

公主岭霉素在水稻育秧期应用技术研究

安俊霞^{1,2}, 李晓光³, 汪洋洲², 张正坤², 马嵩岳⁴, 张静³, 杨会营⁴,
文松³, 杜茜^{2*}, 李启云^{2*}

(1. 吉林农业大学植物保护学院, 长春 130118; 2. 吉林省农业科学院/吉林省农业微生物重点实验室, 长春 130033; 3. 通化市农业科学研究所, 吉林 海龙 135007; 4. 燕化永乐(乐亭)生物科技有限公司, 河北 乐亭 063600)

摘要:研究了公主岭霉素对水稻发芽率和幼苗建成主要生长指标的影响及其不同施药方式下公主岭霉素在室内模拟条件中水稻育秧期生长指标的差异, 初步确定了不同施药方式的最佳施药量, 并在实际生产中从幼苗长势和苗期主要病害发生状况两方面综合考虑, 探讨了公主岭霉素在水稻育秧期应用的可行性。实验结果表明, 公主岭霉素在水稻育秧期施用, 对水稻幼苗建成的影响主要表现在促进种子发芽率和幼苗株高的提升上, 对根的伸长略表现出抑制作用, 对苗鲜重和根鲜重影响不显著, 其中对于株高的影响以 2 000 倍稀释液作用效果最为显著, 比清水对照提高 26.09%, 比芸苔素内酯 1 000 倍稀释液提高 17.57%; 比较公主岭霉素浸种、喷施和拌土三种不同施药方式, 公主岭霉素最适施药量略有不同, 公主岭霉素拌土最适比例为 1:1 000 ~ 1:1 500, 浸种最适浓度为 500 倍稀释液, 播种后喷雾浇灌最适浓度为 2 000 倍稀释液。大棚生产性育秧公主岭霉素最适施药浓度较实验室模拟条件略高。公主岭霉素在水稻育秧期施用对于苗期恶苗病具有一定的防治效果, 本研究中对恶苗病的防效最高为 65.50%。

关键词:公主岭霉素; 水稻; 幼苗建成; 秧苗生长; 恶苗病; 立枯病

中图分类号: S476.8

文献标志码: A

文献编号: 2096-5877(2019)02-0028-06

High Efficiency Application Technology of Gongzhulingmycin During Rice Seedling Stage

AN Junxia^{1,2}, LI Xiaoguang³, WANG Yangzhou², ZHANG Zhengkun², MA Songyue⁴, ZHANG Jing³, YANG Huiying⁴,
WEN Song³, DU Qian^{2*}, LI Qiyun^{2*}

(1. School of Plant Protection, Jilin Agricultural University, Changchun 130118; 2. Jilin Academy of Agricultural Sciences / Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Northeast, Ministry of Agriculture, Jilin Key Laboratory of Agricultural Microbiology, Changchun 130033; 3. Tonghua Academy of Agricultural Sciences, Hailong 135007; 4. Laoting Yoloo Bio-Technology Co., Ltd., Laoting 063600, China)

Abstract: The effects of Gongzhulingmycin on the primary growth indexes of rice germination rate and seedling establishment were studied. The differences among the growth indexes in period of breeding rice under the different cultivation modes with Gongzhulingmycin in laboratory simulation conditions were also tested. The optimum dosages of different application methods were preliminarily determined. Its' practicability during the period of rice sprout cultivation was assessed synthetically based on data of the seeding performance and the impact from diseases. The results showed that Gongzhulingmycin could increase germination rate and height of seeding when it was applied in the rice seedling stage. It could inhibit the root elongation slightly, but there was no significant effect on seeding fresh weight and root fresh weight. 2 000 times dilution treatment could promote plant height significantly, which was 26.09% higher than the control of water and 17.57% higher than the 1 000 times dilution treatment of brassatrol lactone. The optimum dosages were variety among the three different application methods of soaking, spraying and

收稿日期: 2018-10-30

基金来源: 吉林省科技发展计划重点科技攻关项目(20160204008NY); 国家重点研发计划(2017YFD0201104); 国家重点研发计划(2017YFD0200608); 吉林省农业科技创新工程重大项目(CXGC2017ZD006)

