淡水湿地不同围垦土壤非耕季节呼吸速率差异

何小青[1]，许信旺[1,2]，方宇媛[1]，毛 敏[2]，石小磊[2]，郑聚锋[3]

（1.池州学院 资源环境与旅游系，安徽 池州 247000；2.安徽师范大学 国土资源与旅游学院，安徽 芜湖，241000；3.南京农业大学 农业资源与生态环境研究所，江苏 南京 210095）

摘 要：选择何种湿地利用方式，使得土壤固碳能力及 CO_2 气体排放受到的影响最小，是合理利用湿地、减少温室气体排放的关键所在，湿地土壤呼吸不仅受环境条件的影响，还受土壤本身性状的影响。以皖江地区为研究区域，利用定位试验对天然湿地及不同围垦利用方式下土壤在非耕季节 CO_2 排放通量、大气温度及表层土壤温度进行测定，并对其土壤 TOC 含量进行分析。结果表明，CO_2 排放通量：水稻田〔700.70 mg/(m^2 · h)〕＞旱地〔433.80 mg/(m^2 · h)〕＞天然湿地〔302.66 mg/(m^2 · h)〕，天然湿地土壤 TOC 含量明显高于围垦旱地及水稻田(0—30 cm)，说明天然湿地较围垦旱地和水稻田对大气中 CO_2 浓度贡献最小，能存储更多的碳。探讨了 CO_2 排放通量与温度的相关性，得出 3 种土壤类型 CO_2 排放通量与大气温度和表层土壤温度均呈正相关关系。

关键词：淡水湿地；水稻田；旱地；CO_2 排放通量

文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2014)01-0118-05 **中图分类号**：X144

Difference of Soil Respiration Rate in Freshwater Wetland with Different Reclamation Methods During Non-cropping Season

HE Xiao-qing[1], XU Xin-wang[1,2], FANG Yu-yuan[1], MAO Min[2], SHI Xiao-lei[2], ZHENG Ju-feng[3]

(1. *Department of Resources and Environment Science, Chizhou University, Chizhou, Anhui* 247000, *China*; 2. *College of Territorial Resources and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui* 241000, *China*; 3. *Institute of Resources, Ecosystem and Environment for Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu* 210095, *China*)

Abstract: Choice of wetland use pattern to minimize the impacts on soil carbon fixation and CO_2 gas emission is the key for reasonable utilization of wetland and reduction of greenhouse gas emission. Wetland soil respiration is affected not only by environmental conditions, but also by soil traits. By a positioned experiment in Wanjing region, CO_2 emission flux, air temperature, surface soil temperature of soils in natural wetland and different reclaimed lands during the non-cropping season were measured and their soil TOC contents were analyzed. The land use types, in order of decreasing CO_2 emission flux, were paddy field 〔700.70 mg/(m^2 · h)〕, dry land 〔433.80 mg/(m^2 · h)〕 and natural wetland 〔302.66 mg/(m^2 · h)〕. The soil TOC content of natural wetland was significantly higher than that of reclaimed dry land and paddy field (0—30 cm depth), indicating that the contribution of natural wetland to atmospheric CO_2 concentration was the lowest. Therefore, compared to dry land and paddy land, wetland is capable of storing more carbon. The correlation between CO_2 emission flux and temperature was also discussed. It follows from the discussion that CO_2 emission flux of the three land types is positively correlated with both of atmospheric temperature and surface soil temperature.

Keywords: **freshwater wetland; paddy field; dry land; CO_2 emission flux**

收稿日期：2013-04-12 **修回日期**：2013-05-10

资助项目：国家自然基金面上项目“不同围垦利用对淡水湖泊湿地土壤呼吸的影响及机理研究”(41071337)；安徽省教育厅自然科学项目“皖江湿地土壤呼吸二氧化碳排放通量研究”(KJ2013B170)；池州学院资源环境与可持续发展研究中心项目“湿地土壤碳呼吸 CO_2 排放通量研究”(XKY201109)

