

沼渣与化肥配合施用对水稻生长发育及产量和品质的影响

王家军¹, 刘 杰², 张瑞萍¹, 于柏双¹, 李进荣¹, 王 粟², 孙 彬^{1,2}

(1. 黑龙江省农业科学院 大豆研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086; 2. 黑龙江省农业科学院 农村与能源研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要: 为了促进水稻生长发育, 提高稻米产量和品质, 采用随机区组试验设计, 研究了沼渣与化肥配合施用对水稻生长发育、产量和品质, 以及对土壤理化性质的影响。结果表明: 常规施肥+沼渣 $3.00 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理的有效分蘖比空白对照和常规施肥多 3~6 个, 抽穗期比空白对照提前 6 d, 成熟期提前 3 d; 在产量构成因子中, 常规施肥+沼渣 $3.00 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理与常规施肥相比, 穗长增加 0.2 cm, 每穴穗数增加 2.5 个, 穗粒数增加 0.5 个, 谷草比提高 0.02, 千粒重提高 0.30 g, 而结实率下降 1.2 个百分点; 施入沼渣肥 3 a 后, 土壤理化性状得到了明显的改善, 常规施肥+沼渣各处理的土壤有机质含量均提高, 但在速效氮、速效磷和速效钾含量方面, 只有常规施肥+沼渣 $3.00 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 均提高, 而其它处理的含量增减不一。

关键词: 沼渣; 化肥; 生长发育; 产量; 品质

中图分类号: S511.062

文献标识码: A

文章编号: 1002-2767(2012)04-0066-05

沼渣是沼气发酵残余物, 因其含有较全面的有机和无机固形物, 沼渣具有速缓兼备的肥效特点^[1]。有研究表明, 沼渣中的主要养分含量为有机质 36.0%~49.9%, 腐殖酸 10.1%~24.6%, 粗蛋白 5%~9%, 全氮 0.8%~1.5%, 全磷 0.4%~0.6%, 全钾 0.6%~2.0%, 还含有一些富含矿物质的灰分^[2]。沼肥不仅能显著改良土壤, 确保果蔬和农作物生长所需的良好微生态环境, 还有利于增强作物抗冻和抗旱能力, 减少病虫害, 提高作物产量^[3-5]。目前, 沼渣与化肥配施在果蔬生产上的应用很多^[6-8]。在农作物生产上, 玉米田以施用 30~45 t·hm⁻² 沼渣较为适宜, 玉米增产 6.67%~16.03%, 穗长增加 0.8~2.1 cm, 行粒数增加 0.4~1.4 个, 百粒重增加 2.03~2.93 g, 化肥使用率减少 10% 以上^[9]。然而, 到目前为止, 还未见沼渣与化肥配施在水稻生产上应用的报道。该试验旨在通过研究沼渣与化肥配合施用对水稻生长发育、产量与品质, 以及对土壤理化性质的影响, 以期得到沼渣与化肥配合施用的适宜

比例, 为绿色水稻生产提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 试验地情况及材料

试验地点设在黑龙江省农业科学院院部试验田, 土壤类型为黑土, 基本理化性状见表 1。

沼渣来源于黑龙江省农业科学院农村能源研究所, 以牛粪为发酵基料、正常产气 3 个月以上的沼气池; 供试化肥有尿素(N 含量 46%, 鲁西化工公司生产)、磷酸二铵(N 含量 18%、P₂O₅ 含量 46%, 四川翁福集团公司生产)、氯化钾(K₂O 含量 60%, 俄罗斯生产), 沼渣养分状况见表 1。

