

바퀴 독먹이제의 살충 효과 및 지속성 검증

문경환[†] · 김남진^{1†} · 김영호^{*}

경북대학교 생태과학과, ¹헨켈홈케어코리아유한회사 연구개발부

Insecticidal Effect of Cockroach Baits and their Persistent Efficacy Against the German Cockroach, *Blattella germanica*

KyungHwan Moon[†], Namjin Kim^{1†} and Young Ho Kim^{*}

Department of Ecological Science, Kyungpook National University, Sangju 37224, Korea

¹Division of Research & Development, Henkel Home Care Korea Ltd., Ansan 15608, Korea

ABSTRACT: Cockroaches are a not only nuisance insects but also have medical importance as they mechanically propagate various pathogens. To date, baits have been widely suggested for use in cockroach control. In this study, we investigated the insecticidal effects of three Korean baits-Korea Combat Ultra Slim (K-CUS), Korea Combat Power (K-CP), and Korea Zaps Dual Bait (K-ZDB)-and three US baits-US Combat Source Kill Max (US-CSKM), US Hot Shot MaxAttrax Roach Bait (US-HSM), and US Raid Double Control Small Roach Bait (US-RDC)-on the German cockroach (*Blattella germanica*). Among the six baits, three (K-CUS, K-CP, and US-CSKM), the main active ingredients of fipronil, showed rapid and strong insecticidal efficacy. In addition, we compared the persistence of the insecticidal effects of K-CUS and K-CP 6 months and 12 months after initial opening. Insecticidal effects of both baits decreased over time, but the mortality rates of cockroaches exposed to 6-month- and 12-month-aged baits were over 90%, suggesting that these baits can maintain their insecticidal effect for at least one year after indoor installation.

Key words: *Blattella germanica*, Bait, Fipronil, Persistence.

조 록: 바퀴는 혐오감을 줄 뿐만 아니라 여러 종류의 병원체를 기계적으로 전파하는 주요한 위생곤충이며, 바퀴 방제를 위해 독먹이제를 가장 많이 사용한다. 본 연구에서는 4종류(chlorpyrifos, avermectin, hydramethylnon 및 fipronil)의 살충 주성분이 각각 함유된 국내 유통 독먹이제 3종(Korea Combat Ultra Slim (K-CUS), Korea Combat Power (K-CP) 및 Korea Zaps Dual Bait (K-ZDB))과 미국 유통 독먹이제 3종(US Combat Source Kill Max (US-CSKM), US Hot Shot MaxAttrax Roach Bait (US-HSM) 및 US Raid Double Control Small Roach Bait (US-RDC))의 독일바퀴(*Blattella germanica*)에 대한 살충효과를 검증하였다. 6종의 독먹이제 중 fipronil을 살충 주성분으로 사용하는 세 가지의 독먹이제(K-CUS, K-CP 및 US-CSKM)가 속효성 및 높은 살충효과를 나타내었다. K-CUS과 K-CP의 살충효력의 지속성을 검증하기 위해 두 제품을 개봉 후 6개월 및 12개월 이후에 추가로 생물검정을 실시한 결과, 두 제품 모두 시간이 지남에 따라 제품 개봉 직후에 비해 살충효과가 감소하는 경향을 보였지만, 40시간 이내 독일바퀴에 대한 사충률이 90%에 도달하는 것을 감안하면 적어도 이들 독먹이제의 옥내 설치 후 1년동안은 살충효과가 유지되는 것으로 판단된다.

검색어: 독일바퀴, 독먹이제, Fipronil, 지속성

약 3억 5천만년 전에 지구상에 출현한 바퀴는 현재까지 그 원시적 형태를 유지한 상태로 세계 어디에서든지 관찰이 가능

한 곤충으로, 약 4천 여종의 바퀴 중 30여종이 거주성 바퀴로서 인간과 그 생활 환경을 공유하고 있다(Ryu and Lee, 1994). 우리나라는 독일바퀴(*Blattella germanica*), 이질바퀴(*Periplaneta americana*), 일본바퀴(*Periplaneta japonica*), 맥바퀴(*Periplaneta fuliginosa*) 등이 서식하고 있는 것으로 보고되고 있으며, 이중에서 독일바퀴가 전국적으로 가장 넓게 분포하고 있고 그 밀도

[†]These authors contributed equally to this work.

*Corresponding author: yhkim05@knu.ac.kr

Received July 29 2019; Revised December 2 2019

Accepted December 18 2019

또한 가장 높은 것으로 조사되었다(Kwon et al., 1993). 바퀴는 사람에게 심한 혐오감을 줄 뿐만 아니라, 화장실, 하수구, 쓰레기장 등지에서 불결한 환경에 주로 서식하면서 인축의 배설물, 가래, 각질, 음식물 쓰레기 등을 주로 섭식하고, 인간의 주방 및 병원 등을 비롯한 청결 환경에 침투하는 등의 특징을 가지고 있어서 광범위한 병원성 미생물의 잠재적인 매개체로 작용할 가능성이 높다(Donkor, 2019). 실제로 남아프리카, 대만, 이란, 중국과 인도의 병원과 주택 등지에서 조사된 연구 결과에 의하면, 2004년 채집된 독일바퀴 개체들의 90% 이상에서 병원성 미생물이 검출되었고, Nasirian의 조사에도 여전히 약 63%의 개체의 독일바퀴에서 병원성 미생물이 검출되었다(Nasirian, 2019). 또한 최근에는 도심지역의 소아들 사이에 가장 심각한 문제로 대두되고 있는 천식(asthma)의 원인으로 바퀴가 지목되고 있으며, 다양한 종류의 알레르기(allergy)의 원인 항원이 바퀴에서 동정되고 있다(Arruda et al., 2001; Cohn et al., 2006; Gustchina et al., 2005).

이러한 바퀴의 의학적 중요성을 고려할 때, 가정과 병원 등에서의 바퀴 방제는 필수적이나 바퀴의 민첩성, 뛰어난 번식 능력, 그리고 약제의 도달이 어려운 구조물의 틈 사이로 이동하는 특성으로 인해 방제에 어려움이 발생하고 있다(Bae and Kim, 2005; Yang et al., 2008). 바퀴의 방제를 위해 독먹이제, 에어로졸제, 분무, 잔류 접촉법 및 훈연제 등의 다양한 방법이 바퀴 방제에 제안되고 있으나, 바퀴의 생활 습성을 고려할 때 독먹이제(bait)가 적용이 쉬우며, 환경오염과 인축 노출 가능성이 가장 낮은 장점으로 인해 가장 오랫동안 이용되고 있다(Bennett and Owens, 1986; Mallis, 1982).