作者简介：何小青(1983—)，男(汉族)，安徽省宿松县人，硕士，讲师，主要从事土壤质量与环境方面的研究。E-mail：hxqxmj@163.com。

通信作者：许信旺(1962—)，男(汉族)，安徽省枞阳县人，博士，教授，主要从事土壤碳循环与生态经济方面的研究。E-mail：xuxinwang@163.com。

湿地是介于陆地和水体间一种特殊的过渡生态类型,由于较低的有机质分解速率和较高的生产力而成为重要的碳汇,湿地的固碳潜力高于其他类型的生态系统,因此,采取必要的措施,维持和发展湿地的固碳潜力,对于增加陆地生态系统碳库和缓解全球变暖具有深远的意义[1]。中国已在东北平原[2-8]、青藏高原[9-11]、云贵高原[12-13]以及东部平原[14-18]等开展了湿地生态系统土壤固碳及 CO_2 气体排放方面的研究,而此方面的研究主要集中在三江平原。宋长春等[5]认为湿地土壤水分梯度变化及土壤新的碳输入条件是温度驱动下土壤呼吸变化的重要影响因素,湿地垦殖后土壤呼吸速率明显增大。杨继松等[6]认为,在生长季,湿地土壤呼吸具有明显的时间变化特征,随土壤温度的上升呈指数形式增加,并受水热条件的共同制约。黄靖宇等[7]通过研究发现,土地利用方式是影响土壤生物量碳及溶解有机碳变化的主要因素,天然沼泽湿地垦殖为农田后,土壤微生物量碳及溶解有机碳显著降低,弃耕还湿和人工造林后表层土壤微生物量碳及溶解有机碳呈显著增加的趋势。

由此可见,影响土壤固碳及呼吸的主要因素有水分、温度及微生物活动等,选择何种湿地利用方式,使得土壤固碳能力及 CO_2 气体排放受到的影响最小,是合理利用湿地、减少温室气体排放的关键所在。

截止到 2008 年,中国现有湿地(不包括水稻田)总面积为 324 100 km^2,其中天然湿地占 88%,人工湿地占 12%。"长江及其周围湖群"是世界自然基金会(WWF)确定的具有全球意义的生态区域之一,也是中国湿地生物多样性的关键地区之一,由于该区域为重要的农业水产基地,随着经济发展,当地的湿地面临着巨大的压力,面积不断减少[19]。因此,加强对该区域湿地改造对环境影响的研究非常必要。

关于皖江湿地及不同围垦利用方式下土壤碳呼吸的研究较少,已有的研究也主要集中在湿地土壤有机碳储存、分布、空间差异及开垦后含量变化方面[14-16]。所以本文选择皖江地区作为研究区域,在人为干扰较少的非耕季节开展土壤呼吸 CO_2 排放通量野外观测实验,直观评价湿地及不同围垦利用方式下土壤呼吸 CO_2 的贡献效率,以期为温室气体减排提供科学依据。

1　研究区域与研究方法

1.1　自然地理概况

皖江地区,即长江下游安徽段,属亚热带湿润气候区,年平均日照时数 2 000～2 100 h,年平均气温 15.7～16.6 ℃,年均相对湿度 75%,无霜期 230～250 d,年平均降水量 1 050～1 400 mm,年均蒸发量 1 500～1 800 mm,降水季节分配不均[20]。该区域有安庆沿江地区、升金湖、淡水豚保护区、扬子鳄保护区、龙感湖、十八索以及太平湖等一些有代表性的湿地。

皖江流域湿地一般在每年的 11 月至翌年的 4 月可以出露,生长着自然草甸植被,常见的是芦苇和苔草,还生长有水蕨、眼子菜、黑藻和苦草等植物[16]。

1.2　试验设计和研究方法

1.2.1　*样地选择*　选择毗邻平天湖的天然湿地(草甸土)、湿地围垦形成的旱地(灰潮土)以及水稻田(潴育性水稻土)为研究对象,旱地和水稻田围垦的年限为 20 a。在 3 个样地各选一个观测点进行连续观测,为保证数据的可比性,观测点位置尽量接近,湿地测试点(30°39′N,117°34′E;海拔高度 16 m;估计误差 11 m)、旱地测试点(30°39′N,117°34′E;海拔高度20 m;估计误差6 m)、水稻田测试点(30°39′N,117°34′E;海拔高度 17 m;估计误差 8 m),水平距离小于 20 m。

