物量累积与分配的影响·····	甘 琳,赵 晖,清 华,等 (1794)
海岛棉和陆地棉叶片光合能力的差异及限制因素·····	张亚黎,姚贺盛,罗 毅,等 (1803)
遮荫对连翘光合特性和叶绿素荧光参数的影响·····	王建华,任士福,史宝胜,等 (1811)
3 种木本植物在铅锌和铜矿砂中的生长及对重金属的吸收·····	施 翔,陈益泰,王树凤,等 (1818)
施氮水平对小麦籽粒谷蛋白大聚合体粒径分布的调控效应·····	王广昌,王振林,崔志青,等 (1827)
强光下高温与干旱胁迫对花生光系统的伤害机制·····	秦立琴,张悦丽,郭 峰,等 (1835)
环境因子和干扰强度对高寒草甸植物多样性空间分异的影响·····	温 璐,董世魁,朱 磊,等 (1844)
利用 CASA 模型模拟西南喀斯特植被净第一性生产力·····	董 丹,倪 健 (1855)
北京市绿化树种紫玉兰的蒸腾特征及其影响因素·····	王 华,欧阳志云,任玉芬,等 (1867)
平衡施肥对缺磷红壤性水稻土的生态效应·····	陈建国,张杨珠,曾希柏,等 (1877)
冬小麦种植模式对水分利用效率的影响·····	齐 林,陈雨海,周勋波,等 (1888)
黄土高原冬小麦地 N_2O 排放·····	庞军柱,王效科,牟玉静,等 (1896)
花前渍水预处理对花后渍水逆境下扬麦 9 号籽粒产量和品质的影响·····	李诚永,蔡 剑,姜 东,等 (1904)
低硫氮比酸雨对亚热带典型树种气体交换和质膜的影响·····	冯丽丽,姚芳芳,王希华,等 (1911)
夹竹桃皂甙对福寿螺的毒杀效果及其对水稻幼苗的影响·····	戴灵鹏,罗蔚华,王万贤 (1918)
海河流域景观空间梯度格局及其与环境因子的关系·····	赵志轩,张 彪,金 鑫,等 (1925)
中国灌木林-经济林-竹林的生态系统服务功能评估·····	王 兵,魏江生,胡 文 (1936)
城郊过渡带湖泊湿地生态服务功能价值评估——以武汉市严东湖为例·····	王凤珍,周志翔,郑忠明 (1946)
黄河三角洲植物生态位和生态幅对物种分布-多度关系的解释·····	袁 秀,马克明,王 德 (1955)
基于景观可达性的广州市林地边界动态分析·····	朱耀军,王 成,贾宝全,等 (1962)
红脂大小蠹传入中国危害特性的变化·····	潘 杰,王 涛,温俊宝,等 (1970)
基于线粒体 <i>Cyt b</i> 基因的西藏马鹿种群遗传多样性研究·····	刘艳华,张明海 (1976)
不同干扰下荒漠啮齿动物群落多样性的多尺度分析·····	袁 帅,武晓东,付和平,等 (1982)
秦岭鼯鼠的洞穴选择与危害防控·····	鲁庆彬,张 阳,周材权 (1993)
京杭运河堤坝区域狗獾的栖息地特征·····	殷宝法,刘宇庆,刘国兴,等 (2002)
专论与综述	
微生物胞外呼吸电子传递机制研究进展·····	马 晨,周顺桂,庄 莉,等 (2008)
厌氧氨氧化菌脱氮机理及其在污水处理中的应用·····	王 惠,刘研萍,陶 莹,等 (2019)
问题讨论	
海河流域森林生态系统服务功能评估·····	白 杨,欧阳志云,郑 华,等 (2029)
研究简报	
体重和盐度对中国蛤蚧耗氧率和排氨率的影响·····	赵 文,王雅倩,魏 杰,等 (2040)
虾塘养殖中后期微型浮游动物的摄食压力·····	张立通,孙 耀,赵从明,等 (2046)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 290 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-04	



封面图说:日斜茅荆坝·河北茅荆坝——地处蒙古高原向华北平原过渡地带的暖温带落叶阔叶林,色彩斑斓,正沐浴着晚秋温暖的阳光。

彩图提供:国家林业局陈建伟教授 E-mail: cites.chenjw@163.com

黄土高原冬小麦地 N_2O 排放

庞军柱^{1,2}, 王效科^{2,*}, 牟玉静³, 欧阳志云², 张红星², 逯 非², 刘文兆⁴

(1. 西北农林科技大学林学院, 杨凌 712100; 2. 中国科学院生态环境研究中心 城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085;

3. 中国科学院生态环境研究中心 大气化学与大气污染控制技术研究室, 北京 100085;

4. 中国科学院水土保持研究所 长武黄土高原农业生态试验站, 杨凌 722400)

摘要:从2007年7月1日到2009年6月30日对黄土高原冬小麦地氧化亚氮(N_2O)排放采用静态箱气相色谱法进行了为期2a的监测。设置2个处理,有小麦田(有小麦生长),无小麦田(出芽初期拔去麦苗)。研究结果表明有小麦田、无小麦田 N_2O 排放量年际变化不大。有小麦田年均的 N_2O 排放量为 $2.05 \text{ kg} \cdot \text{N}_2\text{O} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 无小麦田年均的 N_2O 排放量为 $2.28 \text{ kg} \cdot \text{N}_2\text{O} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。在冻融交替期,施肥后、翻地后和降雨后无小麦田和有小麦田 N_2O 排放明显增加, N_2O 的季节变化受到这些短期事件的显著影响;有小麦田 N_2O 排放与地温($P<0.01$),气温($P<0.01$)和 $WFPS$ ($P<0.05$)显著相关,而无小麦田 N_2O 排放与这些环境土壤因子都不相关;有小麦田和无小麦田两个处理土壤的 $WFPS$ 通常都低于60%,可以推断在本地区,硝化反应是 N_2O 的重要生成源。

