

어리쌀바구미에 대한 식물정유의 훈증독성과 기피효과

김연국 · 김광호 · 이종진¹ · 이희선² · 이상계*

농촌진흥청 국립농업과학원 작물보호과, ¹전북대학교 농업생명과학대학 농생물학과, ²전북대학교 농업생명과학대학 환경생물화학과

Fumigant Toxicity and the Repellent Effect of Essential Oils against *Sitophilus zeamais* Motschulsky

Yeon-Kook Kim, Kwang-Ho Kim, Jong-Jin Lee¹, Hoi-Seon Lee² and Sang-Guei Lee*

Crop Protection Division, National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Suwon 441-707, Republic of Korea

¹Department of Agricultural Biology, College of Agricultural & Life Sciences, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Republic of Korea

²Department of Bioenvironmental Chemistry, College of Agricultural & Life Sciences, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Republic of Korea.

ABSTRACT: Stored grain insects appear frequently as grains are harvested, stored, and distributed on the market. Producers mostly depend on chemical fumigants to control and repel insect pests, but this application of chemicals may cause side effects for humans and the environment. Safer control approaches, including the use of natural products are required, and in this study, we assessed the control effect of essential oils on stored grain insects. The essential oils of 8 plant species from 6 families were tested for their fumigant toxicity and repellent effects using a Y-tube Olfactometer against *Sitophilus zeamais* adults. Pennyroyal and tea tree oil respectively exhibited 97% and 63% mortality at 10 $\mu\text{L L}^{-1}$ air concentration in tested fumigant toxicity. Of particular note, pennyroyal oil (LT₅₀, hour=3.87) showed higher adulticidal activities than tea tree oil (LT₅₀, hour=4.09). When assessing repellent effects, using a Y-tube Olfactometer at 10 μL /filter paper concentration, the cedarwood, cinnamon, cypress, patchouli and pennyroyal essential oils showed potent repellent activities against *Sitophilus zeamais* adults. Cinnamon, cypress and pennyroyal essential oils showed notably high repellent activities of 82.4%, 80.0% and 86.7%, respectively, at 1 μL /filter paper concentration.

Key words: *Sitophilus zeamais*, Essential oil, Fumigant toxicity, Repellent Effect

초록: 본 연구는 쌀을 비롯한 저장곡물을 가해하는 어리쌀바구미(*Sitophilus zeamais*) 성충에 대해서 8종의 식물정유의 훈증독성과 Y-tube를 이용한 후각반응으로 기피효과를 조사하였다. 10 $\mu\text{L/L}$ air의 농도에서 훈증독성시험 결과 pennyroyal과 tea tree 오일에서 각각 97%, 63%의 높은 살충효과를 보였다. 특히, pennyroyal oil(LT₅₀, hour=3.87)은 tea tree oil(LT₅₀, hour=4.09)보다 높고 빠른 살충력을 보였다. 10 μL /filter paper의 농도에서 후각계를 이용한 기피효과는 Cedarwood(80%), Cinnamon(83.3%), Cypress(81.1%), pennyroyal(97.1%) oil이 높은 기피활성을 보였으며, 이보다 낮은 1 μL /filter paper의 농도에서도 Cinnamon(82.4%), Cypress(80.0%), pennyroyal(86.7%) 오일은 높은 기피활성을 나타냈다.

검색어: 어리쌀바구미, 식물정유, 훈증독성, 기피효과

저곡해충은 쌀을 비롯한 곡물의 수입·유통 및 보관 시에 빈번하게 출현하는 해충들로서 이들의 방제는 인간의 식용과 직접적 관련이 있어서 아직까지 안정적이고 효과적인 방제법을 개발함에 있어서 어려움을 겪고 있는 실정이다. 저곡해충의 피해

는 생산물 및 가공물의 직접적 손실량과 일치되고, 간접적으로는 1마리 해충 유입으로도 작물의 상품가치를 저하시키기 때문에 농산물 가공, 유통, 보관 등의 전 과정에서 저곡해충의 확실한 방제가 필요하다. 저곡해충 중에서 경제적으로 가장 큰 피해를 야기하는 관건해충 중에서 특히, 어리쌀바구미는 범세계적으로 분포하고 온대와 열대지역에서 가장 많은 피해를 주는 해충으로(Liu and Ho, 1999), 생육중인 옥수수나 저장중인 곡물, 음식, 가축사료, 전분 등을 가해하여(Markham et al., 1994), 저