1.2.2　*土壤 CO_2 排放通量测定*　采用密闭箱/便携式红外线气体测定仪(MultiRAE Plus IR PGM－54)联用技术对 CO_2 浓度进行测定,密闭箱为高 25 cm(有效高度 20 cm＋埋入地下 5 cm),底面直径 27 cm 的圆柱塑料箱。箱上开有两个孔(进气孔、出气孔),内装微型电扇,测定时将便携式红外线气体测定仪抽气口和排气口分别与密闭箱上的两孔相连,形成一个闭合回路,将抽出的气体还回到箱内。

测定过程中,首先去除测定点地表生长植物,打开密闭箱内风扇,将密闭箱开口端埋入土壤 5 cm 深度,迅速打开仪器,读取 CO_2 浓度数据 X_0 作为初始值,5 min 之后读取的数据 X_t,作为即时值。按理想气体方程,将测得的 CO_2 排放通量按照式(1)转化为标准状态(0 ℃,101.325 kPa)进行比较:

$$F=\frac{(X_t-X_0)\times H\times 273\times 44\times P_t}{T\times 101.325\times 22.4\times \Delta t}$$

式中:F——CO_2 排放通量〔mg/(m^2 · h)〕;X_t——CO_2 浓度即时值(ml/m^3);X_0——CO_2 浓度初始值(ml/m^3);H——密闭箱的高度(m);273——标准状态温度(K);44——CO_2 的摩尔质量(g/mol);P_t——测试点空气压强(kPa);T——采样时密闭箱内平均温度(K);101.325——标准状态大气压强(kPa);22.4——标准状态气体摩尔体积(L/mol);Δt——集气时间(h)。

研究样地水稻田种植一季稻,旱地种植棉花,在该区域水稻生长季一般在 5 月上旬到 10 月上旬,棉花生长季在 4 月上旬到 11 月中下旬。根据本文研究

目的，选择在非耕季节不同月份开展相关试验，为体现土壤 CO_2 排放的季节性变化，试验选择在相同天气情况下的 2012 年 1 月 8，9 日（冬季）以及 3 月 10，12 日（春季）的 8：00—19：00 对 3 种类型土壤 CO_2 排放情况进行连续测定。在测定土壤 CO_2 排放的同时，测得研究区域上部（0.50 m）空气 CO_2 浓度在 1，3 月份值分别为 383.90 和 683.00 ml/m^3。1 月份，在温度较高的 11：00—15：00 空气中 CO_2 浓度较低，最低峰值大概出现在 13：00—14：00，低至 342.00 ml/m^3；3 月份，8：00—11：00 浓度维持在 500～600 ml/m^3 波动，最高峰值出现在 13：00—14：00，达到 890 ml/m^3。

1.2.3 空气温度与土壤温度的测定 为了解 3 种不同类型土壤 CO_2 排放与温度因子之间关系，在测定 CO_2 排放的同时，用埋入式温度计测定表层土壤（10 cm）温度以及测点地表空气温度，感温 5 min 读数。

1.2.4 土壤 TOC 含量的测定 在非耕季节，以荷兰 Eijkelkamp 公司生产的不锈钢土钻采样，每种样地按 0—5，5—10，10—20，20—30 cm 垂直梯度采集土样。采样时按照 S 形布点，五点混合取土样。样品经自然风干后，剔除草根等杂物，磨碎过 100 目筛，装袋备用。

选用重铬酸钾容重法—外加热法测定并计算土壤 TOC 含量。

2 结果与分析

2.1 天然湿地、围垦旱地及水稻田 CO_2 排放总体特征

研究区天然湿地、旱地及水稻田 CO_2 排放差异显著，CO_2 排放通量水稻田＞旱地＞湿地。测试的 4 d 中，天然湿地、旱地及水稻田 CO_2 通量的平均值分别为 302.66，433.80，700.70 mg/(m^2 · h)，天然湿地 CO_2 通量相当于旱地 70%左右，相当于水稻田的 43%左右（表 1）。由此可知，湿地对大气中 CO_2 浓度贡献最小。

