

施肥模式对不同基础地力稻田培肥和水稻产量的动态影响

董一漩¹, 屠乃美^{1*}, 魏 征¹, 杨 晶¹, 方畅宇¹, 万熙山¹, 罗志勇², 易 平², 黄晓芳²

(1. 湖南农业大学农学院, 长沙 410128; 2. 湖南省浏阳市农业技术推广中心, 湖南 浏阳 410300)

摘 要:目的: 为了探讨不同施肥模式对水稻产量及土壤肥力的影响, 找到不同肥力水平土壤的最佳施肥模式。方法: 本试验在浏阳市荷花镇(低产田)、达浒镇(高产田), 比较不施肥(T1)、常规施肥(T2)、40%有机肥(T3)和纯化肥(T4)的水稻产量和土壤肥力变化。结果: 施肥处理均能显著提高荷花、达浒两地水稻产量。T2和T3处理能通过增加水稻有效穗数和每穗粒数使水稻产量显著增加。在荷花, T4处理比T1~T3处理分别增产49.8%、2.28%、0.08%; 在达浒, T3处理比T1、T2、T4处理分别增产34.15%、12.43%、8.84%。两地土壤养分含量、肥力综合评价价值均表现出T3处理显著高于其他处理, 且逐年增加。结论: 不施肥会降低水稻产量和土壤肥力。低产田在短年限内农家习惯施肥能显著提高水稻产量和土壤养分, 但长远培肥应该适当加大有机肥的比例; 高产田有机无机肥配施能够达到很好的培肥效果。

关键词: 施肥模式; 水稻; 产量; 土壤养分; 土壤培肥

中图分类号: S511

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2019)02-0013-06

The Dynamic Effects of Fertilization Mode on Fertilization and Rice Yield in Paddy Fields with Different Basic Fertility

DONG Yixuan¹, TU Naimei^{1*}, WEI Zheng¹, YANG Jing¹, FANG Changyu¹, WAN Xishan¹, LUO Zhiyong², YI Ping², HUANG Xiaofang²

(1. College of Agronomy of Hunan Agricultural University, Changsha 410128; 2. Liuyang Agricultural Technology Extension Center, Liuyang 410300, China)

Abstract: Objective of this study was to explore the effects of different fertilization patterns on rice yield and soil fertility, and found the best fertilization patterns on paddy field with different fertility levels. In this study, rice yield and soil fertility changes of non-fertilization (T1), conventional fertilization (T2), 40% organic fertilizer (T3) and pure fertilizer (T4) were compared in Hehua village (low-yielding field) and Dahu village (high-yielding field). Results showed that fertilization treatment significantly improved the yield of rice in Hehua and Dahu. Rice yield of T2 and T3 treatments was significantly increased by increasing the number of effective ears and grains per ear. In Hehua, production of T4 treatment increased by 49.8%, 2.28% and 0.08%, respectively, compared with T1-T3. In Dahu, production of T3 treatment increased by 34.15%, 12.43% and 8.84%, respectively, compared with T1, T2 and T4. The comprehensive evaluation value of soil nutrient content and fertility in both places showed that T3 treatment was significantly higher than that of other treatments, and it increased year by year. In conclusion, not applying fertilizer can reduce rice yield and soil fertility. Conventional fertilization in low-yielding fields can significantly improve rice yield and soil nutrients in a short period of time, but the proportion of organic fertilizer should be appropriately increased in long-term fertilization. The application of organic and inorganic fertilizer in high yield field can achieve good effect of fertilizer cultivation.

