

延边地区稻田 CO₂ 排放对种植年限和施肥类型的响应

傅民杰, 吴明根, 刘春海, 吴凤日

(延边大学农学院, 吉林 延吉 133000)

摘要: 本文研究了延边地区不同开垦年限及不同施肥类型下稻田生长季 CO₂ 的排放特征, 研究表明, 不同开垦年限稻田 CO₂ 排放能力差异明显, 随开垦年限延长, 稻田 CO₂ 排放量则明显下降, 80 a 稻田 CO₂ 排放量显著高于 120 a 稻田。稻田 CO₂ 排放季节特征受肥料类型的影响较大, 单施有机肥促进了水稻分蘖期及黄熟期稻田 CO₂ 排放速率, 而单施化肥在水稻分蘖期、孕穗末期及黄熟期均表现出较强的 CO₂ 排放能力, 化肥与有机肥配施措施促进了分蘖—拔节期 CO₂ 排放速率。全生长季单施有机肥、有机肥配施化肥和单施化肥处理的 CO₂ 月排放量均值分别为 229.60 g·m⁻²、209.49 g·m⁻² 和 137.14 g·m⁻², 施用有机肥可以明显促进稻田 CO₂ 的排放。

关键词: CO₂ 排放; 稻田; 种植年限; 施肥类型

中图分类号: S154.1

文献标识码: A

文章编号: 1003-8701(2016)06-0056-05

The Responses of CO₂ Emission to Cultivation Periods and Fertilizer Types in Yanbian Paddy

FU Minjie, WU Minggen, LIU Chunhai, WU Fengri

(College of Agronomy, Yanbian University, Yanji 133000, China)

Abstract: The CO₂ emissions under different cultivation periods and fertilizer types in paddy in Yanbian of China were investigated in this paper. The results showed that the emissions of CO₂ were different in different reclamation times' paddy. The CO₂ emissions in 80 a were higher than that in 120 a paddy indicating that the CO₂ emissions decreased with the increasing of the reclamation times. The season character of CO₂ emissions was affected by fertilizer types applied into the paddy. The organic fertilizer could improve the rate of CO₂ emission at the tillering stage and mature stage of rice in paddy. The chemical fertilizer could improve the rate of CO₂ emission at the tillering stage, ending of booting stage and mature stage of rice in paddy, and the application of organic fertilizer with chemical fertilizer could improve the rate of CO₂ emission at tillering-jointing stage of rice in paddy. The mean emissions of CO₂ per month were 229.60 g·m⁻² for organic fertilizer, 209.49 g·m⁻² for organic with chemical fertilizer and 137.14 g·m⁻² for chemical fertilizer in paddy, respectively. The organic fertilizer could promote obviously emission of CO₂ in Yanbian paddy.

Key words: CO₂ emission; Paddy; Cultivation period; Fertilizer type

农业生产是 CO₂ 等温室气体重要的排放源^[1]。中国拥有 1.21 亿 hm² 的耕地, 其中水稻种植

面积占作物总种植面积的 30% 左右。稻田系统排放 CO₂ 量占农业温室气体排放总量的 9%^[2], 占据重要的影响地位。稻田土壤 CO₂ 的排放受诸多因素的影响, 包括肥料、作物类型、土壤温度等^[3-5]。其中, 施肥是 CO₂ 排放的重要农业措施。研究发现, 长期施用有机肥在增加土壤有机质积累量的同时, 提高了土壤 CO₂ 的排放量, 特别是有机肥与化肥的混合使用能显著增加土壤呼吸释放的 CO₂^[6-7]。Das 等^[8]研究表明, 有机肥对比单施化肥促进了 CO₂ 的排放。但也有研究发现, 淹水稻田 CO₂ 的排放速率与肥料的施用无显著关系^[9]。

收稿日期: 2016-08-01

基金项目: 国家自然科学基金(31160103); 吉林省科技厅重点攻关项目(20140204045SF); 国家自然科学基金项目(31560202); 延边大学科技发展计划项目(延大科合字[2011]第 32 号)

