

# 生物有机肥配施对节水灌溉稻田养分 累积及水稻生长的影响

韩正砥<sup>1</sup>, 周明耀<sup>1</sup>, 杨雅琴<sup>2</sup>, 姚显紫<sup>1</sup>, 侯会静<sup>1</sup>

(1. 扬州大学水利科学与工程学院, 江苏扬州 225009; 2. 上海市浦东新区河道管理事务中心, 上海 201299)

**摘要:**为探讨稻田生物有机肥与化肥合理的配施模式,通过试验研究了不同比例的生物有机肥与化肥配施对节水灌溉稻田土壤有效养分累积、水稻生长及产量等影响,以确定适宜的肥料配施模式。采用小区试验方法,设置了5个处理:全施化肥(T0)、75%化肥配施25%生物有机肥(T1)、50%化肥配施50%生物有机肥(T2)、25%化肥配施75%生物有机肥(T3)、全施生物有机肥(T4)。观测各处理土壤有效养分累积情况、水稻生长情况以及最终产量。结果表明:各处理收割后土壤有机质含量均有提升,提升幅度为21%~29%,而配施生物有机肥可以明显提升土壤有效磷和速效钾的含量,提升幅度分别为2.1%~18.9%和6.0%~11.7%。与T0处理相比,生物有机肥的施用能够提前水稻的分蘖时间,可使水稻叶面积指数提高13.5%~40.5%,对水稻穗粒数、结实率和千粒重均有提升作用,T3、T4处理中水稻产量分别提高了7.0%和1.7%,尤其是T3处理的最终收益提高显著,达到了8.7% ( $P < 0.05$ )。可见,25%化肥配施75%生物有机肥对节水灌溉稻田有效养分累积及水稻生长有较好的促进作用。

**关键词:**生物有机肥;肥料配施;水稻;节水灌溉;生长指标;土壤养分

中图分类号:S144; S511

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2022)04-0210-07

## Effects of combined application of bio-organic fertilizer on nutrient accumulation and rice growth in water-saving irrigated paddy fields

HAN Zhengdi<sup>1</sup>, ZHOU Mingyao<sup>1</sup>, YANG Yaqin<sup>2</sup>, YAO Xianzi<sup>1</sup>, HOU Huijing<sup>1</sup>

(1. College of Hydraulic Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China;

2. Pudong New District River Management Center, Shanghai 201299, China)

**Abstract:** In order to explore a suitable application mode of bio-organic fertilizer and chemical fertilizer for paddy fields, the effects of application modes with different bio-organic fertilizer to chemical fertilizer ratios on effective soil nutrient accumulation, rice growth and yield in water-saving irrigated paddy fields were investigated by plot experiments. Five treatments were set for the observation, including full chemical fertilizer (T0), 75% chemical fertilizer with 25% bio-organic fertilizer (T1), 50% chemical fertilizer with 50% bio-organic fertilizer (T2), 25% chemical fertilizer with 75% bio-organic fertilizer (T3) and full bio-organic fertilizer (T4). The results showed that the soil organic matter content increased after harvest in all treatments, with an increment of 21%–29%; furthermore, the effective phosphorus and fast-acting potassium contents of the soil were increased by 2.1%–18.9% and 6.0%–11.7%, respectively, with the application of bio-organic fertilizer. Compared with the T0 treatment, the application of bio-organic fertilizer advanced the tillering time of rice, improved the leaf area index of rice up to 13.5%–40.5%, and increased the number of grains in the spike, the seed setting rate and the thousand-grain weight of rice. Among the treatments with bio-organic fertilizer, the yield of rice in the T3 and T4 treatments was increased by 7.0% and 1.7%, respectively, and the final benefit of T3 treatment was significantly increased by 8.7% ( $P < 0.05$ ) in particular. It can be seen that the treatment of 25%

收稿日期:2022-01-24; 修回日期:2022-06-01

基金项目:“十三五”国家重点研发计划项目(2016YFC0400201)

作者简介:韩正砥(1995-),男,江苏沛县人,博士研究生,主要从事农田节水灌溉及其环境效应研究。

通讯作者:侯会静(1984-),女,山东泰安人,博士,副教授,硕士生导师,主要从事农田节水灌溉及其环境效应研究。

chemical fertilizer with 75% bio-organic fertilizer has a better promotion effect on the accumulation of effective nutrients and rice growth in water-saving irrigated paddy fields.

