

## 생육환경 조절에 의한 진딧물 포식성 무당벌레(*Harmonia axyridis*)의 장기간 저장

박용철\* · 김일섭<sup>1</sup>

강원대학교 농업생명과학대학 생물환경학부 응용생물전공

<sup>1</sup>강원대학교 농업생명과학대학 식물응용과학부 원예전공

### Long Term Storage of the Aphidophagous Lady Beetle, *Harmonia axyridis* (Coccinellidae: Coleoptera), by Manipulating Living Conditions

Yong Chul Park\* and Il-Seop Kim<sup>1</sup>

Division of Biological Environment, College of Agriculture and Life Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

<sup>1</sup>Division of Applied Plant Science, College of Agriculture and Life Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

**Abstract.** The aphidophagous lady beetle, *Harmonia axyridis*, is induced to undergo reproductive diapause by low temperature treatment. The diapause of the adult beetle can be maintained without supplying the diet up to 5 months at 4°C. The diapause can be induced any time including during the summer, allowing the beetle to be supplied to the field for the control of aphids through the year. Fecundity and longevity after the reproductive diapause is thought to be satisfactory enough for the control of aphids in the field. Methoprene, an analog of reproductive hormone of JH, increases the early fecundity of the beetle.

**Key words :** *Harmonia*, diapause, fecundity, longevity, methoprene

\*Corresponding author

## 서 언

유기농 또는 무농약 재배에 대한 인식과 필요성이 높아지면서 천적을 이용한 해충 방제법 개발이 절실히 요구되고 있다. 무당벌레류는 진딧물, 각지벌레, 응애, 은살가루이, 잎벌레 등의 천적으로 해충의 생물학적 방제에 이용가치가 높은 재료이다(Hodek과 Honek, 1973; Seo와 Youn, 2002).

우리나라에서 널리 분포하며 초본과 목본식물에 서식하는 진딧물을 비교적 가리지 않고 포식하는 종중의 하나가 무당벌레(*Harmonia axyridis*)이다(Park과 Park, 1994; Park과 Koo, 2001; Seo와 Youn, 2002). 무당벌레는 번식력이 좋고 진딧물의 포식력이 뛰어나며 기생자에 의한 피해가 적은 것으로 나타나고 있다(Park과 Park, 1994; Won 등, 1996).

무당벌레의 생물학적 방제 이용에 대한 많은 연구는 주로 인공사육과 대량증식에 대한 것이나 아직 적절한 사육 방법이 개발되지 않고 있는 실정이다(Okada와 Matuka, 1973; Hong 등, 1995; Seo와 Youn, 2000; Park과 Koo, 2001). 국내에서 Hong과 Park(1996)이 무당벌레의 성충사육을 위한 인공먹이를 개발하였으나 이 먹이는 유충의 사육에는 부적합한 것으로 나타나 무당벌레의 전체 발육단계를 위한 인공사료의 개발에는 다소 시간이 걸릴 것으로 생각된다.

현재의 사육 기술수준에서 진딧물의 성공적 방제를 위해서는 확보된 무당벌레를 장기간 저장할 수 있는 무당벌레의 생육환경 조절에 대한 연구가 필요하다. 동절기뿐만 아니라 하절기에도 무당벌레의 장기간 저장이 가능하다면 농가에서 필요시 언제라도 무당벌레를 공급 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 무당벌레의 장, 단기간 저장 및 관리를 위한 기술의 개발을 위하여 저온처리에 의한 성충의 생식적 휴면을 유도하였다. 생식적 휴면 후에 생물적 활력의 회복 지표로 25°C 조건에서 수명과 산란력을 조사하였다. 성충기에 생식에 관여하는 juvenile hormone(JH) 유사체인 합성 methoprene을 이용한 산란력 증진 및 산란시기촉진 효과에 대한 실험도 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 자연에서 월동준비 된 성충의 채집과 저장

자연 상태에서 월동 준비를 마친 무당벌레의 성충을 춘천, 홍천, 양구, 가평 지역에서 채집하였다. 채집 시기는 10월말에서 11월 초순경에 미풍이 있는 청명한 날을 택하였다. 건물의 벽에 날아드는 개체를 1.5리터 플라스틱 병으로 만든 포획 도구를 이용하여 포획하였다. 포획된 성충은 1-2주 동안 인공먹이(Hong 등, 1995)를 섭식시킨 후 25×25×25 cm 스티로폼 상자에 넣어 4°C가 유지되는 항온기에 저장하였다(Park과 Koo, 2001).