关键词:黄土高原;冬小麦地;氧化亚氮;氮肥

Nitrous oxide emissions from winter wheat field in the Loess Plateau

PANG Junzhu^{1,2}, WANG Xiaoke^{2,*}, MU Yujing³, OUYANG Zhiyun², ZHANG Hongxing², LU Fei², LIU Wenzhao⁴

1 College of Forestry, North A&F University, Yangling 712100, China

2 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

3 Department of Atmospheric Chemistry and Air Pollution Control Technology, Research Center for Eco-environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

4 Changwu Agri-ecological Station, Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, Shaanxi 722400, China

Abstract: Knowledge on nitrous oxide (N_2O) emissions from agricultural soils in semiarid regions is required for better understanding global terrestrial N_2O losses. Nitrous oxide fluxes from winter wheat fields in the semi-arid Loess Plateau of China were monitored using static chambers from 1 July 2007 to 30 June 2009 at biweekly intervals. After nitrogen fertilizer application, tillage, summer rainfall and during freezing and thawing cycles, additional measurements were conducted. There were two treatments, with or without winter wheat growing (referred to as WF_{in} and WF_{ex} , respectively). The results showed that there was no significant difference between two years for both treatments ($P<0.05$). The annual average N_2O emissions from WF_{in} and WF_{ex} were $2.05 \text{ kg} \cdot \text{N}_2\text{O} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ and $2.28 \text{ kg} \cdot \text{N}_2\text{O} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, respectively. The average emission factor for WF_{in} and WF_{ex} were 0.946% and 1.05%, respectively (uncorrected for background emission). The emission factor for WF_{in} was about one third (32.2%) lower than the default value provided by the Intergovernmental Panel on Climate Change for the application of synthetic fertilizers to cropland (1.25%). Therefore, the amount of N_2O emissions from the semiarid wheat field may be overestimated without using regional-specific factor. Seasonal variations in N_2O emissions were mainly affected by the short-time events including freeze and thaw cycles, nitrogen fertilizer application, tillage and summer rainfall. The greatest N_2O fluxes of WF_{ex} occurred during the freeze and thaw cycles of 2008 (February

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40321101);国家重点基础研究发展规划(973)资助项目(2002CB412503)

收稿日期:2010-03-21; **修订日期:**2010-05-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangxk@rcees.ac.cn

29) with the value of $179.58 \text{ g} \cdot \text{N}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$. In comparison, the peak values of N_2O emission from WF_{in} occurred after tillage, fertilization and during continuous rainfall at the beginning of October, 2007, with the value of $93.4 \text{ g} \cdot \text{N}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$. There was significant correlation between N_2O fluxes from the WF_{in} and soil temperature ($P < 0.01$), ambient air temperature ($P < 0.01$) and water field pore space (WFPS) ($P < 0.05$). The results of stepwise multiple linear regression showed that soil temperature and WFPS could be identified as the key factors determining the temporal variability of N_2O fluxes from the WF_{in} and accounted for 16.9% of the temporal variation. However, for the WF_{ex} treatment, N_2O fluxes were not correlated with any of these environmental and soil factors. Soil WFPS in the WF_{in} and the WF_{ex} was always below 60% except for during freeze-thaw in 2008 and immediately after heavy rainfall, suggesting that nitrification was the important source of N_2O in this region.

Key Words: the Loess Plateau; winter wheat field; nitrous oxide; nitrogen fertilizer

氧化亚氮(N_2O)既是重要的温室气体,又是破坏同温层中臭氧的化学物质之一。大气层中 N_2O 的增加量主要来自农业土壤的贡献,而这主要源于农业土壤中大量氮肥的施用^[1-4]。尽管近年来有关农业土壤 N_2O 排放的研究不断的增多,但是关于全球 N_2O 总的排放量的估算仍存在很大的不确定性^[5]。干旱半干旱地区大约占地球陆地面积的 27%,且大量的农业生产活动在干旱半干旱地区开展^[6]。然而到目前为止,有关雨养的干旱半干旱地区农田 N_2O 排放量对全球 N_2O 总的排放量的贡献的估算仅仅是基于 Barton 等^[7]在澳大利亚西南部开展的研究,他们报道当地 N_2O 的年排放量为 $0.09\text{—}0.11 \text{ kg}/\text{hm}^2$,排放系数为 0.02%,而 IPCC 报告^[8]所提供的排放系数(1.25%)是该值的 62.5 倍。中国国土大约有 43.1% 位于干旱半干旱地区,且大量的农业生产活动在干旱半干旱地区开展,但是目前还没有该地区整年的农田 N_2O 排放研究的报道。为了正确的估算农业土壤 N_2O 的排放量,开展整年的或多年的研究是非常必要的^[7,9]。

黄土高原位于中国的西北部,主要特征是干旱和大量的水土流失。黄土高原年均温度和年均降雨量分别为 $3.6\text{—}14.3^\circ\text{C}$, $150\text{—}750 \text{ mm}$ 。冬小麦是黄土高原主要的农作物。研究冬小麦地 N_2O 排放量,对于估算整个黄土高原农田 N_2O 排放量具有重要意义。

N_2O 主要是由土壤中的硝化反应和反硝化反应产生的, N_2O 的产生主要受到土壤孔隙充水率(WFPS)、地温、可利用的土壤活性有机碳、土壤 pH、土壤中 NH_4^+ 和 NO_3^- 含量和比例等因素调控^[2,9-11]。Chang 等^[12]、Chen 等^[13]和 Hakata 等^[14]认为植物体释放 N_2O 也是一种很普遍的现象,Smart 和 Bloom^[15]研究表明当叶绿体中光同化 NO_2^- 时,小麦的叶片可以产生 N_2O ,Zou 等^[16]的研究发现在不同的生长季,冬小麦植株对于冬小麦土壤系统 N_2O 的平均贡献率为 25%。然而,作物一方面可以作为导管和自身产生 N_2O 来增加 N_2O 的排放量,另一方面,由于作物生长和土壤微生物竞争矿质氮而减少了土壤中 N_2O 的排放。因此,在监测农业生态系统的 N_2O 排放量时没有作物生长到底是低估还是高估了整个农业生态系统的 N_2O 排放量值得商榷。

