

有机肥料替代部分无机肥使用对水稻产量与肥料利用率的影响

龚明强 (光明农业发展(集团)有限公司上海农业技术中心, 上海 202171)

摘要 为探究有机肥替代无机肥对水稻的影响,开展了水稻有机肥替代无机肥的相关试验。结果表明,4 500 kg/hm² 有机肥代替常规施肥 20% 无机肥料施用量下,与常规施肥处理①相比产量增加了 104.4 kg/hm²,增产 1.12%,成穗率、结实率、千粒重、经济系数提高。因此,施用 4 500 kg/hm² 有机肥料代替 20% 的无机肥料能够有效保证水稻产量,继续增加替代量水稻产量会有所下降。

关键词 水稻;有机肥;无机肥;产量

中图分类号 S511 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2023)10-0130-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2023.10.029

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effect of Organic Fertilizer Replacing Part of Inorganic Fertilizer on Rice Yield and Fertilizer Utilization Efficiency

GONG Ming-qiang (Guangming Agriculture Development (Group) Co., Ltd. Shanghai Agricultural Technology Center, Shanghai 202171)

Abstract To explore the effect of organic fertilizer partially replacing inorganic fertilizer on rice, this experiment was carried out. The results showed that applying 4 500 kg/hm² organic fertilizer instead of 20% inorganic fertilizer, the yield increased by 104.4 kg/hm² compared with treatment ①, yield increased by 1.12%. Spike rate, seed setting rate, thousand grain weight and economic coefficient were increased. Applying 4 500 kg/hm² organic fertilizer instead of 20% inorganic fertilizer could effectively ensure the yield of rice. Continue to increase the amount of organic fertilizer replacement, rice production declined.

Key words Rice; Organic fertilizer; Inorganic fertilizer; Production

为进一步探明光明崇明基地水稻作物的肥料利用率、田间施肥效果和土壤对农作物产量贡献率的问题,光明农业发展(集团)上海农业技术中心结合上海市化肥减量工作要求,开展 2021 年水稻化肥利用率田间试验,掌握水稻常规施肥、有机肥替代化肥对水稻化肥利用率的影响。

1 材料与与方法

1.1 试验地概况 试验于 2021 年 6 月 9 日在光明米业农业技术中心试验田(8#)进行,供试品种为银香 38。试验田地势均等,肥力均衡,前茬为油菜,土壤有机质含量 23.6g/kg, pH

7.78,水解性氮 129 mg/kg,有效磷 34.3 mg/kg,速效钾 256 mg/kg。

1.2 试验设计 试验设 7 个处理[处理①常规施肥(氮磷钾区)、处理②无磷区、处理③无钾区、处理④有机肥 4 500 kg/hm² 减肥 20%、处理⑤有机肥 6 750 kg/hm² 减肥 30%、处理⑥无氮区、处理⑦无肥区]。试验肥料主要有绿先机复合肥(N-P-K 比例为 12-10-14)、常规尿素(含氮率 46.3%)、过磷酸钙(有效成分 14%)、氯化钾(有效成分 60%)。空白处理为不施肥。7 个处理,3 个重复,共 21 个小区,小区面积 30~50 m²,具体肥料运筹见表 1。

表 1 不同处理肥料运筹方案及总肥量

Table 1 Fertilizer management plan and total fertilizer amount of different treatments

处理 Treatment	施肥期 Fertilization period	尿素 Urea kg/hm ²	复合肥 Compound fertilizer kg/hm ²	过磷酸钙 Calcium superphosphate kg/hm ²	氯化钾 Potassium chloridel kg/hm ²	全生育期施用量 Whole growth period
①	基肥	—	300	—	—	N、P、K 总量分别为 262.5、60.0、84.0 kg/hm ²
	苗肥	262.50	150	—	—	
	拔节肥	—	150	—	—	
	穗肥	150.00	—	—	—	
②	基肥	77.70	—	—	70.5	N、K 总量分别为 262.5、84.0 kg/hm ²
	苗肥	301.35	—	—	34.8	
	拔节肥	38.85	—	—	34.8	
	穗肥	150.00	—	—	—	
③	基肥	77.70	0	214.5	—	N、P 总量分别为 262.5、60.0 kg/hm ²
	苗肥	301.35	0	106.5	—	
	拔节肥	38.85	0	106.5	—	
	穗肥	150.00	—	—	—	
④	基肥	—	240	—	—	N、P、K 总量分别为 210、48、84 kg/hm ²
	苗肥	210.00	120	—	—	
	拔节肥	—	120	—	—	
	穗肥	120.00	—	—	—	

