

# 不同施肥模式对太湖流域农田土体 氮磷流失与营养累积的影响

陈永高<sup>1</sup>, 张瑞斌<sup>2</sup>

(1. 浙江工业职业技术学院, 浙江 绍兴 312000; 2. 南京大学 环境学院, 江苏 南京 210023)

**摘要:** [目的] 研究不同施肥模式对太湖流域农田蔬菜产量及土体氮磷流失与营养累积的影响, 为太湖流域农业面源污染防治和治理提供科学依据。[方法] 以太湖流域农田土体蔬菜地为研究对象, 采用田间径流池法进行不同施肥模式的田间小区试验。[结果] 与常规施肥相比, 优化施肥可减少地表径流氮磷流失量; 有机肥的施用能有效抑制地表径流氮流失; 与对照地相比, 其他几种施肥处理均可使蔬菜植株氮、磷、钾素累积量增加。[结论] 优化施肥可使研究区蔬菜产量提高 31%, 可使作物肥料利用率提高 27%。

**关键词:** 氮磷流失; 氮磷钾累积; 蔬菜地; 肥料利用率; 太湖流域

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)02-0115-05

中图分类号: S146

**文献参数:** 陈永高, 张瑞斌. 不同施肥模式对太湖流域农田土体氮磷流失与营养累积的影响[J]. 水土保持通报, 2016, 36(2): 115-119. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.02.022

## Effects of Fertilization Patterns on Loss of Soil Nitrogen, Phosphorus and Nutrients Accumulation in Farmlands of Taihu Lake Basin

CHEN Yonggao<sup>1</sup>, ZHANG Ruibin<sup>2</sup>

(1. Zhejiang Industry Polytechnic College, Shaoxing, Zhejiang 312000, China;

2. School of the Environment, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210023, China)

**Abstract:** [Objective] The effects of different fertilization patterns on vegetable yield, loss of soil nitrogen, phosphorus and nutrition accumulation in farmlands of Taihu Lake basin were researched to provide scientific evidences for the prevention and control of agricultural non-point source pollution in Taihu Lake basin. [Methods] A field experiment was conducted in runoff pools constructed on typical vegetable land with six fertilization treatments in the Taihu Lake basin. [Results] Discharges of nitrogen and phosphorus in treatment of optimal fertilization were reduced in comparison with the one of chemical fertilization. Nitrogen, phosphorus, and potassium in all fertilization patterns were measured accumulated in vegetables as compared with the one of no fertilization. [Conclusion] Optimal fertilizer can increase vegetable yield and utilization ratio of nitrogen fertilizer by 31% and 27%, respectively.

**Keywords:** loss of nitrogen and phosphorus; N, P, K accumulation; vegetable fields; fertilizer utilization ratio; Taihu Lake basin

太湖流域经济发达, 农业集约化程度较高, 但随着经济发展和人口高度, 流域污染负荷不断增加, 加快了流域水质恶化和水体富营养化<sup>[1-3]</sup>。根据统计<sup>[4]</sup>研究, 太湖流域内面源排放污染负荷每年占整个流域排入太湖污染负荷的 60%, 其中, 氮、磷污染负荷量对太湖流域污染负荷的贡献分别为 41.3% 和 21.6%, 而农业化肥大量使用是引起面源氮磷污染的

直接原因。宋玉芳<sup>[5]</sup>研究了化肥使用量与蔬菜氮磷积累的关系, 无机和有机肥料都会在植物中积累, 农田中尤以蔬菜地土壤中氮磷的流失量最大, 对水污染贡献最大<sup>[6]</sup>。所以从源头上控制农田氮磷流失, 是太湖流域面源污染的有效控制方法。国内外对农田土壤养分迁移与流失做了大量研究<sup>[7-12]</sup>, 认为地表养分的流失主要受土壤理化性质、降雨强度、地形地貌、植

收稿日期: 2014-10-20

修回日期: 2014-11-20

资助项目: 江苏省自然科学基金项目“低污染水生态净化技术模拟优选与效果评估”(BK20140603); 中央高校基本科研业务费专项(20620140486)

第一作者: 陈永高(1984—), 男(汉族), 江苏省盐城市人, 硕士, 讲师, 主要从事环境评价及工程管理方面的研究。E-mail: higaoge@163.com。

