

# 没食子酸对水稻细菌性条斑病防治作用的持效期

魏昌英<sup>#</sup>, 李凤芳<sup>#</sup>, 莫映熙, 袁高庆, 林 纬, 黎起秦<sup>\*</sup>

(广西大学农学院, 南宁 530004)

**摘要** 利用高效液相色谱法(HPLC)检测没食子酸(gallic acid, 简称 GA)在水稻叶片上的残留时间,并在检测水稻叶片上残留量的同时接种病原菌,调查接种后水稻细菌性条斑病的发病情况,以确定 GA 在水稻叶片上对水稻细菌性条斑病防治作用的持效期。研究表明,GA 不具有内渗作用,只残留在水稻叶片的表面。分别用 100、200 和 400 mg/L 的浓度处理叶片后,GA 在叶片表面的残留时间分别为 16、24 和 28 d。200 mg/L 浓度处理叶片后,GA 对水稻细菌性条斑病防治作用的持效期为 16 d。研究结果可为有效使用 GA 防治水稻细菌性条斑病奠定基础。

**关键词** 没食子酸; 残留; 防治效果; 持效期

**中图分类号:** S 435.111 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2018120

## Persistence of gallic acid on bacterial leaf streak of rice

WEI Changying, LI Fengfang, MO Yingxi, YUAN Gaoqing, LIN Wei, LI Qiqin

(College of Agriculture, Guangxi University, Nanning 530004, China)

**Abstract** In order to evaluate the persistence of gallic acid (GA) on bacterial leaf streak of rice, high performance liquid chromatography was used to test the residue of GA in the rice leaf, and the pathogens was inoculated to evaluate the persistence of GA on bacterial leaf streak of rice. The results showed that GA could not infiltrate into rice leaf, but could reside on the surface of the leaf. The residue persistence of GA on the leaf at the concentrations of 100 mg/L, 200 mg/L and 400 mg/L was 16 d, 24 d and 28 d, respectively. The persistence of GA on bacterial leaf streak of rice at the concentration of 200 mg/L was 16 d. The results provided a theoretical basis for the efficient application of GA for the control of bacterial leaf streak of rice.

**Key words** gallic acid; residue; control efficacy; persistent period

水稻细菌性条斑病(bacterial leaf streak of rice)是由水稻黄单胞菌栖稻致病变种 *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzicola* (Fang et al.) Swings et al. 侵染引起的一种水稻病害,是我国检疫性植物病害之一<sup>[1]</sup>,在热带和亚热带稻作区广泛发生,可引起水稻减产 15%~25%,严重时可达 40%~60%。近几年由于大面积种植水稻感病品种,且检疫措施不严格,致使该病害的危害日趋严重。水稻细菌性条斑病的防治主要采取加强检疫、选用抗病品种、科学栽培管理和辅助使用化学农药等综合防治措施<sup>[2]</sup>。目前,可用于防治该病害的化学药剂种类少,水稻生产急需提供有效防治该病害的新药剂。

没食子酸(gallic acid, 简称 GA)又名五倍子酸或鞣酸,以游离状态存在于芍药 *Paeonia lactiflora*

Pall.、茶条槭 *Acer ginnala* Maxim. 和山葡萄 *Vitis amurensis* Rupr. 等植物中<sup>[3-4]</sup>,或组成鞣质存在于五倍子 *Rhus chinensis* Mill.、没食子 *Quercus infectoria* Olivier 和塔拉 *Caesalpinia spinosa* Kuntze 等植物中<sup>[5]</sup>,是植物体内的一类次生代谢产物,属于低毒物质。GA 具有良好的抗氧化<sup>[6]</sup>、抗肿瘤<sup>[7-8]</sup>和抑菌作用<sup>[9-13]</sup>,不仅广泛应用于有机合成、矿产、制革、食品和医药等方面<sup>[14]</sup>,而且可应用于防治作物病害,李锐等发现没食子酸烷基酯类化合物对番茄青枯病具有一定防治效果<sup>[15]</sup>。

一种农药在作物植株上对植物病害防治作用的持效期,可作为推荐该农药使用剂量和喷洒次数的依据。乔桂双等发现,在使用剂量为 200  $\mu\text{g/g}$  时,20%唑胺菌酯 EC 和 20%唑菌酯 SC 用药 10 d 后

收稿日期: 2018-03-19 修订日期: 2018-09-05

基金项目: 广西自然科学基金(2014GXNSFAA118073)