接下表

作者简介 龚明强(1983—),男,江西南昌人,农艺师,从事作物栽培研究。

收稿日期 2022-03-15; **修回日期** 2022-12-09

续表 1

处理 Treatment	施肥期 Fertilization period	尿素 Urea kg/hm ²	复合肥 Compound fertilizer kg/hm ²	过磷酸钙 Calcium superphosphate kg/hm ²	氯化钾 Potassium chloridel kg/hm ²	全生育期施用量 Whole growth period
⑤	基肥	—	210	—	—	N、P、K 总量分别为 183.75、42.00、58.80 kg/hm ²
	苗肥	183.75	105	—	—	
	拔节肥	—	105	—	—	
	穗肥	105.00	—	—	—	
⑥	基肥	—	—	214.5	70.5	P、K 总量分别 为 60、84 kg/hm ²
	苗肥	—	—	106.5	34.8	
	拔节肥	—	—	106.5	34.8	
	穗肥	—	—	—	—	
⑦	基肥	—	—	—	—	N、P、K 均不施
	苗肥	—	—	—	—	
	拔节肥	—	—	—	—	
	穗肥	—	—	—	—	

基肥施用时间为播种前 7 d; 苗肥尿素施用时间在播后 15~30 d, 分 2 次使用, 复合肥单独使用一次; 拔节肥在基部第一节间定长时使用, 穗肥在叶龄余数 2.5~3.0 时使用。

1.3 测定项目与方法 试验前采集耕层混合土样一份, 检测土壤 pH、有机质、水解氮、有效磷、速效钾。试验中期考察不同处理植株苗情, 每 7 d 一次。成熟期采集各小区的植株与果实(谷粒等)样品, 测定谷草比, 检测氮、磷、钾养分含量。各处理分 3 点取样, 每个取样点取有代表性的 100 穴植株穗数, 取其接近平均穗数植株 10 穴, 测定水稻产量构成因素。收割前每重复取 12 m² 左右植株稻穗, 重复 3 次, 测定各处理实际产量^[1-2]。

2 结果与分析

2.1 不同处理对水稻茎蘖生长的影响 由表 2 可知, 无肥处理⑦与无氮处理⑥分蘖期苗数与有效穗数明显低于其他处理, 各处理高峰苗出现在 7 月 28 日, 常规处理①最高, 较其他处理分别增加 62.55 万、100.05 万、57.45 万、81.6 万、

225.15 万、282.6 万/hm², 说明磷、钾肥料对分蘖影响较小, 氮素影响最大。处理④与处理⑤有效穗数比处理①分别下降了 22.95 万、35.55 万/hm², 说明有机氮肥代替无机氮肥使用会对水稻有效穗产生一定影响, 且随着代替量增加而增加^[3]。从成穗率来看, 处理④、处理⑤相对处理①增加了 1.97% 与 1.85%, 处理⑦、处理⑥与处理①存在显著差异, 说明增加有机肥料, 降低无机肥料的使用会增加水稻成穗率, 减少无效分蘖的产生。

2.2 不同处理对水稻株高的影响 由表 3 可知, 成熟期处理①的株高最高, 为 96.62 cm, 较处理④与处理⑤分别高 2.71 和 4.36 cm。无肥处理⑦株高最低, 比处理①降低了 20.16 cm, 达显著差异, 说明使用有机肥料代替无机肥料施用, 会对水稻株高产生一定的影响, 适当的代替量可以有效防止水稻倒伏, 但有机肥料代替量过大会影响水稻总干物质重的积累, 从而对产量造成影响^[4-6]。各元素对株高的影响从高到低分别是氮、钾、磷。

