



喷施微生物菌肥对广东丝苗香米产量形成及 茎鞘物质转运特性的影响

黄琢理¹, 刘栩薇¹, 梁陆欣¹, 郜子峰¹, 付晓萌¹,
廖 荣¹, 王树丽^{1,2}, 莫钊文^{1,2}

(1. 华南农业大学 农学院, 广州 510642; 2. 农业部华南地区作物栽培科学观测实验站, 广州 510642)

摘 要 为探明喷施微生物菌肥对广东丝苗香米产量形成及茎鞘物质转运特性的影响。在大田试验条件下, 以丝苗香米品种‘美香占2号’和‘象牙香占’为材料, 设喷施清水为对照, 研究3个质量浓度微生物菌肥处理(0.25 g·L⁻¹、0.50 g·L⁻¹和1.00 g·L⁻¹)对香稻产量及其构成因素、干质量、株高、茎鞘物质转运特性和收获指数的影响。结果表明: 与对照相比, 喷施不同质量浓度的微生物菌肥使2种丝苗香米增产幅度达到4.74%~27.02%, 提高了丝苗香米各时期的总干质量。喷施0.25 g·L⁻¹和0.50 g·L⁻¹菌肥处理显著增加了‘美香占2号’的千粒质量, 不同质量浓度的喷施菌肥处理均显著提高了‘美香占2号’的每穗总粒数。喷施0.50 g·L⁻¹和1.00 g·L⁻¹菌肥处理增加了‘象牙香占’抽穗后的干质量增量, 而喷施0.25 g·L⁻¹和0.50 g·L⁻¹菌肥处理则显著提高了‘象牙香占’的茎鞘物质输出率和茎鞘物质转运率。研究认为喷施微生物菌肥能调控丝苗香米的每穗总粒数、千粒质量、各时期的干质量以及茎鞘物质转运特性, 进而提高产量, 其中以喷施0.50 g·L⁻¹菌肥处理的增产效果最佳。

关键词 微生物菌肥; 丝苗香米; 产量形成; 茎鞘转运

中图分类号 S511

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2020)05-0752-07

香稻因具有独特的香味、高营养价值和优良的品质而备受消费者的青睐^[1-2]。香米的市场需求日益增加, 刺激了其种植生产过程对高产和浓香的追求^[3]。传统的香稻生产受香稻品种特性和栽培技术等不足的制约, 因此, 前人在香稻浓香、安全、优质和产量等方面开展了大量研究^[4-7]。目前, 有关提高香稻产量的研究主要着眼于肥料施用和灌溉方式等农艺措施^[8-11]。

微生物菌肥具有有效菌株, 能向植物提供养分, 促进生长或提高抗性的微生物接种剂, 被广泛应用于农业生产中^[12]。施用菌肥能促进土壤养分的释放^[13], 增加土壤肥料利用率^[14], 提高土壤有效菌数量和土壤酶活性^[15], 从而改善土壤对作物的养分供应。施用菌肥还能促进作物的根系生长^[16], 提高根系活力和抗氧化酶活性, 并增加叶片中的叶绿素含量^[17], 提高光合效率, 从而使作物获得充足的养分并有效地积累光合产物^[15,18],

进而提高作物的生物量和产量, 相关应用在白菜^[14]、生菜^[19]、快菜^[20]、番茄^[21]、黄瓜^[15]以及水稻^[22]等作物上面已有报道。此外, 施用菌肥还能提高稻米的品质和商品价值^[23]。

在微生物菌肥影响作物产量形成的相关研究中, 前人多采用土壤施用方式, 且未深入分析作物产量形成的物质积累与分配基础。本研究以广东丝苗香米的代表性品种‘美香占2号’和‘象牙香占’为材料开展大田试验, 在破口期进行微生物菌肥喷施处理, 旨在探究喷施菌肥对丝苗香米产量形成及茎鞘物质转运特性的影响, 并筛选出较优的喷施浓度, 以期进一步完善香稻的高产栽培技术体系。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试丝苗香米品种为‘美香占2号’和‘象牙

