

艾玉春, 董月, 汪吉东, 等. 水稻产量主要养分限制因子及养分运筹应对技术研究[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(3): 558-563.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2015.03.015

水稻产量主要养分限制因子及养分运筹应对技术研究

艾玉春^{1,2}, 董月^{1,2}, 汪吉东^{1,2}, 张永春^{1,2}

(1. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏 南京 210014; 2. 农业部江苏耕地保育科学观测实验站, 江苏 南京 210014)

摘要: 为系统研究不同地力稻田养分的合理投入问题, 确定不同地力稻田养分投入的主要限制因子, 在江苏省丹阳市及姜堰市选取高、低产田, 设计 8 个不同施肥处理研究养分投入最佳方式; 在江苏省金坛市选取水稻基础产量差异较大的 2 个地块设计 8 个不同氮肥运筹处理。结果显示, 施用氮、磷、钾及锌肥都能提高水稻产量, 产量平均增幅分别为 33.1%、6.1%、6.6% 和 2.4%, 氮素供应能力是土壤生产力的决定性因子, 且低肥力土壤水稻对施氮的响应更强。适当将氮肥施用期后移可获得较高的水稻籽粒产量和生物量, 较为合理的穗肥与粒肥比例为 3:7。

关键词: 水稻; 养分; 运筹

中图分类号: S511.06

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2015)03-0558-06

The nutrient limiting rice production and its input models

AI Yu-chun^{1,2}, DONG Yue^{1,2}, WANG Ji-dong^{1,2}, ZHANG Yong-chun^{1,2}

(1. Institute of Agricultural Resource and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2. Scientific Observation and Experimental Station of Farmland Conservation and Cultivation in Jiangsu, Ministry of Agriculture, Nanjing 210014, China)

Abstract: To develop a reasonable nutrient input model for paddy fields, 8 treatments of fertilization were conducted on high/low-yielding fields in rice-growing areas of Danyang city and Jiangyan city in central Jiangsu province to optimum the nutrient inputs of rice fields, and another 8 treatments were conducted on 2 fields different in yield in Jintan city to study the nitrogen (N) application modes. Results showed that application of N, P, K, Zn could promote the production of rice, and the rice yield were increased by 33.1%, 6.1%, 6.6% and 2.4%, respectively. N supply capacity was the dominant factor for rice production, and low-yielding fields were more sensitive to N. An appropriate increase of N application rate at later stage (earring fertilization: granular fertilization = 3:7) could raise the rice production and biomass.

Key words: rice; nutrient; application mode

收稿日期: 2015-02-03

基金项目: 公益性行业科研专项(201203030); 国际合作项目(IPNI-Jiangsu-12); 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX12(3037)]

作者简介: 艾玉春(1969-), 男, 江苏姜堰人, 硕士, 副研究员, 主要从事土壤肥料相关领域研究。(Tel) 025-84390118; (E-mail) yuchunai@126.com

通讯作者: 张永春, (Tel) 025-84390242; (E-mail) yczhang66@sina.com

江苏省是中国重要的水稻生产大省。在水稻高产研究方面, 中国的水稻栽培理论与技术研究居世界领先水平^[1-3]。在主攻单产的同时, 兼顾优质、高效、生态和稻米安全的栽培理论与技术越来越受到重视。通过增施有机肥, 以及采用根据倒三叶叶色差进行施肥的叶色诊断施肥技术和区域化精确定量施肥技术, 取得了显著的增产效果^[4-5]。但由于各地环境气候条件、栽培方式、耕作制度等的差异, 相关

栽培技术措施具有很大的局限性。生产中高产与优质、高产与资源高效、高产与生态安全仍然是水稻生产中十分突出的问题^[6]。

丹阳市、金坛市及姜堰市是江苏省重要的水稻生产基地,其中丹阳市和姜堰市区划属苏中地区^[7]。丹阳市、金坛市及姜堰市由于区位接近,气候相似,经济水平相近,水稻种植管理水平相当,因此在本研究中作为泛苏中水稻种植区。目前该区稻田肥料施用方式是无机化、高量施肥,水稻的平均氮肥用量已达 300 kg/hm²,有的农田甚至高达 350 kg/hm²,肥料的增产作用逐渐降低,对环境的污染却不断加重^[8-10]。本试验系统研究不同地力稻田养分的合理投入问题,确定不同地力稻田影响养分投入效率的主要限制因子,并开展相应的养分运筹研究,以期为该水稻种植区养分的合理及高效投入提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

