

周春丽, 万 群, 程金金, 等. 6 种生物刺激素对水稻吸收氯虫苯甲酰胺的影响[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(6): 94–99.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.06.014

# 6 种生物刺激素对水稻吸收氯虫苯甲酰胺的影响

周春丽<sup>1</sup>, 万 群<sup>2</sup>, 程金金<sup>2</sup>, 蒋文奇<sup>2</sup>, 刘嘉楠<sup>2</sup>, 陆 顺<sup>1</sup>, 张 国<sup>3</sup>, 于居龙<sup>3</sup>, 曹崇江<sup>1</sup>, 余向阳<sup>2</sup>

(1. 中国药科大学工学院, 江苏南京 211198; 2. 江苏省农业科学院, 江苏南京 210014;

3. 江苏丘陵地区镇江农业科学研究所, 江苏句容 212400)

**摘要:**稻纵卷叶螟是危害水稻的重要迁飞性害虫, 严重危害水稻的生产。目前, 使用氯虫苯甲酰胺对水稻种子处理后对稻纵卷叶螟具有很好的防治效果。为探究生物刺激素对水稻吸收杀虫剂氯虫苯甲酰胺的效果, 以期为增加水稻稻纵卷叶螟防治效果、减少农药的使用量提供理论支撑, 开展了田间试验。以不添加生物刺激素为对照, 将 6 种生物刺激素(赤霉素、脱落酸、氨基酸、亚精胺、烯效唑、海藻酸钠)分别氯虫苯甲酰胺(100% 推荐量、75% 推荐量和 50% 推荐量)的 3 个浓度分别进行混合拌种, 对水稻不同生育期水稻氯虫苯甲酰胺的残留量进行检测并分析与未添加生物刺激素对照比较水稻氯虫苯甲酰胺残留量的变化。结果表明, 在使用的 6 种生物刺激素中, 脱落酸、亚精胺、烯效唑和海藻酸钠多数在前期促进水稻吸收氯虫苯甲酰胺, 而赤霉素和氨基酸分别与氯虫苯甲酰胺混合拌种后在水稻的整个生育期内都可以促进水稻对氯虫苯甲酰胺的吸收。氯虫苯甲酰胺各推荐剂量分别添加了氨基酸、赤霉素后, 水稻茎中的氯虫苯甲酰胺残留量在生长周期内均增加了 70% 以上, 叶中的氯虫苯甲酰胺残留量分别增加了 20%、50% 以上。

**关键词:**生物刺激素; 氯虫苯甲酰胺; 赤霉素; 氨基酸; 水稻

**中图分类号:**S482.3; S511.041

**文献标志码:**A

**文章编号:**1002-1302(2023)06-0094-06

近年来, 稻纵卷叶螟呈暴发性发生, 严重危害水稻生产<sup>[1]</sup>。目前, 防治稻纵卷叶螟的方法主要是喷雾<sup>[2-4]</sup>或施用氯虫苯甲酰胺颗粒剂<sup>[5-6]</sup>。此外, 于居龙等的研究表明, 使用氯虫苯甲酰胺处理水稻种子可以增强对稻纵卷叶螟的防治效果并且可长效防控稻纵卷叶螟, 减少前期稻纵卷叶螟防治用药次数<sup>[1,7-9]</sup>。但是拌种处理水稻种子仍旧存在着一些问题: 一方面是农药容易吸附在土壤中, 使得大部分农药没有被植物的根系吸收, 降低了农药的利用率<sup>[10]</sup>; 另一方面是田间水分对药剂有淋溶作用, 使作物为实际靶标的有效利用率大幅度降低<sup>[11]</sup>。因此, 提高农药的利用率, 降低种子处理过程中农药使用量的问题亟待解决。

生物刺激素是一种激素类物质, 具有促进种子萌发、提高作物品质、增强植物抵抗盐碱及病虫害的能力<sup>[12]</sup>。赤霉素是一种二萜类化合物和植物激素, 可激活细胞分裂以及细胞增大过程, 可以促进作物提前发芽<sup>[13]</sup>, 促进根和茎的伸长<sup>[14]</sup>; 脱落酸能调控植物的多种生理活动, 使用低浓度的脱落酸浸种水稻种子对秧苗生长有促进作用<sup>[15-16]</sup>; 复合氨基酸可以为作物提供多种氨基酸, 促进作物合成蛋白质, 促进作物的生长; 亚精胺属于脂肪含氮物, 杨安中等使用亚精胺浸种发现, 亚精胺能提高水稻种子的发芽率<sup>[17]</sup>; 烯效唑浸种可提高稻苗光合效率, 使用低浓度的烯效唑可以促进种子发芽<sup>[18-20]</sup>; 海藻酸钠是一种多糖类物质, 张运红等研究发现, 海藻酸钠可以缓解镉对水稻的毒害<sup>[21]</sup>。

