

优化施肥条件下有机肥部分替代化肥对水稻产量、养分吸收及转运的影响

尹彩侠¹, 孔丽丽¹, 李前¹, 侯云鹏¹, 秦裕波¹, 王蒙¹, 刘志全^{1*}, 高明^{2*}

(1. 吉林省农业科学院农业资源与环境研究所/农业农村部东北植物营养与农业环境重点实验室, 长春 130033; 2. 吉林省农业科学院农业经济与信息研究所, 长春 130033)

摘要: 针对吉林省西部水稻丰产区化肥施用量大、养分投入不均衡、肥料利用率低、有机质含量下降等问题, 通过连续2年(2018~2019)田间试验, 研究在优化施肥(较常规施肥减少肥料用量25%)的条件下有机肥部分替代化肥氮对水稻产量、养分吸收利用、肥料利用效率及养分转运效率的影响。研究结果表明, 2018~2019年优化施肥各处理水稻产量没有因减少肥料用量而减产, 且有小幅度的增产, 其中以有机肥氮替代化肥氮10%(M+90%N)处理产量最高, 较常规施肥(FP)处理增产幅度分别为4.5%和5.6%, 达显著水平, 肥料净收益增加1609元/hm²。优化施肥各处理的肥料利用效率也均高于常规施肥处理, 以M+90%N处理表现最好, 与FP相比, M+90%N处理的肥料农学利用率分别提高了28.1%和16.2%, 肥料偏生产力分别提高了28.9%和17.3%, 肥料利用率分别提高了25.7%和29.7%。与常规施肥相比, 优化施肥各处理增加了水稻氮、磷、钾养分积累量, 提高了养分吸收利用及转运效率。

关键词: 水稻; 有机肥; 替代; 产量; 养分吸收; 转运

中图分类号: S511

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2020)06-0059-05

Effects of Partial Substitution of Chemical Fertilizer with Organic Manure on Rice Yield, Nutrients Absorption and Translocation under Optimized Fertilization

YIN Caixia¹, KONG Lili¹, LI Qian¹, HOU Yunpeng¹, QIN Yubo¹, WANG Meng¹, LIU Zhiquan^{1*}, GAO Ming^{2*}

(1. *Institute of Agricultural Resources and Environment, Jilin Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Plant Nutrition and Agro-Environment in Northeast Region, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, P.R. China, Changchun 130033*; 2. *Institute of Agricultural Economy and Information, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, China*)

Abstract: Aiming at the problems of large amount of fertilizer application, unbalanced nutrient input, low fertilizer utilization efficiency and declined organic matter content in the rich producing areas of rice in the west of Jilin Province, a field experiment was conducted to study the effects of partial substitution of chemical fertilizer with organic manure on rice yield, nutrients absorption and translocation, fertilizer utilization efficiency and nutrient translocation efficiency under optimized fertilization (Reduced fertilizer use by 25% compared to conventional fertilization) from 2018 to 2019. The research showed that rice yield under optimum application was improved slightly by reducing fertilizer amount. When 10% of the nitrogen fertilizer was replaced by organic fertilizer (M+90%N), rice yield arrived at the highest value with the increment of 4.5% and 5.6% than conventional fertilization (FP) treatment, and there was significant difference in rice yield. Net income of fertilizer was increased by 1609 yuan/ha. The efficiency of optimum fertilization was also higher than that with FP treatment, and M+90%N treatment was the best. Compared with FP treatment, fertilizer agronomic efficiency, fertilizer partial factor productivity and fertilizer utilization efficiency with M+90%N treatment were increased by 28.1% and 16.2%, 28.9% and 17.3%, 25.7% and 29.7%, re-

收稿日期: 2019-10-13

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0200200)

作者简介: 尹彩侠(1978-), 女, 副研究员, 硕士, 主要从事农业资源高效利用研究。

通讯作者: 刘志全, 男, 硕士, 研究员, E-mail: zhqliu888@sina.com

高明, 男, 副研究员, E-mail: gaoming1976@126.com

spectively. Optimum application treatments improved N, P, K accumulations of rice, nutrient absorption and utilization and translocation efficiency compared to FP treatment.