本研究目的是:(1)确定黄土高原小麦地 N_2O 排在年际和季节上的变化以及与土壤环境因子的关系;(2)阐明冬小麦对 N_2O 排在时间上和总量上的影响。

1 材料与方法

1.1 研究区自然概况

本研究在中国科学院长武农业生态试验站开展,该站位于黄土高原中南部的陕西长武县。北纬 $35^\circ12'$,东经 $107^\circ40'$,海拔 1200m,属暖温带半湿润大陆性季风气候,年均降雨 565 mm,大约有 49% 分布于 7 月到 9 月份,平均气温 9.1°C (图 1),农业生产全部依靠自然降水,属典型的旱作农业区。土壤属黑垆土,土质均匀疏松。主要理化性质见表 1。

1.2 样地特征及处理

小麦地是该地区主要的农田土地利用类型。每年在秋耕秋播时(9 月中下旬)施肥,施肥标准为尿素:300

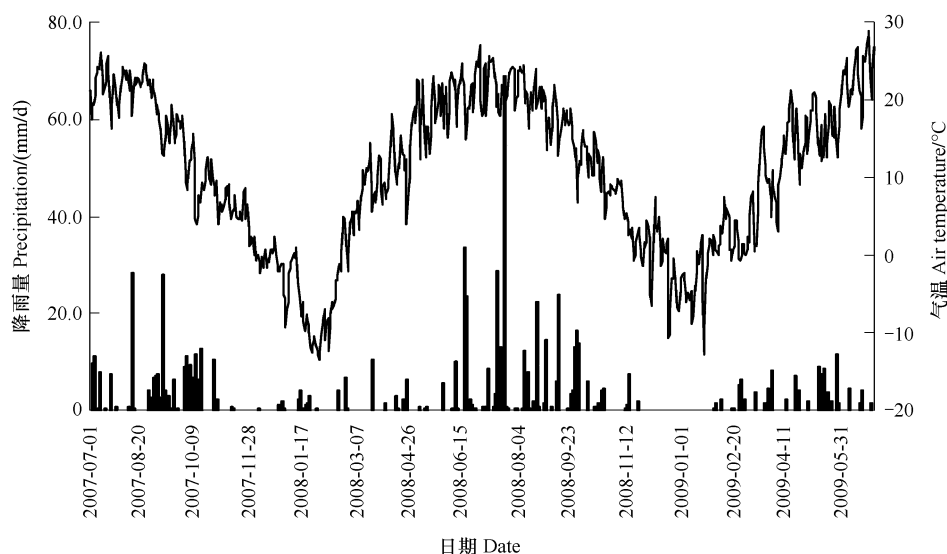


图1 长武农业生态试验站降雨和日平均气温

Fig. 1 Daily mean air temperature and precipitation in Changwu Agri-ecological Station

kg/hm^2 (含氮量 46%), 过磷酸钙 $750 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。每年 4 月中旬人工锄草, 6 月中下旬用联合收割机收小麦, 7 月底进行翻耕, 将小麦残茬和杂草翻进土壤, 相当于施氮 $0.49 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。种植的冬小麦 (*Triticum aestivum*) 品种为长旱 58。设置 2 个处理, 有小麦田 (有小麦生长), 无小麦田 (小麦出芽的初期将其拔掉), 每个处理设置 3 个重复。需要说明的是本试验中在小麦的生育期和和小麦收割后的残茬期为 2 个处理, 每年的 7 月底翻耕后到小麦出芽初期 (9 月底或 10 月初), 2 个处理合并为 1 个处理。

表 1 土壤基础理化性质

Table 1 The main physiochemical characteristics of the soil at the study sites

参数 Parameters	土层 Soil layer /cm	土壤有机碳 Soil organic carbon /(g/kg)	土壤全氮 Total nitrogen /(g/kg)	pH (H ₂ O)	容重 Bulk density /(g/cm ³)
有小麦田 WFin	0—10	5.79±0.10 *	0.95±0.01	8.35±0.01	1.35±0.02
	10—20	5.93±0.18	0.96±0.02	8.37±0.02	
	20—40	4.50±0.01	0.85±0.00	8.40±0.01	
无小麦田 WEx	0—10	6.59±0.06	0.96±0.01	8.36±0.01	1.46±0.00
	10—20	5.30±0.06	0.97±0.11	8.38±0.01	
	20—40	3.57±0.02	0.80±0.04	8.37±0.06	

* 表中所给出的为三个数值的平均值±标准差

从 2007 年 7 月 1 日到 2009 年 6 月 30 日对黄土高原小麦地 N_2O 排放进行了为期两年的监测。 N_2O 气体采集利用静态箱法, 采样频率为大约每 2 周 1 次, 在施肥后、翻地后、冻融交替期、典型的降雨后或降雨过程中加大采样的频率。从 2008 年 1 月 3 日到 2008 年 2 月 21 日由于大雪停止了气体采集。采样时间多选择在 8:00—10:00。采样箱用 5 mm 厚透明的亚克力板制成, 底面积 $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$, 箱体高 50 cm。观测时将采样箱放到已插入地下 5 cm 深处的不锈钢底座外缘四周的凹槽中, 并用水密封。采样箱箱盖装有空气搅拌小风扇 (12 V, 0.5 A)、温度计以及用于采气用的胶皮管、采气三通阀和一根长 1.5 m 的塑料管 ($4 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$) 来平衡箱内外气压差, 采气时间持续 27 min, 分别抽取盖箱后 0、9、18、27 min 时的气体样品, 每次采样时用手持式采气泵抽取观测箱内气体置于 500 mL 密封气袋中。每年 4 月中旬当小麦植株生长超过 40 cm 时, 每次采样时在原有采样箱的底部再增加一个无盖无底的采样箱 ($50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$) 直到小麦收获。此外, 在每次采样的同时, 同步采集 10 cm 地温, 箱内初始的和最终的温度和土壤水分 (0—30 cm), 其中, 箱内温度利用水银

