

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第15期 Vol.33 No.15 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 15 期 2013 年 8 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 红树林生态系统遥感监测研究进展..... 孙永光,赵冬至,郭文永,等 (4523)
- 基于能值分析方法的城市代谢过程研究——理论与方法 刘耕源,杨志峰,陈 彬 (4539)
- 关于生态文明建设与评价的理论思考 赵景柱 (4552)

个体与基础生态

- 长江口及邻近海域秋冬季小型底栖动物类群组成与分布..... 于婷婷,徐奎栋 (4556)
- 灌河口邻近海域春季浮游植物的生态分布及其营养盐限制..... 方 涛,贺心然,冯志华,等 (4567)
- 春季海南岛近岸海域尿素与浮游生物的脲酶活性..... 黄凯旋,张云,欧林坚,等 (4575)
- 模拟酸雨对蒙古栎幼苗生长和根系伤流量的影响..... 梁晓琴,刘 建,丁文娟,等 (4583)
- 有机酸类化感物质对甜瓜的化感效应..... 张志忠,孙志浩,陈文辉,等 (4591)
- 稻田土壤氧化态有机碳组分变化及其与甲烷排放的关联性..... 吴家梅,纪雄辉,霍莲杰,等 (4599)
- 双氰胺单次配施和连续配施的土壤氮素形态和蔬菜硝酸盐累积变化..... 王煌平,张 青,翁伯琦,等 (4608)
- 不同类型土壤中分枝杆菌噬菌体分离率的比较..... 徐凤宇,苏胜兵,马红霞,等 (4616)
- 模拟酸雨对小麦产量及籽粒蛋白质和淀粉含量及组分的影响 卞雅姣,黄 洁,孙其松,等 (4623)
- 麻花秦艽种子休眠机理及其破除方法 李兵兵,魏小红,徐 严 (4631)
- 4 种金色叶树木对 SO_2 胁迫的生理响应 种培芳,苏世平 (4639)
- 硫丹及其主要代谢产物对紫色土中酶活性的影响..... 熊佰炼,张进忠,代 娟,等 (4649)

种群、群落和生态系统

- 群落水平食物网能流季节演替特征..... 徐 军,周 琼,温周瑞,等 (4658)
- 千岛湖岛屿社鼠的种群数量动态特征..... 张 旭,鲍毅新,刘 军,等 (4665)
- 黄土丘陵沟壑区不同植被区土壤生态化学计量特征..... 朱秋莲,邢肖毅,张 宏,等 (4674)
- 青藏高原高寒草甸退化与人工恢复过程中植物群落的繁殖适应对策..... 李媛媛,董世魁,朱 磊,等 (4683)
- 杉木人工林土壤质量演变过程中土壤微生物群落结构变化..... 刘 丽,徐明恺,汪思龙,等 (4692)
- 不同玉米品种(系)对玉米蚜生长发育和种群增长的影响 赵 曼,郭线茹,李为争,等 (4707)
- 伏牛山自然保护区森林冠层结构对林下植被特征的影响..... 卢训令,丁圣彦,游 莉,等 (4715)
- 内蒙古武川县农田退耕还草对粪金龟子群落的影响 刘 伟,门丽娜,刘新民 (4724)
- 铜和营养缺失对海州香薷两个种群生长、耐性及矿质营养吸收的差异影响 柯文山,陈世俭,熊治廷,等 (4737)
- 新疆喀纳斯国家自然保护区植被叶面积指数观测与遥感估算..... 咎 梅,李登秋,居为民,等 (4744)

景观、区域和全球生态

基于 LUCC 的生态系统服务空间化研究——以张掖市甘州区为例 梁友嘉,徐中民,钟方雷,等 (4758)

人工管理和自然驱动下盐城海滨湿地互花米草沼泽演变及空间差异 张华兵,刘红玉,侯明行 (4767)

基于 PCA 的滇西北高原纳帕海湿地退化过程分析及其评价 尚 文,杨永兴,韩大勇 (4776)

基于遥感和地理信息系统的图们江地区生态安全评价..... 南 颖,吉 喆,冯恒栋,等 (4790)

呼中林区森林景观的历史变域模拟及评价..... 吴志丰,李月辉,布仁仓,等 (4799)

降水时间对内蒙古温带草原地上净初级生产力的影响..... 郭 群,胡中民,李轩然,等 (4808)

研究简报

我国中东部不同气候带成熟林凋落物生产和分解及其与环境因子的关系.....

..... 王健健,王永吉,来利明,等 (4818)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-08



封面图说: 石质山区的退耕还林——桂西北地区是我国喀斯特集中分布的地区之一,这里的石漠化不仅造成土地退化、土壤资源逐步消失、干旱缺水和土地生产力下降,而且还导致生态系统退化和植被消亡。桂西北严重的地质生态环境问题,威胁着当地居民的基本生存,严重制约了当地社会经济的发展。增加植被覆盖是防治石漠化的重要举措。随着国家退耕还林、生态移民等治理措施的实施,区域植被碳密度显著增加,生态环境有所好转。图为喀斯特地区农民见缝插针用来耕种的鸡窝地(指小、碎、分散的土地),已经退耕还林了。

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

DOI: 10.5846/stxb201205140709

吴家梅, 纪雄辉, 霍莲杰, 彭华, 刘勇. 稻田土壤氧化态有机碳组分变化及其与甲烷排放的关联性. 生态学报, 2013, 33(15): 4599-4607.

Wu J M, Ji X H, Huo L J, Peng H, Liu Y. Fraction changes of oxidation organic carbon in paddy soil and its correlation with CH_4 emission fluxes. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(15): 4599-4607.

