ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 19 期 Vol.32 No.19 2012

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 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 19 期　　2012 年 10 月　(半月刊)

目　　次

中国野生东北虎数量监测方法有效性评估 …… 张常智,张明海,姜广顺 (5943)
城市居民食物氮消费变化及其环境负荷——以厦门市为例…… 于　洋,崔胜辉,赵胜男,等 (5953)
珠江口水域夏季小型底栖生物群落结构…… 袁俏君,苗素英,李恒翔,等 (5962)
2010 年夏季雷州半岛海岸带浮游植物群落结构特征及其与主要环境因子的关系 ……
…… 龚玉艳,张才学,孙省利,等 (5972)
阿根廷滑柔鱼两个群体间耳石和角质颚的形态差异…… 方　舟,陈新军,陆化杰,等 (5986)
黄河三角洲滨海草甸与土壤因子的关系…… 谭向峰,杜　宁,葛秀丽,等 (5998)
盘锦湿地净初级生产力时空分布特征…… 王莉雯,卫亚星 (6006)
菜豆根瘤菌对土壤钾的活化作用…… 张　亮,黄建国,韩玉竹,等 (6016)
花生植株和土壤水浸液自毒作用研究及土壤中自毒物质检测…… 黄玉茜,韩立思,杨劲峰,等 (6023)
遮荫对金莲花光合特性和叶片解剖特征的影响…… 吕晋慧,王　玄,冯雁梦,等 (6033)
火干扰对小兴安岭草丛、灌丛沼泽温室气体短期排放的影响 …… 顾　韩,牟长城,张博文,等 (6044)
古尔班通古特沙漠南部植物多样性及群落分类…… 张　荣,刘　彤 (6056)
黄土高原樟子松和落叶松与其他树种枯落叶混合分解对土壤的影响 …… 李　茜,刘增文,米彩红 (6067)
长期集约种植对雷竹林土壤氨氧化古菌群落的影响…… 秦　华,刘卜榕,徐秋芳,等 (6076)
H_2O_2 参与 AM 真菌与烟草共生过程 …… 刘洪庆,车永梅,赵方贵,等 (6085)
北京山区防护林优势树种分布与环境的关系…… 邵方丽,余新晓,郑江坤,等 (6092)
旱直播条件下强弱化感潜力水稻根际微生物的群落结构…… 熊　君,林辉锋,李振方,等 (6100)
不同森林类型根系分布与土壤性质的关系…… 黄　林,王　峰,周立江,等 (6110)
臭氧胁迫下硅对大豆抗氧化系统、生物量及产量的影响 …… 战丽杰, 郭立月,宁堂原,等 (6120)
垃圾填埋场渗滤液灌溉对土壤理化特征和草本花卉生长的影响 …… 王树芹,赖　娟,赵秀兰 (6128)
稻麦轮作系统冬小麦农田耕作措施对氧化亚氮排放的影响…… 郑建初,张岳芳,陈留根,等 (6138)
不同施氮措施对旱作玉米地土壤酶活性及 CO_2 排放量的影响 …… 张俊丽,高明博,温晓霞,等 (6147)
北方农牧交错区农业生态系统生产力对气候波动的响应——以准格尔旗为例……
…… 孙特生,李　波,张新时 (6155)
辽宁省能源消费和碳排放与经济增长的关系…… 康文星,姚利辉,何介南,等 (6168)
基于 FARSITE 模型的丰林自然保护区潜在林火行为空间分布特征 …… 吴志伟,贺红士,梁　宇,等 (6176)
不同后作生境对玉米地天敌的冬季保育作用…… 田耀加,梁广文,曾　玲,等 (6187)
云南紫胶虫种群数量对地表蚂蚁多样性的影响…… 卢志兴,陈又清,李　巧,等 (6195)
阿波罗绢蝶种群数量和垂直分布变化及其对气候变暖的响应…… 于　非,王　晗,王绍坤,等 (6203)

专论与综述

海水养殖生态系统健康综合评价:方法与模式 …… 蒲新明,傅明珠,王宗灵,等 (6210)
海草场生态系统及其修复研究进展…… 潘金华,江　鑫,赛　珊,等 (6223)
水华蓝藻对鱼类的营养毒理学效应…… 董桂芳,解绶启,朱晓鸣,等 (6233)
环境胁迫对海草非结构性碳水化合物储存和转移的影响 …… 江志坚, 黄小平,张景平 (6242)
生态免疫学研究进展…… 徐德立,王德华 (6251)

研究简报

喀斯特峰丛洼地不同森林表层土壤有机质的空间变异及成因…… 宋　敏,彭晚霞,邹冬生,等 (6259)
准噶尔盆地东南缘梭梭种子雨特征…… 吕朝燕,张希明,刘国军,等 (6270)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 336 * zh * P * ￥70.00 * 1510 * 35 * 2012-10

封面图说:岸边的小白鹭——鹭科白鹭属共有 13 种,其中有大白鹭、中白鹭、白鹭(小白鹭)、黄嘴白鹭等,体羽皆是全白,世通称白鹭。夏季的白鹭成鸟繁殖时枕部着生两条狭长而软的矛状羽,状若双辫,肩和胸着生蓑羽,冬季时蓑羽常全部脱落,白鹭虹膜黄色,嘴黑色,脚部黑色,趾呈黄绿色。小白鹭常常栖息于稻田、沼泽、池塘水边,以及海岸浅滩的红树林里。白天觅食,好食小鱼、蛙、虾及昆虫等。繁殖期 3—7 月。繁殖时成群,常和其他鹭类在一起,雌雄均参加营巢,次年常到旧巢处重新修葺使用。

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

DOI: 10.5846/stxb201109011283

郑建初,张岳芳,陈留根,王子臣. 稻麦轮作系统冬小麦农田耕作措施对氧化亚氮排放的影响. 生态学报,2012,32(19):6138-6146.

Zheng J C, Zhang Y F, Chen L G, Wang Z C. Nitrous oxide emissions affected by tillage measures in winter wheat under a rice-wheat rotation system. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(19): 6138-6146.