温度计(温度范围-30—50℃),10 cm 地温利用北京师范大学司南仪器厂生产的 SN2022 型数字温度计(温度范围-30—50℃,测量准确度为 0.5℃,读数分辨率为 0.1℃)测定,土壤水分(0—30 cm)利用土钻取土烘干法测定。气象数据(降水,气温,气压)从长武农业生态试验站获得。所采气样中的 N₂O 浓度利用一个带 10 通阀的气相色谱仪(SP3410,北京分析仪器厂)进行测定。色谱预处理柱(2 m, 4 mm 外径)和主分离柱(2 m, 4 mm 外径)用 Porapad-Q(80—100 目)填充。检测器为电子捕获检测器(ECD, Ni⁶³),测定 N₂O 的柱温、进样口温度和检测器温度分别为 72℃、72℃ 和 390℃。将少量的 CO₂(6 mL/min)气体通入检测器以提高检测器的灵敏性和重复性。每隔两三个月测 1 次土壤容重(0—30 cm),用来计算土壤孔隙充水率(WFPS)。

1.3 数据分析

N₂O 的年排放量将每两周的 N₂O 排放量加起来,每两个相邻采样日期之间的 N₂O 排放量 X_n 用公式(1)计算:

$$X_n = \frac{f_n + f_{n-1}}{2} \times (D_n - D_{n-1}) \quad (1)$$

式中, f_n 表示特定时间段的最后一天的 N₂O 排放量, f_{n-1} 表示特定时间段的初始一天的 N₂O 排放量, D_n 是特定时间段的最后一天, D_{n-1} 是特定时间段的初始一天。

N₂O 通量与气温,地温(0—10 cm)和 WFPS(0—30 cm)做相关分析和逐步线性回归。排放系数是指以 N₂O 形式排放的氮量占所施用的氮量(氮肥)的比例^[2]。本文中排放系数是指一年之中小麦田以 N₂O 形式排放的氮量占所施用的氮(氮肥)的比例。需要说明的是本文中排放系数是没有扣除背景排放的排放系数。两个处理之间 N₂O 排放量用配对样本 t 检验做比较。所有的数据分析用 SPSS13.0(SPSS Inc., USA)完成。

2 结果与分析

有小麦田、无小麦田两个处理地温的季节变化规律明显(图 2),且季节变化规律基本一致,两个处理之间地温没有较大的差异。两个处理的最高温度都出现在 2008 年 8 月 7 日,为 26.8℃。有小麦田的最低温度出

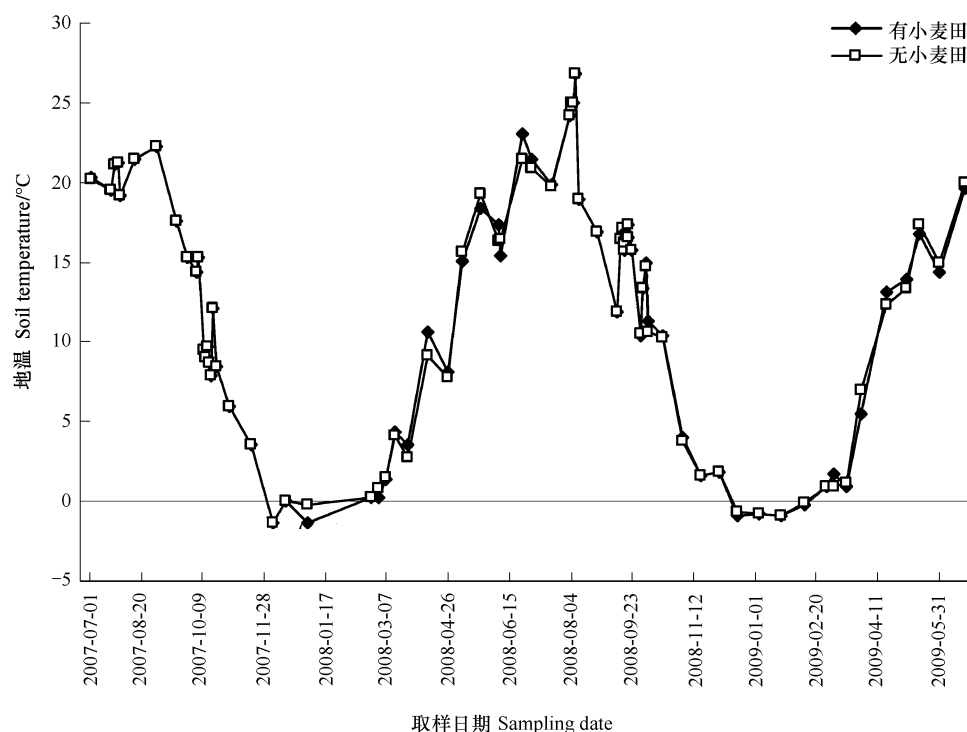


图 2 地温的变化

Fig. 2 Soil temperature of the study sites

现在 2008 年 1 月 3 日,为 -1.3°C ;无小麦田的最低温度出现在 2007 年 12 月 6 日,为 -1.4°C 。每年从 9 月,地温开始直线下降,12 月或翌年的 1 月份出现最低地温,2 月初地温开始回升。

两个处理土壤孔隙充水率(WFPS)季节变化规律基本一致(图 3)。有小麦田、无小麦田最高的 WFPS 都出现在 2008 年初春的冻融交替期,分别达到了 76.07% 和 81.84%。在夏秋季的连续降雨之后,两个处理的 WFPS 值也可以达到 60% 左右。两个处理最低的 WFPS 出现在 2009 年的 5 月 5 日,WFPS 值不到 10%。在 2008 年的 5 月 23 日,也出现了很低的 WFPS 值不到 20%。两个处理的 WFPS 值在时间上波动大,且相比于 2008 年 7 月 1 日到 2009 年 6 月 30 日的 WFPS 值,2007 年 7 月 1 到 2008 年 6 月 30 日两个处理 WFPS 值波动更大。

