环境昆虫学报 2017，39（4）：854－861
Journal of Environmental Entomology
http：//hjkcxb. alljournals. net
doi：10. 3969/j. issn. 1674－0858. 2017. 04. 16

温凯，李志强，张森泉，等. 生境类型影响了茚虫威饵剂对红火蚁的防治效果 [J]. 环境昆虫学报，2017，39（4）：854－861.

生境类型影响了茚虫威饵剂对红火蚁的防治效果

温 凯[1]，李志强[1]，张森泉[1]，王文荣[1]，曾 玲[2]，许益镌[2]，陆永跃[2*]
（1. 深圳市农业科技促进中心，广东深圳 518040；2. 华南农业大学红火蚁研究中心，广东广州 510642）

摘 要： 本文在3个类型生境中使用同一剂量茚虫威饵剂处理3个密度红火蚁区域，评价了该饵剂对红火蚁活蚁巢、工蚁的防治效果。结果显示，不同生境中随着处理时间的延长，茚虫威饵剂对低密度、中等密度、高密度红火蚁的防效总体变化动态趋势相近，均为由低到高，并趋于稳定；生境植被越茂盛，该饵剂对红火蚁的防效越低，由低到高以依次为浅草草坪、深草草坪、荒草地；蚁巢密度越大，同一剂量饵剂对蚁巢防效越低，由高到低依次为1－3个/100 m^2、4－7个/100 m^2、＞8个/100 m^2。研究结果表明，生境植被、红火蚁密度会对毒饵剂的防效产生明显影响。

关键词： 红火蚁；茚虫威饵剂；生境类型；控制效果
中图分类号： Q968；S482 **文献标识码：** A **文章编号：** 1674－0858（2017）04－0854－08

Influence of habitat types on controlling efficacy of indoxacarb bait on *Solenopsis invicta* Buren

WEN Kai[1]，LI Zhi-Qiang[1]，ZHANG Sen-Quan[1]，WANG Wen-Rong[1]，ZENG Ling[2]，XU Yi-Juan[2]，LU Yong-Yue[2*]（1. Agricultural Science and Technology Promotion Center of Shenzhen，Shenzhen 518040，Guangdong Province，China；2. Red Imported Fire Ant Research Centre，South China Agricultural University，Guangzhou 510642，China）

Abstract: The same dose of indoxacarb bait was used to treat the area with 3 densities of red imported fire ant *Solenopsis invicta* Buren in 3 habitat types，and the controlling efficacy of the bait on the fire ant live nests and workers was determined in this paper. The results showed that，with the time after treatment prolonged，the dynamic trends of controlling efficacy of indoxacarb bait to the low density，medium and high densities of the fire ants were overall similar in different habitats，and that was from low to high first，and then tended to be stable. The more lush the vegetation，the lower the controlling efficacy of the bait to the fire ants was，and these were from low to high in order of wild grassland，high grass lawn and short grass lawn. As the nest density rose，the controlling efficacy of same dose of the bait to the fire ant nests decreased，and these from high to low were 1－3 nests/100 m^2，4－7 nests/100 m^2，and ＞8 nests/100 m^2. The above results revealed that the vegetation and the fire ants density would have a significant impact on the controlling efficacy of poison bait.

Key words: *Solenopsis invicta* Buren；indoxacarb bait；habitat type；controlling efficacy

红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren 是重要的国际性外来危险有害生物之一，自上个世纪30年代从南美洲原来发生分布区域传出后，不断蔓延、发生危害、成灾（Vinson，1997；Zhang *et al.*，2007；

基金项目：广东省科技计划项目（2017B020202009）；国家重点研发计划项目（2016YFC1201200）；广州市科技计划项目（201604020053）
作者简介：温凯，男，1976年生，农艺师，研究方向为植物检疫，E－mail：13823619203@139. com
* 通讯作者 Author for correspondence，E－mail：luyongyue@scau. edu. cn
收稿日期 Received：2017－03－10；接受日期 Accepted：2017－06－09