作者简介: 傅民杰(1972-), 男, 副教授, 博士, 主要从事农田土壤物质营养与循环研究。

*本文被吉林省作物学会评为第九届学术年会优秀论文, 特此推荐并资助。

谢义琴等^[10]发现,有机物质投入促进了稻田土壤CO₂的排放,但各处理稻田土壤CO₂的总排放量均无显著性差异。可见,稻田CO₂排放在不同立地条件和种植模式下,存在明显的差异,有必要对不同代表性区域稻田生态系统CO₂排放做深入的调查。延边地区是中国北方最早的稻区,一年一熟制及较长的冻融过程使土壤呼吸过程和水稻生产过程区别于南方稻区。研究不同开垦年限稻田在不同施肥条件下的CO₂排放特征,对深入了解稻田生态系统对温室效应的影响有重要的意义。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

本次试验分别选取开垦约60 a、80 a和120 a的三种延边稻田。各类型稻田区均位于吉林省延边朝鲜族自治州境内,分别位于龙井市开山屯镇(约120 a稻区)、龙井市农学院(约80 a稻区)和图们市凉水镇(约60 a稻区)。所有试验地基本信息见表1。

表1 试验地基本信息

处理代号	LCOF	LOF	LCF	KCF	NCF
试验地点	图们凉水镇	图们凉水镇	图们凉水镇	龙井开山屯镇	龙井市农学院
开垦年限(a)	60	60	60	120	80
施肥类型	化肥+有机肥	有机肥	化肥	化肥	化肥
施肥量(kg·hm ⁻²)	N:80~90	有机肥:18000~20000	N:160~180	N:160~180	N:160~180
	P ₂ O ₅ :50~60		P ₂ O ₅ :80~100	P ₂ O ₅ :80~100	P ₂ O ₅ :80~100
	K ₂ O:60~70		K ₂ O:110~130	K ₂ O:110~130	K ₂ O:110~130
	有机肥:6500~9000				
pH	6.39	6.64	6.83	6.54	6.66
有机质(g·kg ⁻¹)	37.18	23.91	28.94	36.20	36.14
碱解氮(mg·kg ⁻¹)	46.20	47.65	28.56	41.91	46.98
速效磷(mg·kg ⁻¹)	67.01	64.68	57.26	45.01	58.79
速效钾(mg·kg ⁻¹)	241.96	280.73	140.97	267.40	208.85
全磷(g·kg ⁻¹)	0.47	0.47	0.35	0.97	0.42
全钾(g·kg ⁻¹)	13.21	12.55	7.74	10.27	12.16
全氮(g·kg ⁻¹)	1.59	1.32	1.13	1.39	1.40

1.2 试验设计

稻田CO₂排放与肥料种类相关试验设置于凉水镇稻区。试验设3种施肥类型(处理),分别为:化肥与有机肥配施(记为LCOF)、单施有机肥(LOF)和单施化肥(LCF)。具体施肥类型和施肥量等见表1。稻田CO₂排放与种植年限相关试验分别选择开垦60 a(凉水镇)、80 a(农学院)和120 a左右(开山屯镇)的3种稻田。以开垦60 a稻田单施化肥量为基准施肥量,调查在相同化肥施用条件下,不同开垦年限稻田生态系统CO₂排放的差异性。其中,开垦60 a左右的稻田处理记为LCF,开垦80 a左右的稻田处理记为NCF,开垦120 a左右稻田处理记为KCF。具体信息见表1。试验从2013年6月开始到11月结束。整个调查期每15 d采样1次,每种处理设3次重复。CO₂采集与测定采用静态暗箱-GC法。静态箱规格为长×宽×高=50 cm×40 cm×50 cm。箱体安装数显温度计、直流电风扇和采气阀。在稻田生长中后期,静态

暗箱高度增加1倍,长、宽不变,以确保采气箱不影响稻株正常生长。采样时间定为上午9:00~11:30之间,每个暗箱在30 min完成4次样品采集。每个气体样品50 mL,注入气体采集袋密封待测。同时,测定箱内温度、水温和土壤温度(地下5 cm, T_s)。气体样品测定采用气相色谱仪(岛津2010型(SHIMADZU, Japan))。