根据 2008~2009 年测土配方施肥调查结果,以基础产量为依据,结合当地土壤条件和平均产量,确定基础地力条件下产量高于 6 000 kg/hm²的田块为高产田,产量低于 6 000 kg/hm²的田块为低产田。2011 年在确定的丹阳市和姜堰市高、低产田块上开展水稻养分最佳投入方式试验,在金坛市开展氮肥运筹试验。各试点土壤基本理化性状见表 1。

养分最佳投入方式试验(OPT):在丹阳和姜堰高、低产田块中各布置 1 个试验,共 4 个。处理设计

为:(1)CK(不施肥);(2)NPKZn(施 N 240 kg/hm²、P₂O₅ 90 kg/hm²、K₂O 150 kg/hm²、ZnSO₄·7H₂O 15 kg/hm²);(3)OPT-N(不施氮处理,其他养分施用量同处理 2);(4)OPT-P(不施磷处理,其他养分施用量同处理 2);(5)OPT-K(不施钾处理,其他养分施用量同处理 2);(6)OPT-Zn(不施锌处理,其他养分施用量同处理 2);(7)FFP(农民习惯);(8)OCC(有机无机配合施用处理,以氮为衡量指标,30% 有机肥+70% 化肥,有机肥施用腐熟猪粪)。氮肥施用均采用 4:3:2:1(基肥:分蘖肥:穗肥:粒肥)方式,钾肥施用方式为基肥与穗肥各 50%,其他肥料均作基肥一次施用。每个试验小区面积为 20 m²,每个处理重复 3 次。

氮肥运筹试验在金坛市水稻基础产量差异较大的 2 地块进行。处理设计为:(1)CK(不施肥);(2)10:0:0:0(基肥:分蘖肥:穗肥:粒肥);(3)4:3:2:1(基肥:分蘖肥:穗肥:粒肥);(4)4:2:2:2(基肥:分蘖肥:穗肥:粒肥);(5)3:2:3:2(基肥:分蘖肥:穗肥:粒肥);(6)2:2:4:2(基肥:分蘖肥:穗肥:粒肥);(7)1:2:5:2(基肥:分蘖肥:穗肥:粒肥);(8)4:2:2:2(基肥:分蘖肥:穗肥:粒肥)。处理 2~7 中 K 肥基肥与穗肥各 50%,处理 8 中钾肥 100% 作基肥。整个生育期施 N 240 kg/hm²、P₂O₅ 90 kg/hm²、K₂O 150 kg/hm²、ZnSO₄·7H₂O 15 kg/hm²;磷肥和锌肥全部一次性作基肥。每个试验小区面积为 20 m²,每个处理重复 3 次。

表 1 各试验点土壤基本理化性状

Table 1 Soil basic properties at each plot

试点	pH	有机质(g/kg)	速效氮(mg/kg)	速效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)
丹阳高产田	6.3	18.9	88.3	17.6	92.1
丹阳低产田	6.1	17.7	79.9	15.3	94.3
姜堰高产田	7.7	16.7	112.4	20.4	87.4
姜堰低产田	7.4	16.8	105.1	17.9	83.9
金坛高产田	6.0	20.5	89.7	14.6	100.8
金坛低产田	6.3	19.6	93.2	14.9	96.2

1.2 取样及分析

各试点植株样品于 2011 年 10 月 18 日~10 月 25 日采集,每个处理随机取 20 穴混匀后带回考种。植株样品于 60 ℃烘干后磨细,留存分析全氮、全磷、