收稿日期 2019-07-24 修回日期 2019-10-29

基金项目 国家自然科学基金(31601244, 31271646); 广州市科技计划项目(201707010413)。

第一作者 黄琢理, 男, 本科生, 研究方向为作物栽培与生理。E-mail: BioAgr_HuangZL@163.com

通信作者 莫钊文, 男, 博士, 副教授, 主要从事作物栽培与生理研究。E-mail: scaumozhw@126.com

香占',由华南农业大学农学院提供。供试微生物菌肥含有有效活菌数 $\geq 10^6$ cfu·g⁻¹,菌种包括固氮螺菌、根瘤菌、溶磷菌、乳酸杆菌、光合细菌、硝化菌、放线菌和酵母菌等,并含大量元素(氮 $\geq 5\%$ 、磷 $\geq 8\%$ 、钾 $\geq 9\%$ 、钙 $\geq 0.17\%$ 、镁 $\geq 0.42\%$ 、硫 $\geq 2.46\%$),微量元素(铜、硼、锰、锌、铁、钼)以及有机物(芦荟提取物 $\geq 5\%$ 、腐殖酸 $\geq 4.4\%$ 、氨基酸 $\geq 5\%$ 、蛋白质 $\geq 3\%$)(IBG Ventures(马来西亚)有限责任公司)。

1.2 试验设计

试验于2017年在华南农业大学农场进行,设4个处理,分别为对照(CK):喷施清水;J1:喷施 $0.25\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 菌肥;J2:喷施 $0.50\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 菌肥;J3:喷施 $1.00\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 菌肥,采用裂区组排列,小区面积 24 m^2 ,重复3次。喷施处理于水稻破口期晴朗无风的下午进行,每隔1d喷施1次,共3次,菌肥稀释液喷施用量为 $100\text{ mL}\cdot\text{m}^{-2}$ 。试验于3月11日播种,播种后22d按照行距为30cm,株距为12cm(每穴4苗)移栽。香稻专用肥用量为 $750\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ [4],基肥和分蘖肥分别施用 $470\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $280\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,各处理病虫害防治以及灌溉等措施同田间管理。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 干质量和株高的测定 于抽穗期(喷施菌肥处理3d后)和成熟期,在各小区随机调查50株稻株的有效穗数,根据调查所得的平均有效穗数,随机选取代表性稻株5穴,测量其茎基部到最高穗顶的长度,把植株剪为茎鞘、叶和穗3部分,置于 $105\text{ }^\circ\text{C}$ 的鼓风干燥箱中30min,然后于 $65\text{ }^\circ\text{C}$ 烘干至恒量后取出并立即称量。

1.3.2 产量及其构成因素的测定 于各小区中使用五点取样法,即划定5块面积为 1 m^2 的收获区域,将此区域的稻株收割脱粒,晒干稻谷后进行称量,测定产量;并随机选取100穴稻株测定有效穗数,基于测定得的平均有效穗数随机选取5穴稻株,收获晒干后考种,测定每穗总粒数、干粒质量和结实率。

1.3.3 茎鞘物质运转特性与收获指数的计算

茎鞘物质运转特性与收获指数的计算参考魏中伟等[24],根据生物量及产量数据,按如下公式来分析计算收获指数、抽穗后干质量增量、茎鞘物质输出率和茎鞘物质转运率:

收获指数 = 产量 / 成熟期地上部干质量

抽穗后干质量增量 = 成熟期地上部干质量 - 抽穗期地上部干质量

茎鞘物质输出率 = (抽穗期茎鞘干质量 - 成熟期茎鞘干质量) / 抽穗期茎鞘干质量 $\times 100\%$

茎鞘物质转运率 = (抽穗期茎鞘干质量 - 成熟期茎鞘干质量) / 籽粒干质量 $\times 100\%$

1.4 数据分析

采用Excel 2016录入与整理数据,并使用Statistix 8.1和LSD最小显著差数法进行方差分析及多重比较。

2 结果与分析

2.1 喷施微生物菌肥对丝苗香米产量及其构成因素的影响

如表1所示,与对照相比,喷施不同质量浓度的菌肥均增加2种丝苗香米的产量,增幅为 $4.74\%\sim 27.02\%$,且喷施 $0.50\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 菌肥的增产效果最优。就‘美香占2号’而言,喷施不同质量浓度的菌肥均显著提升其每穗总粒数,增幅为 $23.87\%\sim 28.00\%$,但对其有效穗数和结实率的影响不显著;喷施 $0.25\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 及 $0.50\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 菌肥则显著增加其千粒质量。可见,喷施菌肥使‘美香占2号’增产的原因可能是显著增加其每穗总粒数和千粒质量。

