

## 환경요인이 무당벌레(*Harmonia axyridis*)의 초시무늬 변이에 미치는 영향

강은진 · 조창욱 · 박초롱 · 윤규식 · 강민아 · 권혜리 · 서미자 · 유용만 · 운영남\*

충남대학교 농업생명과학대학 응용생물학과

### Effects of Environmental factors on Elytra Colored Patterns of Multicolored Asian Lady Beetles, *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae)

Eun Jin Kang, Chang Wook Jo, Cho Rong Park, Kyu Sik Yoon, Min A Kang, Hae Ri Kwon, Mi Ja Seo, Yong Man Yu and Young Nam Youn\*

Dept. Applied Biology, College of Agriculture and Life Sciences, Chungnam National University, Daejeon, 305-764

**ABSTRACT** : There was different between two differential geographical and environmental condition areas on elytra color expression patterns of the multicolored Asian lady beetles (*Harmonia axyridis*). Especially, it was investigated that expression rates of melanic patterns (*conspicua*, *spectabilis* and *axyridis*) relatively increased in overwintering populations collected in highly mean temperature and longer cumulative daylength area. In addition, in the same collection site, the seasonal difference had influenced on color patterns of *H. axyridis*. Although these effects didn't were not observed in the laboratory, environmental conditions such as temperature or cumulative daylength might be factors that gave an effect on color pattern formation.

**KEY WORDS** : *Harmonia axyridis*, Elytra colored patterns, Environmental factor

**초 록** : 지리적 환경적으로 다른 두 지역에서 채집한 무당벌레(*Harmonia axyridis*)의 월동개체군에 있어, 평균기온이 높고 일조시간이 상대적으로 긴 지역에서 멜라닌 계통의 색상패턴이 발현율이 다소 높게 나타나는 것을 확인하였으며, 같은 지역에서 계절적 차이에 따른 무당벌레의 색상패턴별 발생양상 또한 유충시기를 평균기온과 일조시간이 긴 시기에 노출되었던 개체군에서 멜라닌 계통의 색상패턴 발현율이 높게 나타나, 온도나 일조량과 같은 환경조건이 무당벌레의 색상패턴형성에 있어 영향을 미칠 수 있음을 확인하였다.

**검색어** : 무당벌레, 초시색상, 환경요인

무당벌레들은 해충을 방제하는 생물학적 방제인자로서 오랜 역사를 가지고 있으며 이중 무당벌레[*Harmonia axyridis* (Pallas)]는 중앙아시아, 동아시아의 토착종으로 진딧물을 포식하는 진딧물의 주요 천적으로 알려져 있다(Coderre *et al.*, 1995; Koch, 2003; Majerus, 1994).

이렇게 정착에 성공한 무당벌레들은 여러 종류의 진딧물을 섭식할 뿐만 아니라, 깍지벌레, 온실가루이, 총채벌레, 배추좀나방 등의 여러 해충을 포식하여 생물적 방제프로그램에 유용하게 사용되고 있다(Sweetman, 1958; Hagen, 1962; Hodek, 1973; Seo and Youn, 2000, 2002;

\*Corresponding author. E-mail: youngnam@cnu.ac.kr

Youn *et al.*, 2003). 그러나 최근 몇몇 학자들에 의해 미국에서 무당벌레가 몇몇 다른 무당벌레 종의 개체군을 감소시키고, 농작물을 가해하는 해충으로 보고되었으며, 월동을 준비하는 과정에서 건물에 커다란 월동개체군을 형성하는 불쾌곤충으로 보고되기도 했지만(Koch, 2003; Koch *et al.*, 2004; Kenis *et al.*, 2007; Pell *et al.*, 2007), 국내에서는 아직 무당벌레가 미치는 부정적인 영향에 대해 알려진 바가 없다. 이렇게 천적자원으로 주목을 받고 있는 무당벌레의 또 다른 특징은 무당벌레 초시의 다양한 무늬와 색상이다. 동물의 색상과 색상패턴은 고미, 체온조절, 포식활동을 포함한 매우 다양한 유형의 생물학적 현상에 영향을 미치는 것으로 알려져 생물학자들에게 오랫동안 주목을 받고 있으며(Endler, 1978), 이 중 곤충의 날개 형성에서 볼 수 있는 다양한 패턴형성 기작은 발생학적, 세포생물학적, 유전학적, 생화학적 측면에서 매우 흥미로운 문제로 다루어지고 있다(Oshima *et al.*, 1956).

