

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第10期

Vol.34 No.10

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

南京地区大气气溶胶 PM _{2.5} 中稳定碳同位素组成研究	吴梦龙, 郭照冰, 刘凤玲, 孙德玲, 卢霞, 姜文娟 (3727)
太原市空气颗粒物中正构烷烃分布特征及来源解析	胡冬梅, 彭林, 白慧玲, 牟玲, 韩峰, 刘效峰, 冀豪栋, 张鹏九 (3733)
交通与气象因子对不同粒径大气颗粒物的影响机制研究	罗娜娜, 赵文吉, 晏星, 官兆宁, 熊秋林 (3741)
公交车燃用生物柴油的颗粒物排放特性	楼狄明, 陈峰, 胡志远, 谭丕强, 胡炜 (3749)
兰州及其周边区域大气降水 δ ¹⁸ O 特征及其水汽来源	陈粉丽, 张明军, 马潜, 李小飞, 王圣杰, 李菲 (3755)
天山乌鲁木齐河源 1 号冰川区气溶胶水溶性离子变化特征及来源分析	岳晓英, 李忠勤, 张明军, 周平, 樊晋 (3764)
O ₃ /H ₂ O ₂ 氧化苯乙烯气体性能及机制	何觉聪, 黄倩茹, 叶杞宏, 罗雨薇, 张再利, 樊青娟, 魏在山 (3772)
马尾松针叶组织稳定硫同位素地球化学特征及来源示踪	关晖, 肖化云, 朱仁果, 郑能建, 瞿玲露 (3777)
江西省表层土壤和苔藓硫含量及硫同位素组成对比研究	李男, 肖化云, 陈永忠, 周丹, 罗笠, 吴代敏 (3782)
辽河流域非点源污染空间特征遥感解析	王雪蕾, 蔡明勇, 钟部卿, 姚延娟, 殷守敬, 吴迪 (3788)
景观带尺度高寒区水文特征时空变化规律研究	杨永刚, 胡晋飞, 肖洪浪, 邹松兵, 尹振良 (3797)
金普湾海域表层沉积物中基质结合态磷化氢的分布特征	游丽丽, 宗海波, 张淑芳, 尹国宇, 李涛, 侯立军 (3804)
崇明东滩湿地干湿交替过程脲酶活性变化初探	韩建刚, 曹雪 (3810)
FDA 水解酶分析法表征近海泥滩微生物活性	刘叶, 邹立, 刘陆, 高冬梅 (3818)
中国东北主要河流沉积物中多溴二苯醚的含量状况及生态风险分析	袁海峰, 成杭新, 赵传冬, 刘应汉, 杨柯, 李括, 彭敏, 刘飞 (3825)
深圳大鹏湾海域表层沉积物和生物体中多环芳烃残留及其风险评价	孙闰霞, 柯常亮, 谷阳光, 卢腾腾, 杜飞雁, 马胜伟, 林钦 (3832)
PMF 和 PCA/MLR 法解析上海市高架道路地表径流中多环芳烃的来源	边璐, 李田, 侯娟 (3840)
三峡库区蓄水初期大宁河重金属食物链放大特征研究	余杨, 王雨春, 周怀东, 高博, 赵高峰 (3847)
小型封闭水体环境因子与叶绿素 a 的时空分布及相关性研究	李飞鹏, 张海平, 陈玲 (3854)
太湖氮、磷自净能力的实验与模型模拟	韩涛, 翟淑华, 胡维平, 张红举, 李钦钦 (3862)
湖泊疏浚方式对内源释放影响的模拟研究	陈超, 钟继承, 范成新, 孔明, 余居华 (3872)
水体/底泥生物基城市河道富营养化水体修复试验研究	周慧华, 宋晓光, 吴革, 谢鑫源 (3879)
底泥调控剂对感潮河涌沉积物中重金属的影响	区凤荏, 孙国萍, 许玫英 (3888)
区域水化学条件对淮南采煤沉陷区水域沉积物磷吸附特征的影响研究	易齐涛, 孙鹏飞, 谢凯, 曲喜杰, 王婷婷 (3894)
4 种人工湿地填料的 f2 噬菌体吸附特性	陈迪, 郑祥, 魏源送, 杨勇 (3904)
稻壳灰对抗生素磺胺的吸附特性研究	纪莹雪, 王凤贺, 张帆, 张艳红, 王国祥, 顾中铸 (3912)
紫外辐射对腐殖酸化学稳定性影响机制研究	王文东, 周礼川, 丁真真, 王洪平, 孙学军 (3921)
基于石墨烯载体的铁基材料制备及除砷性能比较	朝木尔乐格, 冯流, 霍艳霞 (3927)
nTiO ₂ 在水中的分散沉降行为研究	陈金媛, 方金凤, 魏秀珍 (3933)
微生物-铁氧化物交互作用对黄土中砷活化迁移的影响	谢芸芸, 陈天虎, 周跃飞, 谢巧勤 (3940)
两性离子在聚偏氟乙烯 (PVDF) 膜表面接枝改性的研究	周桂花, 肖峰, 肖萍, 王东升, 段晋明, 石健, 臧莉 (3945)
化粪池排口处土壤对典型农户生活污水氮素污染物的消减测算研究	周锋, 王文林, 王国祥, 马久远, 万寅婧, 唐晓燕, 梁斌, 季斌 (3954)
珠江三角洲典型集约化猪场废水污染特征及风险评价	李文英, 彭智平, 于俊红, 黄继川, 徐培智, 杨少海 (3963)
污泥堆肥草坪基质利用对草坪生长及土壤和水环境的影响	金树权, 周金波, 陈若霞, 林斌, 王德耀 (3969)
活性污泥絮体粒径分布与分形维数的影响因素	李振亮, 张代钧, 卢培利, 曾善文, 杨永浩 (3975)
不同恢复方式对硝化颗粒污泥活性的影响	郭秀丽, 高大文, 卢健聪 (3981)
生物陶粒反应器的氨自养反硝化研究	陈丹, 王弘宇, 宋敏, 杨开, 刘晨 (3986)
亚高山草甸土壤呼吸的空间异质性研究	严俊霞, 李君剑, 李洪建, 张义辉 (3992)
SiB3 模式对作物区 CO ₂ 通量的模拟研究	张庚军, 卢立新, 蒋玲梅, 蒋磊, Ian Baker (4000)
缙云山土地利用方式对土壤活性有机质及其碳库管理指数的影响	徐鹏, 江长胜, 郝庆菊, 祝滔 (4009)
典型农业城市街道灰尘重金属特征及其环境风险评价: 以许昌市为例	闫慧, 陈杰, 肖军 (4017)
苏州、无锡和南通道路灰尘中的多溴联苯醚和多氯联苯	史双昕, 董亮, 李玲玲, 张辉, 李斯明, 张天野, 黄业茹 (4024)
废旧汽车拆解区土壤中多环芳烃垂向分布特性	吴彦瑜, 胡小英, 洪鸿加, 彭晓春 (4031)
铬污染土壤的稳定化处理及其长期稳定性研究	王旌, 罗启仕, 张长波, 谈亮, 李旭 (4036)
典型磺胺类抗生素在土柱中的淋溶规律研究	李曼, 陈卫平, 魏福祥, 焦文涛 (4042)
3 种金属氧化物纳米材料在不同土壤中迁移行为研究	方婧, 余博阳 (4050)
多孔介质中 NAPLs 流体毛细管指进形态及分形表征	李慧颖, 杜晓明, 杨宾, 伍斌, 徐竹, 史怡, 房吉敦, 李发生 (4058)
毛竹入侵对常绿阔叶林主要树种的化感作用研究	白尚斌, 周国模, 王懿祥, 梁倩倩, 陈娟, 程艳艳, 沈蕊 (4066)
珠江口典型水产养殖区抗生素抗性基因污染的初步研究	梁惜梅, 袁湘平, 施震 (4073)
江苏盐城地区水产品重金属含量与安全评价	刘洋, 付强, 高军, 徐网谷, 殷波, 曹亚乔, 秦卫华 (4081)
铜胁迫对不同基因型谷子幼苗基因组 DNA 多态性的影响	张义贤, 付亚萍, 肖志华, 张喜文, 李萍 (4090)
利用高通量测序对封存 CO ₂ 泄漏情景下土壤细菌的研究	田地, 马欣, 李玉娥, 查良松, 伍洋, 邹晓霞, 刘爽 (4096)
酸性矿山废水区域废矿石中真核生物多样性分析	李思远, 郝春博, 王丽华, 吕铮, 张丽娜, 刘莹, 冯传平 (4105)
十溴联苯醚降解菌的特性及功能蛋白初步分析	常晶晶, 尹华, 秦华明, 叶锦韶, 彭辉, 宋小飞 (4112)
硒对水稻吸收积累和转运锰、铁、磷和硒的影响	胡堂, 黄益宗, 黄艳超, 刘云霞, 梁建宏 (4119)
外源铁对不同番茄品种生理特性、镉积累及化学形态的影响	刘俊, 周坤, 徐卫红, 陈惠, 张明中, 江玲, 杨芸, 王崇力, 熊治庭 (4126)
电子废物排放持久性有毒污染物的控制政策分析	李力, 吕永龙, 王铁宇 (4132)
《环境科学》征稿简则 (3926) 《环境科学》征订启事 (4057) 信息 (3878, 3953, 3999, 4041)	