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Ascunce *et al.*，2011；Wang *et al.*，2013；Wang and Lu，2017）。自 2003 年 10 – 11 月中国台湾、2004 年 9 月大陆确认了该蚁入侵后（曾玲等，2005a；曾玲等，2005b；Zhang *et al.*，2007），红火蚁快速扩散传播（陆永跃等，2008；陆永跃，2014；陆永跃和曾玲，2015），截止 2016 年 12 月中国大陆 11 个省（区、市）281 个县（区、市）、台湾 10 个以上县（市）、香港、澳门等多地已经发现该蚁发生危害。被发现入侵新的区域后，除了红火蚁的分布扩散、发生动态、生物学生态学适应性变化等成为关注和研究重点外，防治技术与产品是高效控制和灭除该蚁的前提和关键，因此也处于十分重要位置。由于红火蚁入侵的时间较早、历史较长、分布危害面积大，美国应对和灭除该蚁的工作开展得系统而深入，研发出了一系列红火蚁化学防治药剂和技术，广泛应用于防治红火蚁的实践中，还在不断地开发出包含新化学成分的药剂（Lofgren *et al.*，1975；Collins and Callcott，1995；Williams *et al.*，2001；Hu and Song，2007；Drees *et al.*，2013；Drees，2014）。茚虫威（indoxacarb）是美国杜邦公司研制生产的一种恶二嗪类高效、低毒杀虫剂，具触杀、胃毒作用（Wing *et al.*，2000a；Wing *et al.*，2000b；Lapied *et al.*，2001；McCann *et al.*，2001），开发出的 0.045% 茚虫威饵剂对红火蚁防效优良（Barr，2003；Furman and Gold，2006）。在中国开展的系列试验也显示该药剂在较低浓度、较小使用剂量下防治红火蚁效果显著（黄俊等，2009；李平东等，2014；谭德龙等，2016）。可能影响毒饵制剂对红火蚁的防治效果的因素很多，主要包括饵剂本身质量性状、使用剂量、使用方式、气候（环境）因子、生境特征、红火蚁生物学状态等，但是，关于这方面的研究少见报道。本文比较研究了在 3 种不同复杂程度的生境中茚虫威饵剂对红火蚁的防治效果，为合理使用该药剂提供了理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验药剂及剂量

0.045% 茚虫威饵剂，上海杜邦农化有限公司提供。每个处理小区按 17 g/100 m^2 剂量均匀撒施茚虫威饵剂。

1.2　试验时间、地点和红火蚁社会型

试验时间为 2016 年 9 月 – 11 月，地点是深圳市罗湖区布吉街道大望村。试验区域发生的红火蚁是多蚁后型。

1.3　试验方法

1.3.1　小区设置和饵剂处理

根据实际情况，将试验生境划分为 3 个类型：荒草地、深草草坪、浅草草坪。荒草地为储备用地，植被覆盖度在 92% 以上，以多种蒿、草和灌丛为主，植被高度大部分为 0.5 – 1.8 m，平均 1.1 m 左右；深草草坪为种植了 3 年以上草坪，植被覆盖度在 99% 以上，有少量杂草，较长时间未修剪，草平均高度为 36 cm；浅草草坪为当年新植草坪，植被覆盖度在 98% 以上，草的平均高度为 11 cm。

按照曾玲等（2010）、黄俊等（2008、2009、2015）等方法，并作适当改变设置试验小区。将蚁巢密度分为低密度（1 – 3 个/100 m^2）、中等密度（4 – 7 个/100 m^2）、高密度（ > 8 个/100 m^2）3 个梯度。在 3 个类型生境中分别划出蚁巢密度符合以上 3 个梯度面积均为 100 m^2 的小区，并用标志带围住；相邻小区间距离至少 5 m，使用 4.5% 高效氯氰菊酯 800 倍液灌巢杀灭小区间区域的蚁巢；试验重复 3 次，并在 3 种生境中各设 1 个中等密度蚁巢小区作为对照。

在晴天按 17 g/100 m^2 剂量撒施 0.045% 茚虫威饵剂处理各个小区。按照曾玲等（2010）、黄俊等（2008）等方法调查活蚁巢数量、工蚁数量。试验期间地面温度为 24℃ – 31℃，空气相对湿度为 55% – 71%。

