

沼液不同施用量对水稻产量及稻米品质的影响

唐 微¹, 伍 钧¹, 孙百晔^{1,2}, 杨 刚¹, 杨 琴¹

(1.四川农业大学资源环境学院, 四川 雅安 625014; 2.潍坊职业学院农业工程系, 山东 潍坊 261061)

摘 要:沼液是一种含有丰富氮磷钾等营养元素和钙、铜、铁、锌、锰等中微量营养元素的优质有机肥,将其应用于农业生产对提高作物产量和农产品品质有重要的意义。将沼液的资源化利用与农业生产相结合,在四川省邛崃市进行种植试验,以水稻为供试材料,以清水和当地常规施肥(化肥)为对照,设置不同的沼液施用量,研究了沼液农用对稻谷产量及稻米营养品质的影响,为优质大米的生产以及沼液的合理利用和科学处理提供依据。结果表明,施用沼液增产效果明显,沼液用量在 11.25~18.75 t·hm⁻² 时稻谷的产量较高,比清水对照和常规化肥处理分别提高 12.21%~15.52%和 6.78%~9.93%;同时,沼液还可以提高稻米中蛋白质的含量,强化稻米中 Fe、Mn、Ca、Mg 等矿质营养,有助于提升稻米营养品质。

关键词:沼液;水稻;蛋白质;矿质元素

中图分类号:S181 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2010)12-2268-06

Effects of Application Amounts of Biogas Slurry on Yield and Quality of Rice

TANG Wei¹, WU Jun¹, SUN Bai-ye^{1,2}, YANG Gang¹, YANG Qin¹

(1.College of Resources and Environment, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China; 2.Department of Agricultural Engineering, Weifang Vocational College, Weifang 261061, China)

Abstract: Biogas is promoted widely in China both as a means of organic waste reduction and a renewable energy. Biogas slurry, residues of anaerobic digestion in biogas plants, increases with expansion of biogas plants and its appropriate uses will be crucial. It contains rich macro- and micro-nutrient elements, such as N, P, K, Ca, Cu, Fe, Zn, Mn, etc and is usually used as fertilizers. Previous studies have proved its effectiveness in enhancing crop yield but its effects on crop quality are unknown. In the present study, the effects of different application rates of biogas slurry on both grain yield and quality of paddy rice were investigated by field experiments with application of water and chemical fertilizers as controls. Chemical fertilizers were applied at the tillering stage following the local tradition. Ten application rates of biogas slurry, i.e., 3.75, 7.50, 11.25, 15.00, 18.75, 22.50, 26.25, 30.00, 37.50 and 45.00 t·hm⁻², were designed. For each rate 50%, 40% and 20% was applied at tillering, jointing and full-heading stage, respectively. Results revealed that application of biogas slurry enhanced significantly rice grain yield and the highest yield was obtained at the rate of 11.25~18.75 t·hm⁻², 12.2 % to 15.5% higher than the control of water application and 6.8% to 9.9% higher than the control of chemical fertilizer application. Application of biogas slurry could also enhance significantly the contents of protein and mineral elements of rice grains. Use of biogas slurry in agriculture can not only reduce biogas plant liquid wastes but also improve yield and quality of crops.

Keywords: biogas; rice; protein; mineral elements

我国的畜禽养殖业所产生的固体废弃物和废水 COD_{Cr}、NH₃-N 已经超过了工业和城镇生活污水排污总量,为了解决这一问题,从 20 世纪 70 年代起就在全国广大农村范围内推广沼气化工程,并取得了显著

成效,但是由此产生的大量沼液却并未得到很好的利用,许多地方直接将沼液外排,成为另一个重大环境问题。据研究,沼液的养分主要是速效性养分^[1],不仅含有丰富的氮、磷、钾等大量营养元素和钙、铜、铁、锌、锰等中微量营养元素,还含有大量的氨基酸、B 族维生素、各种水解酶、某些植物激素、对病虫害有抑制作用的物质等^[2]。施用沼液能显著地改善土壤环境、有效地调节土壤水、肥、气、热,促进土壤生态环境良性循环^[3],同时又能防治病虫害^[4],促进作物增产,提高农

收稿日期:2010-05-19

基金项目:国家科技支撑计划课题(2008BAD4B04)