2.2 喷施微生物菌肥对丝苗香米生物量的影响

如表2所示,在抽穗期的生物量指标中,喷施不同质量浓度的菌肥对2种丝苗香米的茎鞘干质量影响不显著。与对照相比,喷施 $0.25\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 菌肥显著增加了‘美香占2号’的叶干质量,以及2种丝苗香米的穗干质量和总干质量。与喷施 $0.50\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 菌肥相比,喷施 $0.25\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 菌肥显著提高了‘象牙香占’的叶干质量。这表明喷施 $0.25\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 菌肥对抽穗期丝苗香米的生长促进作用为各处理中最优。在成熟期的生物量指标中,与对照相比,喷施 $0.25\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 菌肥显著增加了2种丝苗香米的株高和‘美香占2号’的茎鞘干质量,而喷施 $0.50\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 菌肥则显著增加了‘象牙香占’的茎鞘干质量。表明喷施适宜浓度的菌肥有利于促进丝苗香米的成熟期茎鞘干物质积累。喷施不同质量浓度的菌肥对2种丝苗香米的叶干质量、穗干质量和总干质量影响不显著,但均提高了2种丝苗香米的总干质量。

表 1 喷施微生物菌肥下丝苗香米产量及其构成因素($\bar{x} \pm s$)

Table 1 Yield and traits related to yield in fragrant long grain rice under treatment of microbial fertilizer

品种 Cultivar	处理 Treatment	每穴有效穗数 Effective panicle number per hill	每穗总粒数 Grain number per panicle	结实率/% Seed setting rate	千粒质量/g 1 000-grain mass	产量/ ($g \cdot m^{-2}$) Gain yield
美香占 2 号 Meixiangzhan 2	CK	13.0±0.4 a	77.5±4.7 b	89.92±1.38 a	24.5±0.2 b	548.6±23.5 a
	J1	13.7±0.5 a	96.0±3.3 a	89.86±1.55 a	25.3±1.0 a	607.9±38.6 a
	J2	13.9±0.3 a	96.0±1.4 a	90.95±0.53 a	25.6±0.2 a	638.5±23.4 a
	J3	13.4±0.3 a	99.2±4.2 a	87.92±1.02 a	24.4±0.3 b	574.6±32.7 a
象牙香占 Xiangyaxiangzhan	CK	13.2±0.8 a	74.5±4.2 a	83.95±0.80 a	21.8±0.8 a	470.8±27.9 b
	J1	13.1±0.7 a	73.9±6.8 a	80.34±3.31 a	22.3±0.6 a	479.1±11.5 b
	J2	13.3±0.8 a	72.1±4.3 a	86.34±3.50 a	22.5±1.2 a	598.0±65.1 a
	J3	13.6±0.8 a	77.6±3.7 a	80.96±5.42 a	21.6±0.4 a	517.1±38.2 ab

注:同一品种不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著($P < 0.05$)。下同。

Note: Lower case letters followed by the same cultivar indicate significant difference ($P < 0.05$). The same below.

表 2 喷施微生物菌肥下丝苗香米抽穗期和成熟期生物量($\bar{x} \pm s$)

Table 2 Dry mass of fragrant long grain rice at heading and maturity stages under treatment of microbial fertilizer

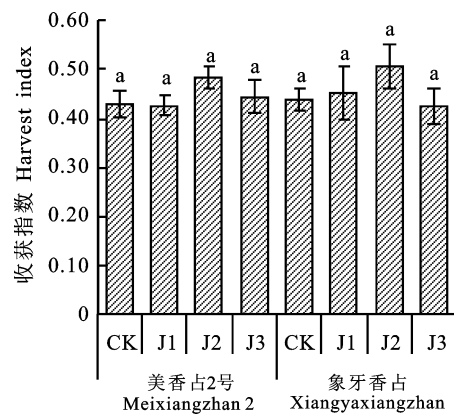
品种 Cultivar	处理 Treatment	抽穗期 Heading stage				株高/cm Plant height	成熟期 Maturity stage			
		茎鞘干质量/ ($g \cdot m^{-2}$) Stem and sheath dry mass	叶干质量/ ($g \cdot m^{-2}$) Leaf dry mass	穗干质量/ ($g \cdot m^{-2}$) Panicle dry mass	总干质量/ ($g \cdot m^{-2}$) Total dry mass		茎鞘干质量/ ($g \cdot m^{-2}$) Stem and sheath dry mass	叶干质量/ ($g \cdot m^{-2}$) Leaf dry mass	穗干质量/ ($g \cdot m^{-2}$) Panicle dry mass	总干质量/ ($g \cdot m^{-2}$) Total dry mass
美香占 2 号 Meixiangzhan 2	CK	637.3±12.7 a	228.2±3.9 b	89.1±4.0 b	954.5±18.2 b	103.1±0.8 b	434.8±20.3 b	194.1±22.7 a	663.3±37.1 a	1 292.2±57.2 a
	J1	684.7±29.0 a	264.8±13.4 a	104.9±5.3 a	1 054.4±40.9 a	110.7±3.1 a	508.4±13.5 a	182.5±9.4 a	735.3±21.3 a	1 426.2±42.9 a
	J2	636.2±11.5 a	243.1±7.9 ab	90.7±4.0 ab	970.0±15.4 ab	105.4±1.4 b	467.8±21.6 ab	153.7±6.6 a	699.8±20.3 a	1 321.3±21.5 a
	J3	668.5±34.5 a	247.1±4.4 ab	92.6±5.8 ab	1 008.2±35.4 ab	105.5±1.2 ab	490.8±39 ab	163.1±14.7 a	670.6±59.5 a	1 324.6±108.9 a
象牙香占 Xiangyaxiangzhan	CK	527.2±9.3 a	192.5±8.2 ab	101.5±2.7 b	821.2±18.7 b	111.0±1.1 b	441.0±6.7 b	114.8±3.1 a	518.6±25.8 a	1 074.4±32.8 a
	J1	612.2±32.8 a	214.2±10.8 a	137.3±7.8 a	963.7±49.8 a	117.4±1.1 a	478.9±61.9 ab	145.4±21.3 a	499.6±59.6 a	1 123.9±139.6 a
	J2	607.5±27.1 a	149.7±29.0 b	104.3±3.2 b	861.6±41.7 ab	111.5±1.7 b	505.8±62.7 a	166.8±14.2 a	541.3±65.0 a	1 213.8±119.9 a
	J3	544.8±32.8 a	183.9±8.2 ab	99.9±4.8 b	828.5±45.5 b	112.7±3.3 ab	508.1±61.6 ab	140.4±9.8 a	594.7±27.6 a	1 243.2±71.0 a

