



张婵, 陈思琪, 许益鏊. 甘氨酸和赤藓糖醇胶饵对红火蚁工蚁的毒杀效果 [J]. 环境昆虫学报, 2021, 43 (4): 1034 - 1039.

甘氨酸和赤藓糖醇胶饵对红火蚁工蚁的毒杀效果

张 婵, 陈思琪, 许益鏊*

(华南农业大学红火蚁研究中心, 广州 510642)

摘要: 前期研究发现甘氨酸和赤藓糖醇对红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren 有较好的毒杀效果, 为进一步挖掘这两种物质的实际应用价值, 在室内测试了甘氨酸和赤藓糖醇不同浓度配比的水溶液及胶状饵剂对红火蚁工蚁的毒杀效果。结果显示, 20% 的配比为 1:3、3:1 的赤藓糖醇和甘氨酸溶液喂饲 48 h 红火蚁工蚁的死亡率分别为 83.1% 和 84.93%, 而 72 h 后, 死亡率分别为 95.07% 和 95.21%, 与取食茛胝威饵剂的工蚁死亡率 (48 h: 92.57%; 72 h: 100%) 无显著差异。20% 的配比为 1:3、3:1 的赤藓糖醇和甘氨酸水凝胶颗粒喂饲 48 h 红火蚁工蚁的死亡率分别为 58.94% 和 55.05%, 而 72 h 后, 死亡率分别为 85.11% 和 80.05%, 显著低于取食茛胝威饵剂的工蚁死亡率 (48 h: 95.71%; 72 h: 99.59%)。研究结果为进一步利用开发红火蚁环保型饵剂提供参考。

关键词: 红火蚁; 赤藓糖醇; 甘氨酸; 死亡率; 水凝胶

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2021) 04-1034-06

Toxic effect of glycine and erythritol gel bait on workers of *Solenopsis invicta*

ZHANG Chan, CHEN Si-Qi, XU Yi-Juan* (Red Imported Fire Ant Research Center, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Previous studies found that glycine and erythritol had a good toxic effect on red imported fire ants. In order to further explore the practical application of these two substances, the toxic effect of different concentration ratio of glycine and erythritol in aqueous solution and gel bait on workers of *Solenopsis invicta* Buren was tested in the laboratory. The results showed that the mortality of workers was 83.1% and 84.93% when fed with the ratio of 20% 1:3 and 3:1 erythritol and glycine solution for 48 h. And the mortality was 95.07% and 95.21% after 72 h. There was no significant difference between the mortality of workers fed with ninhydrin bait (48 h: 92.57%; 72 h: 100%). The ratio of 20% 1:3 and 3:1 erythritol and glycine hydrogel particles to feed 48 h was 58.94% and 55.05% respectively, while 72 h mortality rate was 85.11% and 80.05%, respectively, which was significantly lower than that of the worker ant death rate (48 h: 95.71%; 72 h: 99.59%). The results provided a reference for the further development of environmentally friendly baits.

Key words: *Solenopsis invicta*; erythritol; glycine; mortality rate; hydrogels

红火蚁原产于南美洲, 上世纪 30 年代入侵美国 (张润志等, 2005)。目前, 红火蚁已经扩散至

美国、巴拉圭、波多黎各、新西兰、马来西亚和中国等国家和地区 (黄可辉和郭琼霞, 2009)。

基金项目: 广东省自然科学基金 (2017A030313166); 珠海市动物疫病预防控制中心委托项目 (2019, 2020)

作者简介: 张婵, 女, 1998 年生, 本科生, 研究方向为植物保护, E-mail: 1756646685@qq.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 许益鏊, 男, 博士, 教授, 主要研究方向为昆虫生态学, E-mail: xuyijuan@scau.edu.cn

