



李杰,姬景红,李玉影,等.化肥减施结合菌肥对寒地粳稻产量及肥料利用率的影响[J].黑龙江农业科学,2019(10):45-49.

化肥减施结合菌肥对寒地粳稻产量及肥料利用率的影响

李杰^{1,2},姬景红¹,李玉影¹,刘双全¹,佟玉欣¹,郑雨¹,李伟群¹

(1.黑龙江省农业科学院 土壤肥料与环境资源研究所/黑龙江省土壤环境与植物营养重点实验室/黑龙江省肥料工程技术研究中心,黑龙江 哈尔滨 150086;2.黑龙江省农业科学院 大庆分院,黑龙江 大庆 163316)

摘要:为明确肥料减施及微生物肥料效果,通过田间小区试验的方法,以农民常规施肥(FP)作对照,研究养分专家系统(NE)推荐施肥技术及添加不同微生物肥料对水稻产量和肥料利用率的影响。结果表明:采用 NE 推荐施肥技术化肥减量 20%与农民常规施肥处理水稻农艺性状及产量变化不大,处理间差异不显著,说明农民施肥中肥料用量偏高。添加的 3 种微生物菌剂(肥)虽然并没有对水稻产量有显著的提高作用,但与农民常规施肥处理相比,NE 推荐施肥及 NE 推荐施肥结合微生物菌肥的 4 个处理,氮磷肥利用率均显著增加;水稻氮肥利用率平均提高 5.93、5.82、6.83 和 9.73 百分点,磷肥利用率提高 3.46、3.79、4.33 和 4.96 百分点,钾肥利用率提高 12.92、9.11、14.05 和 17.69 百分点,达到减肥不减产,从而提高肥料利用率的效果。

关键词:微生物肥料;水稻;产量;氮肥利用率

水稻是黑龙江省主要粮食作物之一。目前,我国氮肥利用率为 20%~45%,磷肥利用率为 10%~25%,水稻生产上氮肥损失率达 30%~70%^[1-3],水稻的减肥增效对于节约农业生产成本、提高肥料利用率及可持续发展具有重要的作用。

我国水稻生产上 N、P、K 的平均肥效分别为 9.8、9.4、7.2 kg·kg⁻¹,当季利用率分别为 30.0%、12.4%和 30.0%,氮肥肥效和当季利用率均低于世界平均水平^[4]。有研究表明连年施肥导致土壤中富余的养分增加,在氮素养分较高的肥沃土壤上采取农户习惯施肥减氮 20%处理,降低生产成本的同时能够防止土壤质量下降、作物产量及品质降低^[5],大量稻田氮肥的投入,不仅引发水稻徒长,后期贪青晚熟,还导致水稻产量和氮肥利用效率下降^[6],建议农户在平时施肥量的基础上至少降低 20%氮肥较为合理^[4]。彭术等^[7]在改变常规施氮表面撒施为深施的基础上,减少 30%的氮

肥用量仍然可以延长肥料氮在土壤中的存留时间,促进水稻分蘖和提高实粒数,维持双季稻产量的稳定;在应用微生物菌剂为化肥增效的研究上有许多研究表明菌肥有促进养分吸收、增加肥料利用率和增产的作用^[8-10]。张永等^[8]研究表明施用微生物菌剂在一定程度上能改善土壤的理化性,疏松土壤并增加土壤有机质,增加肥效,抑制土传病害并实现了明显增产的效果,有研究表明北京世纪阿姆斯“沃柯”微生物菌剂对水稻增产效果显著,常规施肥 A 区比减肥 C 区平均增产 33.4 kg·667 m⁻²,增产幅度 5.75%,A 区比 C 区增收 134.96 元·667 m⁻²^[9]。综合以上研究减肥结合微生物菌剂在肥料农学效率和产量效应上起到了很显著的效果。

