

DOI:10.3724/SP.J.1238.2013.00286

## 双季稻种植模式下氮和磷的适宜施用量

李平<sup>1,2</sup>, 段然<sup>1\*</sup>, 曾希柏<sup>1\*</sup>, 白玲玉<sup>1</sup>, 汤月丰<sup>2</sup>, 文炯<sup>2</sup>

(1. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所/农业部农业环境重点实验室, 北京 100081; 2. 湖南省岳阳市农业科学研究所, 湖南 岳阳, 414000)

**摘 要:** 比照常规施肥量(早稻 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 分别按 150、60、90 kg/hm<sup>2</sup> 施入, 晚稻分别按 180、75、90 kg/hm<sup>2</sup> 施入), 采取不同减量施肥配以冬季种植黑麦草、紫云英、油菜作物的耕作方式, 研究双季稻种植模式下氮、磷的适宜施用量。结果表明 N 和 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 比常规施肥量分别减量 20%、30% 处理组水稻的产量变化率为 -11.48% ~ 1.94%; 施硫包衣尿素, N 和 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 比常规施肥量均减量 30% 处理组水稻的产量变化率为 -13.24% ~ 3.87%; 施复合肥, N 和 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 比常规施肥量均减量 30% 处理组水稻的增产率为 0.52% ~ 13.70%。不同减量施肥处理可使径流水氮流失量减少 31.69% ~ 47.74%, 磷流失量降低 11.77% ~ 64.71%; 使用复合肥的处理, 其氮素利用率最多提高 19.31%, 磷素利用率最多提高 11.97%。减量施肥可以在不降低产量的情况下提高肥料利用率, 减少农业氮素、磷素输出。

**关 键 词:** 双季稻; 减量施肥; 硫包衣尿素; 复合肥

中图分类号: S147.22

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2013)03-0286-05

## Suitable application rate of nitrogen and phosphorus fertilizers at double-cropping rice ecosystem

LI Ping<sup>1,2</sup>, DUAN Ran<sup>1\*</sup>, ZENG Xi-bai<sup>1\*</sup>, BAI Ling-yu<sup>1</sup>, TANG Yue-feng<sup>2</sup>, WEN Jiong<sup>2</sup>

(1. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Agricultural Environment, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China; 2. Yueyang Agricultural Sciences Institute, Yueyang, Hunan 414000, China)

**Abstract:** The fertilizer reduction and green manure application experiments were conducted to study the nitrogen and phosphorus loss in runoff and the rice yield under double cropping rice system. The results indicated that 20% amount of urea and 30% of phosphorus reduction yield could make a change of the rice yield from -11.48% to 1.94%. When the application of both sulfur coated urea and phosphorus were reduced 30% respectively, the rice yield changed from -13.24% to 3.87%. When both nitrogen and phosphorus were cut 30 percent down from compound fertilizer, the rice yield, however, increased by 0.52%–13.70%. The amounts of nitrogen loss could be reduced from 31.69% to 47.74% and that of phosphorus from 11.77% to 64.71% in runoff by the way of reducing fertilizer utilization. The utilization rate of nitrogen and phosphorus could be increased by 19.31% and 11.97% respectively when the compound fertilizer was employed in double cropping rice system. In the context of little impacts on rice yield, fertilizer reduction could improve its utilization rate, and reduced agricultural input, such as nitrogen and phosphorus.

**Key words:** double cropping rice; fertilizer reduction; sulfur coated urea; compound fertilizer

近年来, 部分地区过量施肥现象十分严重, 氮肥、磷肥的利用率分别仅为 30%、10%<sup>[1]</sup>。农田施用磷肥中有 5% 的磷素会进入水体, 容易导致水体超

过其富氧化临界值(0.2 mg/L)<sup>[2]</sup>。洞庭湖区稻田氮、磷的流失是湖区农业面源污染的主要因素<sup>[3]</sup>。合理施肥对水稻产量有重要影响<sup>[4]</sup>。在保证粮食稳产、

收稿日期: 2013-01-23

基金项目: 国家“十二·五”科技支撑计划项目(2012BAD05B06)

作者简介: 李平(1961—), 男, 湖南岳阳人, 研究员, 主要从事农业环境研究, liping9733@sina.com; \*通信作者, xbzeng65@hotmail.com, duanran8328@sohu.com

