

不同氮肥水平下蚯蚓粪施用对水稻生长特性及产量的影响

赵春容 单双吕 王玉梅 罗凯 周雪峰 黄敏 张恒栋
范龙 曹放波 陈佳娜 方升亮 邹应斌*

(湖南农业大学 南方粮油作物协同创新中心, 长沙 410128; *通讯作者: ybzou123@126.com)

摘要:以两优培九为材料,采用大田微区试验,研究不同氮肥水平(N_1 , 9 g/m²; N_2 , 12 g/m²; N_3 , 15 g/m²)下不同蚯蚓粪施用量(EC_0 , 0; EC_1 , 16.88 kg/m²; EC_2 , 33.76 kg/m²)对水稻生长及产量形成的影响。结果表明,移栽 40 d 后 EC_2 和 EC_1 处理的茎蘖数均显著高于 EC_0 ($P<0.05$); 幼穗分化期和乳熟期 EC_0 处理的 SPAD 值均显著低于 EC_1 和 EC_2 处理 ($P<0.05$); 齐穗期 EC_0 处理的叶面积指数分别比 EC_1 和 EC_2 处理低 32.7% 和 80.7%, 地上部总干物质质量分别比 EC_1 和 EC_2 处理低 30.6% 和 59.8%; 成熟期有效穗数、地上部干物质质量和水稻产量均表现为 $EC_2>EC_1>EC_0$, EC_2 和 EC_1 处理的有效穗数分别比 EC_0 处理多 41.5% 和 21.3%、地上部干物质质量分别比 EC_0 处理高 47.7% 和 25.8%、产量分别比 EC_0 处理高 35.4% 和 34.3%。由此可见,施用蚯蚓粪便可促进水稻分蘖,提高水稻叶面积、SPAD 值和地上部干物质质量,进而提高水稻籽粒产量。

关键词:蚯蚓粪; 水稻; 生长特性; 产量

中图分类号: S511.062 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8082(2017)04-0067-04

化肥、除草剂等科技成果的运用给农业生产带来效益的同时,也对环境产生了一系列负面影响。研究发现,蚯蚓在作物秸秆、动物畜禽粪便及工业废弃物等有机废弃物的分解、处理方面表现出很大的潜力^[1-3]。蚯蚓不仅能够分解多种污染环境的废弃物,还能够在将它们堆制、发酵、食用排出体内形成蚯蚓粪。蚯蚓粪颗粒均匀,保水透气能力比一般土壤高,具有较大的表面积和胶体网状特性^[4]。此外,蚯蚓粪还富含植物生长所需的营养物质,包括 N、P、K、Fe、Mo、Zn、C 等元素和大量有益菌^[5-7],被广泛应用于园艺作物^[8-10]和农艺作物^[11-12],并发挥了积极作用。有研究发现,将蚯蚓粪添加到水稻育苗基质中,秧苗的发根数量、根长、白根数、根鲜质量和干物质积累均得到提高^[13-15]。蔡树美等^[16]采用盆栽试验研究高、中、低氮水平下施用蚯蚓粪对水稻生长及根系活力的影响时发现,增施蚯蚓粪能明显改善水稻根系与地上部生长,并能提高根系活力。前人探究蚯蚓粪对水稻生长的影响主要集中在苗期和抽穗以前,对水稻产量形成的影响研究较少。且在以上试验中,蚯蚓的粪便大都取自用牛粪、羊粪、猪粪等粪肥喂养的蚯蚓,取自于田间自然状态(如油菜田)的蚯蚓粪作为试验材料目前还鲜有报道。本试验以油菜田中的蚯蚓粪为材料,在中、低氮水平下探究蚯蚓粪施用对水

表 1 试验田土壤和蚯蚓粪化学特性

类型	pH	有机质 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
试验田土壤	5.8	34.2	81.6	34.4	56.7
蚯蚓粪	7.9	61.4	127.8	44.2	254.1