针对化肥利用率低而施肥导致土壤中养分高度聚集的现状,本文通过采用养分专家系统(NE)推荐施肥技术化肥减量 20%,同时设立了 NE 推荐施肥技术的基础上添加不同微生物肥料等措施设置了一年田间小区试验,以明确减肥施用结合不同微生物菌肥对寒地粳稻产量及肥料利用率的影响,为水稻节肥高效生产提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

供试土壤:阿城土壤类型为黑土,方正土壤类

收稿日期:2019-04-22

基金项目:国家重点研发计划(2018YFD0200200);黑龙江省水稻现代农业产业技术协同创新体系(黑农委体系(水稻)[2017]1号)。

第一作者简介:李杰(1980-)女,硕士,助理研究员,从事土壤肥力与植物营养研究。E-mail:lijie1980828@sina.com。

通讯作者:姬景红(1979-)女,博士,副研究员,从事土壤肥力与植物营养研究。E-mail:jinghong_98@163.com。

型为草甸土,供试土壤基本化学性质见表 1。

供试水稻品种:阿城水稻品种为苗香粳 1 号;方正水稻品种为绥粳 18。

供试肥料:氮肥(BU)为市售普通尿素(含 N 46%);磷肥为重过磷酸钙(含 P_2O_5 46%),钾肥为氯化钾(含 K_2O 60%);微生物菌剂 1(V1)为“福太尔”,枯草芽孢杆菌有效活菌数 ≥ 1.0 亿 $\cdot g^{-1}$;微

生物菌剂 2(V2)为“亿生菌”地衣芽孢杆菌、胶冻样芽孢杆菌、细黄链霉菌有效活菌数 ≥ 2.0 亿 $\cdot g^{-1}$;微生物菌剂 3(V3)为北京世纪阿姆斯“沃柯”微生物菌剂,养分成分和含量为枯草芽孢杆菌 ≥ 10.0 亿 $\cdot g^{-1}$;胶冻样类芽孢杆菌 ≥ 1.0 亿 $\cdot g^{-1}$;巨大芽孢杆菌 ≥ 5.0 亿 $\cdot g^{-1}$ 。

表 1 土壤基本化学性质

Table 1 Basic chemical properties of soil

地点 Site	pH	有机质	速效氮	速效磷	速效钾
		Organic matter/ (g · kg ⁻¹)	Available nitrogen/ (mg · kg ⁻¹)	Available phosphorus(P ₂ O ₅)/ (mg · kg ⁻¹)	Available potassium(K ₂ O)/ (mg · kg ⁻¹)
阿城 Acheng city	6.15	30.6	153.8	27.6	161.7
方正 Fangzheng county	6.07	31.9	135.6	35.7	172.5

1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验设在方正县和阿城市郊,土壤为草甸土型水稻土。试验设 6 个处理,分别为处理 1 不施肥处理(CK0),处理 2 农民常规氮磷钾化肥(NPK),处理 3 氮磷钾肥减量 20%,处理 4 氮磷钾肥减量 20%+微生物菌剂 1(-20%NPK+V1),处理 5 氮磷钾肥减量 20%+微生物菌剂 2(-20%NPK+V2),处理 6 氮磷钾肥减量 20%+微生物菌剂 1(-20%NPK+V3),用量详见表 2。小区面积 30 m²,随机区组设计,3 次重复,单排单灌,以免影响肥料效果,根据养分含量计算肥料实物量。FP 农户常规施肥方式:100%磷肥+ 50%氮肥+100%钾肥作基肥,30%氮肥返青期施用,20%氮肥分蘖期施用;NE 推荐施肥方式:100%磷肥+ 40%氮肥+50%钾肥做基肥,

40%氮肥分蘖期施用,20%氮肥+50%钾肥穗分化期施用。2018 年 5 月 20 日插秧,9 月 28 日收获。

1.2.2 测定项目及方法 试验前采集 0~20 cm 土层土壤样品(S 点取样法),采用常规方法分析土壤基本化学性质^[11]。

收获时,每小区取 2 m²水稻考种、测产;将水稻秸秆和籽粒 105 ℃杀青 0.5 h,70 ℃烘干,称重,采用凯氏法测定全氮含量、钼锑抗比色法测定全磷含量、火焰光度法测定全钾含量。

