

冬闲田稻草覆盖的环境效应

尹春梅¹, 王凯荣^{1,2}, 谢小立¹

(1. 中国科学院亚热带农业生态研究所, 湖南 长沙 410125; 2. 青岛农业大学农业生态与环境健康研究所, 山东 青岛 266109)

摘要:稻草覆盖和裸田休闲是我国南方双季稻区的两种主要的冬季休闲模式。以湖南红壤丘陵双季稻作区为研究区域,以耕层土壤温度、湿度、田间冬季杂草生长、CO₂ 气体排放为主要指标,研究了稻草覆盖与裸田越冬两种冬季休闲模式对稻田土壤温、湿度和碳通量的影响。结果表明,冬季稻田覆盖稻草能显著提高 0~5 cm 表层土壤温度和 0~15 cm 耕层土壤的水分含量,抑制冬季田间杂草生长,并显著提高向大气的 CO₂ 排放通量,致使冬闲稻田由大气 CO₂ 汇转变为 CO₂ 源。但是,如果考虑覆盖稻草输入的有机碳量,覆盖休闲则可增加土壤碳的库容量。

关键词:稻草覆盖;土壤含水量;土壤温度;杂草;CO₂ 通量

中图分类号:S154.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2008)04-1633-05

Environmental Effect of Straw Mulching During Winter Fallow Season in Paddy Rice Field

YIN Chun-mei¹, WANG Kai-rong^{1,2}, XIE Xiao-li¹

(1. Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China; 2. Institute of Agriculture Ecological and Environmental Health, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

Abstract: Straw mulch is a very common measure during wintry fallow period that can last over five months in most of southern China. However, few studies have investigated the effects of straw mulch during the winter fallow season. An experiment was started at the Taoyuan Agro-ecological station of the Chinese Academy of Sciences to study the effect of straw mulching on the agro-ecosystem and settle a foundation for exploring economically feasible and eco-friendly mulching options. Two treatments were tested: mulching with 4 000 kg·hm⁻² straw in winter and 3 500 kg·hm⁻² straw in late spring per year, and a no straw mulch control. Both treatments were replicated twice in a completely randomized block design. Throughout the experiment, we monitored the dynamics of soil temperature and moisture, the CO₂ fluxes from the wintry paddy ecosystem, and investigated the growth of weeds. The results showed that straw mulch increased the soil temperature, retarded the loss of surface soil moisture, checked weed growth, and strongly influenced the CO₂ fluxes between agro-ecosystems and atmosphere. And if take the input of organic carbon from rice straw into consideration, mulch had a positive effect to soil carbon pool during the wintry fallow period.

Keywords: straw mulch; soil moisture; soil temperature; weeds; CO₂ fluxes

冬季休闲在我国南方双季稻区普遍存在,晚稻收割后稻草覆盖还田和裸田休闲是最主要的两种冬季休闲方式^[1]。近年来,随着东南部经济的快速发展,农业生产比较效益降低,冬闲田面积呈扩大趋势。鉴于秸秆还田有改良土壤、培肥地力的作用,覆盖还田还有蓄水保墒、抑制杂草生长等效应^[2],且省工省力,农

民越来越趋向于将晚稻草留置田中,形成一种冬季覆盖休闲模式。

国内外大量试验证实,秸秆覆盖除有利于提高土壤肥力性状之外,还能显著提高土壤有机碳的截获与储存潜力,对缓解全球气候变化具有积极意义^[3-6]。覆盖通过改变土壤与大气界面特性,调节土壤与大气层间的水分和能量交换,使得土壤的水、肥、气、热等状况得到重新组合。但是,冬闲田覆盖稻草对土壤水、热、生物性状及 CO₂ 排放通量的影响尚缺乏研究报道,而充分揭示上述影响规律对于优化农田秸秆管理模式具有积极意义。

收稿日期:2007-11-23

基金项目:中国科学院知识创新工程资助项目(KZCX2-YW-423);国家 973 项目(2005CB121106);中国科学院知识创新工程项目(KZCX3-SW-441)

