

## 湖北恩施烤烟平顶期烟田碳通量日变化研究

王树键<sup>1,2</sup>, 王 瑞<sup>3</sup>, 申国明<sup>1\*</sup>, 高 林<sup>1</sup>, 孟贵星<sup>3</sup>, 张继光<sup>1</sup>, 霍 光<sup>3</sup>, 时 鹏<sup>4</sup>,  
孙弋媛<sup>1,2</sup>, 薄国栋<sup>1,2</sup>, 张保全<sup>5</sup>

(1. 中国农业科学院烟草研究所, 青岛 266101; 2. 中国农业科学院研究生院, 北京 100081; 3. 湖北省烟草公司恩施州公司, 湖北 恩施 445000; 4. 云南省玉溪市特殊教育学校, 云南 玉溪 653100; 5. 浙江中烟工业有限责任公司, 杭州 310009)

**摘 要:** 为了深入了解烟田碳排放对环境的影响, 利用静态箱-红外二氧化碳分析法对湖北恩施不同有机肥烟田碳通量的日变化特征进行了调查。结果表明, 在烟草平顶期, 烟田生态系统碳通量具有明显的日变化规律, 最高值出现在 17:30—19:30, 最低值出现在 11:30—13:30, 其变化趋势与土壤湿度呈极显著负相关, 菜枯、烟秆生物肥替代处理均显著促进了烟田生态系统碳排放。而烟田土壤碳通量的日变化整体波动较小, 最大值出现在 9:30, 最小值在 7:30, 且其变化趋势与气温、地表温度、5 cm 地温、10 cm 地温均呈显著或极显著正相关。研究发现, 烟田生态系统碳通量的主要贡献者是烟草的净光合作用, 而不是土壤呼吸, 且烟田生态系统碳通量的日变化幅度大于土壤。

**关键词:** 烟田; 静态箱法; 碳通量; 日变化

中图分类号: S572.01

文章编号: 1007-5119 (2013) 06-0043-06

DOI: 10.3969/j.issn.1007-5119.2013.06.009

## Diurnal Variation of CO<sub>2</sub> Emission Fluxes in Flue-cured Tobacco Field at Ceiling Period in Enshi of Hubei Province

WANG Shujian<sup>1,2</sup>, WANG Rui<sup>3</sup>, SHEN Guoming<sup>1\*</sup>, GAO Lin<sup>1</sup>, MENG Guixing<sup>3</sup>, ZHANG Jiguang<sup>1</sup>,  
HUO Guang<sup>3</sup>, SHI Peng<sup>4</sup>, SUN Yiyuan<sup>1,2</sup>, BO Guodong<sup>1,2</sup>, ZHANG Baoquan<sup>5</sup>

(1. Tobacco Research Institute of CAAS, Qingdao 266101, China; 2. Graduate School of CAAS, Beijing 100081, China; 3. Enshi Tobacco Company of Hubei Province, Enshi, Hubei 445000, China; 4. Yuxi Special Education School of Yunnan Province, Yuxi, Yunnan 653100, China; 5. China Tobacco Zhenjiang Industrial Co., Ltd., Hangzhou 310009, China)

**Abstract:** Diurnal variation of CO<sub>2</sub> emission fluxes in a flue-cured tobacco field at ceiling period under different organic fertilizer treatments were measured by closed chamber-infrared method. The results showed that the CO<sub>2</sub> emission fluxes from ecosystem of tobacco field had obvious diurnal variation at ceiling period, The maximum emission flux appeared at 17:30-19:30, while the minimum at 11:30-15:30. The variation of CO<sub>2</sub> emission fluxes was negatively correlated with soil moisture content significantly. Organic fertilizer application promoted CO<sub>2</sub> emission fluxes in the tobacco field significantly, and there was no significant difference between the rapeseed cake fertilizer and the bio-organic fertilizer from tobacco stems. The diurnal variation of CO<sub>2</sub> emission fluxes from soils in the tobacco field fluctuated slightly. The maximum emission flux appeared at 9:30, while the minimum at 7:30. The variation of CO<sub>2</sub> emission flux was significantly or highly significantly and positively correlated with air temperature, surface temperature, 5cm, and 10 cm soil temperature. CO<sub>2</sub> emission fluxes of tobacco field ecosystem mainly came from net photosynthesis of tobacco, but not from soil respiration. Furthermore, the degree of diurnal variation of CO<sub>2</sub> emission fluxes in tobacco field ecosystem was higher than that in soils in tobacco fields.