被覆盖以及管理方式等因素的综合影响,但研究农田施肥对面源氮、磷流失量的影响尚处于起步阶段,尤其对蔬菜地氮磷流失规律方面的研究还鲜见报道<sup>[13-15]</sup>。为此,本研究以太湖流域农田土体为对象,利用农田径流法计算农田土体中氮磷流失情况,研究 6 种施肥模式对蔬菜产量、氮磷钾累积量、化肥利用率的影响,以期掌握太湖流域蔬菜地氮磷流失规律及污染特点,探索氮磷累积小的施肥模式,减少农业面源污染,旨在为太湖流域农业面源治理提供基础。

表 1 研究区土壤基本性质

土层深度/ cm	pH 值	有机质/ (g · kg <sup>-1</sup> )	NO <sub>3</sub> -N/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	NH <sub>3</sub> -N/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	全氮/ (g · kg <sup>-1</sup> )	全磷/ (g · kg <sup>-1</sup> )	有效钾/ (mg · kg <sup>-1</sup> )
0—25	6.23	19.87	35.83	401.62	9.16	0.14	514.33
25—50	6.61	14.92	17.94	363.71	3.08	0.02	102.40

## 1.2 试验设计与处理

每个地块上种植两种作物:第一种青菜,2013 年 9 月施肥、种植,2014 年 4 月收割,采种并称重量;第二种茄子,2014 年 4 月施肥、种植,9 月收割,采种并称重量。采用 6 种施肥处理,分别是:不施肥料(CK)、

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于太湖流域无锡宜兴市官林镇水产村,距离溇湖 500 m,年均气温为 17.1 ℃,年均降雨量为 1 103.4 mm,年日照时数为 1 951.3 h,属于亚热带湿润性季风气候。研究区地形为平原,土地利用类型为农田,土壤质地类型为黏土,土壤类型为白泥水稻土,肥力水平中等。土壤基本特性详见表 1。

施肥料(CF)、优化肥料(COF,普通肥料与有机肥各 1/2)、施用有机肥(OF)、增加氮肥(INF,优化肥料再加 20%氮肥)和增加磷肥(IPF,优化肥料再加 20%磷肥)。每个地块长 5 m、宽 5 m,面积为 25 m<sup>2</sup>。所有肥料均一次投入,两种作物的各种施肥情况详见表 2。

表 2 试验 6 种施肥种类及施用量

100 kg/km<sup>2</sup>

施肥处理	青菜				茄子			
	氨水	碳铵	鸡粪	普钙	复合肥	碳铵	鸡粪	普钙
CK	—	—	—	—	—	—	—	—
CF	460	460	—	—	460	460	—	—
COF	—	460	9 624	—	—	460	9 624	—
OF	—	—	19 248	—	—	—	19 248	—
INF	—	690	9 624	—	—	690	9 624	—
IPF	—	460	9 624	230	—	460	9 624	230

注:CK 不施肥料;CF 施肥料;COF 优化肥料(普通肥料与有机肥各 1/2);OF 施用有机肥;INF 增加氮肥(优化肥料再加 20%氮肥);IPF 增加磷肥(优化肥料再加 20%磷肥)。下同。

## 1.3 径流样品采集

研究地块之间并排设置径流池,每个地块径流池容积约 2.4 m<sup>3</sup>。每个地块排水口安装 PVP 管,径流池上加盖,取水样时打开盖子。各地块使用均用水泥结构隔开,以防测渗相互影响。在研究区安装雨量计 1 个,用于记录降雨量。降水后记载各径流池水面高度,并计算径流量,然后多点采集径流水样。2013—2014 年两种作物共采样 12 次,共 72 个样品。样品测定方法见《水和废水监测分析方法》<sup>[16]</sup>。蔬菜中氮、磷、钾元素测定方法依据《土壤农业化学分析方法》<sup>[17]</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 农田径流氮磷流失量

观测期间共降水 47 d,共降水 872.3 mm。青

菜种植期产流 4 次,茄子种植期产流 8 次,两者径流总量分别为 1.54 × 10<sup>5</sup> m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> 和 1.13 × 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>。

表 3 表明,青菜种植的不同施肥之间,总氮流失量为 987~1 196 kg/km<sup>2</sup>,总磷流失量是 26~41 kg/km<sup>2</sup>。方差分析结果表明,优化肥料与施肥料、施用有机肥对减少总氮流失量的效果基本相同;优化肥料总磷流失量比施用有机肥、增加氮肥、增加磷肥良好。茄子种植的不同施肥,总氮流失量是 3 615~4 782 kg/km<sup>2</sup>,总磷流失量是 197~348 kg/km<sup>2</sup>。施肥料和优化肥料均能够减少氮磷流失,但增加磷肥和增加氮肥导致氮磷流失增加。方差分析结果表明,优化肥料、施用有机肥与施肥料、增加磷肥的总氮流失量差距不大,但明显比增加氮肥好,优化肥料与施肥料、施

