

李 妍, 席运官, 张纪兵, 等. 太湖流域水稻生产的氮、磷投入阈值[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(5): 1017-1023.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2015.05.012

太湖流域水稻生产的氮、磷投入阈值

李 妍, 席运官, 张纪兵, 张 弛, 田 伟, 王 磊, 田 然, 肖兴基
(环境保护部南京环境科学研究所, 江苏 南京 210042)

摘要: 为了探索太湖地区水稻生产中既保产量又使污染排放最小化的氮、磷投入阈值, 2011–2012 年在该区域开展了田间定位试验, 设置 6 个施氮处理和 4 个施磷处理, 研究氮磷施肥阈值与水稻产量、肥料表观利用率、污染排放风险的关系。结果表明, 太湖地区水稻田产量稳定并且面源污染小的氮、磷投入阈值分别为 185.18 kg/hm² 和 54.22 kg/hm², 在该阈值下水稻产量可保持 9 000~10 000 kg/hm², 比当地推荐氮、磷用量分别减少 18% 和 32%, 既减少了投入又降低了面源污染风险。

关键词: 太湖流域; 水稻; 氮磷阈值; 面源污染

中图分类号: X592 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2015)05-1017-07

The thresholds of nitrogen and phosphorus inputs for rice production in Lake Taihu area

LI Yan, XI Yun-guan, ZHANG Ji-bing, ZHANG Chi, TIAN Wei, WANG Lei, TIAN Ran, XIAO Xing-ji
(Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, Nanjing 210042, China)

Abstract: In order to minimize the nitrogen and phosphorus drainage in Lake Taihu area and keep the reasonable rice yield, fertilization experiments were carried out in Taihu rice/wheat rotation field from 2011 to 2012. Six nitrogen input treatments and four phosphorus input treatments were set to study the relationship between the thresholds of nitrogen and phosphorus inputs and rice yield, fertilizer utilization rate and pollution drainage. The results showed that the optimum nitrogen and phosphorus input levels were 185.18 kg/hm² and 54.22 kg/hm² respectively to achieve the least non-point source pollution and stable rice yield (9 000–10 000 kg/hm²). The nitrogen and phosphorus input levels were 18% and 32% less than local recommended fertilizer input amount, leading to the reduced investment and risk of non-point source pollution from agriculture in Lake Taihu area.

Key words: Lake Taihu; rice; nitrogen and phosphorus input threshold; non-point source pollution

农业面源污染氮、磷输出是导致太湖流域地表水富营养化的主要原因之一^[1-2]。太湖地区水稻生产氮肥投入高于 270 kg/hm² 的农户占 83.33%, 磷肥投入(P₂O₅)高于 90 kg/hm² 的农户占 23.34%^[3],

农民施肥仅凭经验, 存在很大的随意性。研究该地区主要农作物水稻生产中既确保产量又降低面源污染排放的氮、磷施肥阈值, 对指导生产者合理施肥、提高肥料利用率、控制农田面源污染具有积极意义。以产量为目标的水稻生产适宜施肥量研究报道有很多, 例如凌启鸿等^[4]研究了江苏地区水稻精确定量施氮技术, 认为在 100 kg 稻谷吸氮量 2.1 kg、目标产量 9 000~10 500 kg/hm²、氮素化肥当季利用率 40% 的情况下, 所需施氮量为 240.0~313.0 kg/hm²。本研究对不同氮、磷施肥水平下水稻产

收稿日期: 2015-03-05

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201003014-2)

作者简介: 李 妍(1983-), 女, 安徽滁州人, 博士, 助理研究员, 研究方向为农业生态环境。(Tel)025-85287284; (E-mail)lyofrec@126.com

通讯作者: 席运官, (E-mail)xygofrec@126.com

量、肥料表观利用率、田面水氮、磷浓度和收获时土壤氮、磷残留等因素进行监测计算,利用产量效应图与氮、磷流失量图叠加分析的方法推导水稻生产中既能稳产又可减少污染排放的氮、磷投入阈值,为太湖地区水稻生产合理施肥提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验点设于常州市武进区雪堰镇万寿村,地邻