SiB3 模式对作物区 CO₂ 通量的模拟研究

张庚军^{1,2}, 卢立新^{3*}, 蒋玲梅^{4,5}, 蒋磊^{1,2}, Ian Baker⁶

(1. 中国科学院遥感与数字地球研究所遥感科学国家重点实验室, 北京 100101; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 美国科罗拉多州立大学大气联合研究所, CO 80523; 4. 北京师范大学/中国科学院遥感应用研究所遥感科学国家重点实验室, 北京 100875; 5. 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875; 6. 美国科罗拉多州立大学大气科学系, CO 80523)

摘要: 以苏州东山观测站农田为对象, 通过使用简单生物圈模式 (SiB3), 在苏州东山站选取不同植被类型作为模式输入参数进行 CO₂ 通量的模拟, 并利用苏州东山站 2010-04-16 ~ 2011-06-30 日的观测数据进行对比, 讨论不同植被对苏州东山站 CO₂ 通量的影响. 结果发现, 选择玉米作为站点植被类型输入模式模拟的各月 CO₂ 通量日变化趋势与观测数据比较一致; 而选择普通作物类型输入模式模拟获得的 CO₂ 通量, 在 4 月和 5 月, 白天低估 CO₂ 通量, 6 月高估 CO₂ 通量; 选择茶树类型作为模式植被类型输入的模拟结果, 高估 5 月和 6 月白天的 CO₂ 通量. 另外, 本研究还使用 SiB3 模式对每日 CO₂ 通量进行模拟, 与观测对比后发现, 选择的 3 种植被类型模拟获得的结果能较准确模拟出每日 CO₂ 通量的收支, 但存在一定偏差. 这说明, 选择正确的植被类型能够使 SiB3 模式有效地模拟出 CO₂ 通量的日变化, 但对时间从小时上升到每日尺度的 CO₂ 通量进行模拟时还存在一定困难, 需要进一步验证.

关键词: SiB3; CO₂ 通量; 植被类型; 模拟; 观测

中图分类号: X144; X171.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)10-4000-09

Modeling of CO₂ Fluxes at Cropland by Using SiB3 Model

ZHANG Geng-jun^{1,2}, LU Li-xin³, JIANG Ling-mei^{4,5}, JIANG Lei^{1,2}, Ian Baker⁶

(1. State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Cooperative Institute for Research in the Atmosphere, Colorado State University, CO 80523, USA; 4. State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Jointly Sponsored by Beijing Normal University and the Institute of Remote Sensing Applications of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100875, China; 5. School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 6. Department of Atmosphere Science, Colorado State University, CO 80523, USA)

Abstract: The aim is to study the influence of different vegetation types on CO₂ fluxes at the same site, taking farmland as the object by using the simple biosphere model (SiB3), select different vegetation types in Suzhou Dongshan site as input parameters of model to simulate CO₂ fluxes, and compare with the observational data in Suzhou Dongshan site during 2011-04-16 to 2011-06-30. Results show that using corn as the site vegetation type input model to simulate CO₂ fluxes showed a very good diurnal variation agreement compared to the measured data, but selecting the ordinary crop type input model to simulate CO₂ fluxes, CO₂ fluxes during the daytime in April and May were undervalued, and CO₂ fluxes in June were overvalued; when we select the tea type to input the model, the simulated results significantly overestimated CO₂ fluxes during the daytime in May and June. In addition, when using SiB3 model to simulate the daily CO₂ fluxes, all three vegetation types input model can effectively simulate daily CO₂ fluxes, but not significantly. It shows that choosing the right type vegetation input SiB3 model can effectively simulate the diurnal variation of CO₂ fluxes, but can not effectively improve the daily CO₂ fluxes simulation.

Key words: SiB3; CO₂ fluxes; vegetation type; simulation; observation

二氧化碳 (CO₂)、甲烷 (CH₄)、氧化亚氮 (N₂O) 是大气中 3 种重要的温室气体, 由于其浓度在大气中不断增加而引起全球变暖等一系列问题, 已备受当今世界的普遍关注^[1~3]. 政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 报道指出, CO₂ 作为主要的温室气体, 对增强温室效应的贡献率约占 60%. 而农田生态系统作为陆地生态系统的重要组成部分, 与人类活动密切相关, 并且是重要的碳源和碳汇^[4~6], 其 CO₂ 通量的交换特征和变化规律受到各国科学家的

广泛关注^[7~16].

研究生态系统 CO₂ 通量的主要方法是对观测资料的诊断分析, 但是目前被广泛用于 CO₂ 通量观测的涡动相关法依然存在一些缺陷: ①相关研究多

收稿日期: 2012-12-26; 修订日期: 2013-05-08

基金项目: 国家重点基础研究发展规划 (973) 项目 (2010CB428502); 国家自然科学基金项目 (40930530, 41075112)

作者简介: 张庚军 (1985 ~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为陆面过程, E-mail: zhanggengjun3@gmail.com

* 通讯联系人, E-mail: lixin@atmos.colostate.edu

数假设下垫面水平均匀,但是植被很少生长在平坦地区,所以多数观测站不满足近地层常通量层条件^[17,18];②由于仪器物理限制导致的通量损失,在足够低或者高频率时,涡动相关系统将衰减真实的湍流信号^[19];③数据处理时通常需要经过一定的校正(如 WPL 方法),而且观测中会出现野点和缺测,对野点的剔除和补偿都会导致一定误差,特别是降水期间,观测仪器容易出现问題,造成观测的 CO₂ 通量存在较多的缺测和野点;④对于大区域或者全球 CO₂ 通量的研究,观测所需的人力物力巨大,使使用仪器观测大范围 CO₂ 通量面临严重挑战.正是基于观测还存在不少问题,使用模式对 CO₂ 通量进行模拟研究也是一种有效的补充,而一些陆面模式(如 SiB2)能够模拟出植被的生理生态过程而被不少国内外学者用于站点 CO₂ 通量的研究. Colello 等^[20]在美国堪萨斯州使用 SiB2 模式对草原观测站的 CO₂ 通量进行模拟和验证,发现需要提高 SiB2 模式对土壤生物物理过程的模拟能力才能精确估算净 CO₂ 交换; Hanan 等^[21]使用 SiB2 模式对美国俄克拉荷马州的大草原和冬小麦进行模拟,与观测对比后发现 SiB2 在太阳天顶角较低时高估植被光合速率; Baker 等^[22]使用改进的 SiB2.5 模式对 welf 观测站进行生态系统 CO₂ 净交换(NEE)模拟验证时,得到较好效果.同时,国内学者高志球等^[23]使用 SiB2 模式对常熟地区水稻不同生长期的 CO₂ 通量进行了模拟分析;袁再健等^[16]使用 SiB2 模式对华北平原冬小麦生长期的 CO₂ 通量特征进行模拟,发现模拟结果与观测有较好的一致性; Yan 等^[24]使用 SiB2 模式对吉林通榆站的 CO₂ 通量进行模拟时获得较好效果.

