

# 稻麦轮作猪粪-秸秆还田的环境效益及经济效益

王琼瑶<sup>1</sup>, 张世焯<sup>2</sup>, 涂卫国<sup>1</sup>, 李森<sup>1</sup>, 罗雪梅<sup>1</sup>, 李玲<sup>1</sup>, 杜玉龙<sup>1</sup>

(1. 四川省自然资源科学研究院, 四川成都 610015; 2. 四川农业大学环境学院, 四川成都 611130)

**摘要** [目的] 探明猪粪-秸秆还田的应用效果, 确定最佳还田模式。[方法] 通过稻麦轮作田间试验, 开展猪粪-秸秆还田处理对水稻、小麦生长性状及产量的影响研究, 统计分析其经济效益及二氧化碳减排量, 确定最佳的猪粪-秸秆还田模式。[结果] 猪粪-秸秆还田有利于水稻、小麦的生长, 在“30% 猪粪氮+20% 秸秆氮+50% 化肥氮”还田模式下, 水稻、小麦产量均最高, 分别为 7 874.57 和 6 427.00 kg/hm<sup>2</sup>, 且稻麦轮作可节约成本 5 146.35 元/hm<sup>2</sup>, 水稻、小麦分别增收 5 312.56 和 3 931.93 元/hm<sup>2</sup>, 温室气体平均减排量为 1.30 t/hm<sup>2</sup> (按 CO<sub>2</sub> 干基计算)。[结论] “30% 猪粪氮+20% 秸秆氮+50% 化肥氮”模式为猪粪-秸秆还田的最佳施肥模式。

**关键词** 小麦; 水稻; 猪粪; 秸秆; 经济效益; 环境效益

中图分类号 S181.4 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2016)22-056-04

**Environmental and Economic Benefits Research on Rice and Wheat Rotation with Swine Manure Applying and Straw Returning**  
WANG Qiong-yao<sup>1</sup>, ZHANG Shi-rong<sup>2</sup>, TU Wei-guo<sup>1</sup> et al (1. Sichuan Province Natural Resources Science Academy, Chengdu, Sichuan 610015; 2. College of Environmental Sciences, Sichuan Agricultural University, Chengdu, Sichuan 611130)

**Abstract** [Objective] The aim was to investigate the application effect of swine manure-straw returning and to determine the best mode. [Method] A field experiment under rice-wheat rotation with different swine manure-straw treatments was conducted to study the growth characteristics and output of rice and wheat, calculate the economic benefits and carbon dioxide emissions reduction, analyze the best mode of swine manure-straw returning. [Result] The swine manure-straw returning was conducive to the growth of crop, the highest output of rice and wheat were on the treatment of “30% swine manure and 20% straw and 50% chemical fertilizer”, there were 7 874.57 and 6 427.00 kg/hm<sup>2</sup>, and saved cost about 5 146.35 yuan/hm<sup>2</sup>, increased input 5 312.56 and 3 931.93 yuan/hm<sup>2</sup>, the greenhouse gas emissions reduction was 1.30 t/hm<sup>2</sup> (calculate according to the carbon dioxide dry basis). [Conclusion] The treatment of “30% swine manure and 20% straw and 50% chemical fertilizer” was the best mode of swine manure-straw returning.