2.3 喷施微生物菌肥对丝苗香米收获指数的影响

如图 1 所示,2 种丝苗香米的收获指数在对照和菌肥处理间的差异不显著,但均在喷施 0.50 $g \cdot L^{-1}$ 菌肥处理下最高,与对照相比分别提高 11.63%和 15.91%。这表明,与其他处理相比,喷施 0.50 $g \cdot L^{-1}$ 菌肥在提高丝苗香米生物量的基础上能更有效地增加经济产量。

2.4 喷施微生物菌肥对丝苗香米抽穗后干质量增量的影响

由图 2 可知,与对照相比,不同质量浓度的菌肥处理均提升‘美香占 2 号’的抽穗后干质量增量,但并不显著。就‘象牙香占’而言,喷施 0.25 $g \cdot L^{-1}$ 菌肥对其抽穗后干质量增量无显著影响,而喷施 0.50 $g \cdot L^{-1}$ 和 1.00 $g \cdot L^{-1}$ 菌肥均提升其抽穗后干质量增量,增幅分别为 41.82%和 63.84%。这表明 2 种丝苗香米抽穗后的干物质积累对喷施菌肥的响应存在明显差异,而喷施 0.50 $g \cdot L^{-1}$ 和 1.00 $g \cdot L^{-1}$ 菌肥对‘象牙香占’抽穗后的干物质积累有较优的促进效果。



同一品种不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),相同小写字母表示差异不显著($P > 0.05$)。下同

Different lowercase letters followed in the same cultivar indicate significant difference ($P < 0.05$), same lowercase letters indicate no significant difference ($P > 0.05$). The same below

图 1 喷施微生物菌肥下丝苗香米收获指数
Fig.1 Harvest index in fragrant long grain rice under treatment of microbial fertilizer

2.5 喷施微生物菌肥对丝苗香米茎鞘物质输出率及转运率的影响

如图 3 和 4 所示, 与对照相比, 喷施不同浓度的菌肥对‘美香占 2 号’的茎鞘物质输出率和转运率的影响不显著。就‘象牙香占’而言, 与对照相比, 喷施 $0.25 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 菌肥显著增加了其茎鞘物质输出率和转运率, 增幅分别为 77.94% 和 66.71%。喷施 $0.50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 菌肥显著提升了其茎鞘物质转运率, 增幅为 50.37%。而喷施 $1.00 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 菌肥对其茎鞘物质输出率和转运率无显著影响。可见, 喷施适宜质量浓度的菌肥能促进‘象牙香占’茎鞘物质的输出和转运, 并在 $0.25 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的喷施质量浓度下效果最优。