简单生物圈模式(SiB)是由 Sellers 等^[25]提出,随后又成功引入光合作用-导度模型^[26~28]用于模拟植被光合作用过程. Denning 等^[29]将计算土壤呼吸作用的方法引入 SiB2 模式,使 SiB 模式能够模拟出生态系统 CO₂ 净交换(NEE). SiB3 模式的主要改进有:①Baker 等^[30,31]使用类似 CoLM 模式^[32]的十层土壤结构替换了 SiB2 中的三层土壤区结构,并且使植被根部贯穿整个十层土壤层,总土壤层深度达到 3.5m;②土壤层温度由“强迫-恢复”方式更改为“求解热扩散方程”;③增加了一层可以预报温度、湿度和微量气体的冠层空间^[21,22,33],以此改善 SiB2 中模拟冠层光合作用偏大的现象;④Baker 等^[30]对 SiB3 模式的土壤水压力因子进行了修正.改进后的模式版本被称为 SiB3, SiB3 的通用性更强,不仅能

够进行单点模拟,而且能够对区域进行模拟,在使用上更加简单易行. Rosolem 等^[34]使用 SiB3 模式对热带雨林站点的 NEE 进行模拟,发现调整与土壤呼吸有关的参数后,模拟结果能够很好与观测吻合.与此同时, SiB3 模式也被用于区域碳通量的研究, Williams 等^[35]运用 SiB3 模式对整个非洲地区光合作用的年际变化和空间分布进行研究; Baker 等^[31]运用 SiB3 模式对北美地区的总初级生产力进行模拟,并做了站点的检验; Schuh 等^[36]运用 SiB3 模式对北美洲 2004 年的 CO₂ 通量进行 40 km 空间精度的模拟研究.

目前国内外学者对农田生态系统 CO₂ 通量的研究,部分集中在单一农作物类型,如水稻、小麦、大豆、玉米等^[37~41],而对同一地区种植多种类型作物的 CO₂ 通量研究报道相对较少,主要由于在多种植被生长的区域,很难由观测得到单一植被类型的 CO₂ 通量,通常由涡动相关系统观测得到的 CO₂ 通量都是混合植被总的通量.正是基于目前观测技术对混合植被地区单一植被贡献的 CO₂ 通量大小很难测量,所以本文将使用简单生物圈模式(SiB3)对多种作物区的 CO₂ 通量进行模拟研究.虽然使用模式来研究单一植被贡献的 CO₂ 通量大小存在一定误差,但也是认识和理解同一地区不同植被类型对 CO₂ 通量的不同影响的一种可行手段.

1 材料与方法

1.1 站点观测

本研究使用的观测数据为苏州东山站观测资料,该观测站于 2011 年初建立.苏州东山站位于北纬 31°04',东经 120°26',海拔高度约 4 m,邻近太湖,下垫面植被类型比较复杂,资料时间范围内站点周围生长着茶树、玉米和其它农作物,该站点代表了长三角地区城市郊区边界层的特点.

1.2 观测资料处理方法

涡动相关通量系统采集传感器高度上的水平风速、垂直风速、温度、水汽密度和 CO₂ 密度. CO₂ 通量由下式计算:

$$F_c = \overline{w'\rho_c'} \quad (1)$$

式中, w' 表示垂直风速的脉动, ρ_c' 表示 CO₂ 密度的脉动.

值得注意的是,对于大气痕量气体的观测通量,如 CO₂ 通量,需要进行 WPL 修正^[39],对 CO₂ 通量进行 WPL 修正后得到如下 CO₂ 通量计算公式^[43]:

$$F_{c-WPL} = \overline{w'\rho_c'} + (\overline{\rho_c}/\overline{\rho_a})[\mu/(1+\mu\sigma)]E$$

+ [(ρ_c/ρ)/(c_pT)]H (2)

式中,μ表示干空气与水汽分子量之比,σ表示干空气与水汽的密度比,‘-’表示在一定时间间隔内求平均,ρ表示空气密度,ρ_c表示CO₂密度,ρ_a表示干空气密度,c_p表示定压比热,T表示空气温度,H表示感热通量,E表示蒸散速率.式(2)可理解为直接算得的CO₂通量需要加上一个水汽通量修正项和一个感热通量修正项.

1.3 模式计算CO₂通量方法

SiB3模式中计算CO₂通量主要是在SiB2模式的基础上增加了一个可以预报冠层空间层CO₂偏压的预报方程^[33],如(3)式:

c_a(∂CO₂/∂t) = -F_{CO_{2a}} + F_{CO_{2c}} + F_{CO_{2g}} (3)

式中,c_a表示冠层空间层存储容量,CO_{2a}表示冠层空间层CO₂偏压,F_{CO_{2a}}表示冠层空间层CO₂通量,F_{CO_{2c}}表示冠层叶子CO₂通量,F_{CO_{2g}}表示地面CO₂通量.

SiB3模式中计算CO₂通量方式如(4)式所示:

F_{CO_{2a}} = κ(CO_{2a} - CO_{2r})/r_a (4)

式中,κ表示一个单位转换因子,r_a表示冠层空间层阻抗,CO_{2r}表示参考高度CO₂偏压.

2 试验设计

2.1 气象强迫数据

气象强迫数据时间范围为2011-04-16~2011-06-30,输入SiB3模式的气象要素有:风速、气温、气压、水汽压、下行太阳短波辐射、下行大气长波辐射和降水,数据步长为30 min.图1所示为30 min每次的空气温度、下行短波辐射和日降水量的变化情况,从中发现,4月和5月降水较少,而6月进入季风期后,降水明显增加,并且在降水期间,空气温度和下行短波辐射均明显减小.表1所示为气象强迫资料的基本信息.

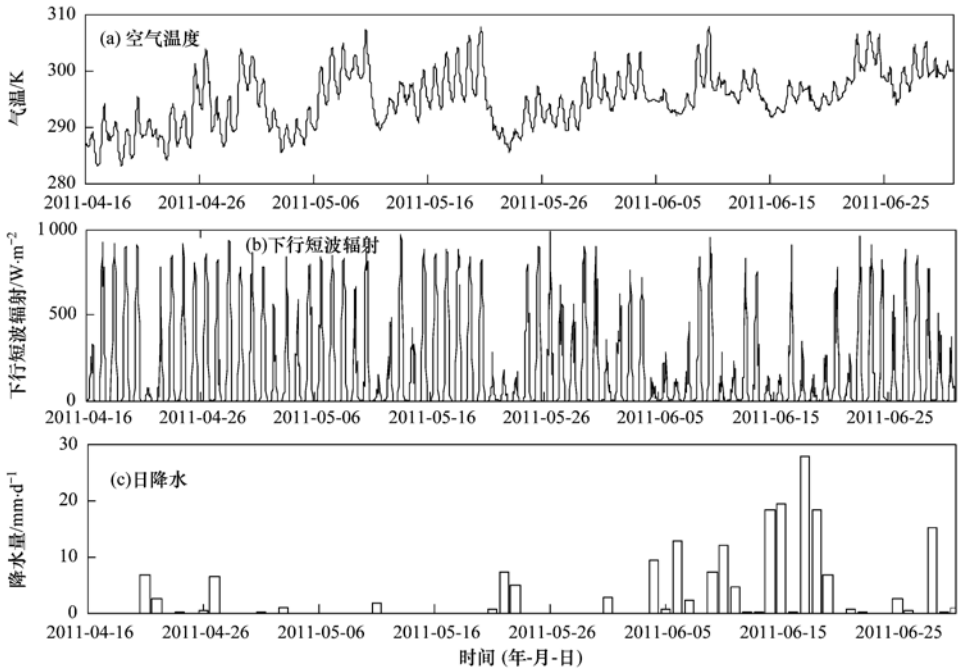


图1 气象观测数据的逐日分布

Fig. 1 Daily distribution of meteorological observation data

表1 气象强迫资料基本信息

Table 1 Information of meteorological forcing data

平均气温 /K	平均风速 /m·s ⁻¹	平均大气压强 /hPa	平均/最大下行短波 /W·m ⁻²	平均/最大下行长波 /W·m ⁻²	降水总量 /mm
295.50	3.04	10.04	176.11/983.01	381.42/481.20	193.80