太湖湖区。地块中心坐标为经度 $120^{\circ}05'05''$, 纬度 $31^{\circ}29'24''$, 海拔 12.6 m, 地形、地貌类型为丘陵谷地, 土地平整。选取一长期进行稻麦轮作的农田为试验田。试验土壤为黄泥土, 偏酸性, 耕作层厚 14 cm, 犁底层厚 14~25 cm, 土壤颗粒较细。土壤理化状况(表 1)表明该地块土壤肥力中等, 对照中国土壤质地分类标准并结合土壤剖面观察结果, 推断该地块土壤为壤土。

表 1 试验点土壤的理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of tested soil

土层深度 (cm)	全氮 (g/kg)	有机质 (g/kg)	全磷 (g/kg)	碱解氮 (kg/hm ²)	有效磷 (kg/hm ²)	速效钾 (kg/hm ²)	pH 值
0~20	1.71	31.0	1.17	164.0	11.5	76	5.13
20~40	0.59	9.3	0.96	50.4	11.6	72	6.97

全磷以 P_2O_5 含量计, pH 值测定的水土比为 1.0 : 2.5。

1.2 试验处理设置

氮阈值试验设置 6 个处理, 磷阈值试验设置 4 个处理, 每个处理设 3 组重复。以文献报道和实地调查的太湖流域水稻生产中推荐施肥量作为 100% 氮、磷处理^[5-6], 即氮肥施用量 225 kg/hm^2 , 磷肥施用量 80 kg/hm^2 ; 其他处理组施氮量为 0~200% (同时投入 100% 磷); 施磷量为 0~400% (同时投入 100% 氮)。

小区长 6.00 m, 宽 3.33 m。氮肥为尿素(氮含量 46.4%), 磷肥为过磷酸钙(P_2O_5 含量 12%), 钾肥为硫酸钾(K_2O 含量 52%), 全部撒施。

试验于 2011~2012 年进行, 每年水稻的移栽时间是 6 月中旬, 收获时间为 11 月初。移栽前 1 d 施用基肥, 8 月中上旬施用追肥, 2 次施肥量详见表 2 和表 3。常规田间管理, 平均 5 d 天灌溉 1 次。

表 2 稻季 6 个氮肥处理设置及施肥方案

Table 2 Six nitrogen application schemes in the rice season

施肥处理	处理代号	小区基肥量 (kg)	小区追肥量 (kg)	总投入(折纯氮) (kg/hm ²)
对照	N0	0	0	0
75% 氮肥	N1	0.364	0.364	169
100% 氮肥	N2	0.485	0.485	225
125% 氮肥	N3	0.605	0.605	281
150% 氮肥	N4	0.728	0.728	338
200% 氮肥	N5	0.970	0.970	450

表 3 稻季 4 个磷肥处理设置及施肥方案

Table 3 Four phosphorus application schemes in the rice season

施肥处理	处理代号	小区基肥 (kg)	总投入(折纯 P_2O_5) (kg/hm ²)
对照	P0	0	0
100% 磷肥	P1	1.333	80
200% 磷肥	P2	2.667	160
400% 磷肥	P3	5.333	320

1.3 样品采集与分析

1.3.1 样品采集 基础土壤样品: 试验开始前, 分别采集 0~20 cm 和 20~40 cm 土壤样品, 用于土壤理化性质测定。作物收获后土壤样品: 2012 年稻季作物收获后使用土钻采集深度为 0~20 cm 混合土样, 每个样本重量约 1 kg, 鲜土样采集后及时分析。水稻植株样品: 分别采集经济产量部分(稻谷)和废弃物部分(秸秆)样品, 用于测定氮、磷含量。田面

水样:在水稻生长期,在每次施肥后 1 d、3 d、5 d、7 d、9 d 采集田面水样,采样时间均为上午 8:00~10:00。

1.3.2 测定方法 土壤全氮含量测定采用土壤全氮测定法(半微量凯氏法)^[7]。水样总氮、硝态氮、铵态氮含量采用流动分析仪测定;水溶性全磷、磷酸根含量采用过硫酸钾氧化-钼蓝比色法测定^[8]。植物样总氮含量测定采用元素分析仪(Elementar II,德国)测定,总磷含量用硫酸钾氧化-钼蓝比色法测定^[8]。