全钾含量。

植株样品采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮法消解后进行养分含量测定,全氮、全磷、全钾分别采用凯氏定氮法、钼锑抗比色法、火焰光度计法测定。

1.3 测定指标及方法

通过以下公式计算氮肥利用率、利用效率等参数,氮收获指数(氮转移效率)=籽粒氮积累总量/植株氮积累总量 $\times 100\%$;氮生理效率(氮利用效率或氮效率比)=生物量(kg)/植物吸氮量(kg);氮肥效率(氮肥偏生产力或氮肥生产效率)=经济产量(kg)/施氮量(kg);氮肥利用率=(施氮处理作物吸氮量-不施氮处理作物吸氮量)/施氮量 $\times 100\%$ 。

2 结果

2.1 不同地力条件和不同施肥方式下的水稻产量

养分最佳投入方式试验(OPT)结果(表2)显示,4个试验点中,各处理都以NPKZn处理产量最高,缺Zn处理产量次之,缺氮处理水稻减产最多。与NPKZn处理相比,丹阳高、低肥力土壤缺氮处理

产量分别减产24.2%、29.7%,姜堰高、低肥力试验点缺氮处理产量分别降低36.8%、41.8%。丹阳和姜堰两地都以低肥力试验点不施氮处理的产量降幅大于高肥力试验点,表明低肥力土壤对氮的敏感性更强。不施磷肥、钾肥下各试验点水稻当季产量降幅分别为2.0%~12.5%、2.6%~13.5%。丹阳2个试验点不施磷、钾的水稻产量降幅均高于姜堰试点,这与丹阳地区土壤有效磷、速效钾含量低于姜堰有关。各试验点不施Zn下水稻产量降幅为1.1%~3.8%,也表现为丹阳试点的水稻产量低于姜堰试验点。各试验点中有机无机肥料配合处理水稻产量比NPKZn处理产量略低,降幅为2.6%~3.6%。而农民习惯施肥处理水稻产量降幅为3.8%~6.6%。

表2 丹阳和姜堰试验点水稻养分最佳投入方式试验(OPT)的水稻产量

Table 2 Rice production of OPT experiments in Danyang and Jiangyan

处 理	丹 阳				姜 堰			
	高肥力试验点		低肥力试验点		高肥力试验点		低肥力试验点	
	籽粒 (kg/hm ²)	茎秆 (kg/hm ²)	籽粒 (kg/hm ²)	茎秆 (kg/hm ²)	籽粒 (kg/hm ²)	茎秆 (kg/hm ²)	籽粒 (kg/hm ²)	茎秆 (kg/hm ²)
不施肥	7 101.0e	7 882.5b	6 091.5d	6 282.0b	6 064.5d	6 622.5e	5 824.5c	5 875.5c
NPKZn	10 246.5a	10 504.5a	8 901.8a	9 066.0a	9 183.0a	10 303.5a	9 016.5a	9 784.5a
不施氮	7 770.0d	8 680.5b	6 258.0d	7 182.0b	5 802.0e	5 739.0f	5 250.0d	5 383.5d
不施磷	8 961.0c	10 288.5a	8 299.5bc	8 607.0a	8 880.0c	9 426.0d	8 838.0ab	9 628.5ab
不施钾	8 860.5c	9 997.5a	8 223.0c	9 343.5a	8 935.5bc	9 925.5b	8 778.0b	9 619.5ab
不施锌	9 912.0ab	10 354.5a	8 559.0abc	8 700.0a	9 081.0ab	10 012.5b	8 890.5ab	9 594.0ab
习惯施肥	9 727.5b	11 086.5a	8 316.0bc	9 480.0a	8 814.0c	9 715.5c	8 671.5b	9 498.0b
有机无机配合	9 873.0b	10 651.5a	8 667.0ab	9 570.0a	8 901.0bc	10 071.0b	8 713.5b	9 414.0b