有关生物刺激素与杀虫剂混配使用的研究较少。杨富军等研究发现, 使用赤霉素与氯虫苯甲酰胺进行花生种子拌种处理之后, 可以增加花生的防治效果<sup>[22]</sup>。此外生物刺激素与除草剂混配对除草剂也有增效作用, 赤霉素可以增强草甘膦、苄嘧·唑草酮的作用, 芸薹素内酯可以增强苄嘧·唑草酮的作用<sup>[23-24]</sup>。但有关生物刺激素与氯虫苯甲酰胺混配拌种处理影响水稻中氯虫苯甲酰胺含量的研究尚未见报道。因此, 本试验以不添加生物刺激素

收稿日期: 2022-08-09

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 32172448); 江苏省农业科技自主创新资金[编号: CX(21)2002]; 江苏省农业科学院探索性颠覆性创新计划项目[编号: ZX(21)1220]。

作者简介: 周春丽(1996—), 女, 广西北海人, 硕士研究生, 主要从事水稻种子处理技术研究。E-mail: 2228617669@qq.com。

通信作者: 曹崇江, 博士, 教授, 主要从事新型智能食品包装材料研制及在果蔬保鲜品质的精准调控研究, E-mail: ccj33@163.com; 万 群, 博士, 副研究员, 主要从事分子生物学研究, E-mail: wanqun@jaas.ac.cn。

为对照,研究 6 种生物刺激素(赤霉素、脱落酸、氨基酸、亚精胺、烯效唑、海藻酸钠)分别与氯虫苯甲酰胺的 3 个梯度浓度混配进行拌种,旨在研究不同混配组合对水稻吸收农药的影响,以期提高水稻吸收氯虫苯甲酰胺的能力,为水稻药剂拌种减药增效提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试品种

供试水稻品种为南粳 9108。

### 1.2 仪器与试剂

仪器:QTRAP 5500 + 液相色谱 - 质谱仪、AB 5500 + 高效液相色谱串联质谱仪(美国 AB Sciex 公司)、Kinetex F5 色谱柱(100 mm × 3.0 mm, 2.6 μm, 美国 Phenomenex 公司)、离心机(Centrifuge 5804 R, 美国 eppendorf 公司)、干冰研磨机。

试剂:20% 氯虫苯甲酰胺(CAP)悬浮剂(美国杜邦公司生产);氯虫苯甲酰胺标准品(纯度 99.0%,德国 Dr. Ehrenstorfer GmbH 公司);乙腈(色谱纯,上海麦克林生化科技有限公司);无水 MgSO<sub>4</sub>(西陇科学股份有限公司);C18、PSA 分析纯(分析纯,中国安谱公司);红色着色剂;赤霉素、脱落酸、氨基酸、亚精胺、烯效唑、海藻酸钠(上海源叶生物科技有限公司);6 种生物刺激素使用浓度溶液的配制:赤霉素 11 g/L、脱落酸 1 g/L、氨基酸 93.75 g/L、亚精胺 14.525 g/L、烯效唑 0.2 g/L、海藻酸钠 10 g/L)。

### 1.3 种子处理方法

以氯虫苯甲酰胺 100% 推荐量、75% 推荐量和 50% 推荐量(最终氯虫苯甲酰胺药剂有效用量分别为 2.0、1.5、1.0 g/kg 种子)3 个浓度拌种作为 3 个处理对照,以不拌药处理为空白处理,以氯虫苯甲酰胺(100% 推荐量、75% 推荐量或 50% 推荐量) + 赤霉素/脱落酸/氨基酸/亚精胺/烯效唑/海藻酸钠作为试验处理。种子处理方法采用湿拌法,湿拌法参考于居龙等的拌种方法<sup>[1]</sup>,称取 44 kg 的水稻种子,放入网袋在清水中将稻种浸泡 48 h,沥干 12 h,平均分成 22 份种子(每份相当于 2 kg 干种子)置于一次性自封袋中,其中 1 份不做任何处理。氯虫苯甲酰胺 100% 推荐量/75% 推荐量/50% 推荐量 + 赤霉素/脱落酸/氨基酸/亚精胺/烯效唑/海藻酸钠 6 个试验处理:分别量取 20、15、10 g 的 20% 氯虫苯甲酰胺,加入 6 种生物刺激素各 10 mL 于自封袋中,再