저온저장 기간(생식적 휴면) 중에는 먹이를 공급하지 않았다. 자연에서 월동하는 기간인 저온저장 150일 후에 성충의 생존율을 조사하였다. 저온저장 기간 중에 수분공급을 위하여 1개월 간격으로 스프레이로 증류수를 저장상자 내부로 뿌려주었다. 저장기간 중에는 3,000 lux 전등으로 10L/14D의 광주기를 유지시켰으며 불필요한 물리적 충격은 자제하였다.

### 하절기 성충의 저온처리에 의한 생식적 휴면 유도 및 저장

하절기 성충을 대상으로 저온처리에 의한 생식적 휴면을 유도하였다. 6월과 9월에 주로 무궁화, 옥수수, 고추에서 무당벌레의 번데기를 채집하여 실내에서 우화시킨 후 10일간 인공먹이(닭의 간 5 parts/설탕 2 parts)를 공급하였다.

생식적 휴면을 유도하기 위하여 15°C에서 7일간 사육하면서 매일 1시간씩 4°C에서 저온 처리하였다. 이후 성충은 25×25×25 cm 스티로폼 박스에 넣어 4°C에서 저온 저장하면서 저장 75일, 150일, 180일 기간의 생존 개체를 조사하였다. 저온저장 기간에는 먹이를

공급하지 않았다. 저장 중에는 1달 간격으로 증류수를 스프레이로 살포하였고 불필요한 물리적 자극은 삼가하였다. 저온저장은 3000 lux 전등으로 10L/14D의 광주기 하에서 실시하였다.

### 저온저장 후 상온에서 무당벌레의 성충 수명과 산란력

4°C 저온에서 생식적 휴면 중인 개체를 무작위로 선별하여 25°C에서 사육하였다. 닭의 간을 주 성분으로 하는 인공먹이를 이용하여 산란력과 수명을 매일 2회씩 조사하였다. 암, 수 한 쌍씩을 무작위로 30쌍을 선별하여 직경 9 cm petri dish에서 인공먹이를 2일 간격으로 공급하였다. 조사 기간 동안 수컷이 죽었을 경우에는 새로운 수컷을 공급하여 암컷의 산란력을 유지시켰다. 광주기는 16L/8D로 하였다.

### Methoprene 투여가 산란에 미치는 영향

곤충의 성충시기에 생식호르몬 역할을 하는 JH와 동일한 생리적 효과를 나타내는 합성 methoprene을 암컷에게 주당 1회씩 1 µg을 투여한 후 수명과 산란력을 조사하였다. 소형 주사기를 이용하여 무작위로 선별된 30마리의 암컷의 가슴 등 쪽에 acetone에 용해된 methoprene (1 µg/1 µl) 1 µl를 표피에 도말하여 체내로 흡수되도록 하였다.

사육은 온도 25°C, 광주기 16L/8D의 조건에서 실시하였다. 인공 먹이는 2일 간격으로 교체하면서 산란력과 수명을 조사하였다. 조사기간 중 수컷이 사망하였을 경우 새로운 수컷을 공급하였다.

## 결과 및 고찰

### 동절기 무당벌레의 생식적 휴면 환경 조성 및 수명 조사

무당벌레는 늦가을부터 초겨울에는 대량으로 무리를 지어 이동하는 습성이 있으며, 월동장소에는 수천에서 수만에 이르는 개체가 밀집하여 월동을 하게 된다(Hodek과 Honek, 1973). 자연에서의 주요 월동처는 바위틈, 외판 인가의 건물 벽 사이, 지하실 같은 곳으로 알려지고 있다(Hodek과 Honek, 1973).

우리나라의 중부지방 평지일 경우 10월말에서 11월 초 순이면 무당벌레의 성충들이 대량으로 무리를 지어 월동처로 이동하는 것이 관찰된다(Park과 Koo, 2001).