*Corresponding author: sglee@korea.kr

Received September 6 2012; Revised September 27 2012

Accepted October 26 2012

장물의 질과 양을 손상시키고(Rees, 2004), 저장된 음식의 화학적 구성의 변화, 영양소 가치의 감소, 유해한 화합물에 의한 오염과 알레르기 등을 유발시키며(Rajendran and Parveen, 2005), 곡물의 부패와 곰팡이 독소(mycotoxin)의 생성을 유도한다(Tipples, 1995). 도정과정에서 성충은 거의 제거되지만, 곡물 내부에 존재하는 알과 유충은 제거되지 않은 상태로 최종 상품이 될 가능성이 높기 때문에 보다 많은 문제를 일으킬 수도 있다(Cho et al., 2011; Nam et al., 2009).

현재까지 이들을 방제하는 방법으로는 식품에 따라서 고온 처리(Heating), 저온처리(Low temperature storage), 밀봉저장(Hermetic storage) 및 CA저장(Controlled atmosphere storage) 등의 물리적인 방법과 훈증제(Fumigants) 및 접촉살충제(Contact insecticides)와 같은 약제처리에 의한 화학적인 방법이 일반적으로 많이 이용되고 있다. 그러나 이러한 물리적인 방법들은 구조건설 및 유지비용이 크고, 높은 수분을 함유한 곡물에서는 혐기적 발효가 일어날 위험성이 있으며, 산소 결핍 시까지의 시간동안 피해우려가 있어 임시적인 방편으로 이용될 뿐 이들의 완전한 사멸은 어려우며, 화학적인 방법에는 주로 메틸브로마이드(CH₃Br)가 사용되고 있으나 잔류, 발암 등의 위험성이 높아 소량 흡입 시에도 체내축적이 이루어져 만성중독 유발성이 높고, 오존층파괴 물질로 분류(Isman, 2006)되어 2015년에는 사용이 금지되어 새로운 형태의 친환경적이고 안정적인 저곡해충 방제기술 개발이 요구되고 있다. 저곡해충을 방제할 때, 훈증제는 중요한 역할을 하고 있는데(Zettler and Arthur, 2000), 화학 훈증제를 대체할 수 있는 가능성을 가진 식물 추출물들과 그들의 정유성분물질들은 특정 대상의 곤충에 살충활성을 보이며, 천적에는 별다른 영향을 끼치지 않으며 환경에도 영향이 적다고 보고(Isman, 2006)되면서 새로운 훈증제로의 발전함에 있어 가능성을 가지고 있다(Isman, 2008; Rajendran and Sriranjini, 2008).

저곡해충의 훈증제에 대한 연구는 Duangsamorn 등(2011)

은 Thai 식물정유들과 그 성분들을 이용하여 어리쌀바구미와 거릿쌀도둑거저리(*Tribolium castaneum*)에 대한 훈증독성을 비교하였으며, Ogendo 등(2008)은 *Ocimum gratissimum* oil과 그 구성성분들을 이용하여 저곡해충 쌀바구미(*Sitophilus oryzae*), 거릿쌀도둑거저리, 톱기슴머리대장(*Oryzaephilus surinamensis*), 가루좀벌레(*Rhyzopertha dominica*)와 쌀바구미(*Callosobruchus chinensis*)에 대한 훈증독성을 비교하여 효과를 검증하였다. 또한, 기피제에 관한 연구로는 식물이 생산한 기피제와 섭식저해제로 방제에 관한 연구(Sabbour and Abd-El-Aziz, 2007; Abd-El-Aziz, 2011; Cosimi et al., 2009; Haghtalab et al., 2009; Tapondjoua et al., 2005)에서 많은 연구결과를 찾을 수 있다. 그러나 국내에서는 저장해충의 종류와 발생생태에 관한 보고는 많이 있으나 식물 정유를 이용한 저곡해충의 방제에 관한 논문은 그리 많이 보고되어 있지 않다. 따라서 본 연구는 식물정유 8종에 대한 어리쌀바구미 성충에 훈증독성과 기피효과를 정리하여 저곡해충 방제 연구의 기초자료로 제공하고자 수행하였다.