加入红色着色剂。3 个对照处理则以清水代替生物刺激素。各个处理在添加完药剂和试剂后快速晃动自封袋至整个袋子中种子出现均匀红色,即种子与药液、试剂已充分混匀,平铺于纸上,阴干后播种。

### 1.4 田间试验方法

试验于镇江市农业科学院农业科技创新中心基地进行。各处理的稻种播种在 12 个硬质塑料育秧盘(60 cm × 30 cm × 3.5 cm)中,2021 年 6 月 7 日播种,6 月 20 日大田移栽。各处理均设置 3 个重复小区,每个重复小区的移栽面积大于 75 m<sup>2</sup>。用单泥埂将重复小区分开,用双泥埂将各处理隔开,各处理单独排灌,避免各处理之间的田水串流。各处理在播种后 30、60、80、110 d 取样,测定水稻植株中茎和叶组织中氯虫苯甲酰胺的残留量,并计算添加生物刺激素处理与未添加生物刺激素处理在水稻生长全周期中茎和叶组织中的氯虫苯甲酰胺残留量的变化量。茎和叶组织中氯虫苯甲酰胺的残留量变化率公式如下:

茎和叶组织中氯虫苯甲酰胺残留量的变化率 =  $\frac{C_1 - C_2}{C_2} \times 100\%$ 。

式中: C<sub>1</sub> 为(100%、75%、50% 推荐量 + 生物刺激素)氯虫苯甲酰胺残留量,mg/kg; C<sub>2</sub> 为(100%/75%/50% 推荐量)氯虫苯甲酰胺残留量,mg/kg。

### 1.5 氯虫苯甲酰胺 LC-MS/MS 分析检测方法

1.5.1 仪器方法 液相色谱条件:色谱柱为 Kinetex F5 色谱柱(100 mm × 3.0 mm, 2.6 μm),进样体积 2 μL,柱温保持 40 ℃;流动相为 0.1% 甲酸水溶液(A)和乙腈(B),流速为 0.3 mL/min,梯度洗脱程序:0 ~ 1.0 min,20% B;1.0 ~ 2.0 min,20% B;2.0 ~ 3.0 min,85% B;3.0 ~ 4.0 min,100% B;4.0 ~ 5.0 min,100% B;5.0 ~ 6.0 min,20% B;6.0 ~ 7.0 min,20% B。

质谱条件:电喷雾离子源 ESI,正离子模式,雾化气(N<sub>2</sub>)、辅助气(N<sub>2</sub>)为 55 psi,离子源温度为 550 ℃,电喷雾电压为 5.50 kV,定量定性离子对为 484.0/453.0 (m/z)。

1.5.2 试验方法 样本预处理:五点取样法每个处理取一定数量的水稻,取样后地上部分茎和叶组织分开处理,干冰研磨机研磨之后每个处理称取 1 g 样品,重复 4 次,加入乙腈 5 mL 提取,用移液枪移取 1 mL 上清液于加有无水 MgSO<sub>4</sub>(0.15 g)、C<sub>18</sub>(0.025 g)和 PSA(0.025 g)的 2 mL 离心管中,涡旋

混匀 30 s,8 000 r/min 离心 2 min,过 0.22 μm 滤膜,待 LC-MS/MS 测定。

1.5.3 标准曲线制作 用电子天平准确称取 0.01 g 的氯虫苯甲酰胺标准品于 10 mL 容量瓶中,用乙腈溶解配制成质量浓度为 1 000 mg/L 的标准液。以空白水稻的茎、叶提取液为基质液,用系列稀释法将 1 000 mg/L 标准液稀释至所需的质量浓度(0.001、0.005、0.01、0.05、0.1、0.5、1 mg/L),以质量浓度对峰面积作图,即得基质匹配标准溶液。

1.5.4 添加回收率的测定 分别称取茎空白样品 1 g、叶空白样品 1 g,茎、叶分别配制 0.05、0.1、1 mg/L 3 个添加水平,重复 3 次,按照“1.5.2”节的提取方法处理之后,用 LC-MS/MS 进行测定,计算添加回收率。

表 1 氯虫苯甲酰胺在各基质的添加回收率

基质	添加浓度 (μg/L)	平均回收率 (%)	相对标准偏差 (%)	线性范围 (μg/L)	线性方程	相关系数 ( $r^2$ )
茎	50	86	1.0	1~1 000	$y=16\ 431x+397$	0.997
	500	94	0.6			
	1 000	97	4.4			
叶	50	83	0.3	1~1 000	$y=17\ 112x+849$	0.996
	500	94	0.4			
	1 000	97	1.8			