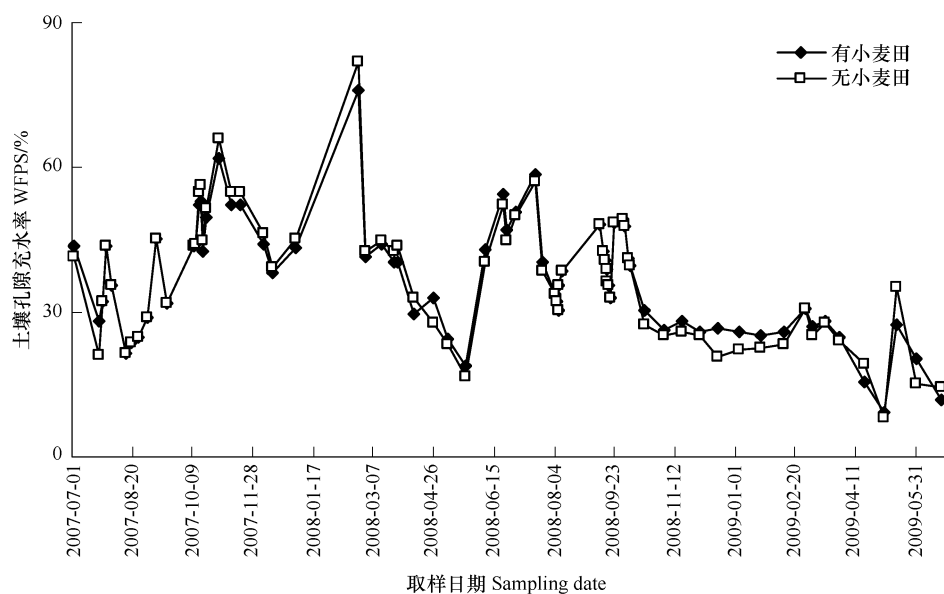


图 3 土壤孔隙充水率变化

Fig. 3 WFPS of the study sites

有小麦田、无小麦田 N_2O 排放在时间上的变化受施肥、冻融交替、翻耕和降雨的影响明显(图 4)。无小麦田最高的 N_2O 峰值出现在 2008 年初春的冻融交替期(2 月 29 日),为 $179.58 \mu\text{g N}_2\text{O m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$,同一天有小麦田也出现了较高的 N_2O 值为 $52.68 \mu\text{g N}_2\text{O m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ 。然而在 2009 年年初的冻融交替期,两个处理都没有出现高的 N_2O 值。有小麦田最高的 N_2O 值出现在 2007 年 10 月初小麦地翻地施肥和连续降雨的过程中(10 月 5 日),为 $93.4 \mu\text{g N}_2\text{O m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$,在 2008 年 9 月底小麦地翻地施肥和连续降雨的过程中,有小麦田(无小麦田)也出现了高的 N_2O 值,为 $76.28 \mu\text{g N}_2\text{O m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ 。在 2007 年 7 月下旬、2008 年 7 月底翻地之后,也有明显的 N_2O 排放,最高值分别为 $56.08 \mu\text{g N}_2\text{O m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ 和 $69.38 \mu\text{g N}_2\text{O m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ 。在 2007 年 9 月 18 日,2008 年 6 月 8 日,2009 年 3 月 28 日较大的降雨之后,有小麦田和无小麦田 N_2O 排放明显增加。

有小麦田 N_2O 排放与地温($P < 0.01$),气温($P < 0.01$)和 WFPS($P < 0.05$)显著相关(表 2),而无小麦田 N_2O 排放与这些环境土壤因子都不相关。逐步线性回归的结果显示,地温和 WFPS 可以解释 16.9% 有小麦

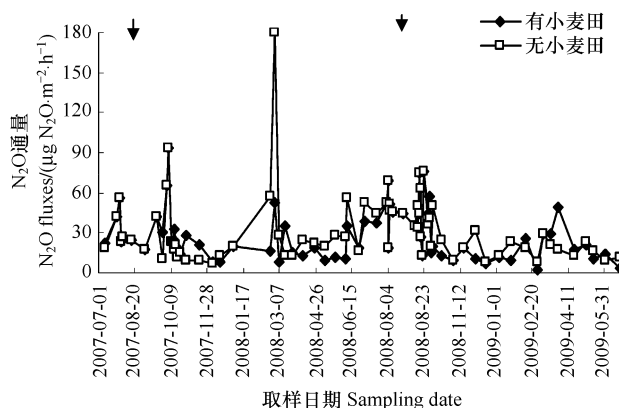


图 4 N_2O 通量的季节变化,图中箭头表示施肥

Fig. 4 N_2O fluxes during the study period. Arrows indicate the timing of fertilizer application

田 N₂O 排放时间在时间上的变化。

表 2 小麦地 N₂O 通量与主要环境因子的相关关系

Table 2 Correlation coefficients between soil N₂O fluxes and environmental parameters at the wheat field over the study period

处理 Treatments	地温 /℃ Soil temperature(10 cm)	土壤孔隙充水率/% WFPS(0—30 cm)	气温/℃ Air temperature
有小麦田 WF _{in}	0.351 **	0.246 *	0.329 **
无小麦田 WF _{ex}	0.176	0.199	0.175

表中 * 代表相关性达到 0.05 的显著水平, ** 代表相关性达到 0.01 的显著水平

2007 年 7 月到 2008 年 6 月,2008 年 7 月到 2009 年 6 月无小麦田 N₂O 年排放量比有小麦田分别高 15.4% 和 7.18% (表 3),同期无小麦田 N₂O 排放系数比有小麦田分别高 15.4% 和 6.85%。有小麦田 2007 年 7 月到 2008 年 6 月,2008 年 7 月到 2009 年 6 月两年的 N₂O 年排放量基本接近,无小麦田两年的 N₂O 年排放量也基本接近。