무당벌레의 초시와 앞가슴등판의 색상패턴은 과거의 분류학자들에 의해 서로 다른 종으로 분류되었을 뿐만 아니라 다른 속의 곤충으로 분류되었을 정도로 놀라운 다형성을 가지고 있다(Tan, 1946). 또한 종 내에서 층체 크기나 모양이 다르게 발현될 뿐만 아니라, 100여종 이상의 다른 초시무늬패턴이 보고되는 등 높은 수준의 유전적 다형성이 알려져 있으며(Soares *et al.*, 2001, 2003; Komai, 1956), Tan & Li (1932)는 지역별로 다른 200여종 이상의 색상형태를 보고한 바 있다. 이렇게 다양한 무당벌레의 초시무늬 패턴은 Osawa & Nishida (1992) 그리고 Serpa *et al.* (2003)에 의해 *succinea* 패턴이 속한 'red' non-melanic 그룹과 *conspicua*, *spectabilis*, *axyridis* 패턴이 속한 'black' melanic group으로 분류된 바 있으며, Tan (1946)은 자연계에 존재하는 드문 초시무늬 패턴을 밝은 색상을 *aulica*, 어두운 색상인 *nigra*로 분류, 보고한 바 있다. 검정색이 일반적으로 우성이며, *conspicua*, *axyridis*, *spectabilis*, *succinea* 패턴 순으로 우성을 나타내는 것으로 알려져 있다(Hosino, 1936; Komai, 1956; Sasji, 1971). 이러한 초시색상패턴 발현에 있어 유충시기의 먹이의 양이 색상과 점무늬의 발현에 영향을 미칠 수 있음이 보고된 바 있으며(Grill, 1999), Komai (1950)는 번데기기간 동안에 온도와 습도 조건이 색상의 발현양상이나 개체군내에서의 색상패턴발현 비율에 영향을 미칠 수 있음을 보고한 바 있다. 또한 Osawa & Nishida (1992)는 계절의 변화에 따라 초시무늬패턴의 발현비율에 차이가 있음을 보고하였으며, 지

역적 차이에 따른 초시색상의 변이는 기후적 요인과 지역에 분포하는 먹이 조건에 의해 나타난다고 추론하기도 하였다(Komai, 1956). 특정 환경은 특정 유전자형의 발현에 기초가 되어 초시패턴 발현에 영향을 미쳐(Soares *et al.*, 2003, 2005), 결과적으로 공간적, 시간적 차이 또한 이 종의 다형성 유지의 원인이 될 수 있을 것이라 보고되기도 하였다(Komai, 1956; Osawa & Nishida, 1992; Hodek & Honek, 1996). 하지만, 이와 같은 개체군 내에서의 다양한 유전적 변이는 분자적 수준에서, 형태적 수준에서 보여주는 다형성이라 할 수 있어 무늬패턴이 전적으로 환경적 영향에 의해 조절되는 것은 아니라 할 수 있다(Ford, 1971; Clarke, 1979). Seo *et al.* (2007)은 무당벌레 특정색상패턴별 각각의 교잡을 통하여 초시색상과 문양의 유전적인 면의 일부를 확인하였지만, 이러한 변이들이 유전적 또는 환경적 요인에 의해 일어나는지에 대해 확실히 밝혀진 것은 없다. 따라서 본 논문은 환경적 요인에 의해 무당벌레의 초시다형화 현상이 나타나는지를 조사하기 위해, 사육온도와 먹이, 광주기 등의 사육조건을 달리하여 초시무늬와 패턴별 교잡을 통해 출현하는 자손세대의 초시표현형을 확인하였으며, 서로 다른 지역에서 채집한 무당벌레와 발생시기가 다른 무당벌레의 색상패턴의 비율을 조사하여 무당벌레의 초시표현형에 있어 환경조건이 미치는 영향을 확인하였다.

## 재료 및 방법

### 무당벌레의 사육

2007년 충남 금산군에서 채집한 월동개체군에서 3개의 주요 표현형 패턴(*succinea*-YBM19, *conspicua*-BRA02 그리고 *spectabilis*-BRA04)의 암수 1쌍씩 선발하여 목화진딧물을 공급하며 25±2°C와 50±10% RH, 광주기 L:D=16:8의 실험실 조건에서 식물배양용기(직경×높이=100×40mm, SPL Life Science, Korea)를 사육용기로 사용하여 사육하였으며, 교잡 후 산란한 알을 모두 수거하여 부화시킨 후, 실내에서 진딧물을 공급하여 성충까지 사육하고 그들의 초시패턴을 분석하였다.

### 무당벌레의 초시무늬패턴 발현에 영향을 줄 수 있는 사육환경요인 분석

무늬패턴의 발현에 있어 각 사육환경요인이 미치는

영향을 조사하기 위해 부화 후 12시간 이내의 각각의 무늬패턴별 1령 유충을 식물배양용기(직경×높이=100×40 mm, SPL Life Science, Korea)를 사육용기로 사용하여 각 실험조건에 맞춰 성충이 될 때까지 개체 사육한 후 성충 무당벌레에 발현된 무늬패턴을 조사하였다.

#### 온도

무늬패턴의 발현에 있어 온도가 미치는 영향을 조사하기 위해 20°C, 25°C, 30°C의 온도를 유지하는 인큐베이터에서 사육하였다. 먹이로는 목화진딧물, 무테두리진딧물, 복숭아혹진딧물을 공급하였다.

#### 광주기

무늬패턴의 발현에 있어 광주기가 미치는 영향을 조사하기 위해 16:8, 12:12, 8:16의 광주기로 인큐베이터에서 사육하였으며, 먹이로는 목화진딧물, 무테두리진딧물, 복숭아혹진딧물을 공급하였다.

#### 먹이

무늬패턴의 발현에 있어 먹이가 미치는 영향을 조사하기 위해 오이를 기주로 하여 사육한 목화진딧물, 무를 기주로 하여 사육한 무테두리진딧물, 복숭아혹진딧물을 먹이로 공급하여 사육하였다.