**Keywords:** flue-cured tobacco field; closed chamber technique; CO<sub>2</sub> flux; diurnal variation

碳排放已经成为全球气候变化的研究热点之一, 为了减少碳排放提高碳固定, 农田作为一种人为干预程度较高的生态系统, 备受人们的关注。目

前碳源/汇评价已经成为国际上研究的焦点问题<sup>[1-2]</sup>, 而对于农田碳排放通量及其源汇关系的研究已有报道<sup>[3-4]</sup>。农田碳通量的研究, 国内多集中于旱

基金项目: 中国烟草总公司科技重点项目“‘清江源’生态富硒特色烟叶生产关键技术研究与应用”(110201202014); 国家自然科学基金项目(41201291)

作者简介: 王树键, 男, 在读硕士研究生, 研究方向为农田生态环境。E-mail: 628ok6@163.com。\*通信作者, E-mail: ycsgm@163.com

收稿日期: 2012-11-25

地玉米、小麦田以及南方水稻田<sup>[5-10]</sup>,对烟田的研究还鲜有报道。农业管理措施特别是施肥对碳排放的影响很大,各种肥料中有机肥对农田土壤碳转化的影响最大<sup>[11]</sup>,但研究有机肥施入对农田生态系统碳排放影响的极少。鉴于此,本文对湖北恩施不同有机肥处理烟田生态系统碳通量日变化进行了观测研究,初步探讨了烟草平顶期,烟田生态系统及土壤与大气碳的净交换量及交换特征,分析其通量与环境因子之间的关系,以期为我国烟田温室气体排放清单的编排和制定减排措施提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点

试验地点位于湖北省恩施州“清江源”现代烟草农业科技园区秦家槽(30°20' N, 109°26' E, 海拔1149 m),该地属于季风性山地气候,多雾,年均气温13.3℃,多年平均降雨量1435 mm。7月份月均气温23.8℃,月平均降雨量242 mm。试验地土壤类型为黄棕壤,耕层土壤基本理化性状分别是:pH 7.44,有机质18.3 g/kg,碱解氮110.3 mg/kg,速效磷19.50 mg/kg,速效钾159.6 mg/kg。

### 1.2 试验设计

试验采用随机区组设计,共设3个处理,3次重复。T1(CK):100%施用化肥;T2:施用菜枯替代30%化肥中纯氮;T3:施用烟秆生物肥替代30%化肥中纯氮。小区面积40 m<sup>2</sup>,植烟行距1.2 m,株距0.55 m,试验地四周设保护行。

种植品种为云烟87,纯氮量为105 kg/hm<sup>2</sup>,施肥 m(N):m(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>):m(K<sub>2</sub>O)=1:1.5:3,有机肥全部作为基肥施用,其他肥料施用方式为:70%的氮和钾肥及100%的磷肥作基肥,30%的氮和钾肥作追肥。

### 1.3 气体采集和测定

采用静态箱-红外二氧化碳分析仪法测定烟田生态系统及土壤碳排放。烟田系统静态箱由透光塑料板制成,边框用不锈钢板加固。总体呈长方体形,箱体尺寸为55 cm×60 cm×165 cm,由两节构成,下节90 cm,上节75 cm。中间连接处用胶带密封。

其中下节前后面呈马鞍形,左右两面呈长方形。下节箱体中上部留两个小孔,并用胶塞塞紧,用作取样口和温度探头接口,顶盖安装风扇。土壤静态箱由铝塑板制成,边框用不锈钢板加固。箱体呈长方体形,箱体尺寸为55 cm×60 cm×30 cm,顶部安装了温度探头和三通阀,另外有CO<sub>2</sub>速测仪探测口。

在烤烟平顶期(7月20日),选择天气晴朗的一天进行碳通量日变化的测量。测量时间为7:30—19:30,每隔2 h测定1次。生态系统碳通量测定时把静态箱埋入烟草行间(中间包含1棵烟株),即先把下节整体埋入土中5 cm,把上节罩上,用胶带密封,使用便携式二氧化碳分析仪(型号ST-303,广州市盈翔嘉仪器仪表有限公司)测定盖箱后0 min、20 min的二氧化碳浓度。土壤碳排放测定把静态箱埋入烟草垄间,测定盖箱后0 min、30 min的二氧化碳浓度。每次测量前均先让风扇转动30 s,以混匀气体。在检测碳排放的同时使用数字温度计(型号JM 624,天津今明有限公司)测定箱内温度、大气温度、地表、5 cm、10 cm地温,用型土壤水分速测仪(型号TSZ-1武汉天联科教仪器发展有限公司)测定0~10 cm土壤湿度。