表 3 有小麦田,无小麦田 N₂O 排放量和排放系数

Table 3 Annual nitrous oxide emissions and the emission factors of the including wheat soil and the excluding wheat soil

	时间段 Periods	N ₂ O 排放量/(kg·N ₂ O·hm ⁻² ·a ⁻¹) Total emission	排放系数/% Emission factor
有小麦田 WFin	2007-07-01—2008-06-30	2.01	0.927 *
	2008-07-01—2009-06-30	2.09	0.964
	两年平均	2.05	0.946
无小麦田 WFex	2007-07-01—2008-06-30	2.32	1.07
	2008-07-01—2009-06-30	2.24	1.03
	两年平均	2.28	1.05

* 没有扣除背景排放

3 讨论

除了在冻融交替期和大雨过后,有小麦田和无小麦田两个处理土壤的 WFPS 值通常都低于 60%。本研究区土壤疏松的结构和低的水分保持力使得土壤中厌氧微环境的形成受到局限,而厌氧的微环境可以促进 N₂O 的产生。Ciarlo 等^[17]指出 N₂O 的排放受到土壤水分的影响,在我们的研究中也确实发现降雨后 N₂O 排放明显增大。以前的研究表明当 WFPS 值超过 63% 时,反硝化速率迅速增加,当 WFPS 值在 30%—70% 之间时,N₂O 主要由硝化反应产生^[10,17-18]。因此,可以推断在本地区,硝化反应是 N₂O 的重要生成源。在本研究区,地温和气温的季节变化规律明显,有小麦田的 N₂O 排放与地温和气温显著相关($P < 0.01$)。Dobbie 和 Smith^[2]、Zhang 和 Han^[18]、Dong 等^[19]都报道了 N₂O 排放与地温或气温显著相关。这主要是由于微生物的温度敏感性,而 N₂O 主要是由微生物参与的硝化反应和反硝化反应产生的。

尿素或基于尿素的复合肥会水解生成 NH₄⁺,从而为硝化反应提供足够的底物,因此施肥后 N₂O 排放明显增加^[7]。每年 9 月下旬小麦地施肥后的 25d,都加大了采样的频率,2007 年施肥后 25d 的 N₂O 排放量占到全年总排放量的 12.6%,2008 年这个比例为 13.9%。而且每年 9 月下旬小麦地的施肥正好处于秋季的连阴雨期,这段时期土壤的 WFPS 值都接近或超过 40%,这也是 N₂O 排放明显增加的一个重要原因。Weize 等^[20]报道施肥后的 N₂O 排放潮湿的土壤中更高一些,在干旱的土壤中只有在降雨后施肥对 N₂O 排放的促进作用才比较明显。

在温带地区,冻融交替可以增加 N₂O 的排放^[21]。Groffman 等^[22]将冻融交替期 N₂O 排放的大量增加归结如下(1)植物对氮摄入的减少增加了微生物所能转化的氮的比率;(2)冻结的土壤表层下累积的 N₂O 排放出来;(3)冻融交替使得微生物死亡紧接着微生物快速的再生长伴随着对氮的高速率转化;(4)土壤的冻结使得土壤团聚体分裂,为反硝化反应提供了可利用的碳源。在 2008 年初春的冻融交替期,两个处理都有高的 N₂O

排放峰(2月29日),尤其是无小麦田出现了最高的 N_2O 排放峰。然而在2009年年初的冻融交替期,两个处理都没有出现高的 N_2O 值。推断这主要是由于在2008年的冻融交替前,土壤表面有大量积雪,冻融交替时开始融化,使得土壤 *WFPS* 值在整个冻融交替期都在40%以上,在出现 N_2O 排放最高峰的2月29日,两个处理的 *WFPS* 值更是高达76.07%和81.84%,非常有利于反硝化反应。而在2009年冻融交替期,土壤 *WFPS* 值最高也只有30.78%,使得冻融交替期作用不明显,所以没有高的 N_2O 排放峰。2008年2月29日无小麦田出现的 N_2O 排放最高峰,也可能与无小麦田相比于有小麦田,没有小麦生长与微生物竞争氮源,能为反硝化反应和硝化反应提供更多的底物。

Grandy 和 Robertson^[23] 认为在耕地后,土壤微生物活性增加、微生物可利用的氮源增加且伴随土壤水分和温度的变化,使得 N_2O 排放在一时期内增加。发现在2008年7月低,小麦地土壤 NH_4^+ 和 NO_3^- 含量耕地后分别是耕地前的2.68倍和1.53倍(NH_4^+ 和 NO_3^- 含量耕地前 $1.15\mu\text{g/g}$, $2.88\mu\text{g/g}$; 耕地后 $3.07\mu\text{g/g}$, $4.40\mu\text{g/g}$),并且也发现在2007年7月下旬、2008年7月底翻地之后, N_2O 排放明显的增加。Sehy 等^[24] 报道他们的冬小麦地在耕地后, N_2O 排放也有一个明显的增加,他们解释为耕地后土壤通气性的增加、土壤团聚体受到扰动以及作物残茬翻入土壤。

2007年7月到2008年6月,2008年7月到2009年6月无小麦田 N_2O 年排放量比有小麦田分别高15.4%和7.18%,而同期两个处理的地温和 *WFPS* 季节变化规律一致,数值相差不大,并且两个处理的施肥量相同,由此可以推断小麦生长与微生物竞争氮源可能是有小麦田 N_2O 年排放量比无小麦田低的主要原因。

4 结论

有小麦田、无小麦田 N_2O 排放量年际变化不大;有小麦田年均的 N_2O 排放量为 $2.05 \text{ kg} \cdot \text{N}_2\text{O} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,无小麦田年均的 N_2O 排放量为 $2.28 \text{ kg} \cdot \text{N}_2\text{O} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

在冻融交替期,施肥后、翻地后和降雨后有小麦田和无小麦田都有明显的 N_2O 排放, N_2O 的季节变化受到这些短期事件的显著影响。有小麦田 N_2O 排放与地温($P < 0.01$),气温($P < 0.01$)和 *WFPS*($P < 0.05$)显著相关,而无小麦田 N_2O 排放与这些环境土壤因子都不相关。

