

猪粪堆肥与化肥配施对水稻产量及氮素利用率的影响

宋小林, 刘强*, 荣湘民, 谢桂先, 张玉平

(湖南农业大学 资源环境学院, 湖南 长沙 410128)

摘 要: 采用田间小区试验, 设不施肥、化肥、猪粪堆肥代替 10%、20%、30% 化肥、猪粪代替 20% 化肥、沼肥代替 20% 化肥和稻草代替 10% 化肥 8 个处理, 研究猪粪堆肥与化肥配施对水稻产量及氮素利用率的影响。结果表明: 猪粪堆肥与化肥配合施用能够显著增加水稻每穗籽粒数和实粒数, 提高水稻籽粒产量, 促进水稻养分的累积, 提高水稻氮素利用率; 早稻产量以猪粪堆肥代替 20% 化肥处理最高, 为 5 662.4 kg/hm², 较化肥处理增产 8.5%; 晚稻产量以猪粪堆肥代替 10% 化肥处理最高, 为 6 301.7 kg/hm², 猪粪堆肥代替 10%、20%、30% 化肥处理分别比化肥处理增产 12.5%、11.6% 和 5.8%; 早晚稻氮肥利用率以猪粪堆肥代替 20% 化肥处理最好。综合分析, 以猪粪堆肥代替 20% 化肥处理的施肥效果最好, 能够显著提高水稻产量。

关 键 词: 水稻; 产量; 猪粪堆肥; 化肥; 氮素利用率

中图分类号: S511.062 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2011)04-0440-06

Effects of interated fertilization with pig compost and fertilizers on yield of rices grains and nitrogen use efficiency

SONG Xiao-lin, LIU Qiang*, RONG Xiang-min, XIE Gui-xian, ZHANG Yu-ping

(College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: A field plot experiment was carried out to study the effect of integrated fertilization with organic manure and chemical fertilizers on grain yield of rice, accumulation of N, P, K nutrient and nitrogen use efficiency. The study was conducted in field with eight treatments: non fertilization, organic manure, swine manure (corresponding to 10%, 20%, 30% organic manure, respectively), pig dung (corresponding to 20% organic manure), biogas slurry (corresponding to 20% organic manure), staw (corresponding to 10% organic manure), respectively. Results showed that the combined application of pig manure compost and inorganic fertilizers increased the grain number per panicle and the grain yield of rice, promoted rice nutrient accumulation, and improved nitrogen efficiency. The rice yield of treatment of pig manure compost instead of 20% pure fertilizer is the highest (5 662.4 kg/hm²) and the yield increased 8.5% compared with pure fertilizer treatment. In the late rice, the rice yield in the treatments of pig manure compost instead of 10%, 20%, 30% pure fertilizer increased 12.5%, 11.6% and 5.8% respectively than that in the pure fertilizer treatment. Rice nitrogen use efficiency is the highest in the treatment of pig manure compost instead of 20% pure fertilizer.

Key words: rice; yield; pig manure compost; fertilizer; nitrogen use efficiency

肥料在粮食作物生产中具有非常重要的作用, 不合理的施肥制度不仅导致肥料的利用率降低, 而且会造成一系列的环境问题^[1]。已有的研究^[2-4]中,

尽管施肥处理设置不尽相同, 但共同的结论是有机肥与化肥配施处理可使作物获得较高的产量, 单施化肥的产量高于单施有机肥的产量。孟琳等^[5]、李

收稿日期: 2011-02-07

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2007BAD87B11)

作者简介: 宋小林(1984—), 男, 陕西西安人, 硕士研究生, 主要从事植物营养与生态学研究, fenyng23@163.com; *通信作者, lq8053@hunau.net