재료 및 방법

시험곤충

실험곤충인 어리쌀바구미는 농촌진흥청 국립식량과학원에서 분양받아 국립농업과학원 작물보호과 곤충사육실(25±1℃, 60±5% RH, 16L:8D)에서 쌀을 먹이로 공급하였으며, 플라스틱 사육용기(직경 15 × 7 cm)에서 누대 사육하면서 우화하는 성충을 실험에 사용하였다.

식물정유

본 연구에 사용한 식물정유들은 6개의 과로 이루어져 있으며(Table 1), 오일 중 pennyroyal과 cypress 2종은 Berje Inc에

Table 1. Essential oils used for measuring fumigant toxicity and repellent effects against *S. zeamais* adults

Essential oil	Scientific name	Family	Part tested
Carrot seed	<i>Daucus carota</i>	Apiaceae(미나리과)	Seed
Cedarwood	<i>Cedrus atlantica</i>	Pinaceae(소나무과)	Leaf+branch
Cinnamon	<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	Lauraceae(녹나무과)	Bark
Cypress	<i>Cupressus sempervirens</i>	Cupressaceae(측백나무과)	Leaf+branch
Lavender	<i>Lavendular angustifolia</i>	Lamiaceae(꿀풀과)	Flower
Patchouli	<i>Pogostemon cablin</i>	Lamiaceae(꿀풀과)	Leaf
Pennyroyal	<i>Mentha pulegium</i>	Lamiaceae(꿀풀과)	Flower
Tea tree	<i>Melaleuca alternifolia</i>	Myrtaceae(도금양과)	Leaf

서, lavender 외 5종은 (주)royal nature에서 구입하여 시험에 사용하였다.

생물검정

혼증독성

어리쌀바구미 성충에 대한 오일의 혼증독성은 400 ml 플라스틱 용기(7.2 × 7.2 × 10.0 cm)안에 쌀을 각각 100 g씩 넣고 어리쌀바구미 성충 30마리씩 접종하였다. 접종 후 플라스틱 용기 윗부분을 거즈로 덮어 고정한 다음에 직경 5.5 cm의 filter paper에 각각의 오일을 0, 1, 5, 10 μl 씩 적정 농도로 처리하였으며, 오일이 휘발되는 것을 방지하기 위해 400 ml 플라스틱 용기(7.2 × 7.2 × 10.0 cm)로 덮고 파라필름으로 틈을 밀봉하였다. 처리 24 시간 후 혼증독성을 확인한 후 LD₅₀값을 구하였으며, 혼증시험은 암조건 하에서 5반복으로 수행하였다. 결과 분석은 Tukey's studentized range test(SAS Institute, 2008)를 이용하였다.

기피 실험

어리쌀바구미 성충에 대한 오일의 기피효과는 Y-tube olfactometer(ID 1.5 cm, arm 12 cm, stem 15 cm)를 이용하여 검정하였다. Y-tube olfactometer의 내부는 진공펌프(THOMAS MEDI PUMP[®])로 Y-tube 내부로 흐르는 공기의 유속을 100 ml/min으로 설정하였으며, 각 arm을 통해 들어오는 공기는 activated charcoal, silica gel blue로 여과하여 신선한 공기가 흐르도록 유지하였다. arm 말단부 한쪽은 처리구로 식물정유 1, 10 μl 로 각각 처리한 filter paper를 놓았고, 반대편은 무처리한 filter paper를 놓았다. Stem 말단부에 어리쌀바구미 성충 40

마리씩을 접종하여, 5분 내에 각각의 arm의 말단부로 이동한 성충을 계수하여 기피율을 조사하였다. 또한, 각각의 오일의 기피속효과를 알아보기 위하여 5분, 10분, 20분, 30분, 1시간별로 각각 어리쌀바구미를 위와 같은 방법으로 접종하여 시간경과에 따른 오일의 기피효과를 5반복으로 조사하였다. 결과 분석은 binomial sign test(Zar, 1996)를 이용하였다.