作者简介:唐 微(1985—),硕士研究生,主要从事环境污染化学与生物修复方面的研究。E-mail:tangwei1005@163.com

通讯作者:伍 钧 E-mail:wuj1962@163.com

产品品质^[5-7]。从资源化优先和循环经济的角度考虑,处理沼液最直接、最有效的方式就是农业利用。本研究正是从这一点出发,利用土壤-植物系统对沼液进行净化,期望通过田间试验,较深入地研究不同沼液施用量对稻谷产量和稻米营养品质的影响,探索沼液资源化利用取得最佳经济效益的适宜施用量,为沼液的科学处理和合理利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

水稻:籼稻“T 优 8086”。

沼液:四川省邛崃市金利实业有限公司生猪黑石养殖场已发酵完全的沼液,其养分指标为:总氮 323.2 mg·L⁻¹,氨氮 290.0 mg·L⁻¹,总磷 87.63 mg·L⁻¹,总钾 330.4 mg·L⁻¹,铁 29.25 mg·L⁻¹,锰 21.71 mg·L⁻¹,钙 81.27 mg·L⁻¹,镁 11.58 mg·L⁻¹,pH 值为 7.101。

1.2 试验地点及条件

试验于 2009 年 3—9 月在四川省邛崃市固驿镇新安乡黑石村三组的承包田(浅丘,水稻土)内进行,试验田的土壤基本理化特性为:全氮 2.113 g·kg⁻¹,碱解氮 184.8 mg·kg⁻¹,有效磷 80.44 mg·kg⁻¹,速效钾 33.13 mg·kg⁻²,有机质 42.10 g·kg⁻¹,pH 值为 4.80,CEC 为 12.21 cmol·kg⁻¹。

1.3 试验方案

试验共设置 12 个处理,3 次重复,包括 1 个清水对照(1#)、1 个当地常规施肥处理(2#,施肥量为 8 kg 尿素、35 kg 磷肥、10 kg 钾肥作为分蘖肥一次性施入)和 10 个纯沼液处理(分别标记为 3#、4#、5#、6#、7#、8#、9#、10#、11#、12#),随机区组排列。纯沼液试验小区的沼液总用量分别设计为 3.75、7.50、11.25、15.00、18.75、22.50、26.25、30.00、37.50、45.00 t·hm⁻²。按照当地的耕作情况,移栽前不施基肥,全部用肥均作为追肥施用。追肥采取稳前、攻中、补后的方法进行^[8],用肥比例为分蘖期:拔节期:齐穗期=5:4:1。小区面积 4 m×5 m,小区间垒土埂,宽 30 cm,高 20 cm,并用塑料膜包埂,防止水肥串流;单排单灌,周围设 1 m 宽的保护行;重复间设走道 50 cm。栽插行株距为 25 cm×18 cm,每穴带蘖基本苗 2.5 苗·窝⁻¹,合 41.25 万基本苗·hm⁻²。其他栽培管理措施按当地常规进行。

1.4 样品处理与分析

1.4.1 收获及考种

收获时各小区实收计产,每处理分别选取 5 株进行考种。

1.4.2 稻米营养品质分析

各处理取稻谷 1 kg 测定稻米蛋白质(粗蛋白质)及矿质元素(Fe、Mn、Ca、Mg)含量。蛋白质测定方法为半微量凯氏定氮法,测定结果乘以 5.95 换算成蛋白质含量;矿质元素的测定方法为(4+1)HNO₃-HClO₄浸泡过夜消解-原子吸收分光光度法。

1.5 数据处理

试验数据采用 Microsoft Excel 2003、SPSS 13.0 和 Origin 8.0 等软件进行分析、统计和绘图。

2 结果与分析

2.1 沼液农用的产量效应

当沼液施用量在 11.25~18.75 t·hm⁻²时,水稻生长发育较好,且稻谷产量处于最高水平,比清水对照和常规化肥处理的产量分别提高 12.21%~15.52%和 6.78%~9.93%。试验各处理间的产量方差分析结果表明,各处理水稻产量间无明显差异($F=0.542, P=0.855$),说明沼液施用量对水稻产量影响不大。各处理间的产量比较如图 1 所示。