先等^[6]的研究结果表明,猪粪堆肥与化肥配施能够显著促进水稻籽粒产量的形成和提高水稻氮素养分效率。笔者研究不同有机肥与化肥配施对水稻产量及氮肥利用效率的影响,旨在为猪粪堆肥广泛应用于南方稻区的大田生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试早稻品种为陆两优 996,由湖南农业大学水稻科学研究所和湖南亚华种业科学研究院共同选育;晚稻品种为天优华占,由中国水稻研究所、中国科学院遗传与发育生物学研究所、广东省农业科学院水稻研究所共同选育。

供试肥料中,尿素(含 N 46%)、钙镁磷肥(含 P₂O₅ 12%)、氯化钾(含 K₂O 60%)由农资公司购得;猪粪、稻草、沼肥由农户收集;猪粪堆肥系采用新鲜猪粪和稻草,并加入本课题组研制的快腐微生物菌剂进行发酵,至完全腐熟后所得。有机肥源养分含量见表 1。

表 1 有机肥源养分含量

有机肥源	N 含量	P ₂ O ₅ 含量	K ₂ O 含量
稻草	0.53	0.25	1.63
猪粪	1.26	4.52	1.06
沼肥	0.41	0.59	0.12
猪粪堆肥	1.74	4.11	1.84

供试土壤为紫潮泥,有机质含量为 11.27 g/kg,全氮 0.51 g/kg,全磷 0.27 g/kg,全钾 6.99 g/kg,碱解氮 101.93 mg/kg,速效磷 14.93 mg/kg,速效钾 84.93 mg/kg, pH 值为 6.29。

1.2 试验设计

试验于 2010 年在湖南省湘阴县白泥湖乡楠竹山村进行。

采用田间小区试验,设 8 个处理:A(不施肥)、B(化肥)、C(猪粪堆肥代替 10%化肥)、D(猪粪堆肥代替 20%化肥)、E(猪粪堆肥代替 30%化肥)、F(猪粪代替 20%化肥)、G(沼肥代替 20%化肥)、H(稻草代替 10%化肥),各处理 3 次重复,随机区组排列。

猪粪堆肥代替 10%化肥是在早、晚稻 N 施用总量不变的基础上,根据猪粪堆肥氮素含量,将化肥 N 施用总量的 10%换算成猪粪堆肥进行施用;其他施肥处理的替代原理同上。

小区面积 20 m²,各小区间采用 PVC 板分隔。插植密度为 16.7 cm×20.0 cm,每穴 1~2 根苗。所有施肥处理 N、P、K 施用量相等。在 2009 年湘阴试验田施肥量和当地传统施肥量的基础上,针对本试验田的土壤条件,设置以下施肥量:早稻 N、P₂O₅、K₂O 施用量分别为 171.02、70.00、80.00 kg/hm²,晚稻 N、P₂O₅、K₂O 施用量分别为 178.52、60.00、90.00 kg/hm²。

1.3 测定项目及方法

分别于 5 月 8 日(早稻)和 7 月 28 日(晚稻)开始对试验小区水稻进行观察,每个小区随机选取 5 株,每星期测定水稻株高、分蘖数,观察记载 1 次。水稻收割后按小区随机取 5 株(定点观察的除外),用于测定穗数、每穗粒重、结实率、千粒重。各小区实收计水稻生物产量和籽粒产量,并随机取样,烘干测定秸秆和籽粒中 N、P、K 含量。

植株养分分析方法^[7]:植株前处理采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮,全氮含量采用靛酚蓝比色法测定;全磷含量采用钼锑抗比色法测定;全钾含量采用火焰光度法测定。

采用 Microsoft Excel 2003 进行数据处理,采用 DPS V7.05 进行方差分析。

1.4 水稻氮素吸收与利用效率的计算

氮素累积量、氮素干物质生产效率、氮素稻谷生产效率、氮素收获指数、氮素农艺效率、氮素回收效率、氮素偏生产力按文献[8-9]中的方法测定与计算;茎叶 N、P、K 累积量、籽粒 N、P、K 累积量按文献[9]中的方法测定与计算。

