



## 월동 후 마늘 뿌리응애에 대한 약제방제 처리 전략

안중하<sup>1,2</sup> · 황태구<sup>1</sup> · 조선란<sup>2</sup> · 김길하<sup>2\*</sup><sup>1</sup>아그리젠토(주) 부설연구소, <sup>2</sup>충북대학교 식물의학과Acaricide Treatment Strategies for Bulb Mites, *Rhizoglyphus robini* (Acari: Acaridae), Overwintered in Garlic FieldsJong-Ha Ahn<sup>1,2</sup>, Tae-Gu Hwang<sup>1</sup>, Sun-Ran Cho<sup>2</sup>, Gil-Hah Kim<sup>2\*</sup><sup>1</sup>Agrigento Research Institute Co., Ltd., Geochang 50119, Korea<sup>2</sup>Department of Plant Medicine, College of Agriculture, Life and Environment Science, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea

(Received on June 24, 2021. Revised on July 16, 2021. Accepted on July 20, 2021)

**Abstract** This study was performed to evaluate the effects of 10 acaricides on eggs, larvae, nymphs and adults of *Rhizoglyphus robini* (Acari: Acaridae). In addition, the field test was conducted to control bulb mites by establishing 5 treatment strategies after overwintering on garlic fields. In laboratory testing, carbaryl, dimethoate, fluxametamide showed high acaricidal efficacy not only on adults, nymphs, larvae, but also on eggs and larvae in the body of dead female adults. A mixture of abamectin + emamectin benzoate showed high acaricidal efficacy on adults, nymphs, larvae. Lethal symptoms were largely shown in four types : ① Abnormal leg contraction and relaxation, ② Legs bent towards the body, ③ Hemolymph elution, ④ Darkened body. As a result of the field, all strategies showed excellent effect more than control 1, 2, 3, 4. The best treatment strategy is strategy 2 (1st, a mixture of abamectin + emamectin benzoate treatment for suppressing initial density; 2nd, carbaryl or dimethoate treatment for suppressing not only all developmental stage but also dead female adults body; 3rd, fluxametamide treatment for remaining bulb mites elimination). In conclusion, this study demonstrated acaricidal efficacy and timely treatment strategies on controlling bulb mites by stage of development. These results suggest that “strategy 2” should be used for the control of the bulb mite after overwintering on garlic fields.

**Key words** *Rhizoglyphus robini*, acaricidal efficacy, treatment strategy

## 서 론

뿌리응애(*Rhizoglyphus robini*)는 주로 양파, 마늘 등 인경 채소류와 백합, 히아신스와 같은 구근화훼류의 뿌리를 가해하여 피해를 주는 토양해충이다(Gerson et al., 1981; Gencsoylu et al., 1998; Ofek et al., 2014; Park et al., 2019). Choi (1988)에 의하면 뿌리응애 성충은 20°C에서 가장 오래 생존하고 26°C에서 400여개의 알을 산란하는 것으로 알려져 있다. 뿌리응애 성충과 약충이 땅 속의 구근뿌리를 가해하며 작물의 생육기 중 생육을 불량하게 만들고 품질과 생산량을

감소시키는 경제적 손실을 야기한다(Díaz et al., 2000). 이러한 주요 토양해충 중 하나인 뿌리응애를 방제하기 위해 경종적 방제, 화학적 방제, 천적과 병원성 곰팡이를 이용한 생물적 방제, 유기농업자재를 이용한 방제에 대해 연구되고 있다(Hamed and Knowles, 1989; Lensa et al., 1995; Ko, 2017; Park, 2019). 하지만, 실질적으로 화학적 방제에 의존하고 있다. 여러가지 약제가 뿌리응애 방제약제로 등록되어 있지만(RDA, 2021), 등록된 약제가 다른 해충에 비해 한정적이다 보니, 동일한 약제를 연용으로 사용하거나 과도하게 사용함으로써 살충효과가 떨어지는 약제가 나타나고 있다. 따라서 사용약제의 특성을 파악하고, 작용기작이 다른 약제로 교호살포하여야 한다(Chen and Lo, 1989; Chen and Lo,

\*Corresponding author  
E-mail: khkim@cbnu.ac.kr

1990; Kuwahara et al., 1991; Cohen and Tamar, 1992).

마늘(*Allium sativum*)은 고추, 배추, 무 다음으로 많이 재배되고 있는 주요 채소이다(Cho and Lee, 2008). 지역별 기후에 따라 중부이북지역에서 주로 재배되는 한지형 마늘과 남부지역에서 주로 재배되는 난지형 마늘로 구분된다(Hwang et al., 2009). 뿌리응애는 한지형, 난지형 구분 없이 마늘에 피해를 주는 주요 토양해충 중 하나이다(Gerson et al., 1981). 뿌리응애는 파종 후부터 월동 전까지 낮은 밀도로 발생하다가 월동 후 3월부터 수확기인 6월까지 기온이 점차 높아지면서 밀도가 급증한다(Choi et al., 1988; Park et al., 2019). 또한 뿌리응애는 마늘의 생육기 중 피해를 줄 뿐만 아니라 수확 후 저장마늘의 인편을 가해하여 추가적인 피해를 준다(Na et al., 1998; Chmielewski, 2001). 이러한 뿌리응애의 피해를 최소화하고 건강한 마늘을 수확하기 위해 마늘 농가에서 뿌리응애 방제약제를 파종 전 토양처리, 월동 후 관주처리 등의 방법으로 관리하고 있다. 하지만 온도가 높아지기 시작하는 3월부터 수확기까지 계속해서 밀도가 높아지며 경제적 손실을 일으키기 때문에(Choi et al., 1988; Park et al., 2019), 약제 방제는 정식 전 토양처리 1회, 월동 후 관주처리 1회 사용으로는 제대로 방제할 수 없다. 대부분의 마늘 농가에서도 월동 후부터 마늘 수확 전까지 평균적으로 3회 정도는 약제를 처리하고 있는 실정이다. 또한, 방제약제의 약효 특성에 관한 정보가 부족하고 이로 인해 동일계통 약제의 연용 및 효과가 미비한 약제의 사용으로 약제 저항성 발현 및 환경오염이 문제가 되고 있다(Choi et al., 1983; Park et al., 2004; Kim et al., 2007).

