

# 太湖流域稻麦轮作农田氮肥施用状况、问题 and 对策<sup>①</sup>

周 杨<sup>1,2</sup>, 司友斌<sup>1</sup>, 赵 旭<sup>2</sup>, 王庆乾<sup>2</sup>, 徐浩江<sup>2</sup>, 王慎强<sup>2\*</sup>, 邢光熹<sup>2</sup>

(1 安徽农业大学资源与环境学院, 合肥 230036; 2 中国科学院土壤环境与污染修复重点实验室(南京土壤研究所), 南京 210008)

## Situation, Problems and Countermeasures in Nitrogen Fertilization in Rice/Wheat Rotation Paddy Field of Taihu Lake Watershed, China

ZHOU Yang<sup>1,2</sup>, SI You-bin<sup>1</sup>, ZHAO Xu<sup>2</sup>, WANG Qing-qian<sup>2</sup>, XU Hao-jiang<sup>2</sup>, WANG Shen-qiang<sup>2</sup>, XING Guang-xi<sup>2</sup>

(1 College of Resources and Environmental Science, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China; 2 Key Laboratory of Soil Environment and Pollution Remediation, Institute of Soil Science Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

**摘 要:** 分别于 2006 年和 2011 年在苏南常熟市和宜兴市开展了稻麦农田的氮肥施用状况调查。结果显示, 常熟 2006 年稻季平均施氮量为 N 329 kg/hm<sup>2</sup>, 2011 年则降低为 N 264 kg/hm<sup>2</sup>; 麦季变化不大, 相应分别为 N 216 kg/hm<sup>2</sup> 和 N 230 kg/hm<sup>2</sup>。2011 年宜兴市稻麦季平均施氮量分别为 N 326 kg/hm<sup>2</sup> 和 N 300 kg/hm<sup>2</sup>, 高于常熟。通过农户种田面积调查分析, 近 5 年来规模化种植大户的出现和不断扩大是驱动常熟市施氮量下降的主要原因, 而宜兴市较高的施氮水平与该市仍以散户分散经营种植有关。氮肥品种结构调查表明, 该区氮肥施用呈现“以尿素为主导、高浓度复混肥施用比例增加、碳酸氢铵逐步减少、有机肥基本弃用”的格局。基于目前氮肥施用量和结构的变化, 从科学和政策两个层面提出了逐步改变当前太湖流域稻麦农田传统粗放种植模式和施氮习惯的对策。

**关键词:** 太湖流域; 稻麦农田; 氮肥施用; 问题对策

**中图分类号:** S158.5; S1143.2

化学氮肥是作物增产最有效的因素之一。2007 年中国化学氮肥施用量(包括复混肥)已达 3 199 万 t 氮左右<sup>[1]</sup>, 约占世界总使用量的 30%<sup>[2]</sup>。太湖地区是中国化学氮肥使用量最高的地区之一, 一年稻麦两季作物化学氮肥投入量高达 N 500 ~ 600 kg/hm<sup>2</sup><sup>[3-4]</sup>。化学氮肥的大量投入虽然增加了作物产量, 但也带来了令人堪忧的环境问题。近年来, 太湖蓝藻大暴发, 莫不与此有关<sup>[5]</sup>。从上世纪 90 年代至今, 太湖地区的氮肥与环境问题已有诸多研究报道<sup>[6-9]</sup>, 但所著文献中, 未见关于农田氮肥投入与农户土地经营面积以及肥料品种结构变化关系方面的报道。为此, 我们先后于 2006 年和 2011 年两次对太湖地区常熟市进行了有关氮肥施用的农户调查, 2011 年增加了对宜兴市的调查, 获取一些第一手资料和数据。通过两个时间点调查数据的

整理、比较和分析, 发现了一些值得深思的问题, 这些结果对优化太湖地区农田氮肥施用管理有一定参考价值。

## 1 材料与方法

### 1.1 调查地区的基本特征

常熟市位于江苏省东南部, 120°33' ~ 121°03'E, 31°30' ~ 31°50'N, 地处长江三角洲前沿, 北临长江, 西南连无锡和苏州, 东距上海约 100 km, 全市土地面积 11 km<sup>2</sup>, 耕地面积 35 987 hm<sup>2</sup>, 其中水稻土占 76%。年平均气温 15.4 °C, 降水量 1 055 mm<sup>[10]</sup>。