作者简介:尹春梅(1982—),女,四川什邡人,硕士,研究实习员,主要从事农业环境与生态系统管理方面的研究。

E-mail: yin.cm@163.com

1 试验设计与方法

1.1 研究区概况及试验设计

试验于 2005 年在中国科学院桃源农业生态站 (28°55'N、111°30'E) 的定位试验田进行。试验田地处我国中亚热带向北亚热带过渡的季风湿润气候区, 年平均气温 16.5℃, 年降雨量 1 447.9 mm, 年蒸发量 1 157 mm, 日照时数 1 531.4 h, 太阳辐射 422.6 kJ·cm⁻²。供试土壤为第四纪红土发育的红壤性水稻土, 土壤基本肥力性状为: 有机碳 15.1 g·kg⁻¹, 全氮 1.76 g·kg⁻¹, 全磷 0.60 g·kg⁻¹, 全钾 14.9 g·kg⁻¹, pH 5.04。试验设稻草覆盖休闲(A)与裸田休闲(B)两个处理, 每处理设两次重复。覆盖休闲处理的稻草施用量为 4 000 kg·hm⁻² (折干重), 于晚稻收割后 10 d 后将稻草切成 5~6 cm 长的碎段, 均匀撒于土表。冬季休闲期间不集雨不灌水。其他管理措施同当地大田生产。

1.2 野外观测和实验室测定方法

CO₂ 通量的测定采用透明静态箱式法。静态箱由箱体与箱底座组成, 为活动盖箱, 箱体由 65 cm×65 cm×90 cm 的有机玻璃板制成, 箱基部分在试验过程中一直嵌于土壤中, 箱基和箱盖之间用橡胶密封条进行密封, 箱体侧上部有一接口与 CO₂ 分析仪连接, 上部安装 2 个由 220V 交流电源供电的直径 15 cm 的电风扇。CO₂ 通量观测于晚稻收割后第 5 d (2005 年 10 月 20 日) 开始, 至淹水春耕前一天 (2006 年 4 月 3 日) 结束, 共计 164 d。观测频率为每周 1 次 (遇雨天则适当调整测定日期), 测定间隔时间 2 h。每个静态箱每次测定持续时间为 10 min, 气体流速为 0.4 L·min⁻¹。测定时箱盖短时间关闭, 测定完毕后立即打开箱盖。气体分析用 CI-310PS 便携式光合作用测定仪 (美国 CID 公司) 的 single channel absolute 功能进行测定, 同时记录气压及气温数据。利用线性回归计算该时间间隔内 CO₂ 浓度随时间的变化速率以代表 CO₂ 排放通量^[7,8]。

土壤水分含量采用烘干法。用土钻采集耕层 3 种深度 (0~10 cm、10~15 cm、10~20 cm) 土壤测定含水量, 每次采样为 7 个采样点, 在小区内呈“S”型分布。测定频率为两周 1 次。

土壤含水量用质量分数表示, 计算公式为:

$$W\% = \frac{M_{\text{鲜}} - M_{\text{干}}}{M_{\text{干}}} \times 100\%$$

式中: W 为含水量质量分数, $M_{\text{鲜}}$ 为土壤鲜重, $M_{\text{干}}$ 为烘干土壤重。

在各处理小区中央每隔 10 cm 并排埋设曲管地温表测量土壤耕层各层次温度, 深度分别为 0 (土表)、5、10 cm 和 20 cm。测定频率为每周 1 次。在测定日每间隔 2 h 读取 1 次地温数据。

每月一次随机选取试验小区内面积 0.5 m² 样方, 将杂草连根拔起, 洗净、杀青、烘干, 测定杂草干物量, 同时用比色卡测定叶色, 以表示杂草生长情况。

1.3 数据分析

采用 SPSS11.5 数据处理系统进行数据处理, Student's t 测验法进行成对比较, $P < 0.05$ 作为差异显著概率水平。

CO₂ 通量测定和温度测定均为 2 h 测定一次, 以处理均值表示测定时间点的测定值, CO₂ 日通量以积分法计算, 日平均温度以 12 次测定的均值计算。

2 结果与讨论

2.1 冬闲田稻草覆盖对耕层土壤水分含量的影响

冬闲期间覆盖稻草能显著提高表层土壤的含水量 (图 1)。稻草覆盖 (A) 与裸田处理 (B) 相比, 0~10 cm 和 10~15 cm 土壤含水量平均分别提高了 9.22% 和 9.27%, t 测验结果表明, 处理间的差异达到了极显著水平。而两个处理 15~20 cm 土层的土壤含水量无显著差异, 表明稻草覆盖产生了明显的水分表聚效应。