表 2 各处理水稻茎蘖的变化

Table 2 Tillers dynamics of different treatments

处理 Treatment	基本苗 Basic seedling 万/hm ²	苗数 Number of seedlings//万/hm ²						有效穗数 Effective panicle number//万/hm ²	成穗率 Earing rate//%
		07-07	07-14	07-21	07-28	08-04	08-25		
①	180	324.15	402.15	562.80	637.80	540.30	485.25	317.70 a	747.15 c
②	180	316.20	330.15	525.30	575.25	490.20	447.75	289.35 a	754.50 c
③	180	308.10	333.15	512.70	537.75	460.20	430.20	276.45 ab	771.15 c
④	180	304.20	384.15	535.20	580.35	487.65	470.25	294.75 a	761.85 c
⑤	180	308.10	354.15	520.20	556.20	462.75	435.15	282.15 ab	760.95 c
⑥	180	229.20	261.15	347.70	412.65	355.20	309.75	228.00 b	828.75 b
⑦	180	221.10	228.15	265.20	355.20	260.10	252.60	212.40 b	897.00 a

注: 同列不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Different lowercases in the same column indicated significant difference between different treatments at 0.05 level.

2.3 不同处理对水稻产量构成因素的影响 由表 4 可知, 从实际产量总体来看, 处理④产量最高为 9 410.85 kg/hm², 比常规处理①增加了 1.12%, 无明显差异, 比处理②、③、⑤、⑥、⑦分别增加了 9.44%、10.96%、5.39%、47.03%、65.57%。说明 4 500 kg/hm² 有机肥料代替 20% 的无机肥料使用能够有效保证水稻产量, 继续增加替代量水稻产量会有所下降, 同时

氮磷钾素缺失情况下也会造成水稻产量下降, 影响顺序从高到低是氮、钾、磷。

从有效穗数来看, 处理①最高为 317.70 万/hm², 较处理④与处理⑤增加了 7.79% 和 12.60%, 比处理⑦增加了 49.58%, 说明有机肥料替代量增大, 会造成有效穗下降。从结实率来看, 增加有机肥料会提高水稻结实率增加; 从千粒

重来看,无肥处理⑦的千粒重最高,处理④与处理⑤较处理①分别增加了 4.97%和 5.28%,说明适当增加有机肥料的使用会使水稻千粒重增加。从总粒数来看,无机肥料降低水稻

总粒数会有所下降,且受氮素影响较大。从经济系数来看,无肥处理最高为 59.62%,有机肥料使用后,相对常规处理增加明显。

表 3 各处理水稻株高的变化
Table 3 Plant height of different treatments

单位:cm

处理 Treatment	株高 Plant height						成熟期株高 Plant height in maturity period
	07-07	07-14	07-21	07-28	08-04	08-25	
①	23.1	29.80	33.60	39.0	54.5	79.2	96.62 a
②	20.1	25.90	30.30	40.7	52.9	76.8	95.64 a
③	22.7	28.70	30.80	40.5	53.4	76.2	94.78 ab
④	22.2	29.60	31.40	39.9	53.1	79.4	93.91 ab
⑤	21.7	26.10	27.40	38.8	54.1	75.0	92.26 ab
⑥	20.1	26.10	30.20	40.4	53.5	66.6	83.83 c
⑦	19.2	24.80	29.20	38.3	50.0	65.2	76.46 c

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。

Note: Different lowercases in the same column indicated significant difference between different treatments at 0.05 level.

表 4 各处理对水稻产量构成因素的影响

Table 4 Effect of different treatments on rice yield components

处理 Treatment	有效穗 Panicle number 万/hm ²	结实率 Seed setting rate//%	千粒重 1 000-grain weight//g	每穗粒数 Grain number per panicle	理论产量 Theoretical yield//kg/hm ²	实际产量 Actual yield kg/hm ²	经济系数 Economic coefficient//%
①	317.70	89.18	25.93	138.77	10 194.60	9 306.75	53.70
②	289.35	90.28	26.32	138.21	9 502.35	8 598.75	52.78
③	276.45	91.04	27.16	137.99	9 432.30	8 481.45	55.49
④	294.75	92.52	27.22	138.01	10 244.25	9 410.85	55.86
⑤	282.15	93.56	27.30	136.86	9 862.80	8 929.65	56.02
⑥	228.00	94.29	27.40	128.98	7 597.65	6 400.80	59.20
⑦	212.40	96.14	27.53	118.91	6 684.75	5 683.95	59.62

