

有机肥和无机肥配施对双季稻产量及氮肥利用率的影响

向秀媛^{1,2,3,4,5}, 刘强^{2,3,4,5}, 荣湘民^{2,3,4,5}, 谢桂先^{2,3,4,5}, 彭建伟^{2,3,4,5}, 黄伟明⁶

(1.岳阳市土壤肥料站, 湖南 岳阳 414000; 2.湖南农业大学资源环境学院, 湖南 长沙 410128; 3.农田污染控制与农业资源利用湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410128; 4.植物营养湖南省普通高等学校重点实验室, 湖南 长沙 410128; 5.土壤肥料资源高效利用国家工程实验室, 湖南 长沙 410128; 6.汨罗市农业局, 湖南 汨罗 414400)

摘要: 为了研究洞庭湖区双季稻田不同有机、无机肥配施对双季稻产量及氮肥利用率的影响, 设置不施肥处理(WF)、不施氮处理(WN)、纯化肥处理(CF)、猪粪代替 20%化肥氮肥处理(ZF)、猪粪堆肥代替 20%化肥氮肥处理(DF)、沼渣沼液代替 20%化肥氮肥处理(ZYF), 在湖南洞庭湖区进行大田试验。结果表明: ①有机、无机肥配施较单施化肥可有效提高水稻的株高、有效穗数, 结实率和千粒质量, 从而提高水稻的子粒产量; ②4个施氮处理(CF、ZF、DF、ZYF)与不施氮处理(WN)和不施肥处理(WF)的全年双季稻产量差异极显著, 4个施氮处理之间的差异无统计学意义, 处理 CF、ZF、DF、ZYF 比处理 WN 分别增产 53.03%、48.35%、55.65%、48.49%, 其中, 处理 DF 的产量和增产率最高, 年产量达 14 039.80 kg/hm², 处理 CF 的次之, 达 13 803.43 kg/hm²; ③年平均氮肥利用率以处理 DF 的最高, 达 20.23 g/kg, 较处理 CF、ZF、ZYF 分别提高了 11.46%、12.64%和 14.04%。有机、无机肥配施能有效提高双季稻的产量和氮肥利用率, 其中以处理 DF 的效果较好。

关键词: 双季稻; 有机肥; 无机肥; 产量; 氮肥利用率

中图分类号: S147.34; S511.4⁺2 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2014)01-0072-06

Effects of different combined application of organic manures and inorganic fertilizer on yield and N use efficiency of double-rice

XIANG Xiu-yuan^{1,2,3,4,5}, LIU Qiang^{2,3,4,5}, RONG Xiang-min^{2,3,4,5},
XIE Gui-xian^{2,3,4,5}, PENG Jian-wei^{2,3,4,5}, HUANG Wei-ming⁶

(1.Yueyang Bureau of Agriculture, Yueyang, Hunan 414000, China; 2.College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 3.Hunan Provincial Key Laboratory of Farmland Pollution Control and Agricultural Resources Use, Changsha 410128, China; 4.Hunan Provincial Key Laboratory of Plant Nutrition in Common University, Changsha 410128, China; 5.National Engineering Laboratory on Soil and Fertilizer Resources Efficient Utilization, Changsha 410128, China; 6.Miluo Bureau of Agriculture, Miluo, Hunan 414400, China)

Abstract: In order to study the effects of different combination of organic manures and inorganic fertilizer on yield and N use efficiency of double-rice in Dongting Lake area, different treatments of field experiments were conducted, they were no fertilizer treatment (WF), no nitrogen treatment (WN), the chemical treatment (CF), 20% nitrogen fertilizer replaced by pig manure treatment (ZF), 20% nitrogen fertilizer replaced by pig compost treatment (DF), 20% nitrogen fertilizer replaced by biogas residue and slurry treatment (ZYF). The results showed that: ①Compared with chemical fertilizers, combined application of organic manure and chemical fertilizers could effectively improve rice height, panicle number, seed setting rate, and grain weight; ②Compared with that of WN and WF, the four nitrogen treatments (CF, ZF, DF and ZYF) had significant differences in annual yields, but there was no obvious difference among the four nitrogen treatments.