Key words: Fertilization pattern; Rice; Production; Soil nutrients; Soil fertilizer

收稿日期: 2018-12-22

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201503123)

作者简介: 董一漩(1993-), 女, 在读硕士, 主要研究作物高产高效栽培。

通讯作者: 屠乃美, 男, 博士, 教授, E-mail: tnm505@163.com

作物产量可分为基础地力产量和施肥产量^[1]。高产田区作物获得高产的潜力较大,低产田区只有在较高施肥水平下才能获得高产^[2]。近年来,为了追求高产,生产上不断加大化学肥料的投入,导致土壤板结、土壤酸化、氮肥利用率下降、农田面源污染加剧等一系列问题^[3]。因此,如何合理施肥、有效培肥引起人们的关注。大量研究表明,有机无机肥配施提高了作物产量、氮素积累量、氮素利用率,促使氮素由茎秆向籽粒运输,对于减少氮素损失、改善土壤环境具有重要意义^[4-6]。因化肥氮在土壤中容易转化为铵态氮和硝态氮,造成氨挥发和硝酸盐淋溶,而有机肥施用能够减少农田氮素的氨挥发、渗漏、径流损失,增加土壤磷库稳态有机磷和高稳态有机磷含量,降低施用化肥而引起的农田面源污染^[7-8]。也有研究认为,有机无机肥配施有利于改善土壤的理化特性,增强土壤微生物多样性和活性,调节土壤养分循环,从而有利于减少肥料的流失,保持农田生态系统较高的生产力^[9-10]。本试验开展不同

基础地力下不同施肥模式对水稻产量及土壤肥力影响的研究,以明确不同肥力土壤的培肥效应及合理培肥方式,为湘东红壤区水稻高效栽培技术体系提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验地点为浏阳市荷花镇牛石岭村、达浒镇书香村2个2013年建立的长期土壤肥力定位监测点。供试土壤为红壤土,供试水稻品种为当地主推品种,耕作制度为一年一熟制。各试验点土壤基础肥力见表1。供试化肥为尿素(N 46%),过磷酸钙(P₂O₅ 12%),氯化钾(K₂O 60%),有机肥为猪粪肥(N: 0.6%、P₂O₅: 0.4%、K₂O: 0.44%),紫云英(N: 0.4%、P₂O₅: 0.1%、K₂O: 0.3%),水稻秸秆(N: 0.6%、P₂O₅: 0.3%、K₂O: 1.1%)。有机肥和磷肥全部作基肥施用,氮钾肥按基肥: 蘖肥: 穗肥=5: 3: 2。腐熟猪粪消毒后翻耕施入,紫云英和秸秆直接翻压还田,耕深约15~20 cm。不同处理施肥量见表2。

表1 荷花、达浒两地土壤基础肥力

地点	pH	有机物(g/kg)	全氮(g/kg)	全磷(g/kg)	全钾(g/kg)	速效氮(mg/kg)	速效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)
荷花	6.45	11.55	0.75	0.6	13.55	84.82	4.12	68.21
达浒	5.65	25.45	1.35	0.84	8.03	155.38	3.65	72.34

表2 肥料施用情况

kg/hm²

处理	无机肥				有机肥		总量		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	猪粪	紫云英	秸秆	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
T1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
T2	171.0	69.0	113.4	1500	—	—	180	75	120
T3	108.0	51.6	42.6	—	12600	3600	180	75	120
T4	180.0	75.0	120.0	—	—	—	180	75	120

1.2 试验设计

每个监测点设4个处理:T1:不施肥;T2:常规施肥(农家习惯施肥);T3:60%化肥+40%有机肥(有机无机肥配施);T4:纯化肥。每个处理小区面积24 m²(6 m×4 m),重复3次,采用随机区组排列。

1.3 测定项目

1.3.1 水稻产量

成熟期每个小区定3点,每个点连续取20穴数有效穗,计算每穴平均有效穗数;选取代表性植株10穴,脱粒后采用水选法计算实粒数、空瘪粒数、结实率和千粒重。取完理论产量的植株样之后各小区全部齐地收割,测定生物产量和稻谷

实际产量。

氮素收获指数(%)=成熟期植株籽粒氮积累总量/植株氮素积累总量×100%;

氮肥农学利用率(kg/kg)=(施氮区产量-不施氮区产量)/施氮量;