**Table 1.** Survival ratio of the winter population of the aphidophagous lady beetle, *Harmonia axyridis*, adult after 5 month storage at 4°C

Site collected	No of diapaused	No. of survived	% survived
Gapyeong	3602	2969	82.4
Yanggu	1650	981	59.4
Chunchon	1880	453	24.0
Total	7,132	4,403	61.7

포획된 성충을 특별한 처리 없이 인위적인 조건인 4°C, 10L:14D인 광주기 조건에서 5개월(추정되고 있는 자연에서의 월동기간) 보존한 후 생존율을 조사한 결과 평균 61.7%로 나타났다.

생존율은 채집 지역에 따라 심한 차이를 보이고 있다(Table 1). 가평, 양구, 춘천에서 채집된 성충의 경우 각각 82.4%, 59.4%, 24.0%가 생존하였다. 채집 지역에 따른 생존력의 차이에 대한 원인은 앞으로 연구되어야 할 과제이나 무당벌레의 성충은 먹이의 급여 없이 장기간 저온저장이 가능하다는 것을 알 수 있다.

**하절기 무당벌레 성충의 저온처리에 의한 생식적 휴면 유도 및 저장**

무당벌레의 성충은 동절기와 마찬가지로 하절기에도 저온처리에 의한 생식적 휴면이 가능함을 보여주고 있다. 6월 개체군은 주로 무궁화나무에서 채집되었으며 저온저장 75, 150, 180일 후의 생존율이 각각 47.8%, 25.1%, 5.3%로 나타났다. 9월 개체군은 주로 옥수수에서 채집되었으며 75, 150일 후의 생존율이 64.1%, 23.0%로 나타났다(Table 2).

전반적으로 저장 기간이 길어지면서 생존율이 떨어지며 자연 상태에서의 휴면 기간인 150일 이후인 180일에는 생존율이 5.3%로 매우 저조한 것을 알 수 있다(Table 2). 자연에서 동절기 휴면(10월 말-11월 초)을 준비한 개체군의 150일 평균 수명은 61.7%(Table

**Table 2.** Survival ratio of the summer population of the aphidophagous lady beetle, *Harmonia axyridis*, adult at 4°C

Population	Diapause Terms (days)	No. of diapaused	No. of survived	% survived
June	75	2765	1323	47.8
	150	562	141	25.1
	180	186	10	5.3
September	75	3218	2062	64.1
	150	100	23	23.0

1)이나 인위적으로 생식적 휴면이 유도된 6월과 9월 개체군은 각각 25.1%, 23.0%(Table 2)로 나타나고 있다.

인위적으로 생식적 휴면이 유도된 하절기 성충은 생존율은 다소 떨어지나 장기간 저장이 가능하다는 것을 보여주고 있다. 앞으로 광주기와 온도에 대한 보완 연구가 이루어지면 저장기간 중의 수명을 더 높일 수 있을 것으로 기대된다.

월동기간 5개월(Table 1)과 상은 평균수명 약 3개월(Table 3)을 포함하면 무당벌레 성충의 수명은 8개월 이상 유지가 가능한 것으로 나타나고 있다. 동절기와 마찬가지로 하절기에 저온처리에 의한 성충의 장기간 저장이 용이(Tables 1과 2)하다는 것은 시설 또는 비가림 재배지의 진딧물의 년 중 방제를 가능하게 할 수 있다는 것을 의미한다.

**저온저장 후 상온 조건(25°C)에서 수명과 산란력**

무당벌레 6월 개체군을 대상으로 75일, 150일 저온저장 후 25°C에서 수명과 산란력을 비교, 조사한 결과 전반적으로 비슷한 양상을 보인다(Table 3). 저온저장 75일 개체군의 산란 수는 평균 794개, 수명은 암컷 110일, 수컷 146일로 나타났다. 저온저장 150일 개체군의 산란 수는 평균 931개, 수명은 암컷 108일, 수컷 116일로 나타났다.

일생동안 최대 산란력을 보이는 개체의 경우 75일

**Table 3.** Fecundity and longevity of June population of the aphidophagous lady beetle, *Harmonia axyridis*, adult after the reproductive diapause at 4°C

Diapause terms	Preoviposition period (days)	Percentage of first oviposition within 15 days	Fecundity	Number of fertile females	Longevity (days)		Hatching ratio (%)	Max. No. of eggs laid
					♀	♂		
75	22.9 27	63	794 609	28/30	110 ± 34	146 ± 58	83	2329
150	17 25	80	931 721	23/26	108 ± 30	116 ± 31	68	2753

휴면개체는 2,329개, 150일 개체는 2,753개로 비슷한 양상을 보였다. 부화율은 75일 개체군 83%, 150일 개체군 68%로 나타났다. 일생동안 산란을 하는 개체는 75일 개체군 30마리 중 28마리, 150일 개체군 26마리 중 23마리로 유사하였다. 사육 개사 15일 이내에 초산을 하는 개체는 75일 휴면 개체군에서 63%, 150일 개체군에서 80%로 나타났다.