2.3 各处理水稻茎组织中氯虫苯甲酰胺的残留量  
播种后 30、60、80、110 d,对水稻植株的茎进行取样,并测定氯虫苯甲酰胺的残留量,具体如图 1 所示。可以看出,随着播后时间增加,茎组织中氯虫苯甲酰胺残留量呈现下降趋势。6 种生物刺激素与氯虫苯甲酰胺 100% 推荐量混合拌种后,水稻茎组织中的氯虫苯甲酰胺残留量在水稻的整个生育期比对照多的是添加了赤霉素、氨基酸的处理;与氯虫苯甲酰胺 75% 推荐量混合拌种后,水稻茎组织中的氯虫苯甲酰胺残留量在水稻的整个生育期比对照多的是添加了赤霉素、氨基酸、亚精胺的处理;与氯虫苯甲酰胺 50% 推荐量混合拌种后,水稻茎组织中的氯虫苯甲酰胺残留量在水稻的整个生育期比对照多的是添加了赤霉素、氨基酸、亚精胺、烯效唑的处理。

2.4 各处理水稻叶组织中氯虫苯甲酰胺的残留量  
播种后 30、60、80、110 d,对水稻植株的叶进行取样,并测定氯虫苯甲酰胺的残留量(图 2)。可以看出,随着播后时间增加,水稻植株叶组织中氯虫苯甲酰胺的残留量总体呈下降趋势。6 种生物刺激

利用 Microsoft Excel 2010 与 Gradpaph Prism 进行数据处理,所有数据处理均未经转换。

2 结果与分析

2.1 线性范围

从表 1 可以看出,在 0.001~1 mg/L 范围内,氯虫苯甲酰胺的浓度与仪器响应呈良好线性, $r^2\geq 0.996$ 。

2.2 准确度和精密度

从表 1 可以看出,在水稻茎和叶基质中添加不同质量浓度的氯虫苯甲酰胺,平均回收率范围为 83%~97%,相对标准偏差(RSD)为 0.3%~4.4%。实验回收率和相对标准偏差符合农药残留分析的要求。

素与氯虫苯甲酰胺 100% 推荐量混合拌种后,水稻叶组织中的氯虫苯甲酰胺残留量在水稻大部分生育期比对照多的是添加了赤霉素、氨基酸、海藻酸钠的处理;与氯虫苯甲酰胺 75% 推荐量混合拌种后,水稻叶组织中的氯虫苯甲酰胺残留量在水稻大部分生育期比对照多的是添加了赤霉素、氨基酸的处理;与氯虫苯甲酰胺 50% 推荐量混合拌种后,水稻叶组织中的氯虫苯甲酰胺残留量在水稻大部分生育期比对照多的是添加了赤霉素、氨基酸的处理。

2.5 各处理水稻茎和叶组织中氯虫苯甲酰胺残留量的变化率

表 2 为 6 种生物刺激素分别与氯虫苯甲酰胺 100% 推荐量、75% 推荐量、50% 推荐量混合拌种后在水稻的生育期 110 d 内茎和叶组织中氯虫苯甲酰胺残留量的变化率。赤霉素、脱落酸、氨基酸、亚精胺、烯效唑、海藻酸钠与氯虫苯甲酰胺 100% 推荐量混合拌种后水稻茎中氯虫苯甲酰胺残留量比对照分别增加了 86%、18%、48%、7%、19%、35%,叶中氯虫苯甲酰胺残留量比对照分别增加了 58%、9%、12%、-46%、-37%、33%;与氯虫苯甲酰胺 75%