稻田土壤氧化态有机碳组分变化及其与 甲烷排放的关联性

吴家梅^{1,2,3}, 纪雄辉^{2,3,*}, 霍莲杰^{1,3}, 彭 华^{2,3}, 刘 勇⁴

(1. 中南大学研究生院隆平分院, 长沙 410125; 2. 农业部长江中游平原农业环境重点实验室, 长沙 410125;

3. 湖南省土壤肥料研究所, 长沙 410125; 4. 湖南省植物保护研究所, 长沙 410125)

摘要: 稻田土壤有机碳是甲烷排放的关键底物之一, 不同研究者由于采取的有机碳研究方法不同而得出稻田甲烷排放与土壤有机碳关系的结论不一。为明确影响稻田甲烷排放的土壤有机碳组分, 设计了稻田施用不同外源有机碳(稻草还田、鸡粪和猪粪)的田间试验, 对稻田甲烷排放和土壤有机碳组分的动态变化及其关联性进行监测和分析。结果表明, 猪粪处理的甲烷排放与化肥处理无显著差异, 而鸡粪和稻草 2 个处理的甲烷排放分别比化肥增加 1.67 倍($P < 0.05$), 2.69 倍($P < 0.05$); 甲烷排放量与土壤易氧化有机碳含量显示相同顺序: 稻草 > 鸡粪 > 猪粪 > 化肥; 通径分析表明, 土壤易氧化有机碳组分 1 (被 33 mmol/L KMnO_4 氧化的有机碳)与甲烷排放直接相关, 其他有机碳组分仅通过组分 1 间接作用于水稻生育后期甲烷排放, 且排放量较低。由此推断, 易氧化有机碳组分 1 是甲烷排放的主要底物, 通过有效措施降低肥源中易氧化态有机碳组分 1 是减排甲烷的关键技术之一。

关键词: 甲烷排放; 土壤易氧化有机碳; 组分 1; 关联性

Fraction changes of oxidation organic carbon in paddy soil and its correlation with CH_4 emission fluxes

WU Jiamei^{1,2,3}, JI Xionghui^{2,3,*}, HUO Lianjie^{1,3}, PENG Hua^{2,3}, LIU Yong⁴

1 Branch of Longping, Graduate College, Central South University, Changsha 410125, China

2 Key Laboratory of Agri-Environment in Midstream of Yangtze Plain, Minister of Agriculture, Changsha 410125, China

3 Institute of Soil and Fertilizer in Hunan Province, Changsha 410125, China

4 Hunan Plant Protection Institute, Changsha 410125, China

Abstract: Application of organic manure increases methane emissions from rice paddy fields by increasing soil organic matter. Soil organic carbon is one of the key substrates that affect methane emission from paddy soils. Different methods of researching organic carbon have been used by different researchers which have led to different conclusions regarding correlations between organic carbon and methane emission from paddy soils. To define how methane emission is influenced by fractions of soil organic carbon, a paddy field experiment with application of different exogenous organic carbon (rice straw + chemical fertilizer, chicken manure + chemical fertilizer and pig manure + chemical fertilizer) was used to monitor and analyze methane emission, changes in organic carbon fractions and their correlation. A week after application of organic manure, rice straw + chemical fertilizer (RS) and chicken manure + chemical fertilizer (CM) showed emission peaks of 221.6 and 128.2 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, respectively. The methane emission was mainly concentrated before the heading stage. The

基金项目: 国家科技支撑计划(2013BAD11B02)

收稿日期: 2012-05-14; 修订日期: 2012-10-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jixionghui@sohu.com

amount of methane emitted in the growing season following the chemical fertilizer (CF) treatment was 296.0 kg/hm² and following the pig manure + chemical fertilizer (PM), CM, and RS treatments were 340.7, 493.6 and 794.8 kg/hm², respectively. There was no significant difference in methane emissions between the PM and CF treatments, while emissions from the CM and RS treatments were 1.67 times ($P < 0.05$) and 2.69 times ($P < 0.05$) higher than from the CF treatment, respectively. Amounts of methane emission and the content of oxidizable organic carbon in the paddy soil followed the same order: RS > CM > PM > CF and no fertilizers. The content of organic C fractions followed the order: fraction 1 (organic C oxidizable by 33 mmol/L KMnO₄) > fraction 2 (the difference in C oxidizable by 167 mmol/L and that by 33 mmol/L KMnO₄) > fraction 3 (the difference in C oxidizable by 333 mmol/L and that by 167 mmol/L KMnO₄). Fraction 1 was the highest proportion of the easily oxidizable organic carbon at 42.7%—65%; followed by fraction 2 at 23.3%—48.9%; and fraction 3 was the smallest at 2.7%—17.1%. Fractions 1 and 2 in the tilling stage were higher than in the other stages in rice growth, and were a minimum in the mature rice. Fraction 1 in the rice growing season showed the same trend with methane emission as the RS and CM treatments, being obviously higher than the CF and no fertilizer treatments. Results of path analysis showed that, for fraction 1, the direct path coefficient and correlation coefficient were extremely significant at 1.0381 and 0.6709, respectively, whereas the direct path coefficients of fraction 2 and fraction 3 had negative values. Among all the organic carbon fractions, fraction 1 was directly related to methane emission, while the other organic carbon fractions were only indirectly related to methane emission through fraction 1 during the later growth stages of rice, and the emission amounts were lower. Taken together, our results show that fraction 1 of the oxidizable organic carbon was the primary substrate of methane emission. Effective measures causing a decline in fraction 1 as a proportion of oxidation organic carbon in fertilizer resources and soil are possible key technologies for mitigating methane emissions from paddy fields.

Key Words: CH₄ emission; soil organic carbon; fraction 1; correlation

CH₄ 是最重要的温室气体之一,对全球变暖的贡献占 20%—39%^[1]。CH₄ 被认为是仅次于 CO₂ 的重要温室气体之一^[2]。稻田是大气 CH₄ 的重要排放源之一^[3-4],年排放量占全球 CH₄ 总排放的 5%—19%^[1]。中国稻田面积占世界水稻种植面积的 23%,稻田 CH₄ 排放在我国农业温室气体排放总量中占有重要的份额,其减排机制与措施的研究成为农田生态环境领域的热点。

关于土壤有机碳与 CH₄ 排放关系,由于采取的碳分类方法差异得出的结论不尽一致^[5-6]。由于土壤中的有机碳成分复杂且土壤间差异较大,尽管普遍认为土壤总有机碳是稻田产 CH₄ 的底物,但因土壤有机碳积累及稻田土壤条件差异,仍无法说明土壤有机碳与稻田甲烷排放的关联性。相比土壤总有机碳,许多研究者发现土壤中活性有机碳变化比较敏感,是微生物生长的速效基质,其含量的高低直接影响土壤微生物的活性,从而影响甲烷气体的排放。Wang 等认为产甲烷菌需要额外的速效碳源来激活^[7]。Yagi 等指出 CH₄ 排放量和易矿化碳呈明显的线性关系^[8]。Vermoesen 研究土壤水溶性有机碳的含量与 CH₄ 的产生量显著相关^[9]。而焦燕等研究表明,CH₄ 排放与土壤中的水溶性有机碳含量未表现明显相关性^[10]。

