环境昆虫学报 2021，43（1）：265－271
Journal of Environmental Entomology
http：//hjkcxb. alljournals. net
doi：10. 3969/j. issn. 1674－0858. 2021. 01. 29



李志强，张东举，冉元，骆清兰，岳鑫璐，王磊，陆永跃. 红火蚁饵剂药瓶瓶盖孔洞设计与出药量的关系［J］. 环境昆虫学报，2021，43（1）：265－271.

红火蚁饵剂药瓶瓶盖孔洞设计与出药量的关系

李志强[1*]，张东举[2*]，冉　元[2]，骆清兰[1]，岳鑫璐[1]，王　磊[2]，陆永跃[2**]
（1. 深圳市农业科技促进中心，深圳 518055；2. 华南农业大学植物保护学院，广州 510642）

摘要： 红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren 是一种对人类健康、生态环境等具有严重危害的重大入侵害虫，毒饵诱杀是防控红火蚁的重要手段。在采用人工撒施方法时，如何避免药剂浪费或不足仍需研究。本文研究了红火蚁饵剂药瓶瓶盖出药量与瓶盖上孔洞直径、孔洞数量和施药方式的关系，为红火蚁饵剂施药装置选择合适的孔洞直径、孔洞数量和施药方式提供理论依据。研究发现，在倾倒施药处理下，孔洞直径为 3. 0、4. 0、5. 0、6. 0 和 7. 0 mm 时，出药量与孔洞直径有显著的线性关系，线性方程依次为 $Z = 0.02X - 0.004$、$Z = 0.007X - 0.007$、$Z = 0.015X - 0.02$、$Z = 0.026X + 0.025$ 和 $Z = 0.097X - 0.094$（Z 代表出药量，X 代表孔洞数量），即孔洞越多，倾倒的出药量越多。施药方式为倾倒时，出药量与孔洞直径和孔洞数量有显著的线性关系，线性方程为 $Z = 0.008X + 0.106Y - 0.464$（Z 代表出药量，X 代表孔洞数量，Y 代表孔洞直径），即出药量随孔洞数量或孔洞直径增加而增多。在撒播施药处理下，当孔洞直径为 3. 0 mm 时，撒播的出药量与孔洞数量的线性关系不显著。当孔洞直径为 4. 0、5. 0、6. 0 和 7. 0 mm 时，出药量与孔洞直径和孔洞数量有显著的线性关系，线性方程依次为 $Z = 0.006X + 0.037$、$Z = 0.013X + 0.018$、$Z = 0.02X + 0.093$、$Z = 0.06X + 0.03$（Z 代表出药量，X 代表孔洞数量），即孔洞越多，撒播的出药量越多；撒播的出药量与孔洞直径和孔洞数量有显著的线性关系，线性方程为 $Z = 0.006X + 0.087Y - 0.335$（Z 代表出药量，X 代表孔洞数量，Y 代表孔洞直径），即出药量随着孔洞数量或孔洞直径增加而增多。因此，厂家可参考上述线性方程，根据产品物理性状、有效施用剂量在毒饵瓶瓶盖上选择相应的孔洞直径和孔洞数量。

关键词： 红火蚁；饵剂；孔洞直径；撒施；药量
中图分类号： Q968. 1；S433　　**文献标识码：** A　　**文章编号：** 1674－0858（2021）01－0265－07

Effect of variation diameter and number of holes on cap of toxic bait bottle on delivery of toxic bait granules

LI Zhi-Qiang[1*], ZHANG Dong-Ju[2*], RAN Yuan[2], LUO Qing-Lan[1], YUE Xin-Lu[1], WANG Lei[2], LU Yong-Yue[2**]（1. Shenzhen Agricultural Science and Technology Promotion Center, Shenzhen 518055, China; 2. College of Plant Protection, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China）