**Key words:** bio-organic fertilizer; combined fertilizer application; rice; water-saving irrigation; growth index; soil nutrient

## 1 研究背景

肥料是植物生长的重要养分来源,在维持作物生长中起着至关重要的作用<sup>[1]</sup>。自20世纪末期,中国农业对化肥需求急剧上涨,成为世界上使用农业化肥最多的国家<sup>[2]</sup>,化肥使用量已经超过其经济意义上的最优施用量,且还在继续增长<sup>[3]</sup>。长期施用单一化肥造成了严重的土壤板结,肥力下降,随着化肥施用对土壤、生态和产品质量的负面影响日益凸显<sup>[4]</sup>,农业可持续发展和绿色、有机农业理念逐渐被提出,有机肥在农业生产中又重新得以重视。

生物有机肥被认为是一种先进的生物技术,在农业生产尤其是经济作物种植中应用较多。生物有机肥是指通过无害化处理工艺,将特定功能微生物与有机材料结合而成的一种肥料,主要由经过预处理的动植物残体(如畜禽粪便、农作物秸秆等)组成<sup>[5]</sup>。研究表明,施用生物有机肥不仅可以提高肥料利用率<sup>[6]</sup>、改善土壤质量<sup>[7-8]</sup>,还可以促进作物生长<sup>[9]</sup>,提高作物产量和品质<sup>[10-11]</sup>,有利于可持续农业的发展。例如,李凤霞等<sup>[7]</sup>在宁夏盐碱地修复研究中发现,相较于全施化肥处理,配施生物有机肥不仅降低了土壤pH值和含盐量,还可以增加土壤有机质、全氮和有效磷含量,对土壤微环境也有明显的改善。但是,生物有机肥的应用研究多集中在经济作物中<sup>[9,12]</sup>,近两年开始出现在水稻种植研究中<sup>[13]</sup>。

中国是水稻生产大国之一,水稻种植面积占全国总种植面积的25%,其产量为世界第一<sup>[14]</sup>。但是,长期不合理的施肥管理方式,造成稻田土壤养分流失,形成大面积的面源污染,严重影响了农田环境和农业的可持续发展。此外,在全球气候变化加剧、水资源日益短缺的情况下,推广节水灌溉、发展节水农业,是保证我国粮食安全与水资源安全的有效途径<sup>[15]</sup>,也是实现农业生产增产增效、控污减排的有效手段<sup>[16]</sup>。但是,关于节水灌溉稻田的生物有机肥应用效果研究较为罕见。因此,研究节水灌溉水稻生产中合理的生物有机肥施肥模式不仅是实现作物优质高产、保证土壤肥力的重要举措,也对生态环境保护,促进农业安全生产具有重要意义。

本研究通过小区试验的方法探讨生物有机肥与化肥配施对节水灌溉水稻生长以及土壤养分累积的

影响,寻找适宜节水灌溉水稻优质丰产的生物有机肥与化肥合理的配施模式,为生物有机肥在水稻生产中的应用以及水土资源的可持续利用提供一定的理论基础。

## 2 材料与方法

### 2.1 试验区概况

试验区位于河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室昆山试验研究基地(34°63'21"N, 121°05'22"E),地处太湖流域低洼平原,属于亚热带季风气候,年蒸发量为1365.9 mm,年降雨量为1097.1 mm,年平均气温为15.5℃。

试验小区为新规划小区,肥力较弱。小区土壤为潜育型黄泥土,表层(0~20 cm)土壤有机质含量为1.66 g/kg,碱解氮为105.1 mg/kg,有效磷为80.5 mg/kg,速效钾为85.2 mg/kg,pH值为7.4。小区上方安装有移动式遮雨棚用以阻挡降水,无降水时打开以保证日常光照。

### 2.2 试验设计

在水稻品种、育秧、移栽密度、灌水、喷药等技术措施以及土壤基础肥力相同的条件下,设置5种施肥处理:全施化肥(T0)、75%化肥和25%生物有机肥(T1)、50%化肥和50%生物有机肥(T2)、25%化肥和75%生物有机肥(T3)及全施生物有机肥(T4),每个处理设3个重复,共计15个小区。每个小区面积为5 m<sup>2</sup>(2 m×2.5 m),小区四周田埂均布设50 cm深的PVC挡板,以减少相邻小区之间的水肥交换。