Logniniow 将土壤中的有机碳按氧化程度分成 3 个组分^[11],而能被 333mmol/L 高锰酸钾溶液氧化的有机质在种植作物时变化最大。Chan^[12]和 Blair^[13]研究采用高锰酸钾氧化法测定的有机碳组分可作为农业可持续发展的指标。本文拟通过监测稻田施用不同类型外源有机碳后土壤易氧化有机碳动态和甲烷排放规律,探讨土壤氧化态有机碳组分之间的变化及与甲烷排放的关联性,为稻田甲烷排放的有机肥管理技术提供基础支撑。

1.1 供试土壤

不同施肥处理定位试验于 2010 年在湖南省长沙县干杉乡大屋组进行(N 28°08'18",E 113°12'0"),该地区海拔 42 m,年平均温度为 17.1 °C,年降水量 1,500 mm,年≥10 °C 积温 5300—6500 °C,为南方典型的水稻

生产区。土壤类型为第四纪红壤发育的红黄泥水稻土,化学性状:土壤 pH 值 6.0,有机碳 19.3 g/kg、全氮 2.04 g/kg、全磷 0.85 g/kg、全钾 9.2 g/kg、碱解氮 212 mg/kg、Olsen-P 11.1 mg/kg、交换性钾 97 mg/kg。

1.2 试验设计

试验于 2010 年开始,共设置 5 个处理:1)无肥(CK);2)化肥氮磷钾(CF);3)猪粪+化肥氮磷钾(PM);4)鸡粪+化肥氮磷钾(CM);5)稻草+化肥氮磷钾(RS)。每个处理 3 个重复,采用单因素随机区组设计。各个小区长 3.0 m,宽 2.8 m,每个小区田埂和区组之间的排灌水沟田埂均用塑料膜包裹隔开。插秧前期田间保持淹水状态。氮肥为尿素,磷肥为过磷酸钙,钾肥为氯化钾,有机肥为风干腐熟肥料,不同有机肥处理所施入土壤 C 保持一致,均为 2850 kg/hm²,同时利用尿素调控施入的氮量(有机氮+无机氮)一致。稻草施用前剪成 20 cm 小段,撒入田间与 15 cm 土层混匀。具体的有机肥的性质和不同处理的肥料施用量见表 1 和表 2。水分管理和病虫草害防治与当地大面积生产相一致。

水稻品种为准两优 608,2011 年 6 月 1 日播种,17 日施有机肥,22 日施化肥,23 日移栽。水稻的返青期、分蘖期水稻保持淹水状态,田面水约在 1—5 cm 左右。7 月 19 日水稻进入分蘖盛期开始排水,持续到 8 月 25 日。8 月 26 日开始灌水,从 8 月 26 日到 9 月 25 日水稻土壤保持干湿交替状态,10 月 30 日排干水,持续到水稻成熟,10 月 9 日收获。

表 1 有机肥的营养含量及施用量

Table 1 The nutrient content in organic manure and its application amount					
有机肥的类型 Organic fertilizer types	有机碳 Organic carbon /(g/kg)	全氮 N /(g/kg)	全磷 P ₂ O ₅ /(g/kg)	全钾 K ₂ O /(g/kg)	施入量 Application amount /(kg/hm ²)
猪粪 Pig manure	170.5	18.0	28.2	13.7	16718
鸡粪 Chicken manure	266.5	27.1	34.1	33.2	10694
稻草 Rice straw	382.0	8.7	2.5	17.8	7461

表 2 不同处理的有机肥、化肥养分施入量

Table 2 The nutrients of chemical fertilizers and organic manure application amount in each treatments												
处理 Treatments	简称 Abbrev.	养分总量/(kg/hm ²) Nutrients				化肥养分量/(kg/hm ²) Chemical nutrients			有机肥养分量/(kg/hm ²) Organic nutrients			
		C	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	C	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
不施肥 No fertilizer	NF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
化肥 Chemical fertilizer	CF	0	270	135	180	270	135	180	0	0	0	0
猪粪+化肥 Pig manure+ chemical fertilizer	PM	2 850	270	330	229	60	0	0	2 850	210	330	229
鸡粪+化肥 Chicken manure+ chemical fertilizer	CM	2 850	270	255	356	67	0	0	2 850	203	255	356
稻草+化肥 Rice straw+ chemical fertilizer	RS	2 850	270	135	180	225	122	47	2 850	45	13	133

1.3 测定项目

1.3.1 气体采集与分析

CH₄ 的采样时间于 2011 年 6 月 21 日至 10 月 8 日间,每周采样 1 次。采用密闭静态箱测定,每次采样时间固定在 9:00—10:00,采样时间分别为罩箱后的 0、10、20、30 min,每次抽取 45 mL 气体样品。气体样品采用 Agilent 7890A 气相色谱仪分析,检测器 FID,检测温度 250 ℃,柱温 50 ℃,标准气体由国家标准物质中心提供。稻田 CH₄ 排放通量的计算见 Zheng 的方法^[14]。

1.3.2 土壤采集与分析

土壤的采集时间为 2011 年 6 月 21 日至 10 月 8 日,分别在苗期、分蘖期、拔节期、孕穗期、灌浆期、乳熟期

和成熟期采样,土壤鲜样装入低温贮藏箱并迅速运回实验室,直接用新鲜土壤进行分析。采用 33 mmol/L、167 mmol/L 和 333 mmol/L 高锰酸钾浸提测定土壤易氧化有机碳^[11]。

- 组分 1:33 mmol/L 高锰酸钾浸提测定土壤活性有机碳;
- 组分 2:167 mmol/L 与 33 mmol/L 高锰酸钾浸提土壤活性有机碳之差;
- 组分 3:333 mmol/L 与 167 mmol/L 高锰酸钾浸提土壤活性有机碳之差。

1.4 统计分析

最后的数据采用 3 次结果的平均值±标准偏差,数据统计分析利用 SPSS 17.0,按照随机区组设计,比较不同处理间的差异显著性,L. S. D 多重比较进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理稻田甲烷排放的变化

2.1.1 稻田甲烷排放通量动态变化

由不同施肥处理稻田 CH₄ 排放通量季节变化(图 1)可见,不同处理稻田甲烷主要排放在施有机肥到 8 月 5 日(拔节期),之后的排放逐渐减少,一直持续到水稻成熟。施用稻草和鸡粪处理的甲烷排放通量显著高于其他处理,猪粪、化肥和无肥处理排放较低,且没有显著排放差异。稻草和鸡粪处理的甲烷排放模式一致,而猪粪处理与无肥和化肥处理排放模式保持一致。在施用有机肥后,稻草和鸡粪处理分别达到处理的最高峰,排放通量的峰值最大是稻草处理,达到 221.6 mg·m⁻²·h⁻¹,其次是施用鸡粪处理,为 128.2 mg·m⁻²·h⁻¹,猪粪、化肥和无肥处理的前期排放波动不大,主要在 1.5—30.4 mg·m⁻²·h⁻¹ 之间。所有的甲烷排放均集中在施肥到分蘖期,占了全部排放总量的 59.4%—80.7%。