독먹이제를 이용한 바퀴 방제는 1860년대 인(phosphorus), 붕산(boric acid), 황산나트륨(sodium sulfate)과 같은 무기 화합물을 이용한 제형 개발로 시작되었으나(Mallis, 1969), 가정에서 일반적인 식품에 약제를 혼합하여 사용하였기에 그 살충력의 편차가 심하였다(Rust et al., 1995). 이후 유기인계(Organophosphate) 및 카바메이트(Carbamate) 기반으로 개발된 독먹이제는 보다 안정적이고 높은 방제 효과를 보였으나, 바퀴의 급속한 살충제 저항성 발달로 인해 사용에 제한적이었다(Buczowski et al., 2001). 1980년대 초에 hydramethylnon이 개발되었고, 독먹이제의 재료 배합법, 약제 전달법 및 약제 배치법 등의 개선으로 인해 인축을 비롯한 비표적 생물체에 보다 안전하고, 잔류 활성이 높은 효과적인 바퀴 독먹이제 사용이 가능하게 되었다(Appel and Benson, 1995; Buczowski et al., 2001; Kaakeh et al., 1997; Koehler et al., 1996; Milio et al., 1986). 최근에는 hydramethylnon 뿐만 아니라 avermectin(or abamectin), fipronil, boric acid, chlorpyrifos 등의 살충제가 함

유된 독먹이제가 개발 및 시판되어 바퀴 방제에 이용되고 있다(Buczowski et al., 2001; Nasirian, 2008).

본 연구에서는 chlorpyrifos, avermectin, hydramethylnon, fipronil이 활성 약제로 첨가된 미국에서 유통되는 제품 3종류(US Combat Source Kill Max (US-CSKM), US Hot Shot MaxAttrax Roach Bait (US-HSM), US Raid Double Control Small Roach Bait (US-RDC))와 국내에서 유통되는 제품 3종류(Korea Combat Ultra Slim (K-CUS), Korea Combat Power (K-CP), Korea Zaps Dual Bait (K-ZDB))의 독일바퀴(*B. germanica*)에 대한 살충효과의 차이를 비교 검토하였다. 또한 독먹이제 사용자가 옥내 설치 이후 주기적으로 교환을 하지 않는 점을 고려할 때, 독먹이제는 상온 노출 이후 일정시간동안 그 살충력을 유지해야할 필요성이 있다고 판단된다. 그러므로, 실험 대상 독먹이제 중 살충 효력이 가장 좋은 K-CUS와 K-CP를 제품 개봉 후 6개월 및 12개월동안 바퀴 사육환경과 동일한 조건에 노출시킨 후 살충효과의 지속성 여부를 검증하였다.

재료 및 방법

실험곤충

본 연구에서 사용된 실험 곤충인 바퀴(*B. germanica*)는 헨켈 홈케어코리아(유)에서 분양받은 후, 경북대학교 생물응용학과 곤충분자생리학 실험실에 위치하고 있는 격리 사육실에서 은신처와 물, 먹이(실험용 mouse food)가 제공된 46 cm × 30 cm × 23 cm (L × W × H)의 규격의 폴리카보네이트 소재 투명 사육용기에, 온도 25 ± 1°C, 상대습도 50 ± 5%, 광주기 12 L : 12 D 조건에서 사육하였다.

실험 살충제

실험에 사용된 살충제 제품은 미국과 국내에서 시중 유통되는 것을 직접 구입하여 확보하였다. 국내에서 확보한 K-CUS (Henkel Home Care Korea Ltd. Ansan, Korea)와 K-CP (Henkel Home Care Korea Ltd.)는 0.05% fipronil을 함유하고 있으며, 두 제품간 차이는 K-CP는 좁은 입구를 가지고 있으며 입구에서 독먹이제까지의 공간 구조가 나선형인 반면, K-CUS는 K-CP에 비해 넓은 입구와 독먹이제까지 넓은 직선형 구조를 가지고 있다(Fig. 1). 또한 K-CP가 K-CUS보다 1가지 유인성분(Peanut oil)이 추가 되어있는 제품이다. K-ZDB (Pharmcle Co., Ltd., Ansan, Korea)는 2%의 hydramethylnon을 살충 주성분으로 함유하고 있다. 미국에서 확보한 US-CSKM (Henkel Consumer

Bait	Korea Combat Power (K-CUS)	Korea Combat Power Plus (K-CP)	Korea Zaps Dual Bait (K-ZDB)	US Combat Source Kill Max (US-CSKM)	US HotShot MaxAttrax Roach Bait (US-HSM)	US Raid Double Control Small Roach Bait (US-RDC)
Structure						
Station Size	55 × 35 × 10mm (W×L×H)	53 × 53 × 9mm (W×L×H), (ø50mm)	86mm(W), L: ø40mm, S: ø32mm	53 × 53 × 9mm (W×L×H), (ø50mm)	78 × 48 × 15mm (W×L×H)	66 × 57 × 10mm (W×L×H)
Hole Size (Number)	8 × 30mm (2 holes)	5 × 7.5mm (4 holes)	L: 20 × 7mm (1 hole), S: 17 × 7mm (1 hole)	5 × 7.5mm (4 holes)	12 × 9mm (4 holes)	7 × 4mm (6 holes)

Fig. 1. The structure of the six cockroach baits used in this study. The arrows indicate the direction of passage for access to the baits and the boxes show the shape of the entrance.

Table 1. Information of cockroach baits and their active ingredients used in this study

Name of roach bait products	Abbreviation	Active Ingredient	Concentration (%)	Manufacturer
Korea Combat Ultra Slim	K-CUS	Fipronil	0.05	Henkel Home Care Korea Ltd.
Korea Combat Power*	K-CP	Fipronil	0.05	Henkel Home Care Korea Ltd.
Korea Zaps Dual Bait	K-ZDB	Hydramethylnon	2.00	Pharmcle Co., LTD.
US Combat Source Kill Max	US-CSKM	Fipronil	0.03	Henkel Consumer Goods
US Hot Shot MaxAttrax Roach Bait	US-HSM	Chlorpyrifos	0.05	Spectrum Brands, Inc.
US Raid Double Control Small Roach Bait	US-RDC	Avermectin	0.05	Jonhson & Son, Inc.