\* 通信作者 E-mail: qq15806@gxu.edu.cn

# 为并列第一作者

对黄瓜霜霉病菌的防效在 70% 以上, 14 d 后的防效显著降低, 仅在 40% 左右, 据此建议在黄瓜霜霉病发生前或之初喷施 20% 唑胺菌酯 EC 150 g/hm<sup>2</sup>、20% 唑菌酯 SC 150 g/hm<sup>2</sup>, 施药液量 900 L/hm<sup>2</sup>, 施药次数控制在 2~4 次, 间隔期 7~10 d<sup>[16]</sup>。笔者在前期研究中发现, GA 对水稻细菌性条斑病具有良好的防治效果, 但 GA 的持效期和使用方法目前还没有研究报道。本文在测定 GA 在水稻叶片上的作用方式、残留量和残留时间的基础上, 测定了 GA 对水稻细菌性条斑病防治作用的持效期, 为有效使用 GA 防治水稻细菌性条斑病奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

#### 1.1.1 供试材料

试验采用的水稻品种为‘玉丝占’, 广西博士园种业有限公司提供; 试验菌株为水稻细菌性条斑病菌菌株 Xoc XD1109, 广西大学植物病理学研究室提供。

#### 1.1.2 试验仪器

RF52CS 旋转蒸发器, 上海亚荣生化仪器厂; UV-1800 岛津紫外可见分光光度计、NSKY-200B 恒温培养振荡器, 上海苏坤实业有限公司; LC-20A 岛津高效液相色谱仪、RF-5301PC 岛津荧光分光光度计, 日本岛津公司。

#### 1.1.3 试验药剂

GA, 分析纯, 天津市科密欧化学试剂开发中心; 甲醇、乙酸乙酯、正己烷等, 分析纯, 均为市售; 试验用水均为去离子水。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 水稻的种植及 GA 的喷施

将三叶期的水稻植株移栽至装满稻田泥土的花盆中, 每盆 3 穴, 呈三角形分布, 每穴 5~6 株, 置于 30~35℃ 的温室中, 待水稻植株进入分蘖期, 分别用浓度为 400、200 和 100 mg/L 的 GA 水溶液按 9 mL/株的量均匀喷洒到完全展开的健康叶片中。以喷施清水为空白对照, 每处理 10 盆水稻, 3 次重复。水稻按常规管理, 不施用任何化学药剂。

#### 1.2.2 高效液相色谱(HPLC)检测方法

##### 1.2.2.1 色谱分析条件

色谱柱: ODS C<sub>18</sub> 分析柱 (250 mm × 4.6 mm, 5 μm, 日本岛津公司生产); 柱温: 25℃; 流动相: 甲醇 0.1% 磷酸溶液 (9:91); 流速: 1.0 mL/min; 进样

量: 10 μL; 检测波长: 271 nm。

##### 1.2.2.2 标准曲线绘制

准确称取 GA 4.167 mg, 置于 100 mL 的容量瓶中, 加入 4.175 mL 10% 甲醇溶液将其溶解, 定容配制成 GA (40 μg/mL) 储备液, 逐级稀释梯度 1.25、2.5、5.0、10.0 和 20.0 μg/mL, 按 1.2.2.1 的条件用 LC-20A 岛津高效液相色谱仪进行 HPLC 分析, 每一浓度 3 次重复, 以 GA 的色谱峰面积为纵坐标, 以浓度为横坐标绘制标准曲线, 建立回归方程。

##### 1.2.3 GA 在水稻叶片上的内渗作用测定

喷施 GA 后的 0、3、6 和 9 d, 分别采集水稻叶片, 以喷施清水的叶片为空白对照, 每一处理 3 次重复。

叶表面 GA 的回收: 准确称取 2 g 水稻叶片, 用 100 mL 甲醇充分淋洗叶片表面, 使叶片表面的 GA 完全溶解于甲醇中。用旋转蒸发器于 60℃ 水浴中将甲醇蒸干, 残留物用 1 mL 甲醇进行抽提, 抽提液于 10 000 r/min 离心 10 min, 取上清液经 0.22 μm 过滤器过滤, 超声处理 20 min, 用 1.2.2 方法检测 GA 的含量。