#### 통계분석

무당벌레가 발육하는 동안 각각의 환경요인들이 무당벌레의 무늬패턴의 발현에 미치는 영향과 각 환경요인들 간의 상관관계를 알아보고자 SPSS통계프로그램 (version 14.0)을 이용하여 일원배치분산분석을 통해 통계분석을 실시하였다.

#### 야외채집 및 색상패턴분류 비교

무당벌레는 2007년부터 2008년 12월 중순 동안 무당벌레 월동개체군이 발견되는 대전 유성구 일대와 충남 금산에서 무당벌레 월동개체군과 2009년 5월에 대전 유성구에서 발생한 야외개체군을 채집하여 무당벌레 초시의 4개의 색상패턴별 분류하여 조사, 기록하였다. 2007년부터 2008년에 채집한 월동개체군의 지역 간 색상패턴비율과 유성구 일대의 2008년 월동개체군과 2009년 5월에 채집한 야외개체군을 비교하여 2008년에 채집한 유성구 일대의 월동채집개체군과 2009년 5월에 채집한 야외개체군의 색상패턴비율을 비교하였다. 또한 채집지역의 평균기온과 일조시간을 조사하였으며, 채집 시기의 평균기온을 비교, 색상패턴의 비율을 비교하였다.

### 결과 및 고찰

무당벌레는 동종 내에서의 색상패턴의 변이가 심한 종으로 알려져 있으며, 다양한 표현형을 가진 무당벌레의 표현형 분류는 초기에는 황색 혹은 황적색을 가진 *succinea* 그룹과 *melanic* 그룹으로 분류되어졌으며, 이후 Oshima (1956)는 패턴형성기작연구를 위해, Hoshino (1936)와 Tan (1946, 1949)의 유전적 분석을 기초로 하여 C-type, S-type, A-type, s-type으로 분류한 바 있다. 이후 Komai (1956)는 4개의 그룹으로 나누어 보고하였으며, 본 실험에서는 Seo *et al.* (2007)이 발표한 내용에 따라 *succinea*, *conspicua*, *spectabilis* 그룹의 대표 격인 YBM19, BRA02, BRA04의 무늬를 가지고 있는 무당벌레를 선별하여 사용하였다. 본 연구에서는 색상패턴의 좀 더 세밀한 구분을 위해 *succinea* 그룹에 해당하는



1. *Succinea* 1 : 19 black spots on yellow or red elytra with M-shaped marking on the pronotum

2. *Conspicua* : 2 red spots on black elytra without M-shaped marking on the pronotum

3. *Spectabilis* : 4 red spots on black elytra without M-shaped marking on the pronotum

**Fig. 1.** The color patterns of three forms of the multicolored asian ladybird beetle, *Harmonia axyridis*.

황색 혹은 황적색의 바탕 위에 검은 점이 19개인 것을 YBM19라 규정하였고, 검은색 바탕에 붉은색 혹은 황색의 점이 2개인 것을 BRA02로, 검은색 바탕에 붉은색 혹은 황색의 점이 4개인 것을 BRA04로 규정하여 색상 패턴에 대한 이해를 돕고자 하였다(Fig. 1).

### 온도의 영향

각각의 온도에 따라 사육한 주요 표현형의 자손세대가 모세대와 동일한 색상패턴을 나타낸 비율은 Table 1과 같다. *succinea* 패턴의 경우, 20°C, 25°C, 30°C에서 사육된 자손세대가 모세대와 동일한 색상패턴을 발현한 비율은 각각 88.64%, 86.91%, 88.39%(P=0.299)로 나타났으며, 통계적으로 분석한 결과, 사육온도조건은 자손 1세대의 초시발현 비율에 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다. *Conspicua*, *spectabilis* 패턴의 경우에도 86.91%, 87.65%, 89.88%(P=0.062)과 88.89%, 86.42%, 87.65%(P=0.129)로 나타나 20도에서 30도 사이의 사육 온도는 자손 1세대의 초시발현 비율에 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다. 온도는 자연선택에서 형태적, 생리적, 행동적 변형을 유도하는 비생물적 주요인으로 알려져 있다(Dobzhansky *et al.* 1977, Ricklefs 1990, Sacarrão, 1991). 온도가 무당벌레에 미치는 영향에 대한 연구는 충체의 크기, 섭식량, 발육 등에 대한 연구가 주를 이루고 있는데, 이 중 Soares *et al.* (2003)은 *nigra*와 *aulica* 표현형을 가진 무당벌레의 상대적 먹이 소비율을 온도에 따라 조사했을 때, 10도에서 *nigra* 표현형은 1.9mg, *aulica* 표현형은 3.7mg을 30도에서는 17.7mg과 41.5mg을 나타냄을 보고하였다. 그 결과 온도가 먹이의 상대적 소비율의 제한 요소임을 알 수 있었으며, 각각의 환경요인은 다른 환경요인에 영향을 줄 수 있음을 확인할 수 있었다. 또한 각 표현형의 먹이 소비율이 다르게 나타남으로 표현형에 따라 환경요인의 영향을 다르게 받을 수 있음을 확인할 수 있었다. 또한