稻麦轮作系统冬小麦农田耕作措施对氧化亚氮排放的影响

郑建初[1,*],张岳芳[1,2],陈留根[1,2],王子臣[1,2]

(1. 江苏省农业科学院循环农业研究中心,南京 210014;
2. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所,南京 210014)

摘要:2008—2011 年,采用静态箱-气相色谱法对长江下游稻麦轮作系统冬小麦农田 N_2O 排放进行了为期 3a 的田间原位观测,研究不同耕作措施(免耕、旋耕和翻耕)对冬小麦生长季 N_2O 排放的影响。结果表明:不同耕作措施下冬小麦农田 N_2O 排放高峰出现在施用基肥后的 1 个月内以及施用孕穗肥后的 4 月中旬至小麦成熟期,其余时间 N_2O 排放通量均较小。年度和耕作措施对冬小麦农田 N_2O 季节排放总量均有极显著影响($P<0.01$),不同处理 N_2O 季节排放总量表现为免耕>翻耕>旋耕,2008—2011 年 3 年平均分别为 2.50 kg/hm^2、2.05 kg/hm^2 和 1.66 kg/hm^2,免耕比翻耕增加 N_2O 排放 22.0%($P<0.05$),旋耕比翻耕减排 19.0%($P<0.05$)。冬小麦生长期内施用孕穗肥后 1 个月内 N_2O 排放通量与农田土壤充水孔隙率(WFPS)及 10 cm 地温呈显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)正相关,2009—2010 年施用基肥后 1 个月内 N_2O 排放通量与 WFPS 呈显著负相关($P<0.05$)。结果说明旋耕是减少长江下游稻麦轮作系统冬小麦农田 N_2O 排放的最佳耕作措施。

关键词:耕作;冬小麦;N_2O 排放;稻麦轮作

Nitrous oxide emissions affected by tillage measures in winter wheat under a rice-wheat rotation system

ZHENG Jianchu[1,*], ZHANG Yuefang[1,2], CHEN Liugen[1,2], WANG Zichen[1,2]

1 *Circular Agriculture Research Center, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing* 210014, *China*

2 *Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing* 210014, *China*

Abstract: It is well documented that nitrous oxide (N_2O) emissions from agricultural soils are the result of complex interactions between climatic parameters and the physical, chemical, and biological properties of soils. Adopting no tillage or reduced tillage may therefore potentially affect N_2O emissions from croplands through effects on soil properties; however, net effects are inconsistent and not well quantified globally. We used static chamber and gas chromatography techniques to examine the effects of different tillage measures (no tillage, rotary tillage, plow tillage) on N_2O emission fluxes during the winter wheat season over 3 years (2008—2011) under a rice-wheat rotation system, in the lower reaches of the Yangtze River. The characteristic seasonal variation in N_2O emissions during the winter wheat season under different tillage measures was defined as the peak in N_2O flux observed within one month of basic fertilizer application, and/or from mid-April to the maturity stage of wheat after booting fertilizer application. Total N_2O emissions were significantly influenced by year and tillage measures ($P<0.01$). Total N_2O emissions were: no tillage > plow tillage > rotary tillage, averaging 2.50, 2.05 and 1.66 kg/hm^2, respectively. Total N_2O emissions for no tillage were 22.0% higher than for plow tillage ($P<0.05$), and

基金项目:国家科技支撑计划资助项目(2012BAD14B12)

收稿日期:2011-09-01; **修订日期**:2012-01-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zjc@jaas.ac.cn

rotary tillage was 19.0% lower than plow tillage ($P<0.05$). Correlation analysis showed that the relationship between N_2O emission flux, soil water-filled pore space (WFPS), and soil temperature at 10 cm depth within a month of fertilization, varied with year and fertilization time. In 2009—2010, there was a significantly negative correlation between the N_2O emissions flux and *WFPS* within a month of basic fertilizer application ($P<0.05$). In 2008—2011, significantly positive correlations between the N_2O emissions flux and WFPS, and soil temperature at 10 cm depth within the month after booting fertilizer application were also found ($P<0.05$ or $P<0.01$). This illustrated that rotary tillage can effectively decrease total N_2O emissions during the winter wheat season in a rice-wheat rotation system; this is thus the best tillage measure to reduce the greenhouse effect in the lower reaches of the Yangtze River.

Key Words: tillage; winter wheat; N_2O emissions; rice-wheat rotation

氧化亚氮(N_2O)是与全球气候变化关系密切的痕量温室气体,其单位质量的全球增温潜势(GWP)在 100 a 时间尺度上为二氧化碳(CO_2)的 298 倍[1],对温室效应的贡献约为 6%[2], N_2O 还能参与许多重要的大气化学反应,被认为是本世纪最重要的消耗臭氧层物质之一[3]。目前大气中 N_2O 浓度比工业革命前增加约 18%并且以每年 0.26%的增长率上升[1],农业活动是大气 N_2O 的重要来源,约占全球人类活动释放 N_2O 的 84%[4]。农田 N_2O 主要来自土壤微生物的硝化和反硝化过程,气候条件、土壤特性、农业管理措施等因素均对土壤 N_2O 排放产生影响[5-8]。由于合理的农业管理措施被认为是短期内最易被大范围应用的 N_2O 减排技术,因此,目前关于农田 N_2O 排放的研究多集中于肥料施用[9-14]、水分管理[11,13]、秸秆还田[11,15-16]、种植制度[17-19]等方面,而有关土壤耕作方式对农田 N_2O 排放影响的报道相对较少[16,20-23]。

土壤少免耕克服了传统翻耕耗时费工、生产成本高、破坏生态环境等缺点,是一种保水保土、省工节本的保护性耕作方式,已在美国、加拿大等 70 多个国家得到推广应用[24]。但到目前为止,免耕或少耕是否对 N_2O 排放产生影响尚无明确的结论,其是否可以作为减少农田生态系统 N_2O 排放的措施还有待进一步研究。Ussiri 等[21]、黄光辉等[23]研究表明,免耕较少耕和翻耕会减少 N_2O 排放,Yao 等[16]、Grandy 等[22]均认为免耕较其他耕作措施增加 N_2O 排放,也有研究[20]显示不同耕作措施间 N_2O 排放无显著差异。为此,本文以长江下游典型稻麦轮作农田为对象,于 2008—2011 年冬小麦生长季研究了不同耕作措施对 N_2O 排放的影响,旨在为长江下游稻麦轮作农田土壤 N_2O 排放量的精确估算及合理减排耕作措施的选择提供依据。

1　材料与方法

1.1　研究区概况和试验设计

试验在江苏省常熟市辛庄镇(31°33′N,120°37′E)进行,该区位于阳澄湖低洼湖荡平原,海拔高度 1.4 m,属亚热带湿润性季风气候,常年平均气温为 15.5℃,降水量为 1042 mm,日照 2130 h,太阳辐射 4.94×10^5 J/cm^2,无霜期 242 d,主要实行水稻—冬小麦轮作制度。2008—2009、2009—2010、2010—2011 年试验期间冬小麦生长季的降水天数分别 61、77 和 44 d,降水量分别为 380.4、555.4 和 271.2 mm(图 1)。稻田土壤类型属乌栅土(粘粒 34%、粉粒 47%、砂粒 19%),试验前耕层土壤有机质含量 33.0 g/kg,全氮 1.9 g/kg,全磷 2.6 g/kg,速效氮 113.2 mg/kg,速效磷 7.1 mg/kg,速效钾 101.4 mg/kg,pH 值 6.3,土壤容重 1.2 g/cm^3。