叶组织 GA 的回收: 参考李青等<sup>[17]</sup>的方法, 将经甲醇充分淋洗后的叶片用清水冲洗 3 次, 去掉叶片表面的残留物, 晾干, 置于干净的研钵中研碎, 加入 20 mL 经 5℃ 预冷 20 min 的酸性甲醇溶液 (95% 甲醇: 1 mol/L HCl = 85:15) 浸提 1 h, 浸提液于 10 000 r/min 离心 10 min, 上清液用 6 mol/L HCl 调节至 pH 小于 3, 用正己烷萃取脱脂, 再用乙酸乙酯萃取 3 次, 合并萃取相, 用旋转蒸发器于 60℃ 水浴中将其蒸干, 残留物用 1 mL 甲醇抽提, 取上清液经 0.22 μm 过滤器过滤, 超声波处理 20 min, 用 1.2.2 方法检测 GA 的含量。

##### 1.2.4 添加回收率测定

剪取水稻叶片, 称重, 分别用 40、60 和 80 μg/g 的 GA 喷施在待测叶片表面, 喷施 GA 后立即按 1.2.3 的方法回收叶表面的 GA, 按 1.2.2.1 的条件进行 HPLC 检测, 每一浓度进行 5 次平行试验, 计算平均回收率和变异系数, 以确定该方法是否符合农药残留定量分析的要求。

##### 1.2.5 GA 的残留量及残留时间测定

按 1.2.1 方法喷施 GA 后, 每隔 4 d 剪取种植的水稻叶片, 称取重量, 按 1.2.3 方法回收叶片中的 GA, 按 1.2.2 方法进行 HPLC 分析, 根据峰面积用

回归方程计算甲醇溶液中 GA 的含量,直到检测不到 GA 为止。每次试验检测 2 g 叶片,喷施清水的叶片为空白对照,每一处理 3 次重复。

### 1.3 GA 对水稻细菌性条斑病防治作用的持效期测定

参照 1.2.1 方法喷施浓度为 200 mg/L 的 GA 后,每隔 4 d 剪取部分叶片用于检测叶片表面 GA 的残留量,其余的叶片接种水稻细菌性条斑病菌,接种方法是先用竹片轻拨叶片,给叶片造成微伤口,然后将浓度为  $10^8$  cfu/mL 的菌液均匀喷洒于水稻叶片的正反面,以喷施清水为空白对照,每处理 10 盆水稻,3 次重复。接种 10 d 后观察对照组与处理组水稻叶片的发病情况,以确定 GA 在水稻叶片上对水稻细菌性条斑病防治作用的持效期。

病害分级标准、病情指数的计算均参照国家标准《GB/T 17980.105-2004 农药田间药效试验准则(二)第 105 部分:杀菌剂防治水稻细菌性条斑病》。

### 1.4 数据统计及分析

使用 DPS V8.01 软件进行数据分析及显著性检验,多重比较采用 Duncan 氏新复极差法。

## 2 结果与分析

### 2.1 GA 样品高效液相色谱标准曲线

GA 样品高效液相色谱图见图 1。从图中可以看出,在检测波长为 271 nm 时,GA 的保留时间为 11.298 min。浓度分别为 1.25、2.5、5.0、10.0 和 20.0  $\mu\text{g/mL}$  的 GA 标准溶液,经 HPLC 分析后,以色谱峰面积和浓度绘制标准曲线(图 2),得到回归方程为  $y = 16\,276x + 5\,682.1$ ,相关系数  $r = 0.999\,8$ 。可见在 1.25~20  $\mu\text{g/mL}$  范围内响应峰面积与药物浓度呈良好的线性关系。

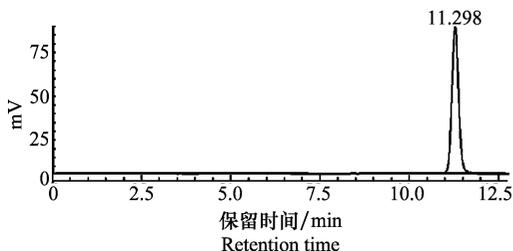


图 1 GA 样品高效液相色谱分析图  
Fig. 1 HPLC chromatogram of GA

### 2.2 GA 在水稻叶片上的内渗作用

水稻叶片喷施 GA 后的 0、3、6 和 9 d,分别回收叶表面和叶组织内的 GA,并对回收物进行 HPLC

分析。试验结果表明,从喷洒 GA 的水稻叶表面的回收物中能检测到 GA,而对照水稻叶表面的回收物没有出现色谱峰,说明对照叶表面没有 GA 存在(图 3)。将 GA 处理和对照的叶组织回收物经 HPLC 分析,均能检测到 GA 的色谱峰(图 4),说明在叶组织中含有 GA。