1.3 数据处理与绘图

数据应用Excel 2003作图。施肥类型间、开垦年限间和全生长季间的CO₂排放量差异性检验分析采用SPSS 14.0软件包,多重比较采用Duncan法。

2 结果与分析

2.1 不同开垦年限稻田生长季CO₂日均排放量

由图1可知,3种开垦年限的稻田生长季CO₂日均排放量均表现为明显的净排放特征,且每种开垦年限各测定时期CO₂日均排放量间差异显著

($P < 0.05$), 表明各开垦年限稻田 CO_2 排放存在明显的季节变化特征, 但3种开垦年限的 CO_2 日均排放量的季节变化格局表现各异, 且各开垦年限的 CO_2 日均排放量峰值出现的时期不同。其中, LCF 处理整个生长季 CO_2 日均排放量介于 $42.94 \sim 290.05 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 之间, 在水稻孕穗末期(7月25日)达到整个生长季的最大值 (290.05 ± 122.04) $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 。KCF 处理全生长季 CO_2 排放呈双峰曲线模式, 在拔节期(7月10日)达到生长季首个 CO_2 排放高峰 (942.51 ± 57.30) $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, 在水稻收获期(9月27日)达到第二个 CO_2 排放高峰 (345.84 ± 61.49) $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, 两次排放高峰期 CO_2 排放量间差异显著 ($P < 0.05$)。NCF 处理呈现多峰排放模式, 分别在拔节期(7月10日)、抽穗开花期(8月13日)、蜡熟期(9月13日)出现较强的 CO_2 排放量(图1)。

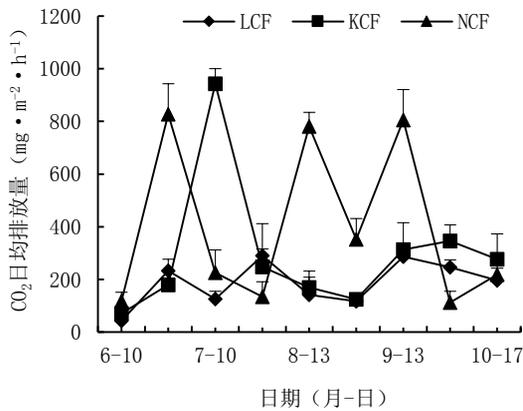


图1 不同开垦年限对稻田 CO_2 日均排放量的影响

2.2 不同开垦年限稻田 CO_2 月累积排放量

从 CO_2 的月累积排放量来看, 3种开垦年限处理的季节排放量变化趋势各异, 排放量最小值与最大值出现在不同的月份(图2)。KCF(开垦120a)处理在整个生长季 CO_2 最大值出现于7月份 (363.84 ± 35.14) $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$, 最小值出现在6月份 (129.04 ± 19.68) $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$; NCF(开垦80a)最大值和最小值分别出现于8月份 (388.30 ± 15.08) $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ 和10月份 (76.15 ± 19.93) $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$; LCF(开垦60a)处理6~9月份呈现 CO_2 累积排放量上升趋势, 并在9月份达到生长季的最大值 (168.45 ± 10.32) $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$, 其次为10月份, 最小排放量出现于6月份 (85.68 ± 11.51) $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。NCF、KCF 和 LCF 3种开垦年限处理的生长季月平均 CO_2 排放量分别为 $263.60 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $209.15 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 $137.14 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ (图2)。3种开垦年限处理 CO_2 生长季累积排放量依大小分别为 NCF ($1.32 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$) > KCF ($1.05 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$) > LCF ($0.69 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$), 与 LCF 处理相比, NCF 与 KCF 处理分别增加了 91.3%

和 52.1% 的 CO_2 排放量。分析认为, 种植年限为 60 a 稻田土壤的 C/N (14.86) 与其他 2 种稻田 (80 a: 14.97; 120 a: 15.11) 相近, 但有机碳和有效态氮含量明显低于其他 2 种稻田, 由此导致 CO_2 的排放量显著低于 80 a 和 120 a 稻田。而其他 2 种年限稻田, 在土壤有机质、土壤 C/N 和有效态氮含量相近条件下, 种植 80 a 稻田 CO_2 的排放量明显高于 120 a 的稻田。表明在土壤肥力和施肥相同条件下, 种植年限延长, 有利于减弱稻田 CO_2 的排放(图2)。

