

秸秆还田对稻田渗漏液 DOC 含量及土壤 Cd 活度的影响

柏彦超, 陈国华, 路平, 陶天云, 封克, 单玉华*

(江苏省扬州农业环境安全技术服务中心, 扬州大学环境科学与工程学院, 江苏 扬州 225127)

摘要:通过盆栽试验,研究了秸秆还田对稻田渗漏液 DOC 含量及重金属污染土壤 Cd 溶出的影响。结果表明,秸秆还田增加了稻田渗漏液的 DOC 含量,提高了土壤 Cd 的活度。稻田渗漏水 DOC 的浓度随秸秆还田量的增加而增大。秸秆还田增加了 Cd 随稻田渗漏水的流失,使得稻田土壤 Cd 全量、有效态 Cd 量均随秸秆还田量的增加而降低,部分处理降低幅度达显著水平。本试验条件下由于较多的秸秆还田影响了水稻生长,使水稻植株 Cd 浓度、累积量均随秸秆还田量的增加呈先上升后下降的趋势。秸秆还田 0.5% 处理的水稻植株 Cd 浓度、累积量最高,分别为 $45.10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $1\ 858.1 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{pot}^{-1}$ 。

关键词:秸秆还田;渗漏液;DOC;Cd

中图分类号:X53 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2011)12-2491-05

Effect of Wheat Straw Return on DOC in Percolating Water and Cd Activity in Rice Soil

BAI Yan-chao, CHEN Guo-hua, LU Ping, TAO Tian-yun, FENG Ke, SHAN Yu-hua*

(Yangzhou Technical Service Center for Agro-Environment Safety of Jiangsu Province, College of Environmental Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225127, China)

Abstract: A pot experiment was carried out to study the effect of straw return on dissolved organic carbon (DOC) in percolating water and Cd activity in a polluted rice soil. The results showed that DOC concentration in percolating water in rice soil increased with the increase of the amount of straw returned. After rice harvest, total and effective Cd in the soil decreased (or decreased significantly in some treatments) with the amount of straw added to the soil, due to enhanced loss of Cd through percolating water by addition of wheat straw. Under experimental conditions, with the increase of the amount of straw, Cd concentration and accumulation in rice plants, increased firstly and then decreased. Cd concentration and accumulation in plants in 0.5% straw returning treatment were the highest, which were $45.10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $1\ 858.1 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{pot}^{-1}$ respectively. Straw returning elevated DOC concentration in percolating water and the activity of soil Cd in rice field.

Keywords: Straw returning; percolating water; DOC; Cd

随着我国工业化、城市化进程的加快,交通运输业的快速发展以及向农田投入大量化肥、农药等化学物质的增多,土壤重金属污染日益严重,正逐渐引起人们重视。据统计,我国受到重金属污染的耕地近 2 000 万 hm^2 ,约占总耕地面积的 1/5,其中 Cd 污染耕地 1.33 万 hm^2 ^[1]。污染土壤中重金属的环境风险随重金属活度即移动性与生物有效性的增大而提高。土壤

有机质状况对土壤重金属活度影响较大^[2-3]。溶解性有机碳(DOC)由于含有大量的羧基、羟基、羰基等官能团对铅、镉、铝、锌、铜等重金属具有络合能力而影响这些元素在土壤中的迁移^[4-5]。有研究表明,土壤交换态 Cd 的含量与土壤 DOC 含量呈明显的正相关关系^[6]。外源新鲜有机物降解是土壤 DOC 的重要来源,施用有机肥可以显著提高土壤 DOC 含量^[7]。施用猪粪、绿肥均能提高土壤水溶性有机物(DOM)含量,可抑制 Cu 在土壤中的沉淀从而使 Cu 的活度提高^[8]。我国农作物秸秆年产量约为 7 亿 t 左右,作物秸秆资源丰富,数量巨大^[9]。秸秆直接还田是合理利用我国秸秆资源、减少秸秆露天焚烧的重要措施,而农田施用秸