Komai (1950)는 번데기 기간 동안 낮은 온도와 높은 습도에서 멜라닌색소가 증가하는 것을 확인하여 온도와 습도가 무당벌레의 색상발현에 영향을 미치는 것으로 보고하였다. Sakai *et al.* (1974)는 발육온도가 무당벌레의 초시패턴의 색상에 영향이 있음을 보고하였으나, 본 연구에서는 사육온도 간 무당벌레의 자손 1세대의 색상패턴 발현에 있어 차이를 확인할 수 없었으며, 이는 온도가 무당벌레의 색상패턴에 영향을 미치지 않았다는 결론을 내릴 수 있다. 하지만, 사육온도의 조건 및 모세대의 인위적 선발에 의해 기인된 결과일 수 있으며, 야외에서의 무당벌레의 유충의 서식환경에서의 온도조건이 본 실험에서 무당벌레 유충에 노출된 온도조건과 정확히 부합되지 않을 수 있다는 점을 고려할 때, 온도의 색상패턴형성에 대한 영향을 단정 지을 수 없을 것으로 생각된다.

### 광주기의 영향

광주기가 초시패턴발현에 있어 미치는 영향을 조사하기 위해, 세 가지 광조건을 사육환경에서 노출한 후, 자손세대의 표현형 패턴을 확인한 결과를 Table 2에 나타내었다. *Succinea* 패턴의 경우 16:8, 12:12, 8:16의 광주기에서 모세대와 동일한 패턴이 각각 88.39%, 88.88%, 86.67%(P=0.150)로 나타나 광주기는 색상패턴 발현에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으며, *conspicua* 패턴과 *spectabilis* 패턴에서도 87.65%, 88.89%, 87.90%(P=0.616)와 89.13%, 87.65%, 86.17%(P=0.051)를 나타내 색상패턴 발현에 미치는 광주기의 영향을 확인할 수 없었다. Ongagna & Iperti (1994)는 16시간 광주기일 때, 광조건 시간이 감소한 9시간과 12시간 광주기일 때보다 발육기간이 확연히 감소하는 것을 알 수 있었다. 또한 Omkar & Pathak (2006)는 *Coelophora saucia* Mulsant(Coleoptera: Coccinellidae)는 16시간 광주기일 때 섭식활동에 대한 적응력이 뛰어난 것을 확인할 수

**Table 1.** Percentage of parents' color pattern expressed when 1st instar larva obtained from each pattern(F1) were reared at 20, 25 and 30°C

Temperature(°C)	Color patterns(%)		
	<i>Succinea</i>	<i>Conspicua</i>	<i>Spectabilis</i>
20°C	88.64±4.45(405) <sup>a</sup>	86.91±4.70(405)	88.89±4.13(405)
25°C	86.91±4.70(405)	87.65±4.79(405)	86.42±4.70(405)
30°C	88.39±3.96(401)	89.88±4.66(407)	87.65±4.48(405)
P	0.299	0.062	0.129

( )<sup>a</sup> : Parenthesis indicates the number of insect tested

**Table 2.** Percentage of parents' color pattern expressed when 1st instar larva obtained from each pattern(F1) were reared at three different photoperiod

Photoperiod (L:D)	Color patterns(%)		
	Succinea	Conspicua	Spectabilis
16:8	88.39±4.37(405) <sup>a</sup>	87.65±4.41(405)	89.13±4.19(405)
12:12	88.88±4.13(405)	88.89±4.89(407)	87.65±4.41(405)
8:16	86.67±4.52(401)	87.90±5.24(405)	86.17±4.50(405)
P	0.150	0.616	0.051

( )<sup>a</sup> : Parenthesis indicates the number of insect tested

**Table 3.** Percentage of parents' color pattern expressed when 1st instar larva obtained from each pattern(F1) were reared with three different preys

Prey	Color patterns(%)		
	Succinea	Conspicua	Spectabilis
<i>Aphis gossypii</i>	87.16±4.50(405) <sup>a</sup>	87.41±4.65(405)	87.65±4.41(405)
<i>Myzus persicae</i>	88.64±4.46(403)	88.39±4.37(407)	88.39±4.37(405)
<i>Lipaphis erysimi</i>	88.15±4.27(403)	87.65±5.13(405)	86.91±4.70(405)
P	0.458	0.728	0.484

( )<sup>a</sup> : Parenthesis indicates the number of insect tested

있었다. 광주기와 관련하여 많은 연구결과들이 있지만 체색형성과 관련된 연구결과들은 거의 확인되지 않았으며, 특히나 무당벌레의 발육과 생식에 영향을 광주기가 중요한 영향을 미치는 것으로 알려져 있었지만 체색변이와 관련된 다른 연구결과들은 확인할 수 없었으며, 본 연구결과에서는 광주조의 변화에 따른 자손 1세대의 초시무늬색상형성에 있어 차이는 확인할 수 없었다.