이에 본 연구에서는 뿌리응애 방제를 위해 등록된 약제 중 우수한 약제를 선별하고 약효특성과 마늘 농가의 약제처리 횟수를 종합적으로 고려한 약제방제 처리 전략을 제시하고자 이 실험을 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 시험곤충

시험곤충인 뿌리응애는 2019년 경상남도 거창군 가북면에 소재한 마늘, 양파 농가에서 수세가 약한 마늘과 양파를 수확한 후 실험실 내에서 실체현미경 하에 Fan and Zhang (2003)을 참고하여 뿌리응애 성충과 약충을 채집하였으며 채집한 뿌리응애는 사육상자(19×35×8 cm)에 상토를 3 cm 높이로 덮은 후 반으로 자른 건전한 양파를 먹이로 공급하며 온도 26±2°C, 습도 70±10%, 광주기 24D 조건하에 누대사육 하였다.

### 시험약제

시험에 사용한 약제는 현재 뿌리응애에 등록되어 국내에 판매되고 있는 제품 중 마늘 월동 후 생육기 토양관주처리가 가능하고 작용기작이 다른 약제 위주로 선정하였다. 선정된 약제 중 emamectin benzoate는 뿌리응애 방제약제로 등록되어 있지 않지만, abamectin과 상승효과를 확인하기 위해 선정하였다. 선정된 약제의 유효성분, 제형과 추천농도는 다음과 같다(Table 1).

### 발육단계별 약제 감수성 검증

뿌리응애 발육단계별 살비활성 검증은 Chen (1990)의 방법을 응용하였다. 뿌리응애는 별다른 먹이가 없어도 적정 온도와 습도가 유지되면 필터페이퍼만으로도 1세대를 정상적으로 지낼 수 있다(Gerson et al., 1991). 성충은 Insect breeding dish (50×15 mm)에 필터페이퍼를 1장 깔고 그 위에 실체현미경 하에서 부드러운 붓으로 성충을 50마리씩 옮긴 후 선별한 약제를 증류수에 추천 희석배수로 희석한 후 마이크로피펫을 사용하여 1 ml씩 약제처리 하였다. 이후 뿌리응애 생육에 적절한 환경(26±2°C, 70±10%, 24D)에 보

**Table 1.** Information of tested acaricides

Acaricides	A.I <sup>a)</sup> (%)	MoA <sup>b)</sup>	Fomulation <sup>c)</sup>	Rec. conc. <sup>d)</sup> (ppm)
Abamectin	1.8	6	EC	9
Bifenthrin	8	3a	WG	20
Buprofezin	20	16	WP	200
Carbaryl	50	1a	WP	500
Chlorfenapyr	10	13	SC	33.3
Dimethoate	46	1b	EC	460
Emamectin benzoate	2.15	6	ME	10
Fenpyroximate	5	21a	SC	50
Fluxametamide	9	30	EC	45
Abamectin + Emamectin benzoate	1.8(0.8+1.0)	6+6	ME	18

<sup>a)</sup> Active ingredient

<sup>b)</sup> Mode of action

<sup>c)</sup> EC=Emulsifiable concentrate, ME=Micro emulsion, SC=Suspension concentrate, WG=Water dispersible granule, WP=Wettable powder

<sup>d)</sup> Recommended concentration

관하며 약제처리 후 24시간 간격으로 5일 동안 실체현미경을 사용하여 살비율을 조사하였다. 사충여부는 부드러운 붓으로 성충을 터치한 후 움직임이 없거나 다리의 움직임은 있지만 비정상적인 다리 떨림, 미세한 다리의 반응(5초 이상 다리의 움직임이 없는 것)은 죽은 것으로 간주하였다.

약충에 대한 살비활성 검정은 성충과 동일한 조건으로 수행했다. 필터페이퍼 위에 실체현미경 하에서 부드러운 붓으로 약충을 50마리씩 집중하여 약제처리 하였으며 24시간 간격으로 5일 동안 사충수 조사를 통해 살비율로 나타냈다.

알에 대한 살비활성 검정은 성충과 동일한 방법으로 수행하였으며 필터페이퍼 위에 부드러운 붓으로 암컷 성충을 20마리씩 집중하고 48시간동안 산란 받았다. 산란된 알의 개수를 파악한 후 성충을 제거하고 약제처리 하였다. 약제처리 3일차, 5일차에 실체현미경을 사용해 알에서 부화한 유충수와 유충의 사충수를 조사하여 부화율과 살비율로 나타냈다.

모든 실험은 3반복으로 수행하였다.

**죽은 암컷 성충 체내 알, 유충에 대한 약제 감수성 검정**

발육단계별 약제 감수성 평가 중 몇가지 처리구에서 죽은 암컷 성충 체내 움직임을 관찰했다. 보다 정밀하게 검증하기 위해 발육단계별 약제 감수성 평가와 동일한 방법으로 실험을 수행했으며 체내 알을 품고 있는 암컷 성충을 50마리씩 집중하였다. 모든 처리구의 암컷 성충 사충수가 증가하기 시작하는 약제처리 6일차, 7일차에 실체현미경을 사용해 관찰하였다. 죽은 암컷성충 체내 알의 부화여부는 체내 알 껍질과 움직임으로 확인하며 유충의 사충여부는 부드러운 붓으로 암컷 성충을 터치한 후 체내 유충의 움직임이 없으면 죽은 것으로 간주하였다.

**약제 처리 전략 프로그램**

포장시험은 실내검정에서 우수한 효과를 나타낸 약제를 선별하여 약제 처리 전략 프로그램을 구성하였다(Table 6). 2021년 3-4월에 경남 거창, 충남 서산, 전남 무안의 마늘 농가에서 월동 후 진행했으며 뿌리응애 발생밀도가 반복별 50마리 이상일 때 약제처리 하였다. 각 프로그램의 약제 처리 순서는 시험약제의 특성과 뿌리응애 발육단계별 감수성평가를 바탕으로 무작위로 조합하여 선택하였으며, 약제 종류 및 순서는 다음과 같다(Table 6). 시험 약제는 10일 간격으로 3회 관주처리 진행하였으며 등록사항의 희석배수에 맞게 약제를 희석한 후 동력분무기의 관주용 노즐로 1 l /m<sup>2</sup> 처리 하였다. 선정된 약제의 1회 처리만으로도 우수한 방제효과가 가능한지 control 1, 2, 3, 4와 비교하였다. 처리구 면적은 10 m<sup>2</sup>로 설정하였으며 난괴법 3반복으로 수행하였다. 최종 약제처리 10일 후 구당 10주 씩 수확하여 실체현미경 하에서 뿌리응애 생충수를 조사한 후 방제가를 구하였다. 방제

가는 [(무처리구 뿌리응애 생충수) - (처리구 뿌리응애 생충수) / 무처리구 뿌리응애 생충수] × 100으로 산출하였다.

**통계분석**

실내검정 및 실외검정의 결과는 SAS (SAS Institute 9.4, SAS Inc.) 프로그램을 이용하여 Tukey's studentized range test로 분석하였다.