**Key words** Wheat; Rice; Swine manure; Straw; Economic benefits; Environmental benefits

近年来,随着规模化畜禽养殖的迅速发展,我国已成为世界上最大的畜产品生产国<sup>[1]</sup>。由于畜禽养殖废弃物未得到合理的处置和资源化利用,导致养殖地周边环境污染危害日益严重,畜禽养殖废弃物已成为农村面源污染的主要来源之一<sup>[2-4]</sup>。畜禽粪便是农业生产中常用的有机肥料,其富含氮、磷、钾及有机质等养分,可通过堆肥还田为农作物提供优质有机肥料<sup>[5]</sup>。畜禽粪便还田是传统的生态循环利用模式,也是解决畜禽养殖污染最经济、有效的方法<sup>[6]</sup>。畜禽粪便还田不仅可提高土壤肥力、减少环境污染,而且还可促进农业可持续发展<sup>[7-8]</sup>。秸秆是重要的农业资源,国外大多采用秸秆还田作为资源化利用的主要方式<sup>[9]</sup>。我国是粮食生产大国,秸秆资源丰富,但受消费观念和生活方式的影响,每年有超过 2 亿 t 的秸秆腐烂或被焚烧,导致资源变成了污染源,造成了巨大的资源浪费和环境污染<sup>[10]</sup>。成都平原秸秆资源丰富,除用作牲畜饲料、食用菌基料外,大多作为农户基本燃料利用。由于大量秸秆季节性过剩,焚烧成了处置秸秆的主要方式,但在出台禁烧规定后,秸秆处置成为农民群众的一大问题。有研究表明,秸秆中含有丰富有机质、氮、磷、钾和微量元素,是农作物重要的有机肥源<sup>[11]</sup>。秸秆还田不仅可以增加农田土壤有机质含量,而且还能促进土壤微生物繁殖和活性增强,从而有效提高土壤有机碳的含量,对提高土壤肥力和作物产量、增强固碳能力均具有重要作用<sup>[12-13]</sup>。同时,秸秆还田还有利于提高资源利用效率、减少

环境污染和实现农业的可持续发展<sup>[14-15]</sup>。有研究表明畜禽粪便-秸秆混合还田具有增产效应<sup>[16-17]</sup>。目前,对于畜禽粪便-秸秆混合还田的环境效益及经济效益研究还鲜见报道。鉴于此,笔者通过稻麦轮作田间试验,开展猪粪-秸秆还田处理对水稻、小麦生长性状及产量的影响研究,统计分析其经济效益及二氧化碳减排量,以期为畜禽养殖废弃物处理及秸秆还田利用提供科学依据。

## 1 材料与方法

**1.1 试验材料** 供试猪粪采自四川省崇州市养猪场,水稻季施用秸秆为上一季的小麦秸秆,小麦季施用秸秆为上一季的水稻秸秆。供试肥料及秸秆的养分含量如表 1 所示。

表 1 试验材料养分含量

Table 1 The nutrient content of experimental material %

材料 Material	N Nitrogen	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Phosphorus pentoxide	K <sub>2</sub> O Potassium oxide
尿素 Urea	46.30	—	—
过磷酸钙 Calcium superphosphate	—	12.00	—
氯化钾 Potassium chloride	—	—	60.00
水稻秸秆 Rice straw	0.84	0.25	1.05
小麦秸秆 Wheat straw	0.72	0.19	1.01
猪粪 Swine manure	0.82	0.55	0.48

**1.2 试验方法** 采用随机区组试验设计,每个处理设置 3 个重复小区,小区面积为 70.0 m<sup>2</sup>,小区间隔 0.5 m。各处理 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 K<sub>2</sub>O 施用量分别为 180、90 和 90 kg/hm<sup>2</sup>,其中猪粪和秸秆还田量以纯化肥为标准来计算二者 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 含量,不足由化肥补充。试验共设置 6 个处理:空白对照

**基金项目** 四川省科技支撑计划项目(2014NZ0044)。

**作者简介** 王琼瑶(1986-),女,四川雅安人,硕士,助理研究员,从事农业资源利用与环境保护研究。

**收稿日期** 2016-06-12

(CK)、纯化肥(T<sub>1</sub>)、10%猪粪氮+90%化肥氮(T<sub>2</sub>)、30%猪粪氮+70%化肥氮(T<sub>3</sub>)、20%猪粪氮+30%秸秆氮+50%化肥氮(T<sub>4</sub>)、30%猪粪氮+20%秸秆氮+50%化肥氮(T<sub>5</sub>)，具体施肥方案见表2。