增产的前提下减少肥料施用量,降低农田生态系统对环境的污染已刻不容缓<sup>[5]</sup>。笔者研究典型双季稻种植区减量施肥条件下水稻产量以及田间径流水氮素流失量的变化情况,旨在提高双季稻田间养分的利用效率,降低农业面源污染。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于湖南省岳阳县春风乡的农业部岳阳农业环境科学观测实验站内 (E112°44'14" , N28°57'11" )。供试土壤为洞庭湖沉积物发育的潮土,有机质含量22.05 g/kg,速效N、速效P、速效K含量分别为85.14、22.96、61.49 mg/kg,土壤pH 5.8。供试早稻为湘早籼45,晚稻为岳优9113。

### 1.2 试验处理的设置

试验处理的设置及各处理N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O施用量如表1所示。

表 1 各处理的施肥量

Table 1 Amount of fertilizers for different treatments kg/hm<sup>2</sup>

处理	早稻施肥量			晚稻施肥量		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
CF	150	60	90	180	75.0	90
T <sub>1</sub>	120	42	90	144	52.5	90
T <sub>2</sub>	120	42	90	144	52.5	90
T <sub>3</sub>	105	42	90	126	52.5	90
T <sub>4</sub>	105	42	90	126	52.5	90
T <sub>5</sub>	105	42	90	126	52.5	90

各施肥处理的具体方法如下。

CF: 常规施肥,即早稻N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O分别按150、60、90 kg/hm<sup>2</sup>施入,晚稻分别按180、75、90 kg/hm<sup>2</sup>施入,冬季休闲;

T<sub>1</sub>: N和P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>比常规施肥量分别减量20%、30%,氮肥后延10 d施入;

T<sub>2</sub>: N和P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>比常规施肥量分别减量20%、30%,氮肥用硫包衣尿素代替,磷肥在水稻插秧时蘸根施用,冬闲时种植黑麦草,并在第二年开春早稻插秧前翻入土壤作为肥料;

T<sub>3</sub>: 采用复合肥, N和P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>比常规施肥量均减量30%,其复合肥NPK比例为15-15-15,冬季种植紫云英,在第2年开春翻入土壤作为肥料;

T<sub>4</sub>: 与T<sub>3</sub>同,冬季改为种植油菜,第2年开春翻入土壤作为肥料;

T<sub>5</sub>: 在T<sub>2</sub>基础上,在晚稻移栽后一直到第2年春季黑麦草翻耕入土前,全程实行免耕。

上述各处理均重复3次,每个小区面积为21.6 m<sup>2</sup>(6.15 m×3.50 m)。试验采取随机区组排列,绿肥施入量为22.5 t/hm<sup>2</sup>,油菜秆施入量为15 t/hm<sup>2</sup>,在移苗前10 d翻耕。

### 1.3 观测指标与方法

水稻生育期内,每次降雨后采集田间蓄水样品,每小区用小勺取5点,共1 L,用2个洁净矿泉水瓶分装,并用0.5 μm膜过滤泥沙等杂质后迅速放入冰箱中冷藏(5℃以下)。每季作物收获时,取稻草和籽粒样品各500 g干样。同时,取各小区0~20 cm土壤供分析用。

测定指标为总氮、硝态氮、铵态氮、总磷含量和土壤pH。在试验地附近安装雨量计1个,记录每次降雨后的降水量。径流水中铵态氮含量用靛酚蓝比色法测定;径流水中硝态氮含量用酚二磺酸比色法测定;径流水中全磷含量用过硫酸钾氧化-钼蓝比色法测定;径流水中全氮含量采用过硫酸钾氧化-紫外分光光度计测定;植株中氮、磷含量采取常规分析方法测定。

地表径流流失的氮、磷量等于整个监测周期中各次径流水中污染物的浓度与径流水或淋溶水的体积的乘积之和。2009年全年共取得生长季有效降水5次,本研究中的径流总量为全年流失量的总和。

$$\text{污染物流失量} P = \sum_{i=1}^{\infty} C_i V_i$$

其中,  $C_i$  为第  $i$  次径

流或淋溶水中氮、磷的浓度;  $V_i$  为第  $i$  次径流水的体积。

肥料利用率=(施肥区肥料吸收量 - 空白区肥料吸收量)/施肥量。

### 1.4 数据处理

用SPSS13.0软件进行方差分析及多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 各处理水稻的产量