生物有机肥采用合肥丽科农业有限公司生产的活性菌生物有机肥,其主要成份由中药渣、烟沫、发酵鸡粪、腐殖酸、氨基酸及复合活性菌混合构成,主要养分含量分别为:有效活菌数 $\geq 2 \times 10^8$ /g,有机质 $\geq 45\%$ ,氮磷钾 $\geq 5\%$ 。化肥选用尿素(总氮 $\geq 46\%$ )和复合肥(N+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+K<sub>2</sub>O $\geq 45\%$ )。全施化肥处理中化肥施用量及施肥时间与当地习惯施肥方法一致,分基肥、蘖肥和穗肥3次施下。全施生物有机肥处理中生物有机肥施用量根据肥料厂商给定的建议用量,分基肥和穗肥两次施下,其他处理的施肥量分别按照比例进行施加。各处理具体施肥时间及施肥量见表1。

表1 试验各处理具体施肥时间及施肥量(2019年6-10月)

处理	6月28日			7月15日		8月10日		折合总用量		
	生物有机肥	尿素	复合肥	尿素	生物有机肥	尿素	氮	磷	钾	
T0	0	225.00	450.0	150.0	0	120	300.0	54	76.0	
T1	450	168.75	337.5	112.5	375	90	241.5	53	69.5	
T2	900	112.50	225.0	75.0	750	60	183.0	52	63.0	
T3	1350	56.25	112.5	37.5	1125	30	124.5	51	56.5	
T4	1800	0	0	0	1500	0	66.0	50	50.0	

供试水稻品种为南粳46,于2019年6月28日插秧,株距15 cm,行距20 cm,于10月27日收割,全生育期为121 d。所有处理均采用节水灌溉方式,在返青期持有5~25 mm薄水层,此后除施肥、打药等情况外不再建立灌溉水层,以根层土壤含水率作为灌水的调控指标(详见表2)确定灌水时间和灌水定额。此外,生育期内的打药、除草等田间管理均与当地习惯方法一致。

表2 节水灌溉水稻各生育阶段根层土壤水分控制指标(2019年6-10月)

生育期	灌水上限/%	灌水下限/%	
分蘖期	前期	100	70
	中期	100	65
	后期	100	60
拔节孕穗期	前期	100	70
	后期	100	75
抽穗开花期	100	80	
乳熟期	100	70	
黄熟期	自然落干	自然落干	

注:表中所列百分比均指根层深度内所占土壤饱和和体积含水率的比重。

### 2.3 测定指标及方法

自水稻分蘖期开始,在每个小区选取5株长势相近的水稻,测量其分蘖数、株高和叶面积指数,每5天记录一次,每个处理分别记录。水稻的分蘖数通过直接计数来确定;测量从田面到最高剑叶尖端距离(抽穗期后为田面到穗部顶端距离)为水稻植株高度;利用LAI-2200c植物冠层分析仪测量作物的叶面积指数(LAI)。

在插秧前和收割后分别采集各小区表层土壤样品,测量土壤有机质(重铬酸钾外加热法)、碱解氮(碱解扩散法)、有效磷(钼锑抗比色法)和速效钾(火焰分光光度计法)含量。

对所有处理以小区为单位测定产量及其构成。

各小区分别选取1 m<sup>2</sup>内的所有水稻,单打单收,待所选样品自然风干后进行考种测产。分别统计各小区水稻产量及每穴穗数、每穗粒数、千粒重等产量构成,并计算结实率。

### 2.4 数据处理

试验数据采用Microsoft excel 2010进行处理,用OriginPro9.1作图,用SPSS Statistics 22.0对试验数据进行统计分析,分析评价处理之间的显著差异。

## 3 结果与分析

### 3.1 生物有机肥的施用对水稻生长情况的影响

图1为试验期各处理水稻茎蘖、株高及叶面积指数变化规律。

由图1(a)可以看出,各处理中水稻茎蘖数变化情况存在差异。T0、T1和T2处理的水稻在插秧后第14 d开始分蘖,而T3和T4处理中水稻在第9 d开始分蘖,且T3处理分蘖数达到最大值的时间也随之提前。说明施用高比例的生物有机肥有可能提前水稻的分蘖时间。在水稻生长过程中,各处理水稻分蘖最大值和最后一次观测的水稻分蘖情况均表现为T0>T3>T4>T2>T1。在最后一轮的观测中,与T0处理(305株/m<sup>2</sup>)相比,T1、T2、T4处理中水稻有效分蘖数分别减少了18.5%( $P<0.05$ )、16.2%( $P<0.05$ )和14.4%( $P<0.05$ ),而T3处理水稻有效分蘖数与T0处理相差不大。