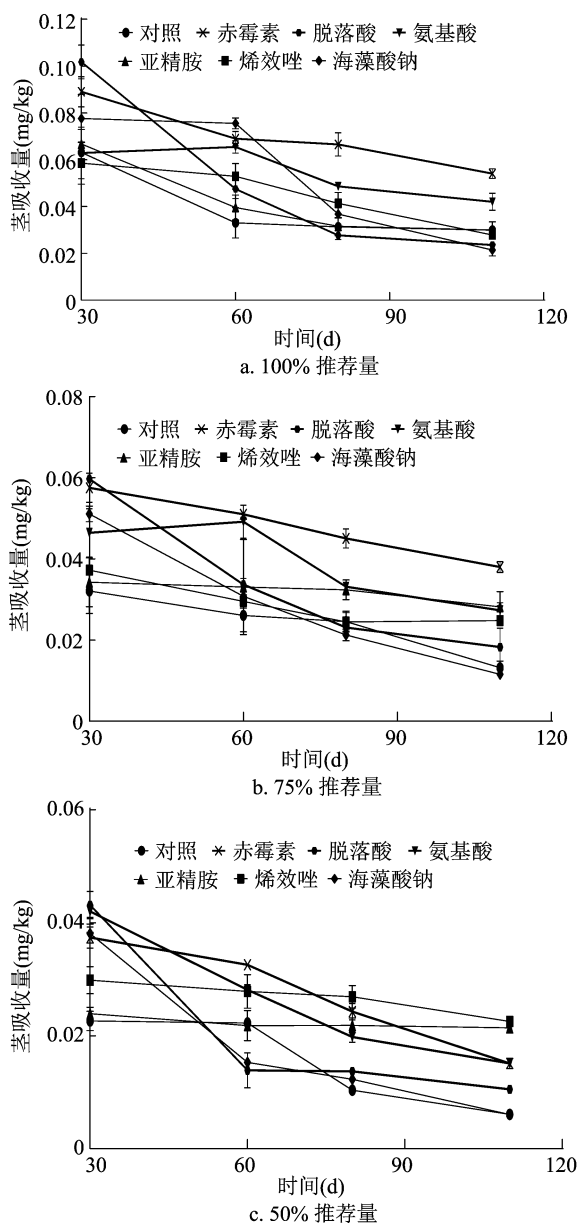


图1 各处理 30~110 d 茎组织中氯虫苯甲酰胺残留量

推荐量混合拌种后水稻茎中氯虫苯甲酰胺残留量比对照分别增加了 112%、37%、69%、45%、29%、13%，叶中氯虫苯甲酰胺残留量比对照分别增加了 8%、21%、34%、-36%、-7%、-5%；与氯虫苯甲酰胺 50% 推荐量混合拌种后水稻茎中氯虫苯甲酰胺残留量比对照分别约增加了 98%、39%、88%、91%、121%、14%，叶中氯虫苯甲酰胺残留量比对照分别增加了 52%、17%、23%、-26%、-3%、-7%。