作者简介: 安俊霞(1994-), 女, 在读硕士, 研究方向: 植物生理及分子植物病理学。

通讯作者: 杜茜, 女, 博士, 副研究员, E-mail: dqzjk@163.com

李启云, 男, 博士, 研究员, E-mail: qyli@cjaas.com

mixing soil. The optimum ratio of Gongzhulingmycin soil mixing was 1:1 000–1:1 500. The optimum concentration for soaking seeds was 500 times dilution. The optimum concentration of spraying after sowing was 2 000 times dilution. The optimum application concentration of Gongzhulingmycin in greenhouse was slightly higher than the laboratory simulation conditions. The application of Gongzhulingmycin in the rice seedling stage had a certain effect on controlling of bakanae disease, and the highest control effect against bakanae disease was 65.50%.

Key words: Gongzhulingmycin; Rice; Seedling establishment; The seeding growth; Rice bakanae disease; Rice seedling blight

水稻在我国农业生产中占有十分重要的地位,年总产量直接影响我国的粮食安全和社会稳定^[1]。在全国粮食结构中,水稻的种植面积占27%,年总产量占我国每年粮食总产量的38%^[2-3]。在水稻生产上素有“秧好一半禾”的说法^[4],充分说明秧苗素质对水稻整个生育期的抗病能力及对水稻产量、品质提升的重要作用。在全国各水稻产区,普遍存在病秧、弱秧等秧苗品质差的难题。水稻壮秧剂的推广应用对解决水稻秧苗素质差的问题具有积极的作用,但水稻壮秧剂中的化学杀菌剂、生长调节剂和工业浓硫酸会影响环境安全。以具有杀菌活性的农用微生物为基础研制水稻秧田生物药肥制剂可以有效解决目前水稻壮秧剂影响环境安全的问题,是提高秧苗素质,保证水稻高产、稳产的关键^[5]。

不吸水链霉菌公主岭变种(*Streptomyces ahyscopicus* var. *gongzhulingensis*)(简称农抗“769”)是对植物病原菌具有广谱拮抗作用的农用链霉菌,其代谢产物公主岭霉素一个独特的优点是对人、畜毒性低^[6-7],20世纪七八十年代在全国大面积推广应用时,从未出现过任何中毒事件,不污染粮食、土壤和环境^[8]。本实验室前期研究发现公主岭霉素的施用对作物具有免疫诱抗的作用特点,且公主岭霉素对水稻稻瘟病具有较好的防治效果,苗期施用亦可以实现水稻产量和品质的提升。本研究拟将公主岭霉素在水稻上的施用时间前移至育秧期,明确公主岭霉素在不同施用方式下对水稻幼苗建成、秧苗素质的影响以及对苗期病害的防控作用,建立公主岭霉素在水稻育秧期的合理施用技术,以期为水稻育秧期恶苗病、立枯病的防治和秧苗素质的提升及利用优秀农业微生物资源开发环境友好型水稻育秧期药肥提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

1.1.1 植物材料

水稻品种:“吉粳88”,市售。

生物炭无土育苗基质:沈阳凡宇园艺科技有限公司,市售。

1.1.2 试验药剂

公主岭霉素(G)、阿泰灵(A)、芸苔素内酯(Y)、氰烯菌酯、福·霜·敌磺钠、苗盾(30%噁霉灵AS(50 mL)+35%噻呋酰胺SC(12 mL)+2%春雷霉素AS(50 mL)+微生物菌剂枯草芽孢杆菌组合)等,市售。

公主岭霉素原药(粉剂):以玉米大碴子为培养基质,灭菌后接种农抗“769”,28℃培养5~7 d后,待玉米碴子表面布满灰色的菌层后自然晾晒,干燥并粉碎。

公主岭霉素原药(水剂):将公主岭霉素原药粉剂按质量体积比1:2以纯净水浸提24 h,离心,取上清液。

1.2 试验方法

1.2.1 公主岭霉素影响下水稻幼苗秧苗素质发生改变的 趋势

试验采用水培法,将公主岭霉素原药水剂依次稀释100倍、200倍、300倍、500倍、800倍、1 000倍、1 500倍、2 000倍、3 000倍、4 000倍;对照药剂为芸苔素内酯,分别稀释1 000倍、2 000倍;以清水处理为空白对照。每处理设3次重复,每个重复100粒种子,在28℃光照培养箱培养12 d,调查水稻萌发率、株高、根长、苗重和根重等指标。