Abstract: Red imported fire ant *Solenopsis invicta* Buren is a dangerous invasive species causing serious harm to human health, biodiversity, agriculture, and public safety. Toxic bait is an important method in *S. invicta* management, but it is still not addressed how to avoid over or insufficient dose of toxic baits in manual bait application. This paper studied on the effect of variation diameter and number of holes on cap of toxic bait bottle on delivery of toxic bait granules, and is trying to provided information on the bait bottle

基金项目： 广东省现代农业产业共性关键技术研发创新团队建设项目（2020KJ134）；全球环境基金中国 PFOS 优先行业削减与淘汰项目（FECO-CSB）；深圳市农业有害生物疫情监测和控制项目

[*] **共同第一作者：** 李志强，男，1979 年生，硕士，高级农艺师，研究方向为农业有害生物综合治理，E－mail：179558953@qq. com；张东举，男，1992 年生，研究方向为有害生物综合治理，E－mail：243517723@qq. com
[**] **通讯作者** Author for corresponding：陆永跃，博士，教授，研究方向为昆虫生态学、害虫防治和入侵生物学，E－mail：luyongyue@scau. edu. cn

收稿日期 Received：2020－07－27；**接受日期** Accepted：2020－08－05

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

designed to delivery baits granules suitably. In bottle flip delivery mode, the output weight of toxic bait granules had a significant positive linear relationship with diameter of hole on bottle cap by using regression analysis, the linear equation was Z = 0.02X − 0.004, Z = 0.007X − 0.007, Z = 0.015X − 0.02, Z = 0.026X + 0.025, and Z = 0.097X − 0.094 when diameter of bottle cap was 3.0, 4.0, 5.0, 6.0 and 7.0 mm, respectively (Z meant output weight of toxic bait granules, X meant number of holes on bottle cap). The output weight of toxic bait granules also had a significant positive linear relationship with diameter and number of holes on bottle cap by using regression analysis, and the linear equation was Z = 0.008X + 0.106Y − 0.464 (Z meant output weight of toxic bait granules, X meant number of holes on bottle cap, Y meant diameter of holes on bottle cap). In spraying delivery mode, there was no significant correlation between output weight of toxic bait granules and diameter of hole on bottle cap when diameter of hole on bottle cap was 3.0 mm. When diameter of bottle cap was 4.0, 5.0, 6.0, and 7.0 mm, the output weight of toxic bait granules had a significant positive linear relationship with diameter of hole on bottle cap by using regression analysis, the linear equation was Z = 0.006X + 0.037, Z = 0.013X + 0.018, Z = 0.02X + 0.093, and Z = 0.06X + 0.03, respectively (Z meant output weight of toxic bait granules, X meant number of holes on bottle cap). The output weight of toxic bait granules also had a significant positive linear relationship with diameter and number of holes on bottle cap by using regression analysis, and the linear equation was Z = 0.006X + 0.087Y − 0.335 (Z meant output weight of toxic bait granules, X meant number of holes on bottle cap, Y meant diameter of holes on bottle cap). The results would provide the basis for designing diameter and number of holes on cap of toxic bait bottle following the linear equations.

Key words: *Solenopsis invicta*; bait; diameter of hole; broadcast; weight of bait

红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren 原产于南美洲，是一种严重为害人类健康、公共安全、农林业生产和生态系统的重大入侵害虫（Wetterer，2013）。2003 年在我国台湾发现其发生危害，2004 年在广东省吴川市发现其入侵在局部地区暴发成灾（曾玲等，2005）。截止到 2018 年，红火蚁已经入侵到我国包括广东、广西、海南、四川、贵州、福建、台湾等 15 个省（区）的 390 多个县区（Wang *et al.*，2020）。目前红火蚁在我国的传播主要依赖于苗木调运，如果红火蚁的传播途径不能得到有效控制，我国每年新增的红火蚁入侵县区数量可达 20～30 个（陆永跃，2014）。