收稿日期 Received: 2020-05-25; 接受日期 Accepted: 2020-05-28

2003 年, 台湾首次报道红火蚁入侵中国。2004 年, 我国大陆广东吴川大山江街道办事处采集到红火蚁标本, 现在红火蚁已经扩散至福建、广东、云南和广西等 10 多个省份 (陆永跃和曾玲, 2015)。红火蚁不仅危害农林业, 还会给人类健康、公共安全以及生物多样性构成严重威胁 (杨伟东等, 2005)。

目前, 红火蚁的防治主要依赖化学药剂, 然而大量使用化学药剂容易影响非靶标生物和环境安全。因此, 开发新型的环境友好型控制方法对于红火蚁的可持续控制有重要意义。前期的研究发现增味剂有灭杀红火蚁的能力, 其中甘氨酸对红火蚁表现出来最强的毒杀效果 (Huang *et al.*, 2018)。另有研究表明, 给红火蚁饲喂赤藓糖醇、阿斯巴甜和糖精导致红火蚁工蚁的存活率明显低于其他甜味剂 (Zhang *et al.*, 2017)。这些研究表明, 食品添加剂具有控制红火蚁饵剂的潜力。

海藻酸盐是一种天然存在的棕色海藻多糖, 用它制成的水凝胶颗粒剂作为替代的水凝胶基质, 可用于向阿根廷蚂蚁输送液体诱饵。制作海藻酸钠水凝胶颗粒的过程中, 能生成海藻酸钠珠粒的最大增重百分比所使用的氯化钙最佳浓度为 5 g/L, 即质量分数为 0.5%, 然后海藻酸钠溶液与氯化钙交联 5 min (Tay *et al.*, 2017)。

针对以上问题, 本文研究了不同配比的甘氨酸和赤藓糖醇对红火蚁的毒杀效果, 明确对红火蚁控制效果较好的配比溶液, 再将其做成水凝胶颗粒剂, 观察对红火蚁死亡率的影响, 以期为进一步开发利用红火蚁环保型饵剂提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试昆虫

供试红火蚁蚁群采自广州市从化区, 挖回蚁巢后用水滴法将蚂蚁从土中分离, 分离后的蚁群转移到 1 个干净、四边涂有 Fulron (购自淘宝网, 无具体生产厂) 的塑料盒, 将蚁群置于 $28 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $65\% \pm 15\%$ 的条件下 48 h 以上, 每天饲喂水、蜂蜜水 (放入试管中, 并用棉花塞住试管口) 和黄粉虫幼虫, 使其种群稳定。

1.1.2 供试试剂

赤藓糖醇 (BR, 纯度 $\geq 99.0\%$, 分子式为

$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}_4$) 由广州 Sepol 实验设备有限公司提供; 甘氨酸 (BR, 纯度 $\geq 99.0\%$, 化学式为 $\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}_2$) 和海藻酸钠 (BR, 纯度 $\geq 99.0\%$, $(\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_6\text{Na})_n$) 购自阿拉丁试剂 (上海) 有限公司; 氯化钙 (BR, 纯度 $\geq 99.0\%$, 分子式为 CaCl_2) 由天津大茂化学试剂厂生产。

1.2 不同配比的赤藓糖醇和甘氨酸溶液对红火蚁工蚁的毒杀效果

随机选择不少于 30 头工蚁, 转移到塑料碗 (300 mL) 中, 塑料碗内四壁用 Fulron 涂层以防止红火蚁逃逸。在没有食物和水的情况下饥饿处理 24 h。然后用赤藓糖醇和甘氨酸以 1:1, 1:3, 3:1 分别配置总含量为 10% 和 20% 的溶液以及 10% 和 20% 的赤藓糖醇和甘氨酸水溶液喂饲, 分别在 12、24、36、48、60 和 72 h 观察和记录其死亡虫数, 若工蚁失去行动能力则被认为死亡。每个处理 4 次蚁巢重复, 并且用有效成分为 0.1% 茛虫威饵剂 (舒绝, 广州市瑞丰生物科技有限公司) 作阳性对照, 10% 蔗糖溶液和水作对照处理。