表2 施肥方案设计

Table 2 The experimental design of fertilizer

kg/hm<sup>2</sup>

作物 Crop	处理 Treatment	尿素 Urea	过磷酸钙 Calcium superphosphate	氯化钾 Potassium chloride	猪粪 Swine manure	秸秆 Straw
水稻 Rice	CK	—	—	—	—	—
	T <sub>1</sub>	337.76	746.27	149.25	—	—
	T <sub>2</sub>	305.52	646.72	131.79	2 179.10	—
	T <sub>3</sub>	241.34	445.22	96.72	6 567.16	—
	T <sub>4</sub>	166.27	414.18	2.24	4 373.13	6 402.99
	T <sub>5</sub>	170.00	355.67	22.09	6 567.16	4 268.66
小麦 Wheat	CK	—	—	—	—	—
	T <sub>1</sub>	388.77	750.00	150.00	—	—
	T <sub>2</sub>	349.89	649.39	132.44	2 190.00	—
	T <sub>3</sub>	272.14	448.17	97.32	6 600.00	—
	T <sub>4</sub>	194.38	416.25	2.25	4 395.00	6 435.00
	T <sub>5</sub>	194.38	357.50	22.25	6 600.00	4 290.00

**1.3 测定项目** 于作物生长期观察稻、麦生长情况,于成熟期测定其株高、有效穗数、每穗粒数、千粒重、产量等指标。

**1.4 温室气体排放量统计** 不同处理方式的温室气体产生量系数取值见表3。

表3 温室气体产生量系数

Table 3 The coefficient of greenhouse gas production

编号 No.	处理方式 Treatment mode	温室气体产生量系数 The coefficient of greenhouse gas production
①	纯化肥施用	1.05
②	秸秆焚烧	水稻秸秆取 15.00;小麦秸秆取 19.50
③	秸秆还田	6.30
④	粪便不处理	6.00
⑤	粪便还田	1.20

注:猪粪和秸秆均为干重,其中猪粪去除 50% 水分,秸秆去除 90% 水分。

Note: The swine manure and straw are dry weight, the swine manure removes 50 percent of water and the straw removes 90 percent of water.

**1.5 数据处理** 采用 SPSS17.0 软件对试验数据进行统计

分析。

## 2 结果与分析

**2.1 不同处理对小麦生长性状及产量的影响** 由表4可以看出,T<sub>2</sub>~T<sub>5</sub>处理株高明显高于CK和T<sub>1</sub>处理,其中T<sub>3</sub>处理株高最高,为95.43 cm;有效穗数和每穗粒数均以T<sub>5</sub>处理最高,分别为434穗/m<sup>2</sup>和37粒;T<sub>5</sub>处理千粒重和产量均表现为最高,分别为40.22 g和6 427.00 kg/hm<sup>2</sup>。与空白对照相比,各处理平均增产24.06%,与纯化肥施用相比,还田处理平均增产5.50%。可见,猪粪还田与猪粪-秸秆还田模式下小麦生长性状和产量均明显优于不施肥和纯化肥处理。在各施肥处理中,以“30%猪粪氮+20%秸秆氮+50%化肥氮”处理的小麦产量最高,相较于对照增产28.91%,相较于纯化肥处理增产8.48%。说明猪粪-秸秆还田有利于小麦的生长,随着猪粪使用量的增加,小麦有效穗数、每穗粒数、千粒重、实际产量均呈增加趋势,且显著高于不施肥处理和纯化肥处理。

表4 不同处理下小麦生长性状及产量表现

Table 4 The growth characteristics and output of wheat in different treatments

处理 Treatment	株高 Plant height cm	有效穗数 Effective spike number 穗/m <sup>2</sup>	每穗粒数 Grain number per spike//粒	千粒重 1 000-grain weight//g	实际产量 Actual output kg/hm <sup>2</sup>	增产 Yield increasing//%	
						较对照 Compared with CK	较纯化肥处理 Compared with pure chemical fertilizer
CK	70.11	427	31	37.85	4 985.72	—	—
T <sub>1</sub>	82.56	432	35	39.38	5 924.78	18.83	—
T <sub>2</sub>	92.31	430	36	38.90	5 991.03	20.16	1.12
T <sub>3</sub>	95.43	433	35	39.74	6 397.33	28.31	7.98
T <sub>4</sub>	94.65	432	36	39.98	6 186.90	24.09	4.42
T <sub>5</sub>	93.15	434	37	40.22	6 427.00	28.91	8.48