2.2 参数设置

苏州东山站的土壤类型为“粉砂黏壤土”,模式所需静态参数按照文献[22,28]进行设置,动态变

化参数(叶面积指数,植被覆盖率,植被绿度)按照相应观测时间段内MODIS遥感影像提供的1 km × 1 km的归一化植被指数(NDVI)数据计算得到,具

体计算过程如下:

$$SR_FPAR = (SR - SR_{min}) FPAR_{rang} / SR_{rang} + FPAR_{min} \quad (5)$$

式中, FPAR 表示光合有效辐射吸收比率, $SR = (1 + NDVI) / (1 - NDVI)$, $SR_{rang} = SR_{max} - SR_{min}$ 根据 Los 等^[44]提供的查找表 1 计算得到, $FPAR = FPAR_{max} - FPAR_{min}$.

$$NDVI_FPAR = (NDVI - NDVI_{min}) \cdot \frac{FPAR_{rang} / NDVI_{rang} + FPAR_{min}}{NDVI_{rang} - NDVI_{min}} \quad (6)$$

式中, $NDVI_{rang} = NDVI_{max} - NDVI_{min}$ 根据文献^[44]表 1 提供的数据计算得到.

$$FPAR = (SR_FPAR + NDVI_FPAR) / 2 \quad (7)$$

$$L_g = (1 - F_{cl}) LAI_{i,max} \cdot \lg(1 - FPAR) / \lg(1 - FPAR_{max}) + F_{cl} \cdot LAI_{i,max} \cdot FPAR / FPAR_{max} \quad (8)$$

式中, L_g 表示绿叶面积指数; F_{cl} 表示丛植被分数, 可通过查找文献^[28]得到; i 表示植被的类型.

$$N_g = L_g / L_T \quad (9)$$

式中, N_g 表示冠层绿度, $L_T = L_g + L_s + L_d$, 而 L_T 、 L_g 、 L_s 和 L_d 分别表示总叶面积指数, 冠层绿叶面积指数, 茎面积指数和死叶面积指数.

$$FV_{cover} = FPAR / FPAR_{max} \quad (10)$$

式中, FV_{cover} 表示植被覆盖率.

由于苏州东山站周围植被类型较复杂, 对应 SiB3 模式中的植被分类也不相同, 本研究将根据站点植被特点, 选取 3 种不同类型的植被分别作为模式的植被输入类型, 讨论其对模拟 CO₂ 通量的影响, 第一种植被类型为春玉米(属于 C4 植被类型作物), 第二种植被类型为茶树(属于灌木类型), 第三种植被类型为普通作物, 主要以杂草和种植的蔬菜为主(属于 C3 植被类型作物).

2.3 模型初始化

苏州东山站的主要初始参数设置如表 2 所示, 还有土壤各层温度和湿度, 需要根据观测数据进行

初始化.

表 2 SiB3 初始值信息

Table 2 Initial condition used in SiB3	
初始化参数	苏州东山站初始值
冠层温度/K	293
地表温度/K	293
冠层体腔温度/K	293
观测高度温度/K	293
水汽压混合比/kg·kg ⁻¹	0.015
冠层体腔 CO ₂ 偏压/Pa	35.8

3 结果与分析

3.1 CO₂ 通量日变化模拟分析

图 2 所示为 2011 年 4 月后半月观测的 CO₂ 通量值与分别以 3 种不同植被类型作为模式参数输入的模拟结果日变化对比. 分析发现, 选择玉米类型、普通作物类型和茶树类型模拟的夜晚 CO₂ 通量差异较小, 而白天, 玉米类型、普通作物类型和茶树类型模拟结果有较大差异, 最大最小 CO₂ 通量如表 3 所示. 玉米类型模拟结果上午与观测较一致, 下午则有较明显偏低, 对植被光合速率高估是导致下午 CO₂ 通量偏低的直接原因; 普通作物类型模拟结果在上午温度相对较低时的光合速率能够达到较大水平, 中午随温度和光照增强, 植被羧化作用受到限制, 光合速率没有继续增加; 茶树类型模拟结果 06:00~09:00 点偏低, 随后 09:00~14:00 点偏高, 14:00~18:00 点偏低, 这说明太阳刚升起时, 模式中茶树对光合有效辐射有较强敏感性, 造成清晨 CO₂ 通量偏低, 但是随着光合有效辐射和温度的增加, 模式中茶树受到最大羧化能力限制, 光合作用达到最大值, 造成中午 CO₂ 通量偏高, 到了傍晚光合有效辐射和温度都迅速减少, 而茶树类型此时高估光合作用, 造成 CO₂ 通量偏低. 4 月后半月观测站点的玉米处于三叶期以后, 生长速度加快, 白天光合速率大于呼吸速率; 而茶树在 4 月受采摘影响, 嫩芽受到人为破坏, 对 CO₂ 通量贡献减弱; 而其它的

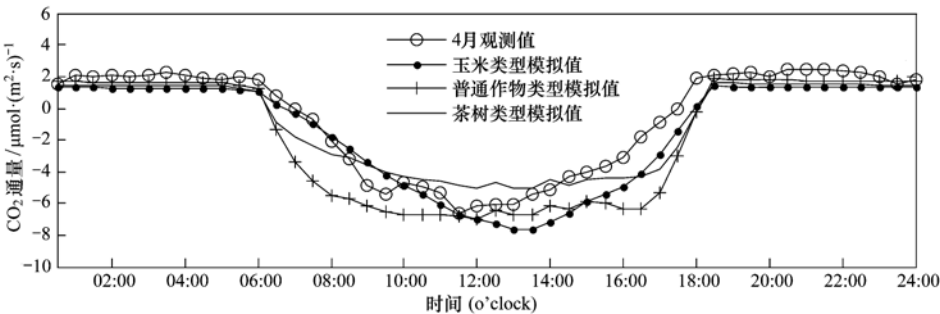


图 2 4 月 CO₂ 通量模拟值与观测值按月复合的日变化对比

Fig. 2 Compare CO₂ fluxes of diurnal composites of observations with SiB3 simulated in April

普通作物和杂草正处于生长季节,温度和光照都比较适宜,有利于光合.

表3 4月CO₂通量模拟与观测每日信息/ $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$

Table 3 Simulated and observed daily information of CO₂

fluxes in April/ $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$				
项目	玉米类型	普通作物类型	茶树类型	观测值
最大值	1.41	1.87	1.61	2.43
最小值	-7.65	-7.02	-5.09	-6.67

从图3分析发现,5月19:00~23:00,普通作物类型和茶树类型模拟结果与观测接近,而玉米类型则偏低,这可能是由于19:00~23:00点这段时间,土壤和空气温度相对较高,普通作物和茶树的呼吸作用比玉米更容易受到温度的影响,所以呼吸较高,而从观测的CO₂通量发现,这段时间CO₂通量的变换趋势更趋向于普通作物和茶树的呼吸速率;从00:00~05:00点,玉米类型模拟结果与观测值接

近,普通作物类型和茶树类型则略偏高.整个夜晚,玉米类型、普通作物类型和茶树类型模拟的最大CO₂通量分别为1.45、2.37和1.99 $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$,而观测的CO₂通量最大为2.22 $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$.白天,玉米类型模拟结果在05:30~07:00点有较明显偏低,之后与观测结果较一致,最小CO₂通量为-7.44 $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$;5月普通作物类型模拟CO₂通量的最小值出现在09:00,为-8.38 $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$,而实际观测的最小值出现在中午12:00点,为-8.11 $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$,之后随着光照和温度的增加,CO₂通量反而上升;而茶树类型模拟结果从09:00~16:00点都严重偏大.进入5月,玉米处于七叶期,生长旺盛,白天光合作用显著增加,从而使得CO₂通量绝对值增大,继而影响整个下垫面植被的CO₂通量,对站点CO₂通量贡献处于主要地位.