*Combat Power is a product with peanut oil added to Combat Ultra Slim.

Goods, AR, US)와 US-HSM (Spectrum Brands, Inc., Madison, WI, US), 그리고 US-RDC (S.C. Johnson & Son Inc., WI, US)는 각각 0.03% fipronil과 0.05% chlorpyrifos, 그리고 0.05% avermectin을 살충 주성분으로 함유하고 있는 제품들이다 (Table 1). 이들 독먹이제들은 개봉 직후 생물검정에 이용하였으며(0 Month), 추가적으로 K-CUS와 K-CP는 개봉 후 6개월 및 12개월동안 바퀴 사육 환경과 동일한 조건(온도 25 ± 1°C, 상대습도 50 ± 5%)에 노출시킨 뒤에 살충효력의 변화를 추가적으로 검증하였다.

생물검정 방법

바퀴 사육 상자와 동일한 상자의 한쪽 면 모서리 양 끝에 실험대상 독먹이제와 먹이를 위치시키고, 다른 한쪽 면 가운데에 은신처를 위치시켰다. 실험 상자 한가운데에 물을 제공하였고, 대조구(control)는 독먹이제 없이 먹이만 제공하였다. 바퀴는 24시간 굶긴 후 각 실험구 당 30마리 또는 60마리의 성충 바퀴를 암수 동일한 수로 접종하였으며, 암컷은 알이 없는 개체만 이용하였다. 실험대상 독먹이제에 바퀴를 노출시킨 후 각 실험

구의 사충률이 100%에 도달 할 때까지 최소 36시간에서 최대 240시간까지 사충 여부를 관찰, 기록하였으며, 매 관찰 시기마다 완벽히 죽은 바퀴는 제거하였다. 모든 실험은 3반복으로 실시하였다.

통계분석

각 독먹이제 실험에 접종한 최초 바퀴 수를 기준으로 한 노출 시간대 별 사충 바퀴의 수, 독먹이제 노출시간 등에 근거하여 ‘Probit’ 회귀 분석법을 이용하여 치사시간(Lethal time (LT); LT₂₀, LT₅₀와 LT₉₀)을 산출하였다. 총 6개의 실험대상 독먹이제들의 LT₂₀, LT₅₀와 LT₉₀ 값을 one-way ANOVA로 분석하였고, 개봉 직후, 개봉 6개월 및 12개월 K-CUS와 K-CP의 LT₂₀, LT₅₀와 LT₉₀ 값들도 one-way ANOVA로 분석하였다. 각 독먹이제 노출 후 시간대별 바퀴 사충률의 변화 양상은 Repeated-measures ANOVA로 분석하였다. 또한 각 ANOVA 분석시 Tukey’s multiple rage test를 통해 사후분석을 실시하여 독먹이제 간의 통계적 유의성을 검증하였다. 모든 통계 분석은 SPSS for Windows version 25.0 (IBM, Armond, NY, USA)를

이용하였다.

결과 및 고찰

개봉 직후 바퀴 독먹이제의 살충력 평가

국내 바퀴 독먹이제 3개종(K-CP, K-CUS와 K-ZDB)과 미국 제품 3개종(US-CSKM, US-HSM와 US-RDC) (Table 1)의 개봉 직후 바퀴에 대한 살충 효력을 비교 검증하기 위해 각 독먹이제를 위치시킨 실험 상자에 독일 바퀴를 접종한 후 총 240시간동안 사충 여부를 관찰하였다(Fig. 2). Fipronil을 살충 주성분(active ingredient)으로 사용하는 국내 2개의 Combat 제품(K-CUS와 K-CP)과 미국 Combat 제품(US-CSKM)에 노출된 바퀴의 사충률 양상은 나머지 3개 독먹이제(K-ZDB, US-HSM와 US-RDC)에 비해 비교적 빠른 효과를 보이는 것으로 관찰되고($P < 0.05$), 동일 농도(0.05%)의 fipronil을 함유하고 있는 이들 2개 약제들 간에는 K-CUS가 K-CP에 비해 통계적으로 높은

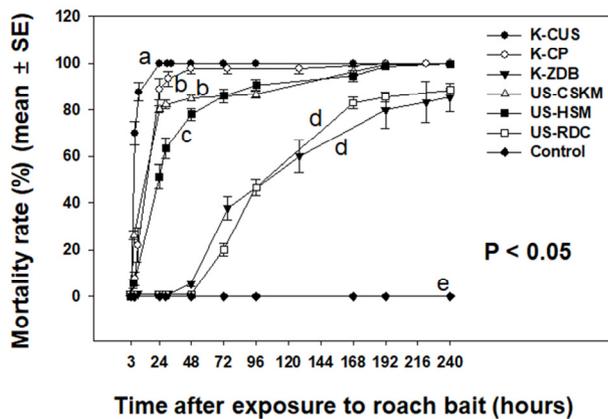


Fig. 2. Mean cumulative mortality of *Blattella germanica* adults exposed to the six cockroach baits directly after opening. The mortality rates of cockroaches exposed to different baits were compared using repeated measures ANOVA with Tukey's tests for multiple comparisons. Different letters indicate significant differences ($P < 0.05$). The data points are shown as the mean \pm SE.

사충률 양상을 보이는 것으로 관찰되었다($P < 0.05$) (Fig. 2). 이는 K-CP와 K-CUS의 독먹이집(bait station)의 구조상의 차이에 의해 초기 살충력의 차이가 발생하는 것으로 생각된다. 실제 생물검정 진행 시 관찰한 바에 의하면, K-CUS의 독먹이집이 K-CP에 비해 넓은 개방성 구조를 가지고 있어 최대 10마리의 바퀴가 동시에 독먹이제에 접촉 및 섭식이 가능한 반면, K-CP의 경우 입구의 구조가 좁아 보다 적은 수의 바퀴만 수용이 가능해서 두 제품간 초기 사충률의 차이가 발생하는 것으로 생각된다(Fig. 1). K-CP는 K-CUS에 peanut oil이 유인성분으로 추가되어 있으나, 초기 살충력에는 긍정적인 영향을 주지 못한 것으로 보아, 유인성분보다는 독먹이제의 구조적 차이가 살충력의 중요한 요인이 될 수도 있음을 시사한다. 그러나 유인성분과 독먹이제의 구조적 차이가 바퀴 살충력에 미치는 영향에 대한 추가적인 연구가 진행되어야 K-CP와 C-CUS의 초기 살충력의 차이를 대변할 수 있을 것으로 생각된다.