稻生长及产量的影响,以期今后合理利用蚯蚓粪改良稻田土壤和提高水稻产量提供理论参考。

1 材料和方法

1.1 试验材料和地点

于 2016 年在湖南农业大学耘园基地进行大田微区试验。微区采用 PVC 板围成,面积为 40 cm × 40 cm。供试品种为杂交水稻两优培九。试验中的蚯蚓粪取自于油菜田。试验田土壤和蚯蚓粪化学特性见表 1。

1.2 试验设计

采用裂区设计,氮肥处理为主处理,蚯蚓粪处理为副处理,设 9 个重复;氮肥采用 ¹⁵N 尿素(丰度: 5.18%),设 3 个水平: N_1 , 9 g/m²; N_2 , 12 g/m²; N_3 , 15 g/m²,用量分别相当于 90、120、150 kg/hm²,按基肥占 50%、穗肥占 30%、穗肥占 20% 的配比施用;蚯蚓粪设 3 个

收稿日期: 2017-05-30

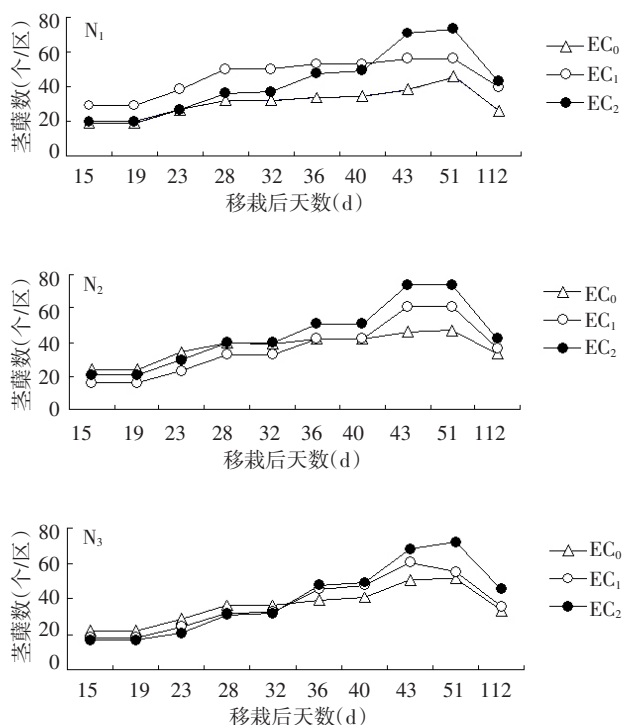
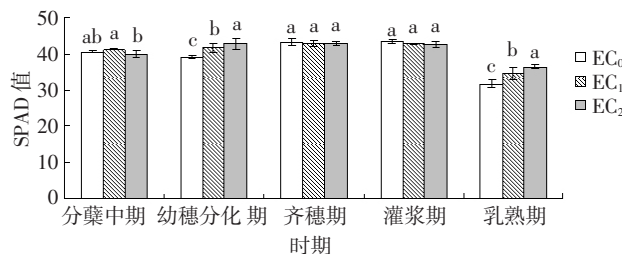


图1 不同处理对水稻分蘖发生的影响



误差条为标准差,不同小写字母表示差异在 0.05 水平显著。

图2 蚯蚓粪施用对水稻剑叶 SPAD 值的影响

水平: EC₀, 0; EC₁, 16.88 kg/m²; EC₂, 33.76 kg/m², 一次性基施。湿润育秧, 秧龄 25 d, 每个微区种植 4 丛, 每丛 1 苗; 磷肥用钙镁磷肥 (P₂O₅ 4.8 g/m²), 一次性基施; 钾肥用氯化钾 (K₂O 8.4 g/m²), 按基肥 50%、穗肥 50% 施用。其他管理按照当地高产栽培田。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 分蘖动态

从秧苗返青开始, 每 3 d 计数 1 次分蘖。

1.3.2 叶片 SPAD 值

采用 SPAD-502 叶绿素仪, 分别在分蘖中期、幼穗分化期、齐穗期、灌浆期、乳熟期测定样品最上一片全展叶, 每个微区选取 4 片, 每片叶测 3 个点 (上、中、下), 取平均值作为该区域内的 SPAD 测定值。