试验设免耕(NT,水稻收获前套种小麦)、旋耕(RT,旋耕机旋地 1 遍,耕深 10—12 cm)和翻耕(PT,铧式犁翻地 1 遍后旋耕机旋地 1 遍,耕深 18—20 cm)3 种耕作处理,3 次重复,每小区面积为 60 m^2。供试小麦品种为扬麦 16 号,采用撒播方式播种,播种量为 150 kg/hm^2,免耕、旋耕和翻耕的播种期分别为每年的 11 月 14 日、11 月 16 日、11 月 16 日,收获期分别为次年的 6 月 1 日、6 月 3 日和 6 月 3 日。各处理的施肥时间、施肥量和施肥方法相同,氮肥(尿素,含 N 46.4%)、磷肥(过磷钙酸,含 P_2O_5 12%)和钾肥(氯化钾,含 K_2O 60%)用量每公顷分别为 N 210 kg、P_2O_5 90 kg、K_2O 90 kg,氮肥按基肥:拔节肥:孕穗肥=4:3:3 施用,磷肥一次性基施,钾肥作基肥和拔节肥施用,每次 50%,基肥的施用时间为每年 11 月 16 日、拔节肥和孕穗肥分别为次年的 3 月

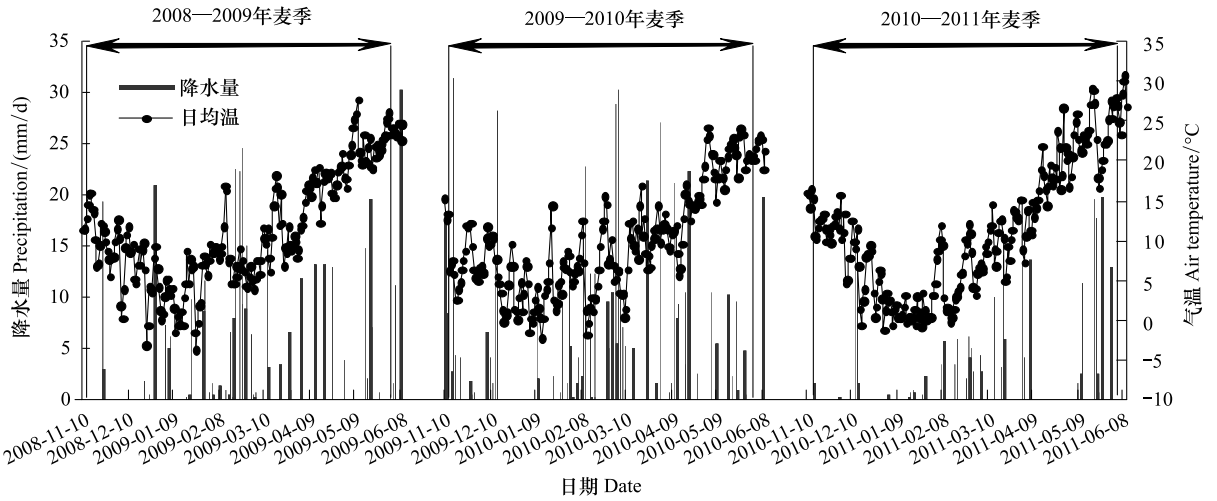


图 1 试验期逐日降水量和平均气温(2008—2011 年)

Fig. 1 Seasonal patterns in daily precipitation and mean air temperature during winter wheat season in 2008—2011

4 日和 4 月 5 日。前茬水稻季水分管理采用前期浅水、中期搁田、后期干湿交替的模式,小麦季无灌水,其他田间管理措施按照小麦高产栽培要求进行。

1.2 试验方法

试验采用静态箱法测定,静态箱底座横截面积为 0.25 m^2(0.5 m × 0.5 m),PVC 采样箱高度随小麦高度而增加(抽穗前 0.5 m、抽穗后 1.2 m),采样箱外部包有薄海绵和铝箔胶带,防止太阳照射导致箱内温度变化过大。每小区固定采样底座 3 个,底座上部有 5 cm 深的凹槽,测定时加水密封,采样箱内顶部装有 12V 小风扇以充分混匀箱内气体,并留有一孔插温度计,便于观测箱内温度变化,箱体中部安装抽气孔,采样时按 0、10、20 min 的时间间隔用 50 mL 注射器抽取箱内气体,来回抽动 3 次以完全混匀气体,抽出 50 mL 保存于气体采样袋(购自大连德霖气体包装有限公司)后迅速带回实验室分析。冬小麦生长季每周采气 1 次(每年春节假日除外),采样时间在 8:00—10:00,连续采集 3 次,每个小区设 3 个重复,每次采集气样时测定 10 cm 的土壤温度和耕层土壤含水量,并计算土壤充水孔隙率(WFPS)[25]。气体样品的测定仪器使用带有^{63}Ni 电子捕获检测器的 Agilent 7890A 气相色谱,柱温 60 ℃,检测温度为 300 ℃,载气为 99.999% 高纯氩甲烷气(95% 氩气+5% 甲烷),流速 40 mL/min。氧化亚氮排放通量采用下式计算:

$$F = 273/(273+T) \cdot dc/dt \cdot \rho \cdot h \quad (1)$$

式中,F 为氧化亚氮排放通量($\mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$),$T$ 为采样过程中采样箱内的平均温度(℃),dc/dt 为单位时间内采样箱内氧化亚氮的浓度变化率,ρ 为标准状态下氧化亚氮的密度(1.25 kg/m^3),h 是采样箱的净高度(m),273 为气态方程常数。

1.4 数据分析

所有试验数据处理和作图采用 Microsoft Excel for Windows 2007,统计分析均由 SPSS 15.0 统计软件完成,采用方差分析(ANOVA)检验年度、耕作措施及其交互作用对冬小麦生长季 N_2O 平均排放通量和季节排放总量的影响,Duncan 检验用于比较 N_2O 平均排放通量和季节排放总量在年度和耕作措施之间的显著性差异($P<0.05$),用线性回归评价 N_2O 排放通量与土壤含水量、土壤温度之间的关系。

2 结果与分析

2.1 不同耕作措施下冬小麦农田 N_2O 排放特征

2.1.1 耕作措施对冬小麦农田 N_2O 排放季节变化的影响

由图 2 可知,不同耕作措施下农田 N_2O 排放通量在同一冬小麦生长季具有较为相似的变化趋势,而不同年度各处理 N_2O 排放通量的季节变化不尽相同,其中,2008—2009 年冬小麦生长期间只在小麦施用基肥后 1

个月内出现一个较为明显的排放高峰,其余时间 N_2O 排放通量趋势不明显;2009—2010 年、2010—2011 年冬小麦生长季,较高的 N_2O 排放通量出现在小麦施用基肥后 1 个月内、施用孕穗肥后的 4 月中旬至小麦成熟期,其余时间 N_2O 排放的波动都很小;2008—2011 年 3a 冬小麦生长期间施用拔节肥之后的 1 个月内均未出现明显的 N_2O 排放高峰。此外,2008—2011 年不同耕作措施均观测到了微弱的 N_2O 吸收现象,其原因可能是大气扩散进入土壤的 N_2O 被氧化亚氮还原酶还原为 N_2 的量多于土壤自身的排放量。对处理间整个冬小麦生长季的 N_2O 排放通量进行平均,平均值均表现为免耕>翻耕>旋耕,2008—2009 年分别为 55.80、46.06 $\mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$ 和 38.00 $\mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$,2009—2010 年分别为 63.75、48.83 和 39.94 $\mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$,2010—2011 年分别为 36.38、33.12 和 25.60 $\mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$(表 1),从 2008—2011 年 3a 冬小麦生长季的 N_2O 排放通量平均值来看,旋耕处理的 N_2O 平均排放通量明显低于免耕和翻耕。