由图 1 可知,7# 处理(18.75 t 沼液·hm⁻²)的产量最高,达 5 542.5 kg·hm⁻²,比清水对照高出 15.52%,比常规施肥高出 9.93%,12# 处理的产量最低,为 4 761.5 kg·hm⁻²,比清水对照的产量还低 0.76%,比常规施肥低 5.56%;而常规施肥的产量为 5 042.0 kg·hm⁻²,比清水对照高 5.09%。总体上,沼液比常规施肥有利于提高水稻产量,但是当沼液用量过高(超过 30 t·hm⁻²)时,水稻产量又会下降,甚至低于常规化肥处理,所以,水稻对沼液的承受量是有一定限度的。从提高稻谷产量的角度来说,本试验研究认为当沼液施用量在 11.25~18.75 t·hm⁻²时,稻谷产量相对较高,比清水对照和常规化肥处理的产量分别提高 12.21%~15.52%和 6.78%~9.93%。

2.2 沼液不同施用量对稻米品质的影响

2.2.1 对水稻蛋白质含量的影响

方差分析结果表明,各处理间稻米蛋白质含量达到极显著差异($F=4.680^{**}, P=0.001$),沼液施用对稻米蛋白质含量有显著影响。稻米蛋白质的 LSD 检验结果及各处理间的稻米蛋白质比较如图 2 所示。

从图 2(a)可知,随沼液施用量的提高,各处理的稻米蛋白质含量均高于清水处理;常规化肥亦使稻米中的蛋白质含量提高,但低于沼液处理的含量。8# 处理(22.50 t 沼液·hm⁻²)的稻米蛋白质含量最高,含量