由表2可见,与CF相比, T<sub>1</sub>的产量变化率为-11.48%~1.94%; T<sub>2</sub>产量变化率为-11.98%~3.87%; T<sub>3</sub>增产率为4.01%~13.70%; T<sub>4</sub>增产率为0.52%~4.81%; T<sub>5</sub>产量变化率为-13.24%~1.71%。

表2 2008—2009年各处理的水稻产量  
Table 2 Rice production of all treatments in 2008–2009

处理	水稻产量/(kg·hm <sup>-2</sup> )				
	2008年早稻	2008年晚稻	2009年早稻	2009年晚稻	合计
T <sub>1</sub>	4 408.09b	5 544.28b	4 613.36c	5 543.14	20 108.87
T <sub>2</sub>	5 172.68a	5 341.73b	4 581.32c	5 336.65	20 432.38
T <sub>3</sub>	5 202.51a	5 927.77a	5 918.20a	5 781.96	22 830.44
T <sub>4</sub>	5 111.44a	5 517.38b	5 231.92b	5 826.25	21 686.99
T <sub>5</sub>	4 907.50a	5 531.07b	4 515.98c	5 526.66	20 481.21
CF	4 979.82a	5 429.56b	5 205.12b	5 559.35	21 173.85

在2008年早稻季,除T<sub>1</sub>外,其余各处理与CF产量间的差异均无统计学意义;T<sub>1</sub>产量为4 408 kg/hm<sup>2</sup>,比CF低11.48%,且与CF间的差异显著,这表明直接减肥对早稻产量有影响。在2008年晚稻季,T<sub>3</sub>产量显著高于CF,比CF高9.17%;T<sub>1</sub>、T<sub>4</sub>、T<sub>5</sub>略高于CF,T<sub>2</sub>略低于CF,但与CF间的差异均无统计学意义,这表明各处理间未因施肥与耕作方式不同而导致产量的较大变化。

在2009年早稻季,T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>和T<sub>5</sub>的产量均显著低于CF,分别比CF低11.18%、11.99%和13.26%,而T<sub>3</sub>的产量显著高于CF(高12.05%),T<sub>4</sub>与CF的产量相近;在2009年晚稻季,各处理与CF产量间的差异均无统计学意义,T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>分别比CF高3.99%、4.80%,这表明在没有绿肥的情况下直接采用缓释肥减量施用会增加水稻减产的可能性。

T<sub>1</sub>对早稻产量的影响较大,而对晚稻产量无显著影响,这可能是由于氮肥后延施肥造成当季作物产量下降,而后延施入的氮肥可以保存于土壤中供下季作物利用。T<sub>3</sub>和T<sub>4</sub>均为冬季施用绿肥处理,T<sub>3</sub>在4个种植季的总产量高于T<sub>4</sub>的,T<sub>3</sub>在2008年晚稻季和2009年早稻季的产量均显著高于T<sub>4</sub>的,但2009年晚稻季产量间的差异无统计学意义。整体而言,T<sub>3</sub>处理的产量略高于T<sub>4</sub>的,这可能是由于油菜在冬季生长缓慢,其长势不如紫云英,而春季生长迅速,吸收大量肥料,造成土壤速效态养分下降,而翻耕入土的油菜由于其单株生物量较大,难以在当季全量还田,因此,多余的油菜不易腐解,对春季水稻种植造成了不利影响。可见,若以产量为衡量标准,冬季绿肥采用紫云英比种植油菜更有效。普通肥料以及硫包衣肥料减量使用均造成了稻田轻度减产,

而复合肥减量施用配以冬季种植黑麦草或者紫云英处理(T<sub>3</sub>和T<sub>4</sub>)的产量稳定,这可能是由于相比于传统肥料,复合肥更利于植物吸收。

与CF相比,T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>的2年水稻总产量分别增产了7.82%和2.43%,T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>和T<sub>5</sub>分别减产了5.03%、3.50%和3.27%,但各处理间的差异均无统计学意义。