1.3.3 叶面积指数

于齐穗期, 从不同处理的微区中选取具有代表性

的水稻植株 1 丛, 摘下绿色叶片, 用 LI-3000 叶面积仪测定叶面积, 并计算叶面积指数 (LAI=叶片总面积/土地面积)。

1.3.4 干物质量

于齐穗期和成熟期, 从不同处理的微区中取水稻植株 4 丛, 齐穗期将植株分成穗、叶、茎 3 部分, 成熟期将植株分成实粒、秕粒、剩余地上部分, 于 105℃ 烘箱内杀青 30 min, 再于 70℃ 烘至恒质量后称干物质量。

1.3.5 产量及产量构成

于成熟期, 从不同处理的微区中取水稻植株 4 丛, 计数有效穗数, 人工脱粒; 用水选法分选出实粒和秕粒, 分别称重, 称出总质量, 秕粒全部计数, 从实粒中称取 3 份 30 g 样品分别计数。计算每穗粒数、结实率、粒重。

1.4 数据统计方法

采用 Microsoft Excel 2003 整理数据, Statistix 8.0 统计软件进行数据分析, 多重比较采用 LSD 法。

2 结果与分析

2.1 对水稻分蘖发生的影响

由图 1 可知, N₁ 水平下, 移栽后 15~40 d, EC₁ 处理的分蘖数最高, 移栽 40 d 以后, EC₂ 处理的分蘖数最高, 在整个观测时期 EC₀ 处理均为最低; N₂ 水平下, 移栽后 15~28 d, EC₀ 处理的分蘖数为最高, EC₁ 处理分蘖数最低, 移栽 36 d 以后 EC₂ 处理最高, EC₀ 处理最低; N₃ 水平下, 移栽后 15~36 d 分蘖数均表现为 EC₀>EC₁>EC₂, 移栽 36 d 以后分蘖数表现为 EC₂>EC₁>EC₀。总的来说, 3 种施氮水平下, 移栽 40 d 后, 茎蘖数表现为 EC₂>EC₁>EC₀。

2.2 对水稻叶片 SPAD 值的影响

从图 2 可知, 分蘖中期, EC₁ 处理的 SPAD 值最高, 为 41.3, EC₂ 处理的 SPAD 值最低, 为 39.9; 幼穗分化期, EC₀ 处理的 SPAD 值最低, 比 EC₁ 处理低 2.2, 比 EC₂ 处理低 3.2; 齐穗期和灌浆期, EC₀、EC₁ 和 EC₂ 处理之间的 SPAD 值无显著差异 (P>0.05); 乳熟期, EC₂ 的 SPAD 值最高, 比 EC₀ 处理高 5.8, 比 EC₁ 处理高 1.8。

2.3 对水稻叶面积和地上部干物质量的影响

由表 2 可知, 齐穗期叶面积指数、地上部总干物质量、叶干质量、穗干质量以及茎秆干质量都表现为 EC₂>EC₁>EC₀。EC₀ 处理的叶面积指数分别比 EC₁ 和 EC₂ 处理低 32.7% 和 80.7%; 地上部总干物质量分别比 EC₁ 和 EC₂ 处理低 30.6% 和 59.8%; 叶干质量分别比 EC₁ 和 EC₂ 处理低 32.7% 和 71.0%; 穗干质量分别比