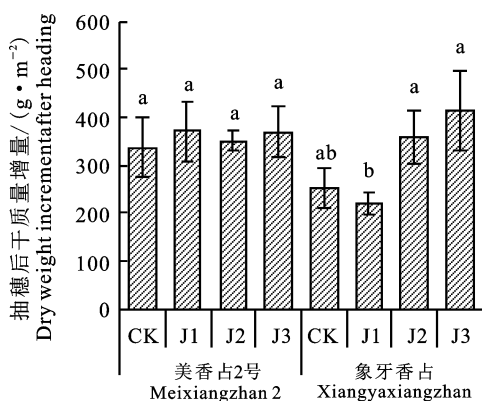


图 2 喷施微生物菌肥下丝苗香米抽穗后干质量增量

Fig.2 Dry mass increment of fragrant long grain rice after heading stage under treatment of microbial fertilizer

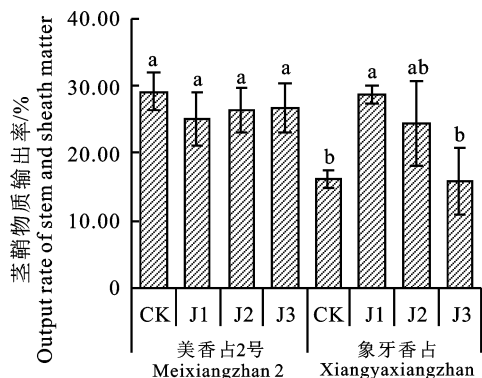


图 3 喷施微生物菌肥下丝苗香米茎鞘物质输出率

Fig.3 Output rate of stem and sheath matter in fragrant long grain rice under treatment of microbial fertilizer

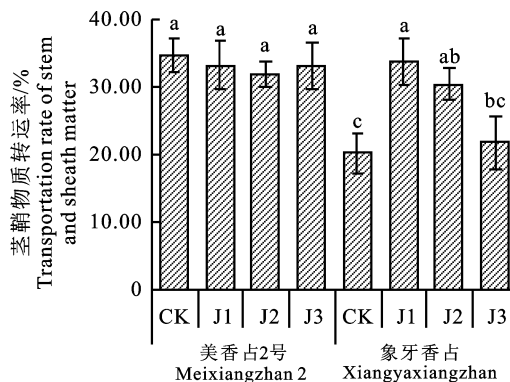


图 4 喷施微生物菌肥下丝苗香米茎鞘物质转运率
Fig.4 Transportation rate of stem and sheath matter in fragrant long grain under treatment of microbial fertilizer application

3 讨论

已有研究表明, 在土壤中单独或复混施用微生物菌肥能使水稻增产^[13,22,25]。本研究中, 喷施微生物菌肥增加了 2 种丝苗香米的产量, 与史秀宏等^[22]的报道一致。就水稻产量构成因素而言, 鲁杰等^[23]的研究表明, 施用微生物菌肥与常规施肥相比降低了有效穗数和每穗总粒数, 提高了千粒质量和结实率。史秀宏等^[22]的研究表明, 施用硅酸盐微生物菌剂提高了每穗总粒数、千粒质量和结实率。喷施 $0.25 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 菌肥显著提高了‘美香占 2 号’千粒质量, 与史秀宏等^[22]以及鲁杰等^[23]的结果一致; 而喷施不同质量浓度的菌肥均显著提高了每穗总粒数, 这与鲁杰等^[23]的结果相反, 推测原因为本试验是在常规施肥的基础上喷施菌肥, 而鲁杰等^[23]的研究比较了减氮处理下喷施菌肥与常规施肥处理间的差异。而对于‘象牙香占’, 喷施微生物菌肥对其有效穗数、每穗总粒数、千粒质量和结实率均无显著影响, 表明 2 种丝苗香米在产量构成因素上对喷施菌肥的响应有明显差异。

水稻干物质的生产、分配、运转是产量形成的基础, 生物量的积累以及在生殖生长期向稻谷分配运转的效率对产量有决定性的影响^[26]。施用微生物菌肥对白菜^[14]、甜菜^[18]、水稻^[22]、甜茶^[17]等作物的生物量积累有促进作用。本研究中, 喷施微生物菌肥不同程度地增加了 2 种丝苗香米抽穗期和成熟期的总干质量, 与史秀宏等^[22]的研究结果一致, 这可能为增产提供了物质积累基础。

水稻产量的 66.7%~75% 来自于抽穗后的干

物质积累,其余来自抽穗前茎鞘干物质的输出转运,茎鞘物质转运特性与水稻的产量关系密切^[27]。目前鲜见施用微生物菌肥对水稻茎鞘物质转运特性的相关研究。本研究中,随着微生物菌肥施用质量浓度的升高,2种丝苗香米的收获指数均表现出先增加后降低的趋势,而喷施 $0.50\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 菌肥更有效地调优了谷草比。对于‘美香占2号’,喷施菌肥降低了其成熟期叶干质量,增加了成熟期穗干质量和抽穗后干质量增量,虽然对其茎鞘物质输出率和转运率均无显著影响,却使其增产,原因可能是喷施菌肥促进‘美香占2号’抽穗后的干物质积累以及叶片干物质向稻穗的转运。而对于‘象牙香占’,喷施菌肥总体上提升了其抽穗后干物质积累量和茎鞘物质转运特性,促进了其茎鞘物质向籽粒的转运,进而使其增产。