접종 48시간을 기점으로 국내 Combat 제품(K-CUS, K-CP)은 100% 사충률을 보이는 반면 미국 제품(US-CSKM)은 여전히 85% 사충률에 머무는 것은 fipronil의 농도가 K-CUS와 K-CP에서는 0.05%인 반면 US-CSKM은 0.03%인 것이 그 원인인 것으로 추정된다(Fig. 2 and Table 1).

Combat 제품 3종 다음으로는 chlorpyrifos를 살충 주성분(active ingredient)으로 사용하는 US-HSM이 그 뒤를 이었으며, hydramethylnon과 avermectin을 각각 살충 주성분(active ingredient)으로 사용하는 K-ZDB와 US-RDC이 가장 낮은 살충 효율을 나타내었다. US-HSM은 Combat 제품들에 비해 통계적으로 낮은 사충률을 보였으나($P < 0.05$), 전반적인 사충률 양상은 Combat 제품과 유사한 성향을 보였다. 반면, K-ZDB와 US-RDC는 이들과는 전혀 다른 사충률 양상이 관찰되었는데, 접종 약 48시간 동안 사충률이 각각 5.6%와 1%에 머무는 수준이었다. 나머지 4개 약제는 노출 240시간에 약 100%의 사충률을 기록한 반면, K-ZDB와 US-RDC는 90% 사충률에 이르지 못하였다(Fig. 2).

산출된 LT values (hour)에 근거한 개봉 직후 각 약제별 살충

Table 2. Comparison of lethal time for *Blattella germanica* adults exposed to six cockroach baits directly after opening

Lethal time (hour)	K-CUS	K-CP	K-ZDB	US-CSKM	US-HSM	US-RDC	P-value
LT ₂₀	4.073 \pm 0.214 ^{a*}	7.453 \pm 0.554 ^{a*}	60.855 \pm 7.799 ^b	4.996 \pm 0.370 ^a	10.390 \pm 0.837 ^a	68.771 \pm 2.153 ^b	0.000
LT ₅₀	5.472 \pm 0.121 ^a	13.235 \pm 1.830 ^a	109.740 \pm 17.099 ^b	13.667 \pm 0.656 ^a	23.796 \pm 1.009 ^a	110.312 \pm 1.926 ^b	0.000
LT ₉₀	8.582 \pm 0.465 ^a	31.732 \pm 9.025 ^a	269.332 \pm 54.261 ^b	63.274 \pm 1.456 ^a	84.039 \pm 1.963 ^a	226.527 \pm 20.521 ^b	0.000
Slop \pm SE	6.559 \pm 0.614	3.374 \pm 0.187	3.287 \pm 0.185	1.926 \pm 0.099	2.339 \pm 0.122	4.101 \pm 0.191	

*Different letters indicate statistically different analyzed by one-way ANOVA with Tukey's multiple range test ($P < 0.05$).

효력을 비교한 결과, fipronil을 살충 주성분(active ingredient)으로 이용하는 Combat 제품들(K-CUS, K-CP, US-CSKM)이 각각 4.073 ± 0.214 , 7.453 ± 0.554 , 4.996 ± 0.370 의 LT_{20} 값을 보였으며, LT_{50} 값은 각각 5.472 ± 0.121 , 13.235 ± 1.830 , 13.667 ± 0.656 이었고, LT_{90} 값은 각각 8.582 ± 0.465 , 31.732 ± 9.025 , 63.274 ± 1.456 로 산출되었다(Table 2). 반면 hydramethylnon과 avermectin을 살충 주성분(active ingredient)으로 이용하는 K-ZDB와 US-RDC의 LT_{20} 은 각각 60.855 ± 7.799 과 68.771 ± 2.153 이었고, LT_{50} 은 109.740 ± 17.099 와 110.312 ± 1.926 로 산출되었으며, LT_{90} 은 296.332 ± 54.261 와 226.527 ± 20.521 로서 Combat 제품들에 비해 현저하게 높은 LT 값들이 산출되었다($P < 0.05$) (Table 2). 한편, Chlorpyrifos를 사용하는 US-HSM의 LT_{20} , LT_{50} 과 LT_{90} 값은 각각 10.390 ± 0.837 , 23.796 ± 1.009 과 84.039 ± 1.963 으로 나타났다(Table 2).

개봉 직후 조사된 6개 바퀴 독먹이제의 LT_{20} , LT_{50} 과 LT_{90} 값의 통계 분석 결과 fipronil을 사용하는 3개 제품(K-CP, K-CPP, US-CSKM)과 chlorpyrifos를 사용하는 US-HSM이 대체적으로 속효성이었고, hydramethylnon과 avermectin을 이용하는 2개 제품들(K-ZDB와 US-RDC)이 가장 지효성을 보였다($P < 0.05$) (Table 2). 바퀴 방제를 위해 이용되는 fipronil과 chlorpyrifos는 hydramethylnon과 avermectin에 비해 강한 속효성 약제로 알려져 있으며(Bang et al., 1993; Buczkowski et al., 2001; Han and Kim, 2004), 특히 본 연구에서 가장 강력한 살충 효력을 보인 fipronil은 이미 1990년대 후반부터 집파리와 바퀴 같은 옥내 해충 방제에 효율적 살충제로 제안되어 왔고, 살충제 저항성 해충에도 높은 살충력을 보이는 것으로 나타났다(Buczkowski and Schal, 2001; Scott and Wen, 1997; Tomlin, 2003). 또한 우리나라에 시판 중인 61종 살충제의 독일바퀴에 대한 살충력 비교 연구에서도 식이법과 여지접촉법 모두에서 fipronil이 가장 우수한 효과를 보이는 것으로 확인되었으며(Han and Kim, 2004), 미국에서 시판되고 있는 avermectin, hydramethylnon, fipronil, boric acid, chlorpyrifos를 함유하고 있는 바퀴 독먹이제의 살충력 비교 연구에서도 fipronil이 가장 낮은 LT_{50} 값을 보여 그 효과가 뛰어난 것으로 나타났다(Buczkowski et al., 2001). 그러므로 바퀴 독먹이제 옥내 설치 이후 뛰어난 방제 효력을 기대하기 위해서는 hydramethylnon과 avermectin 함유 제품 보다는 fipronil과 chlorpyrifos를 함유한 제품을 이용하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