## 2.2 不同处理的氮素利用率

表3结果表明,在2008年早稻季,T<sub>2</sub>显著低于CF,T<sub>1</sub>与CF间的差异无统计学意义,而T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>、T<sub>5</sub>均显著高于CF。T<sub>2</sub>低于CF可能是减施肥料,水稻前期的生长受阻,导致早稻产量较低;T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>和T<sub>5</sub>高于CF也是由于稻谷增产提高了养分利用率。在2008年晚稻季,处理T<sub>2</sub>、T<sub>5</sub>显著低于CF,T<sub>1</sub>与CF间的差异无统计学意义,T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>均显著高于CF。2009年早稻季,T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>均显著高于CF,分别提高8.92%、19.31%;T<sub>1</sub>、T<sub>5</sub>与CF的差异无统计学意义,T<sub>2</sub>显著低于CF。2009年晚稻季各处理均显著高于CF。

表3 不同施肥处理氮素的表现利用率

Table 3 Utilization efficiency of nitrogen at different treatments in 2008–2009

处理	氮素表现利用率/%			
	2008年早稻	2008年晚稻	2009年早稻	2009年晚稻
T <sub>1</sub>	27.38c	31.69b	23.61cd	22.99bc
T <sub>2</sub>	21.45d	24.43d	17.64d	21.90c
T <sub>3</sub>	27.93b	46.80a	34.45b	28.18a
T <sub>4</sub>	38.54a	45.38a	44.84a	24.78b
T <sub>5</sub>	31.95b	27.75c	23.09c	24.12bc
CF	26.80c	35.26b	25.53c	16.37d

从年际变化分析,2008年早稻的氮素利用率较低,各组间的差异较2008年晚稻的小,2008年晚稻至2009年晚稻季肥料利用率趋于稳定,这可能是由

于2008早稻季的第一次减量施肥影响了土壤有机质与养分的矿化程度,而随着试验的推进,农田生态系统重新达到了养分供需平衡,这与早稻施氮对连作晚稻产量和氮肥利用率的影响<sup>[6]</sup>有关。与CF相比,硫包衣尿素减量处理(T<sub>2</sub>和T<sub>5</sub>)对氮肥利用率的提高作用不大。这可能是由于试验区的常规施氮量不高,而硫包衣尿素减量施用影响了作物吸收。T<sub>5</sub>的氮素利用率略高于T<sub>2</sub>,这可能是由于土壤免耕降低了氮素的硝化、反硝化和氨挥发作用<sup>[7-8]</sup>,提高了氮素表观利用率。

### 2.3 不同处理磷素的表现观利用率

表4结果表明,各减量施肥处理磷素的表现观利用率比CF有所提高,其中T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>与CF的差异达显著水平(T<sub>5</sub>的2008、2009年早稻季和T<sub>3</sub>的2008年早稻季除外),而T<sub>1</sub>变化不大,这可能与T<sub>1</sub>的产量略低有关。T<sub>4</sub>的整体磷素利用率较高,T<sub>2</sub>的较低。各处理磷素的表现观利用率为6.94%~19.30%。这与水稻不同施肥方式对养分吸收和肥料利用率的影响<sup>[8]</sup>有关。这也表明了肥料中大部分磷素未能被作物充分吸收利用而富集于土壤。从磷素平衡的角度而言,磷肥减量是可行的。

表4 不同施肥处理磷素的表现观利用率

Table 4 Utilization efficiency of phosphorus at different treatments in 2008-2009

处理	磷素表现观利用率/%			
	2008年早稻	2008年晚稻	2009年早稻	2009年晚稻
T <sub>1</sub>	7.88b	14.45b	8.25c	12.90bc
T <sub>2</sub>	6.94c	14.36b	8.91bc	12.81b
T <sub>3</sub>	7.70b	18.22a	19.30a	15.13b
T <sub>4</sub>	11.77a	17.53a	12.44b	18.32a
T <sub>5</sub>	7.30bc	14.65b	9.02bc	15.34ab
CF	9.01b	10.89c	7.37c	8.89c

### 2.4 不同处理氮、磷地表径流流失量

由表5可知,各减量施肥处理组的铵态氮、总氮、总磷流失量均比CF低,与CF相比,不同减量施肥处理可使径流水铵态氮流失量减少54.58%~74.92%,总氮流失量减少31.69%~47.74%,总磷流失量降低11.77%~64.71%,这表明减少肥料施入可以有效降低地表水氮、磷污染。各处理硝态氮地表径流流失量却高于对照,这可能是由水田中硝化作用所占比例低,水体中硝态氮容易受环境因素干扰所致。2009年不同施肥处理的总氮、总磷流失量分别为2.54~4.86 kg/hm<sup>2</sup>和0.06~0.17 kg/hm<sup>2</sup>,这可能与