试验在空调室内进行, 光照强度 3 000 Lux, 温度为 $28 \pm 1^\circ\text{C}$, 相对湿度为 $65\% \pm 15\%$, 光照时间 (L:D) 为 14:10。

1.3 水凝胶颗粒剂对红火蚁工蚁的毒杀效果

将上述试验效果较好的溶液参考 Tay 等 (2017) 海藻酸钠溶液与质量分数为 0.5% 氯化钙溶液交联 5 min 制成水凝胶颗粒的方法并稍作调整, 制备成海藻酸钠水凝胶颗粒剂。先制备质量分数为 0.5% 海藻酸钠溶液, 搅拌使其溶解, 待完全溶解后将其滴入质量分数为 0.5% CaCl_2 溶液中, 搅拌 5 min 后, 用去离子水简单冲洗珠粒以除去表面的 CaCl_2 溶液, 轻轻除去过量水分后, 测量 30 颗水凝珠颗粒的体积与质量, 然后将其分别浸没在 20% 的赤藓糖醇与甘氨酸的配比为 1:1、1:3 的溶液, 20% 甘氨酸溶液中并“调节”1.5 h, 浸没在 10% 蔗糖溶液和去离子水中并“调节”5 h 后供试, 试验重复 3 次。

随机选择不少于 50 头工蚁, 转移到塑料碗 (300 mL) 中, 塑料碗内四壁用 Fulron 涂层以防止红火蚁逃逸。在没有食物和水的情况下饥饿处理 24 h。然后用含有药液的海藻酸钠水凝胶珠粒喂饲, 分别在 12、24、36、48、60 和 72 h 观察和记录其死亡虫数, 若工蚁 3 只以上失去行动能力即被为死亡。每个处理 5 次蚁巢重复, 并且用茛

虫威饵剂、含 10% 蔗糖和去离子水的海藻酸钠水凝胶珠粒作对照处理。实验室温湿度和光照条件如 1.2 所述。

1.4 数据处理

本试验数据进行处理的分析软件 SPSS 14.0, 使用反正弦变换转换所有百分比死亡率数据以满足正态性的假设。然后用双向方差分析 (ANOVA) 比较不同处理后和巢间的工蚁死亡率差异, 用单向方差分析 (ANOVA) 比较水凝珠颗粒吸收药液的质量体积比差异, 并用 Tukey 法进行多重比较。

海藻酸钠水凝胶吸收药液的质量体积比 = (水凝胶颗粒吸收药液后的质量 - 吸收药液前的质量) / 吸收药前水凝胶珠粒的体积。

2 结果与分析

2.1 不同配比的赤藓糖醇和甘氨酸溶液对红火蚁工蚁的毒杀效果

2.1.1 48 h 后赤藓糖醇和甘氨酸溶液不同配比对红火蚁工蚁的毒杀作用

不同蚁巢间工蚁死亡率差异显著 (双向方差分析, $F_{3,36} = 11.710$, $P < 0.001$)。48 h 后, 赤藓糖醇和甘氨酸混和物不同配比对红火蚁工蚁的毒杀作用具显著性差异 (双向方差分析, $F_{12,36} = 27.132$, $P < 0.001$); 20% 的赤藓糖醇: 甘氨酸 = 1:1、1:3 的溶液与茚虫威饵剂对红火蚁工蚁的毒杀作用差异不显著; 10% 的赤藓糖醇: 甘氨酸 = 3:1 的溶液和 10% 的赤藓糖醇溶液对工蚁的毒杀作用无显著差异, 但与其他不同配比的混合物、20% 的赤藓糖醇和甘氨酸水溶液及 10% 甘氨酸水溶液皆有显著差异 (表 1)。