宜兴市位于江苏省南部, 119°31' ~ 120°03'E, 31°07' ~ 31°37'N, 是苏、浙、皖 3 省交界处。东濒太湖, 东南邻浙江长兴, 西南界安徽广德, 西北距南京

①基金项目: 农业部行业专项(200903011)、国家科技支撑计划课题(2011BAD11B01, 2012BAD15B03)和国家“948”重点项目(2011-G30)资助。

\* 通讯作者(sqwang@issas.ac.cn)

作者简介: 周杨(1987—), 男, 浙江台州人, 硕士研究生, 主要从事农田生态系统氮循环与环境研究。E-mail: zhouyangsea@163.com

约 150 km。全市土地面积 2 038.7 km<sup>2</sup>, 耕地面积 66 093 hm<sup>2</sup>, 水稻土占 51%。年平均气温 15.7 °C, 降水量 1 177 mm<sup>[11]</sup>。

两市相比, 常熟市城镇化水平显著高于宜兴市, 宜兴的农业在全市社会经济发展中仍然占有重要的地位。

## 1.2 调查方法

2006 年 12 月第一次调查选择了常熟市其中的 8 个镇, 17 个行政村, 共随机调查了 80 个农户。调查内容为农户经营的主要粮食作物(水稻、小麦)种植面积、不同作物化学氮肥用量、化学氮肥的主要品种、有机肥利用情况、复混肥中 N、P、K 的有效成分比例等。2011 年 9 月开展了第二次调查, 调查地区新增加了宜兴市。常熟市选择了 7 个镇, 31 个行政村, 共随机调查了 85 个农户。宜兴市选择了 9 个镇, 33 个行政村, 共随机调查了 121 个农户。调查内容同 2006 年。

## 2 结果与分析

### 2.1 稻麦生长季氮肥的平均施用量

2006 年和 2011 年两次调查结果显示: 常熟市稻季平均施氮量分别为 N 329 kg/hm<sup>2</sup> 和 264 kg/hm<sup>2</sup>; 麦季平均施氮量为 N 216 kg/hm<sup>2</sup> 和 230 kg/hm<sup>2</sup>。2011 年宜兴市两种作物的平均施氮量则为 N 326 kg/hm<sup>2</sup> 和 300 kg/hm<sup>2</sup>。

从调查结果可以看出, 常熟市稻季氮肥施用量在近五年降低了 N 65 kg/hm<sup>2</sup>, 降幅达 20%。是什么因素导致稻季氮肥施用量降低? 通过农户走访和调查资料分析, 我们认为与常熟市近年来大力推行农户规模种植有关。2006 年调查的 80 个农户中, 只有 3 户水稻种植面积超过 0.66 hm<sup>2</sup> (10 亩), 他们的平均施氮量为 N 274 kg/hm<sup>2</sup>, 低于其余 77 户散户经营 (0.66 hm<sup>2</sup> 以下) 的 N 331 kg/hm<sup>2</sup> 的施氮量水平。2011 年调查的 85 个农

户中, 散户经营数量明显降低, 只有 16 户, 其平均施氮量为 N 326 kg/hm<sup>2</sup>, 与 5 年前相当; 而规模化经营户数和规模种植面积均大大增加, 有 64 个农户经营水稻田亩数在 0.66 ~ 20 hm<sup>2</sup> (10 亩 ~ 300 亩) 之间, 占到总调查户数的 75%, 其平均施氮量为 N 252 kg/hm<sup>2</sup>, 明显低于 2006 年和 2011 年散户经营的平均施氮量 N 331 kg/hm<sup>2</sup> 和 N 326 kg/hm<sup>2</sup> (表 1)。20 hm<sup>2</sup> 以上的专业合作社也有 5 户, 稻季施氮量更是降低为 N 231 kg/hm<sup>2</sup>。这表明随着规模种植的扩大, 施氮量有明显降低的趋势。由此可见, 越来越多规模种植户特别是规模经营大户(又称专业合作社)的出现, 他们从节约生产投入成本的角度出发, 改变了以往分散种植的粗放高投入施肥模式, 合理减少了氮肥的投入量, 从而使得常熟市当前稻季平均氮肥施用量比 5 年前明显降低(表 2)。对经营者来说, 在不减产的情况下减少化肥投入是为了增加效益, 但无疑对减轻氮肥过量施用带来的环境负荷和促进社会经济持续发展具有更深的意义。