**결과 및 고찰**

**발육단계별 약제 감수성 평가**

Chen (1990)의 방법을 응용하여 뿌리응애 성충에 대해 실내검정한 결과 약제별 치사 증상은 크게 ① 다리의 비정상적인 수축과 이완, ② 몸 쪽으로 구부러진 다리, ③ 체액의 용출, ④ 질게 변색된 몸체 4가지로 구분되었다(Table 2). 성충에 대해 가장 약효가 빠르게 나타난 약제는 fluxametamide로써 약제처리 3일차에 100%의 살비율을 보이며 증상 2, 4가 나타났다(Table 3). Carbaryl과 dimethoate는 약제처리 3일 후 각각 86.0%, 88.7%의 살비율을 보였으며 5일차에는 각각 98.7%, 100.0%의 살비율을 나타내며 3일차부터 점차 증가하는 추세를 보였다. Carbaryl은 증상 3, 4, dimethoate는 증상 2, 3, 4가 나타났다. Abamectin, emamectin benzoate는 약제처리 3일차까지 무처리구와 크게 다르지 않은 활동을 나타냈으나 5일차에는 다리의 정상적인 수축 및 이완, 활동이 불가능한 개체수가 급증하였다. Abamectin + emamectin benzoate는 1일차에 움직임이 없던 성충들이 3일차까지는 다시 활동하며 회복하는 듯 보였다. 하지만 단제와 비슷한 시기에 증상이 나타나기 시작했으며 5일차 살비율은 70.7%로 상대적으로 높게 나타났다. 억제신경 전달 조절을 통해 마비를 일으키는 avermectin 계열은 모두 증상 1, 4를 보였다. Park et al. (2019)의 연구결과에 의하면 단양지역에서 채집된 뿌리응애는 abamectin, dimethoate 모두 높은 살비율을 보였는데, 이는 채집지역 및 채집농가에 따라 뿌리응애의 약제내성이 다른 것이라고 판단된다. Abamectin은 점박이응애(*Tetranychus urticae*)에도 높은 효과를 나타내는 것으로 보고되었으며(Hoy and Cave, 1985), emamectin benzoate는 주로 나비목 해충에 높은 효과를 가지고 있다(White et al., 1997). Fluxametamide는 신규물질이고 avermectin계열은 다른 약제와 교차저항성이 보고되지 않았기 때문에(White et al., 1997; Asahi et al., 2018) 저항성 방지 측면에서도 효과적이다. Bifenthrin, buprofezin, chlorfenapyr, fenpyroximate 처리구의 성충은 정상적인 움직임, 산란, 부화의 생활사를 거치며 별다른 약효증상이 나타나지 않았고 살비율도 낮았다(Table 2, 3).

뿌리응애 약충에 대한 실내검정 결과, 성충과 동일한 4가지 치사 증상을 확인할 수 있었다(Table 2). Abamectin +

**Table 2.** Lethal symptoms for *R. robini* developmental stages treated with 6 acaricides

Acaricides	Developmental stage			
	Female adult	Nymph	Larva	In the body of dead female adult
Lethal symptoms	1. Abnormal leg contraction and relaxation 2. Legs bent towards the body 3. Hemolymph elution 4. Darkened body			1. Not hatching 2. Dead larvae in the body of dead female adult 3. Survival larvae in the body of dead female adult
Abamectin EC	1, 4	1, 2, 4	1	3
Carbaryl WP	3, 4	3, 4	1, 2	1
Dimethoate EC	2, 3, 4	2, 3, 4	1, 2	1
Emamectin benzoate ME	1, 4	1, 2	1	3
Fluxametamide EC	2, 4	2	1	2
Abamectin + Emamectin benzoate ME	1, 4	1, 2, 4	1	3

**Table 3.** Comparison of susceptibility of *R. robini* adults and nymphs against 10 acaricides at recommended concentration

Acaricides	n <sup>a)</sup>	Mortality (%; Mean±SE)		
		1	3	5 DAT <sup>b)</sup>
<i>Adult</i>				
Abamectin EC	150	3.3 ± 1.3 e <sup>c)</sup>	5.3 ± 2.4 e	34.0 ± 6.0 d
Bifenthrin WG	150	0.0 ± 0.0 e	1.3 ± 0.7 e	4.0 ± 0.0 e
Buprofezin WP	150	6.0 ± 2.0 de	4.0 ± 1.2 e	4.7 ± 0.7 e
Carbaryl WP	150	52.7 ± 2.7 b	86.0 ± 2.0 b	98.7 ± 0.7 a
Chlorfenapyr SC	150	5.3 ± 0.7 de	11.3 ± 0.7 de	13.3 ± 1.3 e
Dimethoate EC	150	75.3 ± 0.7 a	88.7 ± 0.7 ab	100.0 ± 0.0 a
Emamectin benzoate ME	150	19.3 ± 4.8 d	36.0 ± 5.0 c	59.3 ± 1.8 c
Fenpyroximate SC	150	2.0 ± 1.2 e	2.0 ± 1.2 e	4.7 ± 1.3 e
Fluxametamide EC	150	74.7 ± 4.7 a	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a
Abamectin + Emamectin benzoate ME	150	34.7 ± 5.5 c	22.7 ± 3.7 d	70.7 ± 2.9 b
Control	150	0.0 ± 0.0 e	1.3 ± 1.3 e	4.0 ± 1.2 e
<i>Nymph</i>				
Abamectin EC	150	86.0 ± 4.2 ab	92.0 ± 3.1 abc	98.0 ± 2.0 a
Bifenthrin WG	150	4.0 ± 1.2 d	8.7 ± 2.7 e	25.3 ± 3.5 d
Buprofezin WP	150	71.3 ± 3.7 b	81.3 ± 4.7 bc	78.7 ± 3.7 b
Carbaryl WP	150	83.3 ± 2.9 ab	93.3 ± 2.4 abc	100.0 ± 0.0 a
Chlorfenapyr SC	150	9.3 ± 4.4 cd	26.7 ± 5.2 d	39.3 ± 3.5 c
Dimethoate EC	150	82.7 ± 0.7 ab	97.3 ± 1.8 a	100.0 ± 0.0 a
Emamectin benzoate ME	150	27.3 ± 9.3 c	78.7 ± 3.5 c	94.7 ± 2.4 a
Fenpyroximate SC	150	7.3 ± 0.7 d	12.0 ± 3.1 de	20.7 ± 2.9 d
Fluxametamide EC	150	96.0 ± 1.2 a	99.3 ± 0.7 a	100.0 ± 0.0 a
Abamectin + Emamectin benzoate ME	150	91.3 ± 2.9 a	98.7 ± 1.3 a	100.0 ± 0.0 a
Control	150	1.3 ± 1.3 d	5.3 ± 1.3 e	8.0 ± 1.2 e