收稿日期:2011-08-20

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目(2007CB109303);江苏省环境材料与工程重点实验室开放基金资助项目

作者简介:柏彦超(1981—),男,江苏盐城人,博士,讲师,主要从事农业资源利用等方面的研究。E-mail: ycbai@yzu.edu.cn

* 通讯作者:单玉华 E-mail: shanyuhua@gmail.com

秆后因其在腐解过程中可产生大量中间产物,成为 DOC 的重要来源。研究表明,秸秆还田可显著提高淹水土壤 DOC 浓度,促进污染土壤 Cu、Cd 的溶出^[10-11]。本研究以小麦秸秆为材料,在淹水种植水稻条件下研究了秸秆还田对稻田渗透液 DOC 含量、污染土壤 Cd 溶出及水稻植株吸收 Cd 的影响,并分析了 Cd 的溶出与 DOC 的关系,旨在为评价重金属污染地区秸秆还田的生态效应提供进一步的试验依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤为下蜀黄土,采自扬州大学试验农牧场内的 0~20 cm 表层土,土壤 pH 值为 6.48,有机质 $12.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮、全磷、全钾含量分别为 0.83、1.19、 $10.13 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全镉 $0.26 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。供试盆钵为高 40 cm、内径 34 cm 的圆柱型塑料盆钵。供试水稻品种为武育粳 3 号。供试秸秆为切碎至 2 cm 长的小麦秸秆。

1.2 试验方法

试验于 2010 年 5 月—10 月在扬州大学试验农牧场塑料大棚内进行。土壤经自然风干后,过 2 mm 筛,将 Cd 溶液(用 $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ 配置)与土样均匀混合,温室稳定 1 个月,作为模拟 Cd 污染土壤。污染土壤总 Cd 含量为 $43.26 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。按秸秆不同还田量设 4 个处理,分别为土重的 0、0.25%、0.5%、1.0%。称取土样 30.0 kg,与各处理秸秆均匀混合后装盆,灌水至 5 cm 水层。每盆加入 NH_4NO_3 1 g、 KH_2PO_4 1 g、KCl 1 g 作为底肥。6 月 25 日,选择大小、长势基本一致的 3.5 叶期水稻秧苗移栽到盆中,每盆 6 株,7 月 15 日追加 1 次施肥,施肥量同底肥。试验期间其他田间措施均保持一致。6 月 25 日—7 月 22 日,每 3 d 收集 1 次渗透液 100 mL,7 月 28 日—9 月 3 日,每 6 d 收集 1 次渗透液 100 mL,渗透液均过 $0.45 \mu\text{m}$ 滤膜后备用。

水稻成熟后考苗,并采集土样。

1.3 测定方法

采用 TOC 分析仪(TOC-V CPN FA, CN200, 日本岛津公司)测定渗透液 DOC 浓度,用石墨炉原子吸收分光光度计(PEM 2100, 德国 Perkin-Elmer 公司)测定渗透液 Cd 浓度,火焰原子吸收分光光度法测定土壤、植株 Cd 含量^[12]。

1.4 数据分析方法

试验所得数据应用 SPSS 统计软件进行方差分析,并进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 秸秆还田对稻田渗透水 DOC 浓度的影响

图 1 列出的是秸秆还田对水稻渗透水 DOC 浓度的影响。稻田渗透水 DOC 浓度随试验进程的推进呈先上升后下降并逐渐趋于平稳的趋势。试验第 3 d,对照处理、0.25% 秸秆还田处理的稻田渗透水 DOC 浓度最高,分别达 614.6 、 $676.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;第 7 d,0.5%、1.0% 处理的稻田渗透水 DOC 浓度最高,分别达 797.6 、 $929.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。试验 0~28 d 内,稻田渗透水 DOC 浓度随秸秆还田量的增加而增大;试验 45 d 后,各处理渗透水 DOC 浓度趋于一致。