2.1.2 不同时期的甲烷排放量

表 3 可见,不同施肥处理的一季稻田甲烷排放总量在 257.7—794.9 kg/hm²,排放总量的顺序为稻草>鸡粪>猪粪>化肥>无肥。猪粪稻草、鸡粪和猪粪处理分别是化肥处理的 1.2 倍、1.7 倍($P<0.05$)和 2.7($P<0.05$)倍。

水稻不同时期的甲烷排放量可见(表 3),水稻的主要排放时期在苗期、分蘖期、拔节期和抽穗期,占总排放量的 91.1%—96.6%,之后的时期排放大大的减少。不同时期均表现为稻草处理排放量>鸡粪处理>猪粪处理>无肥和化肥处理,化肥和无肥处理排放差别不大。其中无肥、化肥和猪粪处理在甲烷排放量在分蘖期最高,而鸡粪和稻草处理排放峰值提前,在苗期最高。

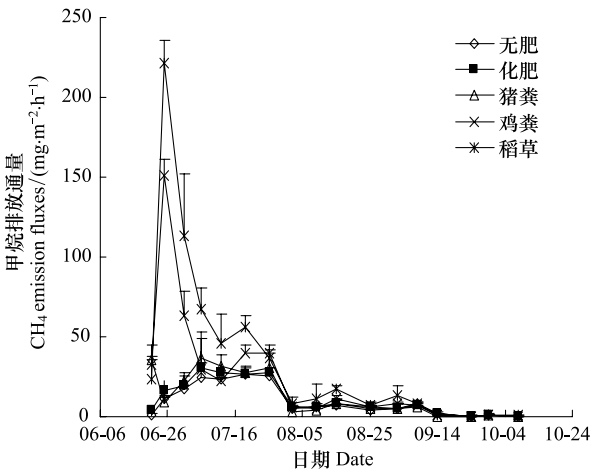


图 1 不同施肥处理稻田 CH₄ 排放通量季节变化
Fig.1 The seasonal variation of CH₄ emissions from rice

表 3 水稻不同时期的甲烷排放量
Table 3 The CH₄ emission fluxes in different rice stage

处理 Treatments	甲烷排放量 CH ₄ emission fluxes/(kg/mm ²)							
	苗期 Seedling	分蘖期 Tillering	拔节期 Jointing	抽穗期 Heading	灌浆期 Filling	乳熟期 Milk ripe	成熟期 Maturity	全生育期 Whole growth season
NF	33.0c	119.7a	48.5b	39.8c	11.7b	3.1ab	1.9a	257.7c
CF	43.7c	135.1a	40.6ab	50.2c	13.2b	3.9a	9.2a	296.0c
PM	81.8c	152.3a	52.8ab	39.3c	10.0b	0.9c	3.5a	340.7bc
CM	227.3b	135.8a	67.0a	42.4bc	16.0b	1.5bc	3.6a	493.6b
RS	440.0a	175.1a	70.8a	81.7a	23.3a	2.2 abc	1.7a	794.8a

表中小写字母代表处理间 Duncan 多重比较 $P<0.05$ 显著水平

2.2 土壤易氧化态有机碳与排放的关系变化

2.2.1 土壤易氧化态有机碳

(1) 不同时期土壤易氧化态有机碳变化动态

表 4 为不同组分土壤易氧化有机碳在整个稻季的变化情况。易氧化有机碳组分 1 含量在 1.7—3.6 g/kg 之间;在苗期含量低,在分蘖期达到最高值后含量随之下降,灌浆期略有提高,成熟期降到整个生育期的最小值。

易氧化有机碳组分 2 含量在灌浆期达到最高值,含量随之下降,施用有机肥处理的组分 2 含量在乳熟期略有提高,成熟期降到整个生育期的最小值。易氧化有机碳组分 3 的波动较大,从苗期呈“W”形波动减少。

(2) 土壤易氧化态有机碳组分比例

水稻不同生育期所有处理的土壤易氧化态碳组分含量均表现为组分 1>组分 2>组分 3。组分 1 占易氧化态有机碳的比例最高,为 42.7%—65.0%;其次为组分 2,23.3%—48.9%;组分 3 占的比例最小,2.7%—17.1%。

表 4 2011 年水稻不同时期的土壤易氧化有机碳(g/kg)

Table 4 The soil oxidizable organic in different rice stage in 2010 year

处理 Treatments	甲烷排放量 CH ₄ emission fluxes/(kg/mm ²)							
	苗期 Seedling	分蘖期 Tillering	拔节期 Jointing	抽穗期 Heading	灌浆期 Filling	乳熟期 Milk ripe	成熟期 Maturity	全生育期 Whole growth season
组分 1 Fraction 1	NF	2.5c	2.7c	2.4c	2.3c	2.5b	2.1c	1.7c
	CF	2.5c	2.8c	2.5bc	2.4bc	2.6b	2.2bc	1.9b
	PM	2.8b	3.2b	2.8a	2.2bc	2.8a	2.4abc	2.2a
	CM	3.1a	3.3ab	2.7ab	2.4abc	2.8a	2.4ab	2.2a
	RS	3.2a	3.6a	2.8a	2.8a	2.8a	2.5a	2.2a
组分 2 Fraction 2	NF	2.3a	2.6c	2.4b	2.3b	2.2a	1.8b	0.6b
	CF	2.3a	2.7bc	2.4b	2.3ab	2.2a	1.9b	0.7b
	PM	2.3a	3.2a	3.0a	2.4ab	2.2a	2.2ab	1.5a
	CM	2.3a	3.2ab	3.1a	2.6a	2.3a	2.4a	1.7a
	RS	2.4a	3.3a	3.1a	2.6a	2.4a	2.6a	1.6a
组分 3 Fraction 3	NF	0.7a	0.4c	0.5a	0.3a	0.5b	0.2b	0.3a
	CF	0.8a	0.5c	0.4a	0.1a	0.6b	0.1b	0.4a
	PM	1.0a	0.6bc	0.3a	0.2a	1.0a	0.2ab	0.6a
	CM	1.0a	0.8ab	0.5a	0.2a	0.7ab	0.4a	0.6a
	RS	1.0a	0.9a	0.6a	0.3a	0.8ab	0.3a	0.7a