<sup>a)</sup> Total number of adults, nymphs

<sup>b)</sup> Day after treatment

<sup>c)</sup> Means followed by the same letters are not significantly different ( $p < 0.05$ ; Tukey's studentized range test (SAS Institute 9.4))

emamectin benzoate, carbaryl, dimethoate, fluxametamide의 5일차 살비율은 모두 100.0%를 나타냈다(Table 2). Abamectin + emamectin benzoate는 증상 1, 2, 4, carbaryl은

증상 3, 4, dimethoate는 증상 2, 3, 4, fluxametamide는 증상 2를 나타냈다. Abamectin은 약제처리 1일차부터 86.0%의 살비율을 나타내며 빠른 효과를 보였고 증상 1, 2, 4를

**Table 4.** Comparison of susceptibility of *R. robini* eggs and larvae against 10 acaricides at recommended concentration

Acaricides	n <sup>a)</sup>	Hatchability (%; Mean ± SE)		Mortality of larvae (%; Mean ± SE)	
		3	5 DAT <sup>b)</sup>	3	5DAT
Abamectin EC	205	53.0 ± 1.2 a <sup>c)</sup>	88.5 ± 5.3 a	6.6 ± 3.5 b	10.6 ± 1.1 b
Bifenthrin WG	188	49.8 ± 5.3 a	88.8 ± 0.1 a	4.8 ± 2.0 b	4.9 ± 2.1 b
Buprofezin WP	201	48.4 ± 4.7 a	85.0 ± 2.2 a	7.1 ± 2.6 b	14.5 ± 6.0 b
Carbaryl WP	283	49.2 ± 4.7 a	84.1 ± 4.7 a	53.7 ± 3.9 a	92.5 ± 2.1 a
Chlorfenapyr SC	224	48.5 ± 4.9 a	93.2 ± 1.6 a	6.6 ± 0.2 b	10.7 ± 5.3 b
Dimethoate EC	263	38.9 ± 2.8 a	85.4 ± 5.4 a	57.8 ± 9.3 a	99.7 ± 0.3 a
Emamectin benzoate ME	189	47.5 ± 3.6 a	86.9 ± 4.1 a	3.1 ± 1.6 b	8.6 ± 2.8 b
Fenpyroximate SC	265	45.8 ± 3.7 a	91.5 ± 1.9 a	3.4 ± 0.9 b	8.5 ± 2.4 b
Fluxametamide EC	333	34.8 ± 8.0 a	89.0 ± 1.6 a	64.7 ± 3.3 a	93.6 ± 0.5 a
Abamectin + Emamectin benzoate ME	202	61.0 ± 6.1 a	90.0 ± 3.4 a	6.9 ± 2.9 b	89.5 ± 0.8 a
Control	238	56.5 ± 4.1 a	92.0 ± 0.9 a	1.7 ± 1.7 b	2.0 ± 1.5 b

<sup>a)</sup> Total number of eggs

<sup>b)</sup> Day after treatment

<sup>c)</sup> Means followed by the same letters are not significantly different ( $p < 0.05$ ; Tukey's studentized range test (SAS Institute 9.4))

나타냈다. Emamectin benzoate는 1일차 27.3%의 살비율을 나타냈지만 3일차 78.7%, 5일차 94.7%의 살비율을 보이며 점차 약충에 대한 살비활성이 높아졌고 증상 1, 2를 나타냈다. Abamectin + emamectin benzoate는 성충에 대해 지효성의 특성을 보였지만 약제처리 1일차부터 91.3%의 살비율을 나타내며 약충에 대해 빠른 효과를 나타냈다. Buprofezin은 IGR계통의 키틴생합성 저해제로써(Liu and Chen, 2000; IRAC, 2020) 약충의 경우 약제처리 1일차부터 증상 4와 함께 71.3%의 살비율을 나타냈지만 다른 발육단계에는 효과가 낮았다. Bifenthrin, chlorfenapyr, fenpyroximate는 약충에 낮은 효과를 나타내었다(Table 2, 3).

알에 대한 부화억제효과는 시험약제 모두 낮았으며(Table 4), 유충에 대한 약제별 약효증상은 크게 ① 몸 쪽으로 구부러진 다리, ② 질게 변색된 몸체 2가지로 나타났다(Table 2). Carbaryl, dimethoate, fluxametamide는 유충에 대해 90% 이상의 살비효과를 나타냈으며, carbaryl과 dimethoate는 증상 1, 2, fluxametamide는 증상 1을 나타냈다. Abamectin + emamectin benzoate 처리구는 증상 1과 함께 89.5%의 살비율을 보였다. 반면, abamectin, bifenthrin, buprofezin, chlorfenapyr, emamectin benzoate, fenpyroximate 처리구의 유충 살비율은 낮았다.

**죽은 암컷 성충 체내 알, 유충에 대한 약제 감수성 평가**

죽은 뿌리응애 암컷 성충에 대한 약제별 효과는 Table 5와 같다. 약제별 치사 증상은 크게 ① 체내 부화억제, ② 체내 유충의 사충, ③ 체내 유충의 움직임 3가지로 나타났다(Table 2). Abamectin, emamectin benzoate, abamectin + emamectin benzoate 처리구의 암컷 성충 사충수가 증가하기 시작하는 6일차부터 조사하였다. Carbaryl, dimethoate 처리

구의 7일 후 죽은 암컷 성충 체내 부화율은 각각 7.3%, 6.0%로 낮았으며 유충의 생충률은 모두 0%로 높은 살비활성을 나타냈다. 또한 carbaryl, dimethoate는 대부분 증상을 1을 보이며 약효에 의해 죽은 암컷 성충 체내에서 부화되지 않은 온전한 형태의 알을 확인할 수 있었다. 나머지 약제 처리구는 죽은 암컷 성충 체내에서 알 껍질과 유충을 확인할 수 있었다. Fluxametamide 처리구의 7일 후 죽은 암컷 성충 체내 부화율은 16.0%로 carbaryl, dimethoate에 비해 다소 높았으나 증상 2와 함께 3.7%의 낮은 생충률을 나타냈다. Abamectin, emamectin benzoate, abamectin + emamectin benzoate 처리구의 7일 후 죽은 암컷 성충 체내 부화율은 각각 33.1%, 38.7%, 35.0%로 나타났으며, 체내 알에서 부화한 유충의 생충률은 각각 89.1%, 86.9%, 87.9%로 높게 나타났다. 특히 abamectin, emamectin benzoate, abamectin + emamectin benzoate는 생존한 체내 유충이 몸 밖으로 나와 죽은 모체를 섭식하는 cannibalism의 경향을 보였다. Cannibalism은 먹이가 부족한 상태에서 동족포식을 통해 즉시 영양분을 얻기 위한 행위이며, 뿌리응애를 포함한 수많은 생물종에서 일어난다(Polis, 1981; Van den Beuken et al., 2019). Carbaryl, dimethoate, fluxametamide 처리구의 죽은 암컷 성충 체내에서 부화한 유충의 생존률이 낮은 것은 알에서 부화한 후 모체의 체액을 섭식하여 약효가 발현된 것으로 판단된다. Fluxametamide도 죽은 암컷 성충 체내 알의 부화율과 유충의 생충률이 낮게 나타났지만, 약제처리 7일 후에도 모체 속에 살아있는 유충이 감지되었다.