由图 2 可见,秸秆还田显著提高水稻渗透水中 DOC 的总渗透量,随着秸秆还田量的增加,稻田渗透水 DOC 的总渗透量逐渐增大。

2.2 秸秆还田对稻田渗透水中 Cd 浓度的影响

稻田渗透水 Cd 浓度随试验进程的推进呈先上升后下降并逐渐趋于平稳的趋势(图 3)。试验第 4~10 d,1.0%、0.5%、0.25% 秸秆还田处理的水稻渗透水 Cd 浓度依次达到最高,分别为 0.3075 、 0.2695 、 $0.2560 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。无秸秆还田的对照处理,试验期间渗透水 Cd 浓度无显著变化。试验 28 d 内,水稻渗透水 Cd 浓度

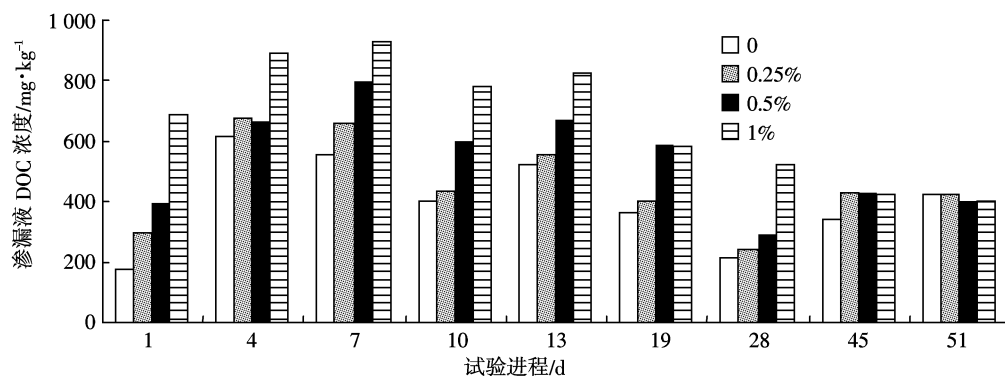
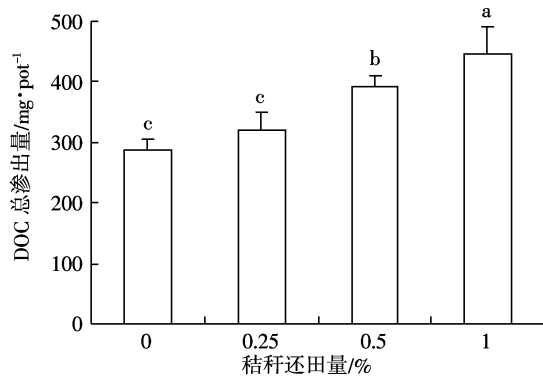


图 1 秸秆还田对水稻渗透水 DOC 浓度的影响

Figure 1 Effect of straw return on DOC concentration in percolating water from rice soil



不同小写字母表示不同处理间差异达 5% 显著水平,下同

图 2 秸秆还田对水稻渗透水中 DOC 总量的影响

Figure 2 Effect of straw return on total DOC in percolating water from rice soil

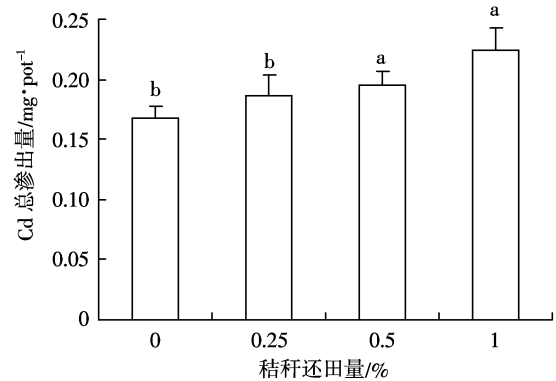


图 4 秸秆还田对水稻渗透水中 Cd 总渗透量的影响

Figure 4 Effect of straw return on total Cd gross in percolating water in rice soil