### 1.4 数据处理与分析

碳排放通量的计算公式为:

$$F = \rho \times V / A \times \Delta C / \Delta t \times 273 / (273 + T) \times P / P_0^{[12-13]}$$

式中F为碳排放通量,单位为mg/(m<sup>2</sup>·h);ρ为标准状态下碳密度,即0.536 kg/m<sup>3</sup>,V为采集箱内有效空间体积(m<sup>3</sup>);A为采集箱覆盖的土壤面积(m<sup>2</sup>);ΔC为气体浓度差(μL/L);Δt为时间间隔(h);ΔC/Δt通过采样点数据作图的斜率可知。T为采样时箱内温度(℃),P为采样点的气压(Pa),P<sub>0</sub>为标准状态下的大气压力(1.01×10<sup>5</sup> Pa)。

数据处理分析均采用SAS 8.0软件进行。

## 2 结果

### 2.1 烟田碳通量日变化特征

由图1可以看出,烟田生态系统碳排放白天以吸收-排放方式进行交换,排放峰值出现在傍晚时

段, 为 482.4 mg/(m<sup>2</sup>·h), 上午时段变化较小, 出现了 1 个小的峰值 (9:30), 最低值出现在中午前后, 此时系统内的光合强度与呼吸强度的差值达到最大, 碳吸收速度达到最大值。下午 16:30 左右碳通量为零, 说明此时烟株光合强度与系统总的呼吸强度达到平衡。7:30—9:30 随着温度升高, 呼吸作用增强, 而此时光强较弱, 光合速率较小, 所以碳通量曲线呈上升趋势。9:30—11:30 光照变强, 光合作用明显增强, 因此碳排放通量减小。11:30—15:30 光强最强、温度变化较小, 通量变化较稳定。15:30 以后光照变弱, 光合速率下降, 同化作用开始下降, 曲线开始上升直至全部转变为系统净排放。

植株碳通量日变化与烟田系统的变化趋势基本一致, 白天变化呈倒梯形, 说明烟田系统碳通量变化主要受植株碳排放的影响, 即烟田生态系统碳通量的主要贡献者是烟草的净光合作用 (总光合作用减呼吸作用消耗), 而不是土壤呼吸。烟田土壤碳通量整体波动较小, 呈现先上升后平缓下降的趋势 (图 1), 日变化幅度总体小于烟田生态系统, 其最大值为 211.6 mg/(m<sup>2</sup>·h), 出现在 9:30, 最小值为 75.4 mg/(m<sup>2</sup>·h), 出现在 7:30, 11:30 以后基本不变。

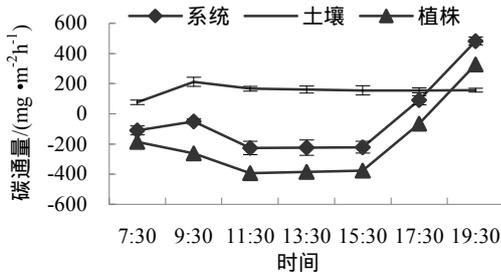


图 1 烟田碳通量日变化

Fig. 1 Diurnal variation of carbon fluxes from tobacco field  
注: 负值表示系统吸收 CO<sub>2</sub>, 正值表示系统排放 CO<sub>2</sub>。

## 2.2 不同有机肥处理对烟田碳通量的影响

由表 1 看出, 不同处理烟田生态系统的碳通量上午均以碳吸收为主, 下午烟田以排放为主。日均排放通量 3 个处理均为负值, 其中 T1 处理最低, 为 -37.1 mg/(m<sup>2</sup>·h), 显著低于其他处理, T2 和 T3 处理之间无显著差异, 这表明有机肥替代化肥处理均显著促进了烟田生态系统 CO<sub>2</sub> 排放, 并且菜枯和烟秆生物肥 2 种替代处理间无显著差异。