2 结果与分析

2.1 猪粪堆肥与化肥配施对水稻产量的影响

由表 2 可知,各配施处理的早稻和晚稻平均产量均极显著高于不施肥处理(A),其中早稻以猪粪堆

肥代替 20%化肥处理(D)产量最高,比化肥处理(B)高 8.5%;晚稻以猪粪堆肥代替 10%化肥处理(C)产量最高,猪粪堆肥代替 20%化肥处理(D)次之,产量分别比化肥处理(B)高出 12.5%和 11.6%。综合分析表明,在本试验条件下,猪粪堆肥代替一定比例的化肥处理(C, D, E)比单施化肥和其它施肥处理的水稻更易获得高产。

表 2 不同处理下的水稻产量
Table 2 Effects of different fertilization treatment on grain yield of rice

处理	早稻产量	晚稻产量
A	(2 534.8±562.6)Cc	(3 653.3±1 382.5)Bb
B	(5 217.0±971.4)ABab	(5 603.3±349.7)Aa
C	(5 200.9±304.7)ABab	(6 301.7±287.7)Aa
D	(5 662.4±327.9)Aa	(6 255.0±161.3)Aa
E	(5 538.8±545.1)ABa	(5 928.3±291.2)Aa
F	(5 429.2±468.3)ABa	(5 931.7±837.1)Aa
G	(5 521.7±307.0)ABa	(5 745.0±370.4)Aa
H	(4 332.5±514.7)ABa	(5 745.0±501.4)Aa

表 3 不同处理下水稻产量的构成因素

Table 3 Effects of different fertilization treatment on grain yield components in rice

稻别	处理	每穗粒数/粒	每穗实粒数/粒	结实率/%	有效穗数/个	千粒重/g
早稻	A	(80.25±11.03)Bc	(64.81±9.10)Ab	(80.74±0.30)Aa	(132.24±20.90)Bc	(30.28±0.87)Aa
	B	(122.75±9.98)Aab	(76.37±8.38)Aab	(62.11±2.60)Bb	(255.36±12.06)Aa	(27.62±0.89)Bbc
	C	(128.33±3.66)Aa	(85.83±3.42)Aa	(66.96±4.35)Bb	(228.00±16.44)Aab	(28.05±0.46)Bb
	D	(123.59±14.21)Aab	(83.38±14.38)Aa	(67.18±5.06)Bb	(237.12±4.56)Aab	(27.55±0.27)Bbc
	E	(118.82±12.81)Aab	(80.18±14.40)Aab	(67.17±5.60)Bb	(215.84±33.61)Ab	(27.93±1.48)Bbc
	F	(111.87±9.46)Aab	(71.80±14.43)Aab	(63.91±4.77)Bb	(214.32±27.36)Ab	(27.77±0.49)Bbc
	G	(117.09±6.82)Aab	(75.97±3.29)Aab	(64.96±3.05)Bb	(228.00±16.44)Aab	(26.54±1.05)Bc
	H	(106.48±12.92)Ab	(64.23±4.10)Ab	(60.66±4.91)Bb	(231.04±28.96)Aab	(28.17±0.32)Bb
晚稻	A	(129.32±26.18)Ab	(108.76±23.24)Ab	(83.99±2.58)Aab	(180.88±64.65)Bc	(27.57±1.80)Aa
	B	(171.06±36.73)Aab	(134.85±30.79)Aab	(78.67±0.78)Aabc	(316.16±46.80)Aa	(25.03±1.10)Aab
	C	(206.25±6.24)Aa	(161.29±10.14)Aa	(78.16±6.11)Abc	(232.56±13.93)ABbc	(25.03±2.32)Aab
	D	(186.23±16.29)Aab	(145.11±17.35)Aab	(77.80±4.41)Ac	(244.72±45.60)ABbc	(24.40±1.77)Ab
	E	(161.38±61.47)Aab	(136.10±24.43)Aab	(84.37±4.28)Aa	(261.44±36.19)ABab	(23.90±0.49)Ab
	F	(181.97±30.56)Aab	(143.47±25.11)Aab	(80.22±0.89)Aabc	(255.36±39.84)ABab	(24.07±1.30)Ab
	G	(162.33±37.07)Aab	(127.53±40.00)Aab	(78.97±2.75)Aabc	(244.72±30.36)ABbc	(26.43±2.10)Aab
	H	(148.14±24.75)Aab	(115.66±21.95)Ab	(77.96±1.36)Ac	(264.48±32.35)ABab	(24.47±0.92)Ab