休闲期间农田的蒸散耗水主要以土壤蒸发为主。秸秆覆盖后, 隔断了蒸发表面与下层土壤间的毛管联系, 减弱了土壤空气与大气之间的交换强度, 从而有效地抑制了蒸发过程。从能量平衡的角度来讲, 覆盖稻草后, 由于阻隔了阳光的直接辐射, 对太阳辐射的反射率高, 产生的辐射热总量小于裸露地面, 覆盖的地面和上部耕层形成了较低温度环境, 降低了扩散进入大气的水汽传导速率, 从而减少了土壤的蒸发量。有研究表明, 在土壤湿度较小 (含水量占田间持水量的 40%~65%) 的环境下, 秸秆覆盖能够有效地抑制土壤蒸发, 显著改善土壤水分供应状况^[9]。同时稻草具有较强的吸湿性, 可截留晨雾水分, 在降雨时更能吸持较多水分, 补充到土壤之中。此外, 秸秆覆盖也能减缓降水的地表径流, 提高土壤入渗率^[10]。

2.2 冬闲田稻草覆盖对土壤温度的影响

在本试验中, 覆盖稻草后, 土壤温度的日变幅缩小。在地表层, 由于覆盖物的遮盖, 白天的最高温度明显下降, 夜间则表现出了明显的保温效应。稻草覆盖处理较裸田对照的地表温度在 11~15℃ 时的差值最大, 最大时比对照低 4.7~7.9℃ (图 2)。稻草覆盖对地