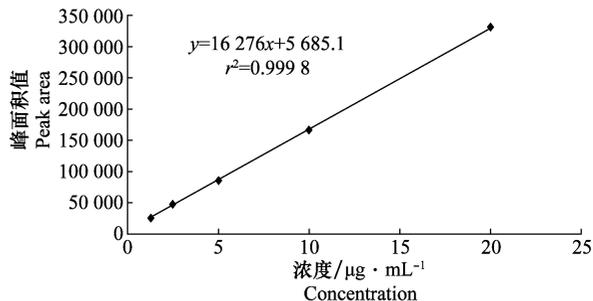


图 2 GA 标准曲线

Fig. 2 Standard curve of GA

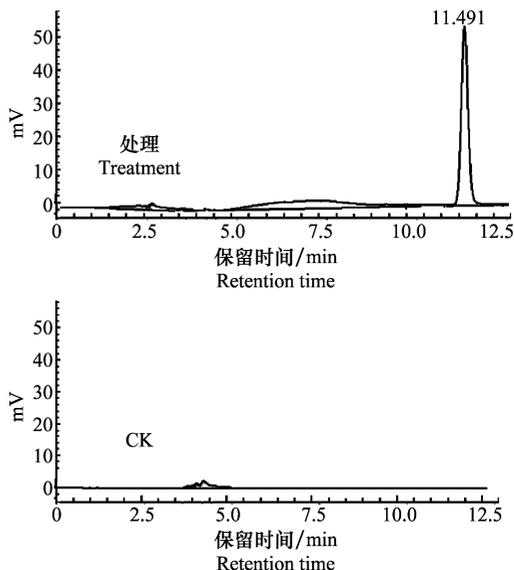


图 3 施药后第 6 天水稻叶表面回收物的高效液相色谱分析图

Fig. 3 HPLC chromatography of the collected substances from the rice leaf surface 6 d after application of GA

GA 处理水稻叶片后的第 6 天,浓度为 100、200 和 400 mg/L 的 GA 处理的叶表面,其残留量分别为 47.5、103.1 和 228.3  $\mu\text{g/g}$ ,CK 组未检测到 GA(表 1);浓度为 100、200 和 400 mg/L 的 GA 处理和对照叶组织中的残留量分别为 12.6、11.3、12.5 和 12.5  $\mu\text{g/g}$ ,各处理与对照组的 GA 含量相比未达差异显著水平(表 2),说明叶组织里的 GA 是植株自身所有,并非由叶表面渗入叶的组织。因此 GA 在水稻叶片上不具有内渗作用,只残留在叶表面,通过保护作用防治植物病害。

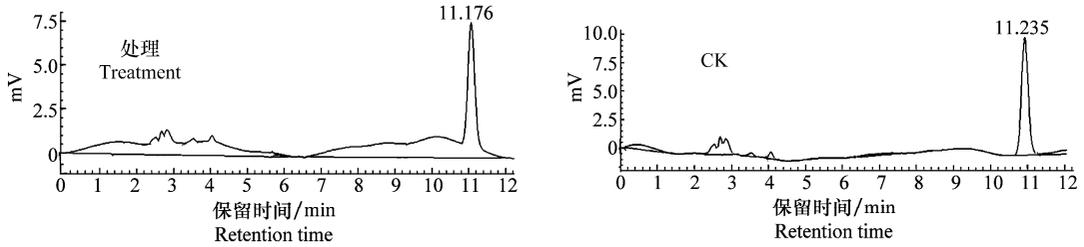


图 4 施药后第 6 天水稻叶组织回收物的高效液相色谱分析图

Fig. 4 HPLC chromatography of the collected substances from the rice leaf tissue 6 d after application of GA

表 1 GA 在水稻叶片表面的残留量变化<sup>1)</sup>

Table 1 Residual concentration of GA on the surface of rice leaves

时间/d Time	残留量/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ Residual concentration			CK
	400 mg/L	200 mg/L	100 mg/L	
0	(317.8±7.83)a	(134.1±5.06)a	(72.0±4.31)a	—
3	(262.5±5.91)b	(125.4±4.78)b	(59.6±3.12)b	—
6	(228.3±4.70)c	(103.1±5.17)c	(47.5±2.63)c	—
9	(169.9±4.11)d	(85.8±3.44)d	(32.1±3.06)d	—

1) 表中各列小写字母代表数据在 5% 水平上的差异显著性。下同。  
The lowercase letters within the same column indicate significant difference at 5% level (Duncan's test). The same below.