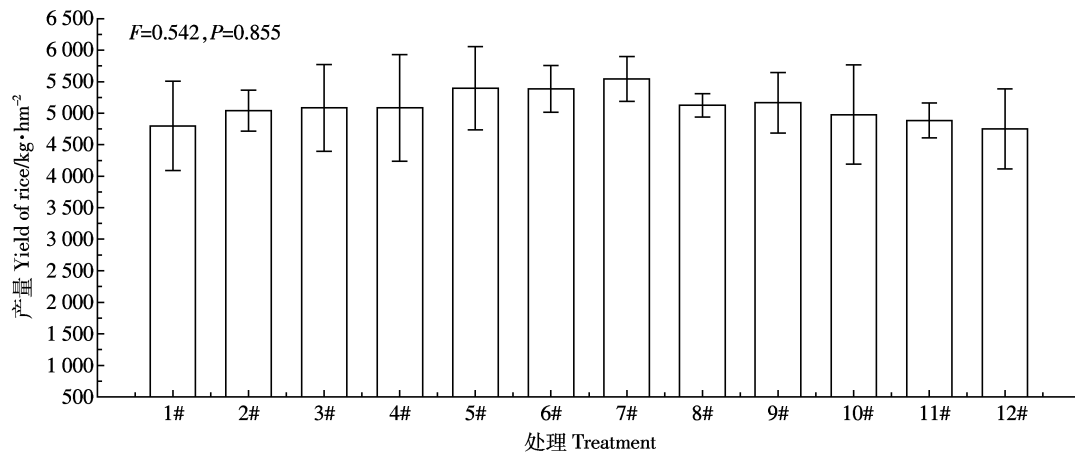


图 1 不同处理间的稻谷产量比较

Figure 1 Comparison of rice yield among treatments

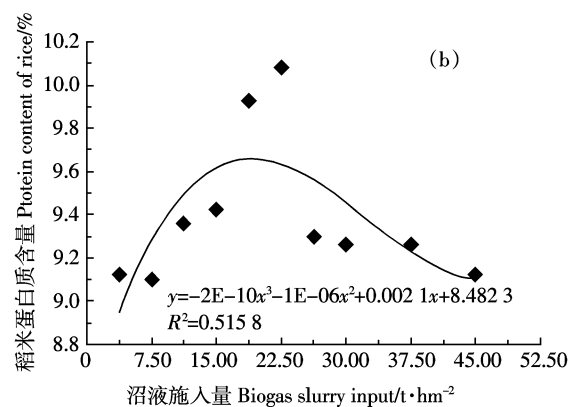
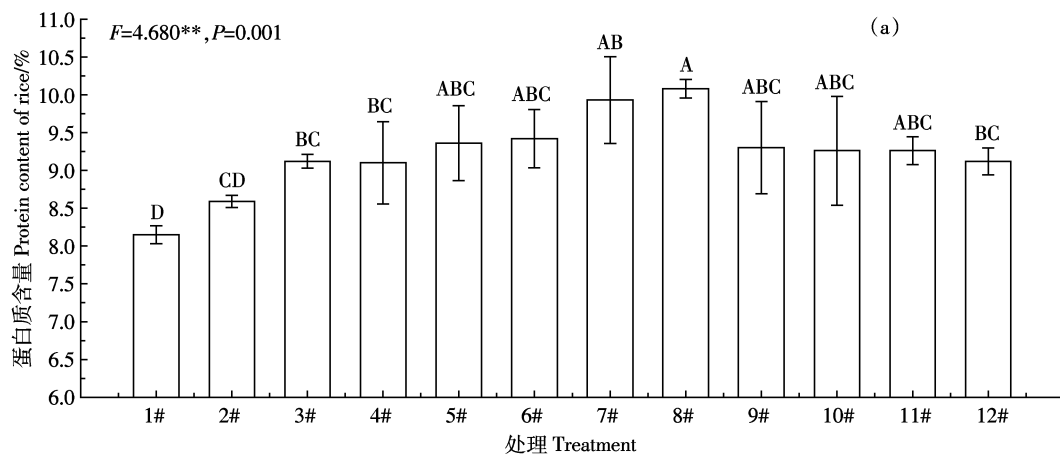


图 2 不同沼液施用量对稻米蛋白质含量的影响

Figure 2 Effects of different amounts of biogas slurry on content of protein of rice

为 10.08%, 其次是 7# 处理, 含量为 9.93%, 二者比清水对照和常规施肥处理分别提高了 23.68%、21.84% 和 17.35%、15.60%。由此可见, 沼液比常规化肥和清水更有利于稻米蛋白质的积累。

对稻米蛋白质含量与沼液施用量之间的相关关

系进行分析, 见图 2(b)。结果表明, 稻米中蛋白质含量和水稻产量呈不显著的一元三次函数关系, 其回归方程为 $y = -2 \times 10^{-10}x^3 - 1 \times 10^{-6}x^2 + 0.0021x + 8.4823$ ($R^2 = 0.5158$, $P = 0.198$)。在本试验沼液施用范围内, 稻米蛋白质的含量随沼液施用量的增加呈先增后减的趋势。

2.2.2 对稻米中矿质元素含量的影响

稻米矿质元素含量的方差分析结果表明,各处理间稻米中 Mn 含量存在极显著差异 ($F=3.895^{**}$, $P=0.003$), Mg 含量存在显著差异 ($F=2.610^{*}$, $P=0.024$), 而 Fe、Ca 含量差异不显著 ($Fe: F=1.452$, $P=0.214$; $Ca: F=1.643$, $P=0.149$)。其 LSD 检验结果及其比较如图 3 所示。

由图 3 可知, 3# 处理的稻米 Fe 含量最低, 为 $11.84 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 8# 处理最高, 达 $19.37 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 其次为 12#、11# 处理, 含量分别为 18.68 、 $18.30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 清水对照稻米中 Mn 含量最低, 为 $18.37 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 以 8#、12# 处理 Mn 含量最高, 分别为 25.68 、 $25.21 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 清水对照稻米中 Ca 含量最低, 为 $1.777 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 9# 处理含量最高, 为 $3.262 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 在不同处理中稻米 Mg 含量以 8# 处理最高, 达 $113.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 其次为 7# 处理, 为 $113.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 而以清水对照的最低, 仅为 $112.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

对稻米中 4 种矿质元素的含量作变异性分析可知, 变异性大小为: $\text{Mg} > \text{Fe} > \text{Ca} > \text{Mn}$, Mg 的变异系数最大为 26.39%, 说明沼液对稻米 Mg 含量改善和调控的余地相对更大。沼液施用量与稻米中矿质元素含量的关系如表 1 所示。