在我国，红火蚁造成入侵地的本地蚂蚁、蜘蛛等节肢动物群落的物种丰富度明显下降（吴碧球等，2010；席银宝等，2010；黄俊等，2012）。例如，红火蚁入侵造成本地蚂蚁的丰富度下降超过 33%（宋侦东等，2010；吴碧球等，2010）。红火蚁入侵也会对入侵地的农业生产和畜牧业造成严重负面影响（Vinson，1997）。调查显示红火蚁可以取食作物种子，对芝麻、玉米、绿豆等种子萌发都具有较大潜在威胁（黄俊等，2010；黄俊等，2014）。Wu *et al.*（2014）研究发现红火蚁可严重降低油菜的种子产量。1999 年对美国德克萨斯州的调查数据显示，红火蚁给该州农业生产和畜牧业生产带来的经济损失高达 0.38 亿美元（Lard *et al.*，2002）。

红火蚁攻击性较强，其毒液中的毒蛋白可能会引起部分人群的过敏反应甚至休克（deShazo and Banks，1994）。在我国的红火蚁发生区的调查中发现，1/3 的被调查人群被红火蚁叮蛰过，其中 10% 的受害者有发热症状出现，小部分人出现头晕等严重过敏反应，个别出现了休克症状（Xu *et al.*，2012）。

研发和应用高效防除技术及产品是降低红火蚁扩张、暴发危害的关键。目前常用的防治方法包括毒饵法和触杀性粉剂等（Wang *et al.*，2020）。触杀性粉剂是通过将粉剂撒在红火蚁工蚁身上，然后通过沾满药剂的工蚁与其它蚂蚁的相互接触而进行传递，最终杀死蚁巢内的大部分蚂蚁（曾玲等，2005）。此法作用速度快速，高效粉剂 5～10 d 的防效可达 80% 以上，但这种方法的缺点是仅能对可见蚁巢使用（曾玲等，2005）。毒饵法是将化学药剂混合在载体上，并通过蚂蚁的交哺行为使得杀虫剂在红火蚁种群中扩散，一般 2～6 周才会见效，但是防治效果比较彻底（Stringer *et al.*，1964；Klotz *et al.*，1997）。目前控制红火蚁

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

最有效的方法是应用毒饵，不仅可以用于可见蚁巢，还可用于大面积撒施，而且比较省时、省力、省工（曾玲等，2005）。

红火蚁的毒饵施用可分为大面积撒施和单蚁巢处理。大面积撒施红火蚁毒饵具有一定的盲目性，药剂用量大，但是施药时省工省力，主要适用于蚁巢不明显且觅食工蚁数量较多或蚁巢密度较高的区域。在蚁巢明显且蚁巢密度较低的区域，使用单蚁巢处理的施药方法则会降低人力成本和药剂成本（黄俊，2007）。在实际防控工作中，单蚁巢处理时发现很多蚁巢表面残留大量饵剂，这是施药量过多的缘故，投饵量达到饱和的情况下再投饵剂就会造成药剂浪费和污染环境，有时防治效果反而不好，投饵剂药量太少又会导致防治不彻底，在原蚁巢上再次投放同种饵剂时，会出现工蚁拒绝取食的现象（吴志红等，2006）。目前红火蚁的毒饵包装物为塑料袋装或者瓶装，由于药剂包装不一，在采用人工撒施方法时，可能会造成药剂的浪费或者药剂施用量不足或者不均匀等问题。本文研究探讨了当毒饵包装物为瓶装时，饵剂药瓶瓶盖出药量与瓶盖上孔洞直径、孔洞数量、施药方式的关系，为红火蚁饵剂生产厂家根据生产药剂的规格选择合适的孔洞直径、孔洞数量和施药方式提供理论依据，使在实际的红火蚁防治工作中能够高效利用药剂，提高防控效率，减少劳动成本和节约资源，保护环境。

1　材料与方法

1.1　试验材料

供试药剂：0.1% 茚虫威毒饵（舒绝® 杀蚁饵剂，广州瑞丰生物科技有限公司），毒饵颗粒直径范围 2.39 ~ 3.34 mm，平均直径为 2.90 mm。选择使用广州瑞丰生物科技有限公司生产的舒绝® 杀蚁饵剂作为测试药剂是因为该药剂制作工艺较好，颗粒较均匀。