개봉 6개월, 12개월 후 바퀴 독먹이제의 살충력 평가

해충 방제 방법을 살충제의 해충 접촉 과정에 따라 크게 능

동형 방제법과 수동형 방제법으로 나눌 수 있는데, 능동형 방제법은 해충에 직접 살충 성분을 강제 접촉시켜 살충력을 발생시키는 것을 목적으로 하며, 직접 분무, 훈증, 훈연방식 등의 살충제를 이용한다. 살충제의 직접 접촉 방식의 경우, 해충의 치사 이후 그 약효의 지속성이 요구되지 않고 인축에 대한 안전성을 고려할 때 잔효율이 낮아야 한다. 하지만 바퀴를 유인하여 살충 성분을 접촉 및 섭식하게 하여 살충력을 발생시키는 것을 목적으로 하는 수동형 방제법인 독먹이제의 경우 대체로 눈에 잘 띄지 않는 은폐성 해충(주로 바퀴와 개미 등)의 방제를 목적으로 하고 있으며, 옥내 설치 이후에 수개월 동안 설치된 독먹이제를 교체하지 않으므로 그 살충력의 장시간 지속성이 요구된다. 그러므로 본 연구에서는 개봉 직후 가장 살충 효력이 뛰어났던 fipronil bait 중 국내 시판 제품인 K-CUS와 K-CP의 장시간 약효 지속성을 조사하기 위해 개봉 후 6개월과 12개월 동안 상온에 노출 시킨 후 두 독먹이제를 대상으로 바퀴에 대한 살충력을 조사하였다.

개봉 직후 두 독먹이제의 살충력을 비교했을 때 K-CUS가 K-CP에 비해 뛰어난 살충력을 보였으나, 개봉 6개월 후에는 오히려 K-CP에 노출된 바퀴의 사충률이 K-CUS에 비해 높은 양상을 보였다(Fig. 3A). 그러나 개봉 12개월 후에는 두 약제간 유사한 사충률 양상이 관찰되었다(Fig. 3B). 이 두 제품의 개봉 후 상온노출 기간에 따른 살충력의 변화는 앞서 언급한 독먹이집의 구조적 차이로 예상된다. K-CUS의 경우 독먹이집의 입구가 크고 개방성이 상대적으로 좋아 초기 효과가 높게 나타나지만, 개방성으로 인해 개봉 후 상온노출 과정에서 수분증발이나 향취가 소실되어 유인력이 상대적으로 감소되는 역전현상이 발생하고, 12개월 차에는 K-CP도 동일하게 수분증발이나 향취가 소실되어 비슷한 살충효과를 보이는 것으로 추정된다(Fig. 3).

K-CUS의 개봉 직후와 개봉 6개월 및 12개월 후 바퀴에 대한 살충력을 비교한 결과, 개봉 직후의 약효가 통계적으로 가장 뛰어났으며, 개봉 6개월과 12개월 후에는 약효가 감소하는 것으로 관찰되었다(Fig. 4A). 그러나 개봉 12개월후의 독먹이제가 개봉 6개월 후 독먹이제에 비해 통계적으로 높은 사충 능력을 가지는 것은 실험 시기의 계절적 영향, 공시충의 민감성 또는 섭식의지 등의 원인이 예상되나, 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다. K-CP 역시 개봉 직후의 약효가 가장 좋으며 개봉 6개월 후 제품과 개봉 12개월 후 제품에서 점차적으로 약효가 감소하는 경향을 보였다(Fig. 4B). K-CP 제품의 개봉 시간에 따른 살충 능력을 통계 분석한 결과, 개봉 직후와 12개월후의 제품에서 통계적 유의성이 관찰되지만, 개봉 6개월 후 제품은 개봉 직후 제품이나, 개봉 12개월 후 제품과는 통계적 유의성이 없는 것으로 확인되었다(Fig. 4B).

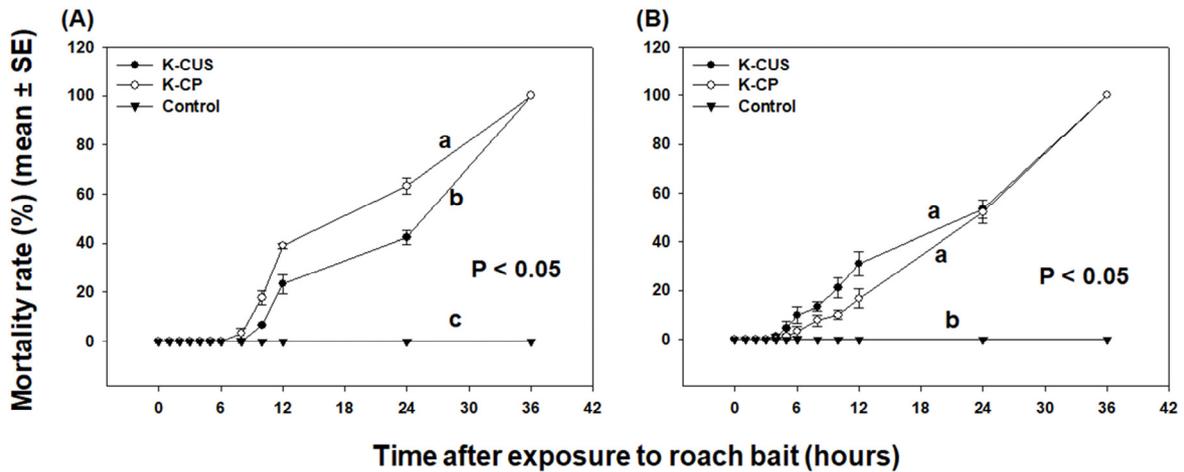


Fig. 3. Mean cumulative mortality of *Blattella germanica* adults exposed to Korea Combat Ultra Slim (K-CUS) and Korea Combat Power (K-CP) 6 months (A) and 12 months (B) after opening. The mortality rates of cockroaches exposed to different baits were compared using repeated measures ANOVA with Tukey's tests for multiple comparisons. Different letters indicate significant differences ($P < 0.05$). The data points are shown as the mean \pm SE.