收稿日期: 2013-07-08

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAD15B04); 湖南省普通高等学校重点实验室开放基金项目(10K034); 农业行业科技计划项目(201103003)

作者简介: 向秀媛 (1985—), 女, 湖北黄冈人, 硕士研究生, 主要从事植物生理与植物营养研究, 981453088@qq.com

Compared with treatment WN, the yields of treatments CF, ZF, DF and ZYF increased by 53.03%, 48.35%, 55.65% and 48.49%, respectively, among them, rice yield of treatment DF was the highest, reached up to 14 039.80 kg/hm², followed by treatment CF, reached to 13 803.43 kg/hm²; ③ The annual average nitrogen use efficiency in treatment DF was 20.23 g/kg, which was the highest, which was 11.46%, 12.64% and 14.04% higher than those in treatments CF, ZF and ZYF respectively. Compared with chemical fertilizers, combined application of organic manure and chemical fertilizers could effectively improve the yield and N use efficiency of double-rice, and treatment DF was the best one.

Key words: double-rice; organic manures; inorganic fertilizer; yield; nitrogen use efficiency

关于水稻优质、高产、高效施肥技术研究已取得了一定进展^[1-4]。有机肥与化肥的配施^[5-6]可以提高水稻产量^[7-10], 猪粪、猪粪堆肥、沼渣沼液和稻草与化肥配合施用能有效提高双季稻产量, 其中以猪粪堆肥的效果最好^[11-12]。笔者研究同一有机肥施用比例条件下不同有机、无机肥配施对洞庭湖区双季稻产量和氮肥利用率的影响, 旨在为洞庭湖区双季稻高产及高效施肥提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 水稻品种

早稻品种为常规稻‘湘早粳 43 号’, 晚稻品种为‘杂交水稻天优华占’。

1.1.2 供试土壤

供试土壤为由湖积物母质发育的水稻土。供试土壤的全氮、全磷、全钾含量分别为 3.14、0.76、12.69 g/kg, 碱解氮、速效磷、速效钾含量分别为 165.35、12.00、127.64 mg/kg, 有机质含量为 34.04 g/kg, pH 5.49。

1.1.3 供试肥料

猪粪、沼肥从试验区农户收集; 尿素、过磷酸钙和氯化钾购买于试验区农资公司; 猪粪堆肥自制(先测定所收集猪粪和稻草的全氮和全碳含量, 计算碳氮比, 再将猪粪和稻草按初始碳氮比 30:1 和含水量 65% 进行堆肥。堆肥时加入课题组筛选出来的快腐微生物菌剂以加速腐熟。升温期每 3 d 翻 1 次堆, 待堆体温度下降到 40 ℃ 左右时, 在翻堆过程中加入解磷菌进行二次发酵, 每 5 d 翻 1 次堆, 直至堆体完全腐熟, 即得所需猪粪型有机堆肥)。供试有机肥源养分含量如表 1。

表 1 有机肥源养分含量

Table 1 Nutrition contents of different organic fertilizers %						
有机肥种类	N 含量		P ₂ O ₅ 含量		K ₂ O 含量	
	早稻	晚稻	早稻	晚稻	早稻	晚稻
猪粪肥	0.38	0.79	0.8	0.82	0.20	0.15
猪粪堆肥	1.82	2.41	1.41	1.60	0.83	0.93
沼渣沼液肥	0.18	0.23	0.27	0.47	0.06	0.03

1.2 试验设计

试验于 2011 年在湖南省湘阴县浩河口镇兴隆村进行。采用田间小区试验, 共设 6 个处理, 重复 3 次, 随机区组排列。6 个处理为: 不施肥处理(WF)、不施氮肥处理(WN)、纯化肥处理(CF)、猪粪肥代替 20% 化肥氮肥处理(ZF)、猪粪堆肥代替 20% 化肥氮肥处理(DF)、沼渣沼液肥代替 20% 化肥氮肥处理(ZYF)。