2.2 天然湿地、围垦旱地及水稻田 CO_2 排放非耕季节变化特征

研究区天然湿地、围垦旱地及水稻田 CO_2 排放通量具有明显的季节性变化特征。湿地、围垦旱地及水稻田 CO_2 排放通量在 1 和 3 月分别为：233.32 和 372.00 mg/(m^2 · h)，275.52 和 592.08 mg/(m^2 · h)，361.24 和 1 040.16 mg/(m^2 · h)（表 1），说明 3 种类型土壤在春季 CO_2 排放通量较冬季有明显的增长，出现这种现象是由于冬季，植物根系呼吸作用减弱，同时由于春季温度升高，土壤微生物活动加剧，植物根系呼吸作用增强，因此，形成了这种季节性变化特征。

表 1 天然湿地、围垦旱地及水稻田 CO_2 排放通量

mg/(m^2 · h)

土壤类型		日期	最大值	最小值	平均值	标准差
天然湿地	1月	20120108	298.08	159.84	227.11	40.45
		20120109	293.76	108.00	239.52	60.83
		平均			233.32	
	3月	20120310	682.56	90.72	343.20	179.55
		20120312	496.80	349.92	400.80	52.23
		平均			372.00	
	总平均				302.66	
旱地	1月	20120108	375.84	207.36	267.84	53.73
		20120109	393.12	207.36	283.20	63.38
		平均			275.52	
	3月	20120310	1144.8	207.36	641.28	312.32
		20120312	699.84	371.52	542.88	103.61
		平均			592.08	
	总平均				433.80	
水稻田	1月	20120108	324.00	259.20	287.59	25.07
		20120109	604.80	272.16	434.88	98.72
		平均			361.24	
	3月	20120310	1 533.60	198.72	804.96	392.44
		20120312	1 827.36	825.12	1 275.36	336.79
		平均			1 040.16	
	总平均				700.70	

2.3 天然湿地、围垦旱地及水稻田 CO_2 排放通量增长率比较

在 1 月天然湿地、围垦旱地及水稻田 3 种类型土壤 CO_2 排放通量相差不大，三者之比为 1∶1.18∶1.55，而在 3 月排放通量相差较大，三者之比为 1∶1.59∶2.80。其中水稻田 CO_2 排放通量增长幅度最大，增长率达到 188%，湿地最小，增长率为 59%。由此可知，季节变化对水稻田土壤 CO_2 排放通量影响较大，而对湿地影响较小。

2.4 天然湿地、围垦旱地及水稻田 CO_2 排放通量与温度相关性分析

对空气温度、土壤温度分别与 CO_2 排放通量进行相关性分析（图 1），湿地、旱地、水稻田与空气温度相关系数分别为 0.62，0.84，0.74，与表层土壤温度相关系数分别为 0.30，0.64，0.66。由此可知，3 种土壤类型 CO_2 排放与空气温度和土壤温度均呈正相关，与大气温度相关性更为显著，且通过对比发现，湿地表层土壤温度与 CO_2 排放通量相关系数仅为 0.30，小于水稻田及旱地，原因有待进一步研究。