2.4 各处理水稻茎叶氮磷钾养分含量 由表 5 可知,处理⑥籽粒与茎叶中氮含量最低,处理②籽粒与茎叶磷含量最低,说明不施氮肥或磷肥会减少水稻对氮、磷的吸收。处理③籽粒含钾量比处理①低,茎叶钾含量比处理①高,不施钾肥对水稻钾素吸收影响较小,说明水稻对钾素吸收较为稳定,或

者该田块钾素供应较为充足。处理④相对于处理①籽粒中氮、磷含量降低,钾含量增加,茎叶中氮、磷、钾含量都有所增加,说明有机肥料使用后,钾素吸收总量增加,水稻抗倒伏性增强,籽粒中氮、磷含量增加,千粒重会相应增加。

表 5 水稻各器官氮磷钾含量

Table 5 Contents of nitrogen, phosphorus and potassium in various organs of rice

处理 Treatment	籽粒 Seed			茎叶 Stem		
	氮//g/kg	磷//mg/kg	钾//mg/kg	氮//g/kg	磷//mg/kg	钾//mg/kg
①	11.7	1.32	10.7	9.5	1.23	23.7
②	10.3	0.85	10.3	10.6	0.83	25.2
③	10.3	1.19	10.5	10.6	1.35	24.1
④	10.4	1.22	11.5	10.9	1.32	24.6
⑤	10.8	1.27	11.0	9.7	1.18	26.6
⑥	10.2	1.22	9.4	6.7	1.21	23.9
⑦	10.8	1.21	10.8	9.8	1.59	27.6

2.5 各处理不同肥料总吸收量及肥料利用率 从表 6 可以看出,处理⑥的氮、磷、钾吸收总量最低,说明不施氮肥的情况下会影响水稻对磷、钾的吸收。处理④相对于处理①,钾素吸收量增加,氮、磷吸收量减少,水稻抗性增加,继续加大替代量,氮、磷、钾吸收总量均下降,从而影响产量^[7]。

从表 7 可以看出,处理④的氮素利用率为 40.14%,比处理①增加 5.68 百分点,比处理⑤增加 2.26 百分点,磷肥吸收

利用率为 15.94%,比处理①、⑤分别增加了 1.69 百分点、1.65 百分点,钾肥的吸收利用率为 57.75%,比处理①与处理⑤分别增加了 14.00 百分点、3.92 百分点,说明施用 4 500 kg/hm² 有机肥料代替 20%无机肥料使用下,水稻氮、磷、钾素利用率显著提高,但继续加大替代量利用率会有所下降。处理④的养分农学利用率最高,氮肥的农学利用率为 14.33 kg/kg,磷肥农学利用率为 16.89 kg/kg,钾肥农学利用率为 13.92 kg/kg。

表 6 各处理养分吸收量

Table 6 Nutrient absorption of different treatments

处理 Treatment	养分总吸收量 Nutrient absorption//kg/hm ²			每 100 kg 籽粒所需养分量 Nutrient content per 100 kg grain//kg		
	氮素	磷素	钾素	氮素	磷素	钾素
①	185.10	22.20	289.35	2.12	0.26	3.44
②	169.35	13.65	282.15	2.08	0.17	3.55
③	159.00	19.35	252.60	2.09	0.25	3.46
④	178.95	21.30	291.15	2.13	0.25	3.61
⑤	164.25	19.65	284.25	2.05	0.25	3.76
⑥	94.65	13.05	165.30	1.62	0.24	3.32
⑦	99.00	12.90	167.10	1.90	0.28	3.83

表 7 处理肥料利用率

Table 7 Fertilizer utilization rate of different treatments

处理 Treatment	吸收利用率 Absorption and utilization rate//%			农学利用率 Agronomic utilization//kg/kg		
	氮肥	磷肥	钾肥	氮素	磷素	钾素
①	34.46	14.25	43.75	11.07	11.80	9.83
④	40.14	15.94	57.75	14.33	16.89	13.92
⑤	37.88	14.29	53.83	13.76	7.88	10.67

注:处理④、处理⑤忽略其他 2 个元素减少的影响。

Note: Treatment ④ and ⑤ ignored the effect of reducing the other two elements.