因此,6 种生物刺激素分别与 100% 推荐量、75% 推荐量、50% 推荐量混合拌种后,赤霉素和氨基酸在水稻大多数生育期都能够增加水稻茎和叶组

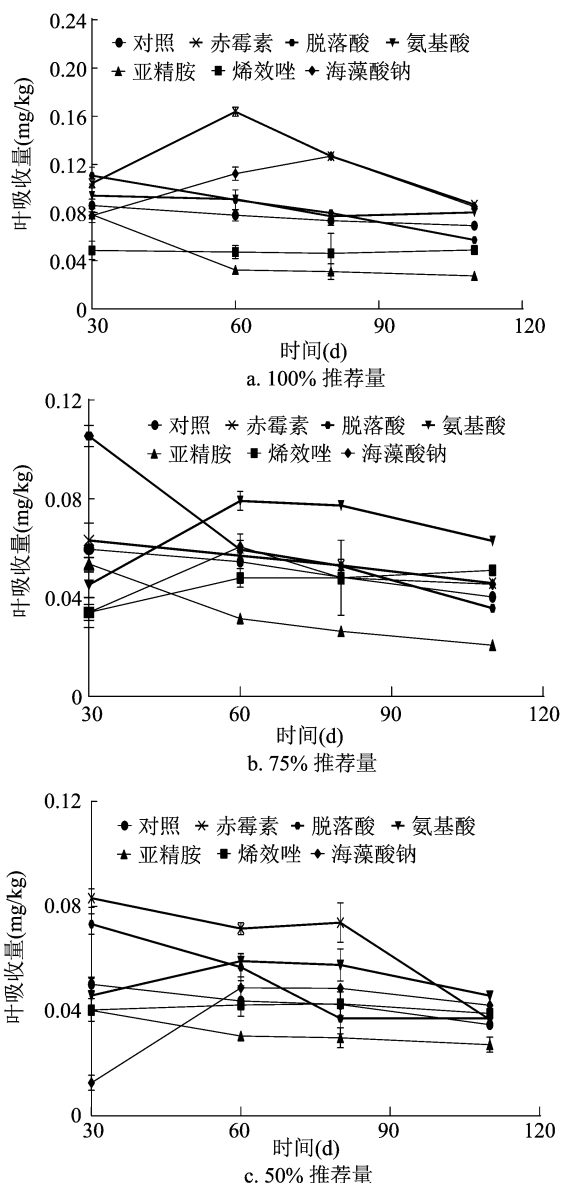


图2 各处理 30~110 d 叶组织中氯虫苯甲酰胺的残留量

织中氯虫苯甲酰胺的残留量,分别添加赤霉素和氨基酸后,100%、75%、50% 推荐量下,水稻茎中氯虫苯甲酰胺的残留量分别增加了 86%、112%、98% 和 48%、69%、88%；叶中氯虫苯甲酰胺的残留量分别增加了 58%、8%、52% 和 12%、34%、23%。脱落酸、亚精胺、烯效唑和海藻酸钠多数在前期(30 ~ 60 d)有少量增加茎或叶中氯虫苯甲酰胺的残留量,但在后期(80 ~ 110 d)茎或叶中氯虫苯甲酰胺的残留量基本没有增加或者是比对照少。

### 3 讨论

药剂处理水稻种子是一种经济、有效、省工省力的方式,可以达到长效、可持续绿色防控害虫的

表 2 6 种生物刺激素对水稻不同生育期氯虫苯甲酰胺残留量的变化率

农药使用剂量	生物刺激素	残留量变化率(%)									
		30 d		60 d		80 d		110 d		30 ~ 110 d 平均	
		茎	叶	茎	叶	茎	叶	茎	叶	茎	叶
100% 推荐量	赤霉素	41.02	21.47	108.62	110.55	112.39	73.02	80.70	25.29	86	58
	脱落酸	61.11	28.86	43.67	16.38	-11.49	8.71	-21.20	-17.22	18	9
	氨基酸	-0.42	9.52	97.85	17.27	55.13	4.93	40.42	15.98	48	12
	亚精胺	5.68	-8.83	19.61	-58.42	0.83	-57.74	0.18	-60.35	7	-46
	烯效唑	-7.28	-43.47	60.03	-39.16	31.91	-37.11	-6.94	-29.18	19	-37
	海藻酸钠	22.92	-9.83	128.32	44.39	17.44	73.07	-28.33	22.81	35	33
75% 推荐量	赤霉素	79.40	5.97	95.66	4.43	83.40	9.80	187.93	13.76	112	8
	脱落酸	86.17	76.96	29.29	9.10	-6.05	9.35	38.58	-11.45	37	21
	氨基酸	44.72	-24.11	88.65	45.20	34.94	60.12	107.11	56.27	69	34
	亚精胺	6.83	-9.85	26.87	-42.20	31.85	-45.39	113.41	-48.46	45	-36
	烯效唑	16.02	-42.92	13.35	-12.04	-0.28	-0.54	87.92	26.67	29	-7
	海藻酸钠	59.31	-42.89	18.07	11.22	-13.51	-0.54	-12.48	12.67	13	-5
50% 推荐量	赤霉素	65.23	65.55	46.33	63.06	133.62	73.41	147.85	5.54	98	52
	脱落酸	90.66	45.83	-37.55	29.51	32.05	-12.58	72.43	7.00	39	17
	氨基酸	85.63	-8.41	26.46	34.74	90.55	35.53	147.88	31.65	88	23
	亚精胺	5.65	-19.81	-2.02	-30.54	110.29	-29.95	250.97	-21.93	91	-26
	烯效唑	31.91	-19.48	25.15	-3.37	159.01	0.61	269.68	12.13	121	-3
	海藻酸钠	68.43	-74.83	-31.23	11.57	18.49	14.44	-0.38	21.16	14	-7

效果<sup>[25]</sup>。近年来,稻纵卷叶螟严重危害水稻的生产<sup>[1,26-27]</sup>。目前,使用氯虫苯甲酰胺对水稻种子进行处理可有效防控稻纵卷叶螟。但是种子处理还存在农药利用率低的问题,因此,本试验研究了 6 种生物刺激素(赤霉素、脱落酸、氨基酸、亚精胺、烯效唑、海藻酸钠)分别与氯虫苯甲酰胺 100% 推荐量、75% 推荐量和 50% 推荐量混合拌种后是否能够增强氯虫苯甲酰胺的药效试验。

本研究表明,6 种生物刺激素中,赤霉素和氨基酸分别与各推荐剂量的氯虫苯甲酰胺混合拌种后能够明显增加茎和叶组织中氯虫苯甲酰胺的残留量。添加赤霉素后,水稻茎中的氯虫苯甲酰胺残留量分别增加了 86%、112%、98%,叶中的氯虫苯甲酰胺残留量分别增加了 58%、8%、52%;添加氨基酸后,氯虫苯甲酰胺在水稻茎中的残留量增加了 48%、69%、88%,在叶中的残留量增加了 12%、34%、23%。