与高度城镇化的常熟相比, 宜兴市的农业生产在社会经济发展中仍然占有相当重要地位, 农业种植目前仍是以散户为主的耕地经营模式。在 2011 年 121 个农户调查中, 只有 3 户稻麦种植面积超过 0.66 hm<sup>2</sup>, 而 0.33 hm<sup>2</sup> 以下的散户种植多达 95% 以上。因此, 散户种植模式主导下的化肥粗放投入可能是目前宜兴市稻麦季氮肥施用量明显高于常熟的主要原因(表 1)。

### 2.2 稻麦生长季施氮量的频度分布

由于不同地区土壤性质、地形条件和农民生产管理习惯等方面的差异, 农户施氮量存在很大变幅。因此, 我们进一步对 2006 年、2011 年常熟市和 2011 年宜兴市调查农户的稻麦季施氮量进行频度分析(图 1)。可以看出, 常熟市 2006 年农户稻季施氮量大多超过 N 250 kg/hm<sup>2</sup>, 占总调查户数的 86%, 其中, 施氮量在

表 1 不同年份常熟市农田散户种植和规模化种植模式下氮肥施用量的比较

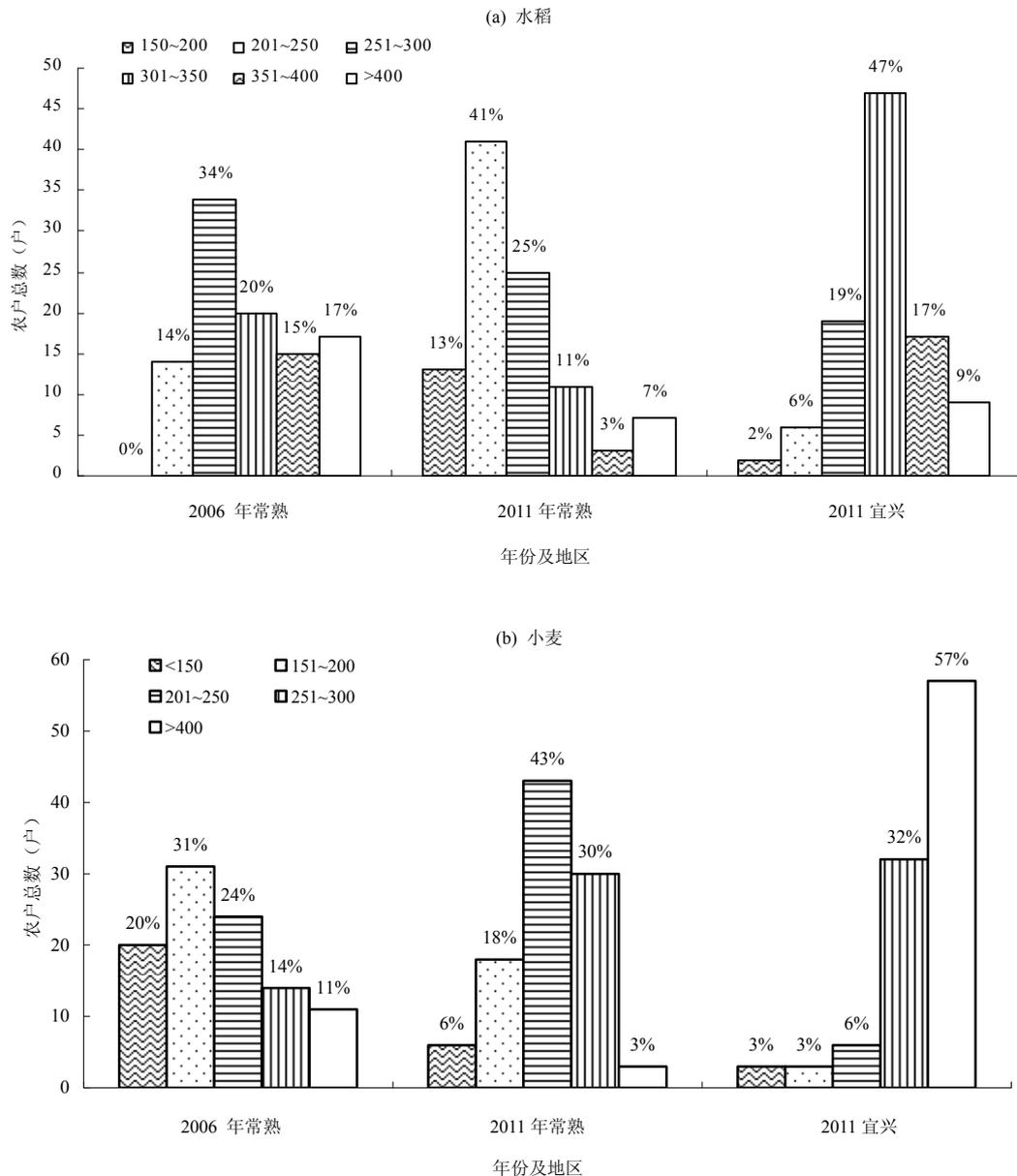
种植模式	规模 (hm <sup>2</sup> )	调查户数 (户)	施氮量 (N kg/hm <sup>2</sup> )					
			稻季			麦季		
			平均值	标准差	变异系数 (%)	平均值	标准差	变异系数 (%)
2006 年散户种植	≤0.66	77	331	93	28	215	76	35
2006 年规模种植	0.66 ~ 13.33	3	274	59	21	224	23	10
2011 年散户种植	≤0.66	16	326	124	38	221	68	31
2011 年规模化种植	0.66 ~ 20	64	252	43	17	237	37	16
2011 年专业合作社	20 ~ 133.3	5	231	32	14	211	60	29