表 1 稻米中四种矿质元素含量与沼液施入量的回归方程

Table 1 The regressive equation of mineral elements and biogas slurry input

矿质元素	方程	R^2	P
铁	$y=2.731 \ln x - 2.965$	0.702 3 ^{**}	0.002
锰	$y=1.193 \ln x + 15.47$	0.628 3 ^{**}	0.006
钙	$y=2 \times 10^{-7} x^2 + 0.000 8 x + 2.036 1$	0.372 1	0.196
镁	$y=4 \times 10^{-7} x^2 + 0.001 3 x + 112.28$	0.821 0 ^{**}	0.002

由表 1 可知, 稻米中 Fe、Mn 含量与沼液施用量呈极显著的对数关系, 二者在稻米中的含量均随着沼液用量的增加而增加; 稻米中 Mg 含量与沼液施用量呈极显著的二次抛物线关系, 随着沼液用量的增加, 稻米 Mg 含量先升高后降低; 稻米中 Ca 含量与沼液施用量呈不显著的二次抛物线关系。总体上, 沼液施用量对稻米的 Fe、Mn 和 Mg 含量影响较大, 而对 Ca 的影响不明显。

3 讨论

本研究表明, 施用沼液可显著提高稻谷产量。这可能是由于沼液中含有大量的速效氮磷钾等速效养分^[1], 而且由于沼液的施用提高了叶片中叶绿素的含

量^[9-10], 促进了光合作用, 增加了干物质积累量, 因此, 施用沼液有利于提高稻谷产量。

蛋白质是生命的营养物质基础, 是构成人体和动植物细胞组织的重要成分之一。人体蛋白质的来源主要靠食物供给, 我国目前膳食蛋白质的供给主要来自谷类食物, 约占总摄入量的 60% 以上, 因此, 谷物中蛋白质的多少成为评价食品营养价值的重要指标之一^[11]。本研究表明, 施用沼液可显著提高稻米的蛋白质含量。所有沼液处理的稻米蛋白质含量均大于 9%, 属于 1 级籼米; 而清水对照和常规施肥处理的稻米蛋白质含量在 8%~9% 之间, 属于 2 级籼米^[12]。

矿质元素是一切植物生长不可缺少的物质, 也是人和其他动物的重要营养物质, 是维持人体健康必不可少的条件。目前, 通过大量施用化肥满足植物生长对各种矿质元素的需求已成为农业生产的主要措施之一, 所以植物体的各种矿质元素的检测分析也已成为判断植物营养水平和检测环境污染的主要指标之一^[12]。本研究表明, 施用沼液显著强化了稻米中 Fe、Mn、Ca、Mg 等矿质营养, 这与张进等^[13]的研究成果一致。但是, 由于大部分禽畜在饲养过程中都会使用添加剂, 而添加剂中的大部分重金属 (如 Cu、Zn) 和部分激素未被动物吸收利用而随粪便排出体外, 形成沼肥的潜在污染源^[14-15]。因此, 在考虑沼液农用所带来巨大经济效益的同时, 还应考虑其所带来的环境负效益, 在今后的研究中, 要进一步研究沼液中重金属和激素等污染物对稻米品质及土壤环境的影响, 以便为沼液的资源化利用提供更合理更科学的依据。

4 结论

沼液比常规施肥有利于提高稻谷产量, 但是当沼液用量过高时, 水稻产量又会下降, 甚至低于常规化肥处理, 因此, 在水稻种植中必须将沼液用量控制在一定范围内。从提高稻谷产量的角度考虑, 本试验结果表明, 当沼液施用量在 $11.25 \sim 18.75 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 水稻产量相对较高, 沼液比常规化肥和清水更有利于稻米蛋白质和矿质元素含量的增加。当沼液施用量为 $18.75 \sim 22.50 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 稻米蛋白质含量较高; 当施用量为 $18.75 \sim 26.25 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 稻米中 Fe、Mn、Ca、Mg 4 种矿质元素的含量均较高。

综合考虑稻谷产量和稻米营养品质, 本研究认为, 以养猪场粪尿为原料经厌氧沼气发酵后的沼液用于水稻种植, 其施用量以 $18.75 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 左右为宜。