4 结论

喷施不同质量浓度的微生物菌肥能调控丝苗香米的每穗总粒数、千粒质量、各时期的生物量以及茎鞘物质转运特性,进而提高产量。‘美香占2号’和‘象牙香占’对喷施微生物菌肥的响应存在明显差异。喷施 $0.50\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 菌肥对2种丝苗香米均具有较优的增产效果。

参考文献 Reference:

- [1] 郭震华,张淑华,刘传雪,等.水稻稻米香味基因的遗传研究及其在育种中应用的研究进展[J].黑龙江农业科学,2013(3):143-146.
GUO ZH H,ZHANG SH H,LIU CH X, *et al.* Research progress of genetic studies of rice fragrance gene and its application in breeding[J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2013(3):143-146.
- [2] 陈传华,李虎,刘广林,等.广西香稻育种现状及发展策略[J].中国稻米,2017,23(6):117-120.
CHEN CH H,LI H,LIU G L, *et al.* Breeding status and development strategy of fragrant rice in guangxi province[J]. *China Rice*, 2017,23(6):117-120.
- [3] 黄忠林,唐湘如,王玉良,等.增香栽培对香稻香气和产量的影响及其相关生理机制[J].中国农业科学,2012,45(6):1054-1065.
HUANG ZH L,TANG X L,WANG Y L, *et al.* Effects of increasing aroma cultivation on aroma and grain yield of aromatic rice and their mechanism[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012,45(6):1054-1065.
- [4] 罗一鸣,肖立中,潘圣刚,等.香稻专用肥对香稻光合物质生产特征的影响[J].华南农业大学学报,2015,36(1):28-32.

- LUO Y M,XIAO L ZH,PAN SH G, *et al.* Effects of special fertilizer for aromatic rice on characteristics of photosynthesis and matter production of aromatic rice[J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2015,36(1):28-32.
- [5] LI M J,ASHRAF U,TIAN H, *et al.* Manganese-induced regulations in growth, yield formation, quality characters, rice aroma and enzyme involved in 2-acetyl-1-pyrroline biosynthesis in fragrant rice[J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2016,103:167-175.
- [6] ASHRAF U,TANG X R. Yield and quality responses, plant metabolism and metal distribution pattern in aromatic rice under lead (Pb) toxicity[J]. *Chemosphere*, 2017, 176: 141-155.
- [7] KONG L L,ASHRAF U,CHENG S R, *et al.* Short-term water management at early filling stage improves early-season rice performance under high temperature stress in South China[J]. *European Journal of Agronomy*, 2017, 90:117-126.
- [8] 唐湘如,潘圣刚,段美洋,等.香稻栽培技术规程[J].广东农业科学,2014,41(1):5-7.
TANG X R,PAN SH G,DUAN M Y, *et al.* Technique rule of aromatic rice cultivation[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2014,41(1):5-7.
- [9] 李妹娟,田华,莫钊文,等.锰施用量对香稻生理特性和糙米锰含量的影响[J].华南农业大学学报,2016,37(3):46-53.
LI M J,TIAN H,MO ZH W, *et al.* Effects of Mn application amounts on physiological characteristics and Mn content of aromatic rice[J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2016,37(3):46-53.
- [10] 罗昊文,孔雷蕾,钟卓君,等.淹水胁迫对水稻玉香油占秧苗生长和生理特性的影响[J].作物杂志,2017(1):135-139.
LUO H W,KONG L L,ZHONG ZH J, *et al.* Effects of waterlogging stress on the rice yuxiang youzhan growth and physiological characteristics of seedlings[J]. *Crops*, 2017(1):135-139.
- [11] 田华,潘圣刚,莫钊文,等.不同水分和粒肥处理对香稻香气、品质和产量的影响[J].灌溉排水学报,2018,37(6):36-41.
TIAN H,PAN SH G,MO ZH W, *et al.* Effects of soil moisture and fertilization on fragrance, quality and yield of fragrant rice[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2018,37(6):36-41.
- [12] 孟瑶,徐凤花,孟庆有,等.中国微生物肥料研究及应用进展[J].中国农学通报,2008,24(6):276-283.
MENG Y,XU F H,MENG Q Y, *et al.* Current application status and prospect of microbiological fertilizer in china[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008,24(6):276-283.
- [13] 李丽,韩周,张昀,等.减氮配施菌剂对水稻土酶活性及水稻根系生长的影响[J].辽宁农业科学,2019(2):1-7.