2.1.2 72 h 后赤藓糖醇和甘氨酸溶液不同配比对红火蚁工蚁的毒杀作用

不同蚁巢间工蚁死亡率差异显著 (双向方差分析, $F_{3,36} = 7.212$, $P = 0.001$)。72 h 后, 赤藓糖醇和甘氨酸混和物不同配比对红火蚁工蚁的毒杀作用具显著性差异 (双向方差分析, $F_{12,36} = 23.997$, $P < 0.001$); 20% 的赤藓糖醇: 甘氨酸 = 1:1、1:3 的溶液与茚虫威饵剂对红火蚁工蚁的毒杀作用差异不显著; 10% 赤藓糖醇溶液、10% 赤藓糖醇: 甘氨酸 = 3:1 的溶液和 10% 蔗糖溶液造成红火蚁工蚁死亡无显著差异 (表 2)。

表 1 不同配比的赤藓糖醇和甘氨酸溶液对红火蚁工蚁的毒杀作用 (48 h)

Table 1 Different concentration ratio of erythritol and glycine in aqueous solution on workers of *Solenopsis invicta*

赤藓糖醇和甘氨酸比例 Ratio of erythritol and glycine	48 h 死亡率 (%) Mortality rate at 48 h
20% 赤藓糖醇 20% erythritol	45.83 ± 5.96 ef
20% 甘氨酸 20% glycine	77.94 ± 6.21 bc
赤藓糖醇: 甘氨酸 = 1:1 (20%) Erythritol: glycine = 1:1 (20%)	83.10 ± 2.18 abc
赤藓糖醇: 甘氨酸 = 1:3 (20%) Erythritol: glycine = 1:3 (20%)	84.93 ± 5.45 ab
赤藓糖醇: 甘氨酸 = 3:1 (20%) Erythritol: glycine = 3:1 (20%)	57.82 ± 6.93 de
茚虫威饵剂 Indoxacarb baits	92.57 ± 2.43 a
10% 赤藓糖醇 10% erythritol	25.55 ± 5.54 gh
10% 甘氨酸 10% glycine solution	66.67 ± 10.47 cd
赤藓糖醇: 甘氨酸 = 1:1 (10%) Erythritol: glycine = 1:1 (10%)	45.77 ± 6.40 e
赤藓糖醇: 甘氨酸 = 1:3 (10%) Erythritol: glycine = 1:3 (10%)	64.93 ± 8.42 cd
赤藓糖醇: 甘氨酸 = 3:1 (10%) Erythritol: glycine = 3:1 (10%)	27.15 ± 4.36 fg
蒸馏水 Distilled water	9.23 ± 4.09 i
10% 蔗糖 10% sucrose	10.71 ± 2.08 hi

注: 表中死亡率 (Mean ± SE) 后具相同字母者表示在 $\alpha = 0.05$ 水平上差异不显著 (Tukey 法)。表 2、4、5 同。
Note: Mean ± SE with same letters meant no significant difference at $\alpha = 0.05$ level (Tukey). Same to Table 2, 4, 5.

2.2 水凝胶颗粒剂对红火蚁工蚁的毒杀效果

2.2.1 水凝珠颗粒吸收药液的质量体积比

实验结果表明海藻酸钠水凝珠珠粒对不同溶液的吸收能力不同 (单向方差分析, $F_{4,11} = 73.241$, $P < 0.001$), 20% 赤藓糖醇和甘氨酸的配比为 1:1、1:3 的溶液与 20% 甘氨酸溶液吸收的质量体积比无显著差异 (表 3)。

表 2 不同配比的赤藓糖醇和甘氨酸溶液对红火蚁工蚁的毒杀作用 (72 h)

Table 2 Different concentration ratio of erythritol and glycine in aqueous solution on workers of *Solenopsis invicta*