유기인계와 카바메이트 계통 약제의 저항성 발현 문제가 대두되고 있음에도 불구하고 최근 연구에 의하면 두 계통 모두 뿌리응애에 대해 높은 효과를 나타냈으며(Park et al., 2019), 지금까지도 마늘 농가에서 뿌리응애 방제약제로 많

**Table 5.** Comparison of susceptibility of *R. robini* eggs and larvae in the body of dead female adults against 6 acaricides at recommended concentration

Acaricides	n <sup>a)</sup>	Hatchability (%; Mean ± SE)		Survivality of larvae (%; Mean ± SE)	
		6DAT <sup>b)</sup>	7DAT	6DAT	7DAT
Abamectin EC	150	28.4 ± 3.7 ab	33.1 ± 2.0 a	96.3 ± 3.7 a	89.1 ± 2.2 a
Carbaryl WP	150	6.8 ± 1.7 de	7.3 ± 1.8 bcd	6.7 ± 6.7 b	0.0 ± 0.0 b
Dimethoate EC	150	6.1 ± 2.0 de	6.0 ± 2.0 cd	0.0 ± 0.0 b	0.0 ± 0.0 b
Emamectin benzoate ME	150	37.0 ± 4.4 a	38.7 ± 3.7 a	88.1 ± 6.3 a	86.9 ± 0.6 a
Fluxametamide EC	150	15.3 ± 1.3 cd	16.0 ± 1.2 bc	8.5 ± 4.3 b	3.7 ± 3.7 b
Abamectin + Emamectin benzoate ME	150	27.5 ± 3.0 abc	35.0 ± 3.8 a	93.3 ± 6.7 a	87.9 ± 9.1 a
Control	150	0.0 ± 0.0 e	0.0 ± 0.0 d	0.0 ± 0.0 b	0.0 ± 0.0 b

<sup>a)</sup> Total number of female adults

<sup>b)</sup> Day after treatment

<sup>c)</sup> Means followed by the same letters are not significantly different ( $p < 0.05$ ; Tukey's studentized range test (SAS Institute 9.4))

이 사용되고 있다. 이것은 두 계통의 약제가 죽은 암컷 성충 체내까지 영향을 미쳐서 뿌리응애의 생활사를 단절시키기 때문에 높은 효과를 나타내는 것으로 사료된다. 하지만 두 계통에 속하는 모든 약제가 효과가 좋은 것은 아니다 (Errampalli and Knowles, 1990). 동일계통 약제의 연용은 환경오염 및 뿌리응애의 저항성 발달 문제를 일으킬 수 있기 때문에, 반드시 약제별 약효 특성을 확인하고 다른 계통의 약제와 교호 살포가 필요하다(Chen and Lo, 1989; Chen and Lo, 1990; Kuwahara, 1988; Kuwahara et al., 1991). 뿌리응애 암컷 성충은 1-6마리의 수컷과 교미를 하며 다수의 수컷과 교미한 암컷으로부터 발생된 자손세대는 1마리의 수컷과 교미한 자손세대보다 높은 생식능력이 있다(Konior et al., 2001). 뿌리응애 수컷 성충은 이형성을 가지며, 세 번째 다리가 두껍고 날카로운 fighter와 그렇지 않은 scrambler로 나뉜다(Radwan and Bogacz, 2000; Leigh and Smallegange, 2014). Fighter는 세 번째 다리로 다른 개체를 죽일 수 있으며, fighter (공격자)와 scrambler (방어자)가 혼재한 군집에서 공격자가 정자 경쟁에서 더욱 유리하다(Radwan and Klimas, 2001). 뿌리응애 암컷 성충과 교미하는 수컷 성충은 주로 다른 수컷과의 정자 경쟁에서 이긴 개체들이며, 교미한 암컷의 자손은 우월한 유전자가 유전되어 생존능력과 생존기간이 길어진다(Radwan et al., 2004). 약제에 의해 죽은 암컷 성충 체내에서 부화한 유충이 모체 속에서 탈출하여 정상적인 발달을 거치고 살아남은 개체 간의 교미뿐만 아니라 약제의 영향을 받지 않은 군집과 혼재되어 자손세대가 발생한다면 정자 경쟁과 성 선택을 통한 우월한 유전자의 유전으로 인해 생존기간이 길어지고, 약제 저항성 유전자의 유전으로 더욱 강력한 생존력을 지닌 개체가 발생할 것으로 사료된다.

#### 약제 처리 전략 프로그램 적용

실내검정에서 우수한 살비효과를 나타낸 carbaryl, dime-

thoate, fluxametamide, abamectin + emamectin benzoate로 Table 6과 같이 약제 처리 전략을 구성하였다. 경남 거창, 충남 서산, 전남 무안 지역에서 5가지 처리 전략을 적용하여 뿌리응애를 방제한 결과, 모두 control 1, 2, 3, 4보다 높은 방제가를 나타냈다(Table 7). 이러한 결과는 뿌리응애에 높은 효과를 나타낸 약제 일지라도 월동 후 밀도가 높아지는 뿌리응애를 방제하기 위해서는 1회 처리만으로는 높은 효과를 기대하기 어렵다는 것을 의미하며 실제 마늘농가의 월동 후 약제 사용횟수와 일맥상통하는 부분이다. 하지만, 어떤 전략을 사용해도 control 1, 2, 3, 4보다 방제효과는 우수할 것으로 기대되나, 저항성 발현 방지 및 약제별 약효 특성을 고려해서 효율적인 처리 전략을 선택할 필요가 있다(Kuwahara, 1988; Chen and Lo, 1989; Chen and Lo, 1990; Kuwahara et al., 1991).