注: 表中数据为相应调查户施氮量的算术平均值。

表 2 2006 年和 2011 年常熟和宜兴市稻麦季平均氮肥施用量 ( $\text{N kg/hm}^2$ )

调查地区	调查年份 (年)	调查户数 (户)	水稻			小麦		
			平均值	标准差	变异系数(%)	平均值	标准差	变异系数(%)
常熟市	2006	80	329	69	21	216	64	30
	2011	85	264	71	27	230	46	20
宜兴市	2011	121	326	57	17	300	66	22

注：两地稻麦季氮肥施用量为相应调查户施氮量的算术平均值。



(各施氮量区间单位为  $\text{N kg/hm}^2$ ; 图中柱上百分值为不同施氮量区间农户数占总调查户数的百分比)

图 1 2006 年和 2011 年常熟和宜兴市农户水稻和小麦季施氮量调查频度分析

$\text{N } 300 \text{ kg/hm}^2$  以上的农户也达 52%。到了 2011 年, 农户施氮量有所回落, 落在  $\text{N } 150 \sim 250 \text{ kg/hm}^2$  区间的占调查总户数的 54%, 而施氮量在  $\text{N } 250 \text{ kg/hm}^2$  以上的

农户数比例明显降低, 为 46%。该地区 5 年里麦季农户施氮量的变化不大, 仍主要在  $\text{N } 150 \sim 300 \text{ kg/hm}^2$  之间, 但分布越来越集中, 2006 年落在该区间的农户

数为 75%，到了 2011 年则为 91%。常熟市稻季施氮量从高氮量区间 ( $>250 \text{ kg/hm}^2$ ) 向低氮量区间 ( $\text{N } 150 \sim 250 \text{ kg/hm}^2$ ) 降落和麦季施氮量趋于集中的事实与该地区规模化种植的实施和不断扩大不无关系。

### 2.3 氮肥施用品种结构分析

我们还分析了常熟和宜兴两市尿素、碳酸氢铵、复混肥和有机肥等在稻麦农田施用中所占的比例 (表 3)。2006 年常熟市稻季氮肥施用以碳酸氢铵为主, 占 44.8%; 其次是尿素, 占 40.5%; 复混肥比例不高, 占 12.9%; 有机肥最低, 仅占 1.8%。至 2011 年, 氮肥品种主次发生了变化, 尿素施用比例上升至 64.2%, 占

主导地位, 复混肥施用比例明显上升, 升至第二位, 占 23.0%, 碳酸氢铵施用明显下降, 仅占 12.9%, 而有机肥已完全弃用。2006 年麦季与稻季氮肥施用品种的比例有所不同, 以尿素为主, 占 50.3%, 其次为碳酸氢铵, 占 27.3%, 复混肥占 19.5%, 有机肥占 2.9%。至 2011 年, 麦季碳酸氢铵施用比例明显下降, 只占 1.5%, 尿素上升为 69.9%, 复混肥施用量明显上升, 占 28.6% (表 3)。2011 年宜兴市稻麦季氮肥施用品种结构与同时期常熟市相似。也是以尿素为主, 稻麦季分别占 72.9% 和 74.6%; 其次为复混肥, 占 16.1% 和 24.0%; 碳酸氢铵只占 11% 和 1.2%; 而有机肥的比例则为 0% 和 0.2% (表 3)。