NPKZn:施 N 240 kg/hm²、P₂O₅ 90 kg/hm²、K₂O 150 kg/hm²、ZnSO₄·7H₂O 15 kg/hm²;不施氮、不施磷、不施钾、不施锌分别表示在 NPKZn 处理基础上不施氮、不施磷、不施钾、不施锌;习惯施肥:按农民习惯施肥;有机无机配合施用处理:30% 有机肥(腐熟猪粪)+70% 化肥,以氮为衡量指标。同一栏中不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平。

2.2 不同地力条件和不同施肥方式下的水稻养分吸收量

在丹阳农民习惯施肥处理的高肥力及低肥力试验点的水稻氮、钾吸收量都大于合理施肥的 NPKZn 处理(表3)。有机和无机肥配合施用处理在低肥力试验点氮、钾的吸收量则显著高于对应的 NPKZn 处理,而在高肥力试验点与 NPKZn 处理差异不显著;有机与无机配合施用处理在高肥力、低肥力两试验

点水稻的磷吸收量差异都较小。说明在丹阳施肥方式对氮、钾吸收量的影响比对磷吸收量的影响要大,姜堰试验点也存在相同趋势(表4)。

不同肥力水平试验点间水稻的磷、钾养分吸收量存在差异。在姜堰低地力土壤水稻的磷、钾吸收量分别为 24.0~40.5 kg/hm²、133.5~247.5 kg/hm²,平均值分别为 37.5 kg/hm²、241.5 kg/hm²,而高地力土壤水稻的磷、钾吸收量分别为 19.5~

33.0 kg/hm²、123.0 ~ 214.5 kg/hm², 平均值分别为 31.5 kg/hm²、207.0 kg/hm²; 但无论丹阳及姜堰, 高肥力土壤水稻氮素吸收量都高于低肥力土壤。结合

水稻产量(表2)可以看出, 氮素供应能力可能是土壤肥力高低的决定性因子, 而水稻产量的主要限制因子为氮肥。

表3 丹阳试验点不同肥力农田水稻的养分吸收量

Table 3 Rice nutrient accumulation in high-yielding and low-yielding fields of Danyang

处 理	高肥力试验点				低肥力试验点			
	N (kg/hm ²)	P ₂ O ₅ (kg/hm ²)	K ₂ O (kg/hm ²)	Zn (g/hm ²)	N (kg/hm ²)	P ₂ O ₅ (kg/hm ²)	K ₂ O (kg/hm ²)	Zn (g/hm ²)
不施肥	151.5c	27.0b	171.0bc	312.0c	133.5d	21.0b	129.0d	291.0d
NPKZn	207.0ab	37.5a	237.0a	426.0a	192.0b	30.0a	187.5b	409.5ab
不施氮	166.5c	30.0ab	192.0b	343.5bc	145.5d	22.5b	150.0c	316.5c
不施磷	192.0b	33.0a	207.0ab	385.5b	183.0c	28.5ab	183.0b	396.0bc
不施钾	190.5b	33.0a	210.0ab	376.5b	190.5b	28.5ab	193.5ab	412.5ab
不施锌	208.5ab	36.0a	219.0ab	405.0ab	187.5c	28.5ab	175.5bc	403.5b
习惯施肥	216.0a	36.0a	247.5a	420.0a	192.0b	30.0a	193.5ab	426.0a
有机无机肥配合施用	213.0ab	34.5a	231.0a	412.5a	195.0a	30.0a	201.0a	429.0a