1.2.2 公主岭霉素不同施用方式及用药量对水稻幼苗建成的影响

分别采用浸种、拌土及立针期喷施三种用药方式,稻种播种于专门用于水稻育秧的生物炭无土育苗基质中,公主岭霉素原药稀释倍数同1.2.1试验设3次重复。

浸种:试验处理同1.2.1,对照药剂为阿泰灵,以清水浸种为对照。不同浓度的药剂25℃浸泡水稻种子,4 d后播撒于育苗盘中。

拌土:处理组采用公主岭霉素原药按质量比相当于浸种稀释倍数的比例拌土,药剂对照为阿

泰灵原药按质量比1:1 000、1:2 000拌土,设置空白对照。水稻种子以清水浸泡,25℃浸泡4 d后播撒于育苗盘中。

喷施:水稻种子以清水浸泡,25℃浸泡4 d后播撒于育苗盘中。稻种出芽后分别用不同稀释倍数的公主岭霉素原药喷雾浇灌,对照药剂为阿泰灵,设1 000倍液、2 000倍液两个喷雾浓度,另设清水对照。

上述各处理的稻种均匀播撒于水稻育苗盘中,28℃光照培养箱中种植,出芽后4~6 d,水稻幼苗长至一叶一心期调查单位面积内出苗数和幼苗平均株高。

1.2.3 公主岭霉素在水稻育秧期施用效果研究

1.2.3.1 公主岭霉素不同施用方式对水稻成苗及育秧期病害预防效果

试验设4个处理(表1),即公主岭霉素原药稀释500倍浸种、播种后公主岭霉素原药稀释500倍浇灌、一叶一心期喷施公主岭霉素原药500倍稀释液和公主岭霉素粉剂1:500比例拌土。对照组为清水浸种播种、氰烯菌酯浸种播种、清水浸种后福·霜·敌磺钠拌土。每个试验小区面积为1 m×1 m,处理组及对照组各设3个重复。

表1 处理及用药量

处理	用药种类
1	清水浸种
2	公主岭霉素500×稀释液浸种
3	氰烯菌酯浸种
4	清水浸种,播种后公主岭霉素500×稀释液浇灌
5	清水浸种,出苗后公主岭霉素500×稀释液喷施
6	清水浸种+公主岭霉素粉剂1:500拌土
7	清水浸种+福·霜·敌磺钠拌土

水稻幼苗长至一叶一心期调查,采用五点取样法,取样点面积10 cm×10 cm,调查水稻株高和单位面积内的苗数^[9]。

同上述取样,待水稻长到4~5叶龄时,调查水稻株高、幼苗鲜重,并将苗在电热恒温干燥箱100℃杀青10 min,80℃烘12 h至恒重,称干重^[10]。

待水稻到5叶期,调查各处理病害发生情况,计算方法如下:

$$\text{病株率}(\%) = \text{病株数} / \text{调查总株数} \times 100$$

$$\text{防治效果}(\%) = \text{CK} - \text{PT} / \text{CK} \times 100$$

CK—空白对照区病株率,PT—药剂处理区病株率。

1.2.3.2 公主岭霉素对育秧期水稻株高的影响

大棚常规育秧,待水稻长到立针期时,分别以公主岭霉素原药10倍稀释液、200倍稀释液、500倍稀释液和1 000倍稀释液喷雾,以苗盾为对照药剂,另设清水对照。分别在施药后的7 d、14 d、24 d后调查,以株高作为评价指标,筛选生产中育秧期施用的最适浓度。试验小区面积为0.8 m×0.8 m,每个处理设3次重复,随机五点取样,每个样点面积10 cm×10 cm^[9]。