### 먹이의 영향

먹이가 초시무늬패턴 발현에 있어 미치는 영향을 조사하기 위해, 세가지 색상패턴 개체군 사육 시 각각 목화진딧물, 복숭아혹진딧물, 무테두리진딧물을 먹이로 공급하여 우화된 자손 1세대의 성충패턴을 확인하였다. *Succinea*패턴의 경우 세 종류의 진딧물을 먹이로 공급하여 사육한 자손세대가 모세대와 동일한 초시무늬를 나타낸 발현비율은 각각 87.16%, 88.64%, 88.15% ( $p=0.458$ )로 나타나 먹이에 따른 자손세대의 패턴발현에 있어 차이는 없는 것으로 나타났으며, *conspicua*패턴과 *spectabilis*의 패턴의 경우에도 사육 시 공급되는 먹이조건이 달라졌음에도 불구하고 자손세대에서 나타나는 초시무늬 패턴 발현에 있어 처리 간 차이를 나타내지 않아 영향을 미치지 않는 것을 확인할 수 있었다 (Table 3). 무당벌레는 생물적 방제인자로 널리 알려져 있는 만큼 먹이에 대한 연구는 다방면에 걸쳐 이루어지고 있다. Grill (1999)은 먹이의 질이 무당벌레의 생활

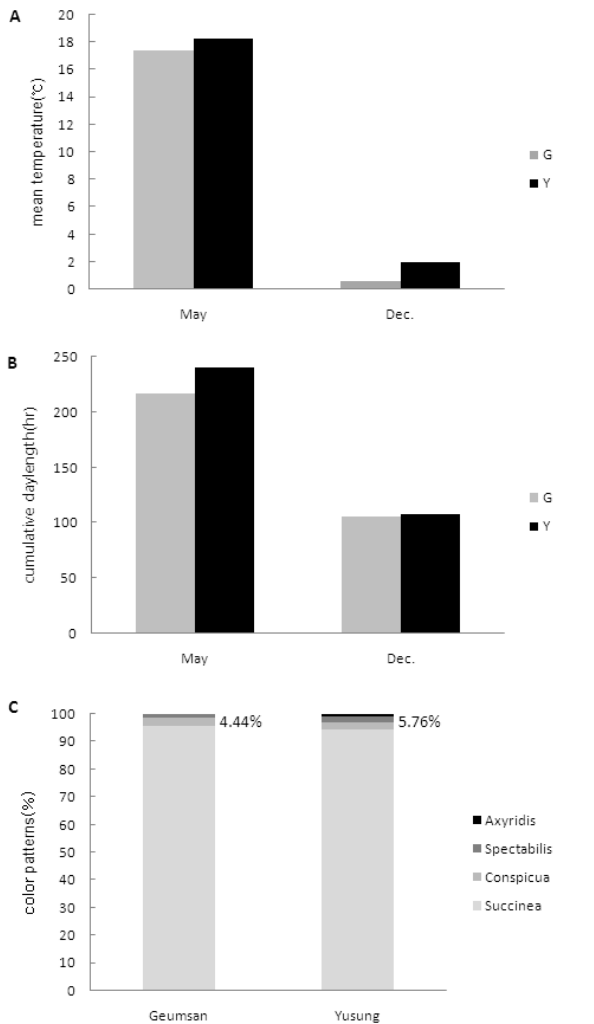
사와 형태적 특성, 색상의 발현에 있어 미치는 영향에 대해 보고하였으며, 무당벌레 성충의 초시색상패턴이 포식활동에 영향을 준다고 보고하였다. Hideki (2003)는 두 종의 진딧물과 인공먹이를 제공하여 키웠을 때 발육기간과 번데기의 무게에 있어 차이를 나타냄을 확인하였다. 또한, Sores *et al.* (2005)와 Hukusima & Kamei (1970)는 유충의 발육과 산란에 적합한 먹이로 확인된 *Aphis fabae* Scopoli와 복숭아혹진딧물을 *aulica*와 *nigra* 표현형의 무당벌레 성충에 제공하여 진딧물의 섭식량 및 소비량, 생체량, 번식능력 등을 확인한 결과, 표현형에 따른 일부 생리적 특성의 차이를 보이는 것이 확인되어 이들의 색상패턴이 생물학적인 특성에 영향을 미치며 또한 이러한 기주의 차이에 의해 무당벌레의 서식처 선호성에도 차이가 나타날 수 있음을 보고하였다. 또한 무당벌레 먹이인 진딧물 중에 따라 성비에 변화를 일으켜 *aulica*와 *nigra*표현형은 자연계에 존재하는 다른 먹이 중에 따라 밀도가 달라질 수 있음을 보고하였다. 따라서, 먹이가 색상패턴 발현에 있어 미치는 영향이 본 연구결과와 상이하게 나타나는 것은 무당벌레의 지역적 차이와 시험 재료 및 사육방법 등의 차이에 기인된 것으로 여겨진다.