从表 4 可以看出,早稻最高分蘖数出现在移栽后 34 d 左右,晚稻出现在移栽后 26~34 d,说明晚稻最高分蘖期比早稻有所提前。与不施肥处理相比,化肥处理与其他配施肥处理茎蘖数增加幅度

2.2 猪粪堆肥与化肥配施对水稻产量构成因素的影响

由表 3 可知,不同配施处理的产量构成因子间具有较大的差异,其中每穗粒数和每穗实粒数的变化趋势相一致,早稻和晚稻都以猪粪堆肥代替 10%化肥处理(C)每穗粒数和实粒数最多,并且极显著高于稻草代替 10%化肥(H)和不施肥处理(A),其他处理间差异不显著。早稻的结实率以不施肥处理(A)最高,其他处理之间差异不显著;晚稻以猪粪堆肥代替 30%化肥处理(E)最高,稻草代替 10%化肥处理(H)最低。有效穗数早、晚稻都以化肥处理(B)最高,与其他处理之间达到了极显著水平,有机肥与化肥配合施用处理的有效穗数极显著高于不施肥处理(A)。千粒重则是不施肥处理(A)下最大。综合以上结果表明,有机肥与化肥配施对水稻每穗籽粒数、每穗实粒数具有一定的促进作用,特别是猪粪堆肥代替一定比例化肥处理(C、D、E),能够稳定水稻粒重和结实率,有利于水稻增产。

大,并且达到了极显著水平。分蘖数达到最大后,由于生长后期水稻从营养生长向生殖生长转变,部分茎蘖逐渐死亡,各施肥处理水稻分蘖数开始逐渐下降,以稻草代替 10%化肥处理(H)下降幅度最大。

表 4 不同处理下早稻与晚稻的分蘖数

Table 4 Effects of different fertilization treatment on tillering of rice plants

稻别	处理	分蘖数						
		栽后 5 d	栽后 12 d	栽后 19 d	栽后 26 d	栽后 34 d	栽后 41 d	栽后 48 d
早稻	A	3.67	4.07	6.13	7.00	7.80	7.47	6.07
	B	3.53	4.67	10.00	10.80	13.33	13.00	12.07
	C	3.73	5.13	10.33	12.13	13.73	13.47	10.53
	D	3.67	6.00	12.00	13.33	13.80	13.40	11.87
	E	3.60	4.87	10.27	11.60	12.87	11.33	10.27
	F	3.87	5.20	10.73	12.27	15.13	13.93	10.93
	G	3.93	6.27	12.47	13.93	15.13	13.73	11.27
	H	3.67	3.73	6.60	7.73	11.40	14.33	11.27
晚稻	A	3.67	6.25	8.58	10.17	10.08	8.42	3.67
	B	3.53	10.08	13.92	15.00	16.75	12.83	3.53
	C	3.73	12.25	15.17	17.58	19.50	14.67	3.73
	D	3.73	13.58	13.67	19.33	18.33	13.83	3.73
	E	3.40	9.25	13.42	19.58	16.08	13.25	3.40
	F	3.93	12.00	12.83	19.08	18.25	12.92	3.93
	G	3.80	9.08	13.00	14.33	16.67	13.17	3.80
	H	3.80	8.42	11.75	12.92	15.92	11.42	3.80