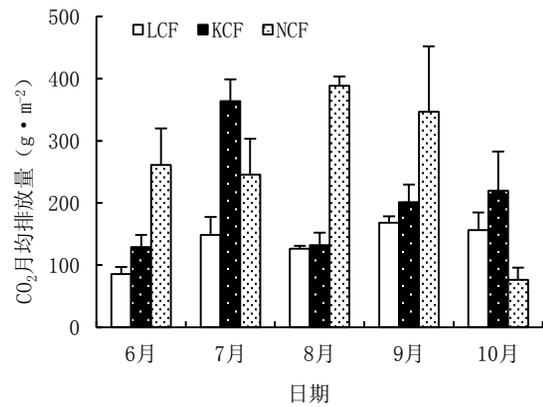


图2 不同开垦年限对稻田 CO_2 月排放量的影响

2.3 不同施肥类型稻田 CO_2 日均排放量

由图3可知, 3种施肥处理(LCOF、LOF 和 LCF)的 CO_2 日均排放量的季节动态变化趋势不同。其中 LCOF(有机肥+化肥)处理生长季 CO_2 日均排放量呈现单峰曲线变化, 即分蘖期(6月10日)至水稻拔节期(7月10日) CO_2 排放量呈上升趋势, 之后则逐渐降低(图3)。LOF(单施有机肥)处理呈现双峰曲线变化, 即在分蘖期的6月25日达到整个生长季 CO_2 排放高峰, 在水稻黄熟期(9月13日)达到整个生长季的第二个排放高峰, 并且在该时期 LOF 处理显著高于其他 2 种施肥处理(图3)。LCF 呈现多峰曲线变化动态模式, 分别在水稻分蘖期(6月25日)、孕穗末期(7月25日)和水稻黄熟期(9月13日)达到生长季 CO_2 排放高峰(图3)。可见, 施肥种类不同, 对稻田生态系统 CO_2 排放影响不同, 有机肥与化肥配施以促进拔节-孕穗期稻田 CO_2 排放为主, 而单施有机肥则主要以促进成熟期稻田 CO_2 排放为主, 单施化肥处理对分蘖中期、孕穗末期及成熟后期稻田 CO_2 排放均有明显影响。3种施肥处理在水稻收割后期(10月17日)的 CO_2 日均排放量相近, 三者间无显著差异(图3)。