### 야외채집 및 색상패턴분류 비교

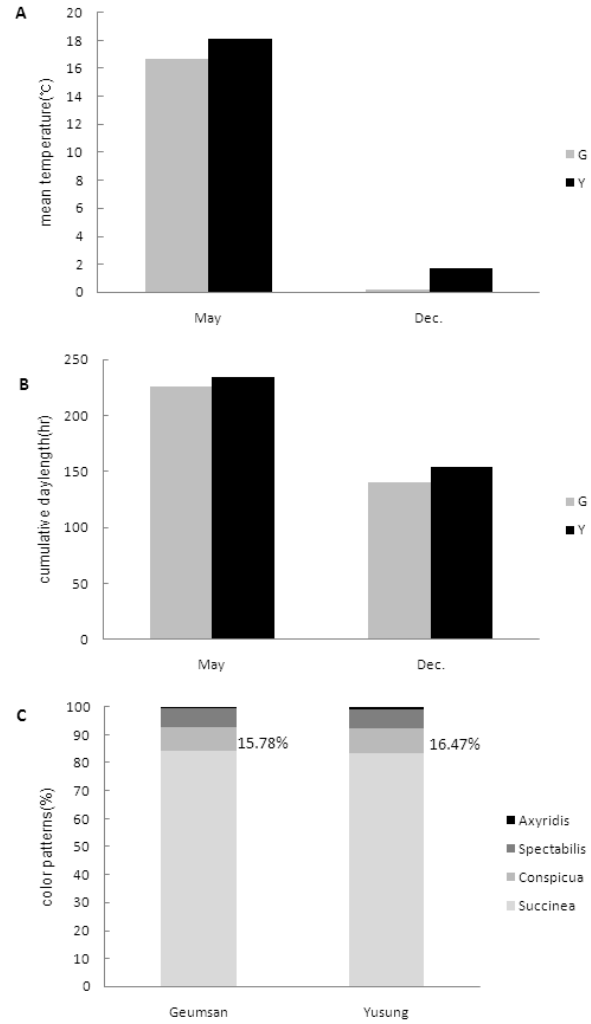
지역별로 채집된 무당벌레의 색상패턴별 발생비율에 있어 환경조건에 따른 차이를 보이는지를 확인하기 위

해, 2007년부터 2008년 12월 중순 동안 대전 유성구와 충남 금산군의 무당벌레 월동개체군 채집결과와 두 채집지역의 평균기온과 일조시간을 조사하여 비교한 결과, 야외개체군이 처음 우화하는 시기인 5월의 대전 유성구와 충남 금산군의 평균기온은 18.3°C, 17.3°C, 이 시기동안의 누적일조시간은 각각 239.9시간, 217.3시간으로 조사되어 충남 금산군 무당벌레 월동개체군 채집지역이 평균기온과 일조시간에 있어 유성구 채집지역보다 낮은 것으로 나타났다. 또한, 월동개체군이 채집되는 시기인 12월의 대전 유성구와 충남 금산군의 평균기온은 2°C와 0.6°C, 누적일조시간은 107.6시간과 105.3시간으로 조사되어 우화시기인 5월의 두 지역 간 환경

조건의 차이와 비슷한 경향을 보이며, 대전 유성구의 평균기온과 누적일조시간이 충남 금산군에 비해 높은 것으로 확인되었다. 각 지역에서 채집한 색상패턴을 조사한 결과, 대전 유성구의 색상패턴은 *succinea*패턴은 94.24%, *conspicua*패턴은 2.88%, *spectabilis*패턴은 2.06%, *axyridis*패턴은 0.82%의 비율을 나타냈으며 충남 금산군의 색상패턴은 *succinea*패턴은 95.55%, *conspicua*패턴은 3.33%, *spectabilis*패턴은 1.11%, *axyridis*패턴은 0%로 나타나, 평균기온이 높고 일조시간이 길수록 멜라닌계통의 색상패턴(*conspicua*, *spectabilis*, and *axyridis*)의 발생 비율이 높아짐을 알 수 있었다(Fig. 2). 또한 각 지역의 2008년 두 지역의 평균기온과 누적일조시간을



**Fig. 2.** Relationship between the mean temperature and cumulative daylength for 2007 geographical color pattern proportion. A: mean temperature; B: cumulative daylength; C: color pattern; G: Geumsan, Chungnam Province; Y: Yusung-gu Daejeon



**Fig. 3.** Relationship between the mean temperature and cumulative daylength for 2008 geographical color pattern proportion. A: mean temperature; B: cumulative daylength; C: color pattern; G: Geumsan, Chungnam Province; Y: Yusung-gu Daejeon.

**Table 4.** Proportion of different color patterns of *Harmonia axyridis* that was collected from overwintering population and spring population

Season	Color patterns(%)			
	Non-melanic		Melanic	
	Succinea	Conspicua	Spectabilis	Axyridis
Winter(2008)	84.08	7.64	7.64	0.64
Spring(2009)	91.79	4.74	3.14	0.33

색상패턴별 발생비율과 비교한 결과, 2007년의 채집양상과 동일한 결과를 나타내어 평균기온과 일조시간은 무당벌레의 초시색상패턴의 발현에 영향을 미침을 알 수 있었으며(Fig. 3), 실내 사육조건을 달리하여 색상발현현상을 조사한 결과와 달리 환경조건에 따른 색상패턴의 차이를 확인할 수 있었다. 또한 계절별 색상패턴의 차이를 확인하기 위해 대전 유성구 채집지역에서의 봄 야외채집개체군과 월동개체군의 색상패턴비율을 조사한 결과, 봄 채집개체군이 월동개체군보다 멜라닌색상패턴인 *conspicua*, *spectabilis*, *axyridis* 패턴의 발생비율이 낮게 나타났다. 이는 봄 채집개체군은 그들의 유충시기가 일조시간이 낮고 평균기온이 낮은 늦가을이거나 이른 봄이기 때문이고, 월동개체군은 여름에서 초가을에 유충시기를 거쳐 우화한 개체들이 월동처에 모여들었다가 채집되었기 때문에, 유충시기에 좀 더 높은 평균기온과 일조시간을 겪은 월동개체군의 멜라닌색상패턴 발생비율이 봄 채집개체군에 비해 높게 나타난 것으로 여겨지며(Table 4), 이러한 결과로 보아 봄 채집개체군과 월동개체군의 색상패턴별 발생비율은 발육기간 동안의 평균온도와 일조시간의 차이에 기인한 것이라 여겨진다.