氮肥吸收利用率(%)=(施氮区地上部分吸氮量-不施氮区地上部分吸氮量)/施氮量×100%;

氮肥偏生产力(kg/kg)=施氮区产量/施氮量。

1.3.2 土壤养分

用五点采样法于成熟期采集0~20 cm耕层土壤,土样自然风干,磨碎,过筛(20目、60目),测定土壤理化指标。土壤基本养分指标采用常规分析法参照《土壤农化分析》^[11]测定。

1.3.3 土壤综合肥力值

用内梅罗指数法计算。

(1)分肥力系数 IFI_i 的计算

$$IFI_i = \begin{cases} X/X_a & X \leq X_a \\ 1 + (X - X_a)/(X_c - X_a) & X_a < X \leq X_c \\ 2 + (X - X_c)/(X_p - X_c) & X_c < X \leq X_p \\ 3 & X > X_p \end{cases}$$

式中, IFI_i :分肥力系数; X :该属性测定值, X_a 与 X_p :分级标准下、上限; X_c :介于分级标准下、上

限间,属性值分级标准(X_a 、 X_c 、 X_p)主要参考第二次全国土壤普查标准(表3)。

(2)采用内梅罗公式计算土壤综合肥力

$$IFI = \sqrt{\frac{(IFI_{i\text{平均}})^2 + (IFI_{i\text{最小}})^2}{2}} \times \left(\frac{n-1}{n}\right)$$

式中: IFI :土壤综合肥力; $IFI_{i\text{平均}}$ 与 $IFI_{i\text{最小}}$ 最小:土壤各属性分肥力均值与最小值; n :评价指标个数。

试验数据采用 Microsoft Excel 2013 和 SPSS 19.0 软件进行处理和统计分析。

表3 土壤各属性分级标准

分级	有机质(g/kg)	碱解氮(mg/kg)	速效钾(mg/kg)	有效磷(mg/kg)
X_a	10	60	40	3
X_c	20	120	100	10
X_p	30	180	150	20

2 结果与分析

2.1 不同施肥模式对水稻氮素吸收与利用的影响

由表4可知,荷花、达浒两地各施肥处理地上部器官的氮含量及氮积累量均高于对照(T1),不同施肥模式间水稻地上部各器官的氮含量及氮积累量存在差异。在荷花,T3、T4处理籽粒的氮含量

分别比T1高0.18%、0.14%。T2~T4处理稻草的氮含量分别比T1高0.02%、0.15%、0.11%,地上部氮素积累量分别比T1高22.34 kg/hm²、52.03 kg/hm²、53.99 kg/hm²;在达浒,T2~T4处理籽粒氮含量分别比T1高0.35%、0.30%、0.33%,稻草氮含量分别比T1高0.09%、0.45%、0.29%,地上部氮素积累量分别比T1高46.41 kg/hm²、85.70 kg/hm²、57.04 kg/hm²。可见,施肥处理在一定程度上提高了水稻植株地上部氮含量和氮素积累量。

表4 2017年地上部器官氮素含量及其积累量

地点	处理	成熟期氮含量(%)		地上部氮素积累量(kg/hm ²)		
		稻草	籽粒	稻草	籽粒	总积累量
荷花	T1	0.58	1.01	43.36	54.54	97.90
	T2	0.60	0.94	45.89	74.35	120.24
	T3	0.73	1.19	60.80	89.13	149.93
	T4	0.69	1.15	58.85	93.04	151.89
达浒	T1	0.44	1.12	40.19	82.32	122.51
	T2	0.53	1.47	40.00	128.92	168.92
	T3	0.89	1.42	68.19	140.01	208.21
	T4	0.73	1.45	48.32	131.23	179.55

注:表中数据均为平均值,下同

氮肥吸收利用率是作物所能吸收利用氮养分的比率。由表5可知,荷花的氮肥吸收利用率以T4处理最高(29.99%),达浒以T3处理最高(47.61%);其余处理氮肥吸收利用率:荷花T3>T2,达浒T4>T2。氮肥农学利用率反映了单位施氮