赤藓糖醇和甘氨酸比例 Ratio of erythritol and glycine	72 h 死亡率 (%) Mortality rate at 72 h
20% 赤藓糖醇 20% erythritol	74.31 ± 9.92 d
20% 甘氨酸 20% glycine	93.38 ± 2.08 bc
赤藓糖醇: 甘氨酸 = 1:1 (20%) Erythritol: glycine = 1:1 (20%)	95.07 ± 1.77 ab
赤藓糖醇: 甘氨酸 = 1:3 (20%) Erythritol: glycine = 1:3 (20%)	95.21 ± 1.54 ab
赤藓糖醇: 甘氨酸 = 3:1 (20%) Erythritol: glycine = 3:1 (20%)	80.27 ± 6.15 bcd
0.1% 茚虫威饵剂 0.1% indoxacarb baits	100.00 ± 0.00 a
10% 赤藓糖醇 10% erythritol	40.15 ± 8.49 e
10% 甘氨酸 10% glycine	77.19 ± 6.55 cd
赤藓糖醇: 甘氨酸 = 1:1 (10%) Erythritol: glycine = 1:1 (10%)	68.31 ± 11.38 d
赤藓糖醇: 甘氨酸 = 1:3 (10%) Erythritol: glycine = 1:3 (10%)	82.09 ± 4.29 bcd
赤藓糖醇: 甘氨酸 = 3:1 (10%) Erythritol: glycine = 3:1 (10%)	38.41 ± 6.29 e
蒸馏水 Distilled water	10.77 ± 4.60 f
10% 蔗糖 10% sucrose	21.43 ± 6.43 ef

2.2.2 48 h 后水凝胶颗粒对红火蚁工蚁的毒杀作用

不同蚁巢间工蚁死亡率差异显著 (双向方差分析, $F_{4,20} = 5.101$, $P = 0.005$), 不同处理对红火蚁工蚁的毒杀作用具显著性差异 (双向方差分析, $F_{5,20} = 107.925$, $P < 0.001$)。48 h 后不同配比的赤藓糖醇: 甘氨酸 (20%) 海藻酸钠珠粒对红火蚁毒杀作用明显, 死亡率在 55% ~ 62% 之间, 显著高于对照但低于茚虫威饵剂 (表 4)。

2.2.3 72 h 后水凝胶颗粒对红火蚁工蚁的毒杀作用

不同蚁巢间工蚁死亡率差异不显著 (双向方差分析, $F_{4,20} = 1.991$, $P = 0.135$), 不同处理对红火蚁工蚁的毒杀作用具显著性差异 (单向方差分析, $F_{5,24} = 96.514$, $P < 0.001$)。72 h 后,

表 3 水凝珠颗粒吸收药液的质量体积比

Table 3 Mass-volume ratio of the hydrogel particles to absorb the solution

浸泡药液的海藻酸钠水凝胶珠粒 Hydrogel particles to absorb the solution	质量体积比 (kg/L) Mass to volume ratio
赤藓糖醇: 甘氨酸 = 1:1 (20%) Erythritol: glycine = 1:1 (20%)	0.680 ± 0.059 a
赤藓糖醇: 甘氨酸 = 1:3 (20%) Erythritol: glycine = 1:3 (20%)	0.924 ± 0.072 a
甘氨酸 (20%) 20% glycine	0.854 ± 0.024 a
蔗糖溶液 (10%) 10% sucrose	0.043 ± 0.020 b
蒸馏水 Distilled water	-0.067 ± 0.020 b

注: 表中质量体积比数字 (Mean ± SE) 后具相同字母者表示在 $\alpha = 0.05$ 水平上差异不显著 (Tukey 法)。Note: Mean ± SE with same letters meant no significant difference at $\alpha = 0.05$ level (Tukey).