由图1(b)可以看出,不同于生物有机肥对水稻茎蘖生长的影响效果,各处理中水稻株高变化情况基本一致。各处理水稻株高在生育前期均保持迅速增长状态,到拔节孕穗后期增长减缓。在抽穗开花期,由于水稻抽穗,各处理水稻株高出现小幅增长,随后逐渐趋于稳定。在最后一轮的观测中发现,各处理水稻株高表现为T3>T0>T2>T4>T1;与T0处理(79.0 cm)相比,T1、T2、T4处理的水稻株高分别降低4.6%、1.2%和1.8%,差异不显著( $P>$

0.05), 而 T3 处理 (79.4 cm) 水稻株高则提高了 0.5% ( $P > 0.05$ )。这表明生物有机肥的施用对水稻株高的影响并不明显。

本次试验中发现,各处理水稻生育期内叶面积指数均表现为先增大再减小的趋势(图 1(c))。从整体上看,各处理中水稻叶面积指数表现为 T3 > T4 > T2 > T0 > T1。在最后一次观测中发现,与 T0 处理(叶面积指数为 3.7)相比,T2、T3、T4 处理中水稻叶面积指数分别提高了 13.5%、40.5% 和 21.6%,差异显著 ( $P < 0.05$ ),而 T1 处理的叶面积指数略有减小。这表明减施化肥配施生物有机肥可以提高水稻叶面积指数,促进水稻植株群体生长。

### 3.2 生物有机肥的施用对稻田土壤养分累积的影响

各处理土壤有效养分累积情况见表 3。由于本试验小区为新规划小区,由表 3 可见,各处理土壤养分含量在水稻插秧前无明显差距。在水稻收割后,各处理仅土壤有机质含量均较插秧前有所提升,增幅在 21%~29%;而土壤的碱解氮、有效磷和速效钾含量较插秧前大多有所减少。与 T0 处理相比,各配施生物有机肥处理收割后土壤有机质和碱解氮含量无明显差异 ( $P > 0.05$ ),但土壤有效磷和速效钾(T3 处理除外)含量显著提高 ( $P < 0.05$ ),分别提高了 2.1%~18.9% 和 6.0%~11.7%。说明减施化肥配施生物有机肥可以促进土壤有效养分的累积。

### 3.3 生物有机肥的施用对水稻产量及其构成的影响

各处理水稻的产量及其构成因素见表 4。由表 4 可见,在水稻产量构成要素中,各处理水稻的每穴穗数表现为 T0 = T3 > T1 = T2 = T4,差异不显著 ( $P > 0.05$ )。配施生物有机肥处理的水稻穗粒数、结实率和千粒重均高于 T0 处理,且仅在 T4 处理的水稻千粒重提升幅度达显著水平 ( $P < 0.05$ )。在最终产量上,与 T0 处理(理论产量为 5 100.7 kg/hm<sup>2</sup>)相比,T3、T4 处理的水稻产量分别提高了 7.0% ( $P > 0.05$ ) 和 1.7% ( $P > 0.05$ ),而 T1、T2 处理水稻产量

较 T0 处理略低 ( $P > 0.05$ )。这表明生物有机肥与化肥配施对水稻产量构成要素(每穴穗数除外)有一定的促进作用,但最终产量受水稻有效穗数的影响存在差异,仅 T3、T4 处理的肥料配比起增产效果。