결과 및 고찰

혼증독성

어리쌀바구미 성충에 대한 혼증독성효과는 400 ml 플라스틱 용기를 이용하여 실내에서 수행하였다. 8종의 오일에 대한 살충활성은 오일에 따라 확연한 차이를 보였다(Table 2). 10 $\mu\text{l/L}$ air의 약량에서 pennyroyal oil의 살충률은 97%로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 tea tree oil이 63%로 효과가 높게 나타났다. 그 외 오일들은 효과가 40% 미만의 살충률을 나타내어 살충활성이 저조함을 알 수 있었다. 효과가 좋았던 위 두 오일을 가지고 약량을 낮추어서 농도 별 시험을 해 본 결과 pennyroyal oil의 LD₅₀값은 1.79 $\mu\text{l/L}$, tea tree oil의 LD₅₀값은 8.80 $\mu\text{l/L}$ 으로 나타났다(Table 3). pennyroyal oil은 5 $\mu\text{l/L}$ air의 농도에서도 87%의 높은 살충활성을 보인 반면, tea tree oil에서는 살충활성이 급격히 떨어짐을 알 수 있었다. 또한, 활성이 높은 두 오일에 대한 살충속도를 비교를 해본 결과, pennyroyal oil과 tea tree oil이 각각 3.87, 4.09 hour의 LT₅₀값을 나타내어 빠른 살충속도를 보였다(Table 4). 이러한 결과로 볼 때, 살충활성이 높은 pennyroyal과 tea tree oil은 10 $\mu\text{l/L}$ air의 농도에서는 살충속도는 비슷하게 진행하였으나, 시간이 경과함에 따라 살충효력에

Table 2. Fumigant toxicity of essential oils at different concentrations against *S. zeamais* at 24 h after treatment

Essential oil	%Mortality(Mean±SE)					
	Dose, $\mu\text{l/L}$ air					
	n	10	n	5	n	1
Carrot seed	20	26.67±0.14d	20	0.0±0.00c	20	0.0±0.00b
Cedarwood	20	8.33±0.14e	20	0.0±0.00c	20	0.0±0.00b
Cinnamon	20	10.00±0.25e	20	0.0±0.00c	20	0.0±0.00b
Cypress	20	8.33±0.29e	20	0.0±0.00c	20	0.0±0.00b
Lavender	20	25.0±0.25d	20	0.0±0.00c	20	0.0±0.00b
Patchouli	20	38.33±0.14c	20	13.33±0.14b	20	0.0±0.00b
Pennyroyal	20	96.67±0.38a	20	86.67±0.38a	20	26.67±0.38a
Tea tree	20	63.33±0.76b	20	6.67±0.14bc	20	0.0±0.00b

*Within a column, means with the same letter are not significantly different ($P>0.05$, Turkey's studentized range test).

Table 3. LD₅₀ for fumigant toxicity of essential oils against *S. zeamais* adults

Essential oil	Slope±SE	χ^2	LD ₅₀ ($\mu\text{l/L}$)	95% CL ^{a)}	LD ₉₀ ($\mu\text{l/L}$)	95% confidence limits
Pennyroyal	2.47±0.30	0.75	1.79	1.37~2.24	5.90	4.54~8.52
Tea tree	6.12±1.00	0.71	8.80	7.95~9.92	14.25	12.10~19.06

^{a)}95% confidence limit.

Table 4. Fumigant toxicity of lethal time against *S. zeamais* adults after treatment with essential oils on a piece of filter paper in a 400 mL plastic container

Essential oil	Dose ($\mu\text{l/L}$ air)	n ^{a)}	LT ₅₀ (hour) (95% CL) ^{b)}	LT ₉₅ (hour)	Slope±SE	24hr mortality (%)
Pennyroyal	10	60	3.87 (2.45~18.42)	19.33	2.35±0.97	96.67
Tea tree	10	60	4.09 (1.79~10.94)	13.07	3.26±0.82	63.33

^{a)}The number of adults tested.

^{b)}95% confidence limit.