小区面积为 21 m²(7 m×3 m)。早稻 N、P₂O₅、K₂O 施用量分别为 127.5、60、75 kg/hm², 种植密度(株距×行距)为 16.7 cm×20 cm; 晚稻 N、P₂O₅、K₂O 施用量分别为 150、67.5、75 kg/hm², 种植密度(株距×行距)为 20 cm×20 cm。有机肥施用量为水稻全施氮量的 20%, 作基肥一次施用; 氮肥用尿素, 按施氮总量的 50% 作基肥、30% 作分蘖肥、20% 作穗肥施用; 磷肥用过磷酸钙, 全作基肥施用; 钾肥用氯化钾, 按施钾总量的 60% 作基肥、20% 作分蘖肥、20% 作穗肥施用。早稻于 3 月 28 日播种, 4 月 26 日移栽, 7 月 11 日收获; 晚稻于 6 月 24 日播种, 7 月 18 日移栽, 10 月 31 日收获。插秧后适当保持 1 周左右的浅水, 以后保持浅水与湿润相间灌溉, 以促进分蘖, 达到所需有效穗苗数的 90% 时开始晒田, 培育壮秆。此外, 在孕穗期和灌浆成熟期以湿润和浅水相间灌溉, 以促进后期根系活力。

收获期在每小区采集具代表性植株样 4 兜, 清洗后去根, 擦干, 称取鲜质量, 在烘箱中 105 ℃ 杀青 30 min, 75 ℃ 烘干至恒重, 称取干质量, 计算干物质积累量。将粉碎后的样品装入密封袋保存, 以测定植株

地上部全N养分含量。另取5兜具代表性植株样考种,测定其株高、穗长、千粒质量、每穗总粒数等指标,同时实际测产,测定其稻草产量和稻谷产量。

1.3 主要指标的测量及数据处理方法

植株全N含量的测定采用 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮,均参照文献[13]测定。氮、磷、钾养分累积和氮素利用效率的计算参照文献[14],按如下公式计算:

氮肥表观利用率=(施氮区植株总吸氮量-不施氮区植株总吸氮量)/施氮量。

氮素收获指数=子粒吸氮量/植株总吸氮量。

氮肥农学利用率=(施氮区作物产量-不施氮区作物产量)/施氮量。

氮肥生理利用率=(施氮区作物产量-不施氮区作物产量)/(施氮区植株总吸氮量-不施氮区植株总吸氮量)。

氮肥偏生产力=单位面积作物产量/单位面积施氮量。

采用软件Excel 2007和SPSS 17.0进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 各处理水稻的产量构成因素和产量

2.1.1 产量构成因素

由表2知,施用氮肥处理与不施肥和不施氮肥处理的早、晚稻株高差异均达极显著水平,各施氮肥处理株高间的差异无统计学意义,这说明施用氮肥可显著促进水稻生长。4个施用氮肥处理ZF、ZYF、DF、CF的早稻株高依次递减,处理ZF、ZYF、DF较处理CF的水稻株高分别提高了1.06%、0.50%和0.44%;处理DF、ZYF、ZF、CF的晚稻株高依次递减,处理DF、ZYF、ZF比处理CF分别提高了2.43%、2.34%和0.35%,这表明有机、无机肥配施有助于水稻长高。

表2 各处理双季稻的产量构成因素

Table 2 Yield component factors of different fertilization treatments on double-rice

品种	处理	株高/cm	穗长/cm	每穗总粒数/粒	有效穗数/个	结实率/%	千粒质量/g
早稻	WF	61.94bB	15.60	74.52dC	6.80dC	93.45	21.66
	WN	57.74bB	15.69	63.40eD	8.02cC	92.23	21.34
	CF	70.08aA	17.48	96.08aA	10.00bB	93.21	21.47
	ZF	70.82aA	16.41	94.03bA	11.40aA	93.45	21.17
	DF	70.39aA	16.21	95.45abA	11.60aA	93.95	21.71
	ZYF	70.43aA	17.78	80.43cB	11.40aA	92.75	21.81
晚稻	WF	66.52bB	20.74	132.14	10.85	67.67	21.40abAB
	WN	73.75bB	19.31	140.53	10.21	71.24	21.16bcABC
	CF	87.92aA	22.48	161.48	11.93	78.93	20.70cB
	ZF	88.42aA	20.86	148.02	11.40	72.65	20.79cBC
	DF	90.06aA	21.54	137.24	11.53	78.18	21.64aA
	ZYF	89.98aA	21.55	161.31	12.53	79.44	21.10bcABC