水稻供试品种为龙稻 3 号, 由黑龙江省农业科学院作物栽培与耕作研究所提供。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 采用随机区组试验设计, 小区面积 66.7 m², 共设 5 个处理, 不施肥(空白对照, A1)、常规施肥(磷酸二铵 150.0 kg·hm⁻²+尿素 100.0 kg·hm⁻²+氯化钾 60.0 kg·hm⁻²)(A2)、常规施肥+沼渣 $1.50 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (A3)、常规施肥+沼渣 $2.25 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (A4)、常规施肥+沼渣 $3.00 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (A5)。其中, A2~A5 各处理肥料均作基肥, 于水稻田翻后、水耙地前一次性施入耕层, 后期分别于秧苗返青期和抽穗前期追施尿素 100 和 25 kg·hm⁻², 田间统一管理, 单灌单排, 每处理设 3 次重复。

收稿日期: 2011-12-27

基金项目: 黑龙江省农业科学院创新工程资助项目(404017)

第一作者简介: 王家军(1973-), 男, 黑龙江省拜泉县人, 硕士, 副研究员, 从事大豆病虫害研究工作。E-mail: junjiawang@163.com。

通讯作者: 孙彬(1972-), 男, 黑龙江省延寿县人, 硕士, 副研究员, 从事农业固体废物综合利用研究工作。E-mail: sunbina1000@163.com。

表 1 供试土壤主要理化性质

Table 1 Physical and chemical characters of tested soil and tested biogas residues

处理 Treatment	全氮/g·kg ⁻¹ Total N	全磷/g·kg ⁻¹ Total P	全钾/g·kg ⁻¹ Total K	碱解氮/mg·kg ⁻¹ Available N	速效磷/mg·kg ⁻¹ Available P	速效钾/mg·kg ⁻¹ Available K	有机质/g·kg ⁻¹ Organic matter	pH
供试土壤 Test soil	1.65	35.2	26.4	207.4	86.3	187.6	39.6	6.51
沼渣 Biogas residue	4.38	2.24	3.24	175.6	138.2	263.2	400.26	7.11

1.2.2 测定项目 土壤和沼渣基本理化性状测定:试验前抽取沼渣样品,测定其养分。并分别于水稻种植前和收获后采集 0~20 cm 耕层土壤,应用土钻“S”型采集土样。田间持水量采用威尔科克斯法,容重采用环刀法,比重采用比重瓶法,根据土壤容重及比重计算土壤孔隙度^[10]。土壤含水量采用烘干法测定,有机质采用重铬酸钾容量法-稀释热法测定,总氮、总磷用流动注射分析仪测定,速效磷采用 NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法测定,全钾、速效钾采用火焰光度计法测定^[11]。pH 采用便携式 pH 计测定,水土比为 2:1;EC 值用电导率仪法测定,水土比为 5:1。

水稻生长发育指标的测定:插秧后每小区选取有代表性 3 点,每点取 10 穴,分别调查(1)水稻物候期:插秧后每小区选取有代表性 3 点,每点取 10 穴,分别调查返青期、分蘖始期、分蘖盛期、分蘖末期、孕穗期、抽穗始期、抽穗盛期、齐穗期和成熟期的具体时间;(2)水稻分蘖动态变化:从分蘖始期开始到分蘖末期结束,中间每隔 5 d 调查一次分蘖数;(3)水稻株高动态变化:从插秧后第 3 天开始到抽穗结束,中间选取 7 个时间段,调查 A1~A5 处理的株高动态变化。