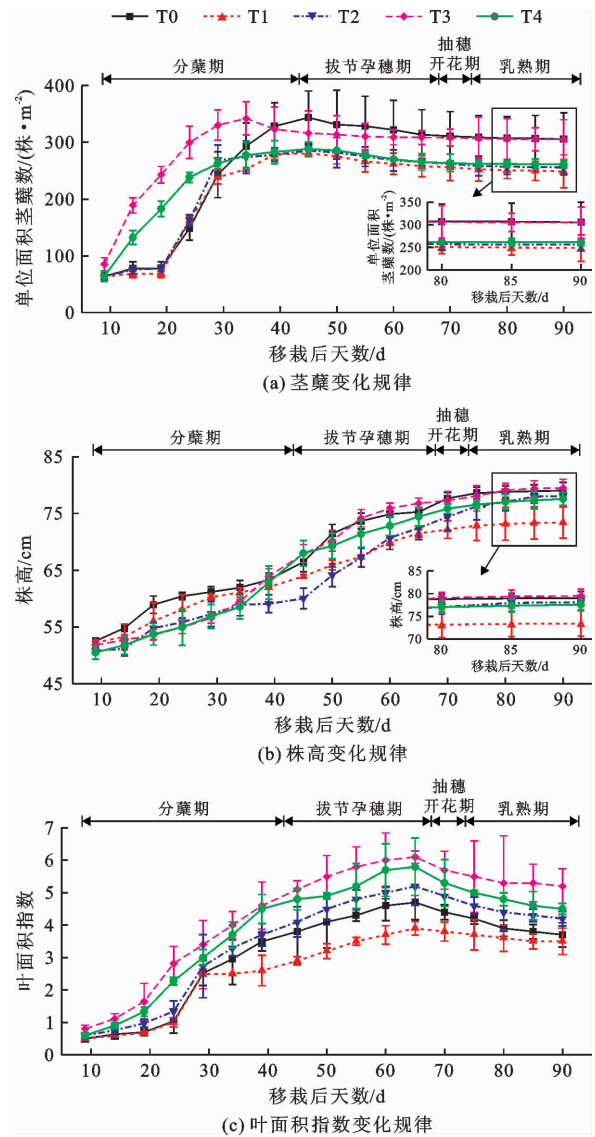


图 1 各处理水稻茎蘖、株高及叶面积指数变化规律(2019 年 6-10 月)

表 3 各处理土壤有效养分累积情况

处理	有机质/(g · kg <sup>-1</sup> )		碱解氮/(mg · kg <sup>-1</sup> )		有效磷/(mg · kg <sup>-1</sup> )		速效磷/(mg · kg <sup>-1</sup> )	
	插秧前	收割后	插秧前	收割后	插秧前	收割后	插秧前	收割后
T0	1.68	2.06ab	106.2	103.3ab	84.2	79.4d	86.3	75.0b
T1	1.65	2.03ab	104.3	94.9b	84.7	94.4a	84.7	79.5a
T2	1.63	2.01b	105.2	108.5a	86.2	82.8b	84.3	83.8a
T3	1.64	1.99b	103.5	93.0b	84.3	81.1c	83.9	66.3c
T4	1.70	2.19a	106.5	114.7a	86.5	83.5ab	87.8	82.2a

注:表中不同小写字母代表各处理之间差异显著 ( $P < 0.05$ ),下同。

表4 各处理水稻产量及其构成因素

处理	每穴穗数	穗粒数	结实率/%	千粒重/g	理论产量/(kg·hm <sup>-2</sup> )
T0	14a	81a	92.1a	22.5b	5100.7ab
T1	12a	82a	95.7a	23.8b	4625.9b
T2	12a	83a	92.7a	24.4ab	4783.8b
T3	14a	85a	92.5a	22.8b	5455.6a
T4	12a	84a	93.2a	25.3a	5189.3ab

### 3.4 经济效益分析

由于各处理中仅施肥管理不同,因此按照肥料投入和水稻产量来分析不同处理的经济效益,各处理的经济效益分析结果如表5所示。虽然减施化肥配施生物有机肥处理的肥料投入会降低,但是较T0处理降幅仅有0.6%~2.2%。而受水稻产值的影响,各处理最终收益呈现为T3>T4>T0>T2>T1。与T0处理相比,T3、T4处理的收益分别提高了8.7%( $P<0.05$ )和2.5%( $P>0.05$ ),而T1、T2处理的收益分别降低了11.0%( $P<0.05$ )和7.2%( $P<0.05$ )。由此表明,水稻生产效益主要受水稻产量的影响,且在75%生物有机肥配施25%化肥中增收效果明显。

表5 各处理经济效益分析结果 元/hm<sup>2</sup>

处理	肥料投入	水稻产值	收益
T0	2362.5	14282.0	11919.5b
T1	2349.4	12952.5	10603.1c
T2	2336.3	13394.6	11058.4c
T3	2323.1	15275.7	12952.6a
T4	2310.0	14530.0	12220.0ab

注:2019年当地尿素和复合肥采购价为2.5元/kg;生物有机肥采购价为0.7元/kg;水稻收购价为2.8元/kg。

## 4 讨论

已有研究证实生物有机肥的施用可以有效活化土壤养分,促进作物生长<sup>[17-18]</sup>。此次试验发现,生物有机肥有效促进了水稻群体生长,对水稻叶面积指数提升效果显著,这一结论已得到相关研究的验证<sup>[19]</sup>。生物有机肥的施用对水稻分蘖数多起到促进作用<sup>[20-21]</sup>。例如,周影等<sup>[20]</sup>发现,施用生物有机肥可以有效改善贫瘠地土壤的理化性状,与不施有机肥处理相比,能够促进水稻分蘖,对有效分蘖数也有提高。但本试验发现,配施生物有机肥处理水稻分蘖数要低于全施化肥处理,造成这种差异的原因