各处理早稻穗长间的差异和晚稻穗长间的差异均不大,早稻穗长为15.60~17.80 cm,晚稻穗长为19.31~22.48 cm。相对于处理WN,处理CF、ZF、DF、ZYF的早稻穗长分别增加了11.41%、4.59%、3.31%、13.32%,晚稻穗长分别增加了16.42%、8.03%、11.55%、11.60%;相对于处理WF,处理CF、ZF、DF、ZYF的早稻穗长分别增加了12.05%、5.19%、3.91%、13.97%,晚稻穗长分别增加了8.39%、0.58%、3.86%、3.91%。

早稻的每穗总粒数以处理CF的最多,为96.08粒/穗,晚稻也以处理CF的最多,为161.48粒/穗,

但有机、无机肥配施处理ZF、DF、ZYF的每穗总粒数与纯化肥处理的相差不大。

有机、无机肥配施处理的早稻有效穗数极显著高于不施肥、不施氮肥和纯化肥处理,而各处理晚稻有效穗数的差别不大,表现为处理ZYF、CF、DF、ZF、WF、WN依次减小,处理ZYF、CF、DF、ZF比处理WN分别提高了22.72%、16.85%、12.93%和8.72%,比处理WF分别提高了15.48%、9.95%、6.27%和5.07%。

早稻各处理结实率为92.23%~93.95%,且表现为处理DF、ZF、WF、CF、ZYF、WN依次减小,

处理 DF、ZF 比处理 CF 分别增加了 0.79% 和 0.26%；晚稻各处理结实率的差异也不大，且表现为处理 ZYF、CF、DF、ZF、WN、WF 依次减小，处理 CF、ZF、DF、ZYF 比处理 WF 分别提高了 16.64%、7.36%、15.53% 和 17.39%，比处理 WN 分别提高了 10.79%、1.98%、69.74% 和 11.51%。

各处理早稻的千粒质量相差不大；3 种有机、无机肥配施处理的晚稻结实率均高于纯化肥处理，其中以处理 DF 的千粒质量最高，为 21.64 g，极显著高于处理 CF 和处理 ZF，显著高于处理 ZYF 和处理 WN。

综上所述，有机、无机肥配施可有效提高水稻株高、有效穗数、结实率和千粒质量，从而提高水稻的籽粒产量。

2.1.2 产量

由表 3 各处理的早稻产量可知，处理 CF、ZF、

DF、ZYF 与处理 WF、WN 间的差异均达极显著水平，这充分说明了氮肥施用对提高水稻产量的重要性；处理 CF、ZF、DF、ZYF 比处理 WF 分别增产 80.72%、74.02%、71.19%、74.43%，比处理 WN 分别增产 83.40%、76.59%、73.72%、77.01%，其中处理 CF 的产量极显著高于处理 DF，这可能是由早稻生育期较短，有机堆肥释放养分缓慢，不能及时为早稻生长提供充足的养分所致。

由表 3 各处理的晚稻产量可知，4 个施用氮肥处理与处理 WF 和处理 WN 间的差异均达显著水平，其中，处理 CF、ZF、DF、ZYF 比处理 WF 分别增产 39.28%、35.78%、49.72%、35.75%，比处理 WN 分别增产 34.58%、31.20%、44.67%、31.17%，且处理 DF 的籽粒产量最高，较处理 CF 高 7.50%，这可能是由晚稻生育期较长，有机堆肥释放的养分有足够的时间被水稻吸收利用所致。