(3) 不同处理间土壤易氧化态有机碳组分的关系

不同处理间易氧化有机碳组分 1 可以看出,在水稻的不同生育期的各个处理间的易氧化有机碳均为稻草处理高于鸡粪高于猪粪、化肥和无肥处理。不同生育期的稻草、鸡粪处理显著高于无肥和化肥处理。

不同处理间易氧化有机碳组分 2 的不同生育期也为稻草处理高于鸡粪高于猪粪、化肥和无肥处理,在苗期各处理无显著性差异,分蘖期和拔节期为有机肥处理显著高于无肥处理,抽穗期是稻草和鸡粪处理高于无肥处理。

不同处理间易氧化有机碳组分 3 含量为稻草处理高于鸡粪高于猪粪、化肥和无肥处理。在苗期、拔节期、抽穗期、成熟期不同处理间无显著性差异,其他处理为稻草和鸡粪处理显著高于无肥和化肥处理。

(4) 易氧化有机碳组分间的关联

通过相关性分析表明(表 5),分蘖期、拔节期、乳熟期和成熟期的可氧化有机碳组分 2 的含量与组分 1 的各个时期均呈显著的相关性。苗期组分 2 与组分 1 和组分 3 的各个时期无相关性。

拔节期的组分 2 与拔节期、抽穗期、灌浆期、乳熟期及成熟期的组分 1 均呈极显著的相关性。抽穗期的组分 2 与抽穗期、乳熟期的组分 1 呈极显著相关性。苗期的组分 3 与灌浆期的组分 2 呈极显著相关性。分蘖期的组分 3 与分蘖期、拔节期、乳熟期和成熟期的组分 2 呈显著相关性。拔节期的组分 3 与拔节期、灌浆期的组分 2 呈显著相关性。

表 5 水稻不同时期的土壤易氧化有机碳之间的相互关系

		组分 2 Fraction 2						
		苗期 Seedling	分蘖期 Tillering	拔节期 Jointing	抽穗期 Heading	灌浆期 Filling	乳熟期 Milk ripe	成熟期 Maturity
组分 1	苗期 Seedling	0.342	0.725 **	0.736 **	0.548 *	0.414	0.811 **	0.853 **
Fraction 1	分蘖期 Tillering	0.415	0.864 **	0.798 **	0.597 *	0.387	0.860 **	0.772 **
	拔节期 Jointing	0.140	0.848 **	0.817 **	0.537 *	0.535 *	0.524 *	0.766 **
	抽穗期 Heading	0.199	0.637 *	0.542 *	0.865 **	0.078	0.645 **	0.747 **
	灌浆期 Filling	0.355	0.733 **	0.611 *	0.432	0.355	0.722 **	0.753 **
	乳熟期 Milk ripe	0.213	0.868 **	0.738 **	0.644 **	0.072	0.752 **	0.657 **
	成熟期 Maturity	0.142	0.738 **	0.688 **	0.509	0.256	0.595 *	0.879 **
组分 3	苗期 Seedling	0.454	0.317	0.361	-0.114	0.661 **	0.235	0.470
Fraction 3	分蘖期 Tillering	0.215	0.717 **	0.848 **	0.389	0.504	0.684 **	0.571 *
	拔节期 Jointing	-0.089	0.368	0.526 *	0.311	0.535 *	0.158	0.087
	抽穗期 Heading	-0.190	0.046	0.094	0.206	0.158	-0.223	0.152
	灌浆期 Filling	0.376	0.714 **	0.505	0.205	0.232	0.507	0.385
	乳熟期 Milk ripe	-0.243	0.282	0.459	0.341	-0.115	0.609 *	0.543 *
	成熟期 Maturity	0.079	0.360	0.368	0.272	0.252	0.208	0.696 **

* 代表 $P<0.05$ 的显著水平, ** 代表 $P<0.01$ 的极显著水平极显著水平

2.2.2 土壤易氧化有机碳与排放的关系

对不同有机碳组分与排放量进行途径分析。通过分析得到模型:

$$y = -393.6 + 237.7 x_1 - 63.0 x_2 - 21.6 x_3$$

式中, y 为甲烷排放量, x_1 为组分 1 含量, x_2 为组分 2 含量, x_3 为组分 3 含量, $F=21.43$, $P<0.0001$, 达到极显著水平。

y 对 x_1 、 x_2 和 x_3 途径系数分析表明(表 6), 不同组分易氧化有机碳对甲烷排放量的作用依次为组分 1>组分 3>组分 2。组分 1 与排放量的相关系数最大, 直接途径系数也最大, 均达到极显著水平, 组分 1 通过其他组分的间接效应较小, 这说明组分 1 对甲烷排放的作用主要来自本身。

组分 2 与排放的相关系数和直接途径系数均达到到极显著水平, 其他组分通过组分 2 的间接途径系数为负值, 说明其他组分通过组分 2 的间接作用都不大, 组分 2 对甲烷的影响为负作用。

组分 3 与排放通量的相关系数在组分 1 和 2 之间, 对甲烷的直接通经系数为负值也达到了显著水平, 其他组分通过组分 3 对甲烷排放作用中的间接同进系数均为负值, 说明其他组分通过组分 3 的间接作用都不大。

表 6 土壤易氧化有机碳与排放总量的途径分析

作用因子 Factor	组分 1 Fraction 1	组分 2 Fraction 2	组分 3 Fraction 3	排放 emission fluxes
组分 1 Fraction 1	<u>1.03814 **</u>	-0.32922	-0.03804	0.67088 **
组分 2 Fraction 2	0.80921	<u>-0.42236 **</u>	-0.01518	0.37166 **
组分 3 Fraction 3	0.55328	-0.08982	<u>-0.07137</u>	0.39208 **

下划线“_”的数据为直接途径系数, 其余为间接途径系数

3 讨论

3.1 稻田甲烷排放量

水稻的不同时期有不同的排放量,一般水稻的排放高峰在生育前期,水稻甲烷的季节排放在抽穗期或灌浆期后排放开始降低^[15],我们的研究结果也表明,水稻生育前期甲烷排放量高,施肥到分蘖期结束后占整个排放的 80% 左右。