- LI L, HAN ZH, ZHANG J, *et al.* Effects of application of reducing nitrogen combined with microbial agents on paddy soil enzyme activity and rice root growth[J]. *Liaoning Agricultural Sciences*, 2019(2): 1-7.
- [14] 张建峰, 张嘉旭, 朱学军, 等. 微生物复合菌剂 CAMP 对砂质土壤改良及白菜生长的影响[J]. *北方园艺*, 2018(12): 112-118.
- ZHANG J F, ZHANG J X, ZHU X J, *et al.* Effects of microbial compound bacteria CAMP on sandy soil improvement and cabbage growth[J]. *Northern Horticulture*, 2018(12): 112-118.
- [15] 孙玉良, 曹齐卫, 张卫华, 等. 微生物菌肥对黄瓜幼苗生长及生理特性的影响[J]. *西北农业学报*, 2012, 21(2): 132-136.
- SUN Y L, CAO Q W, ZHANG W H, *et al.* Effect of microbial manure on physiological characteristics of cucumber seedlings[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2012, 21(2): 132-136.
- [16] 吴秀红, 戚厚芸, 孙 婷, 等. 内生菌根菌剂对水稻秧苗生长及生理特性的影响[J]. *江苏农业科学*, 2018, 46(21): 65-68.
- WU X H, QI H Y, SUN T, *et al.* Effects of endogenous mycorrhizal fungi inoculant on growth and physiological characteristics of rice seedlings[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2018, 46(21): 65-68.
- [17] 王 玫, 尹承苗, 孙萌萌, 等. 黄腐酸微生物菌剂对连作平邑甜茶光合特性的影响[J]. *植物生理学报*, 2019, 55(1): 99-106.
- WANG M, YI CH M, SUN M M, *et al.* Effect of fulvic acid on leaf photosynthesis fluorescent parameters of apple (*Malus hupehensis*) under replant condition [J]. *Plant Physiology Journal*, 2019, 55(1): 99-106.
- [18] 王孝纯, 宋柏权, 刘晓刚, 等. 微生物菌剂对甜菜产量及含糖的影响研究[J]. *中国糖料*, 2018, 40(6): 55-57.
- WANG X CH, SONG B Q, LIU X G, *et al.* Effects of microbial agent on root yield and sugar content of sugarbeet [J]. *Sugar Crops of China*, 2018, 40(6): 55-57.
- [19] 苗丁丁, 张俊花, 黄 伟, 等. 微生物菌肥对冀西北坝上地区生菜产量和品质的影响[J]. *湖北农业科学*, 2019, 58(14): 83-87.
- MIAO D D, ZHANG J H, HUANG W, *et al.* Effects of microbial fertilizers on the quality and the production of lettuce in Bashang region in the northwest of Hebei province [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2019, 58(14): 83-87.
- [20] 黄皓婷, 王浩然, 周慧妍, 等. 叶面喷施微生物富硒菌肥对快菜产量及品质的影响[J]. *中国农学通报*, 2019, 35(25): 66-71.
- HUANG H T, WANG H R, ZHOU H Y, *et al.* Microbial selenium-enriched fertilizer and brassica rapa: effect of foliar application on selenium content, yield and quality[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2019, 35(25): 66-71.
- [21] 张 佼, 屈 锋, 朱玉尧, 等. 增施有机肥和微生物菌剂对春季杨凌设施番茄产量和品质的影响[J]. *西北农业学报*, 2019, 28(5): 767-773.
- ZHANG J, QU F, ZHU Y Y, *et al.* Effects of more organic fertilizer and microbial agents on yield and quality of spring greenhouse tomato in Yangling[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2019, 28(5): 767-773.
- [22] 史秀宏, 孙 涛, 李 嵩, 等. 硅酸盐微生物菌剂对水稻硅含量及产量的影响[J]. *作物杂志*, 2015(6): 121-125.
- SHI X H, SUN T, LI S, *et al.* Impacts of silicate microbes on silicon content and yield of paddy rice[J]. *Crops*, 2015(6): 121-125.
- [23] 鲁 杰, 刘宝忠, 周传远, 等. 生物有机菌肥对水稻产量及稻米品质的影响[J]. *中国农学通报*, 2009, 25(6): 146-150.
- LU J, LIU B ZH, ZHOU CH Y, *et al.* Effect of biological manure fertilizer on yield and quality of rice[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009, 25(6): 146-150.
- [24] 魏中伟, 马国辉. 超高产杂交水稻超优 1000 的生物学特性及抗倒性研究[J]. *杂交水稻*, 2015, 30(1): 58-63.
- WEI ZH W, MA G H. Biological characteristics and lodging resistance of super high yielding hybrid rice chaoyou 1000[J]. *Hybrid Rice*, 2015, 30(1): 58-63.
- [25] 张 森, 叶长城, 喻 理, 等. 矿物硅肥与微生物菌剂对水稻吸收积累镉的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2016, 35(4): 627-633.
- ZHANG M, YE CH CH, YU L, *et al.* Effects of mineral silicon fertilizer and microbial agent on uptake and accumulation of cadmium by rice[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2016, 35(4): 627-633.
- [26] 林瑞余, 梁义元, 蔡碧琼, 等. 不同水稻产量形成过程的干物质积累与分配特征[J]. *中国农学通报*, 2006, 22(2): 85-190.
- LIN R Y, LIANG Y Y, CAI B Q, *et al.* Characteristics of dry matter accumulation and partitioning in the process of yield formation in different rice cultivars[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(2): 85-190.
- [27] 赵全志, 黄丕生, 凌启鸿. 水稻群体光合速率和茎鞘贮藏物质与产量关系的研究[J]. *中国农业科学*, 2001, 34(3): 304-310.
- ZHAO Q ZH, HUANG P SH, LING Q H. Relations between canopy apparent photosynthesis and store matter in stem and sheath between and yield and nitrogen regulations in rice[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2001, 34(3): 304-310.