2 结果

2.1 不同氮、磷施用水平下水稻产量比较

比较不同氮肥处理下的水稻产量(图 1),发现增加氮肥的施入量能够显著提高水稻产量(增产幅度约为 50%),但是产量增长率随氮投入水平的提

高而逐步下降,甚至出现负增长趋势。2011 和 2012 年 2 年试验中,100% 氮肥处理的水稻经济产量均最优,基本达到 9~10 t/hm²,比较 75% 氮肥处理约增产 200~400 kg/hm²(增加幅度为 1.98%~4.56%),表明 100% 氮肥处理的施肥量可视为水稻产量稳定的最低施肥量,若减少至 75% 施氮量,则有减产风险。2011 年 200% 氮肥处理的经济产量最高,为 9.4 kg/hm²,但是与 100% 氮肥处理之间并未有显著差异。

对秸秆/稻谷的产量比值进行分析,结果显示,随着施氮量的增加,稻谷/秸秆的产量比值呈下降趋势,2011 年和 2012 年施氮量与谷草比值的正相关系数分别为 0.869 和 0.955,即氮肥的过量投入,对水稻秸秆的增产效果更加明显,但对稻谷的增产效果则较弱。

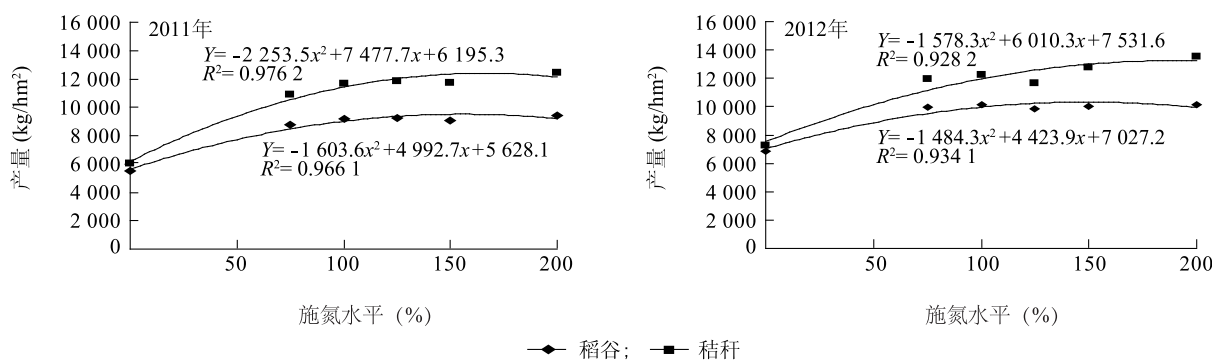


图1 水稻产量与不同氮肥处理间的关系

Fig. 1 Relationship between nitrogen treatments and rice yield

不同磷肥处理下水稻产量见图 2,结果表明投入磷肥对水稻经济产量的增产幅度仅为 12.26%~13.54%,远低于施氮效果。不同磷肥处理组间比较

结果显示,增加磷肥投入反而降低水稻产量,100% 磷肥处理的经济产量保持最高。

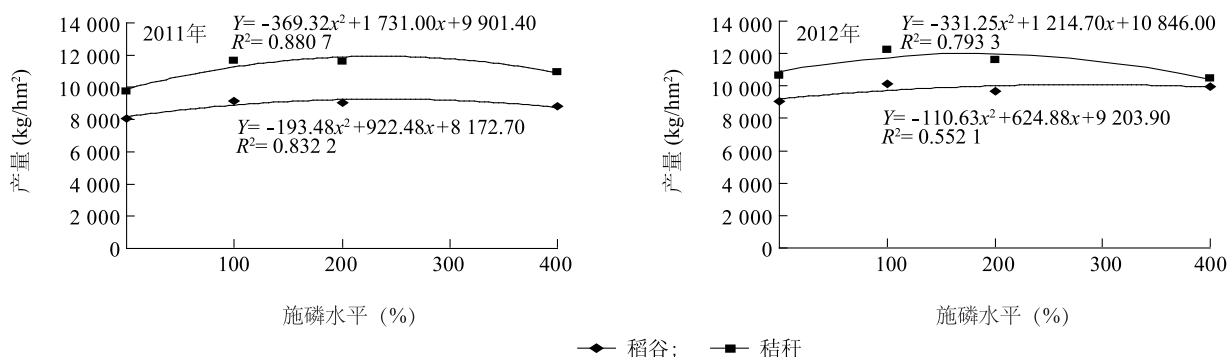


图2 水稻产量与不同磷肥处理间关系

Fig. 2 Relationship between phosphorus treatments and rice yield

2.2 不同氮、磷施用水平下水稻养分利用率

植株氮吸收量与施氮量呈明显正相关,2011、2012 年相关系数分别为 0.974 和 0.978。2011 年和 2012 年的结果均表明,100% 氮肥处理的氮肥表观利用率最高,75% 氮肥处理次之(表 4);而磷肥表观利用效率随着施入量的增加呈逐步递减的趋势(表 5)。

从表 4 可见,随着施氮量的增加,秸秆氮含量增加幅度明显高于稻谷部分。仅对稻谷部分的氮吸收量进行氮肥表观利用率统计,发现 75% 氮肥处理的氮肥表观利用率最高,2011 和 2012 年分别达到

17.62% 和 17.80%;100% 氮肥处理次之,2011 和 2012 年氮肥表观利用率分别为 16.68% 和 16.59%。由此可见,太湖流域水稻施氮量在 169 kg/hm² 左右时能够保证较高的稻谷氮肥表观利用率。

磷肥阈值试验结果显示,水稻磷吸收量随施磷量的增加也呈增加趋势,2 年相关系数分别为 0.506 和 0.862。磷肥表观利用率随肥料施入量的增加逐步递减,且 100% 磷肥处理的磷肥表观利用率也仅为 23.34%~24.46%(表 5)。这说明太湖流域土壤磷储存丰富,施磷量还可低于试验设置的 100% 磷肥用量。

表 4 水稻氮含量、氮吸收量及氮肥表观利用率