차이가 남을 알 수 있었다. Han et al.(2006)은 pennyroyal oil이 시설하우스 해충인 꽃노랑총채벌레(*Frankliniella occidentalis*)와 온실가루이(*Trialeurodes vaporariorum*)에 대해서 높은 훈증효과가 있음을 보고하였고, Choi et al.(2003)은 53종의 식물정유를 대상으로 온실가루이의 알, 약충, 성충에 대한 훈증활성을 조사하였는데 bay, caraway seed, clove leaf, lemon eucalyptus, lime, pennyroyal, peppermint, rose wood, spearmint, tea tree oil이 활성이 높음을 보고하였다. 본 시험의 결과도 pennyroyal oil과 tea tree oil의 활성이 높게 나타나 비슷한 경향을 나타내었다. Rice와 Coats(1994)은 집파리와 거저쌀도둑거저리에 대한 훈증독성에서 합성유기인계 살충제인 DDVP와 비교하여 pennyroyal oil의 살충 성분인 pulegone의 LC₅₀값이 더 낮게 나타나 높은 살충활성이 있음을 보고하였고, 또한 이 화합물은 점박이응애(*Tetranychus urticae*)에 대해서 효과적인 살비활성이 보고되었다(Lee et al., 1997). Yoo et al.(2002)은 털투꺼비하늘소(*Moechotypa diphysis*)성충에 대해서 25종 monoterpenoid의 훈증독성, 접촉독성 및 산란기피효과를 조사하였는데 훈증독성에서 5 $\mu\text{l}/954\text{mL}$ air의 농도에서 pulegone이 100%의 살충률을 나타내었다고 하였다. Lee et al.(2003)은 Pulegone을 포함하는 monoterpenoid들은 전형적인 휘발성 물질로 곤충 체내로 급속하게 침투할 수 있으며 그것들의 생리적인 기능을 방해하지만 정확한 작용 기작은 아직 알려져 있지 않다고 하였다. 본 실험결과에서 보듯이 어리쌀바구미에 대해 높은 훈증독성을 나타낸 pennyroyal oil은 그 안에 함유되어 있는 성분인 pulegone이 어리쌀바구미 성충에 대해 상당한 영향을 준 것으로 생각된다.

후각계를 이용한 기피반응실험

8종의 오일을 이용하여 어리쌀바구미 성충에 대한 Y-tube olfactometer에서 수행한 후각반응은 cedarwood, cinnamon, cypress, patchouli, pennyroyal, tea tree oil이 10 μl 의 약량에서 각각 80.0, 83.3, 81.1, 71.0, 97.1, 87.1%로 기피반응을 보였다(Table 5). 기피반응에 유의성을 보인 오일을 중심으로 농도를 낮추어 1 μl 를 처리했을 때에도 기피효과가 나타났으나, tea tree oil에서는 기피반응에 대한 유의성이 없었다. 본 연구에서 높은 기피효과를 나타내었던 pennyroyal oil은 *Diamanus montanus*에 대해서도 높은 기피효과가 보고가 되어있다(Rutledge et al., 1982). 본 실험에서 기피유발 물질인 식물정유의 함유량이 증가할수록 기피효과도 대체적으로 증가함을 나타냈다. Cedarwood, Cinnamon, Cypress, Patchouli, pennyroyal, tea tree oil 모두 70% 이상의 기피효과를 나타내어 기피제로서의 가능성이 있다고 생각된다. Lee and Jee(2008)은 집먼지진드기(*Dermatophagoides farinae* 및 *D. pteronyssinus*)에 대하여 lavender와 tea tree oil의 기피효과를 실험한 결과 효과가 높게 나타났다고 하였는데, 본 실험에서는 기피효과에 대한 유의성이 나타나지 않았다. Desmarchelier(1994)는 식물정유는 해충에 선택적이며, 다양한 곤충 종에 대해서 산란, 기피, 살충활성을 나타낸다고 알려져 있다고 하였는데, 집먼지진드기에 높은 기피효과를 보인 lavender oil은 어리쌀바구미에 대해서는 기피효과가 나타나지 않았다. 각각의 오일의 기피지속효과를 알아보기 위하여 5분, 10분, 20분, 30분, 1시간별로 어리쌀바구미에 대하여 Y-tube olfactometer를 이용하여 시간경과에 따른 오일의 기피효과를

Table 5. Repellency of essential oils against *S. zeamais* adults in Y-tube olfactometer