2.6 不同处理对稻米品质的影响 由表 8 可知,不施肥处理⑦相比处理①,糙米率、整精米率、直链淀粉都有所降低,垩白度、透明度略有上升,碱消值无变化。处理④、⑤相比处理

①,糙米率、整精米率、垩白度下降,透明度升高,直链淀粉含量差异不大,说明有机肥料使用下稻米碾磨品质下降,但外观品质升高,蒸煮品质略有升高。

表 8 不同处理对稻米品质的影响

Table 8 Effect of different treatments on rice quality

处理 Treatment	糙米率 Brown rice rate//%	整精米率 Head rice rate//%	垩白度 Chalkiness %	透明度 Transparency 级	碱消值 Alkali elimination value//级	直链淀粉 Amylose %
①	84.6	71.7	1.50	3.0	6.80	6.90
②	84.3	71.7	1.35	3.0	6.80	6.75
③	85.0	73.7	1.40	3.0	6.80	6.80
④	83.4	70.5	1.10	3.5	6.80	6.75
⑤	83.3	71.0	1.20	3.5	6.80	6.80
⑥	83.5	70.7	2.70	3.5	6.85	6.60
⑦	83.7	70.4	1.70	3.5	6.80	6.50

3 结论与讨论

该试验结果表明 4 500 kg/hm² 有机肥代替常规施肥 20% 无机肥料用量下,与常规施肥处理①相比产量增加了 104.4 kg/hm²,增产 1.12%,成穗率、结实率、千粒重、经济系数提高,但成熟期株高降低,有效穗、总粒数下降。6 750 kg/hm² 有机肥代替常规施肥 30% 肥料使用量下,与处理⑤相比产量降低了 5.39%,有效穗与总粒数下降明显,说明用 4 500 kg/hm² 有机肥料代替 20% 无机肥料使用能够有效保证水稻产量,继续增加替代量水稻产量会有所下降,同时氮磷钾素缺失情况下也会造成水稻产量下降,影响从高到低依次是氮、钾、磷。

氮磷钾是作物生长发育过程中重要的营养元素。在该试验中,常规处理氮肥的吸收利用率为 34.46%,磷肥吸收利用率为 14.25%,钾肥吸收利用率为 43.75%。3 种肥料的农学利用率分别为 11.07、11.9、9.83 kg/kg。有机肥料 4 500 kg/hm² 替代 20% 无机肥料使用后,肥料吸收利用率与

农学利用率都相应上升,继续加大替代量后吸收利用率和农学利用率都开始大幅降低,说明有机肥料替代无机肥料的比例不能超过 30%,否则将对产量造成影响。

研究表明有机肥料替代部分无机肥料使用后,碾磨品质会有所下降,但外观品质会有所上升,蒸煮品质略有升高^[8]。张兰等^[9]研究表明,施用有机肥料后稻米碾磨品质会下降,与该试验研究结果一致。吴春艳等^[10]则认为增施有机肥料有利于稻米加工品质、外观品质的改善,与该试验结果有一定的差异。生产上要结合实际的田间土壤肥力,适当增加有机肥料的投入,可有效降低水稻株高,提高成穗率,改善水稻群体结构,控制无效分蘖的产生,同时能够提高肥料的利用率,减少环境污染,有利于农业可持续发展。

参考文献

- [1] 王爽,张平,龚明强,等.不同施肥方式对水稻生产特性及经济效益的影响[J].安徽农业科学,2021,49(22):155-157,160.