**2.2 不同处理对水稻生长性状及产量的影响** 由表5可知,T<sub>3</sub>~T<sub>5</sub>处理株高明显高于CK和T<sub>1</sub>处理,其中以T<sub>5</sub>处理株高最高,为107.50 cm;有效穗数以T<sub>2</sub>处理最高,为290穗/m<sup>2</sup>;每穗粒数以T<sub>5</sub>处理表现为最高,为110粒。T<sub>4</sub>处理

千粒重在各处理中表现为最高,为24.86 g;T<sub>1</sub>~T<sub>5</sub>处理产量表现为依次增加的趋势,与空白对照相比,各处理平均增产29.17%,与纯化肥施用相比,还田处理平均增产9.44%。可见,猪粪还田与猪粪-秸秆还田模式下水稻生长性状和产量

明显优于不施肥和纯化肥处理。在各种施肥处理中,以“30%猪粪氮+20%秸秆氮+50%化肥氮”处理的水稻产量最高,为7 874.57 kg/hm<sup>2</sup>,相较于对照增产38.64%,相较于纯化肥处理增产15.43%。说明猪粪-秸秆还田有利于水稻

的生长,随着猪粪使用量的增加,水稻有效穗数、每穗粒数、千粒重、实际产量均呈增加趋势,且显著高于不施肥处理和纯化肥处理。

表5 不同处理下水稻生长性状及产量表现

Table 5 The growth characteristics and output of rice in different treatments

处理 Treatment	株高 Plant height cm	有效穗数 Effective spike number 穗/m <sup>2</sup>	每穗粒数 Grain number per spike//粒	千粒重 1 000-grain weight//g	实际产量 Actual output kg/hm <sup>2</sup>	增产 Yield increasing//%	
						较对照 Compared with CK	较纯化肥处理 Compared with pure chemical fertilizer
CK	90.76	237	101	23.91	5 679.80	—	—
T <sub>1</sub>	104.45	258	105	25.36	6 821.76	20.11	—
T <sub>2</sub>	101.66	290	103	23.65	7 038.73	23.93	3.18
T <sub>3</sub>	106.41	278	106	24.45	7 195.45	26.68	5.48
T <sub>4</sub>	108.09	288	109	24.86	7 752.72	36.50	13.65
T <sub>5</sub>	107.50	289	110	24.76	7 874.57	38.64	15.43

**2.3 稻麦轮作猪粪-秸秆还田的经济效益分析** 稻麦轮作猪粪-秸秆还田的经济效益统计结果如表6所示。从养分代替角度计算,T<sub>4</sub>和T<sub>5</sub>处理均施用50%的化肥氮,减少的化肥施用成本一致,作物产量的经济效益计算结果显示,稻麦两季均在“30%猪粪氮+20%秸秆氮+50%化肥氮”(T<sub>5</sub>)处理下的经济效益为最高。该处理下,小麦季猪粪-秸秆还田较纯化肥处理节约氮肥、磷肥和钾肥用量分别为50.00%、52.33%、85.17%,节约化肥成本2 676.38元/hm<sup>2</sup>;水稻季节约氮肥、磷肥和钾肥用量分别为50.00%、42.86%、84.40%,节约化肥成本2 469.97元/hm<sup>2</sup>;种植小麦、水稻节约成本总计5 146.35元/hm<sup>2</sup>。从作物增产、增收效益评价来看,与T<sub>1</sub>处理相比,T<sub>5</sub>处理小麦、水稻分别增产502.22、1 052.81 kg/hm<sup>2</sup>,可分别增收3 931.93、5312.56元/hm<sup>2</sup>,增收总计9 244.49元/hm<sup>2</sup>。

表6 猪粪-秸秆还田处理下稻麦轮作系统经济效益分析

Table 6 The economic benefits analysis of rice and wheat rotation with swine manure applying and straw returning