降雨发生的时间和降水量以及稻田土壤理化性状有关。减量施肥处理组的总氮流失量均显著低于常规处理(低31.69%~47.74%),表明减量施肥可降低径流水中的氮素流失。

表5 不同施肥处理的氮、磷地表径流流失量

Table 5 Runoff loss of nitrogen and phosphorus at different treatments

处理	地表径流流失量/(kg·hm <sup>-2</sup> )			
	全氮	氨氮	硝氮	全磷
T1	3.07	1.34	0.36	0.06
T2	2.72	0.78	0.29	0.15
T3	3.32	0.95	0.73	0.09
T4	2.54	0.74	0.19	0.09
T5	3.32	1.23	0.22	0.13
CF	4.86	2.95	0.22	0.17

从氮素形态来看,流失的铵态氮远高于硝态氮,表明铵态氮是水田氮素流失的主体。在磷素流失的控制方面,由于各组减肥量一致,各处理间流失量的差异可能是由冬季绿肥作物不同所致。T<sub>2</sub>径流水中磷素含量接近CF,据此可推测磷肥对减少磷素径流损失益处不大,更确切的结果还有待研究。比较T<sub>2</sub>和T<sub>5</sub>的磷地表径流流失量后可看出,在相同减肥措施下,免耕可以降低土壤磷素流失,这主要与磷素的特殊化学性质有关。土壤对磷的吸附、固定和沉淀作用导致磷素活性降低,磷素进入土壤后易被吸附并于土壤表层富集<sup>[9]</sup>,因此,减少对土壤的扰动会降低稻田磷素流失,翻耕则容易增加磷素的流失。

## 3 结论与讨论

### a. 减量施肥对作物产量及肥料利用率的影响。

就产量而言,各减量施肥处理2年累计产量与CF的差异无统计学意义,但T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>与T<sub>5</sub>的总体产量略低于CF,即以上3种施肥方式的作物产量有下降的可能。若单从产量带来的经济效益考虑,以上减量施肥模式可能不被当地农户所接受。处理T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>在连续2年的产量均显著高于CF,最多高出12.05%。这表明施入常规施肥量70%的氮、磷复合肥料配以冬季种植紫云英或油菜即可满足作物生长的需求。控释肥中氮素的分解释放容易受气候影响,在气候异常年份可能过早或过晚释放肥效,影响作物生长。由于2009年早稻季的地表温度比较低,所以,硫包衣控释肥处理(T<sub>2</sub>和T<sub>5</sub>)的产量比CF低。这与硫包衣尿素对水稻产量以及肥料利用率影响的研究结果<sup>[10-11]</sup>不同,表明单一肥料长期减量施用易造成产量不稳定。整

体来看,采用不同施肥与耕作方式,作物的养分利用率差异较大,复合肥减量处理组( $T_3$ 和 $T_4$ )的养分利用率稍高,而硫包衣控释肥组( $T_2$ 和 $T_3$ )的养分利用率稍低。这可能是由硫包衣控释肥的积温分解曲线无法与水稻需求过程完好拟合造成的。在选择控释肥时应充分考虑当地气候环境与种植作物品类。目前中国控释肥的种类较少,客观上限制了新式肥料在不同作物上的使用。

b. 减量施肥对环境的影响。冬季绿肥可降低土壤中铵态氮浓度,从而降低农田冬季面源污染<sup>[12]</sup>。本研究中,冬季种植紫云英和油菜均可提高土壤肥力,且紫云英的效果比油菜的好。周卫军等<sup>[13]</sup>的研究也得到了相同结论。从控制面源污染的角度分析,冬季种植黑麦草、紫云英、油菜等都可增加地表覆盖,抑制杂草生长,从而减少氮、磷的地表径流损失。

本研究中所有减量施肥处理均显著提高了肥料利用率,减少了氮、磷地表径流流失量。这与文献<sup>[14]</sup>的结果相似。不同施肥处理的总氮、总磷流失量分别为 $2.54\sim 4.86\text{ kg/hm}^2$ 和 $0.06\sim 0.17\text{ kg/hm}^2$ ,本结果低于苏南太湖地区水田的地表径流氮、磷流失量( $19.0\sim 44.2$ 、 $0.13\sim 3.26\text{ kg/hm}^2$ )<sup>[15]</sup>和太湖地区青紫泥水稻土氮、磷流失量( $38.8$ 、 $0.95\text{ kg/hm}^2$ )<sup>[16]</sup>,与浙江嘉兴农场水稻田的地表径流氮、磷流失量( $0.23\sim 0.80$ 、 $0.07\sim 0.15\text{ kg/hm}^2$ )相当<sup>[17]</sup>。从氮素形态来看,流失的铵态氮远高于硝态氮,表明铵态氮是水田氮素流失的主体。这与文献<sup>[18]</sup>的结果一致。