1.3.2　防治效果计算

根据曾玲等（2010）相关公式计算出活蚁巢防治效果、工蚁防治效果。

2　结果与分析

2.1　3 种生境中茚虫威饵剂对低密度红火蚁的防治效果

撒施茚虫威饵剂对低密度红火蚁的防治效果见表 1。

按照活蚁巢减退率评价，施用茚虫威饵剂处理后 5 d、10 d、15 d、20 d、25 d，荒草地减退率分别为 0、37.50%、37.50%、50.00%、50.00%；深草草坪减退率分别为 14.28%、57.14%、71.43%、

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

71.43%、71.43%，浅草草坪减退率分别为14.28%、71.43%、85.72%、85.72%、85.72%，总体上呈现为处理后5 d效果较低、10 d开始起效、15 d效果较好并趋于稳定的规律。从处理10 d－25 d 4次平均防效看，浅草草坪最高，活蚁巢减退率为82.15%；深草草坪次之，为67.86%；荒草地最低，为43.75%。

按照工蚁减退率评价，施用茚虫威饵剂处理对工蚁5 d开始起效、15 d效果较好并趋于稳定。其中，荒草地减退率分别为37.26%、36.04%、45.62%、41.30%、45.25%，深草草坪减退率分别为44.83%、43.73%、55.5%、57.98%、57.29%，浅草草坪减退率分别为55.53%、65.25%、80.10%、78.88%、80.66%。处理后10 d－25 d 4次平均防效以浅草草坪为最高(76.22%)，深草草坪次之(53.63%)，荒草地最低(42.05%)。

2.2 3种生境中茚虫威饵剂对中等密度红火蚁的防治效果

由撒施茚虫威饵剂处理3种生境中中等密度红火蚁后活蚁巢减退率看，荒草地、深草草坪、浅草草坪处理后5 d分别为6.25%、6.67%、7.14%，处理后10 d分别为18.75%、46.67%、50.00%，处理后15 d分别为43.75%、53.33%、71.43%，处理后20 d分别为50.00%、60.00%、78.57%，处理后25 d分别为56.25%、60.00%、85.71%；处理10 d－25 d 4次平均活蚁巢减退率分别为42.19%、55.00%、71.43%（表2）。饵剂处理后5 d、10 d、15 d、20 d、25 d红火蚁工蚁减退率不同生境均较高，其中荒草地分别为66.38%、69.14%、73.66%、69.45%、68.55%，深草草坪分别为69.58%、70.78%、75.22%、70.49%、71.80%，浅草草坪分别为72.98%、73.93%、76.37%、82.37%、76.07%，10 d－25 d 4次平均分别为70.20%、72.07%、77.19%。

2.3 3种生境中茚虫威饵剂对高密度红火蚁的防治效果

3种生境中使用茚虫威饵剂处理高密度红火蚁，防效总体规律与低密度、中等密度的相似(表3)。荒草地、深草草坪、浅草草坪处理后10 d－25 d 4次平均活蚁巢减退率分别为49.11%、55.36%、69.00%。其中高密度的深草草坪、浅草草坪生境防效与中等密度红火蚁区域相近(55.00%、71.43%)，但显著低于低密度区域(67.86%、82.15%)。10 d－25 d 4次平均工蚁减退率分别为68.66%、64.79%、71.50%。其中，高密度的荒草地生境防效与中等密度红火蚁区域(70.20%)相近，高于低密度区域(42.05%)；深草草坪生境防效低于中等密度区域(72.07%)，高于低密度区域(53.63%)；浅草草坪防效稍低于中等密度(77.19%)和低密度区域(76.22%)。

3 结论与讨论

使用同一饵剂同一剂量处理3种复杂程度不同的生境中3个不同密度的红火蚁，对蚁巢、工蚁的防效试验结果证实生境复杂性程度和红火蚁密度会对毒饵剂的防效产生明显影响，总体表现为生境复杂程度越高、植被越茂盛、蚁巢密度越大，饵剂对红火蚁的防效就越低。究其原因可能是复杂的环境中植被更为茂密、旺盛、地形更为多样，会明显减少饵剂降落地面的比率，抑制或者阻碍红火蚁工蚁觅食活动等，从而降低工蚁与所施放饵剂的接触几率、对饵剂的搬运数量等，使得更少的饵剂能进入蚁巢、达到靶标，这样就会降低饵剂的防治效果。因此，在饵剂研制和使用饵剂防治红火蚁的实践中，应尽可能地针对不同类型生境和蚁巢密度等情况进行详细的防效试验，以确定适合于多种生境、多个红火蚁密度条件下饵剂的合理使用剂量，这样才能达到经济、有效地使用饵剂防控好红火蚁的目标。在这方面，美国对红火蚁毒饵及其应用技术的很多研究值得借鉴(Lofgren *et al.*，1975；Williams，1983；Williams *et al.*，2001；Oi and Oi，2006)。