Table 4 Nitrogen content, nitrogen uptake and nitrogen apparent use efficiency of rice

年份	处理	稻谷氮含量 (%)	稻谷氮吸收量 (kg/hm ²)	秸秆氮含量 (%)	秸秆氮吸收量 (kg/hm ²)	植株氮吸收量 (kg/hm ²)	氮肥投入 (kg/hm ²)	氮肥利用率 (%)
2011	N0	1.049	51.620	0.601	25.271	76.890	0	—
	N1	1.238	81.399	0.922	56.480	137.878	169	36.09
	N2	1.288	89.140	1.118	68.869	158.009	225	36.05
	N3	1.371	95.285	1.197	71.164	166.449	281	31.87
	N4	1.346	92.558	1.149	69.934	162.492	338	25.33
	N5	1.700	107.820	1.544	88.188	196.008	450	26.47
2012	N0	1.136	61.907	0.589	23.842	85.749	0	—
	N1	1.232	91.990	0.829	55.718	147.710	169	36.66
	N2	1.295	99.235	1.147	73.967	173.200	225	38.87
	N3	1.359	100.060	1.208	70.574	170.638	281	30.21
	N4	1.423	108.432	1.099	72.813	181.245	338	28.25
	N5	1.570	104.988	1.715	82.256	187.244	450	22.55

N0~N5 处理见表 2。

表 5 水稻磷含量、磷吸收量及磷肥表观利用率

Table 5 Phosphorus content, phosphorus uptake and phosphorus apparent use efficiency of rice

年份	处理	稻谷磷含量 (%)	稻谷磷吸收量 (kg/hm ²)	秸秆磷含量 (%)	秸秆磷吸收量 (kg/hm ²)	植株磷吸收量 (kg/hm ²)	磷肥投入 (kg/hm ²)	磷肥利用率 (%)
2011	P0	0.337	27.207	0.155	15.113	42.320	0	—
	P1	0.288	26.400	0.211	24.617	51.017	35.56	24.46
	P2	0.355	32.110	0.200	23.167	55.276	71.11	18.23
	P3	0.355	31.240	0.171	18.753	49.993	142.22	5.40
2012	P0	0.273	24.680	0.129	13.750	38.430	0	—
	P1	0.197	24.000	0.186	22.730	46.730	35.56	23.34
	P2	0.251	24.310	0.213	24.670	48.980	71.11	14.84
	P3	0.290	28.960	0.188	19.680	48.640	142.22	7.18