表 2 齐穗期地上各部分干物质质量及叶面积指数

处理		叶面积指数	地上部总干物质质量	叶干质量	穗干质量	茎秆干质量
蚯蚓粪	氮肥		(g/m ²)	(g/m ²)	(g/m ²)	(g/m ²)
EC ₀	N ₁	5.1 c	781.0 d	222.9 c	27.5 e	530.7 d
	N ₂	5.2 c	814.9 cd	235.2 c	29.2 de	550.6 d
	N ₃	5.3 c	901.4 c	247.6 c	31.8 cde	622.0 cd
	平均	5.2 C	832.4 C	235.2 C	29.5 C	567.7 C
EC ₁	N ₁	6.8 b	1 106.3 b	306.5 b	37.0 abc	762.8 b
	N ₂	6.6 b	1 049.1 b	312.0 b	32.1 cde	705.0 bc
	N ₃	7.2 b	1 105.9 b	317.9 b	34.9 bcd	753.1 b
	平均	6.9 B	1 087.1 B	312.1 B	34.7 B	740.3 B
EC ₂	N ₁	9.1 a	1 332.0 a	391.5 a	41.7 a	898.9 a
	N ₂	9.5 a	1 338.7 a	417.5 a	38.5 ab	882.8 a
	N ₃	9.5 a	1 319.8 a	397.8 a	37.6 abc	884.4 a
	平均	9.4 A	1 330.2 A	402.2 A	39.3 A	888.7 B

同列数后不同大、小写字母分别表示差异在 0.01 水平和 0.05 水平显著。下同。

表 3 中低氮水平下施用蚯蚓粪便对水稻产量和产量构成的影响

处理		产量	有效穗数	每穗粒数	结实率	千粒重	地上部干质量
蚯蚓粪	氮肥	(g/m ²)	(个/m ²)	(粒)	(%)	(g)	(g/m ²)
EC ₀	N ₁	598.2 c	162.5 e	196.5 a	72.0 a	22.8 a	1 526.4 d
	N ₂	593.2 c	206.3 d	164.5 ab	68.5 a	22.8 a	1 753.4 c
	N ₃	639.5 bc	208.3 d	169.1 ab	69.9 a	22.9 a	1 727.8 cd
	平均	610.3 B	192.4 C	176.7 A	70.1 A	22.8 AB	1 669.2 C
EC ₁	N ₁	834.0 a	250.0 bc	172.6 ab	72.8 a	23.2 a	2 178.4 b
	N ₂	814.2 ab	229.2 cd	193.7 a	70.4 a	22.8 a	2 071.8 b
	N ₃	810.9 ab	220.8 d	194.4 a	71.2 a	23.3 a	2 047.0 b
	平均	819.7 A	233.3 B	186.9 A	71.5 A	23.1 A	2 099.1 B
EC ₂	N ₁	601.3 c	270.8 ab	144.7 b	58.2 b	23.1 a	2 253.2 b
	N ₂	932.0 a	264.6 ab	190.1 a	69.2 a	23.5 a	2 525.6 a
	N ₃	945.3 a	281.3 a	187.2 a	67.1 a	23.4 a	2 617.3 a
	平均	826.2 A	272.2 A	174.0 A	64.8 A	23.3 B	2 465.4 A

EC₁ 和 EC₂ 处理低 17.6%和 33.2%;茎秆干质量分别比 EC₁ 和 EC₂ 处理低 30.4%和 56.5%。方差分析表明,中、低氮水平下施用蚯蚓粪便在齐穗期极显著增大了水稻叶面积指数、提高了地上部干物质质量($p<0.01$),且增幅随着蚯蚓粪施用量的增加而增加。

2.4 蚯蚓粪施用对水稻产量和产量构成的影响

由表 3 可知,成熟期水稻产量、有效穗数、千粒重和地上部干物质质量均表现为 EC₂>EC₁>EC₀。EC₂ 和 EC₁ 处理的产量分别比 EC₀ 处理高 35.4%和 34.3%;EC₂ 和 EC₁ 处理的有效穗数分别比 EC₀ 处理多 41.5%和 21.3%;EC₂ 和 EC₁ 处理的地上部干物质质量分别比 EC₀ 处理高 47.7%和 25.8%;EC₂ 和 EC₁ 处理的千粒重平均比 EC₀ 处理高 1.8%。但 EC₂ 处理的每穗粒数和结实率最低,分别为 174 粒和 64.8%。方差分析表明,中、低氮水平下施用蚯蚓粪便极显著提高了有效穗数、地上部干物质质量和产量($p<0.01$),且增幅随着蚯蚓粪施用量的增加而增加。

