

우리나라에서 무당벌레(*Harmonia axyridis*: Coccinellidae)의 초시무늬의 표현형 변이와 유전적 상관

서미자¹ · 강은진 · 강명기 · 이희진 · 석희봉 · 이대홍 · 박선남 · 유용만 · 윤영남*

충남대학교 농업생명과학대학 응용생물학과, ¹충북대학교 농업생명환경대학 식물의학과

Phenotypic Variation and Genetic Correlation of Elytra Colored Patterns of Multicolored Asian Lady Beetles, *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) in Korea

Mi Ja Seo¹, Eun Jin Kang, Myong Ki Kang, Hee Jin Lee, Hee Bong Seok, Dae Hong Lee, Sun Nam Park, Yong Man Yu and Young Nam Youn*

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

¹Dept. of Plant Medicine, Chungbuk National University, Cheongju 361-763

ABSTRACT : The multicolored Asian lady beetles (*Harmonia axyridis*) has characteristic color patterns, which show great variability within species. Up to now, it has been well known that main factors affected on individual color pattern variations in the population of *H. axyridis* are external, physical, and environmental characteristics. Indeed, there is as yet no evidence to indicate whether the variation is genetic or environmental factors. Also the factors which produce this variation are unknown in this species, although it is suspected that much of the variation is under genetic control. However, the genetic relationships among many of color types were investigated by observing the progeny of each particular pairs. It is worth mentioning a few particular breeding cases to illustrate certain facets of variability, and to indicate examples suitable for genetic analysis of the color pattern variation.

KEY WORDS : *Harmonia axyridis*, Elytra colored patterns, Phenotypic variation

초 록 : 무당벌레(*Harmonia axyridis*)는 특이한 초시색상과 문양을 가지고 있으며, 종내에 변이가 심하다. 현재까지 무당벌레 개체군 안에서 이러한 변이의 주요원인은 내적인 요인과 물리적 환경적인 요인들이 작용하고 있다고 알려져 있다. 사실 이러한 변이들이 유전적 또는 환경적으로 일어나는지에 대한 확실한 증거는 찾을 수 없다. 그렇지만, 많은 종류의 색상 패턴들 가운데 유전적인 면이 담겨져 있는 것을 특정한 색상패턴의 개별적인 교배를 통하여 일부 확인하였다. 일부의 교배에서는 초시색상과 문양의 유전적 특징을 일부를 확인할 수 있었고, 변이의 유전적 분석에 도움을 줄 수 있는 결과를 얻은 것에 의미를 부여하고자 한다.

검색어 : 무당벌레, 초시색상, 표현형 변이

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

무당벌레(*Harmonia axyridis* (Pallas))는 세계적으로 진딧물의 포식자로 널리 알려지면서 진딧물을 방제하기 위한 방제인자로 많이 사용하고 있는 종이다(Ferran *et al.*, 1986, 1996; Hodek, 1973; Kauffman and Swalbe, 1991; Ferran and Dixon, 1993; Ives *et al.*, 1993; Seo & Youn, 2000). *H. axyridis*가 포함되어 있는 무당벌레과에는 전세계적으로 약 490속 4,200여 종이 기록되어 있으며 (Iperti, 1999), 이들 가운데 우리나라에는 74종이 보고되고 있고(ESK and KSAE, 1994), 북미대륙에는 400여종 (Belicek, 1976), 유럽에는 110종이 분포하고 있는 것으로 보고되고 있다(Iperti, 1986). 한편, 무당벌레과 중에서 무당벌레(*H. axyridis*)는 주로 극동아시아 지역뿐만 아니라 북미대륙과 유럽에 이르기까지 전세계에 걸쳐 분포하고 있는 것으로 보고되고 있다(Chapin & Brou, 1991; Day *et al.*, 1994; Tedders and Schaefer, 1994; Kidd *et al.*, 1995; Nalepa *et al.*, 1996; Brown and Miller, 1998; Lamana and Miller, 1998). 특히 이들 정착에 성공한 무당벌레들은 여러 종류의 진딧물을 섭식함으로써 진딧물의 생물적 방제프로그램에 유용하게 사용되고 있는 아주 유용한 진딧물 포식자라고 하겠다(Seo and Youn, 2000, 2002; Youn *et al.*, 2003). 특히, Hodek *et al.* (1972), Gusev (1979), Nenon (1981), Fassotte (1983), Hodek & Kindlmann (1988), Seo & Youn (2000) 등은 무당벌레과에 속하는 포식성곤충들이 생물적 방제인자로서 어떤 위치를 차지하고 있는지에 대해서 다루고 있다.