量下作物所增加的籽粒产量。荷花、达浒两地的氮肥农学利用率均以T4处理最高,荷花为14.94 kg/kg,达浒为13.94 kg/kg;其余处理氮肥农学利用率:荷花T2>T3,达浒T3>T2。氮肥偏生产力反映单位施氮量对产量的贡献情况。荷花氮肥偏生产力以T4处理最高(44.94 kg/kg),达浒以T3处理最

高(54.78 kg/kg);其余处理氮肥偏生产力:荷花 T2>T3,达浒 T4>T2。氮素收获指数是指氮素在植株器官间的分配情况。荷花、达浒两地氮素收获指数均以 T2 处理最高;其余处理氮素收获指数两地均表

表 5 2017 年不同施肥模式对水稻氮素利用率的影响

地点	处理	吸氮总量 (kg/hm ²)	肥料氮 (kg/hm ²)	氮肥吸收利用率 (%)	氮肥农学利用率 (kg/kg)	氮肥偏生产力 (kg/kg)	氮素收获指数 (%)
荷花	T1	97.900	0	—	—	—	55.71
	T2	120.244	180	12.41	13.94	43.94	61.84
	T3	149.931	180	28.91	11.61	41.61	59.45
	T4	151.885	180	29.99	14.94	44.94	61.25
达浒	T1	122.510	0	—	—	—	67.19
	T2	168.919	180	25.78	7.89	48.72	76.32
	T3	208.210	180	47.61	9.44	54.78	67.25
	T4	179.550	180	31.69	13.94	50.28	73.09

现为 T4>T3>T1。

2.2 不同施肥模式对水稻产量及产量构成的影响

从表 6 可知,与对照相比,施肥处理显著增加了每穗粒数和有效穗数。在荷花,每穗粒数以 T3 处理最多(177.29 粒/穗),有效穗数以 T2 处理最多(241.21 万穗/hm²);在达浒,每穗粒数、结实率均

以 T2 处理最大,有效穗数以 T3 处理最多(252.77 万穗/hm²)。荷花、达浒两地施肥处理的理论产量和实际产量均显著高于 T1。在荷花,T2~T4 处理理论产量分别比 T1 高 46.48%、38.70%、49.81%,实际产量分别比 T1 高 55.13%、47.22%、58.12%。在达浒,T2~T4 处理理论产量分别比 T1 高 19.32%、34.15%、23.13%,实际产量分别比 T1 高 24.70%、

表 6 2017 年不同施肥方式对水稻产量及其构成因素的影响

地点	处理	千粒重(g)	每穗粒数(粒/穗)	结实率(%)	有效穗数(万穗/hm ²)	理论产量(t/hm ²)	实际产量(t/hm ²)
荷花	T1	27.79b	155.99c	64.48	193.34c	5.40d	4.68c
	T2	28.24ab	167.40b	69.37	241.21a	7.91b	7.26ab
	T3	27.55b	177.29a	73.67	208.07b	7.49c	6.89b
	T4	28.56a	164.65b	75.34	228.33b	8.09a	7.40a
达浒	T1	27.45b	154.31b	77.95	225.48b	7.35c	6.56c
	T2	27.85a	168.67a	82.62	225.95b	8.77b	8.18b
	T3	28.52a	168.29a	81.24	252.77a	9.86a	9.06a
	T4	27.91a	160.35ab	80.57	250.98 a	9.05ab	8.45b

注:同列不同小写字母表示显著性差异水平(P<0.05),下同

38.11%、28.81%。

2.3 不同施肥模式对土壤养分的影响

由表 7 可知,荷花、达浒两地各施肥处理土壤养分含量整体趋势是逐年增加。荷花土壤碱解氮含量在 2013~2015 年表现出 T2>T1>T4>T3,在 2016~2017 年表现出 T3>T4>T2>T1。可见,低产田在短时间内施用 5% 腐熟性有机肥(T2)对提高土壤肥力优于 40% 有机肥(T3)。达浒土壤碱解氮含量在 2013~2015 年表现出 T4>T3>T2>T1,在 2016 年表现出 T3>T4>T2>T1,在 2017 年表现出 T3>T2>T4>T1。随年限的延长,有机肥养分被微生物分解逐步释放和持续的输入,使土壤碱解氮含