一般的研究结果认为,水稻在分蘖期的甲烷排放量最高^[16],因为此时期气温较高,植物体通气组织已比较发达,传输 CH_4 的净效应(CH_4 传输率减去 CH_4 氧化率)比较大^[17-18]。研究结果显示无肥、化肥和猪粪处理的排放量在分蘖期最高,苗期次之,而鸡粪和稻草的排放量在苗期的排放量最高,苗期次之。主要的原因可能是与施入有机肥的易分解程度及可被微生物利用的碳等有关。虽然试验所用的有机肥保持相同的施碳量,但是猪粪、鸡粪和稻草中的能被 33 mmol/L 高锰酸钾氧化的易氧化有机碳的含量分别为 11.9、19.3 和 36.2 g/kg,导致有机肥施入稻田后,就直接进入土壤水中^[19],能马上为被微生物利用,引起甲烷的大量排放,而猪粪处理虽然引起的甲烷的排放,但是水稻在不施肥的情况下分蘖期本身引起的排放较高,达到 119.7 kg/hm²,超过了由此肥料引起的排放,致使猪粪处理在分蘖期排放量最大。

许多研究证实了外源有机碳显著提高甲烷菌活性、激发土壤有机质产生甲烷、促进稻田甲烷排放^[8,10,20-22]。尤其是稻草直接还田,与不施用稻草相比,Ma 等表明不同方式的稻草还田增加甲烷排放 3.9—10.5 倍^[23-24]。去年的结果证实稻草还田增加甲烷排放 4.26 倍^[25]。田间观测结果也表明,施用有机肥尤其是稻田还田处理,显著提高了稻田甲烷排放,稻草、鸡粪和猪粪处理的 CH_4 总排放量是分别是化肥处理的 1.2、1.7 和 2.7 倍。

产生甲烷的基质主要来源于土壤中的有机物质、外源有机物质(人为施入和动植物残体)。增加外源碳输入是提高土壤有机碳的唯一手段,但是不同外源碳对土壤有机碳总量和类型的影响是有差异的,引起的碳排放也是不同的。那么必然存在某一部分有机碳与甲烷排放有相关性。这些有机物质首先在微生物的作用下分解成形态相对简单的有机物如糖类、有机酸等,然后进一步转化成产甲烷前体。本研究所用的稻草、鸡粪和猪粪等外源有机碳所含的纤维素和半纤维素含量均为:稻草>鸡粪>猪粪。在土壤中纤维素和半纤维素是属于还原能力较强的有机物质,淹水环境下其水解发酵和产甲烷过程中起着十分重要的作用^[26]。

3.2 甲烷排放量与有机碳组分的关系

土壤中易氧化有机碳组分 1、2 和组分 3 的含量在不同的生育期均为稻草处理高于鸡粪高于猪粪、化肥和无肥处理。其中组分 1 在不同生育期的稻草、鸡粪处理还显著高于无肥和化肥处理。这与稻田甲烷的排放通量保持一致的趋势。由此可见,稻田甲烷排放和土壤中易氧化有机碳含量有相同的变化趋势。可能的原因是在稻田淹水的还原环境下,有机物的数量和对厌氧微生物的有效性在甲烷形成过程中起着决定性作用^[26]。土壤中的活性有机碳在土壤易移动、易分解,能被微生物利用作为碳源^[27],易氧化有机碳属于活性有机碳类型,在淹水稻田土壤中容易分解且变化比较明显,因此土壤中易氧化有机碳的含量与甲烷排放的关系非常密切。

有机碳组分与甲烷排放量的通径分析结果表明,不同组分易氧化有机碳对甲烷排放量的作用依次为组分 1>组分 3>组分 2。组分 1 与排放量的相关系数最大,且对甲烷排放的作用主要来自本身,而组分 2 和 3 对甲烷的影响为负作用。可见土壤中易氧化有机碳组分 1 显著的影响甲烷排放。在稻田甲烷的排放研究中,推测选择施用能被 33 mmol/L 高锰酸钾易氧化有机碳的有机肥,可能减少稻田甲烷排放。

3.3 水稻生育时期与土壤有机碳组分的关系

一般认为,施入土壤中的有机物料(如作物残茬、秸秆、有机肥等)可分为易分解与难分解两组分^[28-29]。而组分之间可以转化,尤其是难分解的组分,在环境适宜的条件和微生物的作用下向易分解的转化。通过对土壤中各组分的相关性分析可以得出,组分 2 的分蘖期和拔节期分别与组分 1 此时期及后面的时期呈显著相关性,可以推测出,组分 2 的易氧化的有机碳在分蘖期和拔节期分别向组分 1 的此生育期及之后的生育期转

化,可能是因为在水稻的根系氧化力在分蘖期最高,其次是齐穗期,而成熟期的氧化能力最低^[30-31],由于根系在分蘖期和拔节期的氧化能力强,因此在此时期的施入土壤中的难分解的有机碳被部分的分解,导致组分2的含量向组分1转化。而组分3的分蘖和拔节期分别与组分2的部分时期的相关性也说明了组分3在分蘖和拔节期想组分2转化。由于分蘖期、拔节期的根系活性强,分泌物多,造成土壤中的难分解的氧化有机碳向易分解的有机碳转化。