供试材料：测试使用圆口塑料瓶（长 10.5 cm × 宽 4.0 cm × 高 23.5 cm）及其瓶盖（内直径为 6.07 cm，外直径为 6.50 cm）由广州瑞丰生物科技有限公司提供，该塑料瓶为舒绝® 杀蚁饵剂商品所使用；手电钻、钻头（3.0、4.0、5.0、6.0、7.0 mm）、直尺、游标卡尺、记录本等。

1.2　试验方法

根据试验中使用的 0.1% 茚虫威毒饵的颗粒直径，测试的孔洞直径分别为 3.0、4.0、5.0、6.0 和 7.0 mm 等 5 种处理，相应大小的孔洞由对应直径的钻头钻孔获得。在测试使用的塑料瓶瓶盖的一侧使用钻头钻孔，钻孔的面积为瓶盖总面积的 1/2。首先使用特定直径的钻头在瓶盖上钻孔，孔洞与孔洞不能出现重叠，获得 1/2 瓶盖总面积上能钻出得特定直径孔洞最多的数量。将能钻出的特定直径的最高孔洞数量设定为 5 级，然后以等差递减方式确定特定直径孔洞中 4 级、3 级、2 级和 1 级处理的孔洞数量（表 1）。

直径为 3.0 mm 的钻头可以在 1/2 瓶盖总面积上最多钻出 41 个孔洞，因此该直径的钻头的 5 级为 41 个孔洞，以 8 个孔洞数量递减，1 级为 9 个孔洞。直径为 4.0 mm 的钻头可以在 1/2 瓶盖总面积上最多钻出 30 个孔洞，因此该直径的钻头的 5 级为 30 个孔洞，以 6 个孔洞数量递减，1 级为 6 个孔洞。直径为 5.0 mm 的钻头可以在 1/2 瓶盖总面积上最多钻出 20 个孔洞，因此该直径的钻头的 5 级为 20 个孔洞，以 4 个孔洞数量递减，1 级为 4 个孔洞。直径为 6.0 mm 的钻头可以在 1/2 瓶盖总面积上最多钻出 15 个孔洞，因此该直径的钻头的 5 级为 15 个孔洞，以 3 个孔洞数量递减，1 级为 3 个孔洞。直径为 7.0 mm 的钻头可以在 1/2 瓶盖总面积上最多钻出 7 个孔洞，最少可以钻 1 个孔洞，综合考虑，该直径的钻头处理 1 级为 1 个孔洞，以 2 个孔洞数量递增，4 级为 7 个孔洞，无 5 级（表 1）。不同直径的不同级别处理的孔洞数量均不同，按孔洞直径和孔洞数量，使得孔洞均能均匀的分布于瓶盖上。

表 1　孔洞直径与相应孔洞数量设计

Table 1　Detailed information of diameter of holes on bottle cap and the ranks for number of holes on bottle cap

数量梯度 Ranks for number of holes on bottle cap	孔洞直径（mm） Diameter of holes on bottle cap				
	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0
1 级 Level 1	9	6	4	3	1
2 级 Level 2	17	12	8	6	3
3 级 Level 3	25	18	12	9	5
4 级 Level 4	33	24	16	12	7
5 级 Level 5	41	30	20	15	–

测试开始前，在测试塑料瓶中装 500 g 毒饵。将具有相应孔洞数量的瓶盖盖上后，以倾倒施药

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

和撒播施药两种野外常用的施药方式倒出毒饵颗粒，使用白色光面纸张在下方承接毒饵颗粒，之后使用电子天平称量倒出的毒饵颗粒重量。每次处理5次重复。倾倒施药处理为将盖上具有相应孔洞数量的瓶盖的塑料瓶旋转180°，使瓶口朝下1～2 s，旋转过程中轻微用力。撒播施药处理为首先将盖上具有相应孔洞数量的瓶盖的塑料瓶水平放置，然后将瓶口向下旋转90°，是瓶口朝下1～2 s，旋转过程中轻微用力。