아시아에 분포하는 무당벌레의 색상변이는 지리적 요인과 계절적 요인이 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. Komai & Hosino (1951)는 무당벌레를 채집한 지역에 분포하는 진딧물의 기주식물의 영향으로 초시무늬색상패턴에 차이를 발견하여 초시패턴결정에 지리적 요인이 작용할 것이라고 추론하였으며, Osawa & Nishida (1992)는 자연적인 조건 하에 표현형의 비율은 봄과 이른 여름 사이에 밝은 색상의 비율, 즉 비멜라닌 색상패턴의 발현율이 높아짐을 확인하여 계절적 요인이 무당벌레의 색상패턴에 영향을 줄 수 있음을 시사하였다.

본 연구에서는 색상발현에 영향을 미치는 것으로 알려진 지리적요인과 계절적 요인을 좌우하는 일부 요인인 온도, 광주기, 먹이조건을 각각 조절하여 실내에서 사육, 실험하였으나 자손 1세대에서의 초시무늬패턴결

정에 있어 처리들 간 특별한 차이를 확인하지 못했다. 이는 실내에서 조절하지 못하는 많은 환경요인들이 정확히 노출되지 않은 결과일 수도 있으며, 추후 계속적인 누대사육과 처리된 사육환경조건의 조합을 통해 사육환경조건에 따른 차이를 구명할 필요가 있을 것으로 보인다. 하지만 채집한 야외개체군의 색상패턴비율은 지역적, 계절적으로 차이를 확인할 수 있어 초시무늬패턴발현에 있어 온도와 먹이, 광주기 같은 단일 환경요인의 영향보다 여러 가지 환경적 요인이 복합적으로 작용하여 초시무늬패턴 발현양상에 차이를 나타낼 가능성이 있음을 확인할 수 있었다.

## Literature Cited

- Clarke, C.B. 1979. The evolution of genetic diversity. Proc. R. Soc. Lond. B. 205: 453-474.
- Coderre, D., É. Lucas and I. Gagné. 1995. The occurrence of *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera: Coccinellidae) in Canada. Can. Entomol. 127: 609-611.
- Dobzhansky, T., F.J. Ayala., G.L. Stebbins and J.W. Valentine. 1977. Evolution.
- W.H. Freeman&Company. San Francisco, CA.
- Endler, J.A. 1978. A predator's views of animal colour patterns. Evol. Biol. 11: 319-364.
- Ford, E.B. 1971. Ecological genetics. 3rd ed. Chapman & Hall, London.
- Grill, C.P. 1999. Development of colour in an aposematic lady beetles: The role of environmental conditions. Evol. Ecol. Res. 1: 651-662.
- Hagen, K.S. 1962. Biology and ecology of predacious Coccinellidae. Annu. Rev. Entomol. 7: 289-326.
- Hideki, U. 2003. Genetic variation in larval period and pupal mass in an aphidophagous ladybird beetle (*Harmonia axyridis*) reared in different environments. Entomol. Exper. Appl. 106: 211-218.
- Hodek, I. 1973. Biology of Coccinellidae. Acad. Sci. Prague.
- Hodek, I. and A. Honěk. 1996. Ecology of Coccinellidae. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Hoshino, Y. 1936. Genetical studies of the lady-bird beetle, *Harmonia axyridis* Pallas. Rep II. Jpn. J. Genet. 12: 307-320.
- Hukusima S. and M. Kamei. 1970. Effects of various species of aphids as food on development, fecundity and longevity of