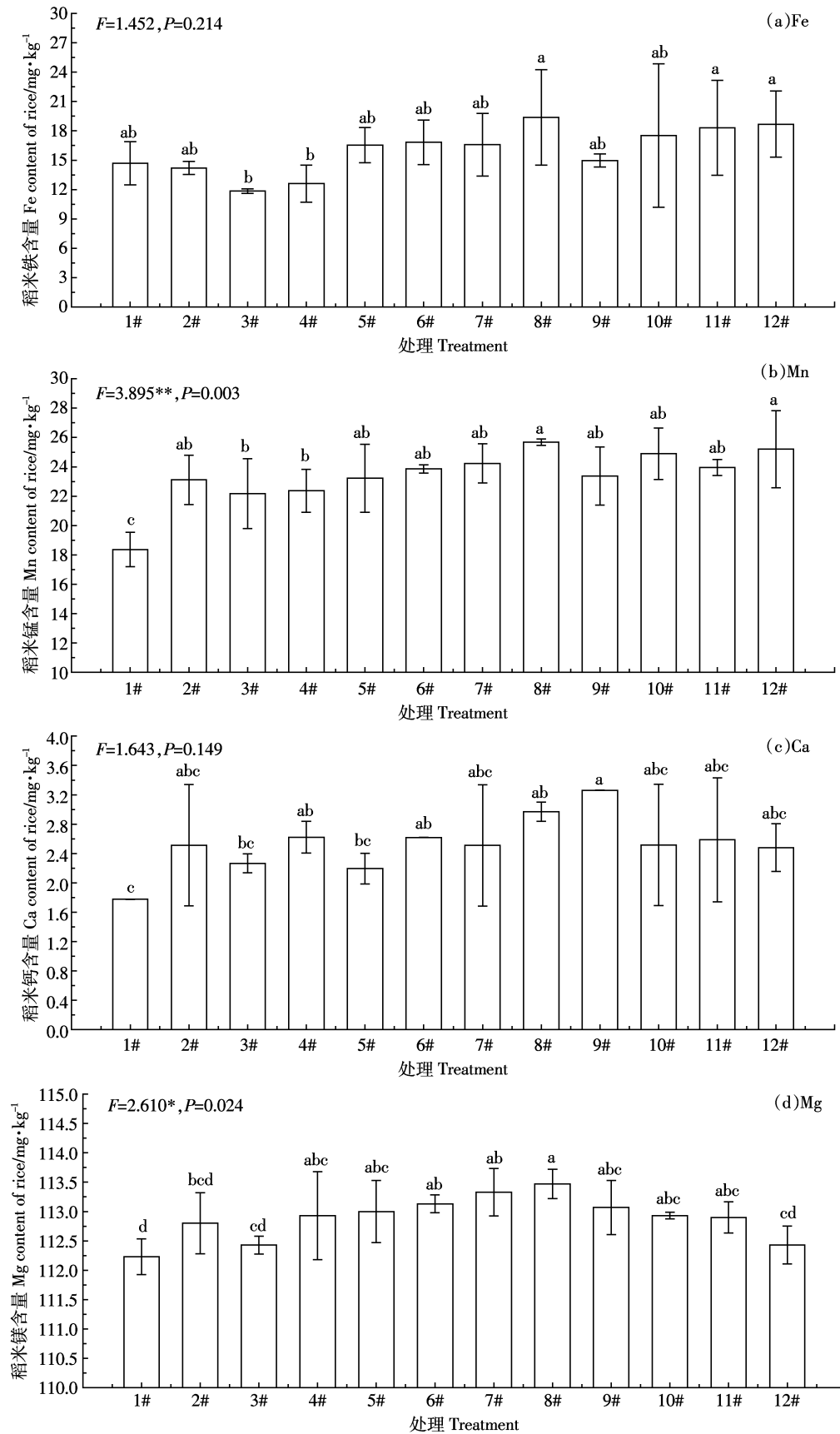


图 3 不同处理间稻米中矿质元素含量的比较

Figure 3 The content of mineral elements in rice among treatments

参考文献:

- [1] 周孟津. 沼气实用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [2] 张无敌, 周长平, 刘士清. 厌氧消化残留物对改良土壤的作用[J]. 生态农业研究, 1996, 4(3): 35-37.
- ZHANG Wu-di, ZHOU Chang-ping, LIU Shi-qing. Effects of methane fermentation residues on soil improvement[J]. *Eco-Agriculture Research*, 1996, 4(3): 35-37.
- [3] 张无敌. 沼气发酵残留物利用基础[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2002.
- ZHANG Wu-di. Utilizing bases of methane fermentative residues[M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 2002.
- [4] 张无敌, 宋洪川, 丁琪, 等. 沼气发酵残留物防治农作物病虫害的效果分析[J]. 农业现代化研究, 2001, 22(3): 167-170.
- ZHANG Wu-di, SONG Hong-chuan, DING Qi, et al. Application of methane fermentative residues in control of crop diseases and insect pests[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2001, 22(3): 167-170.
- [5] 胡向军, 余东波. 沼液对椪柑生长发育、产量和品质的影响[J]. 中国沼气, 2008, 26(3): 29-33.
- HU Xiang-jun, YU Dong-bo. Effect of biogas slurry on growth of pon-gan orange and its yield and quality[J]. *China Biogas*, 2008, 26(3): 29-33.
- [6] 张乾元, 李兆丽. 沼液叶面喷施和灌根对马铃薯生长与产量的影响[J]. 中国沼气, 2008, 26(5): 30-32.
- ZHANG Qian-yuan, LI Zhao-li. Effect of leaf spraying and root watering by biogas slurry on potato growth and output[J]. *China Biogas*, 2008, 26(5): 30-32.
- [7] 钱清华, 林聪, 王金花, 等. 沼液对苹果品质及土壤肥效的影响[J]. 可再生能源, 2005(4): 27-29.
- QIAN Jing-hua, LIN Cong, WANG Jin-hua, et al. Effect of biogas residues on apples' quality and soil fertility[J]. *Renewable Energy*, 2005(4): 27-29.
- [8] 雷友造, 吴绍锋, 徐燕. 沼液在水稻上的应用效果研究[J]. 农技服务, 2007, 24(6): 47, 82.
- LEI You-zao, WU Shao-feng, XU Yan. Study on effect of using biogas slurry on rice[J]. *Serves of Agricultural Technology*, 2007, 24(6): 47, 82.
- [9] 潘瑞炽. 植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 65-66.
- PAN Rui-zhi. Plant physiology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2004: 65-66.
- [10] 程建平, 曹凑贵, 蔡明历, 等. 不同土壤水势与氮素营养对杂交水稻生理特性和产量的影响[J]. 植物营养与肥科学报, 2008, 14(2): 199-206.
- CHENG Jian-ping, CAO Cou-gui, CAI Ming-li, et al. Effect of different nitrogen nutrition and soil water potential on physiological parameters and yield of hybrid rice[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2008, 14(2): 199-206.
- [11] 田纪春. 谷物品质测试理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- TIAN Ji-chun. Testing theory and methods of grain quality[M]. Beijing: Science Press, 2006.
- [12] NY/T 595—2002, 中华人民共和国农业行业标准 食用籼米[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- NY/T 595—2002, Agricultural industry standards of P. R. C. Indica type cooking rice[S]. Beijing: Standards Press of China, 2002.
- [13] 张进, 张妙仙, 单胜道, 等. 沼液对水稻生长产量及其重金属含量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(10): 2005-2009.
- ZHANG Jin, ZHANG Miao-xian, SHAN Sheng-dao, et al. Growth status, grain yield and heavy metals content of rice (*Oryza sativa* L.) as affected by biogas slurry application[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(10): 2005-2009.
- [14] 吴德峰. 动物性食品药物残留负面效应与监测措施[J]. 福建畜牧兽医, 2004, 26: 40-43.
- WU De-feng. Negative effects and monitoring measures of animal food residues[J]. *Fujian Journal of Animal Husbandry and Veterinary*, 2004, 26: 40-43.
- [15] 陈杖榴, 杨桂香, 孙永学. 兽药和饲料添加剂残留的毒性与生态毒理研究进展[J]. 广东饲料, 2001, 10(1): 24-26.
- CHEN Zhang-liu, YANG Gui-xiang, SUN Yong-xue. Toxicities and ecotoxicology of veterinary drugs and feed additives residues[J]. *Guang-dong Feed*, 2001, 10(1): 24-26.