处理不施肥、NPKZn、不施氮、不施磷、不施钾、不施锌、习惯施肥见表2注。同一栏中不同小写字母表示差异达0.05显著水平。

表4 姜堰不同肥力农田水稻的养分吸收量

Table 4 Rice nutrient accumulation under different fertility in Jiangyan

处 理	高肥力试验点				低肥力试验点			
	N (kg/hm ²)	P ₂ O ₅ (kg/hm ²)	K ₂ O (kg/hm ²)	Zn (g/hm ²)	N (kg/hm ²)	P ₂ O ₅ (kg/hm ²)	K ₂ O (kg/hm ²)	Zn (g/hm ²)
不施肥	147.0b	22.5b	138.0b	301.5c	130.5b	27.0b	216.0b	307.5c
NPKZn	222.0a	33.0a	214.5a	465.0a	198.0a	37.5a	246.0a	481.5a
不施氮	133.5b	19.5b	123.0b	271.5d	117.0c	24.0b	133.5c	273.0d
不施磷	211.5ab	31.5a	199.5a	430.5ab	202.5a	40.5a	238.5ab	483.0a
不施钾	217.5a	33.0a	210.0a	427.5b	204.0a	40.5a	238.5ab	472.5ab
不施锌	220.5a	33.0a	210.0a	450.0a	204.0a	40.5a	234.0ab	483.0a
习惯施肥	214.5ab	33.0a	202.5a	427.5b	201.0a	39.0a	247.5a	456.0b
有机无机肥配合施用	219.0a	33.0a	211.5a	439.5ab	199.5a	39.0a	243.0a	462.0b

处理不施肥、NPKZn、不施氮、不施磷、不施钾、不施锌、习惯施肥见表2注。同一栏中不同小写字母表示差异达0.05显著水平。

2.3 不同氮肥运筹对水稻产量的影响

氮肥运筹试验结果(表5)显示, 施用氮肥处理的产量较不施肥对照均大幅上升, 氮肥运筹(基肥: 分蘖肥: 穗肥: 粒肥)为1:2:5:2时水稻在高、低肥力土壤中产量均最高, 而以10:0:0:0处理产量最低, 茎秆产量也呈相同趋势。表明适当将氮肥施用期后移, 保持穗肥: 粒肥比例为3:7可获得较高的产量和生

物量。

2.4 不同基肥比例下氮肥利用率比较

不同肥力土壤中水稻的氮肥利用率差异明显。在高肥力土壤中, 不同施肥方式下的氮肥利用率为24.6%~38.3%, 以单施基肥处理最低, 而基肥比例为10%的处理最高(表6); 在低肥力土壤中, 水稻的氮肥利用率为16.0%~26.2%, 处理间的变化同高肥力土壤(表7)。

表 5 不同肥料运筹对水稻产量的影响

Table 5 Effect of fertilizer application mode on the yield of rice

氮肥运筹	高肥力试验点				低肥力试验点			
	籽粒产量 (kg/hm ²)	籽粒增产率 (%)	茎秆产量 (kg/hm ²)	茎秆增产率 (%)	籽粒产量 (kg/hm ²)	籽粒增产率 (%)	茎秆产量 (kg/hm ²)	茎秆增产率 (%)
不施肥对照	6 954.0c	-27.27	6 961.5e	-30.03	6 711.0d	-10.57	7 711.5b	-20.94
10 : 0 : 0 : 0	9 561.0b	-	9 949.5d	-	7 504.5c	-	7 954.5a	-
4 : 3 : 2 : 1	10 338.0ab	8.13	12 006.0abc	20.67	7 545.0bc	0.54	10 680.0a	9.49
4 : 2 : 2 : 2	9 894.0ab	3.48	11 562.0c	16.09	7 762.5abc	3.44	10 830.0a	11.03
3 : 2 : 3 : 2	9 949.5ab	4.06	11 673.0bc	17.32	8 046.0abc	7.22	9 963.0a	2.14
2 : 2 : 4 : 2	10 338.0ab	8.13	12 534.0a	25.98	8 170.5a	8.87	10 921.5a	11.96
1 : 2 : 5 : 2	10 617.0a	11.04	12 450.0ab	25.13	8 212.5a	9.43	10 963.5a	12.39
4 : 2 : 2 : 2	10 005.0ab	4.64	12 172.5abc	22.34	8 128.5ab	8.32	10 464.0a	7.27

氮肥运筹:基肥:分蘖肥:穗肥:粒肥。同一栏中不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平。

表 6 高肥力土壤中不同基肥比例下水稻氮素累积与氮肥利用率

Table 6 Nitrogen accumulation and nitrogen use efficiencies in high-yielding soil with different nitrogen application modes