1.2.3 数据分析 采用 Excel 2007 和 SPSS 13.0 进行数据的统计分析。

氮肥表观回收率(%)=(施肥小区植株地上部吸氮量-不施肥小区植株地上部吸氮量)/施氮量 $\times 100$;

磷肥表观回收率(%)=(施肥小区植株地上部吸磷量-不施肥小区植株地上部吸磷量)/施磷量 $\times 100$;

钾肥表观回收率(%)=(施肥小区植株地上部吸钾量-不施肥小区植株地上部吸钾量)/施钾量 $\times 100$ 。

2 结果与分析

2.1 不同处理对水稻农艺性状及产量的影响

由表 3 可知,方正和阿城两地的小区试验结果均表明,不施肥会通过降低水稻的株高、穗长、分蘖数和实粒数而降低水稻产量。由图 1 和图 2 可知,处理 2(农民常规施肥)、处理 3(化肥减量

表 2 试验处理及养分用量

Table 2 Experiments treatments and nutrient

序号 No.	处理 Treatments	amount (kg · hm ⁻²)			菌肥用量 Bactenal fertilizer
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
1	CK	0	0	0	
2	NPK	165	65	100	
3	-20%NPK	135	60	65	
4	-20%NPK+V1	135	60	65	30
5	-20%NPK+V2	135	60	65	30
6	-20%NPK+V3	135	60	65	30

20%)、处理 4(化肥减量 20%添加微生物菌剂 1)、处理 5(化肥减量 20%添加微生物菌剂 2)、处理 6(化肥减量 20%添加微生物菌剂 3)分别比不施肥的处理 1 增加 3 602,3 696,2 996,3 224,3 717 kg·hm⁻²,增产率为 65. 1%、66. 8%、54. 2%、58. 3%和 67. 2%。采用 NE 养分专家系

统推荐施肥技术,在减少肥料用量 20%的情况下,与农民常规施肥处理水稻农艺性状及产量变化不大,处理间差异不显著,一方面说明农户现有施肥量偏高;另一方面也说明采用合理的施肥技术措施能够减少肥料用量,同时保证水稻产量,达到节肥增效的目的。

表 3 不同施肥处理对水稻农艺性状的影响

Table 3 Effects of different fertilization treatments on agronomic characters of rice

地点	序号	处理	株高	穗长	每穴分蘖数	千粒重	单株实粒数	单株瘪粒数
Site	No.	Treatments	Plant height/cm	Ear length/cm	Tiller number per hole	1000-grain weight/g	Number of grains per plant	Number of shriveled grains per plant
阿城	1	CK	87. 9	16. 3	15. 1	26. 6	74. 0	10. 7
	2	NPK	95. 9	18. 6	20. 6	26. 6	98. 3	19. 1
	3	-20%NPK	99. 0	17. 8	20. 2	25. 3	102. 7	16. 5
	4	-20%NPK+V1	100. 0	17. 2	19. 3	25. 5	100. 2	13. 9
	5	-20%NPK+V2	100. 8	17. 9	19. 4	26. 4	96. 9	13. 0
	6	-20%NPK+V3	100. 8	19. 9	18. 8	25. 1	118. 1	14. 9
方正	1	CK	82. 0	16. 3	17. 8	30. 9	69. 3	4. 7
	2	NPK	105. 8	16. 7	25. 4	24. 6	76. 2	13. 0
	3	-20%NPK	99. 3	17. 2	26. 6	25. 6	78. 9	10. 0
	4	-20%NPK+V1	99. 3	16. 4	24. 4	25. 8	69. 6	9. 0
	5	-20%NPK+V2	98. 6	16. 3	25. 6	26. 0	72. 7	7. 6
	6	-20%NPK+V3	105. 4	17. 6	26. 3	27. 7	75. 6	9. 8