国内关于红火蚁防治饵剂及其应用技术已经开展了不少研究，毒饵制剂也已经成为当前防治红火蚁的主要产品(黄俊等，2007a；黄俊等，2007b；黄俊等，2015；Wang and Lu，2017)，但是其生产、应用尚未规范化，目前存在的主要问题是部分制剂有效成分毒性较高、大部分制剂工艺水平低下、性能较差，且没有科学合理的配套使用技术。李平东等(2014)提出了有效成分、加工工艺、性能指标、使用技术等红火蚁防治饵剂的研制与应用工作中应予以重点考虑的4个问题，为该类饵剂的发展提出了建设性意见。基于以上观点，笔者将防治红火蚁饵剂的研制及应用相关要求归纳为“5化”原则，即“有效成分安全

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　不同生境中低密度蚁巢条件下茚虫威饵剂对红火蚁的防治效果(1－3 个蚁巢/100 m²)

Table 1　Controlling efficacy of indoxacarb bait on low density mounds (1－3 nests/100 m²) of *S. invicta* at different habitats

时间 Time	生境类型 Habitat type															
	荒草地 Wild grassland				深草草坪 Long grass lawn				浅草草坪 Short grass lawn				3 种生境对照平均 Means of CK in 3 habitats			
	活蚁巢密度(个/100 m²) Density of mounds	活蚁巢减退率(%) Reduction rate of mounds	工蚁数量(头) Number of workers	工蚁减退率(%) Reduction rate of workers	活蚁巢密度(个/100 m²) Density of mounds	活蚁巢减退率(%) Reduction rate of mounds	工蚁数量(头) Number of workers	工蚁减退率(%) Reduction rate of workers	活蚁巢密度(个/100 m²) Density of mounds	活蚁巢减退率(%) Reduction rate of mounds	工蚁数量(头) Number of workers	工蚁减退率(%) Reduction rate of workers	活蚁巢密度(个/100 m²) Density of mounds	活蚁巢减退率(%) Reduction rate of mounds	工蚁数量(头) Number of workers	工蚁减退率(%) Reduction rate of workers
处理前 1 天 1 day before treatment	2.67 ± 0.33 b		95.67 ± 1.57 b		2.33 ± 0.33 b		90.47 ± 5.94 b		2.33 ± 0.67 b		88.73 ± 5.49 b		4.67 ± 0.33 a		150.93 ± 9.51 a	
处理后 5 天 5 days after treatment	2.67 ± 0.33 b	0	69.67 ± 3.35 b	37.26	2.00 ± 0 b	14.28	57.93 ± 7.84 b	44.83	2.00 ± 0.58 b	14.28	45.8 ± 11.04 b	55.53	4.67 ± 0.33 a		175.2 ± 40.31 a	
处理后 10 天 10 days after treatment	1.67 ± 0.33 b	37.50	59.13 ± 2.74 b	36.04	1.00 ± 0 bc	57.14	49.2 ± 12.68 b	43.73	0.67 ± 0.33 c	71.43	29.8 ± 18.68 b	65.25	4.67 ± 0.33 a		145.87 ± 13.08 a	
处理后 15 天 15 days after treatment	1.67 ± 0.33 b	37.50	51.27 ± 11.65 b	45.62	0.67 ± 0.33 bc	71.43	39.67 ± 19.84 b	55.5	0.33 ± 0.33 c	85.72	17.4 ± 17.4 b	80.10	4.67 ± 0.33 a		148.73 ± 15.61 a	
处理后 20 天 20 days after treatment	1.33 ± 0.33 b	50.00	49.73 ± 4.87 b	41.30	0.67 ± 0.33 b	71.43	33.67 ± 17.93 b	57.98	0.33 ± 0.33 b	85.72	16.6 ± 16.6 b	78.88	4.67 ± 0.33 a		133.67 ± 25.53 a	
处理后 25 天 25 days after treatment	1.33 ± 0.33 b	50.00	55.13 ± 21.24 b	45.25	0.67 ± 0.33 b	71.43	40.67 ± 20.96 b	57.29	0.33 ± 0.33 b	85.72	18.07 ± 18.07 b	80.66	4.67 ± 0.33 a		158.87 ± 18.73 a	
处理 10 天后 4 次平均防效 Average controlling efficacy after 10 days		43.75 ± 3.61 c		42.05 ± 2.23 c		67.86 ± 3.57 b		53.63 ± 3.34 b		82.15 ± 3.57 a		76.22 ± 3.68 a				