氮肥运筹	氮素累积量 (kg/hm ²)		氮收获指数 (%)	氮生理效率	氮肥效率	氮肥利用率 (%)
	总氮	籽粒氮				
不施肥对照	148.5f	84.3f	55.7a	93.3e	-	-
10 : 0 : 0 : 0	208.5e	117.3cd	56.3a	93.8d	39.8c	24.6d
4 : 3 : 2 : 1	234.0bc	123.0a	53.1b	95.7c	43.1a	35.2ab
4 : 2 : 2 : 2	223.5d	111.45de	51.2bc	95.9bc	41.2b	31.2c
3 : 2 : 3 : 2	225.0d	114.75bc	52.9b	96.0abc	41.5b	31.8c
2 : 2 : 4 : 2	238.5ab	120.0a	51.9bc	96.1ab	43.1a	37.1ab
1 : 2 : 5 : 2	241.5a	120.0ab	50.4cd	95.7c	44.2a	38.3a
4 : 2 : 2 : 2	229.5cd	112.5e	48.4d	96.3a	41.7b	33.8bc

氮肥运筹:基肥:分蘖肥:穗肥:粒肥。同一栏中不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平。

表 7 低肥力土壤中不同基肥比例下水稻氮素累积与氮肥利用率

Table 7 Nitrogen accumulation and nitrogen use efficiencies in low-yielding soil with different nitrogen application modes

氮肥运筹	氮素累积量 (kg/hm ²)		氮收获指数 (%)	氮生理效率	氮肥效率	氮肥利用率 (%)
	总氮	籽粒氮				
不施肥对照	147.0d	84.0d	57.2a	98.1a	-	-
10 : 0 : 0 : 0	183.0c	93.0c	50.9bc	94.6a	31.3c	16.0b
4 : 3 : 2 : 1	195.0abc	94.5bc	48.7c	93.5a	31.4bc	21.2ab
4 : 2 : 2 : 2	195.0abc	97.5abc	50.1bc	95.3a	32.3abc	21.3ab
3 : 2 : 3 : 2	190.5bc	100.5ab	53.0b	94.7a	33.5abc	19.3ab
2 : 2 : 4 : 2	204.0ab	103.5a	50.9bc	93.7a	34.0ab	24.8a
1 : 2 : 5 : 2	207.0a	103.5a	49.8c	92.9a	34.2a	26.2a
4 : 2 : 2 : 2	198.0ab	102.0ab	51.4ab	93.6a	33.9abc	22.8ab

氮肥运筹:基肥:分蘖肥:穗肥:粒肥。同一栏中不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平。

3 讨论

研究结果表明在水稻生产过程中,大部分农民没有根据土壤基础地力进行施肥量的调节,与最佳养分投入(NPKZn 处理)结果对比,农民习惯施肥的水稻产量降低 3.8%~6.6%,存在养分投入不平衡,养分利用效率低等情况。根据稻田土壤基础地力,进行合理的养分管理,在增加水稻产量的同时提高氮肥利用率,对降低生产成本,减少环境污染,实现水稻优质、高产、高效生产具有十分重要的意义^[11-12]。

地力水平和施肥量对水稻产量和生物量影响显著。本试验中,江苏省内肥力高、低不同的 4 个试验点各处理都以 NPKZn 处理产量最高,缺 Zn 处理产量次之,而其他缺素处理中以缺氮处理水稻减产最多,这说明合理施氮对水稻增产效果显著,氮素供应能力可能是土壤肥力高低的决定性因子,水稻生产中的主要限制因子为氮肥,这与刘艳阳等^[13]的研究结果一致。土壤肥力水平对水稻氮肥当季利用率也有一定影响,表现为低肥力土壤对氮的敏感性更强。赵海东等^[14]研究发现肥料当季利用率与土壤肥力成反比,不同肥力水平条件下水稻当季肥料利用率大小顺序为低肥力>中肥力>高肥力。