P0~P3 处理见表 3。

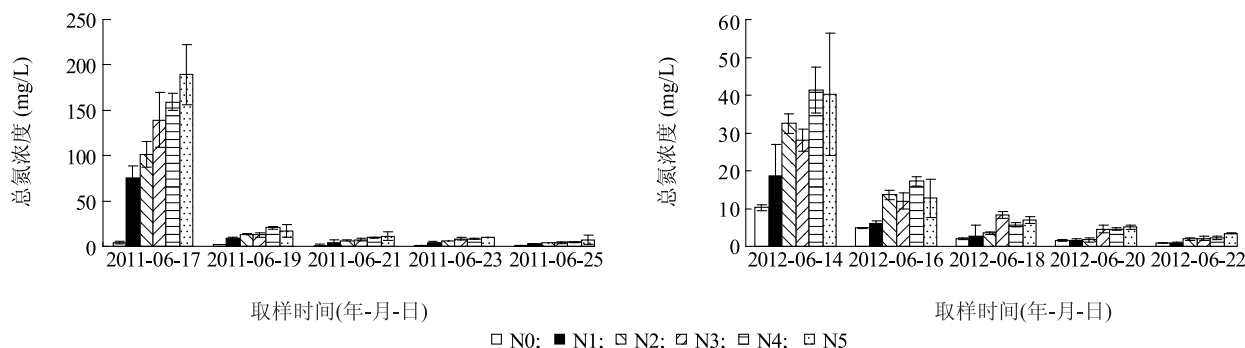
2.3 不同氮施用水平下稻田田面水中氮含量动态变化特征

不同氮肥施用水平下田面水中氮含量测定结果

(图 3)显示,在整个监测期内各氮肥处理的田面水氮浓度始终与氮肥施入量保持正相关性。在施肥初期,N0~N5 各个处理的田面水氮浓度差异最明显,

施氮处理田面水总氮含量是对照的 2~20 倍不等,即施肥量越大,稻田氮排放风险越大。施肥后 3 d 稻田田面水氮浓度急剧下降,至第 5 d 浓度下降至

初期的 20% 以下,且持续下降并保持较低浓度(所有处理氮浓度基本低于 10 mg/L)。



N0~N5 处理见表 2。

图 3 稻田施氮肥后田面水总氮浓度动态变化

Fig. 3 Dynamic change of total nitrogen concentration in the surface water of rice field fertilized with nitrogen

2.4 不同磷肥施用水平下稻田田面水中磷含量动态变化特征

不同磷肥施用水平下稻田田面水中磷浓度与磷肥施入量间也存在明显正相关(图 4)。2011 与 2012 年试验结果显示,100% 磷肥处理与对照相比,施肥后 9 d 内田面水磷浓度相差 1~3 倍,但除施肥后第 1 d 外,磷浓度差异不显著。而整个观测期内

(施肥后 1~9 d),200% 磷肥处理和 400% 磷肥处理的田面水磷浓度均显著高于对照,观测前期差异高达数十倍,有巨大的环境排放风险。施肥后 1~3 d 稻田田面水磷浓度急剧下降,至第 5 d 浓度下降至初期的 10% 以下,且持续下降并保持较低浓度(所有处理组磷浓度低于 0.05 mg/L)。