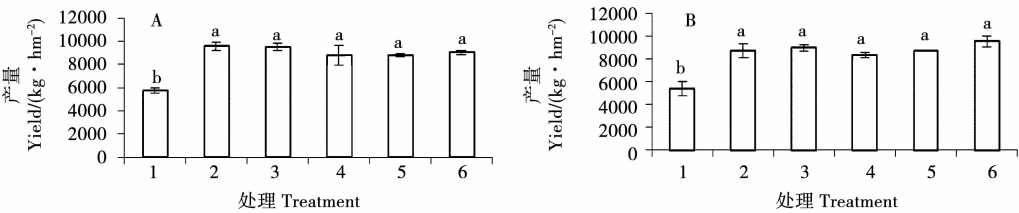


图 1 不同施肥处理对阿城(A)和方正(B)水稻产量的影响

Fig. 1 Effects of different treatments on rice yield in Acheng (A) and Fangzheng (B)

2.2 不同处理对水稻氮磷钾肥料利用率的影响

对方正试验区的试验处理进行了籽粒、秸秆的氮磷钾养分含量测定,计算出氮磷钾养分吸收量和肥料利用率。由表 4 可以看出,施肥能够显著增加水稻对氮磷钾养分的吸收量;不同施肥处理相比,肥料减施 20%对氮磷养分吸收量影响不大,但会降低钾的吸收量;氮磷钾利用率均显著增加。与处理 2 相比,处理 3、4、5、6 水稻氮肥利用率平均提高 5. 93、5. 82、6. 83 和 9. 73 百分点,磷肥

利用率提高 3. 46、3. 79、4. 33 和 4. 96 百分点,钾肥利用率提高 12. 92、9. 11、14. 05 和 17. 69 百分点。可见,在基础肥力较高(表 1 方正)的土壤上第一年进行肥料减量施用可以提高肥料利用效率,节约施肥成本,达到节肥增效的效果;但肥料的连续减施的效果及影响还需进行长期定位试验研究。与处理 3 相比,添加不同微生物菌剂对氮磷钾肥料(处理 4、5、6)利用率的影响不显著。

表 4 不同施肥处理对水稻养分吸收及肥料利用率的影响

Table 4 Effects of different fertilization treatments on nutrient absorption and fertilizer utilization rate of rice

序号 No.	处理 Treatments	养分吸收量 Nutrient uptake/(kg·hm ⁻²)			肥料利用率 Fertilizer utilization rate/%		
		N	P	K ₂ O	N	P	K ₂ O
1	CK	120.28 b	25.07 b	93.4 d	—	—	—
2	NPK	169.49 a	33.83 a	139.3 a	29.82 b	13.48 b	45.79 c
3	—20%NPK	168.54 a	35.24 a	131.7 bc	35.75 a	16.94 a	58.71 ab
4	—20%NPK+V1	168.39 a	35.43 a	129.2 c	35.64 a	17.27 a	54.90 b
5	—20%NPK+V2	169.76 a	35.76 a	132.4 bc	36.65 a	17.81 a	59.84 ab
6	—20%NPK+V3	173.68 a	36.14 a	134.8 b	39.55 a	18.44 a	63.48 a