注：表中同行相同指标数据后字母相同者表示经方差分析(DMRT)在 5% 水平上差异不显著。Note: Means of the same index in the same column followed by the same small letter are not significantly different at level of 0.05 (DMRT).

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 2　不同生境中中等密度蚁巢条件下茚虫威饵剂对红火蚁的防治效果(4 –7 个蚁巢/100 m^2)

Table2　Controlling efficacy of indoxacarb bait on medium density mounds (4 –7 nests/100 m^2) of *S. invicta* at different habitats

时间 Time	生境类型 Habitat type															
	荒草地 Wild grassland				深草草坪 Long grass lawn				浅草草坪 Short grass lawn				3 种生境对照平均 Means of CK in 3 habitats			
	活蚁巢密度(个/100 m^2) Density of mounds	活蚁巢减退率(%) Reduction rate of mounds	工蚁数量(头) Number of workers	工蚁减退率(%) Reduction rate of workers	活蚁巢密度(个/100 m^2) Density of mounds	活蚁巢减退率(%) Reduction rate of mounds	工蚁数量(头) Number of workers	工蚁减退率(%) Reduction rate of workers	活蚁巢密度(个/100 m^2) Density of mounds	活蚁巢减退率(%) Reduction rate of mounds	工蚁数量(头) Number of workers	工蚁减退率(%) Reduction rate of workers	活蚁巢密度(个/100 m^2) Density of mounds	活蚁巢减退率(%) Reduction rate of mounds	工蚁数量(头) Number of workers	工蚁减退率(%) Reduction rate of workers
处理前 1 天 1 day before treatment	5.33 ± 0.33 a		194.93 ± 1.81 a		5.00 ± 0.58 a		199.00 ± 69.33 a		4.67 ± 0.33 a		192.13 ± 7.88 a		4.67 ± 0.33 a		150.93 ± 9.51 a	
处理后 5 天 5 days after treatment	5.00 ± 0.58 a	6.25	76.07 ± 5.33 b	66.38	4.67 ± 0.33 a	6.67	70.27 ± 4.42 b	69.58	4.33 ± 0.33 a	7.14	60.27 ± 3.46 b	72.98	4.67 ± 0.33 a		175.2 ± 40.31 a	
处理后 10 天 10 days after treatment	4.33 ± 0.67 a	18.75	58.13 ± 4.33 b	69.14	2.67 ± 0.33 b	46.67	56.2 ± 7.60 b	70.78	2.33 ± 0.33 b	50.00	48.4 ± 6.66 b	73.93	4.67 ± 0.33 a		145.87 ± 13.07 a	
处理后 15 天 15 days after treatment	3.00 ± 0.58 b	43.75	50.60 ± 3.30 b	73.66	2.33 ± 0.33 bc	53.33	48.6 ± 2.31 b	75.22	1.33 ± 0.33 c	71.43	44.73 ± 15.64 b	76.37	4.67 ± 0.33 a		148.73 ± 15.61 a	
处理后 20 天 20 days after treatment	2.67 ± 0.33 b	50.00	52.73 ± 4.98 b	69.45	2.00 ± 0.58 bc	60.00	52.00 ± 8.00 b	70.49	1.00 ± 0.58 c	78.57	30.00 ± 15.01 b	82.37	4.67 ± 0.33 a		133.67 ± 25.53 a	
处理后 25 天 25 days after treatment	2.33 ± 0.33 b	56.25	64.53 ± 5.20 b	68.55	2.00 ± 0.58 b	60.00	59.07 ± 10.84 b	71.80	0.67 ± 0.33 c	85.71	48.4 ± 24.25 b	76.07	4.67 ± 0.33 a		158.87 ± 18.73 a	
处理 10 天后 4 次平均防效 Average controlling efficacy after 10 days		42.19 ± 8.22 bc		70.20 ± 1.17 b		55.00 ± 3.19 b		72.07 ± 1.09 b		71.43 ± 7.71 a		77.19 ± 1.81 a				