可能是施肥和灌溉方式的不同。在已有研究中,肥料处理多为在常规化肥基础上增施不同量的生物有机肥,且灌溉方式为淹灌,而本研究中施肥处理为化肥与生物有机肥的减量配施,灌溉方式为节水灌溉,这对水肥供应以及水稻对养分的吸收方面均有影响,进而对水稻生长产生影响。此外,关于施用生物有机肥对水稻株高的影响还存在争议。本次研究发现,配施生物有机肥处理中水稻株高与全施化肥处理差异不大,且略有降低。姜阳阳等<sup>[22]</sup>在探索水稻生产上生物有机肥替代化肥的可行性研究中发现,生物有机肥处理与常规化肥处理的水稻在株高方面无明显差异。而高亮等<sup>[23]</sup>研究发现,在减量化肥配施生物有机肥的处理中水稻株高均高于常规化肥处理。这可能是由施肥和灌溉方式不同所致。氮肥施用量显著影响水稻的株高,且水稻株高随着氮肥用量的增大而增加<sup>[24]</sup>。而随着灌水量的减少,水稻株高会逐渐降低<sup>[25]</sup>。此外,施氮量较高时可以在一定程度上弥补灌水量对株高的抑制效果<sup>[24]</sup>。

不同于传统化肥,生物有机肥中含有丰富的有机质、腐殖质和活性微生物等物质,可以促进土壤养分的累积<sup>[26]</sup>。施用生物有机肥不仅直接向土壤中增加了有机质,还通过改善土壤通气性,增强土壤微生物活性,提升土壤固碳能力,从而促进土壤有机质含量的提升<sup>[27]</sup>。此外,朱利霞等<sup>[28]</sup>研究发现,配施生物有机肥可以增加玉米田土壤有机质和全氮含量,对土壤碱解氮、有效磷和速效钾等养分含量也有明显的提升效果。这与本次试验结果相近。虽然本试验中部分配施生物有机肥处理收割后的土壤速效养分含量略低于插秧前,但是多优于全施化肥处理收割后的土壤状况。一方面,生物有机肥中的氮、磷、钾含量虽远不如化肥中的含量高,但其养分释放缓慢,肥力持续时间长<sup>[29]</sup>。另一方面,生物有机肥含有丰富的营养物质和活性微生物,能够丰富土壤微生物群落结构并刺激其活性,活化土壤中被固定的氮磷钾养分,最终提高了土壤速效养分含量<sup>[30]</sup>。此外,土壤养分的累积情况与肥料的种类、施肥量、作物生长状态以及土壤基础肥力均有密切关系<sup>[31]</sup>。配施生物有机肥处理施入的氮、磷、钾总量远低于全施化肥处理(表1),但其水稻生长情况多优于全施化肥处理(图1),作物生长所消耗的养分更多,导致部分配施生物有机肥处理收割后土壤速效养分较全施化肥处理略低但降幅不明显。

生物有机肥对作物产量的影响与作物种类、肥料配比、土壤养分等因素之间关系密切<sup>[32]</sup>。生物有

机肥不仅提供了作物生长所需的氮、磷、钾等养分,大量的有机质也提高了土壤微生物群落及其活性<sup>[31]</sup>,可以平衡化肥的肥效,活化土壤中固定的氮、磷、钾等养分,促进作物对养分的吸收利用,进而提高作物产量<sup>[33]</sup>。关于生物有机肥的施用对提高水稻产量<sup>[23,34]</sup>及其构成因素<sup>[35-36]</sup>的研究较多,但是在本次试验中,配施较少生物有机肥的 T1、T2 处理水稻产量低于全施化肥处理,而 T3、T4 处理水稻产量则高于全施化肥处理,尤其是 T3 处理的最终收益显著高于全施化肥处理。这可能是水肥联合调控导致的,只有在水分管理、田间管理、肥料措施和气候相互配合的情况下才能获得最佳的水稻产量<sup>[37]</sup>。此外,不同品牌的生物有机肥其基质也不相同,导致施用后土壤养分状况存在差异,最终影响水稻生产。例如,张凯迪等<sup>[38]</sup>在研究4种品牌的生物有机肥对水稻生长及生产的影响时发现,除施用波尔特 EM 菌肥处理的水稻千粒重显著大于常规施肥处理外,其他3种生物有机肥处理与常规施肥处理下水稻在最终成穗数、每穗实粒数、结实率和最终产量上均无显著差异。因此,关于施用多少生物有机肥或哪种生物有机肥与化肥的配施能够促进水稻生长、实现增产保肥的研究仍有待进一步开展。