1.2.4 数据处理

采用Excel 2007处理数据并制图,采用DPS 7.05软件进行单因素完全随机方差分析和多重比较(Duncan's 新复极差法)。

2 结果与分析

2.1 公主岭霉素对水稻幼苗建成的影响

公主岭霉素对水稻幼苗建成的影响主要表现在促进种子发芽率和幼苗株高的提升上,对根的伸长略表现出抑制作用,对苗鲜重和根鲜重影响不明显。如表2所示,本研究中对照药剂芸苔素内酯的两个施药浓度,1 000倍稀释液对稻种的发芽率和幼苗株高均表现出了促进作用,2 000倍稀释液与对照相比作用效果不明显。与对照药剂相比,公主岭霉素对稻种发芽率的影响,800倍稀释液的作用效果优于芸苔素内酯,与清水对照相比,稻种的发芽率显著提升,在本研究中平均发芽率达到100%,分别比清水对照和芸苔素内酯1 000倍稀释液提高了3.63%和2.56%;1 000倍稀释液的作用效果与对照药剂相当。对于株高的影响,从800倍稀释液开始至2 000倍稀释液,公主岭霉素稀释液对水稻幼苗的建成均表现出促进作用,其中以2 000倍稀释液作用效果最为显著,比清水对照提高26.09%,比芸苔素内酯1 000倍稀释液提高17.57%;公主岭霉素800倍稀释液亦比清水对照和芸苔素内酯1 000倍稀释液提高了14.49%和6.86%,综合各生长指标以800倍稀释液为最适的施用浓度。本研究中,公主岭霉素的施用对水稻幼苗的根长也有一定的影响,但在实际的生产中,根的获得容易在取样时被破坏,误差较大,不作为衡量指标。综上,实验室光照培养箱水培的生长条件下,公主岭霉素在水稻幼苗期主要表现为对种子发芽率和幼苗建成时株高的显著的促进作用,后续试验亦选用发芽率和株高作为评价指标。

2.2 不同施用方式药剂施用量研究

不同的施药方式,药剂的用量有很大的差

表2 公主岭霉素对水稻幼苗生长的影响

处理	发芽率(%)	株高(cm)	根长(cm)	苗重(g)	根重(g)
清水	96.50±1.50 ab	3.45±0.45 ab	9.50±1.00 a	0.03±0.00 b	0.03±0.00 a
Y-1000x	97.50±0.50 ab	3.7±0.70 ab	6.60±0.10 bc	0.03±0.01 b	0.03±0.00 a
Y-2000x	94.00±1.00 ab	3.5±0.20 ab	6.15±1.25 bc	0.03±0.00 b	0.03±0.00 a
G-100x	92.50±3.50 b	2.8±0.60 ab	0.55±0.05 e	0.03±0.00 b	0.02±0.00 c
G-200x	96.50±1.50 ab	2.7±0.20 b	2.55±0.85 de	0.03±0.00 b	0.03±0.01 b
G-300x	96.50±1.50 ab	3.35±0.55 ab	2.55±0.65 de	0.03±0.00 b	0.03±0.00 a
G-500x	96.50±2.50 ab	3.5±0.60 ab	3.25±0.65 d	0.03±0.00 b	0.03±0.00 a
G-800x	100.00±0.00 a	3.95±0.65 ab	6.00±0.90 bc	0.03±0.00 b	0.03±0.00 a
G-1000x	97.50±1.50 ab	3.8±0.60 ab	7.00±0.10 b	0.03±0.00 b	0.03±0.00 a
G-1500x	96.00±2.00 ab	3.8±0.10 ab	7.90±0.70 ab	0.03±0.00 b	0.03±0.00 a
G-2000x	95.50±1.50 ab	4.35±0.55 a	7.10±0.30 b	0.03±0.00 b	0.03±0.00 a
G-3000x	94.50±1.50 ab	3.2±0.40 ab	4.55±1.55 cd	0.03±0.00 b	0.03±0.00 a
G-4000x	96.50±2.50 ab	3.95±0.65 ab	7.95±0.25 ab	0.04±0.01 a	0.03±0.00 a