### 2.3 GA 的残留量及残留天数

水稻叶片喷施 GA 后,每隔 4 d 采样,用 HPLC 法测定水稻叶片表面的 GA 残留量变化动态,以确定

其残留时间,结果如表 3 所示。随着药后时间的延长,各处理中 GA 残留量均呈下降趋势。100 mg/L 的 GA 处理的叶片,在处理后的第 16 天检测到的 GA 残留量为 9.9  $\mu\text{g}/\text{g}$ ,处理后的第 20 天 GA 残留量下降至 0  $\mu\text{g}/\text{g}$ 。200 mg/L 的 GA 处理的叶片,在处理后的第 24 天检测到的 GA 残留量为 6.4  $\mu\text{g}/\text{g}$ ,处理后的第 28 天 GA 的残留量降为 0  $\mu\text{g}/\text{g}$ 。400 mg/L 的 GA 处理的叶片,在处理后的第 28 天检测到的 GA 残留量为 20.7  $\mu\text{g}/\text{g}$ ,处理后的第 32 天时 GA 的残留量降为 0  $\mu\text{g}/\text{g}$ 。结果表明,不同浓度 GA 处理的叶片,GA 的残留时间有所不同。浓度为 100 mg/L 处理的叶片,GA 的残留时间为 16 d;浓度为 200 mg/L 处理的叶片,GA 的残留时间为 24 d;浓度为 400 mg/L 处理的叶片,GA 的残留时间为 28 d。

表 2 GA 在水稻叶组织中的残留量变化

Table 2 Residual concentrations of GA in the tissues of rice leaves

时间/d Time	残留量/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ Residual concentration			
	400 mg/L	200 mg/L	100 mg/L	CK
0	(13.1±1.05)a	(13.3±1.54)a	(12.3±2.72)a	(12.8±1.15)a
3	(14.7±1.27)a	(12.2±2.18)a	(14.8±1.13)a	(13.6±2.45)a
6	(12.5±3.12)a	(11.3±2.07)a	(12.6±3.10)a	(12.5±1.69)a
9	(13.4±2.60)a	(12.9±3.10)a	(13.6±2.84)a	(11.5±2.17)a

表 3 GA 的残留量变化动态

Table 3 Residual concentration dynamics of GA

时间/d Time	残留量/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ Residual concentration		
	400 mg/L	200 mg/L	100 mg/L
0	(317.8±7.83)a	(134.1±5.06)a	(72.0±2.31)a
4	(253.4±5.18)b	(120.5±4.20)b	(57.7±3.18)b
8	(188.9±4.73)c	(98.3±3.29)c	(42.3±1.26)c
12	(153.7±5.68)d	(72.6±3.21)d	(27.5±2.35)d
16	(107.8±3.30)e	(49.8±2.59)e	(9.9±2.44)e
20	(76.4±2.61)f	(27.5±2.36)f	0 f
24	(46.6±2.09)g	(6.4±1.22)g	0 f
28	(20.7±1.43)h	0 h	0 f
32	0 i	0 h	0 f

### 2.4 添加回收率测定

水稻叶片用不同浓度的 GA 处理,其平均回收率在 85.45%~88.09% 之间,变异系数为 3.9%~4.6%(表 4),符合农药残留定量分析所允许的范

围<sup>[18]</sup>,表明该测定方法准确可靠。

### 2.5 GA 对水稻细菌性条斑病防治作用的持效期

在喷施浓度为 200 mg/L 的 GA 后,每隔 4 d 检测 GA 在水稻叶片表面的残留量,同时通过接种病原菌观察水稻细菌性条斑病的发病情况,计算其病情指数,分析 GA 对水稻细菌性条斑病防治作用的持效期。喷施 GA 后的 0、4、8、12、16、20 和 24 d,CK 组的叶片表面未检测出 GA,病情指数分别为 47.22、45.15、47.04、45.42、47.71、46.25 和 44.96;处理组的叶片,随着施药时间的延长,GA 在叶片表面的残留量呈下降趋势,其对水稻细菌性条斑病的抑制能力也逐渐下降。施药后的第 4 天,GA 的残留量为 120.5  $\mu\text{g}/\text{g}$ ,水稻叶片的病情指数为 0,说明当 GA 的残留量等于或大于 120.5  $\mu\text{g}/\text{g}$  时,能完全抑制水稻细菌性条斑