한편, 무당벌레는 진딧물의 포식자로서 생물적방제 요인으로서 중요한 면을 가지고 있기도 하지만, 무당벌레 초시에 나타나는 색상과 무늬의 변이가 매우 다양하여 일반인들뿐만 아니라, 유전을 다루는 전문가들에게도 매우 관심의 대상이 되고 있다. 1956년 Komai는 무당벌레인 *H. axyridis*가 색상패턴이 다양하여 *succinea*, *conspicua*, *spectabilis*, *axyridis* 등과 같이 4가지로 그룹을 묶어서 보고한 바 있다. 또한 Mackauer (1976)는 무당벌레가 지역에 따라서 초시색상과 크기에 있어 다양함을 보여주고 있다고도 하였으며, Hodek and Honek (1996)은 이와 같은 초시색상 변이는 무당벌레의 지리적 분포뿐만 아니라 개체군의 생존에도 영향을 미칠 수 있다고도 하였다. 이와 같은 개체군 내에서의 다양한 유전적 변이는 분자적 수준에서, 혹은 염색체 수준에서, 형태적 수준에서 보여주는 다형성(polymorphism)이라 할 수 있다(Ford, 1971; Clarke, 1979). 하지만, 모든 색상과 형태가 유전적으로 조절되는 것은 아니며 무당벌레의 이런 다형성은 서로 다른 환경에 의해서 나타난다고 추론하기도 하였고(Dobzhansky, 1951;

Barker *et al.*, 1990), 일부는 개체군 동태의 변화하는 과정 일 것이라고 주장하기도 한다(Pimental, 1961). 그러나 아직까지 무당벌레가 가지고 있는 색상변이의 실제적인 원인이 무엇인지는 밝혀지지 않고 있다.

본 논문은 한국에서 볼 수 있는 무당벌레의 색상변이 형태를 색상패턴별로 나누어 소개하고자 하며, 이들 색상변이를 보여주는 원인을 일부라도 알아보기 위하여, 무당벌레를 색상별로 선별하여 교미를 시켜 자손세대에서 출현하는 무늬 패턴을 알아보고, 색상유전 패턴의 가능성을 분석하기 위하여 실시되었다.

재료 및 방법

무당벌레 초시 색상패턴

2000년부터 2006년까지 대전·충남지역을 중심으로 하여 전국에서 채집된 무당벌레들을 색상패턴별로 분류하였다. 대부분 채집된 무당벌레는 매년 10월에서 12월 사이에 월동처로 날아 온 개체들을 채집한 것들이지만, 일부는 봄철에 무궁화나무를 중심으로 진딧물 서식처에서 채집된 개체들도 포함되어 있다.

교배에 따른 자손 세대의 색상패턴

서로 다른 색상패턴 혹은 같은 무늬를 가진 개체들 간에 교배를 할 경우, 자손 세대에서 표현형으로 나타나는 색상패턴을 관찰하였다. 먼저 같은 색상패턴을 가지고 있는 개체들 사이에 교배를 하였을 경우 후세대에 나타나는 표현형을 관찰하였다. 또한, *succinea* 그룹의 점이 없는 패턴인 YBM00 개체들과 점이 있는 패턴이 교배하였을 경우에 나타나는 자손 세대의 색상패턴을 관찰하였다. 한편, 각 색상패턴 그룹에서 가장 높은 빈도로 채집된 것들 가운데서(Seo *et al.*, 2007), *succinea*, *conspicua*, *spectabilis* 그룹의 대표적인 YBM19, BRA02, BRA04의 무늬를 가지고 있는 암수를 가지고 교배실험을 하였다. 이외에도 서로 다른 색상패턴을 가지고 있는 개체들을 선별하여 교배에 따른 자손 세대의 색상패턴을 관찰하였다.