别。如图1和图2所示,本研究中,相对于三种施

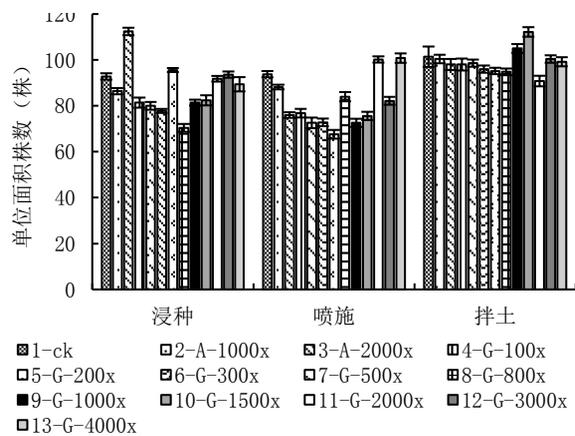


图1 不同施药方式下水稻幼苗建成数量的差异

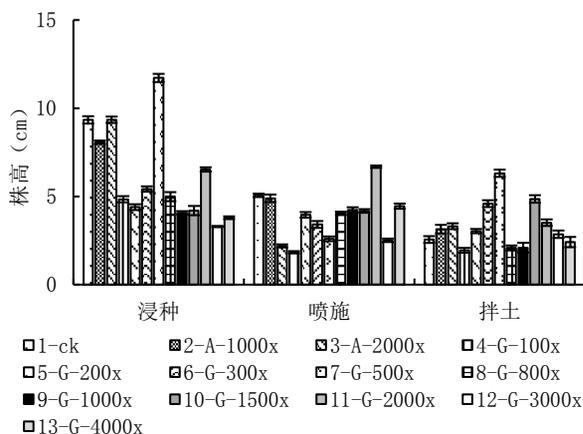


图2 不同施药方式下水稻幼苗株高的差异

药方式,对照药剂阿泰灵仅在浸种试验中使用量为1:2 000(质量体积比)时对稻种的萌发和幼苗建成表现出了促进作用,其他处理均不如清水对

照。同样,三种不同的施药方式,以公主岭霉素粉剂拌土,1:1 000~1:1 500范围内,公主岭霉素对水稻出苗和株高的促进作用明显;公主岭霉素浸种时500倍稀释液对出苗数和株高两个指标均表现出促进作用;而在稻种播种后以公主岭霉素稀释液喷雾浇灌,最佳的施用浓度为2 000倍稀释液。

由此表明,公主岭霉素可提升水稻种子萌发率并促进水稻生长,但不同的施药方式,所用的公主岭霉素的药量略有不同。综合考虑,公主岭霉素拌土最适比例为1:1 000~1:1 500,浸种最适浓度为500倍稀释液,播种后喷雾浇灌最适浓度为2 000倍稀释液。

2.3 公主岭霉素在水稻育秧期施用效果研究

2.3.1 公主岭霉素在水稻育秧期施用对幼苗生长的影响

为解决水稻育秧期秧苗素质和苗期病害的问题,本试验以市售常用药剂为对照,并设空白对照,调查了不同施药方式下水稻幼苗成苗数量的差异并在水稻立针期以不同稀释倍数的公主岭霉素喷施,以探索在生产实际中公主岭霉素对幼苗株高的影响。如图3所示,以公主岭霉素500倍稀释液浸种后播种,播种后喷施及拌土对水稻的出苗和幼苗建成均有促进作用,成苗数较空白对照相比分别提高了4.08%、8.57%和3.67%。

以水稻株高作为评价指标,在水稻立针期喷施不同稀释倍数的公主岭霉素,分别调查药后7 d、14 d和24 d时水稻幼苗株高的差异。如图4所示,药后三个时间点,以公主岭霉素200倍和500倍稀释液喷施,对幼苗生长的促进作用最为明

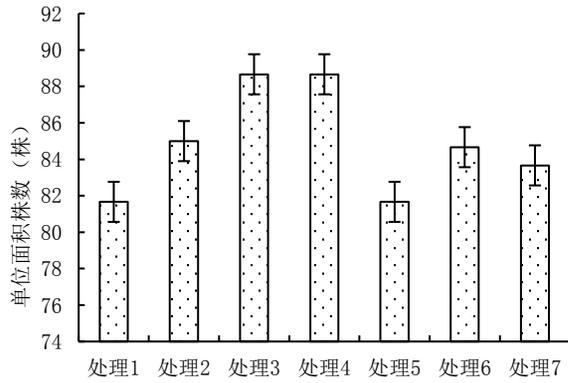


图3 不同药剂处理水稻幼苗建成数量的差异

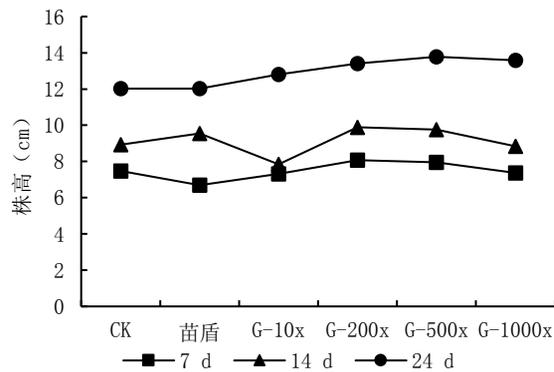


图4 不同剂量公主岭霉素喷施对水稻幼苗株高的影响(黑龙江 2017)