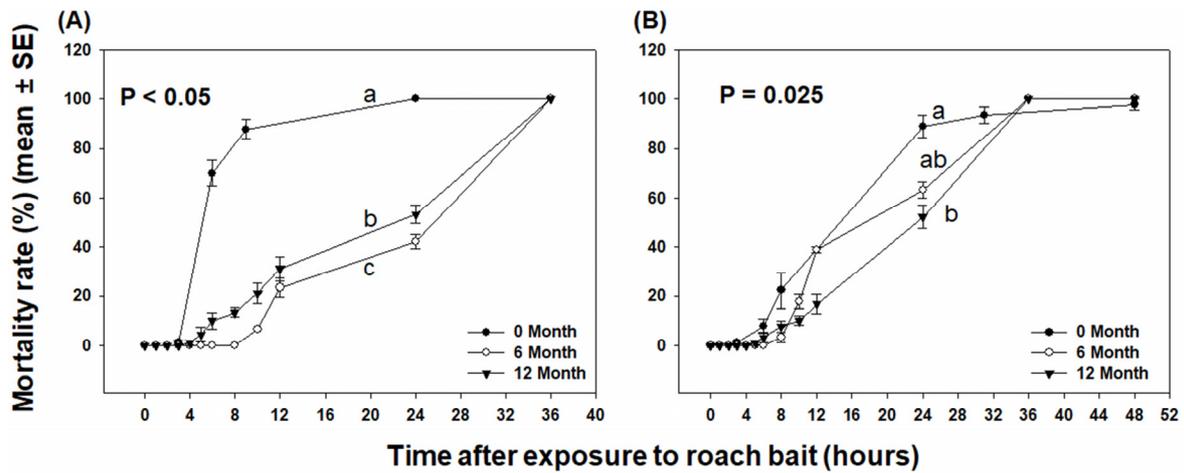


Fig. 4. Comparison of mortality rates of *Blattella germanica* adults exposed to Korea Combat Ultra Slim (K-CUS; A) and Korea Combat Power (K-CP; B) 6 months and 12 months after opening. The mortality rates of the cockroaches exposed to 6 month- and 12 month-aged baits were compared using repeated measures ANOVA with Tukey's tests for multiple comparisons. Different letters indicate significant differences ($P < 0.05$). The data points are shown as the mean \pm SE.

Table 3. Comparison of lethal time for *Blattella germanica* adults exposed to two Korea baits 6 months and 12 months after opening

Lethal time (hour)	Korea Combat Ultra Slim			Korea Combat Power			P-value
	0 Month	6 Months	12 Months	0 Month	6 Months	12 Months	
LT ₂₀	4.073 \pm 0.214 ^{a*}	13.828 \pm 0.585 ^b	9.553 \pm 1.160 ^{cd}	7.453 \pm 0.554 ^c	11.857 \pm 0.253 ^{de}	12.128 \pm 0.812 ^{bc}	0.000
LT ₅₀	5.472 \pm 0.121 ^a	20.304 \pm 0.523 ^b	16.626 \pm 0.922 ^b	13.235 \pm 1.830 ^c	18.725 \pm 0.437 ^b	18.887 \pm 0.746 ^b	0.000
LT ₉₀	8.582 \pm 0.465 ^a	36.439 \pm 0.428 ^b	38.656 \pm 0.882 ^b	31.732 \pm 9.025 ^b	32.148 \pm 0.754 ^b	37.077 \pm 1.065 ^b	0.004

*Different letters indicate statistically different analyzed by one-way ANOVA with Tukey's multiple range test ($P < 0.05$).

개봉 직후, 개봉 6개월 및 12개월 K-CUS와 K-CP 제품의 산출된 LT 값들을 함께 비교한 결과, 개봉 직후 K-CUS의 LT₂₀, LT₅₀와 LT₉₀ 값이 개봉 6개월 및 12개월된 K-CUS 제품의 LT

값들과 개봉 직후 및 개봉 6개월 및 12개월된 K-CP 제품의 LT 값보다 통계적으로 적은 값이 산출되었다($P < 0.05$) (Table 3). 두 제품의 개봉 기간에 따른 LT₂₀ 값을 상호 비교한 결과,

K-CUS의 개봉 6개월 제품의 LT_{20} 값(13.828 ± 0.585)과 K-CP의 12개월 개봉 제품(12.128 ± 0.812)과 통계적 유의성이 관찰되었고, K-CUS의 12개월 개봉 제품(9.553 ± 1.160)은 K-CP의 개봉 직후 제품(7.453 ± 0.554) 및 개봉 6개월 후 제품(11.857 ± 0.253)의 LT_{20} 와 통계적 유의성이 관찰되었다($P < 0.05$) (Table 3). 제품들 간 LT_{50} 값의 비교 대조 결과 개봉 직후 K-CUS (5.472 ± 0.121)가 통계적으로 유의하게 가장 낮은 LT_{50} 값을 보였고, 다음으로 K-CP(13.235 ± 1.830)이 그 뒤를 이었다($P < 0.05$) (Table 3). 반면 개봉 후 6개월 및 12개월된 K-CUS와 K-CP 제품은 통계적으로 유사한 LT_{50} 값들이 산출되었다($P < 0.05$) (Table 3). LT_{90} 값을 상호 비교할 경우, K-CUS의 개봉 직후 LT_{90} 값(8.582 ± 0.465)이 나머지 조건의 제품보다 가장 낮은 수치가 산출된 반면, 개봉 6개월, 12개월 K-CUS 제품 및 개봉 직후와 개봉 후 6개월, 12개월 K-CP 제품들 간에는 통계적 유의성을 발견할 수 없었다($P=0.004$) (Table 3). K-CP와 K-CUS 두 제품 모두 전반적으로 개봉 직후의 살충력이 개봉 6개월과 12개월 제품보다 상대적으로 높은 경향을 보이는 이유는 유인제의 유인력 하락 또는 fipronil의 살충력 감소가 원인일 가능성이 높다 생각된다. K-CP와 K-CUS의 국내 품목허가 과정에서 3년간의 유효기간 허가를 위해 fipronil의 농도에 대한 안정성검사를 헨켈홈케어코리아(유)에서 시행하였으며, 개봉 후 1년 이상 fipronil의 성분이 유지되는 것이 검증되었다(data not shown). 따라서 본 제품에서 개봉 6개월 이후의 살충력 감소의 원인으로 fipronil 자체의 함량감소 보다는 유인제 등의 부가 효과에 의한 차이로 판단된다. 두 제품 모두 개봉 시간에 따른 살충력의 차이가 나타나기는 하나, 옥내 바퀴 독먹이제의 설치 시 완전 박멸을 목적으로 한다고 고려할 때, 적어도 1년 동안 상온에 노출된 두 제품(K-CUS, K-CP) 모두 약 40시간 이내에 90% 이상의 방제효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