뿌리응애 발육단계별 약효특성을 살펴보면 abamectin과 emamectin benzoate는 GABA (Gamma amino butyric acid) receptor와 GluCl<sub>s</sub> (glutamate-gated chloride channels)의 조절인자로서 억제신경 전달 조절을 통해 마비를 일으켜 죽게 만드는 작용기작을 가지고 있다(Grant, 2002; Wolstenholme and Rogers, 2006; IRAC, 2020). Abamectin + emamectin benzoate는 뿌리응애 성충, 약충, 유충에 우수한 효과를 나타냈으며, 단제에 비해 상승효과를 확인할 수 있었다. 하지만 성충의 경우 타 약제에 비해 다소 늦게 효과가 나타났고, 약효를 받아 죽은 암컷 성충 체내 알과 부화한 유충에 대해서도 효과가 미비하였다. 이러한 약제특성을 고려했을 때 abamectin + emamectin benzoate는 뿌리응애 밀도가 낮은 발생초기(약제 처리 전략 1회차 처리)에 처리하는 것이 효과적일 것이라 사료된다. Fluxametamide는 GABA-gated chloride channel allosteric modulators로 작용하는 isoxazoline 계통의 신규물질로써, 2018년부터 국내 작물보호제로 등록되어 시판되고 있다(Ozoe et al., 2010; Asahi et al., 2018; IRAC, 2020; RDA, 2021). 뿌리응애의 모든 발육단계에서

**Table 6.** Tested acaricides and treatment strategies

Treatment strategies	Treatment number (Interval 10 days)		
	1st	2nd	3rd
1	Dimethoate EC	Abamectin + Emamectin benzoate ME	Fluxametamide EC
2	Abamectin + Emamectin benzoate ME	Dimethoate EC	Fluxametamide EC
3	Abamectin + Emamectin benzoate ME	Fluxametamide EC	Dimethoate EC
4	Carbaryl WP	Abamectin + Emamectin benzoate ME	Fluxametamide EC
5	Fluxametamide EC	Abamectin + Emamectin benzoate ME	Dimethoate EC
Control 1	- <sup>a)</sup>	Abamectin + Emamectin benzoate ME	-
Control 2	-	Dimethoate EC	-
Control 3	-	Carbaryl WP	-
Control 4	-	Fluxametamide EC	-

<sup>a)</sup> Not treatment

**Table 7.** Comparison of treatment strategies to control *R. robini* on garlic fields (Geochang, Seosan, Muan), April 2021

Treatment strategies	Treatment number (Interval 10 days)			After 10 days of 3rd treatment					
				Geochang		Seosan		Muan	
	1st	2nd	3rd	Survival (Mean ± SE)	Control value (%)	Survival (Mean ± SE)	Control value (%)	Survival (Mean ± SE)	Control value (%)
1	DI <sup>a)</sup>	AE	FLU	46.0 ± 10.0 c <sup>c)</sup>	94.3	69.3 ± 7.5 cde <sup>c)</sup>	92.2	29.7 ± 7.0 c <sup>c)</sup>	94.2
2	AE	DI	FLU	44.0 ± 4.9 c	94.5	52.3 ± 7.8 e	94.1	10.7 ± 3.5 c	97.9
3	AE	FLU	DI	43.3 ± 10.3 c	94.6	61.7 ± 12.4 de	93.1	17.3 ± 2.7 c	96.6
4	CA	AE	FLU	48.3 ± 10.8 c	94.0	66.0 ± 8.5 de	92.6	25.3 ± 4.3 c	95.1
5	FLU	AE	DI	39.3 ± 7.5 c	95.1	77.3 ± 9.8 cde	91.3	15.7 ± 5.2 c	96.9
Control 1	- <sup>b)</sup>	AE	-	130.3 ± 14.4 b	83.8	207.7 ± 9.6 bcd	76.7	86.7 ± 7.4 bc	83.0
Control 2	-	DI	-	168.7 ± 26.0 b	79.1	282.0 ± 20.8 b	68.3	114.3 ± 15.8 b	77.6
Control 3	-	CA	-	139.0 ± 10.8 b	82.8	214.3 ± 12.0 bc	75.9	131.3 ± 12.3 b	74.3
Control 4	-	FLU	-	141.0 ± 13.1 b	82.5	183.3 ± 20.9 bcde	79.4	90.7 ± 10.3 bc	82.3
Untreated	-	-	-	806.7 ± 33.0 a		890.7 ± 90.8 a		511.3 ± 47.8 a	

<sup>a)</sup> AE: Abamectin + emamectin benzoate, CA: Carbaryl, DI: Dimethoate, FLU: Fluxametamide

<sup>b)</sup> Not treatment

<sup>c)</sup> Means followed by the same letters are not significantly different ( $p < 0.05$ ; Tukey's studentized range test (SAS Institute 9.4))

우수한 효과뿐만 아니라 속효성을 나타냈다. 다만 실내검정 시 죽은 암컷 성충 체내 알의 부화율이 carbaryl, dimethoate 보다 다소 높았으며, 미비하지만 알에서 부화한 유충과 움직임이 확인됐다. 이로 인해 충분한 먹이가 있는 환경에서는 성충으로의 발달, 개체수 증가의 문제가 우려되었기 때문에 밀도가 높은 2회차보다는 1회차 또는 3회차에 처리하는 것이 효과적일 것으로 판단된다. Carbaryl과 dimethoate는 AChE (Acetylcholinesterase) inhibitor로써 각각 작용기 작그룹 1a, 1b에 속해 있다(Koshlukova and Reed, 2014; IRAC, 2020). 두 약제는 성충, 약충, 유충에 효과적이었고, 특히 약효에 의해 죽은 암컷 성충 체내 알과 체내 유충에 대한 효과도 우수했다. 약제 처리 전략의 1, 2, 3회차 어느 시기에 약제처리 하더라도 모두 높은 효과를 나타낼 것으로

예상된다. 하지만, 뿌리응애를 효과적으로 방제하고, 약제 저항성 발현을 막기 위해서는 뿌리응애 발육단계와 약제 특성, 처리시기, 교호 살포 등을 종합적으로 고려하여야 한다. 따라서 본 연구결과를 바탕으로, 뿌리응애를 방제하기 위한 약제처리 방법을 제시하고자 한다. 뿌리응애 밀도가 낮은 발생초기에는 abamectin + emamectin benzoate를 처리하여 초기방제를 도모한다. 뿌리응애 밀도가 높아지는 중기에는 성충, 약충, 유충과 죽은 성충 체내까지 효과를 볼 수 있는 carbaryl 또는 dimethoate를 처리하여 확실하게 밀도를 낮춘다. 이후 fluxametamide를 처리하여 빠른 효과로 잔존하는 뿌리응애를 제거한다. 이러한 약제 처리 전략 2가 뿌리응애의 약제 저항성 발현도 방지하면서 약제별 약효 특성을 고려한 이상적인 뿌리응애 약제방제 처리 전략이라고 판단된다.