量不断增加。到 2017 年,荷花 T3 处理碱解氮含量分别比 T1~T4 提高了 20~47 mg/kg、22~36 mg/kg、6~13 mg/kg,达浒 T3 处理碱解氮含量分别比 T1~T4 提高了 16~23 mg/kg、9~14 mg/kg、12~16 mg/kg。荷花、达浒两地土壤有机质含量变化与碱解氮含量变化大体一致,均以 T3 处理较高。到 2017 年,荷花 T3 处理有机质含量分别比 T1~T4 提高了 2~12 g/kg、0.7~7.8 g/kg、1.9~2.5 g/kg,达浒 T3 处理有机质含量分别比 T1~T4 提高了 2.6~6.2 g/kg、1.5~5.6 g/kg、1.4~7.7 g/kg。荷花、达浒两地土壤速效钾、有效磷含量变化与有机质、碱解氮含量变化总体一致。

表 7 不同施肥模式对水稻土壤养分的影响

年份	处理	荷花				达浒			
		碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	有机质 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	有机质 (g/kg)
2013	T1	83b	5.2a	39ab	12.7b	155d	2.3c	49c	22.3c
	T2	95a	3.8c	38b	11.9c	167c	3.8c	50c	23.9b
	T3	64d	4.2b	39ab	14.5a	179b	6.3a	58a	27.8a
	T4	71c	4.3b	41a	12.4b	191a	4.2b	55b	20.1d
2014	T1	85b	5.6a	40c	12.8b	158c	3.5d	70a	23.4b
	T2	97a	4.2c	42b	12.2c	162b	3.7c	70a	23.6b
	T3	66d	4.5b	44a	14.8a	179a	5.1a	63b	29.2a
	T4	78c	4.4b	39c	12.9b	181a	4.5b	60c	22.1c
2015	T1	88a	8.0c	44a	12.9c	155d	24.4c	62bc	23.3c
	T2	89a	10.4b	45a	11.8d	158c	27.5b	81a	24.1b
	T3	68c	14.2a	42b	15.1a	173b	30.3a	78a	29.5a
	T4	75b	10.0b	41bc	13.2b	177a	24.1c	61b	22.7d
2016	T1	82c	11.4b	53b	16.6a	171b	27.1a	73b	28.5b
	T2	98b	14.6a	56b	12.8b	173b	30.3a	95a	28.9b
	T3	118a	12.0b	56b	20.6a	187a	30.1a	99a	31.1a
	T4	112a	16.0a	64a	18.3a	175b	25.7a	91a	29.3b
2017	T1	64d	10.7ab	43b	11.4b	154b	23.7b	76b	29.5b
	T2	89c	13.7a	55b	22.7a	168ab	25.8ab	94a	27.7b
	T3	111a	15.6a	57b	23.4a	177a	23.9b	98a	30.6a
	T4	98b	13.4a	62a	20.9ab	161ab	29.7a	90a	29.2b

2.4 不同施肥模式下荷花、达浒两地土壤综合肥力值

由图 1 可知,荷花土壤综合肥力值整体低于达浒,达浒各年限都以 T3 处理最高。2013 ~ 2015 年达浒土壤综合肥力值表现为: T3>T4>T2>T1, 2016 ~ 2017 年表现为: T3>T2>T4>T1。荷花各年限都以 T2、T4 处理土壤综合肥力值较高,2013 ~