1.3 数据处理

使用SPSS 18.0对数据进行处理，计算出平均和标准误；同时，建立描述瓶盖上孔洞数量与出药量的关系的模型。

2 结果与分析

当孔洞直径为3.0 mm时，倾倒施药处理下，出药量与孔洞数量有显著的线性关系，即出药量随着孔洞数量的增加而增加（表2）。拟合方程为$Z=0.02X-0.004$（Z代表出药量，X代表孔洞数量，$F=34.088$，$P=0.01$，$R^2=0.919$），拟合优度高。播撒施药处理下，出药量与孔洞数量无显著的线性关系（$F=2.475$，$P=0.214$）。

当孔洞直径为4.0 mm时，倾倒施药处理下，出药量与孔洞数量有显著的线性关系，即出药量随着孔洞数量的增加而增加（表2）。拟合方程为$Z=0.007X-0.007$（Z代表出药量，X代表孔洞数量，$F=1524.765$，$P<0.0001$，$R^2=0.998$），拟合优度高。播撒施药处理下，出药量与孔洞数量有显著的线性关系，即出药量随着孔洞数量的增加而增加。拟合方程为$Z=0.006X+0.037$（Z代表出药量，X代表孔洞数量，$F=27.458$，$P=0.014$，$R^2=0.902$），拟合优度高。

当孔洞直径为5.0 mm时，倾倒施药处理下，出药量与孔洞数量有显著的线性关系，即出药量随着孔洞数量的增加而增加（表2）。拟合方程为$Z=0.015X-0.02$（Z代表出药量，X代表孔洞数量，$F=48.427$，$P=0.006$，$R^2=0.942$），拟合优度高。播撒施药处理下，出药量与孔洞数量有显著的线性关系，即出药量随着孔洞数量的增加而增加。拟合方程为$Z=0.013X+0.018$（Z代表出药量，X代表孔洞数量，$F=90.590$，$P=0.002$，$R^2=0.968$），拟合优度高。

当孔洞直径为6.0 mm时，倾倒施药处理下，出药量与孔洞数量有显著的线性关系，即出药量随着孔洞数量的增加而增加（表2）。拟合方程为$Z=0.026X+0.025$（Z代表出药量，X代表孔洞数量，$F=102.539$，$P=0.002$，$R^2=0.972$），拟合优度高。播撒施药处理下，出药量与孔洞数量有显著的线性关系，即出药量随着孔洞数量的增加而增加。拟合方程为$Z=0.02X+0.093$（Z代表出药量，X代表孔洞数量，$F=105.843$，$P=0.002$，$R^2=0.972$），拟合优度高。

当孔洞直径为7.0 mm时，倾倒施药处理下，出药量与孔洞数量有显著的线性关系，即出药量随着孔洞数量的增加而增加（表2）。拟合方程为$Z=0.097X-0.094$（Z代表出药量，X代表孔洞数量，$F=20.545$，$P=0.045$，$R^2=0.911$），拟合优度高。播撒施药处理下，出药量与孔洞数量有显著的线性关系，即出药量随着孔洞数量的增加而增加。拟合方程为$Z=0.06X+0.03$（Z代表出药量，X代表孔洞数量，$F=84.137$，$P=0.012$，$R^2=0.977$），拟合优度高。

根据调查数据，对倾倒施药处理下，倾倒的出药量与孔洞数量、孔洞直径的关系进行拟合，发现倾倒的出药量与孔洞直径和孔洞数量有显著的线性关系（表2）。线性方程为$Z=0.008X+0.106Y-0.464$（Z代表出药量，X代表孔洞数量，Y代表孔洞直径，$F=11.765$，$P<0.0001$，$R^2=0.528$），该线性方程的拟合优度中等，具有一定可信度。

对撒播施药处理下，撒播的出药量与孔洞数量、孔洞直径的关系进行拟合，发现撒播的出药量与孔洞直径和孔洞数量有显著的线性关系（表2）。线性方程为$Z=0.006X+0.087Y-0.335$（Z代表出药量，X代表孔洞数量，Y代表孔洞直径，$F=17.866$，$P<0.0001$，$R^2=0.630$），该线性方程的拟合优度中等，具有一定可信度。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 2　不同孔洞直径、孔洞数量、施药方式下的出药量