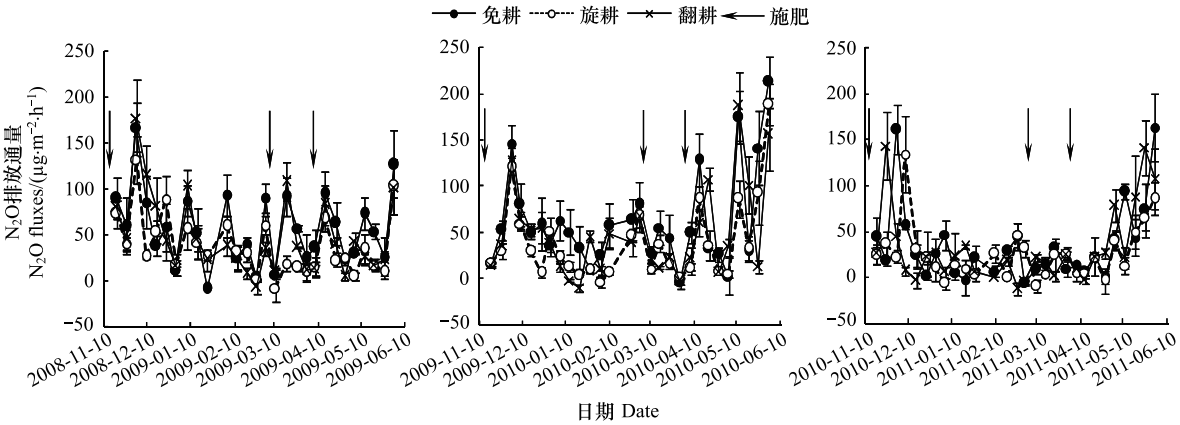


图 2　不同耕作措施下冬小麦农田 N_2O 排放通量的季节变化(2008—2011 年)

Fig. 2　The seasonal variation of N_2O fluxes in winter wheat under different tillage measures over three cropping seasons (2008—2011)

表 1　不同耕作措施下冬小麦农田 N_2O 排放量(2008—2011 年)

Table 1　N_2O emission fluxes during winter wheat season under different tillage measures in 2008—2011

年 Year	耕作措施 Tillage measures	平均排放通量 Mean N_2O fluxes/ ($\mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$)	季节排放总量 Total N_2O emissions/ (kg/hm^2)
2008—2009	免耕 NT	55.80±10.11	2.68±0.49
	旋耕 RT	38.00±2.63	1.82±0.13
	翻耕 PT	46.06±4.09	2.21±0.20
2009—2010	免耕 NT	63.75±13.67	3.06±0.66
	旋耕 RT	39.94±3.82	1.92±0.18
	翻耕 PT	48.83±6.77	2.34±0.33
2010—2011	免耕 NT	36.38±2.85	1.75±0.14
	旋耕 RT	25.60±1.73	1.23±0.08
	翻耕 PT	33.12±5.70	1.59±0.27
2008—2011 *	免耕 NT	51.98±14.08 a	2.50±0.68 a
	旋耕 RT	34.51±7.78 c	1.66±0.37 c
	翻耕 PT	42.67±8.38 b	2.05±0.40 b

* 2008—2011 年表示 3 季平均值,同一列数据后不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

2.1.2　耕作措施对冬小麦农田 N_2O 季节排放总量的影响

表 1 表明,年度间冬小麦农田 N_2O 季节排放总量的差异较大,2008—2009 年、2009—2010 年、2010—2011 年 N_2O 季节平均排放总量分别为 2.24、2.44 kg/hm^2 和 1.52 kg/hm^2,N_2O 排放量较多的 2008—2009 年和 2009—2010 年分别比 2010—2011 年增加 47.4% 和 60.5%;不同耕作措施处理间 N_2O 季节排放总量差异较大,2008—2011 年 3a 均表现为免耕>翻耕>旋耕,平均 N_2O 季节排放总量分别为 2.50、2.05 kg/hm^2 和 1.66

kg/hm^2(表 1);与翻耕相比,采用免耕后 2008—2011 年 3a 平均增加麦季 N_2O 排放 0.45 kg/hm^2,增排 22.0%,而旋耕比翻耕 3a 平均减少麦季 N_2O 排放 0.39 kg/hm^2,减排 19.0%。方差分析结果表明,不同年度、不同耕作措施处理间冬小麦农田 N_2O 季节排放总量均存在极显著差异($P<0.01$),耕作和年的互作效应对 N_2O 季节排放总量的影响未达显著水平($P>0.05$)。多重比较结果表明,2008—2009 年和 2009—2010 年年度间 N_2O 排放总量的无显著差异($P>0.05$),但均显著高于 2010—2011 年($P<0.05$),不同耕作措施 2008—2011 年 3a 平均 N_2O 季节排放总量的差异均达到了显著水平($P<0.05$)。说明与传统的翻耕措施相比,麦季采用免耕增加了冬小麦农田 N_2O 排放总量,而旋耕措施的应用则能起到减少 N_2O 排放的效果。

2.2 土壤水分、温度对冬小麦农田 N_2O 排放的影响

2.2.1 土壤水分对冬小麦农田 N_2O 排放的影响

2008—2011 年冬小麦生长期间的农田土壤充水孔隙率(WFPS)的年度间差异达到了极显著水平($P<0.01$),免耕、旋耕和翻耕处理的 WFPS 在同一冬小麦生长季的变化规律基本一致,耕作措施对 WFPS 存在显著影响($P<0.05$),各冬小麦生长季均表现为免耕>旋耕>翻耕(图 3)。2008—2009 年免耕、旋耕和翻耕措施的 WFPS 平均值分别为 79.32%、69.47% 和 66.43%,变化幅度分别为 49.65%—97.11%、42.03%—89.79% 和 40.60%—86.48%;2009—2010 年的 WFPS 平均值分别为 83.07%、76.94% 和 74.05%,变化幅度分别为 64.64%—92.71%、59.84%—89.09% 和 57.61%—84.64%;2010—2011 的 WFPS 平均值分别为 70.32%、61.87% 和 59.03%,变化幅度分别为 49.73%—83.32%、44.31%—73.95% 和 39.28%—71.94%。由于土壤水分与温度和施肥后土壤 N_2O 排放高峰的形成关系密切[21,26],因此本文分析了施用基肥、拔节肥及孕穗肥后 1 个月内 N_2O 排放通量与 WFPS 的关系,结果表明,施用基肥后 1 个月内 N_2O 排放通量与 WFPS 呈负相关关系,其中,2008—2009 年、2010—2011 年的相关系数未达显著水平($P>0.05$),2009—2010 年施用基肥后 1 个月内 N_2O 排放通量与 WFPS 呈显著线形相关($P<0.05$),回归方程为 $y=-3.569x+339.4$ ($R^2=0.271$, $n=15$),说明施用基肥后较低的 WFPS 有利于土壤 N_2O 排放。2008—2011 年 3a 施用拔节肥后 1 个月内 N_2O 排放通量与 WFPS 均无明显相关性($P>0.05$),表明 WFPS 对施用拔节肥后土壤 N_2O 排放的影响不大。2008—2009 年、2009—2010 年和 2010—2011 年施用孕穗肥后 1 个月内 N_2O 排放通量与 WFPS 均呈现显著线形相关性($P<0.05$),其回归方程分别为 $y=1.879x-80.44$ ($R^2=0.262$, $n=15$),$y=4.397x-310.2$ ($R^2=0.355$, $n=15$) 和 $y=1.349x-55.58$ ($R^2=0.308$, $n=15$),表明提高 WFPS 会促进施用孕穗肥后土壤 N_2O 的排放。