3 结论与讨论

本试验结果表明,在中、低氮水平下施用蚯蚓粪便显著增加了水稻产量。从产量构成上来看,有效穗数显著提高是增产的主要原因。由表 3 可知,随着蚯蚓粪施用量的增加,有效穗数增加。EC₂ 和 EC₁ 处理的有效穗数均极显著高于 EC₀ 处理($p<0.01$),分别高出 41.5%和 21.3%。但是,从图 1 可知,在水稻移栽后 40 d 以内,水稻植株分蘖速率不与蚯蚓粪便的添加量呈正相关,在 N₁ 水平下,移栽后 40 d 内分蘖数最多的是 EC₁ 处理,而在 N₂ 和 N₃ 水平下,移栽后 28 d 内分蘖数最多的是 EC₀ 处理。这与蔡树美^[6]的试验结果不一致,可能是由于在本试验中,试验田基础地力较好,加上油菜田中的蚯蚓粪便含氮量高导致微区富营养化,限制了水稻植株的分蘖,随着水稻植株不断生长对营养物质的需求增多,蚯蚓粪便里面的营养物质在水稻生长后期才被植株根系吸收从而发挥作用。

作物产量形成的实质是源库互作的过程^[17]。由表 2 可知, 蚯蚓粪便的施用增加了齐穗期水稻叶面积指数和地上各部分干物质量, 相当于同时增加了源、库从而促使产量提高。同时, 由图 2 可知, 在幼穗分化期和乳熟期, 蚯蚓粪便的施用显著提高了水稻剑叶 SPAD 值。SPAD 值的大小反映了叶片含氮量和叶绿素含量^[18-19], 同时也反映了该时期水稻叶片的光合能力。说明添加蚯蚓粪便能够增强幼穗分化期和乳熟期的光合作用, 从而促进水稻产量提高。由于本试验是在大田微区条件下进行, 不能完全等同于大田试验, 同时, 供试品种只有 1 个, 存在一定的局限性, 因此有必要在大田试验中采用不同品种作进一步研究。

参考文献

- [1] 陈巧燕, 杨健, 王志强, 等. 蚯蚓堆肥处理有机废弃物的国外研究进展[J]. 中国资源综合利用, 2006, 24(12): 8-10.
- [2] 马莉, 贾辉, 殷秀琴, 等. 蚯蚓在处理活性污泥过程中的生长繁殖[J]. 应用与环境生物学报, 2013(1): 147-151.
- [3] 张志剑, 刘萌, 朱军. 蚯蚓堆肥及蝇蛆生物转化技术在有机废弃物处理应用中的研究进展 [J]. 环境科学, 2013, 34 (5): 1 679 - 1 686.
- [4] 汪志铮. 绿色环保肥料—蚯蚓粪[J]. 科学种养, 2014(10): 55-55.
- [5] Parle J N. A microbiological study of earthworm casts[J]. *J Gener Microbiol*, 1963, 31(1): 13-22.
- [6] Khan A, Ishaq F. Chemical nutrient analysis of different composts (Vermicompost and Pitcompost) and their effect on the growth of a vegetative crop *Pisum sativum* [J]. *Asian J Plant Sci Res*, 2011, 1(1): 116-130.
- [7] Mistry J, Mukhopadhyay A P, Baur G N. Status of N P K in vermicompost prepared from two common weed and two medicinal plants [J]. *Int J Appl Sci Biotechnol*, 2015, 3(2): 193-196.
- [8] Arancon N Q, Edwards C A, Bierman P, et al. Influences of vermicomposts on field strawberries: 1.effects on growth and yields [J]. *Bio-resource Technol*, 2004, 93(2): 145-153.
- [9] 张仁贵. 蚯蚓粪对栽培生菜的影响 [J]. 农产品加工: 学刊, 2005 (1): 75-76.
- [10] Gupta R, Yadav A, Garg V K. Influence of vermicompost application in potting media on growth and flowering of marigold crop [J]. *Int J Recycl Org Waste Agric*, 2014, 3(1): 1-7.
- [11] Joshi R, Vig A P, Singh J. Vermicompost as soil supplement to enhance growth, yield and quality of *Triticum aestivum* L.: a field study [J]. *Int J Recycl Org Waste Agric*, 2013, 2(1): 1-7.
- [12] 李欢, 向丹, 李晓林, 等. 蚯蚓粪和生物有机肥对土壤养分及夏玉米产量的调控作用[J]. 土壤通报, 2011(5): 1 179-1 183.
- [13] 李国生, 华鹤良, 陈后庆, 等. 蚯蚓粪基质对机插秧秧苗素质的影响[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(10): 4 287-4 288.
- [14] 祁化成, 张慎, 等. 蚯蚓粪基质对水稻育秧的效果[J]. 江苏农业科学, 2015(9): 96-98.
- [15] 熊扣华, 姜红平, 吴克军, 等. 蚯蚓粪基质与营养土不同配比对水稻秧苗素质的影响[J]. 大麦与谷类科学, 2015(3): 28-29.
- [16] 蔡树美, 钱晓晴, 柏彦超, 等. 不同供氮条件下施用蚯蚓粪对水稻生长及根系活性的影响[J]. 扬州大学学报: 农业与生命科学版, 2009, 30(4): 135-137.
- [17] 缪子梅, 俞双恩, 卢斌, 等. 基于结构方程模型的控水稻“需水量-光合量-产量”关系研究[J]. 农业工程学报, 2013, 29(6): 91-98.
- [18] Neilsen D, Hogue E J, Neilsen G H, et al. Using SPAD-502 values to assess the nitrogen status of apple trees [J]. *Hort Sci*, 1995, 30(3): 508-512.
- [19] Li Y C, Alva A K, Calvert D V, et al. A rapid nondestructive technique to predict leaf nitrogen status of grapefruit tree with various nitrogen fertilization practices [J]. *Hort Technol*, 1998, 8(1): 81-86.