赤霉素是一种二萜类化合物和植物刺激素。赤霉素除了有促进种子萌发的作用,还具有刺激茎节间伸长的作用,其效果比生长素更为显著,但不改变节间数,节间长度增加的原因是赤霉素能够促进细胞伸长和细胞分裂<sup>[28]</sup>。杨富军等使用赤霉素

与氯虫苯甲酰胺混合对花生进行拌种,研究发现,添加赤霉素后可以增强对棉铃虫、蛱蝶和斜纹夜蛾 3 种主要花生虫害的防治效果,还可以提高花生的出苗率以及产量<sup>[22]</sup>。

另外赤霉素作为激素可以与很多基因的启动子结合调控基因的表达,Li 等研究发现,缺乏 AP2/ERF 家族基因 *SHOEBOX* 的水稻植株根分生组织严重变小,这些植物在发芽后根分生组织中的细胞较短,并且发现外源赤霉素的应用可以使 *SHOEBOX* 的野生型植物的根分生组织细胞的大小恢复正常<sup>[29]</sup>。Ragni 等研究发现,赤霉素可以直接刺激拟南芥下胚轴木质部扩张,从而增加下胚轴的水和溶质运输能力,推测赤霉素可以促进水稻木质部的扩张,从而促进了水稻转运的能力,从而增强水稻对氯虫苯甲酰胺的吸收<sup>[30]</sup>。Chiba 等研究发现,赤霉素的转运蛋白为 NRT1/PTR FAMILY (NPF) 蛋白,此蛋白最初被鉴定为硝酸盐或二/三肽转运蛋白,推测赤霉素激活了农药转运蛋白的表达,从而增强了水稻对氯虫苯甲酰胺的吸收<sup>[31]</sup>。

葛明惠等发现,在水稻幼苗期施用 5% 复合氨基酸增效剂可以显著增加水稻幼苗的株高、叶绿素含量(SPAD 值)、根系生长指标、地上部干质量和

氮、磷、钾累积吸收量<sup>[32]</sup>。曹小闯等使用氨基酸肥水溶液对水稻浸种,并在水稻的幼苗期、分蘖期、破口前进行叶面喷施,发现可以增加水稻营养器官氮素积累量以及叶片氮素向穗转运,有利于提高水稻对氮素的利用率。因此,推测氨基酸通过提高水稻的健康程度及增强植株抗逆境胁迫能力来提高对农药的吸收<sup>[33]</sup>。

#### 4 结论

结果表明,生物刺激素赤霉素和氨基酸分别与氯虫苯甲酰胺混合拌种处理后可以显著促进水稻对氯虫苯甲酰胺的吸收,从而达到提高防效的目的。因此在水稻种植中,可以将其与药剂混合进行种子处理,促进水稻吸收药剂,增加药剂的药效。此外,赤霉素和氨基酸促进水稻对氯虫苯甲酰胺吸收的机制有待进一步研究。