Key words: Rice, Organic manure, Substitution, Yield, Nutrient absorption, Translocation

吉林省前郭县为吉林省西部水稻丰产区,水稻种植面积5.13万 hm^2 ,占全县粮食作物总种植面积的30%,因此水稻在粮食安全生产中占有重要地位。近年来,该地区化肥的使用量不断增长,远远大于水稻生长期对养分的需求,肥料的过量使用不仅造成了资源的浪费,大大降低了肥料利用效率,也给环境带来了负效应,如何在保持水稻稳产增产的情况下适量降低化肥的投入量是该地区需要解决的问题。我国有机肥总养分约7 000多万吨,实际利用不足40%,资源严重浪费^[1]。研究表明,适当施用有机肥可有效提高水稻产量^[2-3]。目前,已有大量有关有机肥与无机肥配施对作物生长和产量影响的报道,但大多数都是在化学肥料用量的基础上增施有机肥,不计算有机肥的养分含量,本项研究是在常规施肥条件下大幅度降低化肥用量(优化施肥)的基础上利用有机肥中的氮部分替代化肥氮,系统地研究有机肥对水稻产量、养分吸收利用的影响,为水稻化肥减量增效工程提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验于2018~2019年在吉林省前郭县白依拉嘎乡红光农场村进行,试验田为水稻连作区,供试土壤为草甸土,0~20 cm耕层土壤基础肥力状况为:碱解氮131.4 mg/kg,速效磷28.3 mg/kg,速效钾115 mg/kg,有机质29.7 g/kg,pH 7.1。

1.2 试验材料与 设计

试验设6个处理,分别为不施肥(CK)、常规施肥(FP)、优化施肥(OPT,较FP减氮13%,减钾12%)、优化施肥下有机肥氮替代化肥氮10%(M+90%N)、优化施肥下有机肥氮替代化肥氮20%(M+80%N)、优化施肥下有机肥氮替代化肥氮30%(M+70%N)。M+90%N、M+80%N和M+70%N处理的氮、磷、钾肥总用量与OPT处理相同,有机肥所含的磷、钾养分不足时用化学磷、钾来补足。小区面积30 m^2 ,3次重复,随机排列。供试水稻品种为吉粳302,种植密度17万穴/ hm^2 。试验用氮肥为普通尿素(N 46%),磷肥为重过磷酸钙(P_2O_5 46%),钾肥为硫酸钾(K_2O 50%)。有机肥为鸡粪(N 1.91%, P_2O_5 2.68%, K_2O 3.09%,有机质 \geq

45%)。

常规施肥处理(FP)氮肥施用方式为基肥:返青:分蘖初期:分蘖盛期:抽穗=30%:10%:20%:25%:15%,磷、钾肥全部于整地时一次性施入。优化施肥各处理氮肥施用方式为基肥:返青:分蘖:抽穗=30%:15%:45%:10%,钾肥施用方式为基肥:抽穗=70%:30%,所有磷肥、有机肥全部于整地时一次性施入。具体施肥量见表1。

表1 试验处理及肥料用量

处理	肥料用量(kg/hm^2)					
	化肥N	有机N	P_2O_5	有机P	K_2O	有机K
CK	0	0	0	0	0	0
FP	230	0	90	0	125	0
OPT	200	0	90	0	110	0
M+90%N	180	20	62	28	78	32
M+80%N	160	40	34	56	45	65
M+70%N	140	60	6	84	13	97

1.3 样品采集

分别于水稻返青期、分蘖期、抽穗期、灌浆期和成熟期采集植株样品,每小区选取有代表性的植株3穴(返青期30穴),灌浆期和成熟期的植株样品分为茎叶和籽粒两部分。样品于105 $^{\circ}\text{C}$ 杀青30 min后,80 $^{\circ}\text{C}$ 烘干至恒重,样品粉碎后,测定氮、磷、钾养分含量。成熟期每个小区选取5穴水稻对产量构成因素进行调查,并且各小区均收获5 m^2 水稻进行测产,按14.5%水分折算产量。