위 결과들을 통해 뿌리응애에 대한 약제별 약효특성과 처리시기를 올바르게 인지하고 최적의 약제 처리 전략을 적용함으로써 마늘 월동 후 뿌리응애 방제에 도움이 될 것으로 사료된다.

## Author Information and Contributions

Jong-Ha Ahn<sup>1,2</sup>, Agrigento Research Institute Co., Ltd, Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-9629-6648>

Tae-Gu Hwang<sup>1</sup>, Agrigento Research Institute Co., Ltd, Research director

Sun-Ran Cho<sup>2</sup>, Department of Plant Medicine, Chungbuk National University, Postdoctoral researcher

Gil-Hah Kim<sup>2</sup>, Department of Plant Medicine, Chungbuk National University, Professor, <https://orcid.org/0000-0001-6256-8759>

Conceptualization, Jong-Ha Ahn, Tae-Gu Hwang and Gil-Hah Kim; methodology, Jong-Ha Ahn and Tae-Gu Hwang; investigation, Jong-Ha Ahn; data curation, Jong-Ha Ahn; writing-original draft preparation, Jong-Ha Ahn and Sun-Ran Cho; writing-review and editing, Sun-Ran Cho and Gil-Hah Kim; supervision, Gil-Hah Kim

## 이해상충관계

저자는 이해상충관계가 없음을 선언합니다.

## Literature Cited

- Asahi M, Kobayashi M, Kagami T, Nakahira K, Furukawa Y, et al., 2018. Fluxametamide: A novel isoxazoline insecticide that acts via distinctive antagonism of insect ligand-gated chloride channels. *Pestic. Biochem. Physiol.* 151:67-72.
- Chen JS, Lo KC, 1989. Susceptibility of two bulb mites, *Rhizoglyphus robini* and *R. setosus* (Acarina: Acaridae), to some acaricides and insecticides. *Exp. Appl. Acarol.* 6:55-66.
- Chen JS, 1990. An improved method for determining the susceptibility of *Rhizoglyphus robini* and *R. setosus* (Acarina: Acaridae) to pesticides. *Exp. Appl. Acarol.* 8(3): 175-178.
- Chen JS, Lo KC, 1990. Toxicity of organophosphorus insecticides to diazinon-reversely-selected, pesticide-pressure-relaxed and field-resistant strains of bulb mite *Rhizoglyphus robini* (Acari: Acaridae). *Exp. Appl. Acarol.* 8(4):243-252.
- Chmielewski W, 2001. Buckwheat sprouts as a food of *Rhizoglyphus echinopus* (f. et r.) (acari: acaridae) reared under laboratory conditions. *The Proceeding of the 8th ISB.* 681-686.
- Cho JE, Lee SK, 2008. Current research status of postharvest technology of garlic (*Allium sativum* L.). *Korean J. Hortic. Sci. Technol.* 26(3):350-356.
- Choi CS, Park IS, Lee JH, 1988. Studies on the ecology and the control method of the bulb mite *Rhizoglyphus echinopus*. *F.&R. Res. Rept. RDA.* 30(2):14-19.
- Choi IH, 1988. Studies on ecological characteristics and chemical control of the bulb mite, *Rhizoglyphus robini* Claparede, in garlic and lily. Chungbuk National University. <http://www.chungbuk.ac.kr/>.
- Choi SY, Lee SW, Chung BK, 1983. Effects of side-furrow-treated carbofuran(3G) on the control of onion maggots (*Hylemyia antiqua* Meigen; Anthomyiidae) and on the growth response of garlicks. *Korean J. Appl. Entomol.* 22(4):271-276.
- Cohen E, Tamar J, 1992. Phagodeterrent response of the bulb mite *Rhizoglyphus robini* to various pyrethroids and some of their cleavage products. *Pest. Sci.* 35(2):125-129.
- Díaz A, Okabe K, Eckenrode CJ, Villani MG, Oconnor BM, 2000. Biology, ecology, and management of the bulb mites of the genus *Rhizoglyphus* (Acari: Acaridae). *Exp. Appl. Acarol.* 24(2):85-113.
- Errampalli DD, Knowles CO, 1990. Cholinesterase inhibition in the bulb mite *Rhizoglyphus echinopus* (Acari: Acaridae) in relation to the acaricidal action of organophosphates and carbamates. *Exp. Appl. Acarol.* 9:19-30.
- Fan QH, Zhang ZQ, 2003. *Rhizoglyphus echinophus* and *Rhizoglyphus robini* (Acari: Acaridae) from Australia and New Zealand: identification, host plants and geographical distribution. *Systematic & Applied Acarology Special Publications.* 16(1):1-16.
- Gencsoylu I, Liu W, Usmani KA, Knowles CO, 1998. Toxicity of acaricides to the bulb mite *Rhizoglyphus echinopus* (Acari: Acaridae). *Exp. Appl. Acarol.* 22:343-351.
- Gerson U, Yathom S, Katan J, 1981. A demonstration of bulb mite control by solar heating of the soil. *Phytoparasitica.* 9:153.
- Gerson U, Cohen E, Capua S, 1991. Bulb mite, *Rhizoglyphus robini* (Astigmata: Acaridae) as an experimental animal. *Exp. Appl. Acarol.* 12:103-110.
- Grant AN, 2002. Medicines for sea lice. *Pest Manag. Sci.* 58(6):521-527.
- Hamed MS, Knowles CO, 1989. Penetration of pesticides into the bulb mite *Rhizoglyphus echinopus* (Acari: Acaridae). *Exp. Appl. Acarol.* 7(3):201-218.
- Hoy MA, Cave FE, 1985. Laboratory evaluation of avermectin as a selective acaricide for use with *Metaseiulus occidentalis* (Nesbitt) (Acarina: Phytoseiidae). *Exp. Appl. Acarol.* 1(2):139-152.