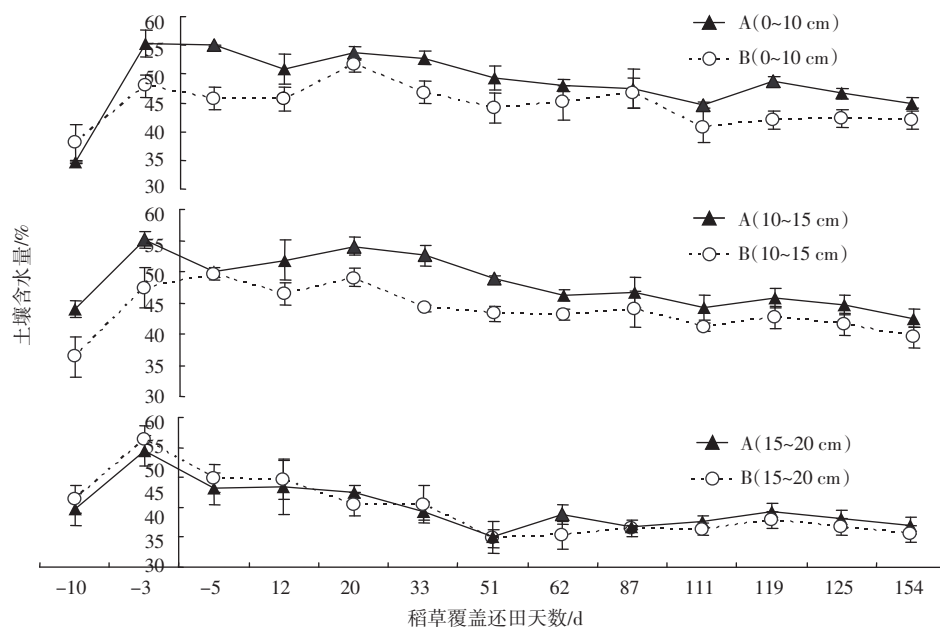


图 1 稻草覆盖还田对土壤水分含量的影响

Figure 1 Effect of straw mulch on soil water content

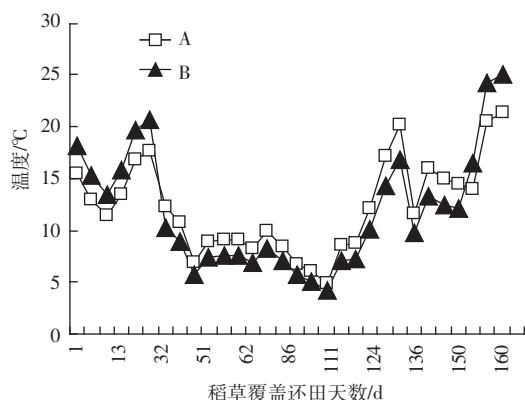


图 2 覆盖稻草对地表温度的影响

Figure 2 Effect of rice straw overlain on ground

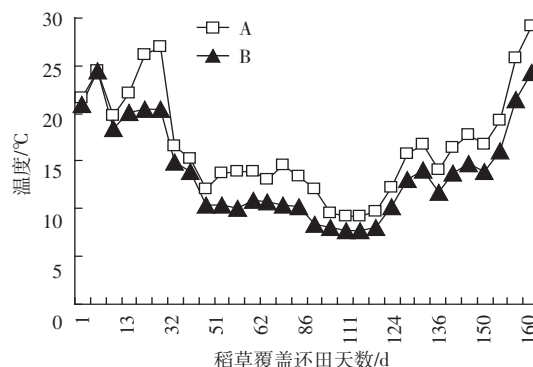


图 3 覆盖稻草对地下 5 cm 土层温度的影响

Figure 3 Effect of rice straw overlain on soil temperature
5 cm underground

温的影响与光照强度和气温有密切关系,光照越强,气温越高,则裸田比覆盖处理的地表温度升高越多。在整个冬季休闲期间,覆盖稻草处理的地表日平均温度比裸田对照低 $-0.3\sim 2.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。而稻草覆盖处理(A)地表下 5 cm 土层的日均温度(T_{g5})则比对照(B)高 $1.0\sim 3.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (图 3),表现出明显的增温效应,且气温越低,增温效应越大。随着土层深度的增加,处理间温差缩小,在地表下 20 cm 土层,稻草覆盖处理的日均温度仅比裸田对照高 $0.3\sim 1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

2.3 冬闲田稻草覆盖对田间杂草生长的影响

试验区冬季稻田的主要杂草类型为禾本科野麦属的越年生杂草看麦娘(*Alopecurus aequalis* Sobol)。看麦娘(后文简称杂草)在冬闲稻田中的生长期约 130 d。田间监测表明,稻草覆盖能显著地抑制田间杂

草的发芽和生长。在杂草发芽期(1月2日)和生长盛期(3月2日),稻草覆盖区杂草生物量(干重)分别为 $6.83\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 $26.56\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$,分别为对照处理的 83%和 54%。经过叶色对比,覆盖处理与对照处理相比,叶色偏黄一个单位。另外,覆盖明显的缩短了杂草在生长期。与对照处理相比,覆盖小区的杂草提前 10 d 左右进入衰亡阶段(以田间杂草变黄率约 60%为标准估计)。据已有研究报道,秸秆覆盖对杂草的抑制机理,一是覆盖的遮荫作用^[11,12],制约了喜光性杂草的生长,或者阻碍了杂草生长所需要的某一特定波长光的透入^[13];另一种可能就是生物种间的他感效应^[14]。本研究结果表明,覆盖对水、温等田间小气候条件的改变,也是影响杂草生长的一个原因。

2.4 冬闲田稻草覆盖对 CO₂ 通量的影响

导致全球气候变暖的大气痕量温室气体已成为当今多门学科的研究热点,其中 CO₂ 被认为是最主要的温室气体之一。稻田生态系统对大气温室气体的吸收/排放对全球气候变化起着不可忽视的影响^[15-17]。农业生态系统对全球变化的影响主要是通过改变温室气体在土壤大气界面的交换而实现的。