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: 37-39.
- [2] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate change 2001: the scientific basis // Contribution of Working Group I to the third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. England: Cambridge University Press, 2001: 83-83.
- [3] Cai Z C, Tsuruta H, Gao M, Xu H, Wei C F. Options for mitigating methane emission from a permanently flooded rice field. *Global Change Biology*, 2003, 9(1): 37-45.
- [4] Cai Z C, Kang G D, Tsuruta H, Mosier A. Estimate of CH₄ emissions from year-round flooded rice fields during rice growing season in China. *Pedosphere*, 2005, 15(1): 66-71.
- [5] van der Gon H A C D, Neue H U. Methane emission from a wetland rice field as affected by salinity. *Plant and Soil*, 1995, 170(2): 307-313.
- [6] Wassmann R, Neue H U, Bueno C, Lantin R S, Alberto M C R, Buendia L V, Bronson K, Papen H, Rennenberg H. Methane production capacities of different rice soils derived from inherent and exogenous substrate. *Plant and Soil*, 1998, 203(2): 227-237.
- [7] Wang B, Neue H U, Samonte H P. Effect of rice plant on seasonal methane emission patterns. *Acta Agronomica Sinica*, 1997, 23(3): 271-279.
- [8] Yagi K, Minami K. Effect of organic matter application on methane emission from some Japanese paddy fields. *Soil Science and Plant Nutrition*, 1990, 36(4): 599-610.
- [9] Vermoesen A, Ramon H, Van Cleemput O. Composition of the soil gas phase. Permanent gas and hydrocarbons. *Pédologie*, 1991, 41(2): 119-132.
- [10] Jian Y, Huang Y, Zong L G, Zhou Q S, Ronald L S. Methane emission from paddy soils as influenced by application of organic manure, soil available copper and nitrogen. *Journal of Agro-Environment Science*, 2003, 22(5): 565-569.
- [11] Logninow W, Wisniewski W, Gonet S S, Ciescinska B. Fractionation of organic carbon based on susceptibility to oxidation. *Polish Journal of Soil Science*, 1987, 20(1): 47-52.
- [12] Chan K Y, Bowman A, Oates A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in anoxic paleustalf under different pasture leys. *Soil Science*, 2001, 166(1): 61-67.
- [13] Blair G J, Lefrog R D B, Lisle L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1995, 46(7): 1459-1466.
- [14] Zheng X H, Wang M X, Wang Y Si, Shen R X, Li J, Heyer J, Kogge M, Li L T, Jin J S. Comparison of manual and automatic methods for measurement of methane emission from rice paddy fields. *Advances in Atmospheres Science*, 1998, 15(4): 569-579.
- [15] Wang B J, Neue H U, Samonte H P. Effect of rice plant on seasonal methane emission patterns. *Acta Agronomica Sinica*, 1997, 23(3): 271-279.
- [16] Liu J J, Wu P P, Xie X L, Fu X G, Shen Q R, Guo S W. Methane emission from late rice fields in Human red soil under different long-term fertilizing systems. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(6): 2878-2886.
- [17] Xu H, Cai Z C, Li X P. Effect of soil Eh and temperature on seasonal variation of CH₄ emission from rice. *Agro-Environmental Protection*, 1999, 18(4): 145-149.
- [18] Shangguan X J, Wang M X. Regularity of methane emission from rice paddy fields. *Advance in Earth Sciences*, 1993, 8(5): 23-36.
- [19] Wang A H, Su Y R, Li Y, Wu J S, Zheng H, Zhu H H, Hu L N. Characteristics of mineralization of soil organic carbon in paddy and upland with rice straw incorporated and differences between the two. *Acta Pedologica Sinica*, 2011, 48(5): 979-987.
- [20] Chen W, Lu W F, Duan B W, Wassmann R, Lantin R S. Impacts of application of pig manure and biogas sludge on methane emissions in the double-cropping rice fields. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(2): 265-270.
- [21] Zou J W, Huang Y, Zong L G, Wang Y S, Ronald L S. Integrated effect of incorporation with different organic manures on CH₄ and N₂O emissions from Rice Paddy. *Chinese Journal of Environmental Science*, 2003, 24(4): 7-12.
- [22] Chidthaisong A, Watanabe L. Methane formation and emission from flooded rice soil incorporated with ¹³C-labeled rice straw. *Soil Biology and*

- Biochemistry, 1997, 29(8): 1173-1181.
- [23] Ma J, Ma E D, Xu H, Yagi K, Cai Z C. Wheat straw management effects CH_4 and N_2O emissions from rice fields. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(5): 1022-1028.
- [24] Ma J, Xu H, Cai Z C. Effect of fertilization on methane emissions from rice fields. *Soils*, 2010, 42(2): 153-163.
- [25] Wu J M, Ji X H, Peng H, Huo L J, Liu Y, Zhu J. The effect of different organic manures treatments on methane emission form single-cropping paddy fields. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(8): 1688-1694.
- [26] Ding W X, Cai Z C. Effects of soil organic matter and exogenous organic materials on methane production in and emission from wetlands. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(10): 1672-1679.
- [27] Shen H, Cao Z H, Hu Z Y. Characteristics and Ecological effects of the active organic carbon in soil. *Chinese Journal of Ecology*, 1999, 18(3): 32-38.
- [28] Parton W J, Scurlock J M O, Ojima D S, Gilmanov T G, Scholes R J, Schimel D S, Kirchner T, Menaut J C, Seastedt T, Garcia Moya E, Kamnalrut Apinan, Kinyamario J I. Observations and modeling of biomass and soil organic matter dynamics for the grassland biome worldwide. *Global Biogeochemical Cycles*, 1993, 7(4): 785-809.
- [29] Murayama S. Changes in the monosaccharide composition during the decomposition of straws under field conditions. *Soil Science and Plant Nutrition*, 1984, 30(3): 367-381.
- [30] Liu T J, Tang J J, Hu Y F, Zhang P L, Wan S W, Qi C H. A study on simulation model and regulation of rice root growth affecting high yield formation II. a study on the relationship between the physiological character parameters of root and yield formation in rice and the regulation model of rice grow. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 1999, (1): 1-5.
- [31] Liang J S, Cao X Z. Studies on the relationship between several physiological characteristics of leaf and bleeding rate of roots in hybrid rice (*O. Sativa*, L). *Journal of Jiangsu Agricultural College*, 1993, 14(4): 25-30.

参考文献:

- [10] 焦燕, 黄耀, 宗良纲, 周权锁, Ronald L S. 有机肥施用、土壤有效铜和氮素对稻田甲烷排放的影响. *农业环境科学学报*, 2003, 22(5): 565-569.
- [16] 刘金剑, 吴萍萍, 谢小立, 傅心赣, 沈其荣, 郭世伟. 长期不同施肥制度下湖南红壤晚稻田 CH_4 的排放. *生态学报*, 2008, 28(6): 2878-2886.
- [17] 徐华, 蔡祖聪, 李小平. 土壤 Eh 和温度对稻田甲烷排放季节变化的影响. *农业环境保护*, 1999, 18(4): 145-149.
- [18] 上官行健, 王明星, 沈其兴. 稻田 CH_4 的排放规律. *地球科学进展*, 1993, 8(5): 23-36.
- [19] 王媛华, 苏以荣, 李杨, 吴金水, 郑华, 朱捍华, 胡乐宁. 稻草还田条件下水田和旱地土壤有机碳矿化特征与差异. *土壤学报*, 2011, 48(5): 979-987.
- [20] 陈苇, 卢婉芳, 段彬伍, Wassmann R, Lantin R S. 猪粪与沼气渣对双季稻田甲烷排放的影响. *生态学报*, 2001, 21(2): 265-270.
- [21] 邹建文, 黄耀, 宗良纲, 王跃思, Ronald L S. 不同种类有机肥施用对稻田 CH_4 和 N_2O 排放的综合影响. *环境科学*, 2003, 24(4): 7-12.
- [24] 马静, 徐华, 蔡祖聪. 施肥对稻田甲烷排放的影响. *土壤*, 2010, 42(2): 153-163.
- [25] 吴家梅, 纪雄辉, 彭华, 霍莲杰, 刘勇, 朱坚. 不同种类有机肥施用对一季稻田 CH_4 排放的影响. *农业环境科学学报*, 2011, 30(8): 1688-1694.
- [26] 丁维新, 蔡祖聪. 土壤有机质和外源有机物对甲烷产生的影响. *生态学报*, 2002, 22(10): 1672-1679.
- [27] 沈宏, 曹志宏, 胡正义. 土壤活性有机碳的表征及其生态效益. *生态学杂志*, 1999, 18(3): 32-38.
- [30] 刘桃菊, 唐建军, 胡岳峰, 张佩莲, 万淑婉, 戚昌瀚. 水稻根系建成对高产形成的模拟模型与调控决策研究 II. 水稻根系生理参数与产量形成关系及其模拟模型研究. *江西农业大学学报*, 1999, (1): 1-5.
- [31] 梁建生, 曹显祖. 杂交水稻叶片的若干生理指标与根系伤流强度关系. *江苏农学院学报*, 1995, 14(4): 25-30.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 15 Aug. ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- A review on the application of remote sensing in mangrove ecosystem monitoring SUN Yongguang, ZHAO Dongzhi, GUO Wenyong, et al (4523)
- Urban metabolism process based on emergy synthesis: Theory and method LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin (4539)
- Theoretical considerations on ecological civilization development and assessment ZHAO Jingzhu (4552)