Table 2　Output weight of toxic bait under different diameter and number of holes on cap of toxic bait bottle and different delivery methods

孔洞直径（mm） Diameter of holes on bottle cap	孔洞个数（个） Number of holes on bottle cap	重复次数（次） Replicates	平均药量（g）（平均值 ± 标准误） Average output weight of toxic bait (g) (Average ± SE)	
			倾倒 Bottle flip delivery mode	撒播 Spraying delivery mode
3.0	9	5	0.0225 ± 0.0025	0.0650 ± 0.0065
	17	5	0.0225 ± 0.0048	0.0400 ± 0.0071
	25	5	0.0550 ± 0.0029	0.0375 ± 0.0085
	33	5	0.0600 ± 0.0091	0.0725 ± 0.0170
	41	5	0.0900 ± 0.0071	0.1175 ± 0.0165
4.0	6	5	0.0350 ± 0.0050	0.0675 ± 0.0075
	12	5	0.0725 ± 0.0085	0.1150 ± 0.0065
	18	5	0.1150 ± 0.0144	0.1225 ± 0.0111
	24	5	0.1500 ± 0.0082	0.2025 ± 0.0132
	30	5	0.1975 ± 0.0210	0.1975 ± 0.0085
5.0	4	5	0.0425 ± 0.0025	0.0650 ± 0.0065
	8	5	0.1075 ± 0.0075	0.1375 ± 0.0155
	12	5	0.1675 ± 0.0131	0.1675 ± 0.0048
	16	5	0.1825 ± 0.0095	0.2050 ± 0.0194
	20	5	0.3075 ± 0.0295	0.2900 ± 0.0108
6.0	3	5	0.0950 ± 0.0144	0.1600 ± 0.0122
	6	5	0.1800 ± 0.0082	0.1875 ± 0.0180
	9	5	0.2900 ± 0.0135	0.2750 ± 0.0144
	12	5	0.3100 ± 0.0183	0.3425 ± 0.0155
	15	5	0.4200 ± 0.0389	0.3750 ± 0.0266
7.0	1	5	0.0650 ± 0.0065	0.0975 ± 0.0103
	3	5	0.1425 ± 0.0075	0.2150 ± 0.0029
	5	5	0.3100 ± 0.0178	0.2950 ± 0.0328
	7	5	0.6550 ± 0.0393	0.4700 ± 0.0358

3　结论与讨论

如何做到省工、省药同时防效不降低是使用毒饵防治害虫中的关键问题（Nugent and Morriss，2013）。人工小范围撒施毒饵或者人工点状施用毒饵是红火蚁防控中常用的方法，如何在保证防效的情况下，用药量施用比较精准是关注的重点。本研究的目标经过试验建立一系列模型拟合出施药装置孔洞大小、孔洞数量和药剂施用量之间关系，红火蚁药剂生产厂家在参考本试验结果后，可以根据产品用药量的实际情况选择相应的孔洞直径和孔洞数量，方便施药人员在田间能够大致做到精准用药，使得不会施用过多造成药剂浪费和环境污染，也不会由于药剂施用较少导致防效变差。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

研究结果显示，在倾倒施药处理下，孔洞直径为 3.0、4.0、5.0、6.0 和 7.0 mm 时，出药量与孔洞直径和孔洞数量有显著的线性关系，即倾倒的出药量随孔洞数量或孔洞直径增加而增多。发现孔洞直径和孔洞数量的不同组合在不同程度上影响了倾倒出的饵剂药量。根据上述试验得到的线性方程，可供红火蚁药剂生产在设计红火蚁饵剂施药装置时参考，以便防控工作人员在红火蚁防控工作中精准施药，提高药剂利用率，减少成本，节约资源。在试验过程中，倾倒施药的方式操作方便，利于控制，人为影响因素小。值得注意的是，在实际防控工作中，因倾倒施药处理的施药面积较小，较适合人工点状施用毒饵；但在人工小范围撒施毒饵防治红火蚁时，由于倾倒施药处理施药面积较小，会比较耗时耗力，给防控工作人员带来不便。