病的发生;施药后 8~16 d,GA 的残留量在 98.3~49.8  $\mu\text{g/g}$  之间,叶片的病情指数介于 7.53 到 29.77 之间,均显著低于 CK 的病情指数,说明当 GA 的残留量在 98.3~49.8  $\mu\text{g/g}$  之间时能抑制水稻细菌性条斑病的病情扩展;施药后第 20 天,GA 的残留量为

27.5  $\mu\text{g/g}$ ,叶片的病情指数达 43.76,且与 CK 病情指数 46.25 无显著差异,说明当 GA 的残留量低于 27.5  $\mu\text{g/g}$  时,完全不能抑制水稻细菌性条斑病的病情扩展(图 5)。由此推测,在温室条件下,GA 对水稻细菌性条斑病防治作用的持效期为 16 d。

表 4 GA 在水稻叶上的添加回收率

Table 4 Fortified recovery of GA in rice leaves

加标浓度/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ Concentration of added standard	回收率/% Recovery		平均回收率/% Average recovery		变异系数/% Coefficient of variation	
20	88.53	80.49	90.10	86.26	81.85	3.9
40	84.31	90.03	86.22	86.51	82.27	2.7
60	85.90	87.55	94.52	83.38	89.11	4.6

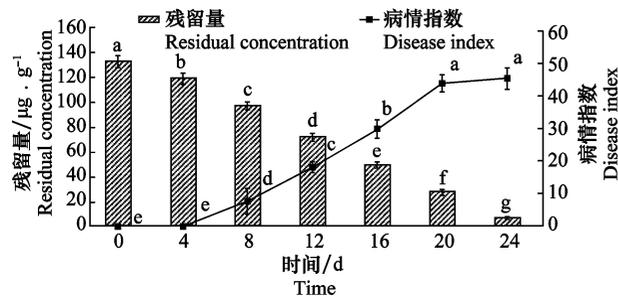


图 5 GA 对水稻细菌性条斑病防治作用的持效期

Fig. 5 Persistence of gallic acid on bacterial leaf streak of rice

### 3 结论与讨论

本研究将 GA 喷洒到水稻叶片表面后,经 HPLC 法检测叶片表面和叶片组织内的 GA 含量,结果发现,GA 不能通过叶表皮渗透到叶组织内,不具有内渗作用,其原因可能是 GA 的极性较大<sup>[5]</sup>,具有较强的亲水性,而叶片表面有一层角质层,是一种沉积于细胞壁外的脂类化合物,与 GA 的亲水性质相排斥,因此 GA 只能残留于叶片表面起保护作用,不能渗透到水稻植株体内进行传导防治。由于 GA 的强亲水性,容易被雨水冲刷,在施用时应适当添加黏着剂和乳化剂,以提高其黏附于植株叶面的能力。

水稻叶片喷施 GA 后,叶片表面的 GA 残留量随时间的推移而下降,200 mg/L 的 GA 处理的叶片,在处理后的第 24 天检测到的 GA 残留量为 6.4  $\mu\text{g/g}$ ,处理后的第 28 天 GA 的残留量降为 0  $\mu\text{g/g}$ 。不同浓度处理的叶片,GA 在叶片表面的残留天数也有所不同。浓度为 100 mg/L 处理的叶片,GA 的残留时间为 16 d;浓度为 200 mg/L 处理的叶片,GA 的残留时间为 24 d;浓度为 400 mg/L 处理的叶片,GA 的残留时间为 28 d。据报道,GA 具有较好的光稳定性和热稳定性<sup>[19-20]</sup>,所以 GA 残留量的下降可能与环境的温度和紫外线照射无关,而环

境中昼夜温差的变化,使水稻叶片表面在清晨产生露水,由于 GA 具有强亲水性,喷洒到叶片上的 GA 可能随着叶表面露水的滴落而流失。GA 残留量的下降是否还与生物降解有关,还需进一步研究。

本研究在温室条件下测定 GA 对水稻细菌性条斑病防治作用的持效期为 16 d,这与多种杀菌剂的持效期相近<sup>[21-24]</sup>。根据本研究的结果,用 GA 防治水稻细菌性条斑病,应在病害发生初期用药,使用剂量不低于 200 mg/L,连施 3 次,间隔期为 7~10 d。