有小麦田和无小麦田两个处理土壤的 *WFPS* 通常都低于60%,可以推断在本地区,硝化反应是 N_2O 的重要生成源。

References:

- [1] Liang D L, Tong Y A, OveEmteryd, Li S X, Fang R Y, Zhang S L. Spatial and temporal variation of nitrous oxide concentrations in soil profiles of Manural Loessial soil. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(4): 731-737.
- [2] Dobbie K E, Smith K A. Nitrous oxide emission factors for agricultural soils in Great Britain: the impact of soil water-filled pore space and other controlling variables. *Global Change Biology*, 2003, 9(2): 204-218.
- [3] Liu X R, Dong Y S, Qi Y C. Research progresses in nitrogen oxide emission from soil. *Research Progress in Geography*, 2005, 24(6): 50-58.
- [4] Li H, Wang L G, Qiu J J. Studies of N_2O emissions from crop land and strategies for reducing N_2O emission. *Soil and Fertilizer Science in China*, 2007, (5): 1-5.
- [5] Stehfest E, Bouwman L. N_2O and NO emission from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modeling of global annual emissions. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2006, 74(3): 207-228.
- [6] Galbally I E, Kirstine W V, Meyer C P, Wang Y P. Soil-atmosphere trace gas exchange in semiarid and arid zones. *Journal of Environmental Quality*, 2008, 37(2): 599-607.
- [7] Barton L, Kiese R, Gatter D, Butterbach-Bahl K, Buck R, Hinz C, Murphy D V. Nitrous oxide emissions from a cropped soil in a semi-arid climate. *Global Change Biology*, 2008, 14(1): 177-192.
- [8] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Paris: IPCC/OECD/IEA, 1997.
- [9] Bouwman A F. Nitrogen oxides and tropical agricultural. *Nature*, 1998, 392(6679): 866-867.
- [10] Davidson E A, Keller M, Erickson H E, Verchot L V, Veldkamp E. Testing a conceptual model of soil emission of nitrous and nitric oxides. *Bioscience*, 2000, 50(8): 667-680.

- [11] Martin R E, Asner G P, Ansley R J, Mosier A R. Effects of woody vegetation encroachment on soil nitrogen oxide emissions in a temperate savanna. *Ecological Application*, 2003, 13(4): 897-910.
- [12] Chang C, Janzen H H, Nakonechny E M, Cho C M. Nitrous oxide emission through plants. *Soil Science Society of American Journal*, 1996, 62(1): 35-38.
- [13] Chen X, Cabrera M L, Zhang L, Wu J, Shi Y, Yu W T, Shen S M. Nitrous oxide emission from upland crops and crop-soil systems in northeastern China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2002, 62(3): 241-247.
- [14] Hakata M, Takahashi M, Zumft W, Sakamoto A, Morikawa H. Conversion of the nitrate nitrogen and nitrogen dioxide to nitrous oxides in plants. *Acta Biotechnology*, 2003, 23(2/3): 249-257.
- [15] Smart D R, Bloom A J. Wheat leaves emit nitrous oxide during nitrate assimilation. *Proceedings of National Academy of Sciences*, 2001, 98(14): 7875-7878.
- [16] Zou J W, Huang Y, Sun W J, Zheng X H. Contribution of plants to N_2O emissions in soil-winter wheat ecosystem: pot and field experiments. *Plant and Soil*, 2005, 269(1/2): 205-211.
- [17] Ciarlo E, Conti M, Bartoloni N, Rubio G. Soil N_2O emissions and $N_2O/(N_2O + N_2)$ ratio as affected by different fertilization practices and soil moisture. *Biology and Fertility of Soils*, 2008, 44(7): 991-995.
- [18] Zhang J F, Han X G. N_2O emission from the semi-arid ecosystem under mineral fertilizer(urea and superphosphate) and increased precipitation in northern China. *Atmospheric Environment*, 2008, 42(2): 291-302.
- [19] Dong Y, Scharffe D, Qi Y C, Peng G B. Nitrous oxide emissions from cultivated soils in the North China Plain. *Tellus B*, 2001, 53(1): 1-9.
- [20] Weitz A M, Linder E, Frolking S, Crill P M, Keller M. N_2O emission from humid tropical agricultural soils: effects of soil moisture, texture and nitrogen availability. *Soil Biology and Biochemistry*, 2001, 33(7/8): 1077-1093.
- [21] Müller C, Martin M, Stevens R J, Laughlin R J, Kammann C, Ottow J C G, Jäger H J. Processes leading to N_2O emission in grassland soil during freezing and thawing. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, 34(9): 1325-1331.
- [22] Groffman P M, Hardy J P, Driscoll C T, Fahey T J. Snow depth, soil freezing, and fluxes of carbon dioxide, nitrous oxide and methane in a northern hardwood forest. *Global Change Biology*, 2006, 12(9): 1748-1760.
- [23] Grandy A S, Robertson G P. Initial cultivation of a temperate-region soil immediately accelerates aggregate turnover and CO_2 and N_2O fluxes. *Global Change Biology*, 2006, 12(8): 1507-1520.
- [24] Sehy U, Ruster R, Munch J C. Nitrous oxide fluxes from maize field: relationship to yield, site-specific fertilization, and soil conditions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2003, 99(1/3): 97-111.