表 4 浸泡药液的海藻酸钠水凝胶珠粒对红火蚁工蚁的毒杀作用 (48 h)

Table 4 Sodium alginate hydrogel particles soaked in different aqueous solution on workers of *Solenopsis invicta*

浸泡药液的海藻酸钠水凝胶珠粒 Hydrogel particles to absorb the solution	死亡率 (%) Mortality rate
赤藓糖醇: 甘氨酸 = 1:1 (20%) Erythritol: glycine = 1:1 (20%)	58.94 ± 6.26 b
赤藓糖醇: 甘氨酸 = 1:3 (20%) Erythritol: glycine = 1:3 (20%)	55.05 ± 6.60 b
甘氨酸 (20%) 20% glycine	62.00 ± 5.99 b
0.1% 茚虫威饵剂 0.1% indoxacarb baits	95.71 ± 2.35 a
蔗糖溶液 (10%) 10% sucrose	2.34 ± 0.30 c
蒸馏水 Distilled water	1.57 ± 0.99 c

不同配比的赤藓糖醇: 甘氨酸 (20%) 海藻酸钠珠粒对红火蚁毒杀作用无显著差异, 与茚虫威饵剂的毒杀效果有显著差异 (表 5)。

表 5 浸泡药液的海藻酸钠水凝胶珠粒对红火蚁工蚁的毒杀作用 (72 h)

Table 5 Sodium alginate hydrogel particles soaked in different aqueous solution on workers of *Solenopsis invicta* (72 h)

浸泡药液的海藻酸钠水凝胶珠粒 Hydrogel particles to absorb the solution	死亡率 (%) Mortality rate
赤藓糖醇: 甘氨酸 = 1:1 (20%) Erythritol: glycine = 1:1 (20%)	85.11 ± 3.24 b
赤藓糖醇: 甘氨酸 = 1:3 (20%) Erythritol: glycine = 1:3 (20%)	80.05 ± 5.88 b
甘氨酸 (20%) 20% glycine	89.56 ± 2.20 b
0.1% 茚虫威饵剂 0.1% indoxacarb baits	99.59 ± 0.36 a
蔗糖溶液 (10%) 10% sucrose	11.37 ± 3.89 c
蒸馏水 Distilled water	1.57 ± 0.99 c

3 结论与讨论

甘氨酸是增味剂中的一种,同时也是人体所必需的氨基酸。甘氨酸的用途多种多样,可以用来做食品添加剂,也可以用来改善食盐口味,且需求量都是极其庞大的。不仅如此,很多食物中也存在着甘氨酸,比如饮料、糖果和饼干等(宋彦梅等,2003)。赤藓糖醇是一种常见的甜味剂。天然和人造的甜味剂都广泛用于食品工业中作为食品添加剂。根据动物急性和亚慢性研究的结果,赤藓糖醇归类为无毒。在人类中,赤藓糖醇被接受作为许多国家的食品或食品添加剂(Zheng *et al.*, 2016)。海藻酸钠是天然线型聚合物,其自身具有水溶性、生物相容性、非免疫原性、生物降解性、无毒性 and 人体接受性等优良性能(徐梦洁等,2020),且产量丰富、廉价易得,广泛应用于医学行业(张静等,2019),说明海藻酸钠也是一种安全性的物质。因此,本研究中利用赤藓糖醇和甘氨酸配制而成的凝胶颗粒具有环境友好型的特性。

在试管溶液饲喂实验中,结果表明 20% 甘氨酸溶液和 20% 的赤藓糖醇:甘氨酸 = 1:1、1:3 的

溶液对红火蚁工蚁的死亡影响程度显著,且 20% 的赤藓糖醇:甘氨酸 = 1:1、1:3 的溶液与茚虫威饵剂对红火蚁工蚁的毒杀作用差异不显著。说明甘氨酸和赤藓糖醇溶液对红火蚁实验室种群有很好的控制效果,也证明它们具有潜在的利用价值(Zhang *et al.*, 2017; Huang *et al.*, 2018)。

制成海藻酸钠水凝胶颗粒剂时,不同配比的赤藓糖醇:甘氨酸(20%)对红火蚁毒杀作用显著低于茚虫威饵剂。说明制成水凝胶颗粒剂后对红火蚁的毒杀效果减弱了,主要可能存在两个原因。首先,可能是由于凝胶颗粒胶饵比溶液相对不易被工蚁取食和吸引;还有,凝胶吸药液的质量体积比不够大导致剂量下降而不足以对红火蚁造成很强的毒杀效果。因此,将来可以通过配方的改造提高对药液的吸收量,进一步提升水凝胶饵剂的毒杀效果。