随秸秆还田量的增加而增大;试验第 45 d 后,各处理渗透水 Cd 浓度趋于一致。

由图 4 可知,随着秸秆还田量的增加,稻田渗透水 Cd 的总渗透量逐渐增大。试验条件下,0.5%、1%秸秆还田处理显著提高了渗透水中 Cd 的总渗透量。

2.3 秸秆还田对水稻植株累积 Cd 的影响

秸秆还田可影响水稻植株各部位 Cd 浓度(表 1)。对照处理的水稻植株 Cd 平均浓度最低,为 15.41 mg·kg⁻¹,秸秆还田各处理(0.25%、0.5%、1%)水稻植

株 Cd 平均浓度分别为 18.97、45.10、22.35 mg·kg⁻¹。试验条件下,随着秸秆还田量的增加,水稻植株 Cd 平均浓度呈先上升后下降的趋势。秸秆还田 0.5%处理的水稻植株各部位 Cd 浓度均高于其他几个处理。

表 2 列出的是秸秆还田对水稻植株 Cd 累积量的影响。各处理水稻植株 Cd 累积量依次是 0.5%>0.25%>0>1%。秸秆还田 0.5%的处理水稻根系、叶片、茎秆对 Cd 的累积量均最高,1%处理的水稻各部位对 Cd 的累积量均最低。可能是由于 1%的秸秆还田量太

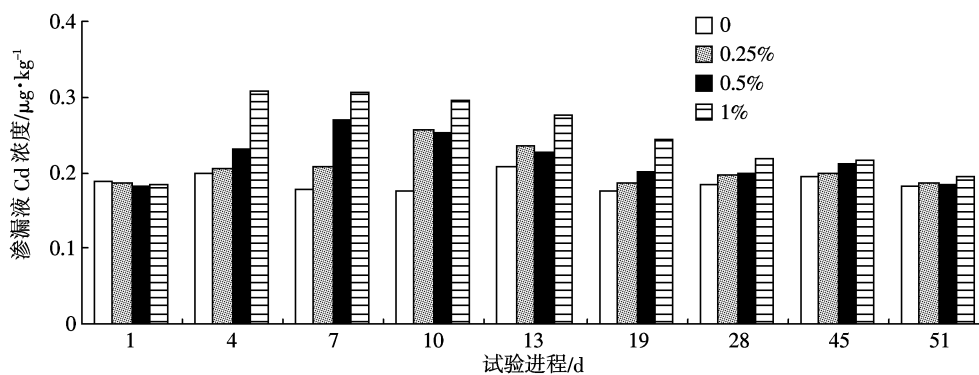


图 3 秸秆还田对水稻渗透水 Cd 浓度的影响

Figure 3 Effect of straw return on Cd concentration in percolating water in rice soil

表 1 秸秆还田对水稻植株 Cd 浓度的影响

Table 1 Effect of straw return on Cd concentration in rice plant

秸秆还田量/%	各部位 Cd 浓度 / mg·kg ⁻¹				植株 Cd 浓度 / mg·kg ⁻¹
	根系	叶片	茎秆	稻穗	
0	92.3±31.6a	4.45±1.58b	5.65±2.94b	2.79±0.87a	15.41
0.25	81.7±4.7a	5.59±1.15b	10.05±1.44ab	2.27±0.40a	18.97
0.5	126.0±27.9a	11.42±2.21a	18.72±7.63a	3.19±0.59a	45.10
1	81.1±43.3a	5.10±2.32b	8.32±4.83b	2.87±1.32a	22.35

注:不同小写字母表示同列不同处理间差异达显著水平。

表 2 秸秆还田对水稻植株 Cd 累积量的影响

Table 2 Effect of straw return on Cd accumulation in rice plant

秸秆还田量/ %	各部位 Cd 累积量 / $\mu\text{g}\cdot\text{pot}^{-1}$				植株 Cd 累积量/ $\mu\text{g}\cdot\text{pot}^{-1}$
	根系	叶片	茎秆	稻穗	
0	618.4	91.2	128.8	18.1	856.6
0.25	637.3	88.9	165.8	18.4	910.4
0.5	1461.6	165.6	213.4	17.5	1 858.1
1	575.8	69.4	77.4	10.6	733.2