Essential oil	Conc. (μl /filter paper)	No. of insects in			% ^{a)}	Sign -test ^{b)}
		Treated Side (T)	Untreated Side (U)	No choice		
Carrot seed	1	14	25	1	64.1	ns ^{c)}
	10	13	21	6	61.8	ns
Cedarwood	1	8	26	6	76.5	$P < 0.05$
	10	6	24	10	80.0	$P < 0.05$
Cinnamon	1	6	28	6	82.4	$P < 0.01$
	10	6	30	4	83.3	$P < 0.01$
Cypress	1	7	28	5	80.0	$P < 0.01$
	10	7	30	3	81.1	$P < 0.01$
Lavender	1	13	24	3	64.9	ns
	10	13	26	1	66.7	ns
Patchouli	1	7	22	11	75.6	$P < 0.01$
	10	9	22	9	71.0	$P < 0.05$
Pennyroyal	1	4	26	10	86.7	$P < 0.01$
	10	1	34	5	97.1	$P < 0.01$
Tea tree	1	8	18	14	69.2	ns
	10	4	27	9	87.1	$P < 0.01$

^{a)} Repellency (%) = $U/T + U \times 100$.

^{b)} Significant differences were analysed by binominal sign test (Zar, 1996).

^{c)} ns: not significant.

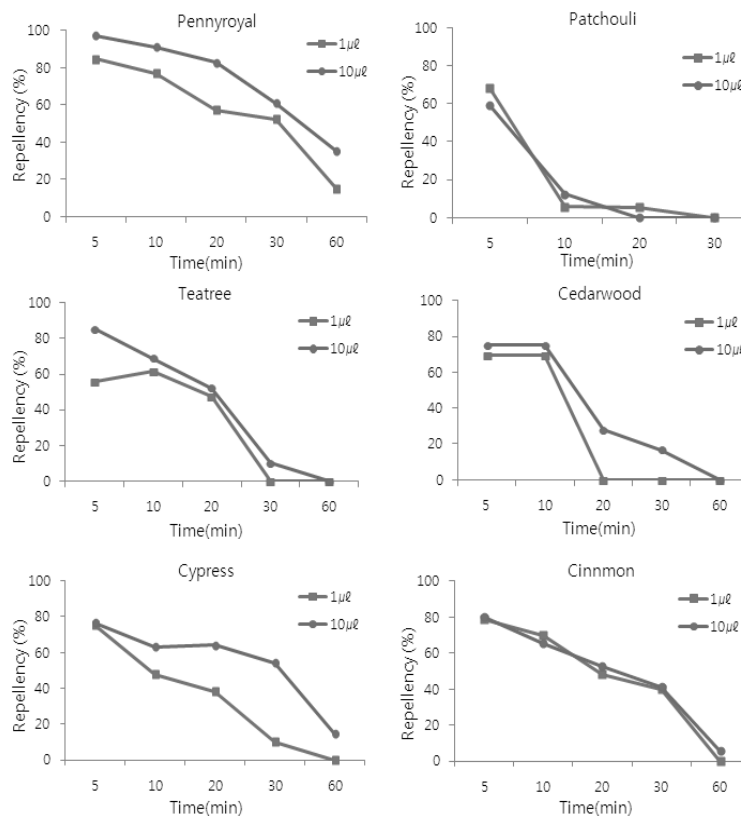


Fig. 1. Repellency of six essential oils against *S. zeamais* adults using a Y-tube olfactometer after treatment.