在本试验中,稻草覆盖对冬闲稻田系统 CO₂ 通量的影响以覆盖后一个月以内最为显著,而且在整个试验期间,稻草覆盖对 CO₂ 的排放均表现出正效应,即相对于裸田对照,覆盖处理增加了 CO₂ 的排放,且排放增量随气温升高呈上升趋势。为表示 CO₂ 通量的方向,以指向大气的 CO₂ 排放通量为正,指向稻田系统的 CO₂ 吸收通量为负。结果发现(图 4),稻草覆盖后 10 d 左右,覆盖处理(A)与裸田对照(B)相比,指向大气的 CO₂ 排放通量平均高出 187.9 kg·hm⁻²·d⁻¹,可能与微生物的分解活动开始增强有关,这种显著差异一直维持了 1 个月时间。在稻草覆盖后的 40 d 内,覆盖处理的 CO₂ 排放通量比裸田对照平均高出了 182.35 kg·hm⁻²·d⁻¹。

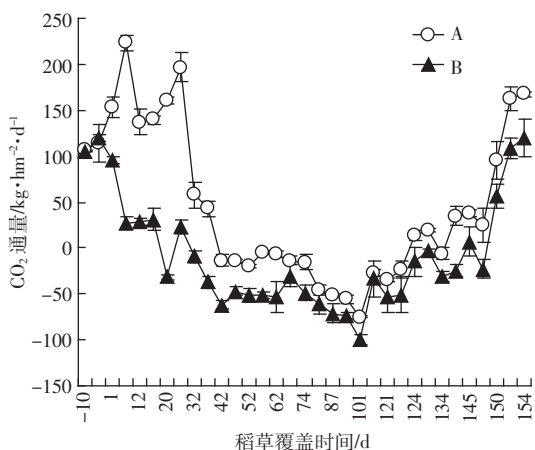


图 4 稻草覆盖对 CO₂ 通量逐日变化的影响

Figure 4 Effect of straw mulch on daily dynamics of CO₂ fluxes in fallow paddy

从整个冬闲期来看,12月、1月和2月3个月是稻田系统吸收大气 CO₂ 为主的阶段,从3月开始则转为向大气排放 CO₂ 气体为主(图 5),稻草覆盖(A)处理的月均和日均 CO₂ 通量均显著高于裸田(B)对照($t_{\text{月均}}=4.05>t_{0.05}=2.77, P<0.05$; $t_{\text{日均}}=5.92>t_{0.01}=2.75, P<0.01$)。覆盖稻草对 CO₂ 通量的影响机制包括直接和间接两个方面。直接影响机制是秸秆分解过程的 CO₂ 释放过程;间接影响机制为田间杂草光合作用对 CO₂ 的吸收同化过程。冬闲期覆盖稻草的保湿增温效应为

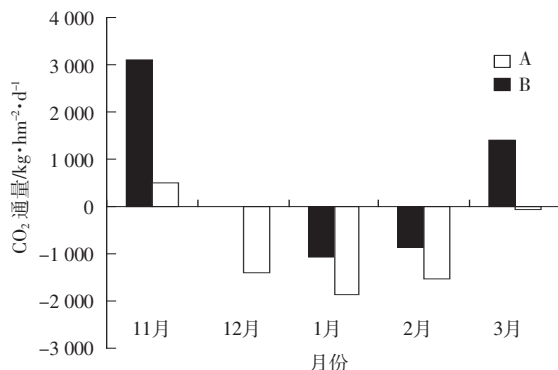


图 5 稻草覆盖对 CO₂ 通量逐月变化的影响

Figure 5 Effect of straw mulch on monthly dynamics of CO₂ fluxes in fallow paddy

稻田土壤微生物活动提供了良好外部环境,也为土壤微生物的活动提供了丰富的能源物质,土壤环境因子的改善,促进了土壤微生物的大量繁殖^[18],土壤生物活性的提高和微生物活动的加强又必然进一步促进秸秆的分解转化,这种互促效应可能是稻草覆盖处理前期的 CO₂ 排放量显著高于无覆盖处理的重要原因。

杂草看麦娘在冬闲稻田中的生长期约 130 d(12月至来年3月),对于 CO₂ 通量的变化起着非常重要的作用。杂草的呼吸与光合作用,占稻田生态系统 CO₂ 通量变化的 80%以上(以白天和夜间通量的变化差计算)。稻草覆盖处理减少了杂草生物量,成为裸田 CO₂ 通量与光合有效辐射(PAR)的相关性更好的重要原因,也是稻草覆盖还田处理后期(时间上与杂草生长盛期同步)CO₂ 排放量较无覆盖处理大的主要原因。田间杂草的生物量减少对 CO₂ 通量的影响主要表现在白天时段。