1.4 数据分析与计算方法

肥料农学利用率(kg/kg)=(施肥处理籽粒产量-不施肥处理籽粒产量)/施肥量

肥料偏生产力(kg/kg)=施肥区产量/施肥量

肥料利用率(%)=[(施肥区地上部总养分吸收量-不施肥区地上部总养分吸收量)/施肥量] $\times 100$

转运量(kg/hm^2)=抽穗期养分累积量-成熟期营养体养分累积量

转运率(%)=(养分转运量/抽穗期营养体养分累积量) $\times 100$

养分转运对籽粒的贡献率(%)=(养分转运量/成熟期籽粒养分累积量) $\times 100$

采用Microsoft Excel 2010软件对数据进行处理和作图,SAS 9.0软件进行方差分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对水稻产量构成因素的影响

表2表明,与不施肥(CK)相比,施用肥料可显著提高水稻的有效穗数和穗粒数,但千粒重与CK间的差异不显著。施用有机肥较常规施肥(FP)可以有效增加水稻的有效穗数,两年平均增加水稻有效穗数0.9万~12.5万穗,但施用有机肥处理的水稻结实率与千粒重与FP处理间差异不显著($P>0.05$)。

表2 不同施肥处理对水稻产量及产量构成因素的影响

年份	处理	有效穗数 (万穗/hm ²)	穗粒数 (粒/穗)	结实率 (%)	千粒重 (g)
2018	CK	285.6b	110.6c	97.0a	21.2a
	FP	380.8a	147.1a	87.1b	18.9a
	OPT	387.6a	135.7ab	92.4ab	19.9a
	M+90%N	400.8a	137.6ab	91.3ab	19.7a
	M+80%N	397.1a	133.2b	90.8ab	19.5a
	M+70%N	400.0a	129.1b	89.6b	20.8a
2019	CK	294.0b	95.2c	96.8a	25.3a
	FP	365.6a	120.0b	94.2a	23.7a
	OPT	361.4a	124.0ab	94.7a	24.3a
	M+90%N	370.5a	128.8a	96.9a	23.2a
	M+80%N	351.0a	129.3a	94.2a	24.2a
	M+70%N	360.5a	130.7a	92.9a	23.1a

注:不同小写字母表示处理间差异达5%显著水平,下同

2.2 不同施肥处理对水稻肥料利用效率的影响

由表3可以看出,优化施肥各处理的水稻肥料农学利用率和肥料偏生产力均显著高于FP处

表3 不同施肥处理对肥料利用效率的影响

年份	处理	肥料农学利 用率(kg/kg)	肥料偏生产 力(kg/kg)	肥料利用率 (%)
2018	CK	—	—	—
	FP	6.4b	21.0b	32.7b
	OPT	8.1a	24.2a	40.9a
	M+90%N	8.2a	24.4a	41.1a
	M+80%N	7.9a	24.0a	38.1a
	M+70%N	7.9a	24.0a	33.7b
2019	CK	—	—	—
	FP	7.6b	22.6b	33.0b
	OPT	9.3a	26.0a	41.3a
	M+90%N	9.8a	26.5a	42.8a
	M+80%N	8.9a	25.6a	37.7ab
	M+70%N	8.9a	25.5a	30.5b

理($P<0.05$)。2018年各处理的肥料农学利用率和肥料偏生产力分别较FP处理提高了23.4%~28.1%和14.3%~16.2%,2019年分别提高了17.1%~28.9%和12.8%~17.3%。2018年和2019年(除M+70%N)优化施肥各处理的肥料利用率较FP处理分别提高了3.1%~25.7%和14.2%~29.7%。其中以M+90%N处理的肥料农学利用率、肥料偏生产力、肥料利用率提高幅度最显著,其次为OPT处理。