3 结论与讨论

我国化肥施用量逐年攀升,化肥施用量从1980 年的 86.7 kg·hm⁻² 上升到 2007 年的 332.8 kg·hm⁻²,施肥水平是世界平均水平的 3 倍左右,远远超过国际上为防止水体污染而设置225.0 kg·hm⁻²的化肥使用安全上限^[4]。研究减施化肥从节约肥料并降低土壤水体环境承载方面具有重要的意义。本研究在方正和阿城的化肥减施效果试验中养分专家系统(NE)推荐施肥技术与农民常规施肥量相差 20%,水稻农艺性状及产量在处理间差异不显著,减少化肥氮磷钾用量并没有减产,说明连年农民常规施肥量使土壤中养分富集,随着施肥量减少产量并不减少,可见,在本试验地条件下,当土壤里富集的养分达到一定量时氮磷钾减肥 20%当年不会减产,肥料利用率也会增高,达到节肥的目的。吕亚敏等^[1]在减肥措施研究中表明氮肥或磷肥在常规用量基础上减施 25%是可行的,但是其产量持续性仍有待验证,随着施肥量的增加,氮、磷农学效率降低,不能实现肥增则产量增。本试验的研究也得水稻第一年减肥不减产的结论,但若连年减肥是否减产,还需做进一步的验证试验。

有研究表明水稻在孕穗期喷施农用微生物菌剂与灭活基质比常规施肥可使单位面积成穗数增加,结实率提高,千粒重增加,有明显的增产效果,产量为 566 kg·667 m⁻²,比常规区增产10.1%^[8],也有建议在水稻孕穗期至抽穗期冲施微生物菌剂,提高田里益生菌数,改良土壤,提高水稻根系吸收率,以利于进一步提高水稻产量^[12]。从本年度试验结果也可以看出,养分专家系统(NE)推荐施肥技术化肥减量 20%的基础上添加添加的 3 种微生物菌剂(肥)并没有对水稻产量有显著提高

作用,相对其他两种菌剂效果施用北京世纪阿姆斯“沃柯”微生物菌剂有一定增产效果,微生物活动受水、热等多种因素影响,可能与本年度春季水稻插秧期长期持续低温,秋季多雨的气候条件有关,微生物活动受到影响,影响其功能发挥。

2018 年春季水稻播种插秧期长期持续低温,基肥时配合施用的菌肥可能受低温影响没有很好地发挥效果,且秋季多雨的气候条件,也影响其功能发挥,因此,其肥料效果还需进行多年多点试验。

本试验结果表明,与农民常规施肥处理相比,在基础肥力较高的、农民施肥量大的土壤上采用养分专家系统(NE)推荐施肥技术化肥减量 20%,水稻农艺性状及产量变化不大。与农民常规施肥相比,肥料减施 20%对氮磷养分吸收量影响不大,但会降低钾的吸收量;氮磷钾肥利用率均显著增加。本试验条件下,与化肥减量处理相比,肥料减量的基础上添加的 3 种微生物菌剂(肥)并没有对水稻产量有显著的提高作用,对氮磷钾肥料利用率的影响亦不显著;水稻氮肥利用率平均提高 5.93、5.82、6.83 和 9.73 百分点,磷肥利用率提高 3.46、3.79、4.33 和 4.96 百分点,钾肥利用率提高 12.92、9.11、14.05 和 17.69 百分点,达到减少肥料使用但是产量不减少,实现了农田的减本增效。

参考文献:

[1] 吕亚敏,吴玉红,李洪达,等.减肥措施对稻田田面水氮、磷动态变化特征的影响[J].生态与农村环境学报,2018,34(4):349-355.

[2] 孙锡发,涂仕华,秦鱼生,等.控释尿素对水稻产量和肥料利用率的影响研究[J].西南农业学报,2009,22(4):984-989.

[3] 闫德智.太湖地区稻田氮肥吸收利用的研究[J].江苏农业科学,2011,39(6):119-121.

[4] 吴家强,郑小红,赵晓美,等. 乌金绿在水稻上的减肥增效试验研究[J]. 中国稻米,2014,20(6):46-48.

[5] 娄庭,龙怀玉,杨丽娟,等. 在过量施氮农田中减氮和有机无机配施对土壤质量及作物产量的影响[J]. 中国土壤与肥料,2010(2):11-15,36.

[6] 张洪程,王秀芹,戴其根,等. 施氮量对杂交稻两优培九产量、品质及吸氮特性的影响[J]. 中国农业科学,2003,36(7):800-806.