稻草覆盖处理在试验期间日均排放通量为 1.99 g CO₂·m⁻²·d⁻¹,而对照区日均排放通量为-2.68 g CO₂·m⁻²·d⁻¹。也就是说,稻草覆盖处理在整个试验期间约向大气排放 CO₂ 气体 3.06 t CO₂·hm⁻²,而无覆盖处理则从大气固定了 CO₂ 气体 4.13 t CO₂·hm⁻²,约占稻田生态系统全年吸碳量的 1/5^[19],在稻田生态系统 CO₂ 通量年际变化中占重要地位。但是,如果将稻草覆盖输入的 1.56 t C·hm⁻² 碳计算在内,覆盖处理仍使土壤碳库增加了有机碳约 0.59 t C·hm⁻²。

3 结论

稻草覆盖还田对冬闲稻田的环境效应主要有 4 个方面:保温、保水、抑制田间杂草生长及增加指向大气的 CO₂ 排放。覆盖对土温的影响主要在 0~5 cm 土层。试验期内,稻草覆盖区的土温较裸田平均高出

1.0~3.2 ℃。覆盖对土壤水分的影响主要在 0~15 cm 土层。稻草覆盖显著改变了冬闲稻田生态系统的 CO₂ 通量变化。试验期内,裸田平均净吸收 2.68 gCO₂·m⁻²·d⁻¹,覆盖处理平均净排放 1.99 gCO₂·m⁻²·d⁻¹,覆盖使冬闲稻田由大气碳汇变为碳源。但是农田生态系统对 CO₂ 的吸收/排放并非是不可逆转的,任何绿色植物都可以成为固定 CO₂ 的生产车间。因此笔者建议,在稻田冬季覆盖稻草的同时,种植一些省力、经济、生态效应好的作物,如黑麦草、紫云英等^[20],既可培肥地力、提高稻田系统生产力,又能提高冬季稻田系统的碳蓄积能力,实现稻草覆盖这一措施的社会、经济和生态效益的有机统一。

参考文献:

- [1] 徐 琪,杨林章,董元华,等. 中国稻田生态系统[M]. 北京:中国农业出版社, 1998.
XU Qi, YANG Lin-zhang, DONG Yuan-hua, et al. Rice paddy ecological system in China[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1998.
- [2] 曾木祥,王蓉芳,彭世琪. 我国主要农区秸秆还田试验总结 [J]. 土壤通报, 2002, 33(5): 336-339.
ZENG Mu-xiang, WANG Rong-fang, PENG Shi-qi. Summary of re-turning straw into field of main agricultural areas in China [J]. *Soil Science*, 2002, 33(5): 336-339.
- [3] 潘根兴,赵其国. 我国农田土壤碳库演变研究: 全球变化和国家粮食安全[J]. 地球科学进展, 2005, 20(4): 384-393.
PAN Gen-xing, ZHAO Qi-guo. Study on evolution of organic carbon stock in agricultural soils of china: facing the challenge of global change and food security [J]. *Advance in Earth Sciences*, 2005, 20 (4): 384-393.
- [4] Hentiksen T M, Breland T A. Carbon mineralization, fungal and bacterial growth and enzyme activities as affected by contact between crop residues and soil[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2002, 35: 41-48.
- [5] Kalbitz K, Solinger S, Park J H, et al. Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: a review[J]. *Soil Sci*, 2000, 165: 277-304.
- [6] Salinas-Garcia J R, Hons F M, Matocha J E. Long-term effects of tillage and fertilization on soil organic matter dynamics[J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1997, 61: 152-159.
- [7] 邹建文,黄 耀,宗良纲,等. 稻田 CO₂、CH₄ 和 N₂O 排放及其影响因素[J]. 环境科学学报, 2003, 23(6): 758-764.
ZOU Jian-wen, HUANG Yao, ZONG Liang-gang, et al. A field study on CO₂, CH₄ and N₂O emissions from rice paddy and impact factors[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2003, 23(6): 758-764.
- [8] 郑循华,徐仲均,王跃思,等. 开放式空气 CO₂ 浓度增高影响稻田-大气 CO₂ 净交换的静态暗箱法观测研究 [J]. 应用生态学报, 2002, 13(10): 1 240-1 244.
ZHENG Xun-hua, XU Zhong-jun, WANG Yue-si, et al. Determination of net exchange of CO₂ between paddy fields and atmosphere with static technique-chamber-based measurements [J]. *Applied Ecology*, 2002, 13(10): 1 240-1 244.
- [9] 张克林,程秀英. 秸秆覆盖的水土保持生态环境效应[J]. 水利科技与经济, 2005, 11(7): 434-435.
ZHANG Ke-lin, CHENG Xiu-ying. Mulching effect on water and soil conservancy[J]. *Water Conservancy Technology and Economy*, 2005, 11 (7): 434-435.
- [10] 沈裕璇,黄相国,王海庆. 秸秆覆盖的农田效应[J]. 干旱地区农业研究, 1998, 16(1): 45-50.
SHEN Yu-hu, HUANG Xiang-guo, WANG Hai-qing. Field effects of straw mulching[J]. *Agric Research in Arid Areas*, 1998, 16(1): 45-50.
- [11] 江永红,宇振荣,马永良. 秸秆还田对农田生态系统及作物生长的影响[J]. 土壤通报, 2001, 32(5): 209-213.
JIANG Yong-hong, YU Z R, MA Y L. The effect of stubble return on a gro-ecological system and crop growth [J]. *Soil Science*, 2001, 32(5): 209-213.
- [12] Prihar S S, Sandhu K S, Khera K L. Maize (*Zea mays* L.) and weed growth as affected by levels of mulching with and without herbicide under conventional and minimum tillage[J]. *Indian J Ecol*, 1976, 2: 13-22.
- [13] Ossom E M, Pace P F, Rhykerd R L, et al. Effect of mulch on weed infestation, soil temperature, nutrient concentration and tuber yield in *Ipomoea batatas* (L.) Lam in Papua New Guinea [J]. *Trop Agric (Trinidad)*, 2001, 78: 144-151.
- [14] 韩庆华,马永清. 小麦秸秆中生化他感化合物的研究概况 [J]. 生态农业研究, 1994, 2(4): 71-75.
HAN Qing-hua, MA Yong-qing. A brief introduction to the researches on allelochemicals in wheat straw [J]. *Eco-agriculture Research*, 1994, 2(4): 71-76.
- [15] 李克让. 土地利用变化和温室气体排放与陆地生态系统碳循环[M]. 北京:气象出版社, 2002.
LI Ke-rang. Land use change, greenhouse gases emission and carbon cycle of terrestrial ecosystem[M]. Beijing: China Meteorology Press, 2002. 60-67.
- [16] 潘根兴,李恋卿,张旭辉. 土壤有机碳库与全球变化研究的若干前沿问题-兼开展中国水稻土有机碳固定研究的建议[J]. 南京农业大学学报, 2002, 25(3): 100-109.
PAN Gen-xing, LI Lian-qing, ZHANG Xu-hui. Perspectives on issues of soil carbon pools and global change [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2002, 25(3): 100-109.
- [17] Cambell C S, Heilman J L, McInnes K J, et al. Diel and Seasonal Variation in CO₂ of irrigated rice[J]. *Agric For Meteorol*, 2001, 108: 15-27.
- [18] Doran J W. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage[J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1980, 44: 765-771.
- [19] 朱咏莉,吴金水,周卫军,等. 亚热带稻田生态系统 CO₂ 排放及影响因素[J]. 中国环境科学, 2005, 25(2): 151-154.
ZHU Yong-li, WU Jin-shui, ZHOU Wei-jun, et al. CO₂ emission from the paddy ecosystem in subtropical region and its influence factors[J]. *China Environ Sci*, 2005, 25(2): 151-154.
- [20] 王丽宏,胡跃高,杨光立. 南方冬季覆盖作物的碳蓄积及其对水稻产量的影响[J]. 生态环境, 2006, 15(3): 616-619.
WANG Li-hong, HU Yue-gao, YANG Guang-li. Carbon fixation by winter cover crops in south China and the effects of WCC on rice yields[J]. *Ecology and Environment*, 2006, 15(3): 616-619.