水稻产量因子的测定:在水稻成熟期,分别测定不同处理下的穗长、穗数、穗粒数、结实率、谷草

比和千粒重等产量因子,并测算小区产量,计算增产率。

稻米品质的测定:依据稻米国家标准 GB1353-2009 方法测定精米率、整精米率、垩白度、直链淀粉、胶稠度和蛋白质含量。

2 结果与分析

2.1 沼渣与化肥配施对水稻生长发育的影响

田间调查结果表明,与 A1 和 A2 相比,沼渣和化肥配合施用能够有效促进秧苗生长发育,使生育进程提前。尤其是在生育前期表现更为明显,如 A3~A5 处理秧苗返青期分别比 A1 和 A2 提前 2~3 d;分蘖期提前 4~5 d,利于有效分蘖形成,其中 A5 处理有效分蘖比 A1 和 A2 多 3~6 个;抽穗期 A5 处理比 A1 提早 6 d,成熟期提前 3 d(见表 2,表 3)。并且这种变化在沼渣施用量为 1.50×10⁴~3.00×10⁴ kg·hm⁻² 时,随着沼渣施用量的增加呈现明显的正相关,这可能与沼渣中的有机质和物质有关。田间植株叶片尖挺,与主茎形成相对较小的夹角,这对于生育后期水稻群体增强田间通风透光性,提高光能利用率,最终形成较高产量具有重要意义(见表 4)。配合施肥与常规施肥相比更有利于形成具有高产潜力的优势群体。

表 2 物候期调查

Table 2 Investigation of phenological phase

月-日
MM-DD

处理 Treatment	插秧期 Sowing date	返青期 Green stage	分蘖始期 Early tillering	分蘖盛期 Active tillering stage	分蘖末期 Late tillering stage	孕穗期 Booting stage	抽穗始期 Preliminary heading stage	抽穗盛期 Middle heading stage	齐穗期 Full headingstage	成熟期 Maturity stage
A1(CK)	05-19	05-25	06-03	06-27	07-06	07-10	08-11	08-14	08-19	09-18
A2	05-19	05-24	06-03	06-29	07-05	07-09	08-06	08-10	08-15	09-17
A3	05-19	05-23	05-30	06-30	07-06	07-08	08-10	08-12	08-15	09-16
A4	05-19	05-22	05-30	06-28	07-03	07-05	08-06	08-11	08-15	09-16
A5	05-19	05-22	05-29	06-28	07-02	07-04	08-05	08-10	08-15	09-15

表 3 分蘖的动态变化调查
Table 3 The dynamic variation of rice tillering stage

处理	分蘖/cm Tillering									
Treatment	06-05	06-10	06-15	06-20	06-25	06-30	07-05	07-10	07-15	07-20
A1(CK)	0.3	1.6	6.2	12.5	15.5	16.8	17.8	18.2	18.5	19.3
A2	0.7	1.8	7.2	13.6	17.0	19.7	24.3	25.0	27.3	28.4
A3	1.4	2.6	6.3	13.0	18.0	21.3	23.3	23.6	27.0	27.3
A4	1.5	3.0	6.3	12.8	19.1	21.3	23.0	24.1	27.5	28.4
A5	1.7	3.2	9.6	18.9	21.1	22.4	24.3	25.7	28.6	30.5

表 4 株高的动态变化
Table 4 The dynamic variation of plant height

处理	株高/cm Plant height							
Treatment	05-25	06-05	06-15	06-25	07-15	07-25	08-25	
A1(CK)	13.4	18.4	38.5	44.5	61.2	71.5	77.6	
A2	13.5	24.2	41.0	57.8	67.5	81.5	95.1	
A3	13.2	20.5	42.8	56.5	62.1	86.1	94.5	
A4	13.1	20.2	42.5	55.8	60.9	85.4	93.6	
A5	13.2	20.1	43.0	56.8	61.3	85.4	93.7	

2.2 沼渣与化肥配施对水稻产量因子的影响

试验结果表明,配合施肥 A3、A4 和 A5 产量分别为 8 416.50、8 901.00 和 9 223.95 kg·hm⁻²,比 A1 分别增产 69.48%、79.23%和85.74%;比 A2 增产分别为-1.48%、4.19%和 7.98%(见表 5)。

表 5 沼渣与化肥配施对水稻产量的影响

Table 5 Effect of matching application of biogas residues and chemical fertilizers on rice yield