[7] 彭术,张文钊,侯海军,等. 氮肥减量深施对双季稻产量和氧化亚氮排放的影响[J]. 生态学杂志,2019,38(1):153-160.

[8] 张永,孟银良,汤泽恩. 农用微生物菌剂在水稻上的应用肥效实验初报[J]. 北方水稻,2018(1):29-31.

[9] 仇春华. 水稻应用北京世纪阿姆斯“沃柯”微生物菌剂效果示范报告[J]. 农业开发与装备,2016(4):75.

[10] 王旭辉,郭春雨,宋利军. 微生物菌剂在水稻上应用效果[J]. 现代化农业,2012(4):25-26.

[11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2007.

[12] 李春蕴. 水稻应用微生物菌剂效果试验[J]. 农业科技与装备,2015(6):71-72.

Effects of Fertilizer Reduction Combined with Microbial Fertilizer on Rice Yield and Fertilizer Utilization Rate in Cold Region

LI Jie^{1,2}, JI Jing-hong¹, LI Yu-ying¹, LIU Shuang-quan¹, TONG Yu-xin¹, ZHENG Yu¹, LI Wei-qun²

(1. Institute of Soil Fertilizer and Environment Resources, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, The Key Lab of Soil Environment and Plant Nutrition of Heilongjiang Province, Research Center of Fertilizer Engineering and Technology of Heilongjian Province, Harbin 150086, China; 2. Daqing Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Daqing 163316, China)

Abstract: In order to clarify the effect of fertilizer reduction and microbial fertilizer, conventional fertilization by farmers as control, the effect of nutrient expert system (NE) fertilization and microbial fertilizer on rice yield and fertilizer utilization rate were studied by plot experiments. The results showed that there was no significant difference in agronomic characters and yield of rice between the fertilizer reduction of 20% by NE recommended fertilization technique and the farmer’s practiced fertilization treatment, indicating that the amount of fertilizer applied by farmers was higher. Although the three microbial agents (fertilizer) added did not significantly improve the yield of rice, compared with the farmer’s practiced fertilization treatment, the nitrogen and phosphate fertilizer utilization rate increased significantly in the four treatments of NE recommended fertilization and NE recommended fertilization combined with microbial fertilizer. The average utilization rate of nitrogen fertilizer in rice was increased by 5.93, 5.82, 6.83 and 9.73 percentage points, that of phosphate fertilizer by 3.46, 3.79, 4.33 and 4.96 percentage points, and that of potash fertilizer by 12.92, 9.11, 14.05 and 17.69 percentage points. Achieving to reduce the amount of fertilizer does not reduce production, improve fertilizer use efficiency.

Keywords: microbial fertilizer; rice; yield; nitrogen fertilizer utilization

《黑龙江农业科学》理事会

理事长单位	代表	理事单位	代表
黑龙江省农业科学院	院长 李文华	黑龙江生物科技职业学院	院长 李承林
副理事长单位	代表	农垦科研育种中心哈尔滨研究所	所长 姚希勤
黑龙江省农业科学院水稻研究所	所长 鄂文顺	黑龙江农业职业技术学院	院长 于波
黑龙江省农业科学院克山分院	院长 邵立刚	鹤岗市农业科学研究所	所长 姜洪伟
黑龙江省农业科学院黑河分院	院长 张立军	伊春市农业技术推广中心	主任 张含生
黑龙江省农业科学院绥化分院	院长 陈维元	甘南县向日葵研究所	所长 孙为民
黑龙江省农业科学院牡丹江分院	院长 张太忠	萝北县农业科学研究所	所长 张海军
常务理事单位	代表	黑龙江省农垦科学院水稻研究所	所长 解保胜
勃利县广视种业有限责任公司	总经理 邓宗环	黑龙江八一农垦大学农学院	院长 郭永霞
内蒙古丰垦种业有限公司	董事长 徐万陶	绥化市北林区农业技术推广中心	主任 张树春
		黑龙江省齐齐哈尔农业机械化学学校	校长助理 张北成