烟田土壤上午、下午及白天均以碳排放为主, 白天碳排放通量大小顺序为: T1 > T3 > T2, 但三者之间均无显著差异。这说明菜枯、烟秆生物肥部分替代化学肥料对土壤 CO<sub>2</sub> 排放无显著影响, 并且两种有机肥处理之间无显著差异。

## 2.3 碳排放通量与环境因子的相关性研究

### 2.3.1 烟田生态系统碳排放与环境因子的关系

烟田系统碳通量变化与烟田温、湿度的变化如图 2 所示, 相关分析表明, 白天碳排放通量与土壤湿度呈现极显著负相关, 而与气温、地表温度、5 cm 及 10 cm 地温均无显著相关性 (表 2)。其碳通量的日变化与土壤湿度的关系可用图 3 表示。

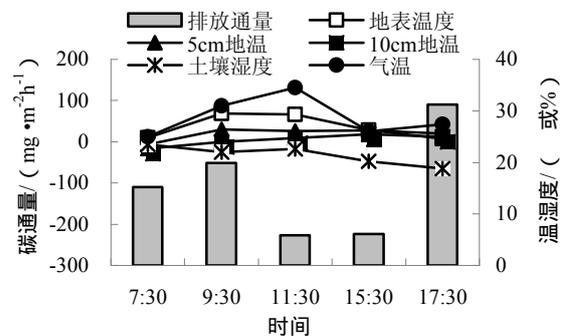


图 2 烟田生态系统碳通量、温湿度日动态变化

Fig. 2 Diurnal variation of carbon fluxes, temperature and moisture in tobacco field ecosystem

表 1 不同处理的烟田碳通量

Table 1 Carbon fluxes from tobacco field in different treatments

处理	烟田生态系统碳排放/(mg·m <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup> )			烟田土壤碳排放/(mg·m <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup> )		
	上午	下午	白天	上午	下午	白天
T1	-129.3±11.2a	32.0±3.6c	-37.1±3.2b	155.7±15.6a	166.5±16.5a	161.9±17.3a
T2	-154.1±12.6b	66.3±6.1a	-28.2±3.7a	130.8±12.6a	138.7±14.5a	135.3±15.3a
T3	-119.3±12.3a	41.6±4.3b	-27.3±3.2a	131.0±13.8a	150.0±12.9a	141.8±16.1a

注: 不同字母代表同一列处理之间碳通量存在显著差异 ( $p < 0.05, n=3$ )。

表2 烟田生态系统碳通量与温湿度的相关性

Table 2 Correlation of tobacco ecosystem carbon fluxes with temperature and soil moisture

相关性	地表温度	5 cm 地温	10 cm 地温	气温	土壤湿度
相关系数	-0.3686	0.1055	0.2051	-0.1931	-0.6784**
P	0.1764	0.7081	0.4633	0.4905	0.0054
n	15	15	15	15	15

注：\*\*表示 0.01 水平差异显著。

2.3.2 烟田土壤碳排放与环境因子的关系 烟田土壤碳通量变化与烟田温、湿度的变化趋势如图 4 所示,进一步相关分析表明,全天碳排放通量与气温、地表温度、5 cm 地温及 10 cm 地温均呈显著或

极显著正相关(表 3)。其碳通量的日变化与温湿度的关系可用图 5 表示。说明在一定范围内,随着温度的升高,土壤碳排放呈现增加的趋势。

表3 烟田土壤碳通量与温湿度的相关性

Table 3 Correlation of tobacco soil carbon fluxes with temperature and soil moisture

相关性	地表温度	5 cm 地温	10 cm 地温	气温	土壤湿度
相关系数	0.7037**	0.5961*	0.6113*	0.6265*	-0.1674
P	0.0050	0.0245	0.0202	0.0165	0.5673
n	15	15	15	15	15