显,且药效持续期长;对照药剂在喷施前期对幼苗的生长有一定的抑制,后有所缓解并优于清水对照,但其持效期较公主岭霉素短,在药后24 d调查,与清水对照无明显差异。高浓度的公主岭霉素对植株的生长具有抑制作用,但随着施药时间的推移,其抑制作用逐渐减弱,后期植株生长可恢复正常,或优于清水对照。公主岭霉素在实际育秧中的用药量高于实验室模拟试验,最适施药量为200~500倍稀释液,200倍稀释液喷施,药后7 d、14 d、24 d株高分别比清水对照高8.09%、10.68%、11.49%,比对照药剂分别高20.62%、3.49%、11.50%;500倍稀释液喷施,药后7 d、14 d、24 d株高分别比清水对照高6.39%、9.27%、14.62%,比对照药剂分别高18.73%、2.17%、14.62%。适当浓度公主岭霉素在水稻育秧期喷施,未见对水稻幼苗产生不良影响,公主岭霉素在水稻育秧期施用安全。

2.3.2 公主岭霉素对水稻育秧期水稻恶苗病的预防效果

本研究分别采用浸种、拌土和喷施的施药方式探索公主岭霉素对水稻苗期主要病害恶苗病和立枯病的防控效果,本研究中氰烯菌酯和福·霜·

敌磺钠分别是生产上防治水稻恶苗病和立枯病的常用药剂。在七个处理中,氰烯菌酯浸种处理对水稻恶苗病的防治效果为100%,经氰烯菌酯浸种,育秧期未见有恶苗病发生。公主岭霉素不同施药方式对水稻恶苗病的发生均具有一定的防治效果,不同的施药方式,防治效果也有一定的差异。本研究中,公主岭霉素施用方式防治水稻恶苗病的效果从高到低依次是:处理2>处理6>处理4>处理5,防治效果分别为65.50%、56.40%、50.90%、45.50%(表3)。水稻恶苗病是由种子带菌引起的植物病害,防治时期越早,其防治效果也越好,本研究试验结果也充分证实了这一点。本次试验未见有立枯病发生,公主岭霉素对水稻立枯病的田间防控效果需要做进一步研究。

表3 公主岭霉素对水稻恶苗病预防效果

处理	恶苗病株数(m ²)	病株率(%)	防治效果(%)
1	36	0.55	—
2	13	0.19	65.50
3	0	0	100
4	19	0.27	50.90
5	20	0.30	45.50
6	16	0.24	56.40
7	24	0.36	34.50

3 结论与讨论

增产提质已成为当前水稻生产中的重要课题,而秧苗素质是水稻物质转化和分配的重要方面,对水稻产量和品质的提升有明显的影响^[11]。选用优质药剂,培育株高、叶鞘未过度伸长,叶片形态适宜,光合作用增强的高素质水稻幼苗^[12],有利于水稻的高产稳产。公主岭霉素不仅对农作物病原菌具有直接的拮抗作用,而且可以促进农作物的生长和产量、品质的提升^[13]。

本研究中,公主岭霉素在水稻育秧期施用可促进水稻幼苗建成,提升幼苗秧苗素质,主要表现在促进种子发芽率,继而提升水稻幼苗建成的数量及对幼苗株高提升的促进作用上。不同的施药方法,公主岭霉素最适的施用量略有不同。相比实验室模拟环境的种植和施药,公主岭霉素在实际生产中的最适使用量偏高,可能由于开放环境中药剂的损失量更大。其在生产中的最佳施用量,需要做进一步更细致的研究。公主岭霉素在水稻育秧期施用,在促进水稻生长,提升秧苗素质的同时,具有降低水稻恶苗病和立枯病发生的