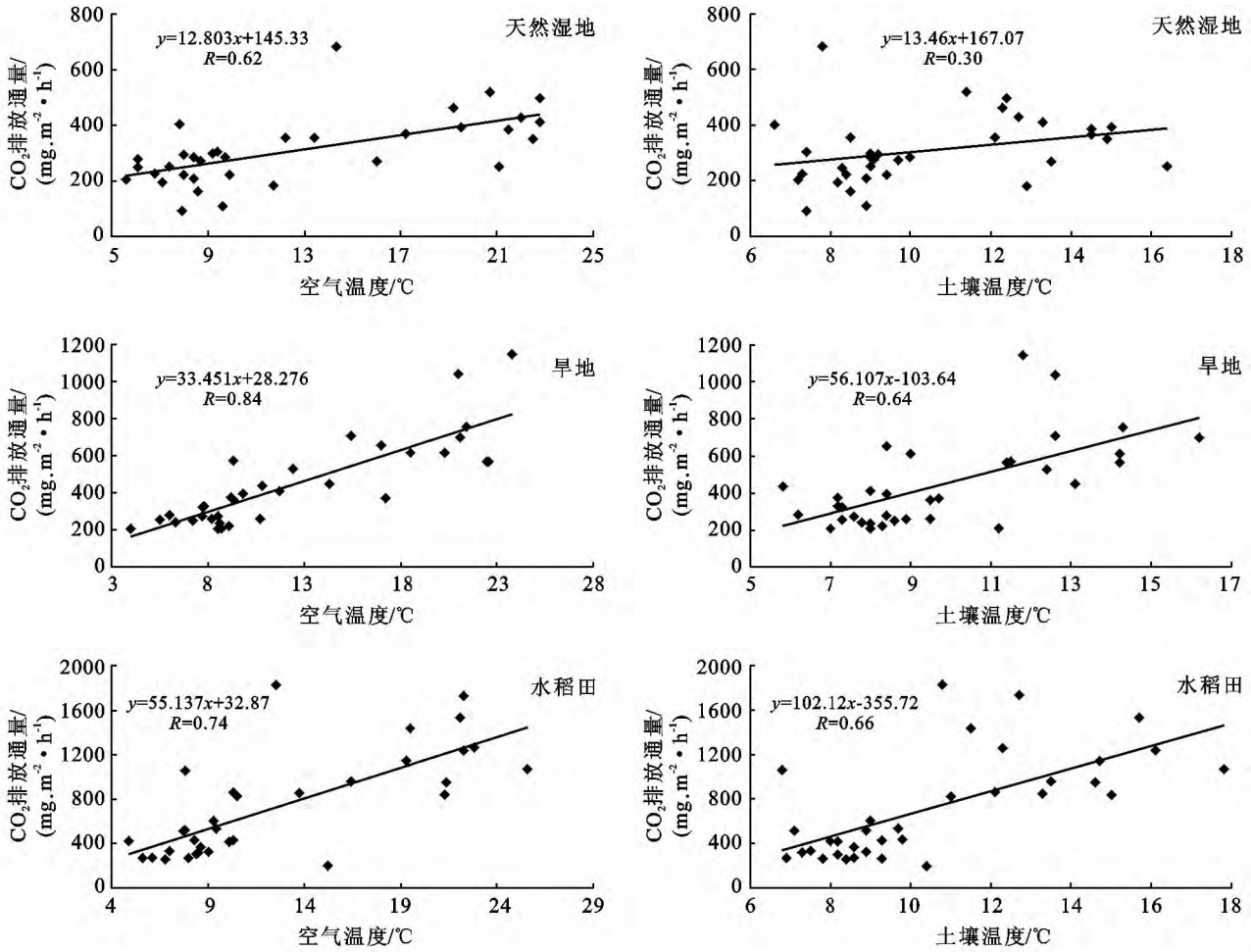


图 1　天然湿地、围垦旱地及水稻田 CO_2 排放通量与空气温度及表层土壤温度的关系

2.5　土壤 TOC 含量比较

土壤 TOC 含量的多少可以较准确地反映土壤呼吸的强弱程度。从图 2 可看出,在表层(0—5 cm 深度),围垦旱地及水稻田土壤 TOC 含量明显大于天然湿地,这可能与农田长期施加有机肥料有关。水稻田 TOC 含量最大,达 1.645%,旱地为 1.640%,而天然湿地仅为 0.978%。