### 参考文献

- [1] 沈幸盈,朴美花. 浅谈水稻细菌性条斑病危害及防治技术[J]. 科学技术创新,2017(27):191-192.
- [2] 黄华英,梁盛铭,陈梅珍,等. 水稻细菌性条斑病监测与综合防控技术规程[J]. 生物灾害科学,2017,40(1):58-60.
- [3] 邱亮. 茶条槭叶没食子酸提取分离工艺研究[D]. 吉首:吉首大学,2012.
- [4] XU Tanye, WANG Zhonghuan, LEI Tianli, et al. New flavonoid glycosides from *Sedum aizoon* L. [J]. Fitoterapia, 2015, 101: 125-132.
- [5] 汪莹莹. 没食子酸、并没食子酸的分离、性能及应用研究[D]. 合肥:安徽大学,2012.
- [6] 代斌. 五倍子提取物的体外抗氧化作用研究[D]. 西安:陕西师范大学,2009.
- [7] CHIA Y C, RAJBANSHI R, CALHOUN C, et al. Anti-neoplastic effects of gallic acid, a major component of *Toona sinensis* leaf extract, on oral squamous carcinoma cells [J]. Molecules, 2010, 15(11): 8377-8389.
- [8] LIANG Wenna, LI Xihai, LI Yachan, et al. Gallic acid induces apoptosis and inhibits cell migration by upregulating miR-518b in SW1353 human chondrosarcoma cells [J]. International Journal of Oncology, 2014, 44(1): 91-98.
- [9] LI Dan, LIU Zuoja, YUAN Ye, et al. Green synthesis of gallic acid-coated silver nanoparticles with high antimicrobial activity and low cytotoxicity to normal cells [J]. Process Biochemistry, 2015, 50(3): 357-366.

指数变动相对较小或滞后。

农田啮齿动物的多样性受到多因素影响,是气候、海拔、纬度、生境变化、种植结构调整、种间和种内竞争与互利、人为干扰等因素共同作用的结果<sup>[19-20]</sup>,因此,掌握各种因子对啮齿动物多样性的影响,确定山西省农田啮齿动物多样性的变动规律,是一个长期而复杂的过程,需要我们更为细致和深入的研究。

### 参考文献

[1] KOLTER B P, BROWN J S, WILLIAM A, et al. The role of predation in shaping the behavior, morphology and community organization of desert rodents [J]. Australian Journal of Zoology, 1994, 42: 449 - 466.

[2] BROWN J H. Species diversity of seed-eating desert rodents in sand dune habitats [J]. Ecology, 1973, 54(4): 775 - 787.

[3] JETZ W, RAHBEC C. Geographic range size and determinants of avian species richness [J]. Science, 2002, 297(8): 1548 - 1551.

[4] M' CLOSKEY R T. Community structure in sympatric rodents [J]. Ecology, 1976, 57(4): 728 - 739.

[5] 余建军, 李晓晨. 陕西省啮齿动物种数分布及其生物多样性的研究[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2003, 14(4): 269 - 272.

[6] MILSTEAD W B, MESERVE P L, CAMPANELLA A, et al. Spatial ecology of small mammals in north-central chile: role of precipitation and refuges [J]. Journal of Mammalogy, 2007, 88(6): 1532 - 1538.

[7] 徐兴军, 吕建伟, 谢振丽, 等. 寒温带牧林交错区生态复杂度对啮齿类物种多样性的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(6): 2945 - 2952.

[8] 杨新根, 王庭林, 宁振东, 等. 山西省农田生境复杂程度对小型啮齿动物多样性的影响[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2014, 25(3): 227 - 230.

[10] SARJIT A, WANG Y, DYKES G A. Antimicrobial activity of gallic acid against thermophilic *Campylobacter* is strain specific and associated with a loss of calcium ions [J]. Food Microbiology, 2015, 46: 227 - 233.

[11] 郑雪花, 杨君, 杨跃辉. 没食子酸药理作用的研究进展[J]. 中国医院药学杂志, 2017, 37(1): 94 - 98.

[12] 滕李濛, 宋卓芮, 毕家豪, 等. 铜(II)-没食子酸配合物的抑菌活性研究[J]. 广东化工, 2018, 45(8): 54 - 55.