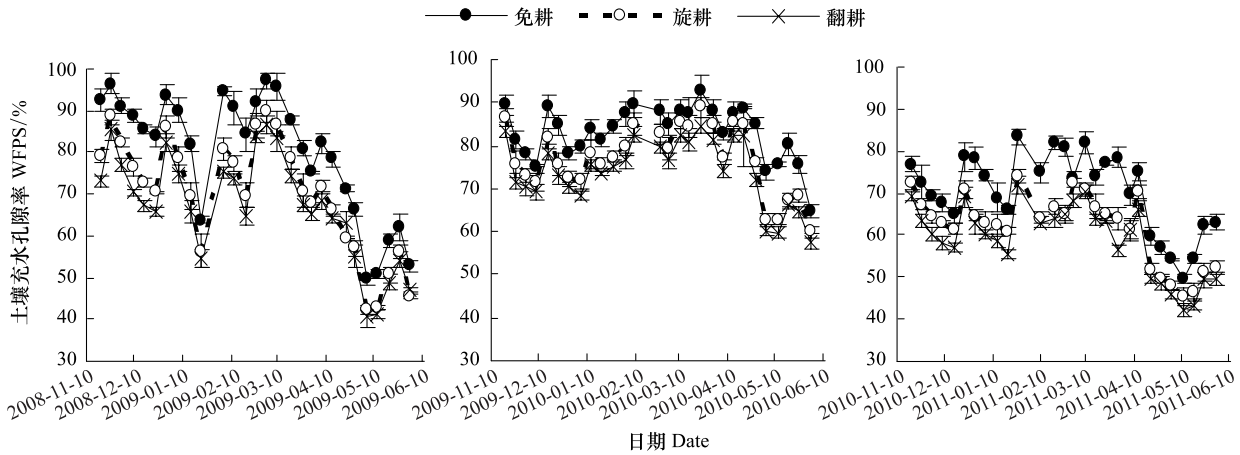


图 3 不同耕作措施下冬小麦农田土壤充水孔隙率的季节变化(2008—2011 年)

Fig. 3 The seasonal variation of water-filled pore space (WFPS) **in winter wheat under different tillage measures over three cropping seasons** (2008—2011)

2.2.2 土壤温度对冬小麦农田 N_2O 排放的影响

如图 4 所示,不同耕作措施下农田 10 cm 地温的季节变化具有相似的变化趋势,总体上呈先降低后升高

的趋势,2008—2011 年 3a 冬小麦生长季农田 10 cm 地温均表现为翻耕>旋耕>免耕,但处理间的差异均未达显著水平($P>0.05$)。对冬小麦生长季施用基肥、拔节肥及孕穗肥后 1 个月内土壤 N_2O 排放通量与 10 cm 地温进行相关性分析,结果表明,2008—2011 年 3a 施用基肥和拔节肥后 1 个月内土壤 N_2O 排放通量与 10 cm 地温呈正相关,但相关系数均未达显著水平($P>0.05$),说明土壤温度并不是影响这两次施肥后 N_2O 排放的主要因子。2008—2009 年、2009—2010 年和 2010—2011 年施用孕穗肥后 1 个月内 N_2O 排放通量与 10 cm 地温均呈线性正相关,其回归方程分别为 $y=9.152x-89.75$ ($R^2=0.301$, $P<0.05$, $n=15$), $y=5.142x-21.32$ ($R^2=0.259$, $P<0.05$, $n=15$) 和 $y=5.967x-68.9$ ($R^2=0.503$, $P<0.01$, $n=15$),表明 N_2O 排放通量有随温度的升高而增加的趋势,这与雒新萍等[8]、Smith 等[10]的结果相同。研究发现在适宜的温度范围内,增温有利于促进农田土壤硝化和反硝化细菌的活性以及增强土壤 N_2O 热扩散作用,表现为 N_2O 排放量一般随土壤温度的上升而增加[8,10,27]。

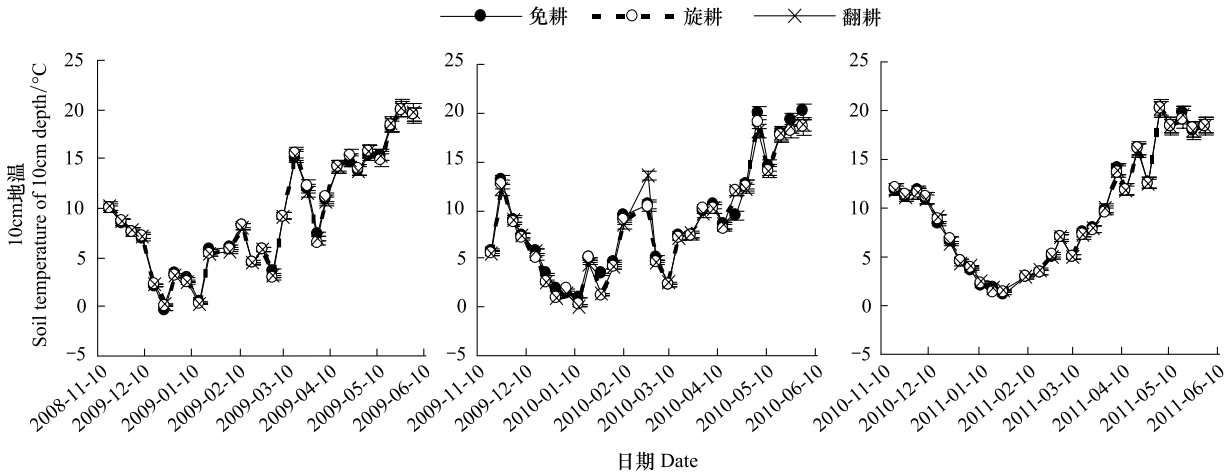


图 4　不同耕作措施下冬小麦农田 10 cm 地温的季节变化(2008—2011 年)

Fig. 4　The seasonal variation of soil temperature of 10 cm depth in winter wheat under different tillage measures over three cropping seasons (2008—2011)