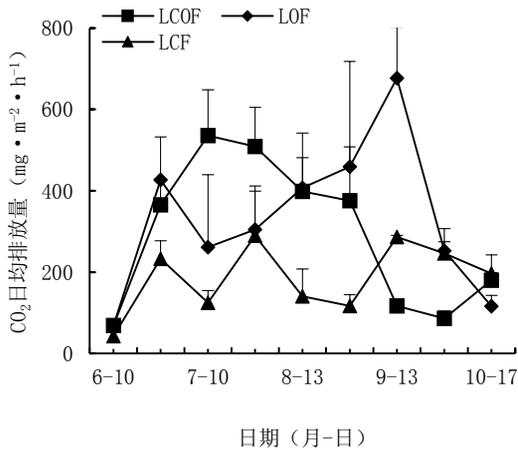


图3 不同施肥类型对CO₂日均排放量的影响

2.4 不同施肥类型稻田CO₂月累积排放量

从CO₂的月累积排放量来看,3种施肥处理的季节排放变化格局表现不一(图4)。LCOF(有机肥+化肥)处理与LOF(单施有机肥)处理均呈现单峰曲线变化,LCOF处理CO₂的月排放量在7月份(拔节-孕穗期)达到整个生长季的最大累积量(361.45±105.22)g·m⁻²,抽穗-成熟期间逐渐下降;LOF处理CO₂的月均排放量6~9月份呈现上升趋势,在9月份达到整个生长季的最大累积量(346.49±65.84)g·m⁻²,LOF处理整个生长季CO₂的月均排放量最大值出现时间比LCOF处理晚2个月;而LCF处理的CO₂排放呈现双峰曲线模式,分别在7月份和9月份达到生长季的峰值。3种处理10月份的CO₂月累积排放量相近(图4)。全生长季LOF、LCOF和LCF3种施肥处理的CO₂月排放量均值分别为229.60 g·m⁻²>209.49 g·m⁻²>137.14 g·m⁻²,LCOF与LOF处理的CO₂月均排放量相对LCF施肥处理分别增加了52.76%和67.42%,说明施用有机肥可以明显促进CO₂的排放(图4)。

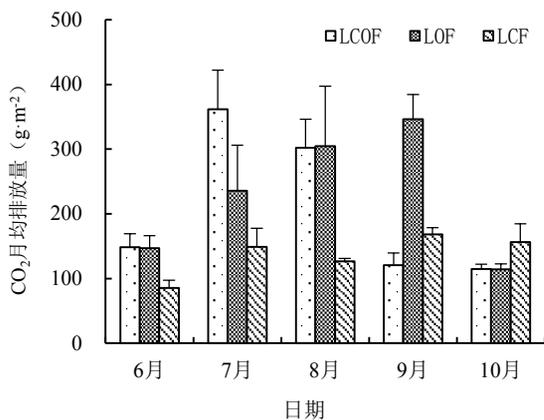


图4 不同施肥类型对CO₂月排放量的影响

3 讨论

一般认为在水稻移栽初期,由于植物呼吸较弱,稻田CO₂的排放量不高;随着水稻的生长,当水稻进入抽穗-灌浆期,水稻生长处于旺盛期,稻田生态系统呼吸作用加强,同时部分稻田处于烤田期,此时气温较高,导致稻田在此时出现CO₂较高的排放量。大多研究者对水稻生长季土壤CO₂的排放均得出相同的规律^[11-13]。本研究的3种不同施肥管理在7~9月份均出现较高的排放量,研究结果与上述的结论基本一致。施肥是稻田生态系统中CO₂排放的一个重要影响因子。赵峥等^[14]研究发现,施肥管理能显著增加稻田生态系统CO₂的排放量,但不同类型的肥料处理稻田生长季CO₂排放量差异不显著。然而本次研究中,全生长季不同施肥类型处理间CO₂排放量间存在明显的差异,有机肥与化肥配施与单施有机肥处理的CO₂月均排放量相对于单施化肥处理分别增加了52.76%和67.42%,单施有机肥明显增加了稻田生态系统的CO₂排放量。分析认为,有机肥在增加了土壤碳源的同时,也促进了土壤有效氮素的增加,合适的土壤碳氮比既保证了土壤微生物活性,也促进了水稻植株的旺盛生长,由此增强了土壤和植株群体呼吸作用,促进了稻田CO₂的排放。需指出的是,本试验所用的暗箱采样测定方法,因暗箱遮光,采样期间植株光合作用停止,所获得的CO₂排放量代表的是采样期间的水稻群体和土壤呼吸的总强度,而非稻田生态系统CO₂净排放量,这与侯玉兰等^[15]和宋涛等^[16]采用明箱或涡度相关技术测定的稻田生态系统CO₂净排放量结论有明显的区别。此外,稻田CO₂排放高峰出现时期受稻田植株与土壤水分条件综合决定,本研究中的稻田在6~8月份始终处于淹水状态,自收获前期的9月10日前后开始自然断水。第一次CO₂排放高峰与水稻抽穗开花期对应,而第二次排放高峰与水稻成熟、稻田晒田期相对应,可见水稻植株群体生长与呼吸决定了第一次CO₂排放高峰,而土壤呼吸决定了第二次CO₂排放高峰的产生,这也是本研究结果与许多在稻田生长季存在烤田或间歇灌溉的相关研究结果不同的主要原因^[14-16]。李平等^[17]研究表明,黑土CO₂排放量随开垦年限的增加而降低,开垦30 a和100 a土壤的CO₂排放量与荒地土壤差异显著。本研究发现,开垦年限较长的稻田(120 a)比年限较短(80 a)的稻田土壤削弱了CO₂排放,开垦年限120 a比80 a