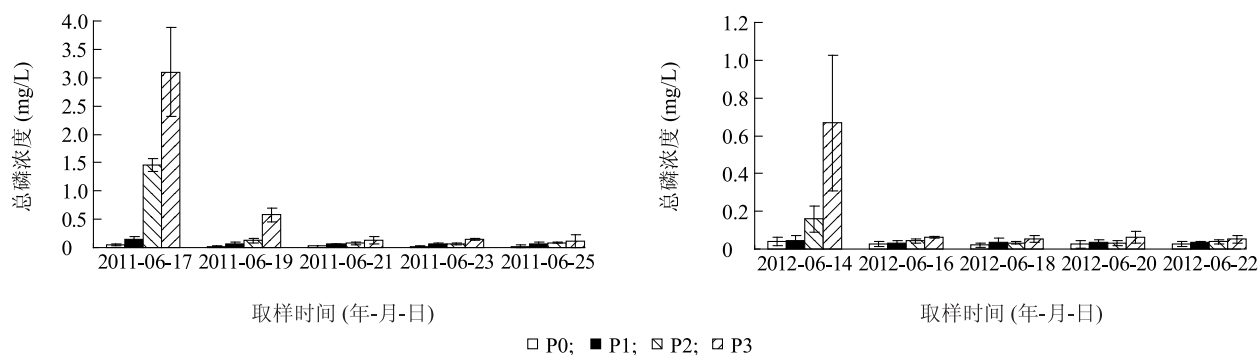


图 4 稻田施磷肥后田面水中总磷浓度动态变化

Fig. 4 Dynamic change of total phosphorus concentration in the surface water of phosphorus-fertilized rice field

2.5 水稻收获后土壤氮、磷养分残留量

2012 年水稻收获后,分析土壤养分含量,结果(表 6)显示土壤氮、磷残留量随施肥量的增加呈增加趋势,但不同施肥量处理间差异不显著。土壤可溶性总氮含量为 4.97~7.12 mg/kg,100% 氮肥处理的土壤可溶性总氮含量(5.46

mg/hm²) 在施肥处理中处于较低水平,硝态氮和铵态氮的测定结果也有相似规律。施磷肥处理土壤磷含量测定结果表明,100% 磷肥处理对土壤磷含量的影响不显著,但进一步增加磷肥投入后,土壤磷含量显著增加,导致土壤磷的过量富集。

表 6 2012 年水稻收获后不同施肥处理间土壤氮、磷含量差异

Table 6 Difference in soil nitrogen and phosphorus contents between fertilization treatments after rice harvest in 2012

处理	硝态氮 (mg/kg)	铵态氮 (mg/kg)	全氮 (g/kg)	处理	可溶性总磷 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)
N0	0.97	15.50	1.60	P0	457.00	11.10
N1	1.68	17.08	1.77	P1	468.00	13.10
N2	3.23	10.24	1.78	P2	551.00	23.50
N3	4.11	15.69	1.80	P3	550.00	25.30
N4	2.93	10.74	1.71			
N5	4.81	13.71	1.70			

N0 ~ N5 处理见表 2, P0 ~ P3 处理见表 3。

2.6 水稻高产且环境低排的氮、磷肥投入阈值

以肥料效应为基础,将水稻产量、环境排放作为确定氮肥投入阈值的约束条件,形成作物-环境-肥料系统,将肥料的产量效应曲线和环境流失风险曲线进行叠加分析,得到水稻高产与环境低排双赢的氮肥投入阈值(图 5)。该双曲线图的产量最高值对应施氮水平为 124.6% 氮(即 280.35 kg/hm²),而产量非显著下降(减产幅度 ≤ 5%)的施肥临界点为 82.3% 氮(即 185.18 kg/hm²),故稳产的施氮量范围是 185.18 ~ 280.35 kg/hm²,其中稳产减排推荐最小施氮量为 185.18 kg/hm²。

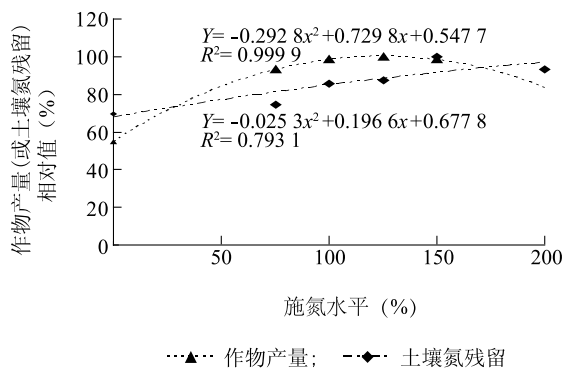


图 5 施氮量与水稻产量、土壤无机氮含量的关系

Fig. 5 Tradeoff relationship between nitrogen application rate and rice yield and soil nitrogen content