## 5 结 论

(1)生物有机肥的施用能够提前水稻分蘖时间,但对水稻分蘖数影响不明显。而配施高比例的生物有机肥可以提高水稻株高和叶面积指数,尤其是叶面积指数,其提升幅度达13.5%~40.5%。

(2)配施生物有机肥能够促进节水灌溉稻田土壤有效养分的累积,对土壤有效磷和速效钾含量的提升效果明显。

(3)配施生物有机肥对水稻穗粒数、结实率和千粒重均有提升,而且生物有机肥施用比例较高时,水稻可增产1.7%~7.0%,尤其是T3处理的最终收益显著提高了8.7%。综合试验结果表明,25%化肥配施75%生物有机肥对节水灌溉稻田养分累积和水稻生长及产量有较好的促进作用。

### 参考文献:

[1] MI Wenhai, YANG Xin, WU Lianghua, et al. Evaluation of nitrogen fertilizer and cultivation methods for agronomic performance of rice [J]. *Agronomy Journal*, 2016, 108(5): 1907-1916.

[2] HUANG Jikun, HU Ruifa, CAO Jianmin, et al. Training

programs and in-the-field guidance to reduce China's over-use of fertilizer without hurting profitability [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 63(5): 165-167.

- [3] XIN Liangjie, LI Xiubin, TAN Minghong. Temporal and regional variations of China's fertilizer consumption by crops during 1998-2008 [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2012, 22(4): 643-652.
- [4] HUANG Xinqi, LIU Liangliang, WEN Teng, et al. Illumina MiSeq investigations on the changes of microbial community in the *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* infected soil during and after reductive soil disinfestation [J]. *Microbiological Research*, 2015, 181: 33-42.
- [5] ZHAO Jia, LIU Jiang, LIANG Hong, et al. Manipulation of the rhizosphere microbial community through application of a new bio-organic fertilizer improves watermelon quality and health [J]. *PLoS One*, 2018, 13(2): e0192967.
- [6] TAHIR M, KHALID U, IJAZ M, et al. Combined application of bio-organic phosphate and phosphorus solubilizing bacteria (*Bacillus* strain MWT 14) improve the performance of bread wheat with low fertilizer input under an arid climate [J]. *Brazilian Journal of Microbiology*, 2018, 49(S1): 15-24.
- [7] 李凤霞,王长军,肖国举,等.生物有机肥对宁夏盐碱地土壤理化性质及微生物的影响 [J]. *宁夏农林科技*, 2021, 62(7): 18-22.
- [8] 鲁洪娟,周德林,叶文玲,等.生物有机肥在土壤改良和重金属污染修复中的研究进展 [J]. *环境污染与防治*, 2019, 41(11): 1378-1383.
- [9] 张雪艳,田蕾,高艳明,等.生物有机肥对黄瓜幼苗生长、基质环境以及幼苗根系特征的影响 [J]. *农业工程学报*, 2013, 29(1): 117-125.
- [10] WANG Jianfei, LI Xiaoliang, XING Suzhi, et al. Bio-organic fertilizer promotes plant growth and yield and improves soil microbial community in continuous monoculture system of *chrysanthemum morifolium* cv. Chuju [J]. *International Journal of Agriculture and Biology*, 2017, 19(3): 563-568.
- [11] CHANTAL K, SHAO Xiaohong, JING Binbin, et al. Effects of effective microorganisms (EM) and bio-organic fertilizers on growth parameters and yield quality of flue-cured tobacco (*Nicotiana tabacum*) [J]. *Journal of Food Agriculture & Environment*, 2013, 11(2): 1212-1215.
- [12] 荆瑞勇,王丽艳,郭永霞.生物有机肥对盆栽小白菜土壤酶活性和微生物数量的影响 [J]. *水土保持研究*, 2015, 22(2): 79-83+89.
- [13] 陆斌,曾洪玉,唐宝国,等.生物有机肥料在水稻上的应用效果研究 [J]. *现代农业科技*, 2020(16): 8+13.
- [14] Food and Agriculture Organization of the United Nations.