在撒播施药处理下，当孔洞直径为 3.0 mm 时，撒播的出药量与孔洞数量的线性关系不显著。其原因可能是毒饵颗粒直径太大（直径 2.39 ~ 3.34 mm，平均为 2.90 mm），使得毒饵在倾倒出来时受阻；另一种可能是药剂在空气中暴露时间较久，药剂颗粒受潮膨胀和相互粘连，造成药剂在倾倒出来时受阻。因此，红火蚁药剂生产商在生产相关包装物时，采用 3 mm 以上的孔洞直径瓶盖，或者内置干燥剂，以防止药剂暴露空气中的粘接现象，影响防治效果。而当孔洞直径为 4.0、5.0、6.0 和 7.0 mm 时，出药量与孔洞直径和孔洞数量有显著的线性关系，即倾倒的出药量随孔洞数量或孔洞直径增加而增多。根据上述试验得到的线性方程，可供红火蚁药剂生产在设计红火蚁饵剂施药装置时参考，以便防控工作人员在红火蚁防控工作中精准施药，提高药剂利用率，减少成本，节约资源。撒播施药的施药方式操作简单，但每次处理时，撒施的力度和弧度不容易掌握相同，人为影响因素大。值得注意的是，在实际防控工作中，由于红火蚁是区域性暴发，面积比较大，考虑时间成本、劳动成本，撒播施药时可能都会使用较大力气和弧度，增加了撒播出的药剂药量。因此，厂家在参考上述线性方程时，可以根据实际情况选择相应的孔洞直径和孔洞数量。

参考文献（References）

deShazo RD, Banks WA. Medical consequences of multiple fire ant stings occurring indoors [J]. *Journal of Allergy & Clinical Immunology*, 1994, 93: 847 – 850.

Huang J. Control and Quarantine Treatment of Red Imported Fire Ants [D]. Guangzhou: South China Agricultural University MS Thesis, 2007. [黄俊. 红火蚁的化学防治与检疫技术研究 [D]. 广州: 华南农业大学硕士学位论文, 2007]

Huang J, Xu YJ, Zeng L, *et al*. Selective feeding of *Solenopsis invicta* on seeds of eight plant species and their influences on germination [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2010, 32 (1): 6 – 10. [黄俊, 许益镌, 曾玲, 等. 红火蚁对 8 种植物种子的选择性取食及其对种子萌发的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2010, 32 (1): 6 – 10]

Huang J, Xu YJ, Lu YY, *et al*. Effects of *Solenopsis invicta* invasion on the diversity of spider communities in a corn field [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23 (4): 1111 – 1116. [黄俊, 许益镌, 陆永跃, 等. 红火蚁入侵对玉米地蜘蛛类群多样性的影响 [J]. 应用生态学报, 2012, 23 (4): 1111 – 1116]

Huang J, Xu YJ, Liang GW, *et al*. Effects on the germination of two dry land crop seeds of *Solenopsis invicta* Buren [J]. *Journal of Biosafety*, 2014, 23 (2): 88 – 92. [黄俊, 许益镌, 梁广文, 等. 红火蚁对 2 种旱地作物种子萌发的影响 [J]. 生物安全学报, 2014, 23 (2): 88 – 92]

Klotz JH, Vail KM, Willams DF. Toxicity of a boric acidsucrose water bait to *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 1997, 90: 488 – 491.

Lard C, Willis DB, Salin V, *et al*. Economic assessments of fire ant on Texas urban and agricultural sectors [J]. *Southwestern Entomologist*, 2002, 25: 123 – 137.