表 3 各处理的水稻产量

Table 3 Rice yields of different fertilization treatments

处理	籽粒产量/(kg·hm ⁻²)			相对于处理 WF 的增产率/%			相对于处理 WN 的增产率/%		
	早稻	晚稻	年均	早稻	晚稻	年均	早稻	晚稻	年均
WF	3 459.18cC	5 422.06bC	8 881.24bB				1.48	-3.37	-1.54
WN	3 408.75cC	5 611.40bBC	9 020.15bB	-1.46	3.49	1.56			
CF	6 251.58aA	7 551.85aAB	13 803.43aA	80.72	39.28	55.42	83.40	34.58	53.03
ZF	6 019.66bAB	7 361.98aABC	13 381.64aA	74.02	35.78	50.67	76.59	31.20	48.35
DF	5 921.65bB	8 118.16aA	14 039.80aA	71.19	49.72	58.08	73.72	44.67	55.65
ZYF	6 033.75bAB	7 360.47aABC	13 394.22aA	74.43	35.75	50.81	77.01	31.17	48.49

由表 3 中各处理的年均产量可看出，处理 DF 的增产率最高，较不施氮肥处理高 55.65%，较处理 CF、ZF、ZYF 分别高 1.71%、4.92% 和 4.82%；处理 ZF、ZYF 的产量虽然略低于纯化肥处理，但增产效果明显，且可有效解决畜禽粪便、沼渣沼液等

处理难、排放量大、污染环境等问题。

2.2 各处理水稻的氮肥利用效率

由表 4 中早稻的氮肥利用率可见，与处理 WN 相比，各施肥处理均可极显著提高早稻的氮收获指

表 4 双季稻的氮肥利用率

Table 4 N use efficiency of double-rice

项目	处理	氮素收获指数/%	表观利用率/%	农学利用率/(g·kg ⁻¹)	生理利用率/(kg·kg ⁻¹)	偏生产力/(kg·kg ⁻¹)
早稻	WN	60.77bB				
	CF	67.45aA	39.89aA	23.37aA	59.05bA	49.03aA
	ZF	69.56aA	29.52bA	20.65bB	69.38abA	47.21AabA
	DF	70.11aA	32.51abA	20.21bB	63.49abA	46.44aA
	ZYF	69.72aA	26.39bA	20.76bB	76.42aA	47.32abA
晚稻	WN	58.59				
	CF	62.62	28.81	12.94	49.68	50.35
	ZF	58.33	31.26	15.26	50.84	49.08
	DF	65.47	32.26	20.25	62.05	54.12
	ZYF	59.72	32.39	14.72	52.60	49.07

续表

项目	处理	氮素收获指数/%	表观利用率/%	农学利用率/(g·kg ⁻¹)	生理利用率/(kg·kg ⁻¹)	偏生产力/(kg·kg ⁻¹)
年均	WN	59.27				
	CF	60.07	34.35	18.15	54.37	49.69
	ZF	61.42	30.39	17.96	60.11	48.15
	DF	67.23	32.39	20.23	62.77	50.28
	ZYF	64.28	29.39	17.74	64.51	48.20

数, 这表明使用氮肥可提高稻谷中氮素的累积量; 处理 DF、ZYF、ZF、CF 的早稻氮素收获指数依次减小, 处理 DF、ZYF、ZF 的早稻氮收获指数分别比处理 CF 提高 3.94%、3.37% 和 3.13%, 说明有机、无机肥配施可有效增加植株体内氮素向籽粒的转移。早稻氮肥表观利用率、农学利用率和偏生产力均以处理 CF 的最高, 分别为 39.89%、23.37 g/kg 和 49.03 kg/kg, 这是因为纯化肥的养分较有机肥的释放快, 而早稻生育期较短, 故在早稻收获期, 纯化肥处理的氮素利用率较有机肥处理的氮素利用率高。处理 ZYF、ZF、DF、CF 的早稻生理利用率依次递减, 且处理 ZYF、ZF、DF 较处理 CF 分别高 29.42%、17.49%、7.52%, 说明水稻体内每积累 1 kg 氮素, 有机、无机肥配施可增加稻谷产量。