2015 年表现为: T2>T4>T3>T1, 2016 ~ 2017 年表现为: T4>T2>T3>T1。到 2017 年,荷花 T2 ~ T4 处理 IFI 值分别比 T1 高 0.23、0.19、0.11;达浒 T2 ~ T4 处理 IFI 值分别比 T1 高 0.19、0.21、0.11。在一定年限内,少量有机肥(T2)的施用可较快促进低产田(荷花)的土壤肥力增加,而 40% 有机肥(T3)的施用对高产田(达浒)土壤肥力的提升有显著促进作用。

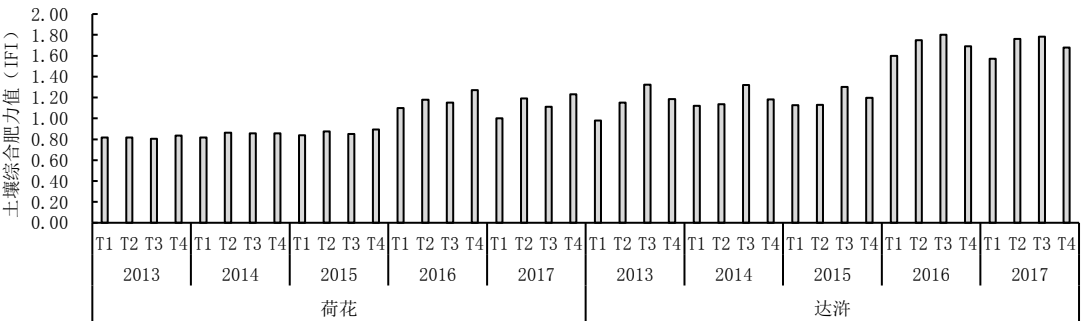


图 1 2013 ~ 2017 年荷花、达浒两地土壤综合肥力值

3 讨论与结论

3.1 不同施肥模式对水稻植株养分和产量的影响

氮是植株体内的重要元素之一,是与产量最密切相关的营养元素。徐明岗^[12]、魏静等^[13]研究表明,与单施化肥相比,化肥有机肥配合施用能

够明显增加水稻的氮素吸收量,提高氮肥农学效率、氮肥吸收利用率和氮肥偏生产力。本试验证实了这一研究结果。本试验中,荷花、达浒两地有机无机肥配施处理的地上部分氮素总积累量、稻草积累量均高于其他处理,可能因为在水稻生长前期有机肥养分释放慢且少,导致后期氮素在秸秆中积累较多^[8]。低产田(荷花)水稻籽粒氮素积累纯化肥处理高于有机无机肥配施,而高产田(达浒)则相反。可见,低产田区纯化肥处理中的氮素营养较多向籽粒中转移并积累。刘晓霞等^[14]认为,施肥有效提高了水稻产量,但纯化肥处理和有机无机配施增产效果差异不明显。而黄晶等^[15]认为,长期不施肥水稻产量随年限增加变化不大,纯化肥处理产量呈下降趋势,有机无机肥配施能维持产量稳定但无显著变化。试验中纯化肥处理明显提高两地水稻产量,有机无机肥配施对高产田(达浒)产量提高较明显。无机肥料肥效较快,易被作物吸收利用,适用于低产田;而有机肥肥效慢,配施无机肥料,既可满足作物前期生长发育需求,又可在后期快速释放养分供给作物需求,获得高产^[16]。荷花、达浒两地纯化肥处理成穗率低、空壳率高、产量低,可能因为单施化肥稻株生长前期氮素吸收过量而后期不足,导致水稻碳氮比失调^[17]。试验中有机无机肥配施提高了每穗总粒数(荷花)、有效穗数(达浒)。王秋君^[18]研究认为,有机肥与无机肥配施能提高有效穗数和穗粒数。顾巍巍等^[19]则认为,有机肥与无机肥配施有助于提高成穗率和结实率。笔者认为可能因为试验选取品种、种植区域、土壤肥力的差异导致研究结果不同。