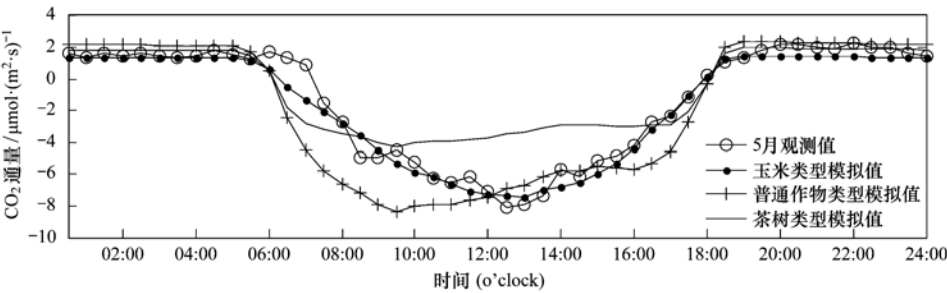


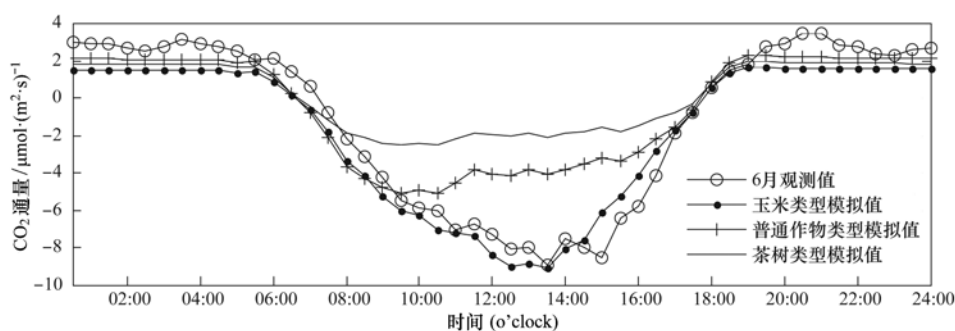
图3 5月CO₂通量模拟值与观测值按月复合的日变化对比

Fig. 3 Compare CO₂ fluxes of diurnal composites of observations with SiB3 simulated in May

从图4分析发现,6月观测的夜晚CO₂通量值比3种植被类型模拟的结果都大,最大观测CO₂通量为2.97 $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$,而且在19:30~21:00点之间有一个明显的波动,呼吸作用先增加后降低,而模拟结果没有反映这一变化趋势.白天,玉米类型模拟结果上午偏低,下午偏高,最小CO₂通量为-9.11 $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$;普通作物类型模拟结果从05:30~08:30点偏低,之后偏高,最小CO₂通量为-5.06 $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$;而茶树类型模拟结果则是白天严重偏高,最小CO₂通量为-2.54 $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$.6月长三角地区进入季风期,苏州东山站降水明显增加(如图1),降水增加使得土壤湿度增加,促使土壤中各种微生物开始活跃,使得夜晚CO₂通量有一个显著的变化,但模式模拟夜晚的CO₂通量平稳,这可能是由于模式计算土壤呼吸的方式仅考虑了每层土壤的湿度和温度对相对土壤呼吸强度的影响^[29],而缺少对生态系统自身代谢物的

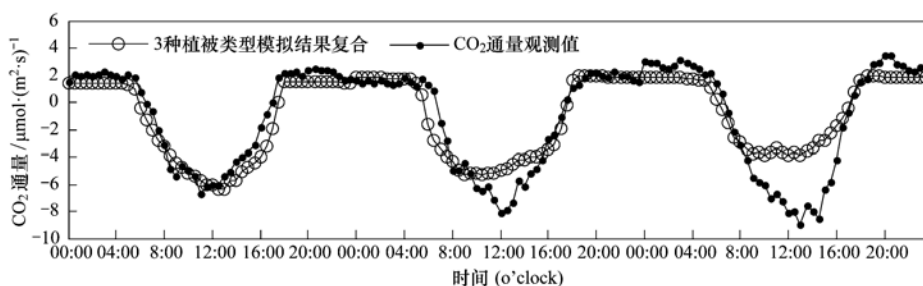
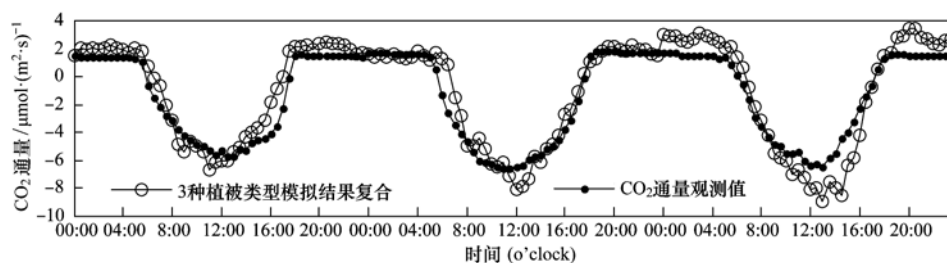
腐烂和微生物异化作用的考虑而引起的偏差.白天,CO₂通量的峰值出现在13:00左右,而4月出现在上午11:00,5月出现在12:00,玉米类型模拟的结果能够较好地抓住白天的最大峰值.6月,玉米处于拔节到抽雄时期,代谢旺盛,季风到来对玉米类型模拟CO₂通量的影响较小;而以茶树和普通农作物类型模拟的光合速率降低,这主要受到6月降水增加,下行短波辐射减弱的影响.另外,由于降水较多影响仪器观测CO₂通量的准确性,造成观测误差增大,对6月模式模拟结果的验证有一定影响.从以上分析发现,SiB3模式能够模拟出不同的植被类型CO₂通量对气象要素的响应程度.

从以上分析发现,5月和6月的CO₂通量观测数据与以玉米植被类型模拟的CO₂通量日变化更接近,这里如果按照3种植被类型的权重对模拟的CO₂通量日变化进行加权复合,则显然只有玉米类型所占权重更大时才能与观测资料更接近.实际

图4 6月 CO₂ 通量模拟值与观测值按月复合的日变化对比Fig. 4 Compare CO₂ fluxes of diurnal composites of observations with SiB3 simulated in June

上,观测期间苏州东山站茶树所占面积较大,而玉米和其它普通农作物面积较小,由于观测站没有各类植被实际的面积比,这里按照玉米、普通农作物和茶树的面积权重为 0.2、0.2 和 0.6 进行 CO₂ 通量复合。如图 5 所示,5 月和 6 月的模拟结果与观测资料差异较明显,特别是 6 月,这可能由于 6 月正是玉米生长旺盛的季节,代谢作用明显,而面积较大的茶树这段时间生长已经平衡,对该地区 CO₂ 通量的贡献并不明显。图 6 所示为 5 月玉米所占

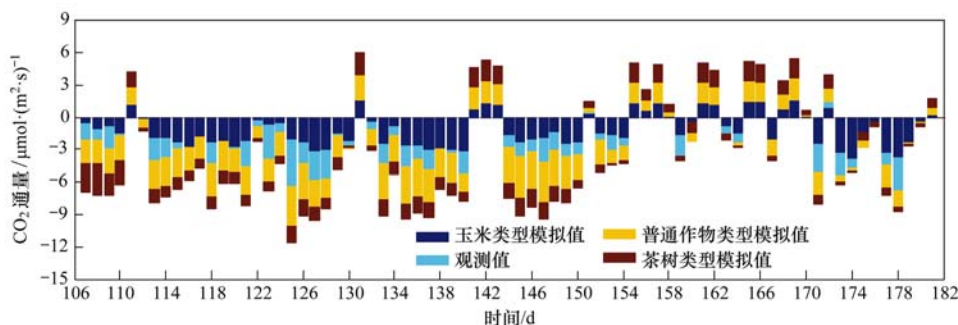
权重为 0.5,6 月所占权重为 0.7 进行复合的结果,可以明显看出模拟与观测资料更接近,造成模拟的 CO₂ 通量不与面积权重成比例,可能有如下原因:①简单的按照面积权重进行 CO₂ 通量分配本身存在一定不合理性;②观测仪器测量的 CO₂ 通量主要来自上风向的贡献,混合植被区风向改变,上风向的植被类型也可能发生改变,从而对测量得到的通量结果有一定影响;③模型自身存在的模拟偏差。

图5 按照面积权重复合3种植被模拟的 CO₂ 通量Fig. 5 Compositd CO₂ fluxes simulation results of three vegetations according to the area weight图6 按照与观测值接近的方式复合3种植被模拟的 CO₂ 通量Fig. 6 Three vegetations simulated CO₂ fluxes composited to observation

3.2 每日 CO₂ 通量模拟分析

由于观测期间有的时间段(特别是降水期间)存在较多野点,无法用于计算每日 CO₂ 通量,故在与模拟结果对比时,这些时间段不参与比较。图 7

所示为每日 CO₂ 通量的观测值与模拟值的变化情况,分析发现,3 种植被类型模拟得到的每日 CO₂ 通量结果与观测数据存在偏差,但模拟结果能够正确反映每日 CO₂ 通量的收支情况,即能够正确模拟出

图7 每日 CO₂ 通量变化Fig. 7 Daily variation of CO₂ fluxes

生态系统每日 CO₂ 净交换的方向,但量级上存在偏差. 观测的每日 CO₂ 通量最小为 $-4.17 \mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$,而玉米类型、普通作物类型和茶树类型模拟的每日 CO₂ 通量分别为 -3.94 、 -3.71 和 $-2.82 \mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$. 4~6 月,苏州东山站多数时间生态系统光合速率大于呼吸速率,表现为碳收入. 分析发现,降水前后观测的 CO₂ 通量出现较多野点,而模式能够模拟出该时段的每日 CO₂ 通量,并且为正值,这可能是由于降水前后,空气温度降低,下行短波辐射严重减小,导致模拟的 CO₂ 通量为正值,这通常也是合理的,因为植被光合作用严重依赖于太阳光照和温度. 正是由于降水期 CO₂ 通量观测值出现较多野点,可考虑运用模拟结果对该时段的观测资料进行弥补.