注: 表中同行相同指标数据后字母相同者表示经方差分析(DMRT)在 5% 水平上差异不显著。Note: Means of the same index in the same column followed by the same small letter are not significantly different at level of 0.05 (DMRT).

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 3　不同生境中高密度蚁巢条件下茚虫威饵剂对红火蚁的防治效果(>8 个蚁巢/100 m^2)

Table 3　Controlling efficacy of indoxacarb bait on high density mounds (>8 nests/100 m^2) of *S. invicta* at different habitats

时间 Time	生境类型 Habitat type															
	荒草地 Wild grassland				深草草坪 Long grass lawn				浅草草坪 Short grass lawn				3 种生境对照平均 Means of CK in 3 habitats			
	活蚁巢密度(个/100 m^2) Density of mounds	活蚁巢减退率(%) Reduction rate of mounds	工蚁数量(头) Number of workers	工蚁减退率(%) Reduction rate of workers	活蚁巢密度(个/100 m^2) Density of mounds	活蚁巢减退率(%) Reduction rate of mounds	工蚁数量(头) Number of workers	工蚁减退率(%) Reduction rate of workers	活蚁巢密度(个/100 m^2) Density of mounds	活蚁巢减退率(%) Reduction rate of mounds	工蚁数量(头) Number of workers	工蚁减退率(%) Reduction rate of workers	活蚁巢密度(个/100 m^2) Density of mounds	活蚁巢减退率(%) Reduction rate of mounds	工蚁数量(头) Number of workers	工蚁减退率(%) Reduction rate of workers
处理前 1 天 1 day before treatment	9.33 ± 0.33 a		204.6 ± 12.09 a		9.33 ± 0.33 a		174.27 ± 26.24 ab		8.33 ± 0.33 a		188.4 ± 4.6 ab		4.67 ± 0.33 b		150.93 ± 9.51 b	
处理后 5 天 5 days after treatment	8.67 ± 0.33 a	7.14	75.6 ± 0.42 b	68.17	8.33 ± 0.33 a	10.71	73.8 ± 6.29 b	63.52	6.67 ± 0.67 b	20.00	64.4 ± 6.10 b	70.55	4.67 ± 0.33 c		175.2 ± 40.31 a	
处理后 10 天 10 days after treatment	5.67 ± 0.33 a	39.29	64.07 ± 4.34 b	67.60	5.33 ± 0.88 ab	42.86	60.4 ± 5.71 b	64.14	3.67 ± 0.33 b	56.00	55.73 ± 2.32 b	69.39	4.67 ± 0.33 ab		145.87 ± 13.07 a	
处理后 15 天 15 days after treatment	4.67 ± 0.33 a	50.00	60.13 ± 1.23 b	70.17	4.33 ± 0.67 a	53.57	55.53 ± 5.21 b	67.66	2.33 ± 0.33 b	72.00	47.00 ± 5.43 b	74.68	4.67 ± 0.33 a		148.73 ± 15.61 a	
处理后 20 天 20 days after treatment	4.33 ± 0.33 a	53.57	57.33 ± 6.73 b	68.36	3.67 ± 0.88 ab	60.71	58.13 ± 6.75 b	62.33	2.33 ± 0.33 b	72.00	50.4 ± 4.92 b	69.79	4.67 ± 0.33 a		133.67 ± 25.53 a	
处理后 25 天 25 days after treatment	4.33 ± 0.33 a	53.57	67.87 ± 4.19 b	68.49	3.33 ± 0.88 ab	64.29	64.13 ± 6.68 b	65.04	2.00 ± 0.58 b	76.00	55.27 ± 2.58 b	72.13	4.67 ± 0.33 a		158.87 ± 18.73 a	
处理 10 天后 4 次平均防效 Average controlling efficacy after 10 days		49.11 ± 3.38		68.66 ± 0.54		55.36 ± 4.72		64.79 ± 1.11		69.00 ± 4.43		71.50 ± 1.22				

注：表中同行相同指标数据后字母相同者表示经方差分析(DMRT)在 5% 水平上差异不显著。Note: Means of the same index in the same column followed by the same small letter are not significantly different at level of 0.05 (DMRT).