稻田降低了20.5%的CO₂排放量,这与上述结论相似。而开垦60 a稻田CO₂排放量低于上述2种年限的稻田,主要与该年限稻田中土壤有机质含量和有效态氮含量较低有关,削弱了种植年限对CO₂排放的影响。

4 结 论

(1)开垦年限对CO₂排放量具有明显影响,在土壤肥力和施肥量相同条件下,随种植年限延长,有利于减弱稻田CO₂的排放。

(2)施肥类型对CO₂日均排放量影响不同,单施有机肥促进了水稻分蘖期及黄熟期稻田CO₂排放速率,而单施化肥在水稻分蘖期、孕穗末期及黄熟期均表现出较强的CO₂排放能力,化肥与有机肥配施措施促进了分蘖-拔节期CO₂排放速率。

(3)单施有机肥与有机肥化肥配施措施比单施化肥处理促进了稻田CO₂排放,施用有机肥可以明显促进CO₂的排放。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate Change 2007-Impacts, Adaptation and Vulnerability [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 750-752.
- [2] 谭秋成. 中国农业温室气体排放:现状与挑战[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(10): 69-75.
- [3] 孙文娟, 黄 耀, 陈书涛, 等. 作物生长和氮含量对土壤-作物系统CO₂排放的影响[J]. 环境科学, 2004, 25(3): 1-6.
- [4] 李 琳, 张海林, 陈 阜, 等. 不同耕作措施下冬小麦生长季农田二氧化碳排放通量及其与土壤温度的关系[J]. 应用生态学报, 2007, 18(12): 2765-2770.
- [5] 郭树芳, 齐玉春, 董云社, 等. 滴灌对农田土壤CO₂和N₂O产生与排放的影响研究进展[J]. 中国环境科学, 2014, 34(11): 2757-2763.
- [6] Li C, Mosier A, Wassmann R, et al. Modeling greenhouse gas emissions from rice-based production systems: Sensitivity and upscaling[J]. Global Biogeochemical Cycles, 2004, 18(1): 523-538.
- [7] 李 波. 不同有机无机肥配施对水稻生长及稻田温室气体排放的影响研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2013.
- [8] Das S, Adhya T K. Effect of combine application of organic manure and inorganic fertilizer on methane and nitrous oxide emissions from a tropical flooded soil planted to rice [J]. Geoderma, 2014, 213(1): 185-192.
- [9] 武文明, 杨光明, 沙丽清. 西双版纳地区稻田CO₂排放通量[J]. 生态学报, 2009, 29(9): 4983-4992.
- [10] 谢义琴, 张建峰, 姜慧敏, 等. 不同施肥措施对稻田土壤温室气体排放的影响[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(3): 578-584.
- [11] 李梦雅. 长期施肥下红壤温室气体排放特征及影响因素的研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2009.
- [12] 沈仕洲, 王 风, 薛长亮, 等. 施用有机肥对农田温室气体排放影响研究进展[J]. 中国土壤与肥料, 2015(6): 1-8.
- [13] 朱小红, 马友华, 杨书运, 等. 施肥对农田温室气体排放的影响研究[J]. 农业环境与发展, 2011, 28(5): 42-46.
- [14] 赵 峥, 岳玉波, 张 翼, 等. 不同施肥条件对稻田温室气体排放特征的影响[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(11): 2273-2278.
- [15] 侯玉兰, 王 军, 陈振楼, 等. 崇明岛稻麦轮作系统稻田温室气体排放研究[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(9): 1862-1867.
- [16] 宋 涛, 王跃思, 宋长春, 等. 三江平原稻田CO₂通量及其环境响应特征[J]. 中国环境科学, 2006, 26(6): 657-661.
- [17] 李 平, 郎 漫, 徐向华, 等. 不同开垦年限黑土温室气体排放规律研究[J]. 环境科学, 2014, 35(11): 4321-4328.

(责任编辑: 范杰英)