2.3 猪粪堆肥与化肥配施对水稻地上部 N、P、K 含量的影响

从表 5 可知，不同配施处理下水稻茎叶中氮、钾的含量较籽粒高，并且钾的含量与其它处理之间达到了极显著水平；磷的含量则是籽粒高于茎叶(早稻 C、F、H 处理除外)；不同施肥处理下各元素含

量总体上高于不施肥处理，并且达到了极显著水平；猪粪堆肥代替一定比例化肥处理(C、D、E)各元素含量均高于施化肥(B)和不施肥处理(A)。综合分析可知，猪粪堆肥与化肥配施能够显著促进水稻对 N、P、K 营养养分的累积。

表 5 不同处理下水稻的 N、P、K 含量

Table 5 Effect of different fertilization treatment on the content of N, P, K in rice

kg/hm²

稻别	处理	N 含量		P 含量		K 含量	
		茎叶	籽粒	茎叶	籽粒	茎叶	籽粒
早稻	A	(42.94±28.13)Bb	(30.32±4.78)Bc	(4.57±18.38)Aa	(7.82±1.37)Ab	(423.28±130.96)Bb	(26.38±3.7)Cd
	B	(124.59±20.98)Aa	(71.90±3.66)Aab	(3.25±4.54)Aa	(8.76±2.75)Ab	(957.66±58.05)Aa	(43.18±4.37)Bbc
	C	(114.22±15.68)Aa	(74.04±11.86)Aab	(27.04±1.11)Aa	(13.25±3.43)Aab	(860.47±7.01)Aa	(52.18±5.17)ABab
	D	(148.23±2.99)Aa	(73.96±2.45)Aab	(7.44±11.36)Aa	(12.67±1.86)Aab	(858.28±114.18)Aa	(48.29±7.37)ABbc
	E	(127.70±33.88)Aa	(73.51±4.52)Aab	(15.75±40.66)Aa	(15.85±1.88)Aa	(813.16±76.49)Aa	(60.56±8.73)Aa
	F	(128.28±20.35)Aa	(72.58±16.37)Aab	(17.21±1.26)Aa	(13.55±8.04)Aab	(908.08±122.85)Aa	(50.80±1.58)ABab
	G	(143.38±17.42)Aa	(77.96±2.46)Aa	(3.62±2.94)Aa	(12.66±1.35)Aab	(883.91±137.41)Aa	(47.42±3.71)ABbc
	H	(142.25±7.63)Aa	(60.86±11.02)Ab	(9.87±4.69)Aa	(8.87±1.74)Ab	(933.18±26.52)Aa	(36.85±13.23)BCcd
晚稻	A	(44.67±4.17)Bc	(40.14±19.81)Bb	(8.35±5.35)Bb	(20.43±5.82)Bb	(322.10±100.58)Bc	(18.91±4.14)Bc
	B	(125.62±24.75)Aab	(72.77±7.59)Aa	(19.03±9.34)ABab	(21.33±4.87)Bb	(602.32±75.68)Aab	(26.51±9.15)ABbc
	C	(115.64±10.66)Aab	(79.67±1.04)Aa	(20.30±11.61)ABa	(36.60±6.93)ABa	(625.81±30.28)Aab	(32.49±10.84)ABab
	D	(131.01±5.52)Aa	(83.22±4.39)Aa	(25.10±5.3)Aa	(39.74±3.56)Aa	(608.71±44.23)Aab	(39.27±4.74)Aa
	E	(115.20±1.97)Aab	(73.92±4.78)Aa	(26.35±1.19)Aa	(37.33±17.4)ABa	(651.04±43.87)Aab	(36.23±5.12)Aab
	F	(110.19±27.16)Aab	(75.51±10.69)Aa	(27.65±1.45)Aa	(30.42±2.45)ABab	(677.59±61.24)Aa	(27.08±4.54)ABbc
	G	(129.02±6.98)Aab	(67.64±5.87)Aa	(20.66±7.17)ABa	(31.00±5.48)ABab	(568.96±79.99)Ab	(27.42±6.29)ABbc
	H	(104.15±16.15)Ab	(72.88±8.45)Aa	(18.66±2.08)ABab	(31.85±3.84)ABab	(659.73±22.73)Aab	(28.57±6.29)ABbc