본 결과와 Hong과 Park(1996)의 결과를 비교하여 보면 저온저장 후에 상온(25°C)에서 무당벌레는 생육학적 활력의 지표가 될 수 있는 산란력과 수명을 정상적으로 회복하는 것으로 나타나고 있다. 무당벌레의 성충은 년 중 어느 시기에든 저온처리에 의한 생식적 휴면의 유도, 유지가 가능(Tables 1 and 2)하며 휴면 기간(사육 저장) 중에 포장에 살포하여도 정상적인 먹이활동과 생식활동(Table 3)을 할 수 있는 것으로 결론지을 수 있다.

**Methoprene 투여가 산란에 미치는 영향**

곤충 호르몬 중의 하나인 JH는 성충시기에 생식활동과 휴면을 포함한 각종 생리현상을 조절한다. 무당벌레의 암컷에게 JH 유사체인 methoprene을 투여할 경우 알의 주요성분인 난황단백질의 생성시기가 빨라지게 된다(Hong과 Park, 1996). 무당벌레의 9월 개체군의 암컷에게 methoprene을 1주일 간격으로 투여하면 생식활동에 다소의 변화가 생기는 것으로 나타나고 있다(Table 4).

Methoprene은 무당벌레의 생식력 어부에는 별다른 영향을 주지 않는 것으로 사료되나 산란수에는 다소 영향을 주는 것으로 나타나고 있다. 일생동안 가장 산란력이 우수한 개체의 산란 수는 무처리구 1,812개, methoprene 처리구 1,771개로 별다른 차이를 보이지 않고 있다. 부화율에 있어서는 무처리구가 74%, metho-

prene 처리구가 54%로 methoprene이 부화율에 다소 영향을 줄 수도 있다는 사실을 암시하고 있다. 각 처리구당 30마리의 암컷 중에서 일생동안 산란을 하지 못하는 개체수는 무처리구 2개체, methoprene처리구 1개체로 나타났다.

무처리구의 일생동안 평균 산란 수는 431개, 수명은 암컷 95일, 수컷 125일로 나타났다. Methoprene 처리구의 경우 산란 수는 무처리구 보다 다소 높은 633개, 수명은 암컷 86일, 수컷 115일로 나타났다(Table 4). Fig. 1의 경우 무처리구와 methoprene 처리구간 주당 산란력을 비교한 것으로 methoprene은 초기 산란력을 증진시키는 경향을 보인다. 무처리 상충의 25°C 평균 생존 기간인 93일이 되는 13주째를 기준으로 1-13주 동안 평균 산란력을 비교해 보면 뚜렷한 차이점 볼 수 있다. Methoprene 투여 집단이 평균 50.02 eggs/female/week이며 무처리구가 평균 32.18 eggs/female/week로 methoprene은 초반기 13주 동안 암컷의 산란력을 높이는 것을 알 수 있다(Fig. 1).

Table 4에서도 15일 이내에 초산을 하는 개체의 비율이 무처리구 43%, methoprene 처리구 73%로 나타나고 있어 methoprene은 암컷의 초기 생식활동을 활

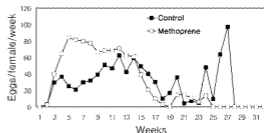


Fig. 1. Weekly fecundity curve of the aphidophagous lady beetle, *Harmonia axyridis*, treated with JH analog, methoprene (N=30).

**Table 4.** Fecundity and longevity of September population of the aphidophagous lady beetle, *Harmonia axyridis*, adult after the reproductive diapause at 4°C

Treatment	Preoviposition period (days)	Percentage of first oviposition within 15 days	Fecundity	Number of fertile females	Longevity (days)		Hatching ratio (%)	Max. No. of eggs laid
					♀	♂		
Control	34.25 35	43	431 452	28/30	93 56	125 48	74	1812
Methoprene	17.72 23	73	633 498	29/30	86 52	115 55	46	1771

발하게 하는 효과를 보임을 알 수 있다. 따라서 methoprene은 무당벌레의 초기 생식활동을 활발하게 유도(Hong과 Park, 1996; Fig. 1)하여 전체적으로 산란력(Table 4)을 높이는 것으로 생각된다. 차후 methoprene 투여량과 시기, 투여횟수 및 방법에 대한 상세한 연구가 진행되면 methoprene은 무당벌레의 생식활동을 효과적으로 조절할 수 있는 물질로 이용 될 수 있을 것으로 생각된다.