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

化、制剂工艺标准化、性能指标高效化、防效评价规范化、应用技术体系化”。以此“5 化”为核心技术指标，应可研制出防治红火蚁的良好饵剂及应用技术。

参考文献（References）

Ascunce MS, Yang CC, Oakey J, *et al*. Global invasion history of the fire ant *Solenopsis invicta* [J]. *Science*, 2011, 331 (6020): 1066 – 1068.

Barr CL. Fireant mound and foraging suppression by indoxacarb bait 1, 2 [J]. *Journal of Agricultural and Urban Entomology*, 2003, 20 (3): 143 – 150.

Collins HL, Callcott AMA. Effectiveness of spot insecticide treatments for red imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae) Control [J]. *Journal of Entomological Science*, 1995, 30 (4): 489 – 496.

Drees BM, Calixto AA, Nester PR. Integrated pest management concepts for red imported fire ants *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) [J]. *Insect Science*, 2013, 20 (4): 429 – 438.

Drees BM. Estimated Amounts of Insecticide Ingredients Used for Imported Fire Ant Control Using Various Treatment Approaches [EB/OL]. http: //fireant. tamu. edu/files/2014/03/ENTO_ 031. pdf.

Furman BD, Gold RE. Determination of the most effective chemical form and concentrations of indoxacarb, as well as the most appropriate grit size, for use in Advion™ [J]. *Sociobiology*, 2006, 48 (1): 309 – 334.

Hu XP, Song D. Field evaluation of label – rate broadcast treatment with baits for controlling the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) [J]. *Sociobiology*, 2007, 50 (3): 1107 – 1116.

Huang J, Lu YY, Liang GW, *et al*. Control effect of four poisonous baits on red imported fire ant, *Solenopsis invicta* Buren [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2008, 30 (2): 135 – 140. [黄俊，陆永跃，梁广文，等. 四种国产毒饵对红火蚁的田间防治效果评价 [J]. 环境昆虫学报，2008, 30 (2): 135 – 140]

Huang J, Lu YY, Liang GW, *et al*. Optimal dosage of Meiyiwei (0.45% tetramethrin + 0.05% cypermethrin) bait for the control of *Solenopsis invicta* Buren [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2015, 52 (6): 1397 – 1402. [黄俊，陆永跃，梁广文，等. 不同剂量灭蚁威饵剂对红火蚁的田间防治效果评价 [J]. 应用昆虫学报，2015, 52 (6): 1397 – 1402]

Huang J, Lu YY, Xu YJ, *et al*. Control effect of 0.045% indoxacarb bait on the red imported fire ant *Solenopsis invicta* [J]. *Plant Protection*, 2009, 35 (3): 145 – 148. [黄俊，陆永跃，许益镌，等. 0.045% 茚虫威饵剂对红火蚁的田间防治效果评价 [J]. 植物保护，2009, 35 (3): 145 – 148]

Huang J, Zeng L, Liang GW, *et al*. Technical demonstration of controlling red imported fire ant, *Solenopsis invicta* Buren [J]. *China Plant Protection*, 2007, 27 (8): 41 – 43. [黄俊，曾玲，梁广文，等. 红火蚁疫情灭除技术示范 [J]. 中国植保导刊，2007, 27 (8): 41 – 43]

Lapied B, Grolleau F, Sattelle DB. Indoxacarb, an oxadiazine insecticide, blocks insect neuronal sodium channels [J]. *British journal of pharmacology*, 2001, 132 (2): 587 – 595.