2.3 不同施肥处理对水稻氮、磷、钾养分累积的影响

图1结果表明,施肥各处理水稻氮、磷、钾养分积累量显著高于不施肥(CK)处理。返青期各处理氮、磷、钾养分积累量相近基本上无差异,分蘖期至抽穗期氮、磷、钾养分积累量呈快速增长趋势,随后缓慢上升直至成熟期,年际间各生育期的差异不显著。2年结果表明,成熟期M+90%N处理的氮、磷、钾养分积累量最高,分别为170.0、41.4、192.6 kg/hm²,较FP处理分别增加了4.6%、13.4%、5.1%,其次为OPT和M+80%N处理,但与FP处理间差异不显著。说明在优化施肥条件下,有机肥适量替代化肥能够协调水稻对氮、磷、钾养分的吸收与转化,有利于籽粒的形成。

2.4 不同施肥处理对水稻营养器官养分转运的影响

表4结果表明,施肥可以提高水稻营养器官氮、磷、钾养分转运量和转运率。在氮、磷、钾养分对籽粒的贡献中,氮的贡献率最高(60.4%~88.0%),其次为磷(44.5%~86.8%),钾的贡献率最低(21.4%~48.2%)。优化施肥各处理(M+70%N除外)氮的转运量和转运率均高于FP处理,其中M+90%N处理最高,分别较FP处理提高了18.8%和10.8%,达到显著水平($P<0.05$),较OPT分别提高了11.9%和3.3%,但差异不显著。M+80%N和M+70%N处理与FP处理间差异不显著。优化施肥各处理磷和钾的转运量和转运率与氮的转运趋势相同,也均高于FP处理,其中M+90%N处理最高,达到显著水平。可见,在优化施肥条件下,有机肥适量替代化肥可以促进氮、磷、钾养分向籽粒的转移,达到增加水稻产量的效果。

2.5 不同施肥处理水稻产量及经济效益分析

表5结果表明,与常规施肥(FP)相比,优化施肥各处理(OPT、M+90%N、M+80%N、M+70%N)的水稻产量2018年和2019年均提高了3.0%~4.5%和1.8%~5.6%,其中以有机肥替代化肥氮10%