Lu YY. Long – distance spreading speed and trend prediction of red imported fire ant, *Solenopsis invicta* Buren, in mainland China [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2014, 41 (10): 70 – 72 + 3. [陆永跃. 中国大陆红火蚁远距离传播速度探讨和趋势预测 [J]. 广东农业科学, 2014, 41 (10): 70 – 72 + 3]

Nugent G, Morriss GA. Delivery of toxic bait in clusters: A modified technique for aerial poisoning of small mammal pests [J]. *New Zealand Journal of Ecology*, 37 (2): 246 – 255.

Song ZD, Lu YY, Xu YJ, *et al*. Dynamic of native ants on the lawn with the invasion of *Solenopsis invicta* Buren [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30 (5): 1287 – 1295. [宋侦东, 陆永跃, 许益镌, 等. 红火蚁入侵草坪过程中蚂蚁类群变动趋势 [J]. 生态学报, 2010, 30 (5): 1287 – 1295]

Stringer CE, Lofgren CS, Bartlett FJ. Imported fire ant toxic bait studies: Evaluation of toxicants [J]. *Journal of Economic Entomology*, 1964, 57: 941 – 945.

Vinson SB. Invasion of the red imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae): Spread, biology, and impact [J]. *American Entomologist*, 1997, 43 (1): 23 – 29.

Wang L, Zeng L, Xu YJ, *et al*. Prevalence and management of *Solenopsis invicta* in China [J]. *Neobiota*, 2020, 54: 89 – 124.

Wu BQ, Lu YY, Liang GW, *et al*. Influence of the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* Buren (Hymenoptera: Formicidae) on the diversity of ant communities in a newly infested longan orchard and grass areas nearby [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30 (8):

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2075 – 2083. [吴碧球，陆永跃，梁广文，等. 红火蚁对新入侵龙眼园和荒草地蚂蚁类群多样性的影响 [J]. 生态学报，2010，30 (8)：2075 – 2083]

Wu D，Zeng L，Lu YY，*et al*. Effects of *Solenopsis invicta* (Hymenoptera：Formicidae) and its interaction with aphids on the seed productions of mungbean and rapeseed plants [J]. *Journal of Economic Entomology*，2014，107 (5)：1758 – 1764.

Wu ZH，Qin GL，Deng TJ，*et al*. The study on effect of flursulamid baits on red imported fire ant *Solenopsis invicta* [J]. *China Plant Protection*，2006，4：40 – 42. [吴志红，覃贵亮，邓铁军，等. 硫氟磺酰胺毒饵防治红火蚁的应用研究 [J]. 中国植保导刊，2006，4：40 – 42]

Wetterer JK. Exotic spread of *Solenopsis invicta* Buren (Hymenoptera：Formicidae) beyond North America [J]. *Sociobiology*，2013，60：53 – 63.

Xi YB，Lu YY，Liang GW，*et al*. Effects of the red imported fire ant (RIFA)，*Solenopsis invicta* Buren，on diversity and stability of invertebrate community in litchi orchards [J]. *Acta Ecologica Sinica*，2010，30 (8)：2084 – 2099. [席银宝，陆永跃，梁广文，等. 红火蚁对荔枝园无脊椎动物群落多样性及稳定性的影响 [J]. 生态学报，2010，30 (8)：2084 – 2099]

Xu Y，Huang J，Zhou A，*et al*. Prevalence of *Solenopsis invicta* (Hymenoptera：Formicidae) venom allergic reactions in Mainland China [J]. *Florida Entomologist*，2012，95：961 – 965.

Zeng L，Lu YY，He XF，*et al*. Identification of red imported fire ant *Solenopsis invicta* to invade mainland China and infestation in Wuchuan，Guangdong [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*，2005，42 (2)：1441 – 1448. [曾玲，陆永跃，何晓芳，等. 入侵中国大陆的红火蚁的鉴定及发生为害调查 [J]. 昆虫知识，2005，42 (2)：1441 – 1448]

Zeng L，Lu YY，Chen ZN. Monitoring and Management of Red Imported Fire Ant [M]. Guangzhou：Guangdong Science and Technology Press，2005. [曾玲，陆永跃，陈忠南. 红火蚁监测与防治 [M]. 广州：广东科技出版社，2005]

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net