2.4 猪粪堆肥与化肥配施对水稻氮素吸收和利用率的影响

由表6可知,早稻氮素累积总量以猪粪堆肥代替20%化肥处理(D)最高,沼肥代替20%化肥处理(G)次之,分别比化肥处理(B)高13.1%和12.7%;晚稻以猪粪堆肥代替20%化肥处理(D)最高,比化肥处理(B)高8%;早、晚稻施肥处理的氮素累积总量均显著高于不施肥处理(A)。早稻氮素吸收效率以沼肥代替20%化肥处理(G)最高,猪粪堆肥代替20%化肥处理(D)次之,分别比化肥处理(B)高19%和18.5%;晚稻以猪粪堆肥代替20%化肥处理(D)最高,比化肥处理(B)高13.7%。早、晚稻的氮素干物质生产效率和氮素稻谷生产效率则是以不施肥处理(A)最高;早稻氮素干物质生产效率以稻草代替10%化

肥处理(H)下最低,晚稻以猪粪堆肥代替20%化肥处理(D)下最低;早稻氮素稻谷生产效率以稻草代替10%化肥处理(H)最低;晚稻中有机肥与化肥配施肥处理均高于化肥处理(B)。水稻氮素收获指数在不施肥处理下最高,早稻达到了0.92,晚稻达到了0.88;早稻以稻草代替10%化肥处理(H)最低,晚稻以沼肥代替20%化肥处理(G)最低。氮素偏生产力以猪粪堆肥代替10%化肥处理(C)最高,猪粪堆肥代替20%化肥处理(D)次之。氮素农艺效率早稻以猪粪堆肥代替20%化肥处理(D)最高,猪粪堆肥代替30%化肥处理(E)次之,稻草代替10%化肥处理(H)最低;晚稻则以猪粪堆肥代替10%化肥处理(C)最高,猪粪堆肥代替20%化肥处理(D)次之,化肥处理(B)最低。

表6 不同处理下水稻的氮素累积与利用效率

Table 6 Accumulation and utilization efficiency of N in rice under different fertilization treatment

稻别	处理	氮素累积 总量/(kg·hm ⁻²)	氮素吸收 效率/%	氮素干物质生产 效率/(kg·kg ⁻¹)	氮素稻谷生产 效率/(kg·kg ⁻¹)	氮素收获 指数	氮素偏生产力 /(kg·kg ⁻¹)	氮素农艺 效率/(kg·kg ⁻¹)
早稻	A	73.26	—	112.96	40.09	0.92	36.65	—
	B	196.49	73.64	95.67	31.18	0.76	36.49	18.86
	C	188.26	69.13	94.06	32.16	0.85	39.73	18.71
	D	222.19	87.24	87.13	30.28	0.66	38.86	21.95
	E	201.21	75.73	92.60	32.98	0.77	38.09	21.08
	F	200.86	75.48	90.86	32.00	0.75	38.74	20.31
	G	221.35	87.63	86.26	29.43	0.72	30.40	20.96
	H	203.11	76.14	85.32	25.31	0.56	36.65	12.61
晚稻	A	84.80	—	126.68	44.05	0.88	21.36	—
	B	198.39	67.30	96.19	28.25	0.58	32.76	11.40
	C	195.31	65.50	103.90	32.62	0.71	36.85	15.48
	D	214.23	76.57	95.50	29.23	0.64	36.57	15.21
	E	189.12	61.88	101.77	31.34	0.64	34.66	13.30
	F	185.69	59.88	110.65	32.63	0.71	34.68	13.32
	G	196.67	66.30	95.69	29.34	0.53	33.59	12.23
	H	177.03	54.81	103.92	32.20	0.70	33.59	12.23