- Hwang JM, Ha HT, Choi HS, 2009. Field performance of seed garlic on cultivars collected from the different growing regions. *Korean J. Hortic. Sci. Technol.* 27(4):567-571.
- IRAC, 2020. <https://irac-online.org/modes-of-action/> (accessed on 14 December, 2020).
- Kim EH, Yang JO, Yoon CM, Ahn KS, Kim GH, 2007. Inheritance and cross resistance of acequinocyl resistance in twospotted spider mite, *Tetranychus urticae*. *Korean J. Pestic. Sci.* 11(2):125-130.
- Ko SH, 2017. Screen and evaluation of acropathogenic fungi to the bulb mite, *Rhizoglyphus robini* (Acarina: Acaridae). Chungbuk National University. <http://www.chungbuk.ac.kr/>.
- Konior M, Radwan J, Kolodziejczyk M, 2001. Polyandry increases offspring fecundity in the bulb mite. *Evolution.* 55(9):1893-1896.
- Koshlukova SE, Reed NR, 2014. Carbaryl. *Encyclopedia of Toxicology.* 668-672.
- Kuwahara M, 1988. Resistance of the bulb mite, *Rhizoglyphus robini* Claparede to organophosphorus insecticides. *Appl. Entomol. Zool.* 22(2):96-100.
- Kuwahara M, Konno Y, Shishido T, 1991. Mechanism of fenitrothion resistance in the organophosphate-resistant bulb mite, *Rhizoglyphus robini* Claparede (Acarina: Acaridae). *Appl. Entomol. Zool.* 26(2):205-214.
- Leigh DM, Smallegange IM, 2014. Effects of variation in nutrition on male morph development in the bulb mite *Rhizoglyphus robini*. *Exp Appl. Acarol.* 64(2):159-170.
- Lensa I, Sabelis MW, Bolland HR, Conijin CGM, 1995. Candidate natural enemies for control of *Rhizoglyphus robini* Claparede (Acari: Astigmata) in lily bulbs: exploration in the field and pre-selection in the laboratory. *Exp Appl. Acarol.* 19(11):655-669.
- Liu TX, Chen TY, 2000. Effects of the chitin synthesis inhibitor buprofezin on survival and development of immatures of *Chrysoperla rufilabris* (Neuroptera: Chrysopidae). *J. Econ. Entomol.* 93(2):234-239.
- Na SY, Cho MR, Kim DS, Park KW, Woo CK, et al., 1998. Survey on the pest of stored garlic. *Korean J. Appl. Entomol.* 37(1):65-71.
- Ofek T, Gal S, Inbar M, Lebiush-Mordechai S, Tsror L, et al., 2014. The role of onion-associated fungi in bulb mite infestation and damage to onion seedlings. *Exp Appl. Acarol.* 64:437-448.
- Ozoe Y, Asahi M, Ozoe F, Nakahira K, Mita T, 2010. The antiparasitic isoxazoline A1443 is a potent blocker of insect ligand-gated chloride channels. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 391(1):744-749.
- Park DS, Kim TH, Kim SS, Lee SM, Kim SM, et al., 2004. Monitoring of pesticide residues at alpine and sloped-land in Gangwondo, Korea. *Korean J. Pestic. Sci.* 8(3):189-197.
- Park YU, 2019. Occurrence and control strategies of major garlic pest in chungbuk province. Chungbuk National University. <http://www.chungbuk.ac.kr/>.
- Park YU, Lee JS, Jeong JH, Min JH, Chang WB, et al., 2019. Seasonal occurrence and susceptibility of insecticides to bulb mite, *Rhizoglyphus robini* (Acari: Acaridae) on northern garlic field in Chungbuk area. *Korean J. Pestic. Sci.* 23(2):79-85.
- Polis GA, 1981. The evolution and dynamics of intraspecific predation. *Annual Review of Ecology and Systematics.* 12(1):225-251.
- Radwan J, Bogacz I, 2000. Comparison of life-history traits of the two male morphs of the bulb mite, *Rhizoglyphus robini*. *Exp. Appl. Acarol.* 24:115-121.
- Radwan J, Klimas M, 2001. Male dimorphism in the bulb mite, *Rhizoglyphus robini*: fighters survive better. *Ethol. Ecol. Evol.* 13(1):69-79.
- Radwan J, Unrug J, Snigorska K, Gawronska K, 2004. Effectiveness of sexual selection in preventing fitness deterioration in bulb mite populations under relaxed natural selection. *J. Evol. Biol.* 17(1):94-99.
- RDA, 2021. <http://psis.rda.go.kr/> (accessed on 4 January, 2021).
- Van den Beuken TPG, Stockwell LW, Smallegange IM, 2019. Et tu, brother? Kinship and increased nutrition lower the incidence of cannibalism in male bulb mites. *Animal Behaviour.* 152:45-52.
- White SM, Dunbar DM, Brown R, Cartwright B, Cox D, et al., 1997. Emamectin benzoate: a novel avermectin derivative for control of lepidopterous pest in cotton. *Beltwide Cotton Conferences.* 2:1078-1082.
- Wolstenholme AJ, Rogers AT, 2006. Glutamate-gated chloride channels and the mode of action of the avermectin/milbemycin anthelmintics. *Parasitology.* 131(S1):S85-95.

## 월동 후 마늘 뿌리응애에 대한 약제방제 처리 전략

안종하<sup>1,2</sup> · 황태구<sup>1</sup> · 조선란<sup>2</sup> · 김길하<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>아그리젠토(주) 부설연구소, <sup>2</sup>충북대학교 식물의학과

**요 약** 월동 후 마늘농가의 효율적인 뿌리응애 방제전략을 제시하고자 10종 약제의 뿌리응애 발육단계별 살비효과를 확인하고, 교호살포를 고려한 약제 방제 처리 전략 프로그램을 적용하였다. 실내검정에서 carbaryl, dimethoate, fluxametamide는 성충과 약충 뿐만 아니라 약효로 인해 죽은 암컷 성충 체내 알과 알에서 부화한 유충에도 높은 살비효과를 나타내었다. Abamectin + emamectin benzoate는 성충과 약충에 우수한 살비효과를 나타냈다. 치사 증상은 크게 ① 다리의 비정상적인 수축과 이완, ② 몸 쪽으로 구부러진 다리, ③ 체액의 용출, ④ 질게 변색된 몸체 4가지로 나타났다. Carbaryl 외 3종 약제로 5가지 약제 처리 전략을 3개 지역(거창, 서산, 무안)에 시험한 결과 5가지 전략 모두 control 1, 2, 3, 4보다 높은 방제가를 나타냈다. 특히 약제별 약효특성, 약제 처리시기, 교호살포를 종합적으로 고려한 최적의 처리 전략은 발생초기 밀도를 낮출 수 있는 abamectin + emamectin benzoate 1회차 처리, 다발생기 성충, 약충 뿐만 아니라 죽은 암컷 성충 체내 알과 유충까지 효과를 나타내는 carbaryl 또는 dimethoate 2회차 처리, 남아있는 뿌리응애를 빠른 효과로 제거할 수 있는 fluxametamide 3회차 처리 전략인 strategy 2이다. 이 결과는 마늘 월동 후 뿌리응애 방제 프로그램의 기초 자료로 이용될 수 있을 것이다.

**색인어** 뿌리응애, 살비활성, 약제 처리 전략