太湖流域土壤磷素富集较多,施磷水平对土壤磷含量的影响较小,因此磷阈值计算选用田面水磷含量作为环境参数。从图 6 中可以看出,随着磷肥投入量的增加,环境排放量也迅速上升,当施磷水平为 238.39% (即 P₂O₅ 190.71 kg/hm²) 时,水稻产量最高,而产量非显著下降(减产幅度 ≤ 5%)的施肥

临界点为 67.77% (即 P₂O₅ 54.22 kg/hm²),故稳产的施磷范围是 54.22 ~ 190.71 kg/hm²,其中稳产减排推荐最小施磷量为 54.22 kg/hm²。

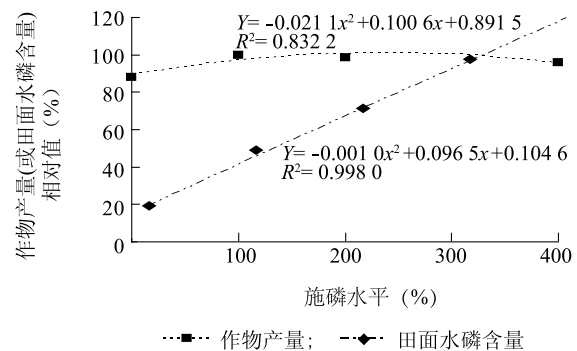


图 6 施磷量与水稻产量、田面水水溶性磷含量的关系

Fig. 6 Tradeoff relationship between phosphorus application rate and rice yield, dissolved phosphorus concentration in the surface water of rice field

3 讨论

本试验结果显示,太湖流域水稻稳产减排的氮肥投入量即阈值为 185.18 kg/hm²,水稻产量可保持高达 9 000.00 ~ 10 000.00 kg/hm²。这与当地目前常规推荐施氮量(225.00 kg/hm²)相比减少近 1/5 的氮投入。氮肥的过量投入,对水稻秸秆的增产效果更加明显,但对稻谷的增产效果则较弱。丁得亮等^[9]的试验结果也显示,过量施入氮肥会导致水稻的谷草比值下降。尽管不同地区、不同类型土壤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^[10],继续实践稻田氮肥的科学减量施用仍有重要意义。

本研究结果显示,太湖流域水稻高产减排的磷

阈值为 54.22 kg/hm^2 。水稻植株的磷含量随施肥量的增加而呈现整体增加的趋势,过量施用磷肥不仅不能增加稻谷产量,反而致其下降,这与王健明等^[11]和秦伟等^[12]的研究结果相似。这说明土壤存储的磷养分能够在一定程度上满足水稻生长所需。

施肥后 3~5 d 内为水田氮、磷污染高风险期,此时田面水总氮含量可达到 $20 \sim 100 \text{ mg/L}$,若遇一定强度降雨形成径流,必然引起氮素径流排放,对自然水体造成污染。田面水总磷与总氮相似,施肥初期浓度也较高。因此,稻田氮磷流失风险取决于施肥量和施肥时间,较低的施肥量能够有效减少氮磷排放污染,优化施肥时机同样是增加肥料利用率、降低面源污染的重要因素,避免在强降雨前 3~5 d 施肥和施肥后 3~5 d 灌溉能够直接减小稻田面源污染排放的风险,对太湖流域水环境保护具有重要意义。

试验中 100% 氮肥处理施肥量和 100% 磷肥处理施肥量可相对有效地控制土壤氮磷富集和流失风险。张焕朝等^[13]对太湖地区水稻土磷素地表径流流失及其与土壤有效磷的关系进行研究,发现当地土壤磷素径流流失的突变点为土壤有效磷含量达到 $26 \sim 30 \text{ mg/kg}$,在此土壤含磷量基础上加施磷肥对土壤磷素径流流失有显著影响。本试验田间土壤有效磷含量已接近张焕朝等^[13]试验中的土壤磷含量临界值,因此太湖流域稻麦轮作农田是否有必要磷肥年年施、季季施以及复混肥有效成分配比等也是值得进一步深入研究的技术问题。