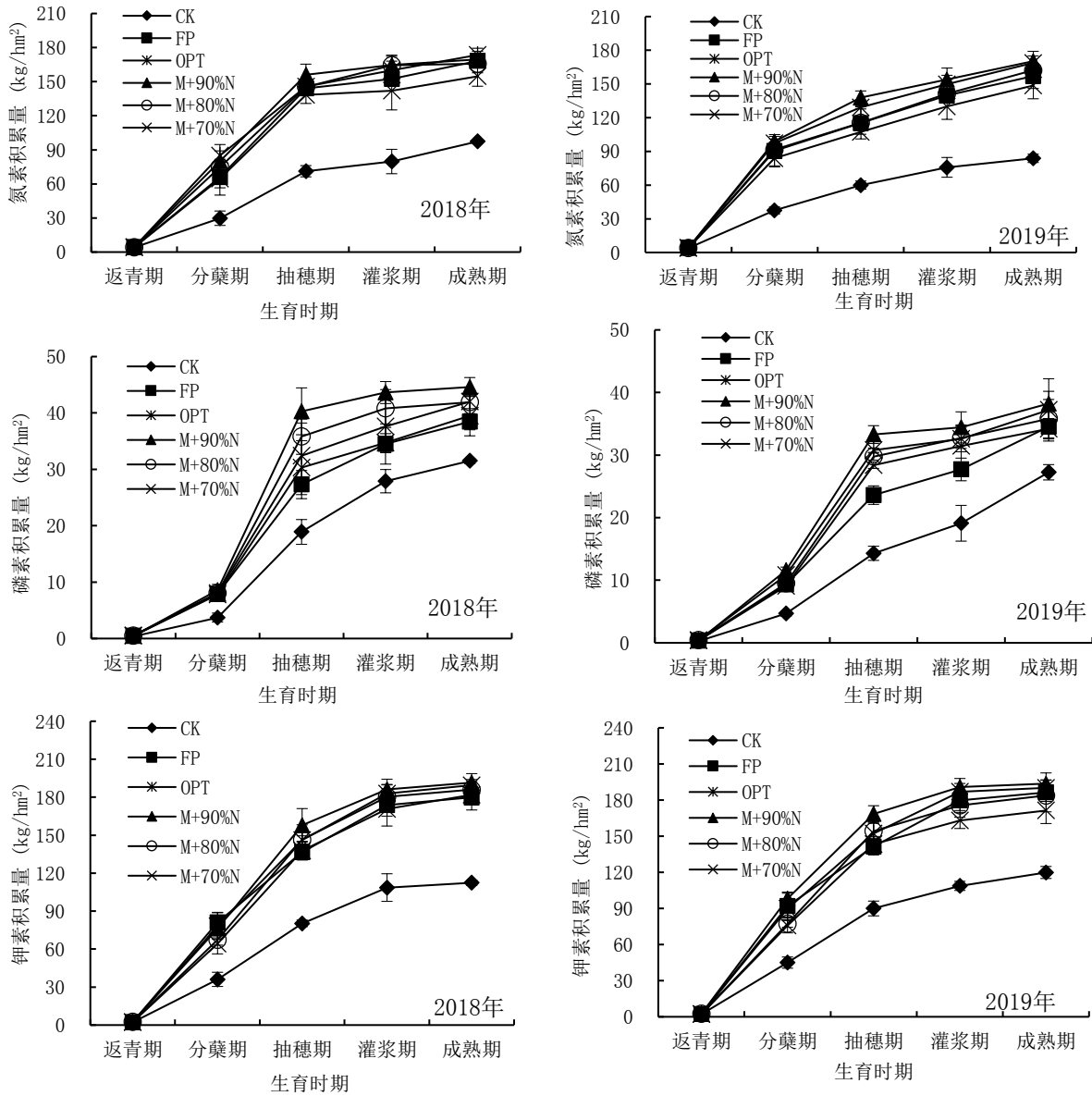


图1 不同施肥处理水稻各生育期氮、磷、钾积累动态变化

表4 不同施肥处理植株养分转运特征

项次		处理					
		CK	FP	OPT	M+90%N	M+80%N	M+70%N
N	转运量(kg/hm ²)	39.7c	82.6b	87.7ab	98.1a	85.7ab	78.4b
	转运率 (%)	55.6b	56.7b	60.8a	62.8a	58.9ab	56.5b
	养分贡献率(%)	60.4c	74.7b	78.6b	88.0a	81.0ab	83.1ab
P ₂ O ₅	转运量 (kg/hm ²)	10.0c	11.6bc	19.2ab	26.1a	22.2a	17.1b
	转运率 (%)	48.8bc	42.2c	52.6b	64.6a	61.8a	55.5ab
	养分贡献率(%)	44.5d	51.0c	63.5bc	86.8a	78.1ab	66.4b
K ₂ O	转运量(kg/hm ²)	11.9c	13.2c	22.1b	31.1a	24.9b	16.6bc
	转运率 (%)	10.5bc	14.0b	16.6ab	19.1a	20.6a	10.8c
	养分贡献率(%)	34.1b	23.6c	27.0bc	48.2a	38.9ab	21.4c

(M+90%N)处理的产量最高,其次为优化施肥(OPT)处理。并且M+90%N处理可较FP处理节约投入成本

136元/hm²,肥料净收益平均增加1609元/hm²(23.6%)。

表5 不同施肥处理水稻产量及经济效益分析

年份	处理	产量(kg/hm ²)	肥料投入(元/hm ²)	水稻收益(元/hm ²)	肥料净收益(元/hm ²)	较FP增收(元/hm ²)
2018	CK	6 458b	0	19 374c	—	—
	FP	9 327a	2 542a	27 981b	6 065c	—
	OPT	9 699a	2 299b	29 097a	7 424a	1 359a
	M+90%N	9 743a	2 406ab	29 229a	7 449a	1 384a
	M+80%N	9 618a	2 513ab	28 854a	6 967ab	902b
	M+70%N	9 603a	2 625a	28 809ab	6 810b	745c
2019	CK	6 670c	0	20 010d	—	—
	FP	10 036b	2 542a	30 108bc	7 556c	—
	OPT	10 407a	2 299b	31 221ab	8 912ab	1 356b
	M+90%N	10 602a	2 406ab	31 806a	9 390a	1 834a
	M+80%N	10 239ab	2 513ab	30 717b	8 194b	638c
	M+70%N	10 218ab	2 625a	30 654b	8 019b	463c