Fipronil의 시간에 따른 약효 지속성에 관해 기 보고된 연구가 거의 부재한 상황이지만, 영국에서 진행된 연구에 의하면 fipronil을 섭식하고 사망한 바퀴(*Blatta orientalis*)를 다양한 습도 조건에서 최대 7주까지 보관 한 후 그 사체를 살충제에 노출된 적이 없는 바퀴에 제공하여 섭식하도록 했을 때, 96% 이상의 사충률을 보였고 이는 직접 Fipronil gel bait를 섭식한 바퀴들의 사충률과도 통계적으로 차이가 없는 수준이었다(le Patourel, 2000). 특히 le Patourel (2000)은 fipronil을 섭식 후 치사된 바퀴에서 fipronil의 살충력이 지속됨에 주목하였는데, 소화 후 또는 소화 과정 중에도 fipronil이 상당 수준으로 잔류하고 있는 것으로 예상하였다. 그러나 기 보고된 fipronil의 반감기에 관한 연구에 의하면, cotton seed 및 plants와 토양에 처리된 fipronil이 빠르게 분해되어 그 반감기가 약 5일 정도 인 것

으로 확인된 바 있고(Wu et al., 2017), 토양에 처리된 fipronil의 농도에 따라 상이한 반감기가 산출되기는 하나, 사양토(sandy loam soil)에 100, 200 및 400 mg kg⁻¹ 수준으로 처리된 fipronil의 반감기는 30-33일 정도였으며, 식양토(clay loam soil)에서는 약 38일인 것으로 보고되었다(Mandal and Singh, 2013). 이들 연구에서 제시한 fipronil의 반감기를 고려할 때, 6개월 또는 12개월 상온에 노출된 K-CUS와 K-CP의 살충력 지속성을 기대할 수 없으나, 본 연구에서 산출된 LT_{90} 값에 근거하면 그 살충력이 높은 수준으로 유지되고 있으며(Table 3), le Patourel (2000)의 연구에서 바퀴에 의해 섭식된(또는 소화된) fipronil의 7주까지의 강한 살충력 유지는 fipronil 원 성분의 잔효성이 원인일 수 있으나, 그보다도 fipronil의 대사 분해 산물의 독성 영향도 배제할 수 없을 것으로 예상된다. 실제로 fipronil은 분해에 의해 다양한 대사 산물을 형성하고 일부 분해 생성물이 fipronil 자체 보다 독성이 강하다는 보고가 있다(Hainzl and Casida, 1996). Fipronil의 대사에 관한 연구에 의하면, fipronil이 생물학적 산화/환원 과정을 거쳐 Sulfone (MB46136) 또는 Sulfide (MB45950)을 생성하게 되고(Bobe et al., 1998; Ramesh and Balasubramanian, 1999), 특히 이들 생성물들은 fipronil 자체보다 수서 무척추동물에 더 강한 독성을 보인다고 한다(Gunasekara et al., 2007). 헨켈홈케어코리아(유)에서 1년 이상 fipronil의 함량 유지가 검증되었지만, fipronil 대사 산물의 고독성 연구 결과를 고려할 때 6개월과 12개월 상온 노출된 K-CUS와 K-CP 제품의 강한 살충력 유지가 잔효 fipronil 자체에 의한 효과인지, fipronil 자연 대사(또는 분해) 산물에 의한 영향인지에 대한 심도있는 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

결론

본 연구에서 fipronil, hydramethyloin, chlorpyrifos와 avermectin을 살충 주성분(active ingredient)으로 이용하고 있는 국내 시판 바퀴 독먹이제 3종과 미국 시판 바퀴 독먹이제 3종의 개봉 직후의 살충력 비교 검증을 실시하였고, 그 결과 fipronil이 함유된 K-CUS, K-CP 그리고 US-CSKM이 다른 독먹이제에 비해 뛰어난 살충력을 가지고 있는 것으로 확인되었다(Table 2, Fig. 2). 또한 독먹이제 설치 후 수개월 동안 교체가 이루어 지지 않는다는 점을 고려하여 K-CUS과 K-CP를 개봉한 후 6개월과 12개월 동안 상온에 노출시킨 후 이들 제품의 바퀴에 대한 독성 유지력을 추가 조사하였다. 그 결과, 개봉 직후 K-CP와 K-CUS 모두 개봉 후 시간이 지남에 따라 접촉 초기 살충력이 감소하는 경향을 가지나, 개봉 6개월과 12개월 제품들

간에는 통계적 유의성이 없이 약 40 시간 이내에 90% 이상의 살충 효율을 보였다(Table 3, Fig. 3 and Fig. 4). 이는 fipronil 자체의 잔효 성분에 의한 살충력 유지인지, fipronil의 분해 대사 산물에 의한 독성 효과 인지에 대한 추가적인 연구가 필요하나, 현재 시판중인 fipronil 제품의 옥내 설치 이후 적어도 12개월 동안은 바퀴 방제 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 하지만 본 연구는 환경이 통제된 실험실 조건에서 진행된 연구임으로 다양한 환경 변화에 의한 독먹이제의 살충효력 변화 검증이 지속적으로 진행되어야 할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 헨켈홈케어코리아(유)에서 지원하는 2018년 “바퀴 독먹이제 컴베트파워베이트 외 1종의 바퀴에 대한 살충효과 지속성에 관한 연구” (2018-KNU-CIK-001)에 의해 진행되었다.