处理	重复间产量/kg·hm ⁻²		平均产量/kg·hm ⁻²	比 A1 增产/%	比 A2 增产/%	1%显著水平
Treatment	Yield of repetition		Average yield	Increasing rate to A1	Increasing rate to A2	1% significant level
A1(CK)	5295.0	4002.0	5601.0	—		B
A2	8502.0	9157.5	7969.5	72.0	—	A
A3	9004.5	8220.0	8025.0	69.48	-1.48	A
A4	8691.0	8881.5	9130.5	79.23	4.19	A
A5	9006.0	8944.5	9721.5	85.74	7.98	A

表 6 沼渣与化肥配施对水稻产量构成因素的影响

Table 6 Effect of matching application of biogas residues and chemical fertilizers on rice yieldcomponents

处理	穗长/cm	穴穗数	穗粒数	结实率/%	谷草比	千粒重/g	产量/g·盆 ⁻¹
Treatment	Ear length	Number of spike per hole	Grain number per spike	Seed setting rate	Grain-straw ratio	1000-grain weight	Yield
A1(CK)	12.6	15.80	56.10	88.7	0.81	23.40	63.0
A2	15.8	28.00	70.40	82.2	0.85	24.50	119.2
A3	15.4	27.28	68.35	85.1	0.83	25.08	118.6
A4	15.8	28.84	69.00	84.1	0.83	24.80	121.5
A5	16.0	30.50	70.90	81.0	0.87	24.80	130.5

表 7 产量构成因素和产量相关性
Table 7 Correlation Analysis of yield components and yield

项目 Item	相关性分析 Correlation analysis	项目 Item	相关性分析 Correlation analysis
穗长 Ear length	$y=27.46x-283.04$ $R=0.990^{**}$	结实率 Seed setting rate	$y=8.14x+800.92$ $R=-0.919^{**}$
穴穗数 Number of spike per hole	$y=4.57x-7.18$ $R=0.999^{**}$	谷草比 Grain-straw ratio	$y=1015.50x-736.04$ $R=0.863^{*}$
穗粒数 Grain number per spike	$y=4.325x-180.64$ $R=0.991^{**}$	千粒重 1000-grain weight	$y=40.26x-868.48$ $R=0.946^{*}$

注: * 表示差异显著; * * 表示差异极显著。
Note: * represents significant level; * * represents extremely significant level.

2.3 沼渣与化肥配施对水稻品质的影响
稻米品质检测结果表明(见表 8),配合施肥能够提高稻米的加工品质、外观品质和理化性状,A5 处理精米率、整精米率分别比 A2 的提高了 3.6 和 4.5 个百分点,垩白率下降了 1.1 个百分点,直链淀粉降低 0.16 个百分点,胶稠度增加 7 mm,而蛋白质下降了 0.39 个百分点。

表 8 沼渣与化肥配合施用对水稻品质的影响
Table 8 Effect of different treatments on rice quality

处理 Treatment	糙米率/% Percentage of brown rice	精米率/% Milled rice rate	整精米率/% Head rice rate	垩白米率/% Chalky rice rate	直链淀粉/% Amylose	胶稠度/mm Gel consistence	蛋白质/% Protein content
A2	83.50	74.3	70.5	6.1	15.30	56	11.49
A5	84.01	77.9	75.0	5.0	15.14	63	11.10

2.4 沼渣与化肥配合施用对水稻耕层土壤的影响
沼渣中含有大量的有机物质,连续 3 a 施用,可以促进土壤有机质的积累。施用沼渣的 A5 处理土壤有机含量最高为 40.8 g·kg⁻¹,比 A2 处理增加了 2.0 g·kg⁻¹,其次是 A4 处理有机质为 40.5 g·kg⁻¹,比 A2 处理增加了 1.7 g·kg⁻¹,A3 处理为 40 g·kg⁻¹,比 A2 处理只增加了 1.2 g·kg⁻¹。在氮、磷、钾含量变化上,只有 A5 处理表现出全面提高,而 A1~A4 处理中,各养分含量表现不一(见表 9)。