3　讨论

从以往的研究[13-14,16,23,28],施肥和耕作均对土壤 N_2O 排放高峰的形成起促进作用,本试验中施用基肥后 1 个月内出现的 N_2O 排放高峰可能是小麦播前整地和施用基肥的结果,原因是耕作改变了土壤的结构和通透性,土壤硝化作用过程因土壤通气状况的改善而被促进,还有可能是当稻麦轮作系统由稻季转向麦季,土壤处于淹水到落干的转变过程中,淹水时土壤中积累的铵态氮为落干后进行硝化作用提供了丰富的基质。相比之下,4 月中旬至成熟期出现的 N_2O 排放高峰则主要是由于施用小麦孕穗肥的结果,但并不是每次施肥之后都会出现 N_2O 排放高峰,如本研究中 2008—2011 年 3a 施用小麦拔节肥之后的 1 个月内均未观测到明显的 N_2O 排放高峰,这可能与施肥后的降水有关。蔡祖聪等[27]认为,长江下游稻麦轮作系统冬小麦生长期间只有在施肥后伴随降雨或降雪后才会出现明显的峰值排放,郑循华等[29]、黄耀等[30]的研究显示,降水条件是影响该区域麦季 N_2O 排放季节性波动的重要因子。年度间冬小麦农田 N_2O 季节排放总量的差异较大($P<0.01$),N_2O 排放量较多的 2008—2009 年和 2009—2010 年分别比 2010—2011 年增加 47.4% 和 60.5%,2010—2011 年麦季 N_2O 排放总量低的原因可能与其降水天数和降水量较少有关。通常土壤空气的 N_2O 含量在 0—1000 μL/L 之间,因降雨而驱出 N_2O 浓度较高的土壤空气常导致 N_2O 的峰值排放[27],并且频繁的降水加大了土壤处于干湿交替的机率,使得土壤硝化作用和反硝化作用交替进行,进而促进了 N_2O 的产生。

稻麦轮作系统中麦季的 N_2O 排放量远高于稻季[13,17,29],但目前关于耕作措施对稻麦轮作系统冬小麦农田 N_2O 排放影响的报道较少。本研究结果表明,不同耕作措施(免耕、旋耕和翻耕)对冬小麦农田 N_2O 季节

排放总量存在极显著影响($P<0.01$),2008—2011 年 3a 冬小麦农田 N_2O 季节排放总量均表现为免耕>翻耕>旋耕,平均 N_2O 季节排放总量分别为 2.50、2.05 kg/hm^2 和 1.66 kg/hm^2,说明采用免耕措施较传统翻耕增加了麦季 N_2O 排放总量,这与 YAO 等[16]、Bhatia 等[28]研究结果一致,而将传统翻耕改为采用少耕方式之一的旋耕措施则可明显降低冬小麦农田 N_2O 季节排放总量。农田 N_2O 的最终排放是土壤 N_2O 产生与排放过程综合作用的结果,受气候条件和土壤理化性质(如土壤质地、水分、温度、有机碳含量、硝态氮含量及 pH 值等)的影响较大。本试验条件下,免耕土壤 N_2O 排放总量显著大于其他耕作措施的原因可能是由于免耕更有利于促进土壤 N_2O 的产生过程:首先,本试验所用土壤较为粘重(粘粒 34%、粉粒 47%、砂粒 19%),保水性较好但通透性差 O_2 含量低,加上采用免耕措施后土壤含水量明显高于翻耕和旋耕,更有利于土壤微生物的反硝化过程,进而促进 N_2O 的产生[31-32];其次,免耕后的土壤耕层紧实度明显高于翻耕和旋耕,而紧实土壤的反硝化作用较强,当 WFPS≥70%时,紧实土壤反硝化作用释放的 N_2O 明显高于其他土壤[26,31,33]。本文中旋耕土壤 N_2O 排放总量显著小于传统翻耕的原因可能是后者更有利于促进土壤 N_2O 的产生和排放过程:一是翻耕土壤的含水量低于旋耕,但较好的通透性增加了土壤中可利用的 O_2,在较低的土壤含水量条件下 O_2 促进微生物活动特别是硝化作用的进行[27];二是在粘重的土质下,翻耕后较高的土壤温度和良好的土壤通透性更有利于提高 N_2O 在土壤中的扩散速率,促进土壤中 N_2O 从产生部位向大气中的扩散[34]。土壤经过旋耕后耕层处于上松下紧的状态,这种状态究竟是怎样减少土壤 N_2O 排放的,其机制有待进一步深入研究。

4 结论

长江下游稻麦轮作系统冬小麦农田 N_2O 排放高峰出现在施用基肥后的一个月内以及施用孕穗肥后的 4 月中旬至小麦成熟期,其余时间 N_2O 排放通量均较小。土壤水分和温度与 N_2O 排放通量的相关关系因年度和施肥时期的不同而异。不同年度、不同耕作措施间冬小麦农田 N_2O 季节排放总量均存在极显著差异,表现为免耕>翻耕>旋耕,旋耕是减少长江下游稻麦轮作系统冬小麦农田 N_2O 排放的最佳耕作措施。

致谢:中国科学院南京土壤研究所徐华研究员、南京农业大学资源与环境科学学院郭世伟教授在本研究大田试验和气样分析过程中给予了帮助,特此致谢。

References:

[1] Intergovernmental Panel on Climate Change (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. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

[2] Lashof D A, Ahuja D R. Relative contributions of greenhouse gas emissions to global warming. Nature, 1990, 344(6266): 529-531.

[3] Ravishankara A R, Daniel J S, Portmann R W. Nitrous oxide (N_2O): the dominant ozone-depleting substance emitted in the 21st century. Science, 2009, 326(5949): 123-125.

[4] Smith P, Martino D, Cai Z C, Gwary D, Janzen H, Kumar P, McCarl B, Ogle S, O'Mara F, Rice C, Scholes B, Sirotenko O, Howden M, McAllister T, Pan G X, Romanenkov V, Schneider U, Towprayoon S, Wattenbach M, Smith J. Greenhouse gas mitigation in agriculture. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 2008, 363(1492): 789-813.

[5] Weier K L, Doran J W, Power J F, Walters D T. Denitrification and the dinitrogen/nitrous oxide ratio as affected by soil water, available carbon, and nitrate. Soil Science Society of America Journal, 1993, 57(1): 66-72.

[6] IFA/FAO. Global Estimates of Gaseous Emissions of NH_3, NO, and N_2O from Agricultural Land [R/OL]. 2001 [2011-8-2]. ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/globest.pdf.

[7] Smith P, Martino D, Cai Z C, Gwary D, Janzen H, Kumar P, McCarl B, Ogle S, O'Mara F, Rice C, Scholes B, Sirotenko O, Howden M, McAllister T, Pan G X, Romanenkov V, Schneider U, Towprayoon S. Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2007, 118(1/4): 6-28.

[8] Luo X P, Bai H Y, Lu L, Li X X, Zhang Q Y. The effect of temperature and moisture on N_2O flux kinetics from loessial soil. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(3): 1226-1233.

[9] Cai Z C, Xing G X, Yan X Y, Xu H, Tsuruta H, Yagi K, Minami K. Methane and nitrous oxide emissions from rice paddy fields as affected by nitrogen fertilisers and water management. Plant and Soil, 1997, 196(1): 7-14.