[13] 谭平, 刘斯宇, 周太平, 等. 没食子酸衍生物的合成及抑菌活性研究[J]. 西华大学学报(自然科学版), 2018, 37(2): 108 - 112.

[14] 常连举, 张宗和, 黄嘉玲, 等. 没食子酸的制备与应用综述[J]. 生物质化学工程, 2007, 44(4): 48 - 52.

[15] 李悦, 范腕腕, 袁高庆, 等. 3,4,5-三羟基苯甲酸甲酯的抑菌特性及其对番茄青枯病的田间防治作用[J]. 农药, 2014, 53(11): 845 - 848.

[16] 乔桂双. 五种 Strobilurina 类杀菌剂对黄瓜霜霉病菌生物活性及其抗性风险[D]. 保定: 河北农业大学, 2009.

[17] 李青, 张名位, 张瑞芬, 等. 5 种籼稻品种谷壳中游离态和结合态

[9] 张大铭, 艾尼瓦尔, 姜涛, 等. 准噶尔盆地啮齿动物群落多样性与物种变化的分析[J]. 生物多样性, 1998, 6(2): 92 - 98.

[10] 武晓东, 付和平. 人为干扰下荒漠啮齿动物群落格局: 变动趋势与敏感性反应[J]. 生态学报, 2006, 26(3): 849 - 860.

[11] 刘思慧. 横断山南麓哺乳动物物种多样性研究: 滇南高原自然保护区哺乳动物物种丰富度的空间格局[D]. 杭州: 浙江大学, 2003: 42 - 59.

[12] 覃雪波, 曾朝辉. 中新天津生态城夏季不同生境中啮齿动物群落与环境因子的关系[J]. 兽类学报, 2011, 31(4): 380 - 387.

[13] 张美文, 王勇, 郭聪, 等. 洞庭平原农家鼠的栖息格局[J]. 兽类学报, 2003, 23(2): 145 - 152.

[14] 王劭, 刘少英, 冉江洪, 等. 森林生态系统年净初级生产力和生境复杂度对小型兽类物种多样性影响[J]. 兽类学报, 2004, 24(4): 298 - 303.

[15] BROWN J H, MAURER B A. Body size, ecological dominance and Cope's rule [J]. Nature, 1996, 324: 248 - 250.

[16] 戴昆, 姚军. 荒漠啮齿类共存机制[J]. 干旱区研究, 1999, 16(3): 23 - 27.

[17] 杨月伟, 刘震, 刘季科. 食物、捕食和种间竞争对东方田鼠种群动态的作用[J]. 生态学报, 2009, 29(12): 6311 - 6324.

[18] 张福顺. 不同干扰条件下荒漠啮齿动物种群和群落动态研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2011: 58 - 63.

[19] 李义明, 许龙, 马勇, 等. 神农架自然保护区非飞行哺乳动物的物种丰富度: 沿海拔梯度的分布格局[J]. 生物多样性, 2003, 11(1): 1 - 9.

[20] ORLAND M C, KELT D A. Responses of a heteromyid rodent community to large-and small-scale resource pulses: diversity, abundance, and home-range dynamics [J]. Journal of Mammalogy, 2007, 88(5): 1280 - 1287.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 133 页)

[18] 郭素一. 萘乙酸( $\alpha$ -Naphthylacetic acid)在番茄和水稻中的残留检测研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2008.

[19] 吴雪钗, 于波涛, 侯艾林, 等. 没食子酸稳定性研究[J]. 西南国防医药, 2006, 16(5): 484 - 485.

[20] 荆才, 罗志军, 胡鹏刚, 等. 反萃取降低高纯单宁酸生产中没食子酸残留量的应用[J]. 中国酿造, 2017(3): 156 - 159.

[21] 郭永斌, 田苗, 王亚南, 等. 六种铜制剂对苹果树腐烂病菌抑制作用的持效期及影响因素[J]. 北方园艺, 2017(16): 61 - 67.

[22] 郭延蕊, 梁晨, 李宝笃, 等. 氟吡菌胺对大白菜霜霉病的作用方式和持效期[J]. 农药, 2014, 53(5): 372 - 374.

[23] 李金堂, 默书霞. 玉米灰斑病药剂防治持效期研究[J]. 中国植保导刊, 2013, 33(5): 55 - 56.

[24] 杨晓. 天然产物 MCA 在植物病害防治中的生物活性及其作用机理的研究[D]. 淄博: 山东理工大学, 2009.

(责任编辑: 田 喆)