大,从而影响了水稻植株的生长,影响了其对 Cd 的吸收与累积。

2.4 秸秆还田对稻田土壤 Cd 活度的影响

水稻收获后对各处理土壤全 Cd 进行了测定,结果如图 5。对照处理的稻田土壤全 Cd 含量为 $41.20 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 秸秆还田各处理(0.25%、0.5%、1%)稻田土壤全 Cd 含量分别为 40.34、40.00、36.40 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。随着秸秆还田量的增加,稻田土壤全 Cd 含量逐渐下降。其中秸秆还田 0.5%、1%处理间土壤全 Cd 含量差异达显著水平。

由图 6 可见,对照处理的稻田土壤有效 Cd 含量

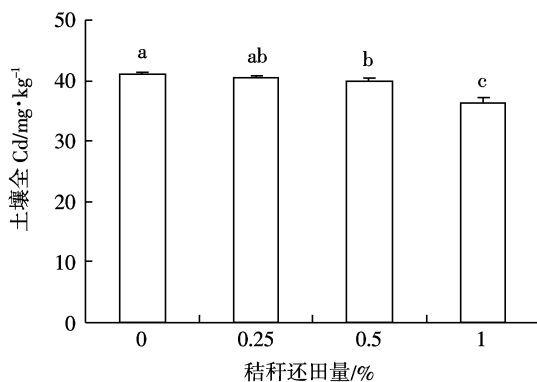


图 5 秸秆还田对稻田土壤全 Cd 含量的影响

Figure 5 Effect of straw return on total Cd concentration in rice soil

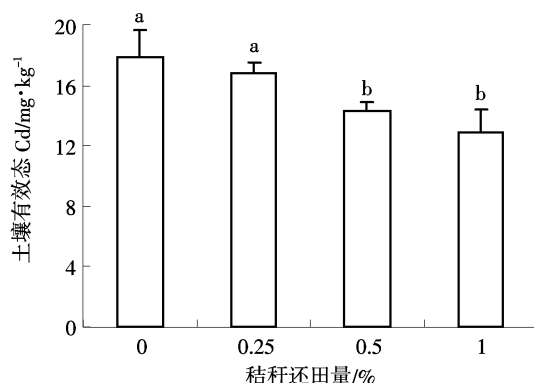


图 6 秸秆还田对稻田土壤有效 Cd 含量的影响

Figure 6 Effect of straw return on effective Cd concentration in rice soil

为 $17.89 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 秸秆还田各处理(0.25%、0.5%、1%)稻田土壤有效 Cd 含量分别为 16.75、14.240、12.90 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。随着秸秆还田量的增加,土壤有效 Cd 含量逐渐降低。这可能是由于秸秆还田产生大量 DOC,而 DOC 含有大量的羧基、羟基、氨基等官能团对 Cd 具有络合能力,增加了有效态 Cd 进入渗透水中而流失。