자손 세대의 색상패턴을 관찰하기 위하여 부모세대에서 각각의 패턴에 맞는 건강한 암수 각각 1개체씩을 선발하여 오이에서 사육한 목화진딧물과 무에서 사육한 복숭아혹진딧물을 제공하면서 교미를 유도하였고, 교미 후에는 암컷을 따로 분리하여 진딧물을 공급하면서 개체 사육

하여 산란된 알을 모두 수거하여 부화시킨 후, 진딧물을 먹이로 공급하면서 사육하였다. 사육용기는 plant culture dish (D×H=100×40 mm, SPL Life Sci, Korea)를 이용하였으며, 25±2℃과 50±10% RH의 실험실 조건에서 이루어졌으며, 광주기는 L : D = 16 : 8이었다.

YBM19, BRA02와 BRA04에서 같은 색상패턴의 집단교배에 따른 세대별 색상패턴 변화

Succinea그룹의 YBM19와, conspicua그룹의 BRA02, spectabilis그룹의 BRA04를 가지고 각각의 그룹별 개체들 가운데 순수한 혈통을 찾아보기 위하여 반복적인 누대 사육을 실시하였다. 이 경우에는 처음 부모세대에서는 암컷과 수컷 각 10 개체를 집단으로 교미시킨 후, 자손세대에서 나타난 같은 유형의 개체만을 모두 모아 제 2세대를 얻는데 사용하였다. 3세대를 얻기 위하여 사용된 암컷과 수컷의 개체 수는 2세대에서 얻은 부모세대와 같은 무늬를 가지고 있는 개체들을 모두 사용하였다. YBM19의 경우 세대가 진행됨에 따라서 수컷이 나오지 않는 경우에는 상위세대의 수컷을 다시 사용하였다. 사육용기는 insect culture cage (L×W×H=300×400×500 mm)를 이용하였으며, 25±2℃과 50±10%RH의 실험실 조건에서 이루어졌으며, 광주기는 L : D = 16 : 8이었다.

결과 및 고찰

무당벌레 초시 색상패턴

무당벌레가 자연개체군에서 보여주고 있는 초시색상은 매우 다양하지만, 한편으로는 비슷한 유형들을 많이 보이고 있어 이들을 공통점을 가지고 있는 특징을 중심으로 크게 4개의 그룹으로 나누었다(Figs. 1-4). 이는 Komai (1956)가 처음으로 무당벌레 색상을 4개의 그룹으로 나누어 succinea, conspicua, spectabilis, axyridis 등으로 보고한 내용과 Seo et al. (2007)이 발표한 내용과 동일한 방법을 사용하였으나 색상패턴을 교미하는 과정에서 이를 구별하고자 각각의 패턴에 별도의 명칭을 부여하여 사용하였다(예, YBM19, YBM00, BRA02, BRA04, RU02, RT12 등).

Fig. 1에 나타난 무당벌레들은 succinea group에 해당되는 것으로서 기본적으로 황색 혹은 황적색의 바탕위에 검은 점들이 찍혀있는 형태를 하고 있다. 본 실험에서는

succinea group을 크게 둘로 나누어 YBM19와 YBM00-18로 나누어 실험을 실시하였다. YBM19는 점이 19개인 것만을 나타내고 나머지 점이 없는 것(YBM00)에서 점이 18개(YBM18)인 것을 나타내고 있다. Fig. 2는 검은색 바탕에 붉은 색 혹은 황색의 점을 2개 가지고 있는 집단으로 conspicua그룹에 속하며 BRA02로 구별하였다. Fig. 3는 검은색 바탕에 붉은 색 혹은 황색의 점을 4개 가지고 있는 집단으로 spectabilis 집단에 속하며 BRA04로 표시하였다. 또한 Fig. 4에는 검은색 바탕 위에 점 2개 혹은 4개를 가지고 있는 집단을 제외한 형태로서 axyridis그룹에 속하며 자연 개체군에서 나타나는 비율이 2-3%의 수준으로 보고되고 있다(Seo et al., 2007). 이들은 교미실험을 위하여 12개의 집단으로 나누어 무늬의 특성에 따라서 RU2, RU'2, RUS2, RU'S2, RS2, RSS2, RS4, RSS4, RW4, RWS4, RW'4, RT12로 각각 이름을 부여하였다.