3 结论与讨论

a. 有机肥与化肥配合施用有利于水稻产量的形成^[2, 10-12]。本试验中早稻产量以猪粪堆肥代替20%化肥处理最高,为5 662.4 kg/hm²,较化肥处理增产8.5%;晚稻产量以猪粪堆肥代替10%化肥处理最高,为6 301.7 kg/hm²,猪粪堆肥代替10%、20%、30%化肥处理分别比化肥处理增产12.5%、11.6%和

5.8%。猪粪堆肥与化肥合理配施显著提高了水稻的产量。

b. 水稻养分的吸收、累积及干物质的累积受到不同品种、肥料结构、管理方式等因素的影响,通常产量高,其养分吸收和累积量也高^[10]。氮养分效率包含吸收效率、回收率和利用率^[13-14],主要评价指标包括氮素累积总量、氮肥吸收效率、氮肥农学利用效率、氮肥偏生产力、氮素干物质生产效率、

氮素稻谷生产效率、氮素收获指数等。本试验结果表明,猪粪堆肥与化肥配施有利于提高水稻氮肥利用率。随着猪粪堆肥配比量的增加,氮肥利用率降低,这可能是因为提高有机肥比例促进了氮的生物固持作用,氮素释放率较低,使得肥料利用率降低。猪粪堆肥代替 20%化肥处理下早、晚稻氮肥利用率最高。

c. 有效穗数、每穗籽粒数和每穗实粒数是水稻产量形成的重要指标^[15]。从本试验产量结构来看,有机肥与化肥配施与化肥处理相对水稻结实率、千粒重影响不明显,但极显著低于不施肥处理^[16]。有机肥与化肥配施,特别是猪粪堆肥代替一定比例的化肥处理,能够显著增加水稻每穗籽粒数和实粒数,对增加水稻有效穗数有一定的效应。通过有效穗数、每穗粒数、每穗实粒数的联合效应,显示出猪粪堆肥代替一定比例化肥处理能够促进水稻产量的形成。

参考文献:

- [1] 宇万太,姜子绍,周桦,等. 不同施肥制度对作物产量及肥料贡献率的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(6): 54-58.
- [2] 刘守龙,童成立,吴金水,等. 等氮条件下有机化肥配比对水稻产量的影响探究[J]. 土壤学报, 2007, 44(1): 106-112.
- [3] 林葆,林继雄,李家康. 长期施肥的作物产量和土壤肥力变化[J]. 植物营养与肥料学报, 1994 (1): 6-18.
- [4] 周卫军,王凯荣,张光远. 红壤稻田系统有机物循环再利用潜力及增产作用[J]. 长江流域资源与环境, 2002, 11(2): 141-144.
- [5] 孟琳,王强,黄启为,等. 猪粪堆肥与化肥配施对水稻产量和氮素效率的影响[J]. 生态农村环境学报, 2008, 24(1): 68-71, 76.
- [6] 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.
- [7] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 30-165.
- [8] 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.
- [9] 潘圣刚,曹凑贵,蔡明历,等. 不同灌溉模式下氮肥水平对水稻氮素利用效率、产量及其品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(2): 283-289.
- [10] 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.
- [11] 张国荣,李菊梅,徐明岗,等. 长期不同施肥对水稻产量及土壤肥力的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(2): 543-551.
- [12] 彭建伟,刘强,荣湘民,等. 氮磷钾配比及氮用量对水稻光合作用特性及产量的影响[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版, 2004, 30(2): 123-127.
- [13] 戴先福. 施氮量对不同基因型水稻品种氮素利用效率的影响[D]. 合肥: 安徽农业大学农学系, 2005.
- [14] 梁天锋,徐世宏,刘开强,等. 耕作方式对还田稻草氮素释放及水稻氮素利用的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(10): 3564-3570.
- [15] 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.
- [16] 胡星. 秸秆全量还田与有机肥配施对水稻产量形成的影响[D]. 扬州: 扬州大学农学院, 2008.

责任编辑: 杨盛强