3 讨论

施用有机肥可以提高土壤中 DOC 的含量^[13]。而进一步研究表明,施用有机肥后 DOC 的含量只在短时间内增加,随之就有所下降^[14-16]。倪进治等^[17]报道,潮土中加入稻草秸秆或猪粪后,水溶性有机碳活性有机质组分先变大后减小,其动态变化曲线类似于倒 V 型。倪进治等^[18]还研究了不同施肥处理下土壤水溶性有机碳含量及其组成特征的研究得出,有机-无机配施能够增加土壤 DOC 的含量,增加的那一部分主要来自于外来有机质腐解所释放溶解性有机碳。土壤 DOC 的浓度与土壤重金属活度关系密切^[19]。秸秆的含碳量高达 40%以上,其有机成分以纤维素、半纤维素为主,其次为木质素、蛋白质、氨基酸、树脂等^[20]。秸秆还田后,在其腐解过程中会产生大量中间产物,多为小分子有机酸类物质,可作为 DOC 的外源,明显增加土壤 DOC 含量。DOC 中含有的大量有机官能团对重金属具有络合能力,从而能够明显提高土壤中重金属活度,重金属活度的高低直接影响其能够进入植物体的数量。本研究证实,秸秆还田增加了稻田渗透水 DOC 的浓度,试验前期稻田渗透水 DOC 的浓度随秸秆还田量的增加而增大,试验后期各处理渗透水 DOC 浓度又趋于一致。秸秆还田后 DOC 的含量只在短时间内增加,随之就有所下降。秸秆还田增加了稻田土壤 Cd 的活度,在秸秆还田量 0~0.5%范围内,水稻植株 Cd 浓度及累积量随秸秆还田量的增加而增加。当秸秆还田量达 1.0%时,由于较多的秸秆还田影响了水稻生长,从而降低了水稻体内的 Cd 浓度及累积。试验后期对稻田土壤残留的全 Cd、有效 Cd 的测定表明,秸秆还田降低了稻田土壤残留的全 Cd、有效 Cd 含量,而对稻田渗透水 Cd 含量的检测结果与之吻合,说明秸秆还田提高了稻田 Cd 的活度,增加了 Cd 随稻田渗透水的流失。

4 结论

秸秆还田增加了稻田渗透液的 DOC 含量,且 DOC 的浓度随秸秆还田量的增加而增大。秸秆还田

增加了Cd随稻田渗漏水的流失,使得稻田土壤Cd全量、有效态Cd量均随秸秆还田量的增加而降低。试验条件下由于较多的秸秆还田影响了水稻生长,使得水稻植株Cd浓度、累积量随着秸秆还田量的增加均呈先上升后下降的趋势。秸秆还田0.5%处理的水稻植株Cd浓度、累积量最高,分别为 $45.10\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $1\ 858.1\ \mu\text{g}\cdot\text{pot}^{-1}$ 。因此,如何降低重金属污染土壤实施秸秆直接还田的环境风险,值得深入探讨。

参考文献:

- [1] 常学秀,施晓东.土壤重金属污染与食品安全[J].云南环境科学,2001,12(20):21-24.
CHANG Xue-xiu, SHI Xiao-dong. Heavy metal pollution and food security[J]. *Yunnan Environmental Science*, 2001, 12(20): 21-24.
- [2] 陈同斌,陈志军.土壤中溶解性有机质及其对污染物吸附和解吸行为的影响[J].植物营养与肥料学报,1998,4(3):201-210.
CHEN Tong-bin, CHEN Zhi-jun. Dissolved organic matter and its effects on adsorption and desorption of pollutants in soils[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1998, 4(3): 201-210.
- [3] 余贵芬,蒋新,孙磊,等.有机物质对土壤镉有效性的影响研究综述[J].生态学报,2002,22(5):770-776.
YU Gui-fen, JIANG Xin, SUN Lei, et al. A Review for effect of organic substances on the availability of cadmium in soils[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(5): 770-776.
- [4] 王艮梅,周立祥.陆地生态系统中水溶性有机物动态及其环境学意义[J].应用生态学报,2003,14(11):2019-2025.
WANG Gen-mei, ZHOU Li-xiang. Dynamics of dissolved organic matter in terrestrial ecosystem and its environmental impact[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(11): 2019-2025.
- [5] 柳敏,宇万太,姜子绍,等.土壤活性有机碳[J].生态学杂志,2006,25(11):1412-1417.
LIU Min, YU Wan-tai, JIANG Zi-shao, et al. A research review on soil active organic carbon[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(11): 1412-1417.
- [6] 王艮梅,周立祥,占新华,等.水田土壤中水溶性有机物的产生动态及对土壤中重金属活性的影响:田间微区试验[J].环境科学学报,2004,24(5):158-161.
WANG Gen-mei, ZHOU Li-xiang, ZHAN Xin-hua, et al. Dynamics of dissolved organic matter and its effect on metal availability in paddy soil: Field micro-plot trials[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2004, 24(5): 158-161.
- [7] 卢萍,杨林章.陆地生态系统中人为因素对DOM影响研究进展[J].生态学杂志,2005,24(11):1308-1313.
LU Ping, YANG Lin-zhang. Effects of anthropogenic factors on dissolved organic matter in terrestrial ecosystem[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(11): 1308-1313.
- [8] 王艮梅,周立祥,黄焕忠.水溶性有机物在土壤中的吸附及对Cu沉淀的抑制作用[J].环境科学,2006,27(4):754-759.
WANG Gen-mei, ZHOU Li-xiang, HUANG Huan-zhong. Adsorption of dissolved organic matter in soil and dissolved organic matter effect on the copper precipitation in high pH range[J]. *Environmental Science*, 2006, 27(4): 754-759.
- [9] 高祥照,马文奇,马常宝,等.中国作物秸秆资源利用现状分析[J].华中农业大学学报,2002,21(3):242-247.
GAO Xiang-zhao, MA Wen-qi, MA Chang-bao, et al. Analysis on the current status of utilization of crop straw in China[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2002, 21(3): 242-247.
- [10] 卢萍,单玉华,杨林章,等.秸秆还田对土壤溶液中溶解性有机质的影响[J].土壤学报,2006,43(5):736-741.
LU Ping, SHAN Yu-hua, YANG Lin-zhang, et al. Effect of wheat straw incorporation into paddy soil on dissolved organic matter in soil solution[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(5): 736-741.
- [11] 单玉华,李昌贵,陈晨,等.施用秸秆对淹水土壤镉、铜溶出的影响[J].生态学杂志,2008,27(8):1362-1366.
SHAN Yu-hua, LI Chang-gui, CHEN Chen, et al. Effects of straw incorporation on the solubility of cadmium and copper in flooded soil[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(8): 1362-1366.
- [12] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业出版社,1996:296-315,228-264.
LU Ru-kun. Soil agricultural chemical analysis method[M]. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 1996: 296-315, 228-264.
- [13] Chen Huaiman, Lin Qi, Zheng Chunrong. Interaction of Pb and Cd in soil water plant system and its mechanism: Pb, Cd interaction in rhizosphere[J]. *Pedosphere*, 1998, 8(3): 237-244.
- [14] Gregorich E G, Ellert B H, Drur Y C, et al. Fertilization effects on soil organic matter turnover and corn residue C storage [J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1996, 66: 472-476.
- [15] Obon T, Crannill B S. Green and animal manure-derived dissolved organic matter effects on phosphorus sorption[J]. *J Environ Qual*, 1996, 25(5):1137-1143.
- [16] Lamy I. Soil cadmium mobility as a consequence of sewage sludge disposal[J]. *J Environ Qual*, 1993, 22: 731-737.
- [17] 倪进治,徐建民,谢正苗.有机肥料施用后潮土中活性有机质组分的动态变化[J].农业环境科学学报,2003,22(4):416-419.
NI Jin-zhi, XU Jian-min, XIE Zheng-miao. Dynamic of active organic matter fractions in fluvio-aquic soil after application of organic fertilizers[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2003, 22(4): 416-419.
- [18] 倪进治,徐建民,谢正苗,等.不同施肥处理下土壤水溶性有机碳含量及其组成特征的研究[J].土壤学报,2003,40(5):724-730.
NI Jin-zhi, XU Jian-min, XIE Zheng-miao, et al. Contents of WSOC and characteristics of its composition under different fertilization systems[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(5): 724-730.
- [19] 赵劲松,张旭东,袁星,等.土壤溶解性有机质的特性与环境意义[J].应用生态学报,2003,14(1):126-130.
ZHAO Jin-song, ZHANG Xu-dong, YUAN Xing, et al. Characteristics and environmental significance of soil dissolved organic matter[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(1): 126-130.
- [20] 卞有生.生态农业中废弃物的处理与再生利用[M].北京:化学工业出版社,2001:36-41.
BIAN You-sheng. The treatment and reutilization of wastes in ecological agriculture[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2001: 36-41.