[10] Smith K A, Thomson P E, Clayton H, McTaggart I P, Conen F. Effects of temperature, water content and nitrogen fertilisation on emissions of

nitrous oxide by soils. Atmospheric Environment, 1998, 32(19): 3301-3309.

[11] Zou J W, Huang Y, Jiang J Y, Zheng X H, Sass R L. A 3-year field measurement of methane and nitrous oxide emissions from rice paddies in China: effects of water regime, crop residue, and fertilizer application. Global Biogeochemical Cycles, 2005, 19: GB2021.

[12] Zou J W, Huang Y, Zong L G, Zheng X H, Wang Y S. Effect of organic material incorporation in rice season on N_2O emissions from following winter wheat growing season. Chinese Journal of Environmental Science, 2006, 27(7): 1264-1268.

[13] Liu S W, Qin Y M, Zou J W, Liu Q H. Effects of water regime during rice-growing season on annual direct N_2O emission in a paddy rice-winter wheat rotation system in southeast China. Science of the Total Environment, 2010, 408(4): 906-913.

[14] Liang G Q, Zhou W, Xia W J, Wang X B, Sun J W, Li S L, Hu C, Chen Y F. Effect of optimized nitrogen application on N_2O emission from paddy field under wheat-rice rotation system. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(2): 304-211.

[15] Ma J, Ma E D, Xu H, Yagi K, Cai Z C. Wheat straw management affects CH_4 and N_2O emissions from rice fields. Soil Biology and Biochemistry, 2009, 41(5): 1022-1028.

[16] Yao Z S, Zheng X H, Xie B H, Mei B L, Wang R, Butterbach-Bahl K, Zhu J G, Yin R. Tillage and crop residue management significantly affects N-trace gas emissions during the non-rice season of a subtropical rice-wheat rotation. Soil Biology and Biochemistry, 2009, 41(10): 2131-2140.

[17] Xing G X, Zhao X, Xiong Z Q, Yan X Y, Xu H, Xie Y X, Shi S L. Nitrous oxide emission from paddy fields in China. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(1): 45-50.

[18] Yao Z S, Zheng X H, Zhou Z X, Xie B H, Mei B L, Gu J X, Wang D Y. Nitrous oxide emission from winter wheat and vegetable fields in the Taihu region: a comparison case study. Climatic and Environmental Research, 2006, 11(6): 691-701.

[19] Pang J Z, Wang X K, Mu Y J, Ouyang Z Y, Zhang H X, Lu F, Liu W Z. Nitrous oxide emissions from winter wheat field in the Loess Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(7): 1896-1903.

[20] Choudhary M A, Akramkhanov A, Saggar S. Nitrous oxide emissions from a New Zealand cropped soil: tillage effects, spatial and seasonal variability. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2002, 93(1/3): 33-43.

[21] Ussiri D A N, Lal R, Jarecki M K. Nitrous oxide and methane emissions from long-term tillage under a continuous corn cropping system in Ohio. Soil and Tillage Research, 2009, 104(2): 247-255.

[22] Grandy A S, Loecke T D, Parr S, Robertson G P. Long-term trends in nitrous oxide emissions, soil nitrogen, and crop yields of till and no-till cropping systems. Journal of Environmental Quality, 2006, 35(4): 1487-1495.

[23] Huang G H, Zhang M Y, Chen F, Zhang H L. Influences of tillage methods on N_2O emission from winter wheat field in North China Plain. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(2): 167-173.

[24] Gao W S. Development trends and basic principles of conservation tillage. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(12): 2702-2708.

[25] Franzluebbers A J. Microbial activity in response to water-filled pore space of variably eroded southern Piedmont soils. Applied Soil Ecology, 1999, 11(1): 91-101.

[26] Ruser R, Flessa H, Russow R, Schmidt G, Buegger F, Munch J C. Emission of N_2O, N_2 and CO_2 from soil fertilized with nitrate: effect of compaction, soil moisture and rewetting. Soil Biology and Biochemistry, 2006, 38(2): 263-274.

[27] Cai Z C, Xu H, Ma J. Methane and Nitrous Oxide Emissions from Rice-based Ecosystems. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2009.

[28] Bhatia A, Sasmal S, Jain N, Pathak H, Kumar R, Singh A. Mitigating nitrous oxide emission from soil under conventional and no-tillage in wheat using nitrification inhibitors. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2010, 136(3/4): 247-253.

[29] Zheng X H, Wang M X, Wang Y S, Sheng R X, Gong Y B, Zhang W, Luo D M, Jing J S, Li L T. N_2O emission from rice-wheat ecosystem in Southeast China. Chinese Journal of Applied Ecology, 1997, 8(5): 495-499.

[30] Huang Y, Jiang J Y, Zong L G, Zhou Q S, Sass R L, Fisher F M. Influence of planting density and precipitation on N_2O emission from a winter wheat field. Environmental Science, 2001, 22(6): 20-23.

[31] Ball B C, Crichton I, Horgan G W. Dynamics of upward and downward N_2O and CO_2 fluxes in ploughed or no-tilled soils in relation to water-filled pore space, compaction and crop presence. Soil and Tillage Research, 2008, 101(1/2): 20-30.

[32] Vinther F P. Measured and simulated denitrification activity in a cropped sandy and loamy soil. Biology and Fertility of Soils, 1992, 14(1): 43-48.

[33] Teepe R, Brumme R, Beese F, Ludwig B. Nitrous oxide emission and methane consumption following compaction of forest soils. Soil Science Society of America Journal, 2004, 68(2): 605-611.

[34] Elmi A A, Madramootoo C, Hamel C, Liu A. Denitrification and nitrous oxide to nitrous oxide plus dinitrogen ratios in the soil profile under three tillage systems. Biology and Fertility of Soils, 2003, 38(6): 340-348.

参考文献：

[8] 雒新萍, 白红英, 路莉, 李西祥, 张清雨. 黄绵土 N_2O 排放的温度效应及其动力学特征. 生态学报, 2009, 29(3): 1226-1233.

[12] 邹建文, 黄耀, 宗良纲, 郑循华, 王跃思. 稻田不同种类有机肥施用对后季麦田 N_2O 排放的影响. 环境科学, 2006, 27(7): 1264-1268.

[14] 梁国庆, 周卫, 夏文建, 王秀斌, 孙静文, 李双来, 胡诚, 陈云峰. 优化施氮下稻-麦轮作体系土壤 N_2O 排放研究. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(2): 304-211.

[18] 姚志生, 郑循华, 周再兴, 谢宝华, 梅宝玲, 顾江新, 王定勇. 太湖地区冬小麦田与蔬菜地 N_2O 排放对比观测研究. 气候与环境研究, 2006, 11(6): 691-701.

[19] 庞军柱, 王效科, 牟玉静, 欧阳志云, 张红星, 逯非, 刘文兆. 黄土高原冬小麦地 N_2O 排放. 生态学报, 2011, 31(7): 1896-1903.

[23] 黄光辉, 张明园, 陈阜, 张海林. 耕作措施对华北地区冬小麦田 N_2O 排放的影响. 农业工程学报, 2011, 27(2): 167-173.