#### 参考文献:

- [1]于居龙,张国,赵来成,等. 机插水稻不同种子处理方式对稻纵卷叶螟的控制效果[J]. 作物杂志,2021(6):224-229.
- [2]陈博聪,杨军,赵庆雷,等. 喷雾参数对氯虫苯甲酰胺沉积及稻纵卷叶螟防效的影响[J]. 中国植保导刊,2021,41(12):57-60,72.
- [3]邓世峰,孙娟,王秀敏,等. 氯虫苯甲酰胺与叶面肥混喷对稻纵卷叶螟防治效果的影响[J]. 中国农技推广,2021,37(10):70-71.
- [4]李宽. 20% 氯虫苯甲酰胺悬浮剂对水稻二化螟的防效研究[J]. 现代农业科技,2020(21):129-130.
- [5]汪芳. 0.4% 氯虫苯甲酰胺颗粒剂防治水稻二化螟田间药效试验[J]. 安徽农学通报(上半月刊),2012,18(9):108.
- [6]吴玉娥. 氯虫苯甲酰胺在水稻上的残留分析和消解动态研究[D]. 贵阳:贵州大学,2017.
- [7]万利,周海亮,马学林,等. 50% 氯虫苯甲酰胺种子处理悬浮剂防治水稻二化螟示范[J]. 湖北植保,2021(4):38-39.
- [8]于居龙,张国,缪康,等. 种子处理防治稻纵卷叶螟药剂筛选及效果[J]. 植物保护,2020,46(1):270-275,288.
- [9]于居龙,张国,缪康,等. 氯虫苯甲酰胺拌种对稻纵卷叶螟的防治效果及安全性评价[J]. 农药学报,2019,21(3):300-308.
- [10]段劭生,王梅,董旭,等. 氯虫苯甲酰胺在水稻及稻田环境中的残留动态[J]. 植物保护,2016,42(1):93-98.
- [11]李金鹏. 一种安全、高效水稻种衣剂的研制[D]. 合肥:安徽农业大学,2019.
- [12]陈永快,王涛,廖水兰,等. 逆境及生长调节剂对作物抗逆性的影响综述[J]. 江苏农业科学,2019,47(23):68-72.
- [13]庞士铨. 赤霉素浸种对促进种子萌发和幼苗生长的作用[J]. 东北农学院学报,1978,9(3):48-56.
- [14]王兴才,李福广,杨永光. 植物激素作用机理与应用:第四讲 赤霉素与细胞分裂素[J]. 河南农林科技,1980,9(6):39-40,33.
- [15]陈文瑞,张武军. 脱落酸浸种对水稻秧苗素质的影响[J]. 四川农业大学学报,2000,18(2):131-133.
- [16]张翔,项超,刘金师,等. 脱落酸对水稻种子萌发的影响[J]. 安徽农业科学,2015,43(35):73-74,120.
- [17]杨安中,许俊芝. 亚精胺浸种对水稻种子萌发及秧苗生长的影响[J]. 安徽技术师范学院学报,2002,16(1):39-42.
- [18]孔祥森,纪伟波,方淑梅,等. 烯效唑浸种对水稻幼苗部分生理生化指标的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2008,20(3):5-7.
- [19]王熹,俞美玉,陶龙兴. 烯效唑对稻苗的生理影响[J]. 中国水稻科学,1994,8(1):15-20.
- [20]姚雄,任万军,杨文钰,等. 烯效唑对水稻种子萌发及秧苗生长的影响[J]. 作物杂志,2008(1):75-78.
- [21]张运红,孙克刚,杜君,等. 海藻酸钠寡糖提高水稻幼苗对镉胁迫的抗性[J]. 中国土壤与肥料,2017(4):140-146.
- [22]杨富军,曲明静,李晓,等. 赤霉素与氯虫苯甲酰胺混配对几种花生害虫的防效评价[J]. 花生学报,2016,45(4):50-54.
- [23]李小艳,许珏,李桂俊,等. 赤霉素对草甘膦的增效作用及其作用机制[J]. 南京农业大学学报,2013,36(3):36-40.
- [24]彭俊,宋志龙,孟新刚,等. 除草剂与植物生长调节剂混用对藜草生理生化的影响[J]. 农药,2013,52(7):519-524.
- [25]杨红福,姚克兵,束兆林,等. 噻吩酰胺处理种子防治水稻纹枯病试验研究[J]. 江苏农业科学,2020,48(5):107-109,116.
- [26]曾娟,张涛,王立颖,等. 食诱剂监测稻纵卷叶螟种群动态初报[J]. 植物保护,2021,47(4):203-214.
- [27]许卿,邓云,苏妍,等. 南平市稻纵卷叶螟的发生特点及绿色防控措施[J]. 现代农业科技,2021(21):114-115,120.
- [28]王彦波,鲜开梅,张永华,等. 赤霉素的应用研究进展[J]. 北方园艺,2007(6):74-75.
- [29]Li J T,Zhao Y,Chu H W, et al. *SHOEBOX* modulates root meristem size in rice through dose-dependent effects of gibberellins on cell elongation and proliferation [J]. *PLoS Genetics*, 2015, 11(8):e1005464.
- [30]Ragni L, Nieminen K, Pacheco-Villalobos D, et al. Mobile gibberellin directly stimulates *Arabidopsis* hypocotyl xylem expansion [J]. *The Plant Cell*, 2011, 23(4):1322-1336.
- [31]Chiba Y, Shimizu T, Miyakawa S, et al. Identification of *Arabidopsis thaliana* NRT1/PTR FAMILY (NPF) proteins capable of transporting plant hormones [J]. *Journal of Plant Research*, 2015, 128(4):679-686.
- [32]葛明慧,章力干,齐永波,等. 复合氨基酸增效剂与尿素配施对水稻幼苗生长及土壤氮素的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2020(6):122-129.
- [33]曹小闯,李焯锋,吴龙龙,等. 氨基酸水溶肥施用模式对水稻氮素吸收和转运的影响[J]. 江苏农业学报,2020,36(4):888-895.