氮素、磷素和钾素吸收;其中 T_4 土壤速效钾含量较高, T_3 处理藜麦植株氮磷钾吸收量较高。 T_3 处理的钾肥利用率及钾肥贡献率显著高于其他处理;施用钾肥能够显著提高藜麦产量,其中 T_3 处理的产量及产量构成因素均优于其他处理。综合藜麦养分吸收、钾肥利用效率及产量等因素,施用 80 kg/hm^2 钾肥更有助于实现藜麦高产,且能提高钾肥利用效率。

参考文献

[1] 王斌,赵圆峰,晁督,等.早作藜麦养分吸收规律及养分限制因子研究[J].中国土壤与肥料,2020(4):172-177.

[2] 梁新贝.藜麦的营养价值及应用前景[J].食品界,2018(6):85.

[3] 王晨静,赵习武,陆国权,等.藜麦特性及开发利用研究进展[J].浙江农林大学学报,2014,31(2):296-301.

[4] PASKO P, BARTON H, ZAGRODZKI P, et al. Effect of diet supplemented with quinoa seeds on oxidative status in plasma and selected tissues of high fructose-fed rats[J]. Plant foods for human nutrition, 2010, 65(2): 146-151.

[5] 何巧林,张绍文,李应洪,等.硅钾肥对水稻茎秆性状和抗倒伏能力的影响[J].杂交水稻,2017,32(1):66-73.

[6] 赵国英,王红光,李东晓,等.灌溉次数和施钾量对冬小麦茎秆形态特征和抗倒性的影响[J].麦类作物学报,2017,37(6):759-768.

[7] 向达兵,郭凯,雷婷,等.磷钾营养对套作大豆茎秆形态和抗倒性的影响[J].中国油料作物学报,2010,32(3):395-402.

[8] GHOSH B N, KHOLA O P S, BHATTACHARYA R, et al. Effect of potassium on soil conservation and productivity of maize/cowpea based crop rotations in the north-west Indian Himalayas[J]. Journal of mountain science, 2016, 13(4): 754-762.

[9] 杨萍,李杰,王田涛,等.不同施钾水平对基质栽培番茄光合生理及产量的影响[C]//中国园艺学会 2017 年论文摘要集.北京:《园艺学报》编辑部,2017:129.

[10] 杨雪.节水条件下供钾水平对小麦生长发育和养分吸收利用特性的影响[D].保定:河北农业大学,2021.

[11] 惠薇,王斌,李丽君,等.钾肥对藜麦生长及养分吸收的影响[J].山西农业科学,2021,49(6):734-738.

[12] 樊小林,廖宗文.控释肥料与平衡施肥和提高肥料利用率[J].植物营养与肥料学报,1998,4(3):219-223.

[13] 丁凡,余金龙,刘丽芳,等.不同钾肥用量对万薯 5 号产量的影响[J].农业科技通讯,2012(12):55-57.

[14] 谭德水,金继运,黄绍文.长期施钾与秸秆还田对西北地区不同种植制度下作物产量及土壤钾素的影响[J].植物营养与肥料学报,2008,14(5):886-893.

[15] 陈防,鲁剑巍,万运帆,等.长期施钾对作物增产及土壤钾素含量及形态的影响[J].土壤学报,2000,37(2):233-241.

[16] 孔庆波,栗方亮,张青.滴灌条件下减量施钾对香蕉产量及土壤钾素平衡的影响[J].植物营养与肥料学报,2021,27(2):312-321.

[17] 杜彩艳,杜建磊,包立,等.不同施钾水平对土壤速效钾含量和三七养分吸收及产量的影响[J].中国土壤与肥料,2017(6):105-112.

[18] 康小华.不同施钾水平对马铃薯生长发育、产量、品质及土壤养分的影 响[D].兰州:甘肃农业大学,2012.

[19] 曾德武,刘强,彭建伟,等.不同稻田土壤钾素丰缺水平下施用钾肥的效应及对土壤肥力的影响[J].湖南农业科学,2012(3):37-40.

[20] 梁德印,徐美德,王晓琪,等.钾营养对棉花养分吸收和干物质累积的影响[J].中国棉花,1993,20(2):46.

[21] 王锋,王汝娟,陈晓光,等.不同类型钾肥对甘薯钾素积累和利用率的影响[J].山东农业科学,2009,41(10):77-80.