[24] 高旺盛. 论保护性耕作技术的基本原理与发展趋势. 中国农业科学, 2007, 40(12): 2702-2708.

[27] 蔡祖聪, 徐华, 马静. 稻田生态系统 CH_4 和 N_2O 排放. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2009.

[29] 郑循华, 王明星, 王跃思, 沈壬兴, 龚晏邦, 张文, 骆冬梅, 金继生, 李老土. 华东稻麦轮作生态系统的 N_2O 排放研究. 应用生态学报, 1997, 8(5): 495-499.

[30] 黄耀, 蒋静艳, 宗良纲, 周权锁, Sass R L, Fisher F M. 种植密度和降水对冬小麦田 N_2O 排放的影响. 环境科学, 2001, 22(6): 20-23.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 19 October, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Assessment of monitoring methods for population abundance of Amur tiger in Northeast China ····· ZHANG Changzhi, ZHANG Minghai, JIANG Guangshun (5943)
Changes of residents nitrogen consumption and its environmental loading from food in Xiamen ····· YU Yang, CUI Shenghui, ZHAO Shengnan, et al (5953)
Analysis of the meiobenthic community in the Pearl River Estuary in summer ····· YUAN Qiaojun, MIAO Suying, LI Hengxiang, et al (5962)
Community characteristics of phytoplankton in the coastal area of Leizhou Peninsula and their relationships with primary environmental factors in the summer of 2010 ····· GONG Yuyan, ZHANG Caixue, SUN Xingli, et al (5972)
Morphological differences in statolith and beak between two spawning stocks for *Illex argentinus* ····· FANG Zhou, CHEN Xinjun, LU Huajie, et al (5986)
Relationships between coastal meadow distribution and soil characteristics in the Yellow River Delta ····· TAN Xiangfeng, DU Ning, GE Xiuli, et al (5998)
Variation analysis about net primary productivity of the wetland in Panjin region ····· WANG Liwen, WEI Yaxing (6006)
Mobilization of potassium from Soils by *rhizobium phaseoli* ····· ZHANG Liang, HUANG Jianguo, HAN Yuzhu, et al (6016)
Autotoxicity of aqueous extracts from plant, soil of peanut and identification of autotoxic substances in rhizospheric soil ····· HUANG Yuqian, HAN Lisi, YANG Jinfeng, et al (6023)
Effects of shading on the photosynthetic characteristics and anatomical structure of *Trollius chinensis* Bunge ····· LV Jinhui, WANG Xuan, FENG Yanmeng, et al (6033)
Short-term effects of fire disturbance on greanhouse gases emission from hassock and shrubs forested wetland in Lesser Xing'an Mountains, Northeast China ····· GU Han, MU Changcheng, ZHANG Bowen, et al (6044)
Plant species diversity and community classification in the southern Gurbantunggut Desert ····· ZHANG Rong, LIU Tong (6056)
Effects of mixing leaf litter from *Pinus sylvestris* var. *mongolica* and *Larix principis-rupprechtii* with that of other trees on soil properties in the Loess Plateau ····· LI Qian, LIU Zengwen, MI Caihong (6067)
Effects of long-term intensive management on soil ammonia oxidizing archaea community under *Phyllostachys praecox* stands ····· QIN Hua, LIU Borong, XU Qiufang, et al (6076)
Hydrogen peroxide participates symbiosis between AM fungi and tobacco plants ····· LIU Hongqing, CHE Yongmei, ZHAO Fanggui, et al (6085)
Relationships between dominant arbor species distribution and environmental factors of shelter forests in the Beijing mountain area ····· SHAO Fangli, YU Xinxiao, ZHENG Jiangkun, et al (6092)
Analysis of rhizosphere microbial community structure of weak and strong allelopathic rice varieties under dry paddy field ····· XIONG Jun, LIN Huifeng, LI Zhenfang, et al (6100)
Root distribution in the different forest types and their relationship to soil properties ····· HUANG Lin, WANG Feng, ZHOU Lijiang, et al (6110)
Effect of silicon application on antioxidant system, biomass and yield of soybean under ozone pollution ····· ZHAN Lijie, GUO Liyue, NING Tangyuan, et al (6120)
Effect of landfill leachate irrigation on soil physiochemical properties and the growth of two herbaceous flowers ····· WANG Shuqin, LAI Juan, ZHAO Xiulan (6128)
Nitrous oxide emissions affected by tillage measures in winter wheat under a rice-wheat rotation system ····· ZHENG Jianchu, ZHANG Yuefang, CHEN Liugen, et al (6138)
Effects of different fertilizers on soil enzyme activities and CO_2 emission in dry-land of maize ····· ZHANG Junli, GAO Mingbo, WEN Xiaoxia, et al (6147)
The response of agro-ecosystem productivity to climatic fluctuations in the farming-pastoral ecotone of northern China: a case study in Zhunger County ····· SUN Tesheng, LI Bo, ZHANG Xinshi (6155)
The relationship between energy consumption and carbon emissiont with economic growth in Liaoning Province ····· KANG Wenxing, YAO Lihui, HE Jienan, et al (6168)
Spatial distribution characteristics of potential fire behavior in Fenglin Nature Reserve based on FARSITE Model ····· WU Zhiwei, HE Hongshi, LIANG Yu, et al (6176)
Chill conservation of natural enemies in maize field with different post-crop habitats ····· TIAN Yaojia, LIANG Guangwen, ZENG Ling, et al (6187)
Effect of population of *Kerria yunnanensis* on diversity of ground-dwelling ant ····· LU Zhixing, CHEN Youqing, LI Qiao, et al (6195)
Response of *Parnassius apollo* population and vertical distribution to climate warming ····· YU Fei, WANG Han, WANG Shaokun, et al (6203)

Review and Monograph

Integrated assessment of marine aquaculture ecosystem health: framework and method ····· PU Xinming, FU Mingzhu, WANG Zongling, et al (6210)
Seagrass meadow ecosystem and its restoration: a review ····· PAN Jinhua, JIANG Xin, SAI Shan, et al (6223)
Nutri-toxicological effects of cyanobacteria on fish ····· DONG Guifang, XIE Shouqi, ZHU Xiaoming, et al (6233)
Effect of environmental stress on non-structural carbohydrates reserves and transfer in seagrasses ····· JIANG Zhijian, HUANG Xiaoping, ZHANG Jingping (6242)
Advances in ecological immunology ····· XU Deli, WANG Dehua (6251)

Scientific Note

The causes of spatial variability of surface soil organic matter in different forests in depressions between karst hills ····· SONG Min, PENG Wanxia, ZOU Dongsheng, et al (6259)
Characteristics of seed rain of *Haloxylon ammodendron* in southeastern edge of Junggar Basin ····· LÜ Chaoyan, ZHANG Ximing, LIU Guojun, et al (6270)

《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 19 期　(2012 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32　No. 19 (October, 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
主　　编	冯宗炜
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:1R00717
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
广告经营许可证	京海工商广字第 8013 号

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	FENG Zong-Wei
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 70.00 元