注：\*表示 0.05 水平差异显著，\*\*表示 0.01 水平差异显著。

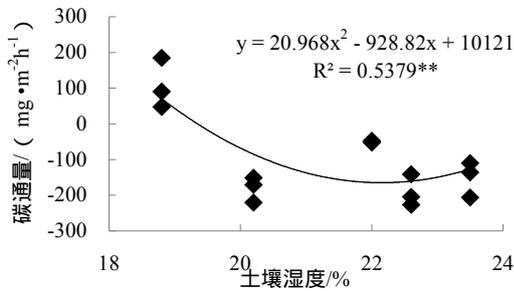


图3 烟田系统碳通量与土壤湿度的关系

Fig. 3 Response of carbon fluxes in tobacco field ecosystem to soil moisture

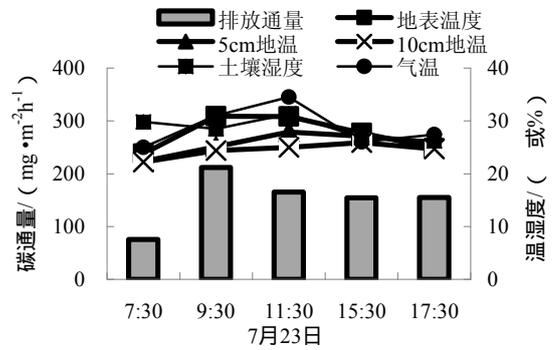


图4 烟田土壤碳通量、温湿度日动态变化

Fig. 4 Diurnal variation of tobacco field soil carbon fluxes, temperature and moisture

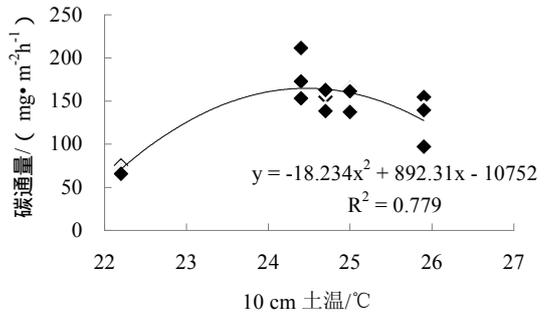
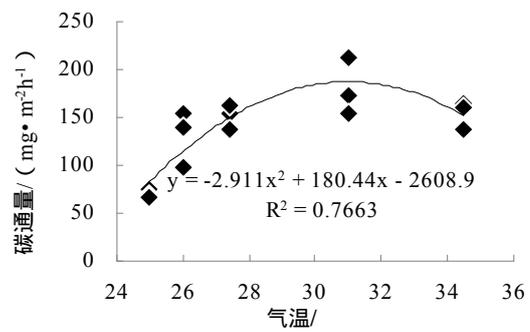
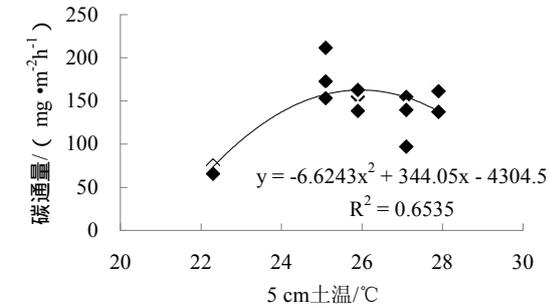
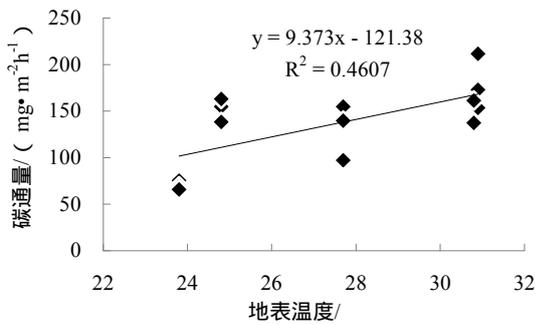


图5 烟田土壤碳通量与温度的关系

Fig. 5 Response of tobacco field soil carbon fluxes to temperatures

### 3 讨论

许多研究均表明,在农作物的生长旺盛期,农田生态系统白天是大气碳汇<sup>[9-10]</sup>。本试验结果也表明,烟田生态系统碳排放通量日间表现为碳吸收。梁涛等<sup>[14]</sup>认为,农田生态系统碳通量排放的最小值出现在中午 12:00,这与本试验结果基本一致。郭家选等<sup>[15]</sup>认为,农田生态系统傍晚 18:30 左右碳通量值趋向于零,与本文结果不同,究其原因可能是:一方面是两个试验地的地势、气候、土壤及作物等条件不同;另一方面也与监测时期及监测方法的不同有关,本文采用静态箱法,而后者采用涡度相关法。李虎<sup>[16]</sup>、汤洁等<sup>[17]</sup>认为,农田土壤碳排放通量日变化呈单峰曲线,最大值出现在 13:00—15:00,而本文最大值出现在 9:30,不一致的原因可能是本文土壤排放不包括植物根系呼吸,而前者包含根系呼吸。