조사한 결과, 6 종의 오일 모두 시간이 경과함에 따라 기피율이 감소하는 경향을 보였다(Fig. 1). pennyroyal oil은 다른 오일에

비해 시간 경과에 따라 기피효과가 완만하게 감소하는 것을 알 수 있었으며, 농도별에 따른 기피지속효과에서 기울기가 비슷

하게 나타나 약량에 따른 감소비율이 비슷하게 진행되는 것을 알 수 있었다. Cedarwood oil은 처리 10분까지는 기피효과가 지속되다가 그 후 기피효과가 급격히 떨어지는 경향을 보였다. El-Nahal et al.(1989)은 5종의 저장물해충의 성충에 대해 *Acorus calamus* oil의 독성 효과를 연구하였는데, 팔바구미, 그라나리아바구미(*Sitophilus granarius*), 쌀바구미, 거릿쌀도둑 저저리, 가루개나무좀(*Rhizopertha dominica*)의 순서로 모든 약량과 노출 시간에서 감소성이 감소함을 보고하였다. 본 실험에서 높은 혼중독성을 나타내었던 oil들은 공기가 통하는 Y-tube olfactometer를 이용하여 실험한 기피효과에서는 처리 후 10분까지는 지속되다가 그 후 시간이 경과됨에 따라 기피효과가 감소하는 경향을 보였는데, 이러한 결과는 식물정유와 식물유래 화합물들의 운반작용이 대부분 증기상으로 활동하기 때문에 곤충의 호흡기관을 통해 체내로 침투하여 독성을 일으키는 것으로 생각되며 앞으로 보다 면밀한 실험을 통해 식물정유와 식물유래 화합물의 운반작용과 곤충에 대한 침투기작에 대한 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다. 기피효과가 높은 식물정유들에 함유된 휘발성 물질의 기피지속시간을 오랫동안 유지하기 위한 노력이 필요할 것이며, 더 적은 함유량으로 우수한 기피 지속 효과를 나타낼 수 있는 전착제, 코팅 등 제형의 개발이나 기피효과를 얻기 위해 다른 성분의 혼합 및 협력제 등의 혼합에 대한 상승효과의 연구가 필요할 것으로 생각된다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때, 사용된 식물오일들 중에서 pennyroyal, tea tree oil이 우수한 살충활성을, cedarwood, cinnamon, cypress, patchouli, pennyroyal, tea tree oil에서 기피효과의 잠재 활성을 갖는 것으로 탐색되었다. 향후 식물정유를 이용하여 기존의 화학 살충제에 대한 저독 해충 혼중제를 대체하는 물질을 개발할 가능성이 충분하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ00767205 2012)의 지원에 의해 이루어진 결과이며, 지원에 감사드립니다.

Literature Cited

- Abd-El-Aziz, S.E. 2011. Control strategies of stored product pests. *J. Entomol.* 8(2), 101-122.
- Cho, S.R., Shin, Y.H., Yoon, C.M., Kim, K.H., 2011. Contact and residual toxicities against the cigarette beetle, *Lasioderma serricorne* and the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. *Korean J. Pestic. Sci.* 15, 310-316.
- Choi, W.I., Lee, E.H., Choi, B.R., Park, H.M., Ahn, Y.J., 2003. Toxicity of plant essential oils to *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae). *J. Econ. Entomol.* 96(5), 1479-1484.
- Cosimi, S., Rossi, E., Cioni, P.L., Canale, A., 2009. Bioactivity and qualitative analysis of some essential oils from Mediterranean plants against stored-product pests: Evaluation of repellency against *Sitophilus zeamais* Motschulsky, *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) and *Tenebrio molitor* (L.). *J. of Stored Prod. Res.* 45, 125-132.
- Desmarchelier, J.M., 1994. Grain protectant: trends and developments, pp. 722-728. *In* Stored product protection, eds. by E. Highley, E.J. Wright, H.J. Banks and B.R. Champ. 1,274pp. CAB International, Wallingford, UK.
- Duangsamorn S., Paul, G.F., Angsumarn, C., 2011. Fumigant toxicity of essential oils from three Thai plants (Zingiberaceae) and their major compounds against *Sitophilus zeamais*, *Tribolium castaneum* and two parasitoids. *J. of Stored Prod. Res.* 47, 222-230.
- El-Nahal, A.K.M., Schmidt, G.H., Risha, E.M., 1989. Vapours of *Acorus calamus* oil a space treatment for stored-product insects. *J. Stored Prod. Res.* 25, 211-216.
- Haghtalab, N., Shayesteh, N., Aramideh, S., 2009. Insecticidal efficacy of castor and hazelnut oils in stored cowpea against *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). *J. Biol. Sci.* 9, 175-179.
- Han J.B., Ahn, K.S., Lee, C.K., Kim, K.H., 2006. Fumigant toxicity of pennyroyal and spearmint oils against Western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*. *Korean J. Appl. Entomol.* 45(1), 45-49.
- Isman, M.B., 2008. Perspective botanical insecticides: For richer, for poorer. *Pest Manag. Sci.* 64, 8-11.
- Isman, M.B., 2006. Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Ann. Rev. Entomol.* 51, 45-66.
- Lee, S.J., Jee, C.H., 2008. Repellent effect of two herb essential oils (Lavender and Tea tree) against house dust mites, *Dermatophagoides farinae* and *D. pteronyssinus*. *J. Biomed. Res.* 9(3), 21-26.
- Lee, S., Peterson, C.J., Coats, J.R., 2003. Fumigation toxicity of monoterpenoids to several stored product insects. *J. Stored Prod. Res.* 39, 77-85.
- Lee, S., Tsao, R., Peterson, C., Coats, J.R., 1997. Insecticidal activity of monoterpenoids to western corn rootworm(Coleoptera: Chrysomelidae), two-spotted spider mite(Acari: Tetranychidae), and house fly(Diptera: Muscidae). *J. Econ. Entomol.* 90, 883-892.
- Liu, Z.L., Ho, S.H., 1999. Bioactivity of the essential oil extracted from *Evodia rutaecarpa* Hook f. et Thomas against the grain storage insects, *Sitophilus zeamais* Mostsch. and *Tribolium castaneum* (Herbst). *J. Stored Prod. Res.* 35, 317-328.
- Markham, R.H., Bosque-Perez, N., Borgemeister, C., Meikle, W.G., 1994. Developing pest management strategies for the maize weevil, *Sitophilus zeamais*, and the larger grain borer,