潜力,但其对于水稻立枯病的防控效果有待于进一步在生产实践中证实。在水稻育秧期,公主岭霉素的施用为水稻整个生育期的长势、病害的防控及稳产高产打下良好基础,具有良好的应用和推广价值。生产中为了达到更好的效果,以不同的用药方式协同施用或与市售药剂的协同施用值得进一步研究。另外,利用公主岭霉素与无机N、P、K等营养元素复配成水稻秧田生物药肥,既可利用公主岭霉素对植物病原菌的直接拮抗作用控制育秧田植物病原菌的种群数量,又可发挥公主岭霉素对植物的免疫诱抗活性,提高幼苗的秧苗素质,同时保证水稻苗期生长充足的养分供应,公主岭霉素与化学肥料复配应用于水稻早育苗生产也将是公主岭霉素服务于农业生产的又一生长点。

参考文献:

- [1] Zhang Y P, Xiong D F, Zhu H. Development and transition of rice planting in China[J]. Agriculture Science & Technology, 2012, 13(6): 1271-1276.
- [2] 朱德峰,陈惠哲,徐一成,等.我国双季稻生产机械化制约因子与发展对策[J].中国稻米,2013,19(4):1-4.
- [3] 高菊生,黄晶,董春华,等.长期有机无机肥配施对水稻产量及土壤有效养分影响[J].土壤学报,2014,51(2):314-324.
- [4] 黄洪明,吴美娟,汪暖,等.不同基质育秧对水稻机插秧苗素质和产量的影响[J].中国农学通报,2014,30(15):163-167.
- [5] 程苗,丁伟,王怀彪.复合微生物对水稻立枯病抑菌作用及田间应用效果研究[J].东北农业大学学报,2015,46(7):22-27.
- [6] 张振鲁,杜茜,周幸,等.不吸水链霉菌公主岭变种769原生质体制备条件初探[J].中国农学通报,2013,29(9):155-158.
- [7] 张红丹,杜茜,张正坤,等.放线菌769抑菌谱及液体培养生长曲线的测定[J].中国植保导刊,2010,30(7):5-9.
- [8] 胡吉成.公主岭霉素的研究[M].长春:吉林科学技术出版社,2006:395.
- [9] 何文洪,陈惠哲,朱德峰,等.不同播种量对水稻机插秧苗素质及产量的影响[J].中国稻米,2008(3):60-62.
- [10] 朱久正,王妮敏,梁婵娟.微囊藻毒素对不同生育期水稻生长的影响[J].安全与环境学报,2017,17(5):1890-1894.
- [11] 潘业兴,刘玉兰,范文忠.水稻苗期低温处理对水稻生长性状及产量的影响研究[J].中国稻米,2008(5):44-45.
- [12] 萧长亮,赵泽松,王贺,等.育苗基质对水稻秧苗素质及产量的影响[J].北方水稻,2012,42(4):23-25.
- [13] 杜茜,初佳芮,汪洋洲,等.不吸水链霉菌公主岭新变种对大豆生长和产量的影响[J].安徽农业科学,2018,46(6):130-132,161.
- [14] 王秋君.稻麦轮作系统中施用有机无机复混肥对作物生长及土壤肥力的影响[D].南京:南京农业大学,2012.
- [15] 黄晶,高菊生,张杨珠,等.长期不同施肥下水稻产量及土壤有机质和氮素养分的变化特征[J].应用生态学报,2013,24(7):1889-1894.
- [16] 郝小雨,高伟,王玉军,等.有机无机肥料配合施用对设施番茄产量、品质及土壤硝态氮淋失的影响[J].农业环境科学学报,2012,31(3):538-547.
- [17] 杨德海,屠启澍.有机肥与化肥配施对水稻养分平衡的研究[J].土壤通报,1990(4):155-157.
- [18] 王秋君.稻麦轮作系统中施用有机无机复混肥对作物生长及土壤肥力的影响[D].南京:南京农业大学,2012.
- [19] 顾巍巍,顾树平,张强,等.有机无机配施对水稻产量及产量构成因素的影响[J].上海农业学报,2015,31(6):95-100.
- [20] 王莉,高淑青,李梦瑶,等.长期有机无机肥配施对黑土养分特征的影响[J].吉林农业科学,2015,40(3):54-58,91.
- [21] 许小伟,樊剑波,陈晏,等.不同有机无机肥配施比例对红壤旱地花生产量、土壤速效养分和生物学性质的影响[J].生态学报,2014,34(18):5182-5190.

694-697.

(下转第33页)

(上接第18页)