用有机肥和增加磷肥的总磷流失量基本接近,而明显优于增加氮肥。

青菜和茄子总氮流失量总和是 4 602~5 978 kg/km<sup>2</sup>,总磷流失量总和是 223~389 kg/km<sup>2</sup>。不同施肥下氮流失总量由大到小顺序为:增加氮肥>增加磷肥>施肥料>优化肥料>施用有机肥>不施肥料,磷总量的顺序为:增加磷肥>增加氮肥>施用有机肥>施肥料>优化肥料>不施肥料。方差分析结果表明,优化肥料与施肥料、施用有机肥之间总氮流失量

差距不大,但都显著优于增加氮肥;优化肥料与施肥料、施用有机肥总磷流失量基本接近,但都显著优于增加磷肥。优化肥料比另外几种施肥产生的氮磷流失量小。因此施用有机肥较普通肥料能够减少氮流失量。但施用有机肥、增加磷肥和增加氮肥都导致总磷流失增加,这是因为有机磷比无机磷难吸收。茄子比青菜产生的氮磷流失量明显增加,可能的原因是茄子的地表覆盖度较小,产生的地表径流较大导致氮磷流失量增加<sup>[18-19]</sup>。

表 3 不同蔬菜地表径流氮磷流失量

100 kg/km<sup>2</sup>

施肥处理	青菜		茄子		全年	
	TN	TP	TN	TP	TN	TP
CK	9.87±0.37 <sup>Dd</sup>	0.26±0.02 <sup>Cc</sup>	36.15±1.03 <sup>Bc</sup>	197.00±0.22 <sup>Cc</sup>	46.02±1.41 <sup>Cd</sup>	2.23±0.24 <sup>Cc</sup>
CF	11.49±0.21 <sup>ABCbc</sup>	0.34±0.03 <sup>ABCab</sup>	45.82±3.14 <sup>Aab</sup>	3.21±0.25 <sup>ABab</sup>	51.38±3.35 <sup>ABbc</sup>	3.62±0.28 <sup>ABab</sup>
COF	11.51±0.11 <sup>BCc</sup>	0.31±0.03 <sup>BCbc</sup>	42.59±2.37 <sup>Ab</sup>	2.73±0.21 <sup>Bb</sup>	55.71±2.47 <sup>Bbc</sup>	3.37±0.23 <sup>Bb</sup>
OF	11.34±0.13 <sup>Cc</sup>	0.36±0.04 <sup>ABa</sup>	41.71±2.14 <sup>Ab</sup>	3.29±0.08 <sup>ABab</sup>	53.29±2.27 <sup>Bc</sup>	3.46±0.11 <sup>ABab</sup>
INF	11.96±0.13 <sup>Aa</sup>	0.34±0.03 <sup>ABa</sup>	47.82±1.27 <sup>Aa</sup>	3.32±0.11 <sup>ABab</sup>	59.78±1.40 <sup>Aa</sup>	3.57±0.14 <sup>ABab</sup>
IPF	11.72±0.10 <sup>ABab</sup>	0.41±0.04 <sup>Aa</sup>	44.36±3.30 <sup>Aab</sup>	3.48±0.32 <sup>Aa</sup>	52.69±3.39 <sup>ABab</sup>	3.89±0.36 <sup>Aa</sup>

注:大写字母表示 1%极显著性水平差异;小写字母表示 5%显著性水平差异(LSD 检验法)。下同。

## 2.2 不同施肥模式对蔬菜产量的影响

图 1 为青菜与茄子不同施肥的产量。由图 1 可以看出,与不施肥料相比,其它施肥明显提高了蔬菜产量,青菜产量增加了  $1.02 \times 10^6$  kg/km<sup>2</sup>~ $1.70 \times 10^6$  kg/km<sup>2</sup>,茄子产量增加了  $9.26 \times 10^5$  kg/km<sup>2</sup>~ $1.81 \times 10^6$  kg/km<sup>2</sup>。方差计算表明,增加氮肥与优化肥料、增加磷肥增加青菜产量的效果基本相同,但明显高于普通施肥和施用有机肥;施用有机肥、增加氮肥和增加磷肥增加茄子产量的效果基本相同,但明显高于施肥料。青菜产量具体表现为:增加氮肥>优化肥料>增加磷肥>施用有机肥>施肥料>不施肥料,茄子产量表现为:增加氮肥=增加磷肥>施用有机肥>优化肥料>施肥料>不施肥料。优化肥料、增加氮肥和磷肥的蔬菜产量比普通施肥分别增加了 31%,49%,37%。青菜施用有机肥提高产量的效果不如优化肥料,但有机肥比优化肥料的茄子产量有所提高。