4 讨论

观测站点同时存在多种植被类型时,CO₂ 通量受到不同植被下垫面的影响,每种植被类型对 CO₂ 通量的贡献不同. 对此,不同的陆面模式处理方法各不相同,其中一种方法为选取一种面积占优的植被类型代表该站点的整个下垫面植被类型,而另一种方法是下垫面分成若干部分,每部分代表一种植被类型分类进行计算,最后将结果按照植被所占面积的权重进行合并. 从上面对苏州东山站的模拟可以发现,选择一种典型的植被作为 SiB3 模式的植被类型,能够较好地模拟出 CO₂ 通量的日变化情况,如本研究所选的玉米类型,而选取站点存在的其它植被类型时,模拟获得的日变化结果与观测有较大差异. 如果按照植被所占面积进行合并,并不能有效地提高 SiB3 模式模拟 CO₂ 通量的日变化能力,而单纯的选择其中一种植被类型代表整个站点,又会忽略掉其它植被对 CO₂ 通量的贡献. 同时,在模拟每日 CO₂ 通量的时候,选择在模拟 CO₂ 通量日变

化表现较好的玉米植被类型时,并没有表现出比其它两种植被类型与观测数据更接近,但是仅按照植被面积所占的权重进行 CO₂ 通量的简单合并,也不能有效地解决模拟的每日 CO₂ 通量存在的偏差. 产生这种偏差的原因可能是简单的按照面积权重对 CO₂ 通量进行复合,没有考虑到不同种类植被之间的相互影响.

5 结论

(1) 选择玉米作为模式植被输入时,模式能够较好地模拟出 CO₂ 通量的日变化情况,各个时次与观测资料有较好的一致性;选择普通作物类型作为模式输入时,模式模拟得到的 CO₂ 通量在 4 月和 5 月白天明显偏低,6 月白天则有较明显偏高;而选择茶树作为模式输入时,模拟 4 月的 CO₂ 通量,中午明显偏高,下午则偏低,而 5 月和 6 月,则较明显高估白天的 CO₂ 通量.

(2) 观测数据 CO₂ 通量的峰值 4 月出现在上午 11:00,这与选择普通作物类型的模拟结果一致,而 5 月和 6 月,选择玉米类型更能够准确的模拟出 CO₂ 通量峰值出现的时刻.

(3) SiB3 模式能够较好模拟出 CO₂ 通量的日变化情况,不过模拟的时间尺度从小时上升到模拟每日 CO₂ 通量时,模拟结果与观测存在差异,但能够较正确模拟出每日 CO₂ 通量的收支情况. 同时,使用不同的植被类型分别作为模式输入参数模拟得到的每日 CO₂ 通量结果差异明显.

(4) 降水对 CO₂ 通量的观测有较大影响,出现较多野点,而模式能够模拟出降水期的 CO₂ 通量,但模拟的准确性需要进一步验证.

致谢:感谢高志球教授提供苏州东山站观测资料;感谢窦有俊博士对本文的帮助;感谢王介民研究员编著的涡动相关观测指导手册.

参考文献:

- [1] Brunke E G, Scheel H E, Seilev W. Trends of tropospheric CO₂, N₂O and CH₄ as observed at cape point, South Africa [J]. Atmospheric Environment. Part A. General Topics, 1990, **24** (3): 585-595.
- [2] 程红兵, 王木林, 温玉璞, 等. 我国瓦里关山, 兴隆温室气体 CO₂, CH₄ 和 H₂O 的背景浓度[J]. 应用气象学报, 2003, **14**(4): 402-409.
- [3] 张法伟, 刘安花, 李英年, 等. 青藏高原高寒湿地生态系统 CO₂ 通量[J]. 生态学报, 2008, **28**(2): 453-416.
- [4] 赵荣钦, 秦明周. 中国沿海地区农田生态系统部分碳源/汇时空差异[J]. 生态与农村环境学报, 2007, **23**(2): 1-6.
- [5] 颀鹏, 蔺海明, 黄高宝, 等. 河西绿洲农田生态系统碳源/汇的时空差异研究[J]. 草业学报, 2009, **18**(4): 224-229.
- [6] 张玉铭, 胡春胜, 张佳宝, 等. 农田土壤主要温室气体 (CO₂, CH₄, N₂O) 的源/汇强度及其温室效应研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2011, **19**(4): 966-975.
- [7] Yoshimoto M, Oue H, Kobayashi K. Energy balance and water use efficiency of rice canopies under free air CO₂ enrichment[J]. Agriculture and Forest Meteorology, 2005, **133**(1-4): 226-246.
- [8] Tsai J L, Tsuang B J, Lu P S, *et al.* Surface energy components and land characteristics of a rice paddy[J]. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2007, **46**(11): 1879-1900.
- [9] Zhao X S, Huang Y, Jia Z J, *et al.* Effects of the conversion of marshland to cropland on water and energy exchanges in northeastern China[J]. Journal of Hydrology, 2008, **355**(1-4): 181-191.
- [10] Lei H M, Yang D W. Seasonal and interannual variations in carbon dioxide exchange over a cropland in the North China Plain [J]. Global Change Biology, 2010, **16**(11): 2944-2957.
- [11] Ji X B, Zhao W Z, Kang E S, *et al.* Carbon dioxide exchange in an irrigated agricultural field within an oasis, Northwest China [J]. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2011, **50** (11): 2298-2308.
- [12] Zhao P, Lüers J. Improved determination of daytime net ecosystem exchange of carbon dioxide at croplands [J]. Biogeosciences Discussions, 2012, **9**(3): 2883-2919.
- [13] 张永强, 沈彦俊, 刘昌明, 等. 华北平原典型农田水、热与 CO₂ 通量的测量[J]. 地理学报, 2002, **57**(3): 333-342.
- [14] 朱咏莉, 童成立, 吴金水, 等. 亚热带稻田生态系统 CO₂ 通量的季节变化特征[J]. 环境科学, 2007, **28**(2): 283-288.
- [15] 王旭峰, 马明国. 基于 LPJ 模型的制种玉米碳水通量模拟研究[J]. 地球科学进展, 2009, **24**(7): 734-740.
- [16] 袁再健, 沈彦俊, 褚英敏. 华北平原冬小麦生长期典型农田热、碳通量特征与过程模拟[J]. 环境科学, 2010, **31**(1): 41-47.
- [17] Foken T H, Wichura B. Tools for quality assessment of surface-based flux measurement [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1996, **78**(1-2): 83-105.
- [18] Kaimal J C, Finnigan J J. Atmospheric Boundary Layer Flows: Their Structure and Measurement [M]. Oxford: Oxford University Press, 1994. 1-304.
- [19] Moore C J. Frequency response correction for eddy correction systems[J]. Boundary Layer Meteorology, 1986, **37**(1): 17-30.
- [20] Colello G D, Grivet C, Sellers P J, *et al.* Modeling of energy, water, and CO₂ flux in a temperate grassland ecosystem with SiB₂: May-October 1987[J]. American Meteorological Society, 1998, **55**(7): 1141-1169.
- [21] Hanan N P, Berry J A, Verma S B, *et al.* Testing a model of CO₂, water and energy exchange in Great Plains tallgrass prairie and wheat ecosystems[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2005, **131**(3-4): 162-179.
- [22] Baker I T, Denning A S, Hanan N, *et al.* Simulated and observed fluxes of sensible and latent heat and CO₂ at the WLEF-TV tower using SiB2.5 [J]. Global Change Biology, 2003, **9** (9): 1262-1277.
- [23] 高志球, 卞林根, 陆龙骅, 等. 水稻不同生长期稻田能量收支, CO₂ 通量模拟研究[J]. 应用气象学报, 2004, **15**(2): 129-140.
- [24] Yan X D, Li H U, Liu F, *et al.* Modeling of surface flux in Tongyu using the Simple Biosphere Model2 (SiB2) [J]. Journal of Forestry Research, 2010, **21**(2): 183-188.
- [25] Sellers P J, Mintz Y, Sud Y C, *et al.* A Simple Biosphere Model (SiB) for use within general circulation models[J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 1986, **43**(6): 505-531.
- [26] Sellers P J, Hall F G, Asrar G, *et al.* An overview of the First International Satellite Land Surface Climatology Project (ISLSCP) Field Experiment (FIFE) [J]. Journal of Geophysical Research, 1992, **97**(D17): 18345-18371.
- [27] Sellers P J, Randall D A, Collatz G J, *et al.* A revised land surface parameterization (SiB2) for atmospheric GCMs. Part I: Model formulation[J]. Journal of Climate, 1996, **9**(4): 676-705.
- [28] Sellers P J, Los S O, Tucker C J, *et al.* A revised land surface parameterization (SiB2) for atmospheric GCMs. Part II: The generation of global fields of terrestrial biophysical parameters from satellite data[J]. Journal of Climate, 1996, **9**(4): 706-737.
- [29] Denning A, Nicholls M, Prihodko L, *et al.* Simulated variations in atmospheric CO₂ over a Wisconsin forest using a coupled ecosystem-atmosphere model[J]. Global Change Biology, 2003, **9**(9): 1241-1250.
- [30] Baker I T, Prihodko L, Denning A S, *et al.* Seasonal drought stress in the Amazon: Reconciling models and observations[J]. Journal of Geophysical Research, 2008, **113**(G1): G00B01, doi:10.1029/2007JG000644.
- [31] Baker I T, Denning A S, Stöckli R. North American gross primary productivity: regional characterization and interannual variability[J]. Tellus B, 2010, **62**(5): 533-549.
- [32] Dai Y J, Zeng X, Dickinson R E, *et al.* The common land model [J]. Bulletin of American Meteorological Society, 2003, **84** (8): 1013-1023.
- [33] Vidale P L, Stöckli R. Prognostic canopy air space solutions for