3.2 不同施肥模式对水稻土壤养分的影响

荷花、达浒两地各施肥处理土壤养分含量整体趋势是逐年增加,有机无机肥配施处理养分增加幅度明显高于其他两个处理。这与刘晓霞等^[14]、王莉等^[20]的研究结果相似。短年限内,荷花低产田土壤养分增加幅度表现为农家习惯施肥(T2)>纯化肥(T4)>有机无机肥配施(T3)>不施肥(T1)。说明在低产田腐熟猪粪能够快速培肥土壤。较长年限内,荷花、达浒两地的土壤养分的增加幅度均是有机无机肥配施最高。纯施化肥处理的氮在作物生长前期供应充足,且大量的无机氮还可能被地表径流和淋溶等作用带走,后期养分供应不足,而有机肥的配施可以使有机肥矿化,产生大量的可用态养分,供给作物后期生长利用^[21]。

4 结 论

施肥处理能够显著提高水稻产量和土壤养分。有机无机肥配施处理通过增加有效穗数和穗粒数提高水稻产量。短年限内,在低产田施用腐熟猪粪对土壤培肥效果较好,但随着年限的增加,无论高、低产田有机无机肥配施处理的土壤养分、土壤综合肥力值逐年递增,并高于其他处理。因此,从可持续发展角度出发,无论高、低产田有机无机肥配合施用的施肥模式培肥地力的效果最好。

参考文献:

- [1] 郭熙盛,张辛未,叶舒娅.稻田地力贡献与合理施肥[J].安徽农业科学,1994,22(1):41-44.
- [2] 张 军,张洪程,段祥茂,等.地力与施氮量对超级稻产量、品质及氮素利用率的影响[J].作物学报,2011,37(11):2020-2029.
- [3] 张奇春,王光火.长期不同施肥下杂交水稻与常规稻的产量与土壤养分平衡[J].植物营养与肥料学报,2006,12(3):340-345.
- [4] 李冬初,李菊梅,徐明岗,等.有机无机肥配施对红壤稻田氮素形态及水稻产量的影响[J].湖南农业科学,2004,31(3):23-25.
- [5] 张发明,毛昆明,刘宏斌,等.不同量有机肥与化肥配施对水稻氮素吸收利用的影响[J].云南农业大学学报,2011,26(5):694-699.
- [6] 孙永健,孙园园,刘树金,等.水分管理和氮肥运筹对水稻养分吸收、转运及分配的影响[J].作物学报,2011,37(12):2221-2232.
- [7] 刘汝亮,张爱平,李友宏,等.长期配施有机肥对宁夏引黄灌区水稻产量和稻田氮素淋失及平衡特征的影响[J].农业环境科学学报,2015,34(5):947-954.
- [8] 李菊梅,徐明岗,秦道珠,等.有机肥无机肥配施对稻田氮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.
- [9] Conacher J, Conacher A. Organic farming and the environment, with particular reference to Australia: A review[J]. Biological Agriculture & Horticulture, 1998, 16(2): 145-171.
- [10] 邵兴华,张建忠,夏雪琴,等.长期施肥对水稻土酶活性及理化特性的影响[J].生态环境学报,2012,21(1):74-77.
- [11] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000:25-108.
- [12] 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.
- [13] 魏 静,郭树芳,翟丽梅,等.有机无机肥配施对水稻氮素利用率与氮流失风险的影响[J].土壤,2018(5):874-880.
- [14] 刘晓霞,陆若辉,戴佩彬,等.化肥与有机肥长期配施对水稻产量和土壤肥力的影响[J].浙江农业科学,2018,59(5):

潜力,但其对于水稻立枯病的防控效果有待于进一步在生产实践中证实。在水稻育秧期,公主岭霉素的施用为水稻整个生育期的长势、病害的防控及稳产高产打下良好基础,具有良好的应用和推广价值。生产中为了达到更好的效果,以不同的用药方式协同施用或与市售药剂的协同施用值得进一步研究。另外,利用公主岭霉素与无机N、P、K等营养元素复配成水稻秧田生物药肥,既可利用公主岭霉素对植物病原菌的直接拮抗作用控制育秧田植物病原菌的种群数量,又可发挥公主岭霉素对植物的免疫诱抗活性,提高幼苗的秧苗素质,同时保证水稻苗期生长充足的养分供应,公主岭霉素与化学肥料复配应用于水稻早育苗生产也将是公主岭霉素服务于农业生产的又一生长点。