由表 4 中晚稻的氮肥利用率可见, 晚稻氮收获指数以处理 DF 的最高, 为 65.47%, 处理 CF 的次之, 为 62.62%, 这与收获期猪粪堆肥处理的稻谷总吸氮量最多有关。处理 ZYF、DF、ZF、CF 的晚稻氮素表观利用率依次递减, 且处理 ZYF、DF、ZF 较处理 CF 分别提高 12.43%、11.98%、8.50%。农学利用率、生理利用率和偏生产力均以处理 DF 的最高, 分别为 32.26%、20.25、54.12 kg/kg, 处理 ZF、DF、ZYF 的农学利用率、生理利用率都高于处理 CF, 处理 ZF、DF、ZYF 的农学利用率较处理 CF 分别高 17.93%、56.49%、13.76%; 处理 ZF、DF、ZYF 的生理利用率较处理 CF 分别高 11.98%、24.90% 和 5.88%。

由表 4 中的年均氮肥利用率可知, 处理 DF、ZYF、ZF、CF 的水稻氮平均收获指数依次减小, 处理 DF、ZYF、ZF 较处理 CF 分别高 11.92%、7.01% 和 2.25%; 处理 CF、DF、ZF、ZYF 的水稻平均表观利用率依次递减, 各处理间的差异无统计学意义; 处理 DF、CF、ZF、ZYF 的水稻平均农学利用率依次递减, 各处理间的差异无统计学意义, 其中处理 DF 较处理 CF、ZF、ZYF 分别高 11.46%、12.64%

和 14.04%; 处理 ZYF、DF、ZF、CF 的水稻平均生理利用率依次递减, 处理 ZYF、DF、ZF 较处理 CF 分别高 18.65%、15.45% 和 10.56%; 处理 DF、CF、ZYF、ZF 的水稻平均偏生产力依次递减, 其中, 处理 DF 分别较处理 CF、ZYF、ZF 高 1.19%、5.39% 和 4.42%。

综上所述, 有机、无机肥配施可有效提高水稻植株的氮素利用率和氮肥利用率, 其中以处理 DF 的效果最好。

3 结论与讨论

有机、无机肥配施较单施化肥可有效提高水稻的株高、有效穗数, 结实率和千粒质量, 从而提高水稻的籽粒产量; 处理 DF 的年产量最高, 年增产率和年产量达 14 039.80 kg/hm², 处理 CF 的年产量次之, 达 13 803.43 kg/hm²; 水稻年平均氮肥利用率以处理 DF 的最高, 达 20.23 g/kg, 较处理 CF、ZF、ZYF 分别提高了 11.46%、12.64% 和 14.04%。结果表明, 有机、无机肥配施能有效提高双季稻的产量和氮肥利用率, 其中以处理 DF 的效果较好, 所以, 通过科学的施肥技术可达到南方双季稻高产、高效的目的。

水稻产量的形成是由各产量因素综合决定的。施肥提高作物产量是因为施肥能有效提高水稻产量的各构成因素, 且施用有机肥的效果更佳, 如郭唏明等^[15]通过连续 3 年定位试验, 发现虽然施用纯化肥处理水稻的产量高于有机肥处理, 但有机肥处理和有机、无机肥配施处理水稻产量构成因素中的千粒质量和结实率明显较高。在水稻生长过程中, 每穗总粒数、有效穗数、结实率和千粒质量等因素均影响水稻的产量, 特别是每穗总粒数、有效穗数和每穗实粒数是影响水稻产量形成的重要指标^[16-17]。本试验结果表明, 施用纯化肥的水稻虽然前期生长相对较快, 穗相对较长, 每穗总粒数也相对较多, 但后期空秕率增加, 结实率下降, 而有机、无机肥