- land surface exchanges [J]. Theoretical and Applied Climatology, 2005, **80**(2-4): 245-257.
- [34] Rosolem R, Shuttleworth W J, Zeng X B, *et al.* Land surface modeling inside the Biosphere 2 tropical rain forest biome[J]. Journal of Geophysical Research, 2010, **115**(G4), G04035, doi:10.1029/2010JG001443.
- [35] Williams C A, Hanan N P, Baker I T, *et al.* Interannual variability of photosynthesis across Africa and its attribution[J]. Journal of Geophysical Research, 2008, **113**(G4): G04015, doi:10.1029/2008JG000718.
- [36] Schuh A E, Denning A S, Corbin K D, *et al.* A regional high-resolution carbon flux inversion of North America for 2004[J]. Biogeosciences, 2010, **7**(5): 1625-1644.
- [37] Miyata A, Leuning R, Denmead O, *et al.* Carbon dioxide and methane fluxes from an intermittently flooded paddy field[J]. Agricultural and Forest Meteorology, **102**(4): 287-303.
- [38] 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.
- [39] 李双江, 刘文兆, 高桥厚裕, 等. 黄土塬区麦田 CO₂ 通量季节变化[J]. 生态学报, 2007, **27**(5): 1987-1992.
- [40] 曾凯, 王尚明, 张崇华, 等. 南方稻田生态系统产量形成期 CO₂ 通量的研究[J]. 中国农学通报, 2009, **25**(15): 219-222.
- [41] 梁涛, 李荣平, 吴航, 等. 玉米农田生态系统 CO₂ 通量的动态变化[J]. 气象与环境学报, 2012, **28**(3): 49-53.
- [42] Webb E K, Pearman G I, Leuning R, *et al.* Correction of flux measurements for density effects due to heat and water vapour transfer [J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 1980, **106**(447): 85-100.
- [43] Leuning R, Denmead O T, Lang A R, *et al.* Effects of heat and water vapor transport on eddy covariance measurement of CO₂ fluxes[J]. Boundary Layer Meteorology, 1982, **23**(2): 209-222.
- [44] Los S O, Collatz G J, Sellers P J, *et al.* A global 9-yr biophysical land surface dataset from NOAA AVHRR Data[J]. Journal of Hydrometeorology, 2000, **1**(2): 183-199.