Effects of Earthworm Casts Application on Growth and Yield of Rice under Different Nitrogen Rate

ZHAO Chunrong, SHAN Shuanglü, WANG Yumei, LUO Kai, ZHOU Xuefeng, HUANG Min, ZHANG Hengdong, FAN Long, CAO Fangbo, CHEN Jiana, FANG Shengliang, ZOU Yingbin*

(Hunan Agricultural University / Southern Regional Collaborative Innovation Center for Grain and Oil Crops, Changsha 410128, China; *Corresponding author: ybzou123@126.com)

Abstract: In order to explore the effects of earthworm casts on growth and yield of rice under different nitrogen application rate, a micro-plot field experiment was conducted under three levels of nitrogen fertilizer (N_1 , 9 g/m²; N_2 , 12 g/m²; N_3 , 15 g/m²) and three levels of earthworm casts (EC_0 , 0; EC_1 , 16.88 kg/m²; EC_2 , 33.76 kg/m²). The results showed that the grain yield, effective panicle numbers and shoot dry weight under different nitrogen levels all ranked as $EC_2 > EC_1 > EC_0$. The grain yield of EC_2 and EC_1 were higher than EC_0 by 35.4% and 34.3%, respectively. Compared with EC_0 , EC_2 and EC_1 had more effective panicle numbers by 41.5% and 21.3%, respectively. Above ground biomass of EC_2 and EC_1 were higher than EC_0 by 47.7% and 25.8%, respectively. The leaf area of EC_0 was lower than EC_1 and EC_2 by 7.1% and 21.4%, and shoot dry weight was lower than EC_1 and EC_2 by 30.6% and 59.8%, respectively at heading stage. The tiller numbers of EC_2 and EC_1 were significantly higher than EC_0 after transplanting for 40 days ($P < 0.05$). As well as SPAD values in EC_0 was significantly lower than those in EC_2 and EC_1 at panicle initiation stage and milk-rape stage ($P < 0.05$). However, there were no significant effect on nitrogen absorption from chemical fertilizer in rice growth period ($P > 0.05$). The study indicated that applying appropriate amount of earthworm casts could increase the panicle rate, leaf area, SPAD value and shoot dry weight of rice which finally enhance the grain yield.

Key words: earthworm casts; rice; growth; yield