有研究表明,施用有机肥能促进土壤 CO<sub>2</sub> 的排放<sup>[18-19]</sup>。本文中两个有机肥处理土壤碳排放通量与对照无显著差异,可能与有机肥的短期使用不能显著提高土壤有机质含量有关,这与石屹等<sup>[20]</sup>研究结果相同。

温度是影响土壤碳排放的主要因素<sup>[21-22]</sup>,很多学者通过长期观测得出了温度和碳释放量的定量关系,同时指出用地表下 5 cm 或 10 cm 处的温度比用地表温度效果要好,本研究结果与其结论一致,同时在检测时段内,气温与碳排放通量关系也达到极显著正相关。李新玉<sup>[23]</sup>认为,影响生态系统碳通量变化的主要环境因素有光合有效辐射、温度和湿度等。尹春梅等<sup>[24]</sup>认为,在 0~30 °C 范围内,气温、地表温度、5 cm 地温与稻田 CO<sub>2</sub> 通量呈极显著或显著相关。而也有研究认为,生态系统 CO<sub>2</sub> 排放与温度的相关关系较弱,但受光照辐射条件的影响较大<sup>[25]</sup>。这说明在研究生态系统碳排放时只研究其与温度的关系是不足的,同时受试验条件的限制,本研究没有观测烟株光合有效辐射及夜间 12 h 的碳排放通量,这也是下一步需要进一步研究的内容。

### 4 结论

烤烟平顶期烟田生态系统碳通量日变化整体表现为碳吸收,碳排放通量的最小值出现在中午 12:00 左右。烟田土壤日碳排放通量与 5 cm 地温和 10 cm 地温达到极显著相关。将来进行烟田碳排放通量日变化研究时,建议做 24 h 的昼夜通量研究,同时要观测烟株光合有效辐射,以便研究其与烟田生态系统碳通量的关系。

#### 参考文献

- [1] Moureaux C, Debacq A, Bodson B, et al. Annual net ecosystem carbon exchange by a sugar beet crop [J]. *Agric. For. Meteorol*, 2006, 139: 25-39.
- [2] Berbigier P, Bonnefond J M, Mellmann P. CO<sub>2</sub> and water vapor fluxes for 2 years above Euro flux forest site [J]. *Agric. For. Meteorol*, 2001, 108: 183-197.
- [3] 李长生. 土壤碳储量减少: 中国农业之隐患——中美农业生态系统碳循环对比研究[J]. *第四纪研究*, 2000 (4): 345-350.
- [4] 张国明, 郭李萍, 史培军. 农田土壤生态系统冬小麦夏玉米轮作 CO<sub>2</sub> 排放特征研究[J]. *北京师范大学学报: 自然科学版*, 2007, 43 (4): 457-460.
- [5] 张中杰, 朱波, 江长胜, 等. 川中丘陵区旱地小麦生态系统 CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O 和 CH<sub>4</sub> 排放特征[J]. *生态学杂志*, 2005, 24 (2): 131-135.
- [6] 王建林, 温学发, 孙晓敏, 等. 华北平原冬小麦生态系统齐穗期水碳通量日变化的非对称响应[J]. *华北农学报*, 2009, 24 (5): 159-163.
- [7] 蔡艳, 丁维新, 蔡祖聪. 土壤-玉米系统中土壤呼吸强度及各组分贡献[J]. *生态学报*, 2006, 26 (12): 4273-4280.
- [8] 朱咏莉, 童成立, 吴金水, 等. 透明箱法监测稻田生态系统 CO<sub>2</sub> 通量的研究[J]. *环境科学*, 2005, 25 (6): 8-14.
- [9] 朱咏莉, 吴金水, 陈微微, 等. 稻田生态系统 CO<sub>2</sub> 通量的日变化特征[J]. *中国农学通报*, 2007, 23 (9): 603-606.
- [10] 王尚明, 胡继超, 吴高学, 等. 亚热带稻田生态系统 CO<sub>2</sub> 通量特征分析[J]. *环境科学学报*, 2011, 31 (1): 217-224.
- [11] 董玉红, 欧阳竹. 有机肥对农田土壤二氧化碳和甲烷通量的影响[J]. *应用生态学报*, 2005, 16 (7): 1303-1307.
- [12] 薛晓辉. 典型旱作区施肥对农田氮淋溶以及温室气体排放的影响[D]. 北京: 中国农业科学院研究生院, 2010.