综上所述,采用复合肥减量配合冬季绿肥可以保障水稻产量,紫云英作为绿肥的产量效果优于油菜,而普通肥料或缓释肥直接减量施用会增加作物减产的风险。通过减量施肥可以使稻田地表水氮素流失量降低 $31.69\%\sim 47.74\%$ ,磷素流失量降低 $11.77\%\sim 64.71\%$ 。使用复合肥减量施用可以提高肥料的表观利用率,氮素、磷素的利用率最多可分别提高 $19.31\%$ 、 $11.97\%$ ,比较各处理2年的总产量,复合肥减量配以冬季种植紫云英( $T_3$ )可以比常规施肥处理(CF)增产 $7.82\%$ 。

#### 参考文献:

- [1] 张刚,王德建,陈效民.稻田化肥减量施用的环境效应[J].中国生态农业学报,2008,16(2):327-330.
- [2] Correl D L. The role of phosphorus in the eutrophication

of receiving waters :A review environ qual[J]. Journal of Environmental Quality, 1998, 27: 261-266.

- [3] Donigan A S Jr, Huber W C. Modeling of nonpoint source water quality in urban and nonurban areas[J]. Water Research, 1991, 60: 343-349.
- [4] 彭建伟,刘强,荣湘民,等.氮磷钾配比及氮用量对水稻光合特性及产量的影响[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2004,30(2):123-127.
- [5] 朴钟泽,韩龙植,高熙宗.水稻不同基因型氮素利用效率差异[J].中国水稻科学,2003,17(3):233-238.
- [6] 敖和军,邹应斌,申建波.早稻施氮对连作晚稻产量和氮肥利用率及土壤有效氮含量的影响[J].植物营养与肥料学报,2007,13(5):772-780.
- [7] 金洁,杨京平,施洪鑫.水稻田面水中氮磷素的动态特征研究[J].农业环境科学学报,2005,24(2):357-361.
- [8] 徐小华,吾建祥.水稻不同施肥方式对养分吸收和肥料利用率的影响[J].安徽农业科学,2002,30(2):264-265.
- [9] 冯跃华,张杨珠,黄运湘,等.湖南省主要类型水稻土有机磷形态分级研究[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2001,27(1):24-28.
- [10] 张永春,汪吉东,梁永红.硫包衣尿素对水稻的增产效应及氮素利用率的影响研究[J].水土保持学报,2007,21(4):143-151.
- [11] 汪吉东,张永春,郭巧云.硫包衣尿素对水稻养分吸收利用及土壤反应的影响[J].华北农学报,2008,23:293-297.
- [12] 卢萍,单玉华,杨林章.绿肥轮作还田对稻田土壤溶液氮素变化及水稻产量的影响[J].土壤,2006,38(3):270-275.
- [13] 周卫军,王凯荣,谢小立.红壤稻田种植制度的养分平衡特征[J].中国生态农业学报,2001,9(1):61-63.
- [14] 赵建宁,沈其荣,冉炜.太湖地区侧渗水稻土连续施磷处理下稻田磷的径流损失[J].农村生态环境,2005,21(3):29-33.
- [15] 马立珊,汪祖强,张水铭.苏南太湖水系农业面源污染及其控制对策研究[J].环境科学学报,1997,17(1):139-147.
- [16] 焦少俊,胡夏民,潘根兴.施肥对太湖地区青紫泥水稻土稻季农田氮磷流失的影响[J].生态学杂志,2007,26(4):495-500.
- [17] 梁新强,田光明,李华.天然降雨条件下水稻田氮磷径流流失特征研究[J].水土保持学报,2005,19(1):60-64.
- [18] 黄沈发,沈根祥,唐浩.上海郊区稻田氮素流失研究[J].环境污染与防治,2005,27(9):651-654.

责任编辑:王赛群

英文编辑:王 库