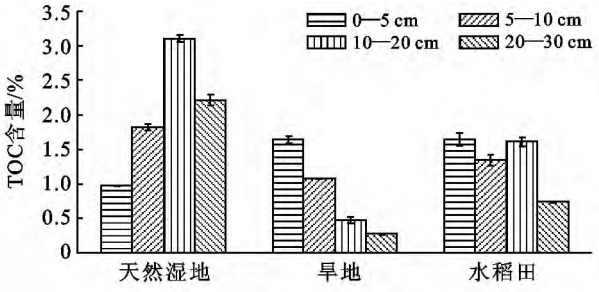


图 2　天然湿地、围垦旱地及水稻田不同深度土壤 TOC 含量

由此可见,表层土壤 TOC 含量的顺序为:水稻田>旱地>天然湿地,这与测得土壤 CO_2 排放通量规律一致。

在 5—30 cm 深度,天然湿地土壤 TOC 含量明显高于围垦旱地和水稻田,这说明天然湿地具有更强的固碳能力。

3　结 论

非耕季节,皖江地区天然湿地相对于围垦旱地、水稻田 CO_2 排放通量最小,湿地 CO_2 排放通量相当于围垦旱地的 70%左右,相当于水稻田的 43%左右,天然湿地土壤 TOC 含量明显高于围垦旱地及水稻田(0—30 cm 深度土壤),表明在非耕季节,天然湿地较围垦旱地和水稻田对大气中 CO_2 浓度贡献最小,能存储更多的碳。3 种土壤类型 CO_2 排放 3 月相对于 1 月均有增加,表明不同土壤类型 CO_2 排放具有相同的变化趋势,但水稻田波动最大,湿地波动最小。通过与温度相关性分析发现,3 种土壤类型 CO_2 排放通量与大气温度和表层土壤温度均呈正相关关系,与大气温度相关性更高。

[参 考 文 献]

[1]　段晓男,王效科,逯非,等. 中国湿地生态系统固碳现状

和潜力[J]. 生态学报,2008,28(2):463-469.
[2] 宋长春,阎百兴,王跃思,等. 三江平原沼泽湿地 CO_2 和 CH_4 通量及影响因子[J]. 科学通报,2003,48(23):2473-2477.
[3] 刘子刚,张坤民. 黑龙江省三江平原湿地土壤碳储量变化[J]. 清华大学学报:自然科学版,2005,45(6):788-791.
[4] 杨钙仁,张文菊,童成立,等. 温度对湿地沉积物有机碳矿化的影响[J]. 生态学报,2005,25(2):243-248.
[5] 宋长春,王毅勇,王跃思,等. 人类活动影响下淡水沼泽湿地温室气体排放变化[J]. 地理科学,2006,26(1):82-86.
[6] 杨继松,刘景双,孙丽娜. 三江平原草甸湿地土壤呼吸和枯落物分解的 CO_2 释放[J]. 生态学报,2008,28(2):805-810.
[7] 黄靖宇,宋长春,宋艳宇,等. 湿地垦殖对土壤微生物量及土壤溶解有机碳、氮的影响[J]. 环境科学,2008,29(5):1380-1387.
[8] 王宪伟,李秀珍,吕久俊,等. 冻融作用对大兴安岭湿地泥炭分解排放二氧化碳的影响[J]. 土壤通报,2010,41(4):970-975.
[9] 田应兵,熊明彪,熊晓山,等. 若尔盖高原湿地土壤—植物系统有机碳的分布与流动[J]. 植物生态学报,2003,27(4):490-495.
[10] 王德宣. 若尔盖高原泥炭沼泽二氧化碳、甲烷和氧化亚氮排放通量研究[J]. 湿地科学,2010,8(3):220-224.
[11] 高俊琴,雷光春,李丽,等. 若尔盖高原三种湿地土壤有机碳分布特征[J]. 湿地科学,2010,8(4):327-330.
[12] 田昆,常凤来,陆梅,等. 人为活动对云南纳帕海湿地土壤碳氮变化的影响[J]. 土壤学报,2004,41(5):681-686.
[13] 吴玉源,陈槐,林芳淼,等. 三峡水库澎溪河新生湿地 CO_2 排放研究[J]. 重庆师范大学学报:自然科学版,2012,29(3):79-83.
[14] 迟传德,许信旺,吴新民,等. 安徽省升金湖湿地土壤有机碳储存及分布[J]. 地球与环境,2006,34(3):56-64.
[15] 许信旺,潘根兴,曹志红,等. 安徽省土壤有机碳空间差异及影响因素[J]. 地理研究,2007,26(6):1077-1086.
[16] 林凡,李典友,潘根兴,等. 皖江自然湿地土壤碳密度及其开垦为农田后的变化[J]. 湿地科学,2008,6(2):192-197.
[17] 汪青,刘敏,侯立军,等. 崇明东滩湿地 CO_2,CH_4 和 N_2O 排放的时空差异[J]. 地理研究,2010,29(5):935-946.
[18] 马安娜,陆健健. 长江口崇西湿地生态系统的二氧化碳交换及潮汐影响[J]. 环境科学研究,2011,24(7):716-721.
[19] 朱振国,郑姚闽. 中国湿地调查[J]. 百科知识,2012(3):4-8.
[20] 朱同林,张光生. 安徽省沿江湿地资源现状、问题和对策[J]. 资源开发与市场,2005,21(4):300-302.