注:肥料净收益=施肥区水稻收益-肥料投入-对照区水稻收益;各种农资价格为两年平均;化肥氮价格4.3元/kg,有机氮价格31.4元/kg,磷肥价格6.7元/kg,钾肥价格7.6元/kg,水稻价格3.0元/kg

3 结论与讨论

产量水平和肥料利用效率是检测某种施肥方式是否合理的关键指标。研究发现,适当的有机肥替代化肥可以增加水稻产量,过量或100%替代会降低水稻产量2.3%~8.6%^[4-5]。有机肥与化肥的合理配施对水稻的生长有调控作用,有利于水稻的稳产高产^[6-7]。本研究结果表明,以常规施肥(FP)为对照,优化施肥条件下有机肥氮替代化肥氮10%(M+90%N)处理的产量显著高于FP处理,2年平均增产幅度为5.1%,其肥料利用率提高了27.7%,增加经济效益23.6%,且肥料农学利用率和肥料偏生产力均有显著提高,这与前人的研究结果相一致^[8]。

氮、磷、钾养分在作物体内的积累过程中存在着交互作用^[9-11],协调好作物养分吸收与转移利用的关系是实现作物高产的关键。研究表明,适当施用有机肥可以促进水稻对氮、磷、钾养分的吸收与利用,孕穗期至成熟期化肥有机肥配施处理的氮、磷、钾养分累积量要高于化肥处理。本研究中,优化施肥条件下,M+90%N处理的氮、磷、钾养分累积量较FP处理分别增加了4.6%、13.4%和5.1%,其氮、磷、钾的转运量和转运率也均高于FP处理,达到显著水平,主要是由于常规施肥处理的肥料用量过大不利于水稻后期养分的利用,而适量的有机肥替代部分化肥能够协调水稻对氮、磷、钾养分的吸收与转化,满足了水稻后期对养分的需求。

可见,在优化施肥(较常规施肥减少化肥用量25%)条件下,有机肥氮10%替代化肥氮既可以大

幅度地降低化肥用量、提高水稻产量,又可以培肥土壤、减少资源浪费,是一种环境友好的水稻施肥方式。

参考文献:

- [1] 周伯瑜,杨子江.论有机肥料在农业生态系统中的地位和作用[J].生态学杂志,1992,11(3):53-55.
- [2] 周江明.有机-无机肥配施对水稻产量、品质及氮素吸收的影响[J].植物营养与肥料学报,2012,18(1):234-240.
- [3] 何欣,荣湘民,谢勇,等.化肥减量与有机肥替代对水稻产量与养分利用率的影响[J].湖南农业科学,2017(3):31-34.
- [4] 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.
- [5] 杨明,孙毅,高玉山,等.有机肥对苏打盐碱土的改良效果研究[J].吉林农业科学,2013,38(3):43-46,62.
- [6] 董一漩,屠乃美,魏征,等.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[J].东北农业科学,2019,44(2):13-18,33.
- [7] 侯红乾,刘秀梅,刘光荣,等.有机无机肥配施比例对红壤稻田水稻产量和土壤肥力的影响[J].中国农业科学,2011,44(3):516-523.
- [8] 孟琳,张小莉,蒋小芳,等.有机肥料氮替代部分无机氮对水稻产量的影响及替代率研究[J].植物营养与肥料学报,2009,15(2):290-296.
- [9] 杨长明,杨林章,颜廷梅,等.不同肥料结构对水稻群体干物质生产及养分吸收分配的影响[J].土壤通报,2004,35(2):199-202.
- [10] 侯云鹏,孔丽丽,李前,等.不同施肥模式对水稻养分吸收利用及土壤养分平衡的影响[J].东北农业科学,2018,43(1):1-8.
- [11] 李前,侯云鹏,高军,等.不同供磷水平对水稻干物质累积、磷素吸收分配及产量的影响[J].吉林农业科学,2015,40(3):37-41.

(责任编辑:刘洪霞)