Li PD, Li ZQ, Zhang SQ, *et al*. Dosage of the indoxacarb bait used to control *Solenopsis invicta* Buren [J]. *Guangdong Agricultural Science*, 2014, 41 (17): 88 – 92, 118. [李平东，李志强，张森泉，等. 红火蚁防治中茚虫威饵剂使用剂量的确定 [J]. 广东农业科学，2014, 41 (17): 88 – 92, 118]

Lofgren CS, Banks WA, Glancey BM. Biology and control of imported fire ants [J]. *Annual Review of Entomology*, 1975, 20 (20): 1 – 30.

Lu YY, Liang GW, Zeng L. Study on expansion pattern of red imported fire ant, *Solenopsis invicta* Buren, in south China [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41 (4): 1053 – 1063. [陆永跃，梁广文，曾玲. 华南地区红火蚁局域和长距离扩散规律研究 [J]. 中国农业科学，2008, 41 (4): 1053 – 1063]

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]

Lu YY. Long – distance spreading speed and trend prediction of red imported fire ant, *Solenopsis invicta* Buren, in mainland China [J]. *Guangdong Agricultural Science*, 2014, 41 (10): 70 – 72. [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]

McCann SF, Annis GD, Shapiro R, *et al*. The discovery of indoxacarb: Oxadiazines as a new class of pyrazoline – type insecticides [J]. *Pest Management Science*, 2001, 57 (2): 153 – 164.

Oi DH, Oi FM. Speed of efficacy and delayed toxicity characteristics of fast – acting fire ant (Hymenoptera: Formicidae) baits [J]. *Journal of economic entomology*, 2006, 99 (5): 1739 – 1748.

Tan DL, Zeng Ling, Xu YJ. The control effect of different concentrations of indoxacarb on fire ants *Solenopsis invicta* Buren [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2016, 38 (6): 1256 – 1261. [谭德龙，曾玲，许益镌. 不同浓度茚虫威对红火蚁的防治效果 [J]. 环境昆虫学报，2016, 38 (6): 1256 – 1261]

Vinson SB. Invasion of the red imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae): Spread, biology and impact [J]. *American Entomology*, 1997, 43 (1): 23 – 39.

Wang L, Lu YY, Xu YJ, *et al*. The current status of research on *Solenopsis invicta* Buren (Hymenoptera: Formicidae) in mainland China [J]. *Asian Myrmecology*, 2013, 5 (1): 125 – 138.

Wang L, Lu YY. Chapter 17 Red Imported Fire Ant *Solenopsis invicta* Buren. In Biological Invasions and Its Management in China [M]. Singapore: Springer Nature Singapore Press Ltd, 2017: 299 – 315.

Williams DF, Collins HL, Oi DH. The red imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae): An historical perspective of treatment programs and the development of chemical baits for control [J]. *American Entomologist*, 2001, 47 (3): 146 – 159.

Williams DF. The development of toxic baits for the control of the imported fire ant [J]. *Florida Entomologist*, 1983, 66 (1): 162 – 172.

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Wing KD, Sacher M, Kagaya Y, *et al*. Bioactivation and mode of action of the oxadiazine indoxacarb in insects [J]. *Crop Protection*, 2000, 19 (8): 537 – 545.

Wing KD, Andaloro JT, McCann SF, *et al*. Indoxacarb and the Sodium Channel Blocker Insecticides: Chemistry, Physiology and Biology in Insects. In Insect Control Biological and Synthetic Agents [M]. New York: Academic Press, 2010: 35 – 57.

Zeng L, Lu YY, Chen ZN. Survey and Control for Red Imported Fire Ant *Solenopsis invicta* Buren [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]

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): 144 – 148. [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): 44 – 48]

Zeng L, Lu YY, Wang YY, *et al*. Pesticide Guidelines for the field efficacy trials (2) – Part 149: Insecticides against *Solenopsis invicta* Buren (GB/T 17980. 149 – 2009) [S]. Beijing: China Standard Press, 2010. [曾玲，陆永跃，王以燕，等. 农药田间药效试验准则（二）第 149 部分：杀虫剂防治红火蚁（GB/T 17980. 149 – 2009）[S]. 北京：中国标准出版社，2010]

Zhang R, Li Y, Liu N, *et al*. An overview of the red imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae) in mainland China [J]. *Florida Entomologist*, 2007, 90 (4): 723 – 731.

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net