配施处理水稻的生长一直较平稳,在各时期的营养分配也较合理,水稻有效穗数、结实率和千粒质量的提高稳定,所以,该处理水稻的优质生产更能得到保证。

有机、无机肥配施可以提高水稻的产量和氮素利用率,减少环境污染,培肥土壤,是南方水稻田简单易行的环境保护性施肥技术^[18]。本试验结果与其基本一致。

本试验中,早稻的产量和氮肥利用率均是纯化肥处理的最高,但晚稻的结果与其存在差别,这可能与早、晚稻的栽培方法、基肥比例和品种等有关。江立庚等^[19]的研究结果表明,施氮量主要影响水稻生育后期的氮素积累,且施氮量对后期干物质积累量的影响因品种而异。张满利等^[20]关于不同水稻品种的氮肥运筹方式对水稻产量和氮肥利用率影响的研究结果表明,‘辽星 1 号’和‘辽优 5218’水稻的一基肥三追肥处理的产量显著高于一基肥二追肥处理,且该处理的氮肥利用率和氮素稻谷生产率也较高。所以,要了解有机、无机肥配施对南方双季稻高产、高效生产的影响,还需要进一步研究水稻栽培方式、氮肥运筹方式以及水稻品种等因素对水稻产量及氮肥利用率的影响。

参考文献:

- [1] 梁广成,李侠涛,杜敏.水稻“三控”施肥技术在汕头市的示范应用效果[J].广东农业科学,2009(3):29-30.
- [2] 郭恒东,张贵龙,刘学文,等.水稻优质高产高效施肥技术探讨[J].内蒙古农业科技,2005(7):296.
- [3] 谭华英,李红昌.优质水稻高产高效栽培技术[J].现代农业科技,2009,23(1):44-45.
- [4] 黄农荣,钟旭华,郑海波,等.‘天优 998’高产高效制种施氮技术研究[J].杂交水稻,2011,26(1):31-34.
- [5] 刘守龙,童成立,吴金水,等.等氮条件下有机无机肥配比对水稻产量影响的探讨[J].土壤学报,2007(1):108-114.
- [6] 苏瑞芳,李秀玲,张婉英,等.商品有机肥对水稻生长、产量及稻米品质的影响[J].上海农业学报,2008,24(4):127-130.
- [7] Saleque M A ,Abedin M J ,Bhuiyan N I ,et al .Long-term effects of inorganic and organic fertilizer sources on yield and nutrient accumulation of lowland rice[J].Field Crops Reserch,2004,86:53-65.
- [8] Ragasits I,Debrecezeni K,Berecz K.Effect of long-term fertilization on grain yield ,yield components and quality parameters of winter wheat[J].Acta Agronomica Hungarica,2000,48(2):155-163.
- [9] 孙宏德,朱平,刘淑环,等.有机、无机肥料对黑土肥力和作物产量影响的检测研究[J].植物营养与肥料学报,2002,8(增刊):110-116.
- [10] 王开峰,王凯荣,彭娜,等.长期有机物循环下红壤稻田的产量趋势及其原因初探[J].农业环境科学学报,2007,26(2):743-747.
- [11] 李先,刘强,荣湘民,等.有机肥对水稻产量和品质及氮肥利用率的影响[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2010,36(3):258-262.
- [12] 宋小林,刘强,荣湘民,等.猪粪堆肥与化肥配施对水稻产量及氮素利用率的影响[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2011,37(4):440-445.
- [13] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [14] Fageria N K, Baligar V C.Methodology for evaluation of low land rice genotypes for nitrogen use efficiency[J].Journal of Plant Nutrition,2003,26:1315-1333.
- [15] 郭晞明,胡雨红,赵国臣,等.不同施肥处理对水稻生长发育及产量的影响[J].吉林农业科学,2007,32(1):29-30,39.
- [16] 李春寿,叶胜海,陈炎忠,等.高产粳稻品种的产量构成因素分析[J].浙江农业学报,2005,17(4):177-181.
- [17] 管建新,王伯仁,李冬初.化肥有机肥配合对水稻产量和氮素利用的影响[J].中国农学通报,2009,25(11):88-92.
- [18] 徐明岗,李菊梅,李冬初,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.
- [19] 江立庚,曹卫星,甘秀芹,等.不同施氮水平对南方早稻氮素吸收利用及其产量和品质的影响[J].中国农业科学,2004,37(4):490-496.
- [20] 张满利,陈盈,隋国民,等.氮肥对水稻产量和氮肥利用率的影响[J].中国农学通报,2010,26(13):230-234.

责任编辑:王赛群
英文编辑:王 库