Effect of Spraying Microbial Fertilizer on Yield Formation and Transportation Characteristics of Stem and Sheath in Cantonese Fragrant Long Grain Rice

HUANG Zhuoli¹, LIU Xuwei¹, LIANG Luxin¹, GAO Zifeng¹, FU Xiaomeng¹,
LIAO Rong¹, WANG Shuli^{1,2} and MO Zhaowen^{1,2}

(1. College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. Scientific Observing and Experimental Station of Crop Cultivation in South China, Ministry of Agriculture, P.R. China, Guangzhou 510642, China)

Abstract The objective of this study is to explore the effect of spraying microbial fertilizer on yield formation and transportation characteristics of stem and sheath in Cantonese fragrant long grain rice. A field experiment was conducted with two fragrant long grain rice cultivar ‘Meixiangzhan 2’ and ‘Xiangyaxiangzhan’ under different microbial fertilizer spraying levels (CK: 0 g · L⁻¹, J1: 0.25 g · L⁻¹, J2: 0.50 g · L⁻¹ and J3: 1.00 g · L⁻¹). The grain yield and traits related to yield, dry matter accumulation, plant height, transportation characteristics of stem sheath matter and harvest index were measured in this paper. The results showed that compared with CK, spraying microbial fertilizer increased yield of two fragrant rice cultivars from 4.74%—27.02% and increased dry matter accumulation. Spraying 0.25 g · L⁻¹ and 0.50 g · L⁻¹ microbial fertilizer significantly increased 1 000-grain mass of ‘Meixiangzhan 2’, all spraying microbial fertilizer treatments significantly improved grain number per panicle of ‘Meixiangzhan 2’. Spraying 0.50 g · L⁻¹ and 1.00 g · L⁻¹ microbial fertilizer increased dry mass increment after heading of ‘Xiangyaxiangzhan’, spraying 0.25 g · L⁻¹ and 0.50 g · L⁻¹ microbial fertilizer significantly promoted output rate and transportation rate of stem and sheath matter of ‘Xiangyaxiangzhan’. The results suggested that the application of microbial fertilizer could increase grain yield by regulating grain number per panicle, 1 000-grain mass, biomass and transportation characteristics of stem and sheath matter of fragrant long grain rice, spraying 0.50 g · L⁻¹ microbial fertilizer could increase yield best.

Key words Microbial fertilizer; Fragrant long grain rice; Yield formation; Transportation of stem and sheath

Received 2019-07-24

Returned 2019-10-29

Foundation item The National Natural Science Foundation of China (No. 31601244, No. 31271646); the Guangzhou Science and Technology Project (No. 201707010413).

First author HUANG Zhuoli, male, undergraduate. Research area: crop cultivation and physiology. E-mail: BioAgr_HuangZL@163.com

Corresponding author MO Zhaowen, male, Ph. D, associate professor. Research area: crop cultivation and physiology. E-mail: scaumozhw@126.com

(责任编辑:潘学燕 Responsible editor: PAN Xueyan)