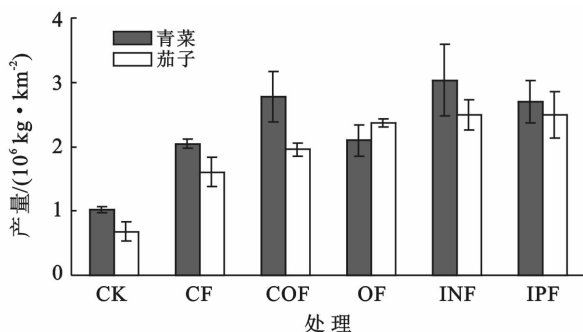


图 1 不同施肥模式对蔬菜产量的影响

## 2.3 不同施肥模式对蔬菜植株氮、磷、钾累积量的影响

表 4 表明,除了不施肥料,另外几种施肥均能增加青菜中氮、磷、钾的含量。方差分析结果表明,施肥料、优化肥料、施用有机肥、增加氮肥、增加磷肥的氮素累积量基本接近,而且都大于不施肥料。对青菜植株磷素累积量增加的促进效果,施用有机肥、增加氮肥与增加磷肥基本相同,优化肥料明显高于施肥料。对增加青菜植株钾素累积量的效果,几种不同施肥基本接近。茄子种植期,计算表明,增加氮肥好于其他施肥,其他施肥基本接近。促进茄子磷累积量的增加效果,施用有机肥高于优化肥料,优化、增氮、增磷三者基本相同,但都优于普通施肥。促进茄子钾累积量的增加效果,优化肥料、施用有机肥、增氮基本相同,均优于普通施肥。

全年植株氮素累积量的增加效果由大到小表现为:增加氮肥>增加磷肥>优化肥料>施用有机肥>施肥料>不施肥料;方差计算表明,增加氮肥和增加磷肥基本相同,但好于普通施肥。这显示了有机肥和肥料的配施能够促进氮在植物中的累积。全年植株磷素累积量的增加效果由大到小表现为:施用有机肥>增加磷肥>优化肥料>增加氮肥>施肥料>不施肥料;方差计算表明,促进磷素累积量的效果,施用有机肥与增加磷肥和优化肥料与增加氮肥基本相同,但优于施肥料。全年植株钾素累积量的增加效果由大到小表现为:施用有机肥>优化肥料>增加氮肥

>增加磷肥>施肥料>不施肥料;方差计算表明优化肥料、增加氮肥、增加磷肥基本相同,施用有机肥优于

施肥料。说明施用有机肥能显著促进磷素、钾在植物中的累积。

表 4 青菜、茄子及全年不同施肥蔬菜植株氮、磷、钾累积量

100 kg/km<sup>2</sup>

处理	青菜			茄子			全年		
	氮素	磷素	钾素	氮素	磷素	钾素	氮素	磷素	钾素
CK	42.33 <sup>Bb</sup>	8.76 <sup>Cc</sup>	97.53	54.09 <sup>Bc</sup>	10.27 <sup>Dd</sup>	20.15 <sup>Cb</sup>	96.42 <sup>Bc</sup>	19.03 <sup>Cd</sup>	117.69 <sup>Bc</sup>
CF	102.04 <sup>Aa</sup>	32.28 <sup>Bb</sup>	124.79	84.96 <sup>ABbc</sup>	25.02 <sup>Cc</sup>	36.75 <sup>BCb</sup>	187.00 <sup>Ab</sup>	57.30 <sup>Bc</sup>	161.53 <sup>ABb</sup>
COF	139.07 <sup>Aa</sup>	49.60 <sup>Aa</sup>	129.48	109.04 <sup>ABab</sup>	46.94 <sup>Bb</sup>	69.06 <sup>Aa</sup>	248.11 <sup>Aab</sup>	96.54 <sup>Ab</sup>	198.55 <sup>Aab</sup>
OF	101.84 <sup>Aa</sup>	55.50 <sup>ABa</sup>	132.43	119.39 <sup>Aab</sup>	61.64 <sup>Aa</sup>	77.03 <sup>Aa</sup>	221.23 <sup>Aab</sup>	117.15 <sup>Aa</sup>	209.47 <sup>Aa</sup>
INF	133.89 <sup>Aa</sup>	42.72 <sup>ABab</sup>	130.32	133.39 <sup>Aa</sup>	53.54 <sup>ABab</sup>	66.72 <sup>Aa</sup>	267.27 <sup>Aa</sup>	96.26 <sup>Ab</sup>	197.04 <sup>Aab</sup>
IPF	137.39 <sup>Aa</sup>	48.47 <sup>ABa</sup>	127.07	122.11 <sup>Aab</sup>	54.53 <sup>ABab</sup>	63.23 <sup>ABa</sup>	259.50 <sup>Aa</sup>	103.00 <sup>Aab</sup>	190.30 <sup>Aab</sup>