作物 Crop	处理 Treatment	化肥成本 Fertilizer cost 元/hm <sup>2</sup>	较纯化肥处理 Compared with pure chemical fertilizer	
			增产 Yield increasing kg/hm <sup>2</sup>	增收 Income increasing 元/hm <sup>2</sup>
小麦 Wheat	T <sub>1</sub>	4 674.47	—	—
	T <sub>2</sub>	4 121.22	66.25	718.88
	T <sub>3</sub>	3 014.77	472.55	2 841.08
	T <sub>4</sub>	2 052.59	262.12	3 277.18
	T <sub>5</sub>	1 998.09	502.22	3 931.93
水稻 Rice	T <sub>1</sub>	4 672.32	—	—
	T <sub>2</sub>	4 176.04	216.97	1 082.10
	T <sub>3</sub>	3 181.62	373.69	2 499.66
	T <sub>4</sub>	2 209.35	930.96	4 976.56
	T <sub>5</sub>	2 202.35	1 052.81	5 312.56

注:氮肥以市售尿素价格4.5元/kg计算;磷肥以市售过磷酸钙价格2.8元/kg计算;钾肥以市售氯化钾价格5.5元/kg计算。

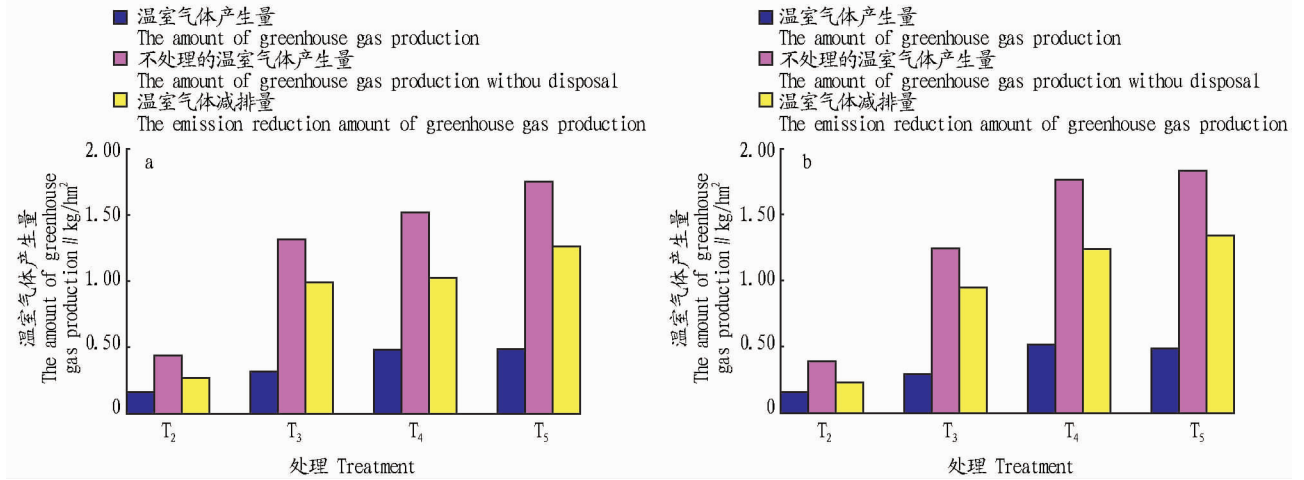
Note: N, P, K fertilizer was calculated according to urea price 4.5 yuan/kg, calcium superphosphate 2.8 yuan/kg, potassium 5.5 yuan/kg in market.

**2.4 稻麦轮作猪粪-秸秆还田的环境效益分析** 从环境保护的角度分析,猪粪-秸秆还田处理可减少氮肥等化肥的用量,同时可降低氮、磷随水土流失引起水体富营养化的潜在风险,有利于保护水资源甚至整个生态环境。而从废弃物温室气体排放方面分析,秸秆、猪粪等废弃物如不经科学合理利用,会产生大量温室气体排放,从而引起大气污染等环境问题。经统计,采用猪粪-秸秆还田处理,小麦季平均温室气体减排0.89 t/hm<sup>2</sup>,水稻季平均温室气体减排量可达0.94 t/hm<sup>2</sup>。其中纯猪粪还田(T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>处理)的平均减排量为0.61 t/hm<sup>2</sup>,猪粪-秸秆混合还田(T<sub>4</sub>、T<sub>5</sub>处理)平均减排量为1.22 t/hm<sup>2</sup>。“30%猪粪氮+20%秸秆氮+50%化肥氮”处理模式的小麦季和水稻季温室气体减排量最高,分别为1.26、1.34 t/hm<sup>2</sup>(图1)。可见,猪粪-秸秆混合还田有利于减少温室气体排放。