저자 직책 & 역할

문경환 : 경북대, 석사과정; 실험수행

김남진 : 헨켈 홈케어코리아, 차장(R&D); 실험수행, 실험설계

김영호 : 경북대, 교수; 실험설계 및 논문작성

모든 저자는 원고를 읽고 투고에 동의하였음

Literature Cited

- Appel, A.G., Benson, E.P., 1995. Performance of abamectin bait formulations against german cockroaches (Dictyoptera, Blattellidae). *J. Econ. Entomol.* 88, 924-931.
- Arruda, L.K., Vailes, L.D., Ferriani, V.P., Santos, A.B., Pomes, A., Chapman, M.D., 2001. Cockroach allergens and asthma. *J. Allergy Clin. Immunol.* 107, 419-428.
- Bae, J.-S., Kim, G.-H., 2005. Fumigant toxicity of the constituents of coriander oil, *Coriandrum sativum* against *Blattella germanica*. *Korean J. Appl. Entomol.* 44, 37-41.
- Bang, J.R., Lee, H.R., Kim, J.H., 1993. Studies on the insecticide resistance of the german cockroach (*Blattella germanica*) I. comparisons of toxicity by bioassay. *Korean J. Appl. Entomol.* 32, 24-29.
- Bennett, G.W., Owens, J.M., 1986. Advances in urban pest management, in: Van Nostrand Reinhold Co. (Eds.), New York pp. 335-386.
- Bobe, A., Cooper, J.F., Coste, C.M., Muller, M.A., 1998. Behaviour of fipronil in soil under Sahelian plain field conditions. *Pestic. Sci.* 52, 275-281.
- Buczowski, G., Kopanic, R.J., Schal, C., 2001. Transfer of ingested insecticides among cockroaches: Effects of active ingredient, bait formulation, and assay procedures. *J. Econ. Entomol.* 94, 1229-1236.
- Buczowski, G., Schal, C., 2001. Method of insecticide delivery affects horizontal transfer of fipronil in the german cockroach (Dictyoptera : Blattellidae). *J. Econ. Entomol.* 94, 680-685.
- Cohn, R.D., Arbes, S.J., Jr., Jaramillo, R., Reid, L.H., Zeldin, D.C., 2006. National prevalence and exposure risk for cockroach allergen in U.S. households. *Environ. Health Perspect.* 114, 522-526.
- Donkor, E.S., 2019. Nosocomial pathogens: An in-depth analysis of the vectorial potential of cockroaches. *Trop. Med. Infect. Dis.* 4, 1-11.
- Gunasekara, A.S., Truong, T., Goh, K.S., Spurlock, F., Tjeerdema, R.S., 2007. Environmental fate and toxicology of fipronil. *J. Pestic. Sci.* 32, 189-199.
- Gustchina, A., Li, M., Wunschmann, S., Chapman, M.D., Pomes, A., Wlodawer, A., 2005. Crystal structure of cockroach allergen Bla g 2, an unusual zinc binding aspartic protease with a novel mode of self-inhibition. *J. Mol. Biol.* 348, 433-444.
- Hainzl, D., Casida, J.E., 1996. Fipronil insecticide: Novel photochemical desulfinylation with retention of neurotoxicity. *P. Natl. Acad. Sci. USA.* 93, 12764-12767.
- Han, J., Kim, G.-H., 2004. Susceptibilities of german cockroach, *Blattella germanica* to insecticides according to application methods. *Korean J. Appl. Entomol.* 43, 241-247.
- Kaakeh, W., Reid, B.L., Bennett, G.W., 1997. Toxicity of fipronil to german and american cockroaches. *Entomol. Exp. Appl.* 84, 229-237.
- Koehler, P.G., Strong, C.A., Patterson, R.S., 1996. Control of german cockroach (Dictyoptera: Blattellidae) with residual toxicants in bait trays. *J. Econ. Entomol.* 89, 1491-1496.
- Kwon, S.W., Oh, S.G., Lee, Y.S., Kim, K.H., Kim, W.J., Kim, J.K., Kim, D.S., Kim, H.S., Ryu, I.S., Ree, S.Y., Jeaung, B.J., Kim, K.E., Kim, D.S., Lee, K.Y., 1993. A Study on the distribution of cockroaches in Korea. *J. Asthma Allergy Clin. Immunol.* 13, 334-341.
- le Patourel, G., 2000. Secondary transmission of fipronil toxicity between Oriental cockroaches *Blatta orientalis* L in arenas, *Pest Manag. Sci.* 56, 732-736.
- Mallis, A., 1969. Handbook of pest control, 5th ed. MacNair-Dorland Co., New York,
- Mallis, A., 1982. Handbook of pest control in: the behavior, life history, and control of household pests, pp. 10-154.
- Mandal, K., Singh, B., 2013. Persistence of fipronil and its metabolites in sandy loam and clay loam soils under laboratory conditions. *Chemosphere* 91, 1596-1603.
- Milio, J.F., Koehler, P.G., Patterson, R.S., 1986. Laboratory and field evaluations of hydramethylnon bait formulations for control

-
- of american and german cockroaches (Orthoptera: Blattellidae). J. Econ. Entomol. 79, 1280-1286.
- Nasirian, H., 2008. Rapid elimination of german cockroach, *Blattella germanica*, by fipronil and imidacloprid gel baits. Iran. J. Arthropod-Bor. 2, 37-43.
- Nasirian, H., 2019. Recent cockroach bacterial contamination trend in the human dwelling environments: A systematic review and meta-analysis. Bangladesh J. Med. Sci. 18, 540-545.
- Ramesh, A., Balasubramanian, M., 1999. Kinetics and hydrolysis of fenamiphos, fipronil, and trifluralin in aqueous buffer solutions, J. Agr. Food Chem. 47, 3367-3371.
- Rust, M.K., Owens, J.M., Reiersen, D.A., 1995. Understanding and controlling the german cockroach. Oxford University Press, New York.
- Ryu, H.-G., Lee, D.-K., 1994. Study of knowledge and recognition of the patients and the staffs on the cockroaches in hospitals. J. Korean Public Health Assoc. 20, 85-100.
- Scott, J.G., Wen, Z.M., 1997. Toxicity of fipronil to susceptible and resistant strains of german cockroaches (Dictyoptera: Blattellidae) and house flies (Diptera: Muscidae). J. Econ. Entomol. 90, 1152-1156.
- Tomlin, C.D.S., 2003. The pesticide manual, 13th ed., British Crop Production Council, Alton.
- Wu, X.H., Yu, Y., Xu, J., Dong, F.S., Liu, X.G., Du, P.Q., Wei, D.M., Zheng, Y.Q., 2017. Residue analysis and persistence evaluation of fipronil and its metabolites in cotton using high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry. Plos One 12, e0173690.
- Yang, J.-O., Kim, S.-W., Noh, D.-J., Yoon, C., Kang, S.-H., Kim, G.-H., 2008. Effective control in managing german cockroach, *Blattella germanica* (Orthoptera: Blattellidae) using a push-pull strategy. Korean. J. Pestic. Sci. 12, 162-167.