CONTENTS

Stable Carbon Isotopic Composition in PM _{2.5} in Nanjing Region	WU Meng-long, GUO Zhao-bing, LIU Feng-ling, <i>et al.</i> (3727)
Distribution and Source Apportionment of <i>n</i> -Alkanes in Atmospheric Particle in Taiyuan, China	HU Dong-mei, PENG Lin, BAI Hui-ling, <i>et al.</i> (3733)
Study on Influence of Traffic and Meteorological Factors on Inhalable Particle Matters of Different Size	LUO Na-na, ZHAO Wen-ji, YAN Xing, <i>et al.</i> (3741)
Particle Emission Characteristics of Diesel Bus Fueled with Bio-diesel	LOU Di-ming, CHEN Feng, HU Zhi-yuan, <i>et al.</i> (3749)
Characteristics of δ ¹⁸ O in Precipitation and Water Vapor Sources in Lanzhou City and Its Surrounding Area	CHEN Fen-li, ZHANG Ming-jun, MA Qian, <i>et al.</i> (3755)
Characteristics and Sources of Soluble Ions in Aerosols from Glacier No. 1 at the Headwater of Urumqi River, Tianshan Mountains, China	YUE Xiao-ying, LI Zhong-qin, ZHANG Ming-jun, <i>et al.</i> (3764)
Mechanism and Performance of Styrene Oxidation by O ₃ /H ₂ O ₂	HE Jue-cong, HUANG Qian-ru, YE Qi-hong, <i>et al.</i> (3772)
Sulfur Isotopic Signatures in Leaves of <i>Pinus massoniana</i> Lamb. and Source Apportionment	GUAN Hui, XIAO Hua-yun, ZHU Ren-guo, <i>et al.</i> (3777)
Comparisons of Sulfur Contents and Isotopes Between Mosses and Surface Soils in Jiangxi Province	LI Nan, XIAO Hua-yun, CHEN Yong-zhong, <i>et al.</i> (3782)
Research on Spatial Characteristic of Non-point Source Pollution in Liaohe River Basin	WANG Xue-lei, CAI Ming-yong, ZHONG Bu-qing, <i>et al.</i> (3788)
Spatial and Temporal Variations of Hydrological Characteristic on the Landscape Zone Scale in Alpine Cold Region	YANG Yong-gang, HU Jin-fei, XIAO Hong-lang, <i>et al.</i> (3797)
Distribution of Matrix-Bound Phosphine in Surface Sediments of Jinpu Bay	YOU Li-li, ZONG Hai-bo, ZHANG Shu-fang, <i>et al.</i> (3804)
Effects of Drying-Rewetting Alternation on Urease Activity in Chongming East Intertidal Flat; Results of a Simulation Study	HAN Jian-gang, CAO Xue (3810)
Characterization of Microbial Activities in Marine Mudflat Sediment Using FDA Hydrolase Analysis	LIU Ye, ZOU Li, LIU Lu, <i>et al.</i> (3818)
Analysis of Ecological Risk and the Content Situation of Polybrominated Diphenyl Ethers in Sediments from Northeast China River Basin	NIE Hai-feng, CHENG Hang-xin, ZHAO Chuan-dong, <i>et al.</i> (3825)
Residues and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Surface Sediments and Marine Organisms from Dapeng Bay, Shenzhen	SUN Run-xia, KE Chang-liang, GU Yang-guang, <i>et al.</i> (3832)
Source Apportionment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Using Two Mathematical Models for Runoff of the Shanghai Elevated Inner Highway, China	BIAN Lu, LI Tian, HOU Juan (3840)
Biomagnification of Heavy Metals in the Aquatic Food Chain in Daning River of the Three Gorges Reservoir During Initial Impoundment	YU Yang, WANG Yu-chun, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (3847)
Temporal and Spatial Distribution of Environmental Factors and Chlorophyll-a and Their Correlation Analysis in a Small Enclosed Lake	LI Fei-peng, ZHANG Hai-ping, CHEN Ling (3854)
Experiment and Model Simulation of Self-Purification Capacity of Nitrogen and Phosphorus in Lake Taihu	HAN Tao, ZHAI Shu-hua, HU Wei-ping, <i>et al.</i> (3862)
Simulation Research on the Release of Internal Nutrients Affected by Different Dredging Methods in Lake	CHEN Chao, ZHONG Ji-cheng, FAN Cheng-xin, <i>et al.</i> (3872)
Research of Urban Eutrophic Water Repair by Water/Sediment Biological Bases	ZHOU Hui-hua, SONG Xiao-guang, WU Ge, <i>et al.</i> (3879)
Effects of Regulatory Agent on the Heavy Metal Stability in Tidal Sediments	OU Feng-zhuang, SUN Guo-ping, XU Mei-ying (3888)
Impact of Regional Water Chemistry on the Phosphorus Isothermal Adsorption of the Sediments in Three Subsidence Waters of the Huainan Mine Areas	YI Qi-tao, SUN Peng-fei, XIE Kai, <i>et al.</i> (3894)
Adsorption Characteristics of f2 Bacteriophages by Four Substrates in Constructed Wetland	CHEN Di, ZHENG Xiang, WEI Yuan-song, <i>et al.</i> (3904)
Adsorption Characteristics of the Antibiotic Sulfanilamide onto Rice Husk Ash	JI Ying-xue, WANG Feng-he, ZHANG Fan, <i>et al.</i> (3912)
Study on the Stability Variation Mechanism of Humic Acid Water Solution After Radiated by the UV Light	WANG Wen-dong, ZHOU Li-chuan, DING Zhen-zhen, <i>et al.</i> (3921)
Comparison of As Removal Performance by Graphene/Iron-Based Material	Chaomuerlege, FENG Liu, HUO Yan-xia (3927)
Studies on the Dispersion and Deposition Behavior of Nano-TiO ₂ in Aquatic System	CHEN Jin-yuan, FANG Jin-feng, WEI Xiu-zhen (3933)
Effect of the Interaction of Microorganisms and Iron Oxides on Arsenic Releasing into Groundwater in Chinese Loess	XIE Yun-yun, CHEN Tian-hu, ZHOU Yue-fei, <i>et al.</i> (3940)
Surface Modification of Polyvinylidene Fluoride (PVDF) Membrane by Using the Zwitterionic Substance	ZHOU Gui-hua, XIAO Feng, XIAO Ping, <i>et al.</i> (3945)
Estimate the Abatement Rate of Septic Tank Sewage Outfall Soil on Nitrogen Pollutants of Typical Farmer Household Sewage	ZHOU Feng, WANG Wen-lin, WANG Guo-xiang, <i>et al.</i> (3954)
Wastewater Pollution Characteristics from Typical Intensive Pig Farms in the Pearl River Delta and Its Ecological Risk Assessment	LI Wen-ying, PENG Zhi-ping, YU Jun-hong, <i>et al.</i> (3963)
Effects of Sludge Compost Used as Lawn Medium on Lawn Growth and Soil and Water Environment	JIN Shu-quan, ZHOU Jin-bo, CHEN Ruo-xia, <i>et al.</i> (3969)
Influencing Factors of Floc Size Distribution and Fractal Dimension of Activated Sludge	LI Zhen-liang, ZHANG Dai-jun, LU Pei-li, <i>et al.</i> (3975)
Influence of Different Recovery Methods on the Activity of Nitrification Granular Sludge	GUO Xiu-li, GAO Da-wen, LU Jian-cong (3981)
Study on Hydrogen Autotrophic Denitrification of Bio-ceramic Reactor	CHEN Dan, WANG Hong-yu, SONG Min, <i>et al.</i> (3986)
Studies on Spatial Heterogeneity of Soil Respiration in a Subalpine Meadow	YAN Jun-xia, LI Jun-jian, LI Hong-jian, <i>et al.</i> (3992)
Modeling of CO ₂ Fluxes at Cropland by Using SIB3 Model	ZHANG Geng-jun, LU Li-xin, JIANG Ling-mei, <i>et al.</i> (4000)
Effects of the Different Land Use on Soil Labile Organic Matter and Carbon Management Index in Junyun Mountain	XU Peng, JIANG Chang-sheng, HAO Qing-ju, <i>et al.</i> (4009)
Heavy Metal Content in Street Dust and Environmental Risk Assessment of Agricultural City: A Case Study of Xuchang City	YAN Hui, CHEN Jie, XIAO Jun (4017)
Polybrominated Diphenyl Ethers and Polychlorinated Biphenyls in Road Dust from Suzhou, Wuxi and Nantong	SHI Shuang-xin, DONG Liang, LI Ling-ling, <i>et al.</i> (4024)
Vertical Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Abandoned Vehicles Dismantling Area Soil	WU Yan-yu, HU Xiao-ying, HONG Hong-jia, <i>et al.</i> (4031)
Stabilization and Long-term Effect of Chromium Contaminated Soil	WANG Jing, LUO Qi-shi, ZHANG Chang-bo, <i>et al.</i> (4036)
Leaching Characteristics of Sulfadiazine and Sulfamethoxazole in Soil Column	LI Man, CHEN Wei-ping, WEI Fu-xiang, <i>et al.</i> (4042)
Transport Behaviors of Metal Oxide Nanomaterials in Various Soils	FANG Jing, YU Bo-yang (4050)
Fractal Characteristics of Capillary Finger Flow for NAPLs Infiltrated in Porous Media	LI Hui-ying, DU Xiao-ming, YANG Bin, <i>et al.</i> (4058)
Allelopathic Potential of <i>Phyllostachys edulis</i> on Two Dominant Tree Species of Evergreen Broad-leaved Forest in Its Invasive Process	BAI Shang-bin, ZHOU Guo-mo, WANG Yi-xiang, <i>et al.</i> (4066)
Preliminary Studies on the Occurrence of Antibiotic Resistance Genes in Typical Aquaculture Area of the Pearl River Estuary	LIANG Xi-mei, NIE Xiang-ping, SHI Zhen (4073)
Concentrations and Safety Evaluation of Heavy Metals in Aquatic Products of Yancheng, Jiangsu Province	LIU Yang, FU Qiang, GAO Jun, <i>et al.</i> (4081)
Effects of Cu ²⁺ Stress on DNA Polymorphism of Genome in Foxtail Millet of Different Genotypes	ZHANG Yi-xian, FU Ya-ping, XIAO Zhi-hua, <i>et al.</i> (4090)
Research on Soil Bacteria Under the Impact of Sealed CO ₂ Leakage by High-throughput Sequencing Technology	TIAN Di, MA Xin, LI Yu-e, <i>et al.</i> (4096)
Microeukaryotic Biodiversity in the Waste Ore Samples Surrounding an Acid Mine Drainage Lake	LI Si-yuan, HAO Chun-bo, WANG Li-hua, <i>et al.</i> (4105)
Characteristics and Functional Protein Analysis of an Effective Decabromodiphenyl Ether-Degrading Strain	CHANG Jing-jing, YIN Hua, QIN Hua-ming, <i>et al.</i> (4112)
Effect of Selenium on the Uptake and Translocation of Manganese, Iron, Phosphorus and Selenium in Rice (<i>Oryza sativa</i> L.)	HU Ying, HUANG Yi-zong, HUANG Yan-chao, <i>et al.</i> (4119)
Effect of Exogenous Iron on Accumulation and Chemical Forms of Cadmium, and Physiological Characterization in Different Varieties of Tomato	LIU Jun, ZHOU Kun, XU Wei-hong, <i>et al.</i> (4126)
Analysis of Control Policy for Persistent Toxic Substances from Electronic Wastes in China	LI Li, LÜ Yong-long, WANG Tie-yu (4132)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2013年10月15日 34卷 第10期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 10 Oct. 15, 2013

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行