### 3 结论与展望

**3.1 结论** 猪粪-秸秆还田有利于增加作物生长,从而增加产量。在小麦季,各施肥处理中,以“30%猪粪氮+20%秸秆氮+50%化肥氮”处理的小麦产量最高,为6 427.00 kg/hm<sup>2</sup>,相较于纯化肥处理增产8.48%。水稻季,同样以“30%猪粪氮+20%秸秆氮+50%化肥氮”处理的水稻产量最高,为7 874.57 kg/hm<sup>2</sup>,相较于纯化肥处理增产15.43%。“30%猪粪氮+20%秸秆氮+50%化肥氮”处理下稻麦轮作可节约成本5 146.35元/hm<sup>2</sup>,小麦、水稻可分别增收3 931.93、5312.56元/hm<sup>2</sup>,该模式下小麦季和水稻季温室气体减排量最高,分别为1.26、1.34 t/hm<sup>2</sup>。可见,“30%猪粪氮+20%秸秆氮+50%化肥氮”处理为猪粪-秸秆还田的最佳施肥模式。

**3.2 研究展望** 畜禽养殖业废弃物和种植业废弃物还田利用不仅变废为宝,而且减少了对环境的污染。该研究采用的是猪粪-秸秆直接还田的方式,而对于猪粪-秸秆堆沤后还田以及使用腐熟剂还田应用还有待进一步研究。同时,影响秸秆腐熟的因素有很多,如水分、微生物、碳氮比等。在今后的研究中,应对腐熟条件进行深入研究。



注:a,b 分别为小麦、水稻季稻麦轮作猪粪-秸秆还田处理温室气体排放量。温室气体产生量按 CO<sub>2</sub> 干基计算。

Note:a,b is amount of greenhouse gas production under rice-wheat rotation with swine manure-straw returning in wheat season and rice season respectively, the amount of greenhouse gas production is calculated according to the carbon dioxide dry basis.

图1 稻麦轮作猪粪-秸秆还田处理温室气体排放量

Fig.1 The amount of greenhouse gas production under rice-wheat rotation with swine manure-straw returning