(上接第 103 页)

[5] 代力民,王宪礼,王金锡. 三北防护林生态效益评价要素分析[J]. 世界林业研究,2000,13(2):47-51.
[6] Zhao Wenzhi, Hu Guanglu, Zhang Zhihui, et al. Shielding effect of oasis-protection systems composed of various forms of windbreak on sand fixation in an arid region: A case study in the Hexi Corridor, Northwest China [J]. Ecological Engineering, 2008,33(2):119-125.
[7] Hall D J M, Sudmeyer R A, McLernon C K, et al. Characterisation of a windbreak system on the south coast of western Austrilia(3):Soil water and hydrology [J]. Australian Journal of Experimental Agriculture, 2002,42(6):729-738.
[8] Lei Jiaqiang, Li Shengyu, Jin Zhengzhong, et al. Comprehensive eco-environmental effects of the shelter-forest ecological engineering along the Tarim Desert Highway[J]. China Science Bulletin, 2008,53(2):190-202.
[9] 郑粉莉. 子午岭林区植被破坏与恢复对土壤演变的影响[J]. 水土保持通报,1996,16(5):41-44.
[10] 李永宁,张兵兰,秦淑英,等. 郁闭度及其测定方法研究与应用[J]. 世界林业研究,2008:21(1):40-46.
[11] Wang Hao, Takle E S. A numerical simulation of boundary-layer flows near shelterbelts [J]. Boundary-Layer Meteorology, 1995,75(1/2):141-173.
[12] Frank C, Ruck B. Double-arranged mound-mounted shelterbelts: Influence of porosity on wind reduction between the shelters [J]. Environmental Fluid Mechanics, 2005,5(3):267-292.
[13] 俞学曾,区柏森,沈晓东. 防护林防沙效应风洞模拟试验[J]. 气动实验与测量控制,1991,5(4):46-52.
[14] 张彩霞,王训明,满多清,等. 层次分析法在民勤绿洲农田防护林生态效益评价中的应用[J]. 中国沙漠,2010,30(3):602-607.
[15] Zhang H, Brandle J R, Meyer G E, et al. The relationship between open windspeed reduction in shelter [J]. Agroforestry Systems, 1995,32(3):297-311.
[16] 冯瑞,吴发启,雷金银. 利用 PIV 系统对防护林不同配置模式防护效益的研究[J]. 水土保持通报,2007,27(2):5-9.
[17] 金文,王元,张玮. 防护林搭配灌草条件下的 PIV 实验研究[J]. 中国沙漠,2003,25(5):600-603.
[18] 王元,金文,张鸿雁,等. 不同类型防护林绕林流场的 PIV 测量[J]. 空气动力学学报,2004,22(2):135-140.
[19] 罗万银,董治宝,钱广强,等. 直立阻沙栅栏流场特征的风洞模拟实验[J]. 中国沙漠,2009,29(2):200-205.
[20] 徐丽萍,杨改河,姜艳,等. 黄土高原人工植被小气候生态效应研究[J]. 水土保持学报,2008,22(1):163-167.