- [13] 刘合明,刘树庆. 不同施氮水平对华北平原冬小麦土壤 CO<sub>2</sub> 通量的影响[J]. 生态环境, 2008, 17(3): 1125-1129.
- [14] 梁涛,李荣平,吴航,等. 玉米农田生态系统 CO<sub>2</sub> 通量的动态变化[J]. 气象与环境学报, 2012, 28(3):49-53.
- [15] 郭家选,李玉中,梅旭荣. 冬小麦农田尺度瞬态 CO<sub>2</sub> 通量与水分利用效率日变化及影响因素分析[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(3): 78-81.
- [16] 李虎. 黄淮海平原农田土壤 CO<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub>O 释放及区域模拟评价研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2006.
- [17] 汤洁,韩源,刘森. 吉林西部不同土地利用方式下的生长季土壤 CO<sub>2</sub> 排放通量日变化及影响因素[J]. 生态环境学报, 2012, 21(1): 33-37.
- [18] 陈义,吴春艳,水建国,等. 长期施用有机肥对水稻土 CO<sub>2</sub> 释放与固定的影响[J]. 中国农业科学, 2005, 38(12): 2468-2473.
- [19] Ginting D, Kessavalou A, Eghball B, et al. Greenhouse gas emissions and soil indicators four years after manure and compost applications[J]. Environ Qual, 2003, 32: 23-32.
- [20] 石屹,姜鹏超,赵兵,等. 有机肥料定位还田对烟叶品质及土壤性状的影响[J]. 中国烟草科学, 2009, 30(1): 5-9.
- [21] QI Y, XU M, WU J G. Temperature sensitivity of soil respiration and its effects on ecosystem carbon budget: nonlinearity begets surprises[J]. Ecological Modelling, 2002, 153(1-2): 131-142.
- [22] 李琳,张海林,陈阜. 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.
- [23] 李新玉,耿绍波,赵淑琴,等. 淮北平原农林复合生态系统非生长季 CO<sub>2</sub> 通量变化特征[J]. 水土保持研究, 2011, 18(5): 132-138.
- [24] 尹春梅,谢小立,王凯荣. 稻田冬闲期 CO<sub>2</sub> 气体排放的观测研究[J]. 生态环境, 2007, 16(1): 71-76.
- [25] RAICH J W, TUFEKILGH A. Vegetation and soil respiration: Correlations and controls[J]. Biogeochemistry, 2000, 48: 71-90.

(上接第42页)

- [4] 徐光辉,熊淑萍,王璐,等. 氮素形态对烤烟成熟叶片组织结构及叶绿素含量的影响[J]. 中国农学通报, 2008, 24(9): 233-236.
- [5] 邓世媛,陈建军. 干旱胁迫下氮素营养对烤烟光合特性的影响[J]. 中国农学通报, 2005, 21(9): 209-212.
- [6] 云菲,刘国顺,史宏志,等. 光氮互作对烤烟光合作用及叶绿素荧光特性的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(5): 932-941.
- [7] 刘丹,朴世领,郑仙霞,等. 干旱胁迫下氮对烤烟生长及生理特性的影响[J]. 吉林农业科学, 2008, 33(2): 29-31, 52.
- [8] 王明,杨春明. 昆明冬春香料烟气候生态分区[J]. 中国烟草科学, 2001, 22(2): 36-38.
- [9] 许大全. 光合作用“午睡”现象的生态、生理与生化[J]. 植物生理学通讯, 1990(6): 5-10.
- [10] 张燕,李天飞,宗会,等. 云南保山香料烟光合特性的研究[J]. 中国烟草学报, 2005, 11(6): 44-47.
- [11] 宗会,温华东,张燕,等. 氮肥形态、用量和种植密度对香料烟光合作用的影响[J]. 烟草科技, 2004(1): 33-35.
- [12] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photo-synthesis[J]. Plant Physiology, 1982, 33: 317-345.
- [13] 吕爱霞,杨吉华,夏江宝,等. 3种阔叶树气体交换特性及水分利用效率影响因子的研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(3): 188-191.
- [14] 邹建民,史建军,冯敏玉,等. 水氮耦合对烤烟团棵期光合特性的影响研究[J]. 江西农业大学学报, 2009, 31(2): 220-225.