参考文献:

- [1] 梁东丽, 同延安, OveEmteryd, 李生秀, 方日尧, 张树兰. 壤土土壤剖面中 N_2O 浓度的时间和空间变异. *生态学报*, 2003, 23(4): 731-737.
- [3] 刘杏认, 董云社, 齐玉春. 土壤 N_2O 排放研究进展. *地理科学进展*, 2005, 24(6): 50-58.
- [4] 李虎, 王立刚, 邱建军. 农田土壤 N_2O 排放和减排措施的研究进展. *中国土壤与肥料*, 2007, (5): 1-5.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 7 April, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Seasonal variation of soil nitrogen pools and microbes under natural evergreen broadleaved forest and its artificial regeneration forests in Southern Sichuan Province, China	GONG Wei, HU Tingxing, WANG Jingyan, et al (1763)
Sensitivity analysis for main factors influencing <i>NPP</i> of forests simulated by IBIS in the eastern area of Northeast China	LIU Xi, GUO Qingxi, LIU Jingwei (1772)
Diurnal changes of photosynthetic characteristics of <i>Hippophae rhamnoides</i> and the relevant environment factors at different slope locations	JIN Tiantian, FU Bojie, LIU Guohua, et al (1783)
Interactive effects of nitrogen and sulfur on the reproduction, biomass accumulation and allocation of the clonal plant <i>Spartina alterniflora</i>	GAN Lin, ZHAO Hui, QING Hua, et al (1794)
Difference in leaf photosynthetic capacity between pima cotton (<i>Gossypium barbadense</i>) and upland cotton (<i>G. hirsutum</i>) and analysis of potential constraints	ZHANG Yali, YAO Hesheng, LUO Yi, et al (1803)
Effects of shades on the photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters of <i>Forsythia suspensa</i>	WANG Jianhua, REN Shifu, SHI Baosheng, et al (1811)
Growth and metal uptake of three woody species in lead/zinc and copper mine tailing	SHI Xiang, CHEN Yitai, WANG Shufeng, et al (1818)
GMP particles size distribution in grains of wheat in relation to application of nitrogen fertilizer	WANG Guangchang, WANG Zhenlin, CUI Zhiqing, et al (1827)
Damaging mechanisms of peanut (<i>Arachis hypogaea</i> L.) photosystems caused by high-temperature and drought under high irradiance	QIN Liqin, ZHANG Yueli, GUO Feng, et al (1835)
The effect of natural factors and disturbance intensity on spacial heterogeneity of plant diversity in alpine meadow	WEN Lu, DONG Shikui, ZHU Lei, et al (1844)
Modeling changes of net primary productivity of karst vegetation in southwestern China using the CASA model	DONG Dan, NI Jian (1855)
The characteristics of <i>Magnolia liliflora</i> transpiration and its impacting factors in Beijing City	WANG Hua, OUYANG Zhiyun, REN Yufen, et al (1867)
Ecological effects of balanced fertilization on red earth paddy soil with P-deficiency	CHEN Jianguo, ZHANG Yangzhu, ZENG Xibai, et al (1877)
Effects of planting patterns on water use efficiency in winter wheat	QI Lin, CHEN Yuhai, ZHOU Xunbo, et al (1888)
Nitrous oxide emissions from winter wheat field in the Loess Plateau	PANG Junzhu, WANG Xiaoke, MU Yujing, et al (1896)
Effects of hardening by pre-anthesis waterlogging on grain yield and quality of post-anthesis waterlogged wheat (<i>Triticum aestivum</i> L. cv Yangmai 9)	LI Chengyong, CAI Jian, JIANG Dong, et al (1904)
Effects of simulated acid rain with lower S/N ratio on gas exchange and membrane of three dominant species in subtropical forests	FENG Lili, YAO Fangfang, WANG Xihua, et al (1911)
Molluscicidal efficacy of <i>Nerium indicum</i> cardiac glycosides on <i>Pomacea canaliculata</i> and its effects on rice seedling	DAI Lingpeng, LUO Weihua, WANG Wanxian (1918)
Spatial gradients pattern of landscapes and their relations with environmental factors in Haihe River basin	ZHAO Zhixuan, ZHANG Biao, JIN Xin, et al (1925)
The assessment of forest ecosystem services evaluation for shrubbery-economic forest-bamboo forest in China	WANG Bing, WEI Jiangsheng, HU Wen (1936)
Evaluation on service value of ecosystem of Peri-urban transition zone lake; a case study of Yandong Lake in Wuhan City	WANG Fengzhen, ZHOU Zhixiang, ZHENG Zhongming (1946)
Explaining the abundance-distribution relationship of plant species with niche breadth and position in the Yellow River Delta	YUAN Xiu, MA Keming, WANG De (1955)
Forestland boundary dynamics based on an landscape accessibility analysis in Guangzhou, China	ZHU Yaojun, WANG Cheng, JIA Baoquan, et al (1962)
Changes in invasion characteristics of <i>Dendroctonus valens</i> after introduction into China	PAN Jie, WANG Tao, WEN Junbao, et al (1970)
Population genetic diversity in Tibet red deer (<i>Cervus elaphus wallichi</i>) revealed by mitochondrial <i>Cyt b</i> gene analysis	LIU Yanhua, ZHANG Minghai (1976)
Multi-scales analysis on diversity of desert rodent communities under different disturbances	YUAN Shuai, WU Xiaodong, FU Heping, et al (1982)
Cave-site selection of Qinling zokors with their prevention and control	LU Qingbin, ZHANG Yang, ZHOU Caiquan (1993)
The habitat characteristics of Eurasian badger in Beijing-Hangzhou Grand Canal embankment	YIN Baofa, LIU Yuqing, LIU Guoxing, et al (2002)
Review and Monograph	
Electron transfer mechanism of extracellular respiration: a review	MA Chen, ZHOU Shungui, ZHUANG Li, et al (2008)
The biochemical mechanism and application of anammox in the wastewater treatment process	WANG Hui, LIU Yanping, TAO Ying, et al (2019)
Discussion	
Evaluation of the forest ecosystem services in Haihe River Basin, China	BAI Yang, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (2029)
Scientific Note	
Effects of body size and salinity on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of <i>Macra chinensis</i> Philippi	ZHAO Wen, WANG Yaqian, WEI Jie, et al (2040)
Study on microzooplankton grazing in shrimp pond among middle and late shrimp culture period	ZHANG Litong, SUN Yao, ZHAO Congming, et al (2046)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1~9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 7 期 (2011 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 7 2011

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:100717	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