- The food and agriculture organization [EB/OL]. [2022-06-23] <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- [15] 杨春. 我国水资源保护现状及思考[J]. 资源节约与环保, 2014(4):88.
- [16] 罗文兵, 孟小军, 李亚龙, 等. 南方地区水稻节水灌溉的综合效应研究进展[J]. 水资源与水工程学报, 2020, 31(4):145-151.
- [17] 周亮, 谭石勇, 杨丽丽, 等. 生物有机肥研究综述[J]. 农技服务, 2015, 32(12):125-126.
- [18] 吴嘉彧, 孙龙, 万广超, 等. 施用生物有机肥对寒区水稻生长发育和产量性状的影响[J]. 现代化农业, 2019(7):22-23.
- [19] 贾信德, 王海泽, 陈志国. 生物型有机肥在水稻上应用效果[J]. 现代化农业, 2015(1):29-30.
- [20] 周影, 赵荷娟, 管永祥, 等. 生物有机肥对丘陵地区补充耕地水稻产量和土壤肥力的影响[J]. 天津农业科学, 2017, 23(8):98-101.
- [21] 王德伟. 黄腐酸生物有机肥对水稻性状产量效益的影响[J]. 农技服务, 2019, 36(5):20-21.
- [22] 姜阳阳, 赵光明. 苗舒生物有机肥在水稻上应用效果试验[J]. 现代化农业, 2019(3):13-14.
- [23] 高亮, 陈绍华, 翟奎林. 中药渣生物有机肥对水稻产量和效益的影响[J]. 现代农业科技, 2017(24):3-4.
- [24] 吴宗钊, 原保忠. 水肥耦合对水稻生长、产量及氮素利用效率的影响[J]. 水资源与水工程学报, 2020, 31(4):199-207+215.
- [25] LI Yuanyuan, SHAO Xiaohong, LI Daoxi, et al. Effects of water and nitrogen coupling on growth, physiology and yield of rice[J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2019, 12(3):60-66.
- [26] CHEN Yukun, JIANG Zhao, WU Dan, et al. Development of a novel bio-organic fertilizer for the removal of atrazine in soil[J]. Journal of Environment Management, 2019, 233:553-560.
- [27] 罗兴录, 岑忠用, 谢和霞, 等. 生物有机肥对土壤理化、生物性状和木薯生长的影响[J]. 西北农业学报, 2008, 17(1):167-173.
- [28] 朱利霞, 曹萌萌, 桑成琛, 等. 生物有机肥替代化肥对玉米土壤肥力及酶活性的影响[J]. 四川农业大学学报, 2022, 40(1):67-72.
- [29] 侯会静, 韩正砥, 杨雅琴, 等. 生物有机肥的应用及其农田环境效应研究进展[J]. 中国农学通报, 2019, 35(14):82-88.
- [30] 孔涛, 马瑜, 刘民, 等. 生物有机肥对土壤养分和土壤微生物的影响[J]. 干旱区研究, 2016, 33(4):884-891.
- [31] 王站付, 石磊, 杨业凤, 等. 无机有机肥配施对水稻产量及氮肥利用率的影响[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(1):163-166.
- [32] 蔡射霞, 徐永忠. 生物有机肥肥效机理及其应用发展探究[J]. 农业开发与装备, 2018(8):150+158.
- [33] 张迎春, 颀建明, 郁继华, 等. 生物有机肥部分替代化肥对莴笋生长、产量及品质的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2020, 38(1):66-73.
- [34] 邱尧, 刘备, 何霖, 等. 增施生物有机肥对水稻产量和土壤肥力的影响[J]. 中国农学通报, 2020, 36(13):1-5.
- [35] LI Zuren, LI Dinghua, ZHOU Shanfeng, et al. The weeds control of a novel bioorganic fertilizer and its effects on agronomic traits of rice[J]. International Journal of Agriculture and Biology, 2018, 20(3):507-512.
- [36] FARHANA J A, SHAMSHUDDIN J, FAUZIAH C I, et al. Enhance the fertility of an acid sulfate soil for rice cultivation using lime in combination with bio-organic fertilizer[J]. Pakistan Journal of Botany, 2017, 49(5):1867-1875.
- [37] BUENO C S, BUCOURT M, KOBAYASHI N, et al. Water productivity of contrasting rice genotypes grown under water-saving conditions in the tropics and investigation of morphological traits for adaptation[J]. Agricultural Water Management, 2010, 98(2):241-250.
- [38] 张凯迪, 张康强, 姚继刚, 等. 4种生物有机肥对盐碱化土壤改良和水稻生产的影响[J]. 浙江农业科学, 2020, 61(10):1987-1989.