水凝胶颗粒剂很容易失水,基本在一天后就会出现变干现象,这可能会影响红火蚁的毒杀作用。然而,水凝胶颗粒耐湿性强,利用这一特点可在雨季使用凝胶饵剂。本研究仅在实验室条件下对水凝胶饵剂的毒杀效果进行测试,其田间的控制效果有待进一步评价。另外,提升凝胶饵剂对红火蚁的取食吸引效果应当是下一步开发利用努力方向。

参考文献 (References)

- Huang KH, Guo QX. The quarantine pest - *Solenopsis invicta* Buren [J]. *Wuyi Science Journal*, 2009, 25: 9-12. [黄可辉, 郭琼霞. 检疫性害虫—红火蚁的分布危害与检疫 [J]. 武夷科学, 2009, 25: 9-12]
- Huang YT, Chen SQ, Li ZQ, *et al.* Effects of flavor enhancers on the survival and behavior of the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2018, 25 (22): 21879-21886.
- Lu YY, Zeng L. 10 years after red imported fire ant found to invade China: History, current situation and trend of its infestation [J]. *Plant Quarantine*, 2015, 29 (2): 1-6. [陆永跃, 曾玲. 发现红火蚁入侵中国 10 年: 发生历史、现状与趋势 [J]. 植物检疫, 2015, 29 (2): 1-6]
- Song YM, Yin QX, Wang JK. Production techniques and application of glycine [J]. *Amino Acids & Biotic Resources*, 2003, 25 (2): 55-60. [宋彦梅, 尹秋响, 王静康. 甘氨酸的应用及生产技术 [J]. 氨基酸和生物资源, 2003, 25 (2): 55-60]
- Tay JW, Hoddle MS, Mulchandani A, *et al.* Development of an alginate hydrogel to deliver aqueous bait for pest ant management [J]. *Pest Management Science*, 2017, 73 (10): 2028-2038.

- Xu MJ, Zhang XM, Hu YC, *et al.* Preparation and characterization of double crosslinked polyvinyl alcohol/sodium alginate hydrogels [J]. *Polymer Materials Science & Engineering*, 2020: 1-8. [徐梦洁, 张秀梅, 胡银春, 等. 双交联聚乙烯醇/海藻酸钠水凝胶的制备与表征 [J]. *高分子材料科学与工程*, 2020: 1-8]
- Yang WD, Yu DJ, Chen ZL. The influence of red imported fire ants on agricultural ecological environment, society and economy [J]. *Plant Protection*, 2005, 31 (5): 75-78. [杨伟东, 余道坚, 陈志舜. 红火蚁对农业生态环境和社会、经济的影响 [J]. *植物保护*, 2005, 31 (5): 75-78]
- Zhang J, Lin QH, Ma QY, *et al.* Application progress of sodium alginate and its derivatives in biomedicine [J]. *China Pharmacy*, 2019, 30 (23): 3307-3312. [张静, 林华庆, 马秋燕, 等. 海藻酸钠及其衍生物在生物医药中的应用进展 [J]. *中国药房*, 2019, 30 (23): 3307-3312]
- Zhang RZ, Ren L, Liu N. An introduction and strict precautions against red imported fire ant, *Solenopsis invicta*, for its potential invasion to the mainland of China [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2005, 42 (1): 6-10. [张润志, 任立, 刘宁. 严防危险性害虫红火蚁入侵 [J]. *昆虫知识*, 2005, 42 (1): 6-10]
- Zhang XQ, Chen SQ, Li ZQ, *et al.* Effect of sweeteners on the survival of *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2017, 110 (2): 593-597.
- Zheng CY, Zeng L, Xu YJ. Effect of sweeteners on the survival and behavior of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae) [J]. *Pest Management Science*, 2016, 72 (5): 990-996.