表 3 常熟和宜兴稻麦季氮肥施用品种结构分析

地点	作物	年份 (年)	调查农户数 (户)	各氮肥品种所占比例 (%)			
				碳酸氢铵	尿素	复混肥	有机肥
常熟	水稻	2006	80	44.8	40.5	12.9	1.8
		2011	84	12.9	64.2	23.0	0.0
	小麦	2006	80	27.3	50.3	19.5	2.9
		2011	85	1.5	69.9	28.6	0.0
宜兴	水稻	2011	121	11.0	72.9	16.1	0.0
	小麦	2011	121	1.2	74.6	24.0	0.2

注: 表中各氮肥品种所占的比例为调查各户所用各肥料品种氮量占相应总施氮量的百分比的平均值。2011 年常熟市有一户没有种植水稻, 因此稻季调查户数为 84 户。

从调查结果看出, 以往碳酸氢铵为主的氮肥施用格局已经改变成以尿素为主的氮肥施用模式。这主要与国家生产的氮肥品种结构变化有关, 因为尿素具有含氮量高、易贮存保管和施用方便等优势。另外由于复混肥同时含有氮磷钾等养分, 农户施用省时省工, 其施用量也呈明显的上升趋势, 已成为尿素之后的第二大化肥类型。与化学氮肥不同, 调查区有机肥施用所占比例已微乎其微, 低于 2.0%。这与目前人畜排泄物、绿肥、草塘泥等有机物料很少作为肥料回到农田的事实相吻合<sup>[12]</sup>。

### 3 结论与讨论

通过常熟市两个时间段和宜兴市目前的农户氮肥施用状况调查和分析, 我们认为太湖地区当前在肥料品种和施肥习惯方面有 3 个问题值得商榷:

(1) 常熟市由于农户规模化种植的扩大, 稻季施氮量有所下降, 但仍在  $\text{N } 264 \text{ kg/hm}^2$  的水平, 与朱兆良建议的太湖地区既能高产又能节省氮肥和减少环境

压力的水稻平均适宜施氮量 ( $\text{N } 199 \text{ kg/hm}^2$ ) 还有很大的减氮空间<sup>[13]</sup>。尽管不同地区、不同类型土壤上的基础肥力存在一定差异, 鉴于当前环境来源氮(灌溉水和大气沉降氮)对农田基础肥力的较大贡献<sup>[14]</sup>, 继续实践稻田氮肥的科学减量施用仍有重要意义。

(2) 调查表明, 有机肥(人畜禽排泄物, 绿肥和秸秆等)已基本不再施用。有机肥的弃之不用, 影响了农田氮素的平衡和循环, 不仅造成了资源浪费, 而且也成为当前太湖地区首要的水体氮污染源<sup>[5,15]</sup>, 对环境造成很大压力。

(3) 与 5 年前相比, 目前复混肥有效成份氮、磷、钾的比例有所提高, 国产和进口复混肥  $\text{N} : \text{P}_2\text{O} : \text{K}_2\text{O}$  的比例分别为 15 : 15 : 15 和 16 : 16 : 16。而 2006 年施用的复混肥该比例普遍为 8 : 8 : 9 或 10 : 8 : 7, 只有从俄罗斯进口的复混肥中氮、磷、钾比例可达到 16 : 16 : 16, 而且并不普遍施用。复混肥中有效成份的增加, 特别是 P 的增加, 存在资源浪费和潜在环境风险的问题。据调查, 当前太湖地区常熟和宜兴两市稻麦农田

一年投入的化学磷肥量均已达  $P_2O_5$  120 kg/hm<sup>2</sup>, 土壤速效磷和全磷含量也比上世纪 80 年代第二次土壤普查时明显增加<sup>[16]</sup>。磷肥是否年年施、季季施以及复混肥有效成分配比和施用等也是值得进一步深入研究的技术问题和政策问题。

为此, 我们提出以下几点对策:

(1) 从政策层面推荐氮肥施用量的“区域总量控制与田块微调相结合”的理念和方法。朱兆良<sup>[13,17]</sup>经过多年研究, 提出了“区域总量控制的平均适宜施氮”的概念。多年多点的实验证明, 在太湖地区, 水稻施氮量在 N 199 kg/hm<sup>2</sup> 的水平, 能得到 8 300 kg/hm<sup>2</sup> 的高产。比农民习惯施氮减少了近 N 100 kg/hm<sup>2</sup>, 却达到了“高产、节氮、环保”的目标。在区域平均适宜施氮量下, 个别田块上可能因施氮量不足而未能达到更高产量, 或因施氮量过多而引起损失量的增加。因此, 必要和可能时可以在区域平均适宜施氮量的基础上, 进行田块微调或优化, 例如进行土壤和/或植株的测试或参考田间管理等<sup>[13,17]</sup>。

(2) 常熟市规模种植的实践和过去散户种植以及目前宜兴市散户种植施氮状况的对比分析, 说明了规模化种植对于降低氮肥施用量有积极作用。建议加大政策层面推动、政府补贴的规模化种植力度。

(3) 继续推行畜禽规模化养殖和加大畜禽粪便等废弃物资源化处理的的同时, 加强农业生产废弃物管理和处理的法律法规建设, 加强有机肥回田利用和禁止人畜排泄物直接排入水体的宣传。

(4) 改变目前受复混肥支配的季季施和年年施磷的习惯模式, 调整肥料结构, 建立科学施磷制度。

#### 参考文献:

- [1] 国家统计局. 中国统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2008
- [2] FAO. Current world fertilizer trends and outlook to 2011/12. FAO report, Rome, 2008
- [3] Xing GX, Cao YC, Shi SL, Sun GQ, Du LJ, Zhu JG. Denitrification in underground saturated soil in a rice paddy region. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, 34: 1 593-1 598
- [4] Ju XT, Xing GX, Chen XP, Zhang SL, Zhang LJ, Liu XJ, Cui ZL, Yin B, Chrislie P, Zhu ZL, Zhang FS. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2009, 106(9): 3 041-3 046
- [5] 邢光熹. 遏制氮磷: 农村污染源是难点. *环境保护*, 2007, 14: 49-50
- [6] Zhu ZL, Wen QX, Freney JR. *Nitrogen in Soils of China*. Dordrechts, kluwer Academic Publishers, 1997
- [7] Xing GX, Zhu ZL. An assessment of N loss agricultural fields to the environment in China. *Nutrient Cycling Agroecosystems*, 2000, 57: 67-73
- [8] Zhu JG, Han Y, Liu G, Zhang YL, Shao YH. Nitrogen in percolation water in paddy soil fields with a rice/wheat rotation. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2000, 57: 75-82
- [9] Zhao X, Xie YX, Xiong ZQ, Yan XY, Xing GX, Zhu ZL. Nitrogen fates and environmental consequence in paddy soil under rice-wheat rotation in the Taihu Lake region, China. *Plant and Soil*, 2009, 319: 225-234
- [10] 常熟市统计局. 常熟统计年鉴. 常熟: 2010
- [11] 宜兴市统计局、国家统计局宜兴调查队. 宜兴统计年鉴. 宜兴: 2010
- [12] 朱兆良, 张福锁. 主要农田生态系统氮素行为与氮肥高效利用的基础研究. 北京: 科学出版社, 2010: 29-30
- [13] 朱兆良. 推荐氮肥适宜施用量的方法论刍议. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(1): 5-11
- [14] Xie YX, Xiong ZQ, Xing GX, Sun GQ, Zhu ZL. An assessment of nitrogen pollutant sources in surface water in Taihu region. *Pedosphere*, 2007, 17(2): 200-208
- [15] Xing GX, Cao YC, Shi SL, Sun GQ, Du LJ, Zhu JG. N Pollution Sources and denitrification in water bodies in Taihu Lake region. *Science in China Series B: Chemistry*, 2001, 44(3): 304-314
- [16] 王慎强, 赵旭, 邢光熹, 顾益初, 史陶钧, 杨林章. 太湖流域典型地区水稻土磷库现状及科学施磷初探. *土壤*, 2012, 44(1): 158-164
- [17] 朱兆良. 关于稻田土壤供氮量预测和平均适宜施氮量的应用. *土壤*, 1988, 20(2): 57-61