- Harmonia axyridis* Pallas (Coleoptera: Coccinellidae). Res. Bull. Fac. Agric. Gifu Univ. 33: 75-82.
- Kenis M., H.E. Roy., R. Zindel and M.E.N. Majerus. 2007. Current and potential management strategies against *Harmonia axyridis*. BioControl 53: 235-252
- Koch, R.L., E.C. Burkness, S.J.W. Burkness and W.D. Hutchison. 2004. Phytophagous preferences of the multicolored Asian lady beetle (Coleoptera: Coccinellidae) to autumn ripening fruits. J. Econ. Entomol. 97: 539-544.
- Koch, R.L. 2003. The multicolored Asian lady beetle, *Harmonia axyridis*: A review of its biology, uses in biological control, and non-target impacts. J. Insect Sci. 3: 1-16.
- Komai, T. and Y. Hosino. 1951. Contributions to the evolutionary genetics of the lady-beetle, *Harmonia*. II. Microgeographic variations. Genetics 36: 382-390.
- Komai, T. 1956. Genetics of ladybeetles. Adv. Genetics 8: 155-189.
- Komai, T., M. Chio and Y. Hosino. 1950. Contributions to the evolutionary genetics of the lady-beetle, *Harmonia axyridis*. I. Geographic and temporal variations in the relative frequencies of the elytral pattern types and in the frequency of elytral ridge. Genetics 35: 589-601.
- Majerus, M.E.N. 1994. Ladybirds. Harper Collins Publishers, UK.
- Osawa, N. & Nishida T. 1992. Seasonal Variation in Elytral Colour Polymorphism in *Harmonia axyridis* (the Ladybird Beetle): The Role of Non-random Mating. Heredity 69: 297-307.
- Marc Kenis, Helen E. Roy, Renate Zindel and Michael E. N. Majerus. 2007. Current and potential management strategies against *Harmonia axyridis*. Biol. Control 53: 235-252
- Omkar and S. Pathak. 2006. Effects of different photoperiods and wavelengths of light on the life-history traits of an aphidophagous lady beetle, *Coelophora saucia* (Mulsant). J. Appl. Entomol. 130: 45-50.
- Ongagna, P. and G. Iperiti 1994. Influence de la température et de la photopériode chez *Harmonia axyridis* Pall. (Col., Coccinellidae): obtention d'adultes rapidement féconds ou en dormance. J. Appl. Entomol. 117: 314-317.
- Osawa, N. and T. Nishida. 1992. Seasonal variation in elytral colour polymorphism in *Harmonia axyridis* (the ladybird beetle): The role of non-random mating. Heredity 69: 297-307.
- Oshima C. Tokuchiro S. and Hironori I. 1956. Studies on the mechanism of pattern formation in the elytra of lady beetles. Genetics 41: 4-20
- Pell, J.K., J. Baverstock, H.E. Roy, R.L. Ware and M.E.N. Majerus. 2007. Intraguild predation involving *Harmonia axyridis*: A review of current knowledge and future perspectives. Biol. Control 53: 147-168.
- Ricklefs, R.E. 1990. Ecology. 3rd ed. W. H. Freeman and Company, New York.
- Sacarrão. G.F. 1991. Ecologia e biologia do ambiente-1. A vida e o ambiente. Publicações Europa-América, Lisboa.
- Sasji, H. 1971. Coccinellidae. Fauna Japonica. Academic Press of Japan, Tokyo.
- Sakai, T., Y. Uehara and M. Matsuka. 1974. The effects of temperature and other factors on the expression of elytral pattern in lady beetle, *Harmonia axyridis* Pallas. Bull. Facul. Agricul., Tamagawa Univ. 14: 33-39.
- Seo, M.J. and Y.N. Youn. 2000. The Asian ladybird, *Harmonia axyridis*, as biological control agent: I. Predacious behavior and feeding ability. Kor. J. Appl. Entomol. 39: 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 Pac. Entomol. 5: 209-214.
- Seo, M.J. and Y.N. Youn. 2007. Phenotypic variation and genetic correlation of elytra colored patterns of multicolored Asian lady beetles, *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) in Korea. Kor. J. Appl. Entomol. 46: 235-249.
- Serpa, L., H. Schanderl, C. Brito and A.O. Soarea. 2003. Fitness of five phenotypes of *Harmonia axyridis* Pallas (Coleoptera: Coccinellidae). Proceedings of the 8th International Symposium on Ecology of Aphidophaga: Biology, Ecology and Behaviour of Aphidophagous Insects (eds. by A.O. Soares, M.A. Ventura, V. Garcia and J.L. Hemptinne), pp.43-49. Arquipélago. Life and Marine Sciences (Suppl.5), Ponta Delgada, Portugal.
- Soares, A.O., D. Coderre and H. Schanderl. 2001. Influence of phenotype on fitness parameters of *Harmonia axyridis* Pallas (Coleoptera: Coccinellidae). Eur. J. Entomol. 98: 287-293.
- Soares, A.O., D. Coderre and H. Schanderl. 2003. Effect of temperature and intraspecific allometry on predation by two phenotypes of *Harmonia axyridis* Pallas (Coleoptera: Coccinellidae). Environ. Entomol. 32: 939-944.
- Soares, A.O., D. Coderre and H. Schanderl. 2005. Influence of prey quality on the fitness of two phenotypes of *Harmonia axyridis* adults. Entomol. Exp. Appl. 114: 227-232.
- Sweetman, H.L. 1958. The principle of biological control. W.C. Brown Co. Dubuque, Iowa.
- Tan, C.C. 1946. Mosaic dominance in the inheritance of color patterns in the lady-bird beetle, *Harmonia axyridis*. Genetics 31: 195-210.
- Tan, C.C. 1949. Seasonal variations of color patterns in *Harmonia axyridis*. Proc. 8th Intern. Congr. Genet. 669-670.
- Tan, C.C. and J.C. Li. 1932. Variations in the color patterns in the lady-bird beetle, *Ptychanatis axyridis* Pall. Pek. Nat. Hist. Bull. 7: 175-193.
- Youn, Y.N., M.J. Seo, J.G. Shin, C. Jang and Y.M. Yu. 2003. Toxicity of greenhouse pesticides to multicolored asian lady beetles, *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). Biol. Control 28: 164-170.

(Received for publication November 21 2009;  
revised December 8 2009; accepted December 11 2009)