太湖流域肥料田间试验及调查研究众多,普遍认为太湖流域高产水稻的氮肥推荐用量为 $219.00 \sim 270.00 \text{ kg/hm}^2$ ^[3,6,14-15]。基于对产量非显著性影响的施氮范围和环境排放规律综合计算,本研究推荐的氮肥用量降低至 185.18 kg/hm^2 ,以减少氮素环境排放风险。

朱兆良^[16]经过多年研究,提出在太湖地区,水稻施氮量在 199.00 kg/hm^2 的水平下,能得到 8300 kg/hm^2 的高产,比农民习惯施氮量减少了近 100 kg/hm^2 ,却达到了“高产、节氮、环保”的目标。郭汝礼等^[17]也指出太湖流域黄泥土水稻氮肥最低施入量为 161.00 kg/hm^2 ,可保证产量达 $7285 \sim 8172 \text{ kg/hm}^2$ 。这些与本试验提出的 185.18 kg/hm^2 稳产减排施氮量基本吻合。

秦伟等^[12]指出,从环境保护的角度出发,太湖

水稻田施磷量应该控制在 90.00 kg/hm^2 以下。王健明等^[11]的 2007–2009 年太湖流域水稻田田间试验结果显示,太湖流域高产水稻的磷肥推荐用量为 $30.00 \sim 60.00 \text{ kg/hm}^2$ 。这些与本研究推荐的稳产减排最小施磷量 54.22 kg/hm^2 基本吻合。

参考文献:

- [1] 杨林章,王德建,夏立忠. 太湖地区农业面源污染特征及控制途径[J]. 中国水利,2004(20):29-30.
- [2] 王慎强,赵旭,邢光熹,等. 太湖流域典型地区水稻土磷库现状 & 科学施磷初探[J]. 土壤,2012,44(1):158-162.
- [3] 王海,席运官,陈瑞冰,等. 太湖地区肥料、农药过量施用调查研究[J]. 农业环境与发展,2009(3):10-15.
- [4] 凌启鸿,张洪程,戴其根,等. 水稻精确定量施氮研究[J]. 中国农业科学,2005,38(12):2457-2467.
- [5] 王德建,林静慧,孙瑞娟,等. 太湖地区稻麦高产的氮肥适宜用量及其对地下水的影响[J]. 土壤学报,2003,40(13):426-432.
- [6] 李荣刚,崔玉亭,程序. 苏南太湖地区水稻氮肥施用与环境可持续发展[J]. 耕作与栽培,1999(4):49-51.
- [7] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000.
- [8] VAN VELDHOFEN P P, MANNAERTS G P. Inorganic and organic phosphate measurements in the nanomolar range[J]. Analytical Biochemistry, 1987,161:45-48.
- [9] 丁得亮,张欣,崔晶,等. 氮、磷、钾肥不同施用量对水稻产量和品质性状的影响[J]. 河北农业科学,2009,13(12):22-24.
- [10] XIE Y X, XIONG Z Q, XING G X, et al. An assessment of nitrogen pollutant sources in surface water in Taihu region[J]. Pedosphere, 2007, 17(2):200-208.
- [11] 王健明,何晓艳,毛华方. 太湖流域高产水稻氮磷钾肥用量的推荐[J]. 江苏农业科学,2011,39(2):122-124.
- [12] 秦伟,陆欢欢,王芳,等. 太湖流域典型农田系统土壤中磷的流失[J]. 江苏农业科学,2012,40(6):321-323.
- [13] 张焕朝,张红爱,曹志洪. 太湖地区水稻土磷素径流流失及其 Olsen 磷的“突变点”[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2004,28(5):6-10.
- [14] 周杨,司友斌,赵旭,等. 太湖流域稻麦轮作农田氮肥施用状况、问题和对策[J]. 土壤,2012,44(3):510-514.
- [15] 黄进宝,范晓晖,张绍林,等. 太湖地区黄泥土水稻氮素利用与经济生态适宜施氮量[J]. 生态学报,2007,27(2):588-595.
- [16] 朱兆良. 推荐氮肥适宜施用量的方法论刍议[J]. 植物营养与肥料学报,2006,12(1):5-11.
- [17] 郭汝礼,杨林章,沈明星,等. 太湖地区黄泥土水稻适宜施氮量研究[J]. 土壤,2006,38(4):379-383.

(责任编辑:张震林)