Fig. 1에서 4까지에서 볼 수 있는 바와 같이, 한 종인 무당벌레라 할지라도 초시색상무늬 패턴에 나타나는 점들의 융합정도에 있어서는 다형성을 나타내고 있다. 색상에 있어서 채도는 무당벌레가 번데기로부터 우화한 시간적인 차이에 따라서 변하기도 하지만, 초시에 찍히는 점이나 무늬는 변하지 않고 있다. 처음 우화하였을 경우에는 색상패턴에 관계없이 모두 다 노란색을 띠고 있지만, 시간이 경과함에 따라서 서서히 패턴에 따른 무늬와 모양이 나타나게 되고, 채도가 점점 짙어지게 된다. 노란색의 경우에는 점차 붉은 색으로 변하는 경우가 있다. 그렇지만, 북방달무리무당벌레의 경우에는 처음 우화하였을 경우에는 초시와 복부가 모두 우윳빛의 노란색을 띠고 있으며, 처음 24시간 안에는 까만 반점과 함께 적갈색으로 점차 변하기 시작하여, 복부의 아랫부분은 상대적으로 어두운 색을 띠게 된다. 이틀째 되는 날에는 우윳빛 링이 나타나기 시작하며, 일주일이 경과하면 밝고 우윳빛의 링으로 둘러싸인 선명한 까만 반점이 적갈색의 바탕에 형성된다. 그렇지만 색소는 계속적으로 생겨서 시간이 지나면 지날수록 진한 색으로 변하게 된다고 하였다(Majerus and Kearns, 1989). 색소 발달의 정도에서 변이에 따른 형태의 변화는 하나의 개체군에서 한 종의 서로 다른 형태의 빈도를 양적으로 표현하기란 매우 힘든 일이다. 예를 들어서, 우화한 후 3개월이 지난 두점무당벌레의 *sexpustulata* 형태의 까만 색소는 붉은 반점의 맨 뒤쪽에 쌍으로 착색될 수도 있다. 이것은 효과적으로 *sexpustulata*에서 *quadrifasciata*로 형태를 바꾸게 된다. 결론적으로 새로운 세대에서는 색상패턴이 출현하는 비율이 달라질 수도 있는데, 예를 들어, 봄과 가을에 개체군 내에서 색상패턴 비율이 변화하



Fig. 1. Succinea group of *H. axyridis*. This group has black spot (s) from 0 (YBM00) to 19 (YBM19) on yellow elytra with M-shaped marking on the pronotum.