表 9 不同处理下土壤养分含量变化
Table 9 The dynamic variation of different treatments on nutrient content of tested soil

处理 Treatment	碱解氮 /mg·kg ⁻¹ Available N	速效磷 /mg·kg ⁻¹ Available P	速效钾 /mg·kg ⁻¹ Available K	有机质 /g·kg ⁻¹ Organic matter
A1(CK)	187.5	67.6	143.2	38.5
A2	192.1	89.2	183.7	38.8
A3	201.6	81.3	203.4	40.0
A4	210.5	81.6	195.8	40.5
A5	214.3	93.7	205.1	40.8

3 结论与讨论

有研究表明,沼渣能改善植物营养并促进养分平衡,抑制高氮对品质的副作用,使供氮性能与作物需求趋向协调,有利于平衡植物的碳氮代谢过程;沼肥还能影响不同内源激素浓度及比例,促进植物生长发育,提高蔬菜及果实的品质^[12-14]。该文中,沼渣与化肥配合施用后,水稻返青期、分

蘖期、抽穗期和成熟期均提前,配合施肥能够保证养分充分供应,形成相对比较健壮的个体,这对于防止倒伏进而造成减产具有重要意义;成熟期的产量因子测定数据也证实,沼渣与化学肥料的配合施用具有显著的增产效果(Turkey 法, $P=0.05$),尤以常规施肥+沼渣 $3.00\times10^4\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理的增产效果最明显,增产率可达 7.98%。在对水稻品质的测定中,与常规施肥相比,常规施肥+沼渣 $3.00\times10^4\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理的加工品质(精米率、整精米率)、外观品质(白垩率)均有提高,这进一步表明,沼渣与化肥最佳比例配施后,可以促进水稻增产,并提高水稻的品质。

沼渣可以有效改良土壤理化性质,改善土壤微生物生活环境,影响土壤微生物群落组成^[15-18]。然而,沼渣不宜单独作基质。袁巧霞等^[19]以沼渣为主要原料,与蛭石、珍珠岩按不同比例调配成 5 种复合基质进行栽培试验,对基质的理化性质进行了研究,结果表明,沼渣不适合单独作基质,但与炉渣废料按一定比例配合成复合基质后更适合于番茄无土栽培。该研究中,在水稻田中施入沼渣与化肥混合肥后,土壤有机质及速效氮、磷、钾含量均高于对照农田尤其在有机质和钾含量方面作用明显。这表明沼肥与化肥合理搭配施用,可减少肥料的流失,提高肥料的利用率。沼肥的施入会带入一定量的厌氧菌,加上水田耕层土壤处于厌氧状态,有利于土壤氮反硝化

过程,可加速氮分解,提高土壤有效氮的含量。在供试处理中,常规施肥+沼渣 $3.00 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理对土壤理化性质的影响最大,综合该处理的各项指标,建议在生产上,常规施肥+沼渣 $3.00 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理是沼渣与化肥配施对水稻田处理的最佳组合。

参考文献:

- [1] 周孟津,张榕林,蒯金印. 沼气实用技术[M]. 北京:化学工业出版社,2004.
- [2] 张岳. 沼气及其发酵物在生态农业中的综合利用[J]. 农业环境保护,1998,17(2):94-95.
- [3] Krylova N I, Khabibouline R E, Naumova R P, et al. The Influence of ammonium and methods for removal during the anaerobic treatment of poultry manure [J]. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 1997, 70 (1): 99-105.
- [4] Iniyan S, Sumathy K. The application of a Delphi technique in the linear programming optimization of future renewable energy options for India [J]. Biomass and Bioenergy, 2003, 24(1):39-50.
- [5] 黄勤楼,翁伯奇,汤祖华,等. 水稻应用沼肥效果研究[J]. 中国生态农业学报,2004,12(2):108-110.
- [6] 陈道华,刘庆玉,艾天,等. 施用沼肥对温室草莓产量及品质的影响[J]. 北方园艺,2007(9):75-77.
- [7] 郝鲜俊,洪坚平,高文俊. 沼液沼渣对温室迷你黄瓜品质的影响[J]. 中国土壤与肥料,2007(5):40-43.
- [8] 黄东风,王果,李卫华,等. 不同施肥模式对蔬菜生长、氮肥利用及菜地氮流失的影响[J]. 应用生态学报,2009,20(3):631-638.
- [9] 祝延立,那伟,庞凤仙,等. 沼渣与化肥配施对玉米生长及产量的影响[J]. 安徽农业科学,2010,38(12):6407-6408.
- [10] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤分析[M]. 上海:上海科学技术出版社,1978.
- [11] 鲍士旦. 土壤与农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [12] Papavizas G C, Lumsden R D. Biological control of soil borne fungal propagules[J]. Annu Rev Phytopathol, 1980, 18:389-413.
- [13] Sivapalan A, Morgan W C, Franz P R. Monitoring Populations of soil microorganisms during a conversion from a conventional to an organic system of vegetable growing [J]. BiolAgrie Hortie, 1993, 10:9-27.
- [14] Baby U I, Manibhushanrao K. Influence of organic amendments on arbuscular mycorrhizal fungi in relation to rice sheath blight disease [J]. Mycorrhiza-Berlin, 1996, 6(3): 201-206.
- [15] 刘杏兰,高余,刘存寿. 有机无机配施的增产效应及对土壤肥力影响的定位研究[J]. 土壤学报, 1996, 33(2): 135-143.
- [16] 韩太日,梁运江,刘文利. 施用有机肥料对草甸性水稻土壤理化性质的影响[J]. 延边大学农学学报, 1999, 21(3): 191-194.
- [17] 熊国华,林咸永,章永松,等. 施用有机肥对蔬菜保护地土壤环境质量影响的研究进展[J]. 科技通报, 2005, 21(1): 84-90.
- [18] 王健鹏,李阿红,王会志. 有机肥对土壤理化性质的影响[J]. 吉林蔬菜, 2007(4):51-53.
- [19] 赵丽,周林爱,邱江平. 沼渣基质理化性质及对无公害蔬菜营养成分的影响[J]. 浙江农业科学, 2005(2):103-105.

Effect of Matching Application of Biogas Residues and Chemical Fertilizers on Rice Growth, Yield and Quality

WANG Jia-jun¹, LIU Jie², ZHANG Rui-ping¹, YU Bai-shuang¹, LI Jin-rong¹, WANG Su², SUN Bin^{1,2}

(1. Soybean Research Institute of Heilongjiang Academy Agricultural Sciences, Harbin, Heilongjiang 150086; 2. Rural Energy Research Institute of Heilongjiang Academy Agricultural Sciences, Harbin, Heilongjiang 150086)

Abstract: In order to promote the growth and development of rice, improve the yield and quality of rice, the effect of matching application of biogas residues and chemical fertilizers on rice growth, yield, quality and soil physical and chemical properties was studied by randomized block design. The results indicated that there were more than 3~6 effective tillers in treatment of conventional fertilization+ biogas residue ($3.0 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) than that of the control. Furthermore, heading was 6 d earlier and maturity 3 d earlier than the control; In the yield components, compared with the conventional fertilization, ear length increased by 0.2 cm, panicles per hole increased by 2.5, grain number increased by 0.5, the ratio of grain to straw increased by 0.02, grain weight increased 0.03 g, while the seed rate decreased 1.2 percentage points. After 3 continual years' matching application of fertilizers and biogas residues, the paddy soil physical and chemical properties were improved significantly. The soil organic matter content of each treatment were increased, however, among the content of available nitrogen, available phosphorus and available potassium, there was only the treatment of conventional fertilization+ biogas residue ($3.0 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) that exhibited increasing trend.

Key words: biogas residues; chemical fertilizers; growth; yield; quality