李菊梅等^[15]研究发现有机无机肥合理配施能够显著降低稻田氨挥发,减少氮素损失,提高氮肥利用效率。本试验结果表明有机无机肥配施处理与 NPKZn 处理的水稻养分吸收和利用率并无显著差异。增施有机肥能够减少化肥投入,在节约资源的同时可减少氮肥损失带来的环境压力^[16]。

适当减少水稻基肥、蘖肥,增加穗肥能够提高水稻籽粒产量和生物量,基肥:蘖肥:穗肥:粒肥比例为 1:2:5:2 是该研究区最佳氮肥施用比例。吴文革等^[17]研究发现,在双季稻北缘地区适当减少蘖肥,增加穗肥有利于促进水稻干物质的积累,提高产量。前氮后移,减少基蘖肥,增加穗肥施用量,能够为水稻的整个生育期提供较为平衡合理的氮素供应,促进水稻氮素吸收,提高当季水稻氮素利用效率^[15,18]。

参考文献:

[1] 程式华. 杂交水稻育种材料和方法研究的现状及发展趋势

- [J]. 中国水稻科学,2000, 14(3): 165-169.
- [2] 符少辉,何忠伟. 中国农业生物技术发展的现状与策略研究[J]. 科技导报,2004(20): 38-41.
- [3] 刘嘉德,孙雪梅,易红娟. 江苏沿江地区不同水稻品种对纹枯病的敏感差异性[J]. 江苏农业科学,2014,42(12): 185-187.
- [4] 彭少兵,黄见良,钟旭华,等. 提高中国稻田氮肥利用率的研究策略[J]. 中国农业科学,2005,35(9): 1095-1103.
- [5] 赵全志,陈静蕊,刘辉,等. 水稻氮素同化关键酶活性与叶色变化的关系[J]. 中国农业科学,2008, 41(9): 2607-2616.
- [6] 邓建平,杜永林. 江苏粳稻生产现状及发展对策[J]. 中国稻米,2006(4): 8-11.
- [7] 张斯梅,杨四军,石祖梁,等. 江苏省稻麦秸秆收集利用现状分析及对策[J]. 生态与农村环境学报,2014, 30(6): 706-710.
- [8] 许仁良,戴其根,王秀芹,等. 氮肥施用量,施用时期及运筹对水稻氮素利用率影响研究[J]. 江苏农业科学,2005(2): 19-22.
- [9] 张中一,施正香,周清. 农用化学品对生态环境和人类健康的影响及其对策[J]. 中国农业大学学报,2003, 8(2): 73-77.
- [10] 朱兆良. 推荐氮肥适宜施用量的方法论台议[J]. 植物营养与肥料学报,2006, 12(1): 1-4.
- [11] 曾祥明,韩宝吉,徐芳森,等. 不同基础地力土壤优化施肥对水稻产量和氮肥利用率的影响[J]. 中国农业科学,2012, 45(14): 2886-2894.
- [12] 丁哲利,彭建伟,刘强,等. 不同地力水平下不同养分管理模式对早稻氮素利用效率及产量的影响[J]. 中国稻米,2010(2): 30-33.
- [13] 刘艳阳,张洪程,宋浩,等. 不同地力条件下施氮量对水稻产量的影响[J]. 浙江农业科学,2006, 1(03): 300-302.
- [14] 赵海东,赵小敏,谢林波,等. 江西上饶市水稻肥料利用率的空间差异及其影响因素研究[J]. 土壤学报,2014, 51(1): 22-31.
- [15] 李菊梅,徐明岗,秦道珠,等. 有机肥无机肥配施对稻田氨挥发和水稻产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(1): 51-56.
- [16] 徐明岗,李冬初,李菊梅,等. 化肥有机肥配施对水稻养分吸收和产量的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(10): 3133-3139.
- [17] 吴文革,张四海,赵决建,等. 氮肥运筹模式对双季稻北缘水稻氮素吸收利用及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(5): 757-764.
- [18] 丁艳锋,刘胜环,王绍华,等. 氮素基、蘖肥用量对水稻氮素吸收与利用的影响[J]. 作物学报, 2004, 30(8): 762-767.

(责任编辑:张震林)