## 参考文献

- [1] 马永喜,王颖. 规模化畜牧养殖废弃物处理的环境经济优化研究:基于生态经济模型的分析[J]. 农业现代化研究,2014,35(3):341-344.
- [2] 龚俊勇,彭小珍,廖新伟. 广东省梅州市农地畜禽粪便环境风险评价[J]. 生态与农村环境学报,2011,27(3):25-28.
- [3] KO H J, KIM K Y, KIM H T, et al. Evaluation of maturity parameters and heavy metal contents in composts made from animal manure[J]. Waste management, 2008, 28(5): 813-820.
- [4] 方颖,赵敏燕,吴以中,等. 太湖流域畜禽养殖不同污染减排模式的环境绩效评价[J]. 环境科学与技术,2014,37(6N):312-350.
- [5] 王成贤,石德智,沈超峰,等. 畜禽粪便污染负荷及风险评估:以杭州市为例[J]. 环境科学学报,2011,31(11):2562-2569.
- [6] 贾中涛,王文亮,汤建华,等. 畜禽粪便有机肥与氮肥配施对玉米土壤理化性状的影响[J]. 环境科学与技术,2015,38(6P):34-39.
- [7] MAHANTA D, BHATTACHARYA R, GOPINATH K A, et al. Influence of farmyard manure application and mineral fertilization on yield sustainability, carbon sequestration potential and soil property of gardenpea-french bean cropping system in the Indian Himalayas[J]. Scientia horticulturae, 2013, 164:414-427.
- [8] 李江涛,钟晓兰,赵其国. 畜禽粪便施用对稻麦轮作土壤质量的影响[J]. 生态学报,2011,31(10):2837-2845.
- [9] 苗相伟,王国东,曹坤,等. 免耕秸秆还田对土壤生态特性及作物生长发育的影响[J]. 辽宁农业科学,2015(2):54-57.
- [10] 靳贞来,靳宇恒. 国外秸秆利用经验借鉴与中国发展路径选择[J]. 世界农业,2015(5):129-433.
- [11] 魏赛金,李昆太,涂晓喙,等. 稻草还田配施化肥与腐秆菌剂下的土壤微生物及有机碳组分特征[J]. 核农学报,2012,26(9):1317-1321.
- [12] 谭周进,李倩,李建国,等. 稻草还田量对晚稻土壤微生物数量及活度的动态影响[J]. 农业环境科学学报,2006,25(3):670-673.
- [13] 史然,陈晓娟,沈建林,等. 稻田秸秆还田的土壤增碳及温室气体排放效应和机理研究进展[J]. 土壤,2013,45(2):193-198.
- [14] 李明德,吴海勇,聂军,等. 稻草及其循环利用后的有机废弃物还田效用研究[J]. 中国农业科学,2010,43(17):3572-3579.
- [15] 安丰华,王志春,杨帆,等. 秸秆还田研究进展[J]. 土壤与作物,2015,4(2):57-63.
- [16] 张婷,李志洪,赵传拓,等. 秸秆还田对土壤肥力及作物生长的影响研究进展[J]. 安徽农业科学,2015,43(21):89-91.
- [17] 李瀚,邓欧平,胡佳,等. 成都平原农业废弃物施用下稻田田面水氮磷动态变化特征[J]. 农业环境科学学报,2015,34(3):485-493.

(上接第55页)

表水,控制使用地下水,提高用水效率,加强清洁生产;③水资源保护方面,划定红线,加大宣传力度,提高群众水资源保护意识;④水资源管理方面,实施总量控制,指标分解,水权出让,超额加价,严格管理,将水资源监测纳入管理环节,重点掌握动态,防治污染,保证用水安全。

## 参考文献

- [1] REES W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out[J]. Environment and urbanization, 1992,4(2):121-130.
- [2] WACKERNAGEL M, ONISTO L, BELLO P. National natural capital accounting with the ecological footprint concept[J]. Ecological economics, 1999,29(3):375-390.
- [3] 徐中民,程国栋,张志强. 生态足迹方法:可持续性定量研究的新方法:以张掖地区1995年的生态足迹计算为例[J]. 生态学报,2001,21(9):1484-1493.
- [4] SENBEL M, MCDANIELS T, DOWLATABADI H. The ecological footprint: A nonmonetary metric of human consumption applied to North America[J]. Global environmental change, 2003,13(2):83-100.
- [5] EDIGER V S, AKAR S, UGURLU B. Forecasting production of fossil fuel sources in Turkey using a comparative regression and ARIMA model[J]. Energy Policy, 2006,34(18):3836-3846.
- [6] 岳东霞,李白珍,惠苍. 甘肃省生态足迹和生态承载力发展趋势研究[J]. 西北植物学报,2004,24(3):454-463.
- [7] 山西省统计局. 山西统计年鉴:2003~2012年[R]. 北京:中国统计出版社,2003-2012.
- [8] 山西省水利厅. 山西省水资源公报:2003~2012年[R]. 山西:山西省水利厅,2003-2012.
- [9] 黄林楠,张伟新,姜翠玲,等. 水资源生态足迹计算方法[J]. 生态学报,2008,28(3):1279-1286.
- [10] BOX G E P, JENKINS G M, REINSEL G C. Time series analysis: Forecasting and control [M]. 3rd ed. NY: Prentice-Hall Inc., 1994.
- [11] DER VOOT M V, DOUGHERTY M, WATSON S. Combining KOHOEN maps with ARIMA time series model to forecast traffic flow[J]. Transportation research, 1996, 4(5): 307-318.