## 2.4 不同施肥模式对蔬菜氮、磷、钾肥料利用率的影响

首先根据蔬菜中氮磷钾含量计算出作物中氮、磷、钾的吸收量,然后根据肥料使用量计算出肥料利用率。

2.4.1 青菜氮、磷、钾肥料利用率 如图 2 所示,青菜的氮肥利用率为 20.84%~43.16%,磷肥利用率为 9.2%~16.31%之间,钾肥利用率为 10.95%~20.83%之间。青菜中优化肥料、增加磷肥氮肥利用率比施肥料高。青菜施用有机肥的肥料利用率最低,是因为有机肥分解较慢。

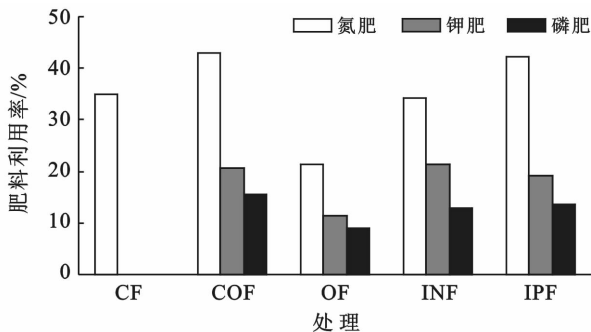


图 2 青菜不同施肥模式肥料利用率

2.4.2 茄子氮、磷、钾肥料利用率 茄子氮肥的利用率比青菜低,二磷肥、钾肥的利用率高。图 3 表明,增加磷肥、施肥料、优化肥料的氮肥、磷肥、钾肥利用率分别为最高;增磷、增氮比普通施肥的肥料利用率得以提高。

2.4.3 全年蔬菜氮、磷、钾肥料利用率 如图 4 所示,全年不同施肥的氮肥利用率由大到小依次表现为:增加磷肥>优化肥料>增加氮肥>施肥料>施用有机肥,磷肥和钾肥利用率表现为:施肥料>优化肥料>增加氮肥>增加磷肥>施用有机肥。优化肥料、增加氮肥和增加磷肥的氮肥利用率分别比施肥料提高了 27%,21%,31%。优化肥料、增加氮肥和增加磷肥基本相同,磷肥利用率为 16%,钾肥利用率为