Autecology & Fundamentals

- Assemblage composition and distribution of meiobenthos in the Yangtze Estuary and its adjacent waters in autumn-winter season Yu Tingting, XU Kuidong (4556)
- Ecological distribution and nutrient limitation of phytoplankton in adjacent sea of Guanhe Estuary in spring FANG Tao, HE Xinran, FENG Zhihua, et al (4567)
- The distribution of urea concentrations and urease activities in the coastal waters of Hainan Island during the spring HUANG Kaixuan, ZHANG Yun, OU Linjian, et al (4575)
- Effects of simulated acid rain on growth and bleeding sap amount of root in *Quercus mongolica* LIANG Xiaoqin, LIU Jian, DING Wenjuan, et al (4583)
- Allelopathic effects of organic acid allelochemicals on melon ZHANG Zhizhong, SUN Zhihao, CHEN Wenhui, et al (4591)
- Fraction changes of oxidation organic carbon in paddy soil and its correlation with CH₄ emission fluxes WU Jiamei, JI Xionghui, HUO Lianjie, et al (4599)
- Changes of soil nitrogen types and nitrate accumulation in vegetables with single or multiple application of dicyandiamide WANG Huangping, ZHANG Qing, WENG Boqi, et al (4608)
- Comparison of isolation rate of mycobacteriophage in the different type soils XU Fengyu, SU Shengbing, MA Hongxia, et al (4616)
- Effects of different acidity acid rain on yield, protein and starch content and components in two wheat cultivars BIAN Yajiao, HUANG Jie, SUN Qisong, et al (4623)
- The causes of *Gentiana straminea* Maxim. seeds dormancy and the methods for its breaking LI Bingbing, WEI Xiaohong, XU Yan (4631)
- Physiological responses of four golden-leaf trees to SO₂ stress CHONG Peifang, SU Shiping (4639)
- Influence of endosulfan and its metabolites on enzyme activities in purple soil XIONG Bailian, ZHANG Jinzhong, DAI Juan, et al (4649)

Population, Community and Ecosystem

- Seasonal dynamics of food web energy pathways at the community-level XU Jun, ZHOU Qiong, WEN Zhourui, et al (4658)
- Population dynamics of *Niviventer confucianus* in Thousand Island Lake ZHANG Xu, BAO Yixin, LIU Jun, et al (4665)
- Soil ecological stoichiometry under different vegetation area on loess hilly-gully region ZHU Qiulian, XING Xiaoyi, ZHANG Hong, et al (4674)
- Adaptation strategies of reproduction of plant community in response to grassland degradation and artificial restoration LI Yuanyuan, DONG Shikui, ZHU Lei, et al (4683)
- Effect of different *Cunninghamia lanceolata* plantation soil qualities on soil microbial community structure LIU Li, XU Mingkai, WANG Silong, et al (4692)
- Effects of different maize hybrids (inbreds) on the growth, development and population dynamics of *Rhopalosiphum maidis* Fitch ZHAO Man, GUO Xianru, LI Weizheng, et al (4707)
- Effects of forest canopy structure on understory vegetation characteristics of Funiu Mountain Nature Reserve LU Xunling, DING Shengyan, YOU Li, et al (4715)

- Influence of restoring cropland to grassland on dung beetle assemblages in Wuchuan County, Inner Mongolia, China LIU Wei, MEN Lina, LIU Xinmin (4724)
- Cu and nutrient deficiency on different effects of growth, tolerance and mineral elements accumulation between two *Elsholtzia haichouensis* populations KE Wenshan, CHEN Shijian, XIONG Zhiting, et al (4737)
- Measurement and retrieval of leaf area index using remote sensing data in Kanas National Nature Reserve, Xinjiang ZAN Mei, LI Dengqiu, JU Weimin, et al (4744)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- An spatial ecosystem services approach based on LUCC: a case study of Ganzhou district of Zhangye City LIANG Youjia, XU Zhongmin, ZHONG Fanglei, et al (4758)
- Spatiotemporal characteristics of *Spartina alterniflora* marsh change in the coastal wetlands of Yancheng caused by natural processes and human activities ZHANG Huabing, LIU Hongyu, Hou Minghang (4767)
- Process analysis and evaluation of wetlands degradation based on PCA in the lakeside of Napahai, Northwest Yunnan Plateau SHANG Wen, YANG Yongxing, HAN Dayong (4776)
- On eco-security evaluation in the Tumen River region based on RS&GIS NAN Ying, JI Zhe, FENG Hengdong, et al (4790)
- Evaluation and simulation of historical range of variability of forest landscape pattern in Huzhong area WU Zhifeng, LI Yuehui, BU Rencang, et al (4799)
- Effects of precipitation timing on aboveground net primary productivity in inner mongolia temperate steppe GUO Qun, HU Zhongmin, LI Xuanran, et al (4808)
- Research Notes**
- Litter production and decomposition of different forest ecosystems and their relations to environmental factors in different climatic zones of mid and eastern China WANG Jianjian, WANG Yongji, LAI Liming, et al (4818)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 赵景柱

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 15 期 (2013 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 15 (August, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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: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@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.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 90.00 元