[22] 习金根,谭施北,贺春萍,等.不同钾水平对剑麻生长和钾素吸收利用特性的影响[J].热带作物学报,2015,36(2):269-274.

[23] 高媛,张炎,胡伟,等.不同钾肥用量对长绒棉养分吸收、分配和利用的影响[J].棉花学报,2009,21(1):39-45.

[24] 闫湘,金继运,何萍,等.提高肥料利用率技术研究进展[J].中国农业科学,2008,41(2):450-459.

[25] 汪自强,董明远.不同钾水平下春大豆品种的钾利用效率研究[J].大豆科学,1996,15(3):202-207.

[26] 杨庆飞,许定义,陈浩,等.不同钾肥处理对甘薯养分吸收利用和产量的影响[J].湖南农业科学,2021(5):30-33,37.

[27] 侯迷红,范富,宋桂云,等.钾肥用量对甜芥麦产量和钾素利用效率的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,19(2):340-346.

[28] 王宜伦,苗玉红,谭金芳,等.不同施钾量对砂质潮土冬小麦产量、钾效率及土壤钾素平衡的影响[J].土壤通报,2010,41(1):160-163.

[29] 马强,刘中良,周桦,等.不同施肥模式对作物-土壤系统养分收支的影响[J].中国生态农业学报,2011,19(3):520-524.

[30] 刘宝勇,刘欣玲,张成,等.水肥一体化模式下不同施肥处理对沙地土壤理化性状及土壤酶活性的影响[J].安徽农业科学,2020,48(9):167-171.

[31] JIN J Y. Strengthening research and technology transfer to improve fertilizer use in China[C]//RURESH R J, SANCHEZ P A, CALHOUN F. Proceeding of the IFA regional conference for Asia and Pacific. Hong Kong: Special Publication, 1998:21-22.

[32] 李新旺,门明新,王树涛,等.长期施肥对华北平原潮土作物产量及农田养分平衡的影响[J].草业学报,2009,18(1):9-16.

[33] 金珂旭,王正银,樊地,等.不同钾肥对甘蓝产量、品质和营养元素形态的影响[J].土壤学报,2014,51(6):1369-1377.

[34] 常莹,闫伟平,苏宁,等.不同钾肥施用量对玉米抗倒性能及产量的影响[J].中国土壤与肥料,2014(5):47-52.

[35] 王强盛,甄宏宏,丁艳锋,等.钾对不同类型水稻氮素吸收利用的影响[J].作物学报,2009,35(4):704-710.

(上接第 133 页)

[2] 龚明强,陈国平,杨景,等.几种复合肥对水稻产量及经济效益的影响[J].安徽农业科学,2019,47(13):152-154.

[3] 郑仁兵,李敏,韩上,等.有机肥替代氮肥的水稻产量效应研究[J].安徽农业科学,2017,45(22):32-33,64.

[4] 唐海明,程爱武,徐一兰,等.长期有机无机肥配施对双季稻区水稻干物质积累及产量的影响[J].农业现代化研究,2015,36(6):1091-1098.

[5] 秦建权,冯跃华,叶勇,等.有机无机肥配施对杂交水稻干物质生产、养分吸收及产量形成的影响[J].中国稻米,2017,23(3):59-62.

[6] 杨胜玲,黄兴成,李渝,等.长期有机无机肥配施对水稻生长、干物质积累及产量的影响[J].浙江农业学报,2022,34(9):1815-1825.

[7] 沈洋,张秀双,魏晓敏,等.不同施氮肥处理对水稻植株吸磷量的影响[J].北方水稻,2011,41(5):14-16.

[8] 杜雪.有机和无机氮肥对稻米品质影响的比较[D].沈阳:沈阳农业大学,2016.

[9] 张兰,班雁华,龙智翔,等.不同有机肥料对有机稻米品质的影响[J].安徽农业科学,2013,41(22):9287-9289.

[10] 吴春艳,陈义,许育新,等.长期定位试验中施肥对稻米品质的影响[J].浙江农业学报,2008,20(4):256-260.