- Prostephanus truncatus*, in the humid and sub humid tropics. FAO Plant. Bull. 42, 97-116.
- Nam, Y.W., Chun, Y.S., Ryoo, M.I., 2009. Developing sequential sampling plans for evaluating maize weevil and Indian meal moth density in rice warehouse. Korean J. Appl. Entomol. 48, 45-51.
- Ogendo, J.O., Kostyukovsky, M., Ravid, U., Matasyoh, J.C., Deng, A.L., Omolo, E.O., Kariuki, S.T., Shaaya, E., 2008. Bioactivity of *Ocimum gratissimum* L. oil and two of its constituents against five insect pests attacking stored food products. J. Stored Prod. Res. 44, 328-334.
- Rajendran, S., Sriranjini, V., 2008. Plant products as fumigants for stored-product insect control. J. Stored Prod. Res. 44, 126-135.
- Rajendran, S., Parveen, H.K.M., 2005. Insect infestation in stored animal products. J. Stored Prod. Res. 41, 1-30.
- Rees, D., 2004. Insects of Stored Products. CSIRO Publishing, Collingwood, Vic., Australia. pp. 192.
- Rice, P.J., Coats, J.R., 1994. Insecticidal properties of several monoterpenoids to the house fly(Diptera: Muscidae), red flour beetle(Coleoptera: Tenebrionidae), and southern corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae). J. Econ. Entomol. 87, 1172-1179.
- Rutledge, L.C., Lawson, M.A., Young, L.L., 1982. Tests of repellents against *Diamanus montanus* (Siphonaptera: Ceratophyllidae). J. Med. Entomol. 19(4), 361-365.
- Sabbour, M.M., Abd, S.E., El-Aziz. 2007. Evaluation of some bioinsecticides and packaging materials for protecting broad bean against *Callosobruchus macilatus* (Coleoptera: Bruchidae) infestation during storage. Bull. Entomol. Soc. Egypt Ser. 33, 129-137.
- SAS Institute. 2008. SAS User's Guide: Statistics, version 6.04. SAS Institute, Cary, N.C., U.S.A.
- Tapondjoua, A.L., Adlerb, C., Fontemc, D.A., Boudaa, H., Reichmuthb, C., 2005. Bioactivities of cymol and essential oils of *Cupressus sempervirens* and *Eucalyptus saligna* against *Sitophilus zeamais* Motschulsky and *Tribolium confusum* du Val. J. Stored Prod. Res. 41, 91-102.
- Tipples. K.H., 1995. Quality and nutritional changes in stored grain. pp. 325-351. In Stored Grain Ecosystems, eds. by D.S. Jnyas, N.D.G. White and W.E. Muir. 784pp. Marcel Dekker. New York, U.S.A.
- Yoo, J.S., Kim, G.H., Lee, S.G., Shin, S.C., Park, J.D., Park, S.C., 2002. Insecticidal activity and ovipositional repellency of monoterpenoids against *Moechotypa diphysis* adults(Coleoptera: Cerambycidae). Korean J. Appl. Entomol. 41(4), 285-292.
- Zettler, J.L., Arthur, F.H., 2000. Chemical control of stored product insects with fumigants and residual treatments. Crop Prot. 19, 577-582.