23%。施用有机肥的肥料利用率最低,说明只有肥料和有机肥的合理搭配使用,才能使肥料的利用率得以提高。

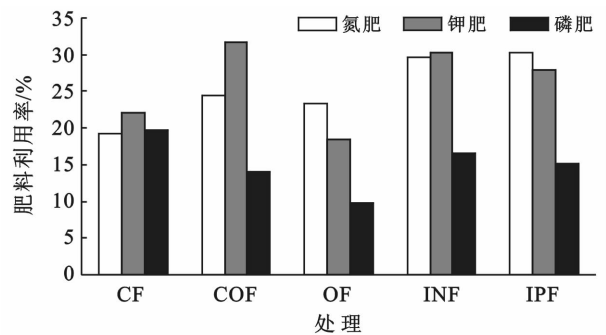


图 3 茄子不同施肥模式肥料利用率

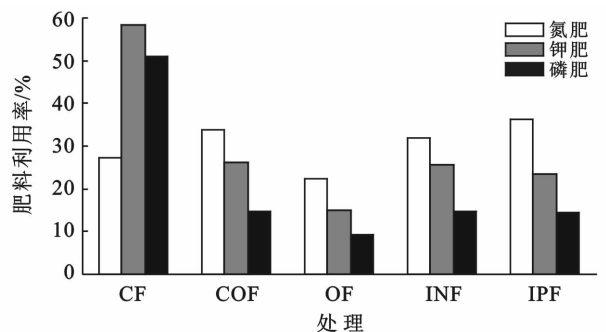


图 4 全年不同施肥模式肥料利用率

## 3 结论

与普通施肥相比,施用有机肥和优化肥料可减少地表径流氮磷流失量,而增加氮肥和增加磷肥能够增加氮磷流失量。施用有机肥能够减少氮流失量而增加磷流失量。施用有机肥的效果不如优化肥料,优化肥料可使蔬菜产量提高 31%。其它施肥处理促进作物氮、磷、钾累积的效果均优于不施肥处理。有机肥与肥料配施能促进蔬菜植株氮磷钾累积量。施用有机肥具有最低的肥料利用率,优化施肥能够提高蔬菜的肥料利用率。

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 廖文根,彭静,骆辉煌.关于太湖流域水污染防治策略的思考[J].中国水利水电科学研究院学报,2005,3(1):6-11.
- [2] 田猛,张永春.用于控制太湖流域农村面源污染的透水坝技术实验研究[J].环境科学学报,2006,26(10):1665-1670.
- [3] Uysal A, Kuru B. Magnesium ammonium phosphate production from wastewater through box-behnen design and its effect on nutrient element uptake in plants[J]. Clean-Soil Air Water, 2013,41(5):447-454.
- [4] 席运官,田伟,李妍,等.太湖地区稻麦轮作系统氮、磷径流排放规律及流失系数[J].江苏农业学报,2014,30(3):534-540.
- [5] 宋玉芳,任丽萍,许华夏.不同施肥条件下旱地养分淋溶规律实验研究[J].生态学杂志,2001,20(6):20-24.
- [6] 孙红亮,陈明智,盖国胜,等.富磷钾矿物有机肥与过磷酸钙在地表径流中磷的流失对比[J].热带生物学报,2013,4(3):242-245.
- [7] Shigaki F, Sharpley A, Prochnow L I. Rainfall intensity and phosphorus source effects on phosphorus transport in surface runoff from soil trays[J]. Science of the Total Environment, 2007, 373(1):334-343.
- [8] 高超,朱继业,朱建国,等.不同土地利用方式下的地表径流磷输出及其季节性分布特征[J].环境科学学报,2005,25(11):1543-1-549.
- [9] 黄涛,荣湘民,刘强,等.不同施肥模式对春玉米产量、品质与氮肥利用及玉米地氮流失的影响[J].土壤,2010,42(6):915-919.
- [10] Potter K N, Carter F S, Doll E C. Physical Properties of Constructed and Undisturbed Soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1988, 52(5):1435-1438.
- [11] 黄东风,王果,李卫华,等.不同施肥模式对蔬菜产量、硝酸盐含量及菜地氮磷流失的影响[J].水土保持学报,2008,22(5):5-10.
- [12] Shipitalo M J, Bonta J V. Impact of using paper mill sludge for surface-mine reclamation on runoff water quality and plant growth[J]. Journal of Environmental Quality, 2008, 37(6):2351-2359.
- [13] Bechmann M, Stålnacke P, Kvoerno S, et al. Integrated tool for risk assessment in agricultural management of soil erosion and losses of phosphorus and nitrogen [J]. Science of the Total Environment, 2009, 407(2):749-759.
- [14] Mahdy A M, Elkhatib E A, Fathi N O, et al. Effects of co-application of biosolids and water treatment residuals on corn growth and bioavailable phosphorus and aluminum in alkaline soils in Egypt[J]. Journal of Environmental Quality, 2009, 38(4):1501-1510.
- [15] Jurado-Guerra P, Wester D B, Fish E B. Soil nitrate nitrogen dynamics after biosolids application in a tobosagrass desert grassland [J]. Journal of Environmental Quality, 2006, 35(2):641-650.
- [16] 国家环境保护总局.水和废水监测分析方法[M].北京:中国环境科学出版社,2002.
- [17] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科学技术出版社,2001:122-368.
- [18] 段亮,段增强,常江.地表管理与施肥方式对太湖流域旱地氮素流失的影响[J].农业环境科学学报,2007,26(3):813-818.
- [19] 王春梅,蒋治国,赵言文.太湖流域典型蔬菜地地表径流氮磷流失[J].水土保持学报,2011,25(4):36-40.