参考文献:

- [1] Zhang Y P, Xiong D F, Zhu H. Development and transition of rice planting in China[J]. Agriculture Science & Technology, 2012, 13(6): 1271-1276.
- [2] 朱德峰,陈惠哲,徐一成,等.我国双季稻生产机械化制约因子与发展对策[J].中国稻米,2013,19(4):1-4.
- [3] 高菊生,黄晶,董春华,等.长期有机无机肥配施对水稻产量及土壤有效养分影响[J].土壤学报,2014,51(2):314-324.
- [4] 黄洪明,吴美娟,汪暖,等.不同基质育秧对水稻机插秧苗素质和产量的影响[J].中国农学通报,2014,30(15):163-167.
- [5] 程苗,丁伟,王怀彪.复合微生物对水稻立枯病抑菌作用及田间应用效果研究[J].东北农业大学学报,2015,46(7):22-27.
- [6] 张振鲁,杜茜,周幸,等.不吸水链霉菌公主岭变种769原生质体制备条件初探[J].中国农学通报,2013,29(9):155-158.
- [7] 张红丹,杜茜,张正坤,等.放线菌769抑菌谱及液体培养生长曲线的测定[J].中国植保导刊,2010,30(7):5-9.
- [8] 胡吉成.公主岭霉素的研究[M].长春:吉林科学技术出版社,2006:395.
- [9] 何文洪,陈惠哲,朱德峰,等.不同播种量对水稻机插秧苗素质及产量的影响[J].中国稻米,2008(3):60-62.
- [10] 朱久正,王妮敏,梁婵娟.微囊藻毒素对不同生育期水稻生长的影响[J].安全与环境学报,2017,17(5):1890-1894.
- [11] 潘业兴,刘玉兰,范文忠.水稻苗期低温处理对水稻生长性状及产量的影响研究[J].中国稻米,2008(5):44-45.
- [12] 萧长亮,赵泽松,王贺,等.育苗基质对水稻秧苗素质及产量的影响[J].北方水稻,2012,42(4):23-25.
- [13] 杜茜,初佳芮,汪洋洲,等.不吸水链霉菌公主岭新变种对大豆生长和产量的影响[J].安徽农业科学,2018,46(6):130-132,161.
- [14] 王秋君.稻麦轮作系统中施用有机无机复混肥对作物生长及土壤肥力的影响[D].南京:南京农业大学,2012.
- [15] 黄晶,高菊生,张杨珠,等.长期不同施肥下水稻产量及土壤有机质和氮素养分的变化特征[J].应用生态学报,2013,24(7):1889-1894.
- [16] 郝小雨,高伟,王玉军,等.有机无机肥料配合施用对设施番茄产量、品质及土壤硝态氮淋失的影响[J].农业环境科学学报,2012,31(3):538-547.
- [17] 杨德海,屠启澍.有机肥与化肥配施对水稻养分平衡的研究[J].土壤通报,1990(4):155-157.
- [18] 王秋君.稻麦轮作系统中施用有机无机复混肥对作物生长及土壤肥力的影响[D].南京:南京农业大学,2012.
- [19] 顾巍巍,顾树平,张强,等.有机无机配施对水稻产量及产量构成因素的影响[J].上海农业学报,2015,31(6):95-100.
- [20] 王莉,高淑青,李梦瑶,等.长期有机无机肥配施对黑土养分特征的影响[J].吉林农业科学,2015,40(3):54-58,91.
- [21] 许小伟,樊剑波,陈晏,等.不同有机无机肥配施比例对红壤旱地花生产量、土壤速效养分和生物学性质的影响[J].生态学报,2014,34(18):5182-5190.