무당벌레의 성충 무처리 6월 개체군과 무처리 9월 개체군 간에 150일 휴면 후 산란력을 비교해 보면 6월 군이 평균 931개(Table 3)로 9월 군의 431개(Table 4)보다 2배 이상 높은 것을 알 수 있다. 이에 대한 원인에 대하여 무당벌레의 유충과 성충 성장기 동안 먹이인 진딧물의 밀도와 종류 그리고 사육시 계절의 변화에 따른 외부 온도와 광주기의 변화가 변수로 작용했을 거리는 추측을 할 수도 있으나 확실한 증거는 본 연구의 결과관으로 제시될 수 없는 것으로 생각된다.

## 적 요

진딧물 포식성 무당벌레의 성충을 대상으로 저온처리에 의한 생식적 휴면을 유도하였다. 성충의 인위적인 생식적 휴면의 유지는 4°C에서 5개월 정도까지 가능하며 먹이의 공급이 필요하지 않아 경제적인 무당벌레의 저장법이라 할 수 있다. 하절기를 포함한 계절에 구분 없이 무당벌레의 성충의 저온저장이 가능하여 필요시 어느 때라도 진딧물 발생지에 무당벌레를 공급할 수 있게 되었다.

휴면 후 25°C에서 수명과 산란력이 우수하며 생식호르몬인 juvenile hormone(JH)의 합성 유사체인 methoprene은 암컷의 초반기 생식력을 증진시키는 효과를 나타낸다.

**주제어** : 무당벌레, 휴면, 산란력, 수명, methoprene

## 인용문헌

- Hodek, I. and A. Honek. 1973. Ecology of coccinellidae. Kluwer academic publishers, The Netherlands.
- Hong, O.K., H.C. Park, K.T. Park, and Y.C. Park. 1995. Persistence of the enzymatic activity of dietary acid phosphatases from the lumen of the midgut of the lady beetle, *Harmonia axyridis*. Korean J. Appl. Entomol. 34(2):95-99.
- Hong, O.K. and Y.C. Park. 1996. I. Laboratory rearing of the aphidophagous ladybeetle, *Harmonia axyridis*; Yolk protein production and fecundity of the summer adult female. Korean J. Appl. Entomol. 35(2):146-152.
- Koo, M.S. and Y.C. Park. 2002. Gut luminal digestive proteinases of adult lady beetle, *Harmonia axyridis* (Coccinellidae: Coleoptera), fed an artificial diet. J. Asia-Pacific Entomol. 5(2):167-173.
- Okada, I. and M. Matsuka. 1973. Artificial rearing of *Harmonia axyridis* on pulverized drone honey bee brood. Environ. Ent. 21(1):301-302.
- Park, K.T. and Y.C. Park. 1994. Survey on the aphidivorous predators for biological control agents. RDA. Agri. Sci. 36:109-118.
- Park, Y.C. and M.S. Koo. 2001. Management of the lady beetle, *Harmonia axyridis*, for the control of the aphid in the greenhouse. Inst. Agr. Sci. Kangwon Nat'l Univ. J. Agr. Sci. 12:33-40.
- Seo, M.J. and Y.N. Youn. 2000. The asian ladybird, *Harmonia axyridis*, as biological control agents: I. Predacious behavior and feeding ability. Korean J. Appl. Entomol. 39(2):59-71.
- Seo, M.J. and Y.N. Youn. 2002. Effective preservation methods of the asian ladybird, *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae), as an application strategy for the biological control of aphids. J. Asia-Pacific Entomol. 5(2):209-214.
- Won, H.J., S.Y. Cho, O.K. Hong, H.C. Park, and Y.C. Park. 1996. Parasitoids of the aphidophagous ladybeetle, *Coccinella septempunctata*. Korean J. Entomol. 26(3):243-247.