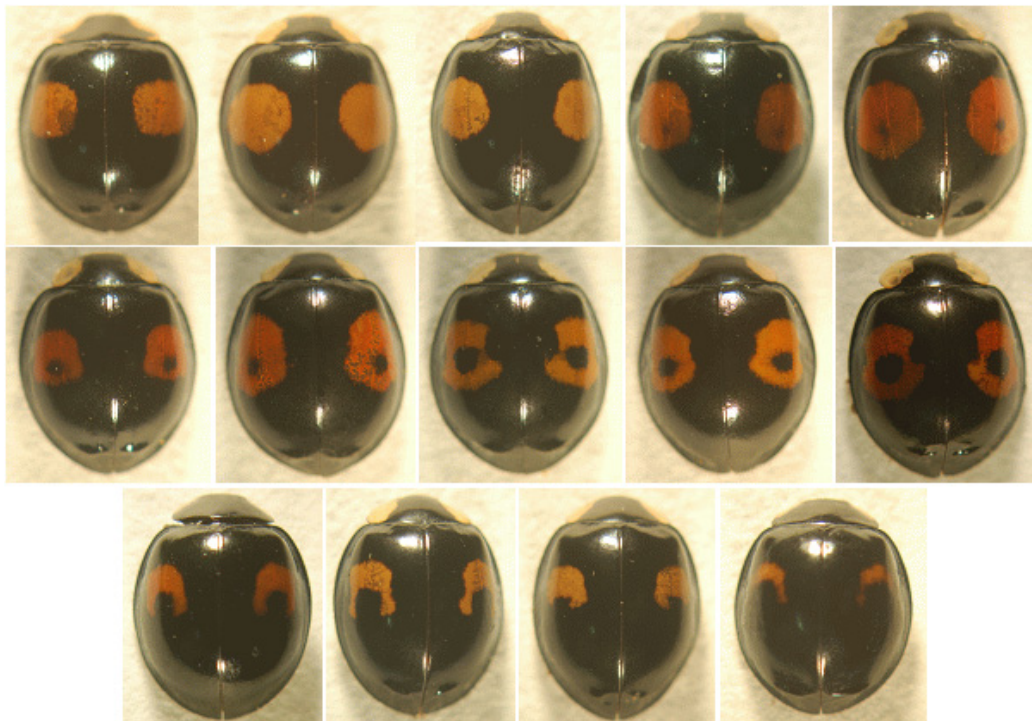


Fig. 2. Conspicua group of *H. axyridis*. This group has 2 red spots (BRA02) on black elytra without M-shaped marking on the pronotum.

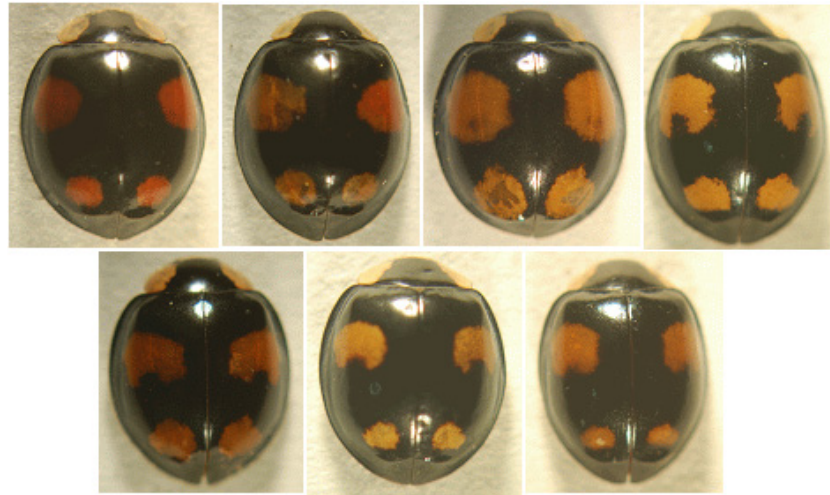


Fig. 3. Spectabilis group of *H. axyridis*. This group has 4 red spots (BRA04) on black elytra without M-shaped marking on the pronotum.



Fig. 4. Axyridis group of *H. axyridis*. This group is inexpressible and rare patterns in the collected ladybird population and has irregular red spots or wide strips on black elytra without M-shaped marking on the pronotum.

는 것은 겨울 동안에 생존의 서로 다른 조건과 같은 다른 요소에 의해서라기보다는 색소의 침적에 기인할 수도 있다고 하였다(Majerus and Kearns, 1989). 색소발달의 정

도와 형상의 서로 다른 요소인 비율과 순서에 있어서의 변이는 단지 몇 종에 관해서만 연구되어졌다.

같은 색상패턴의 교배에 따른 자손 세대의 색상패턴

같은 색상패턴을 가지고 있는 개체들을 모세대로 하여 교배하였을 경우에 나타나는 색상 유전을 알아보았다. 먼저 *succinea* 그룹의 YBM19 개체를 교배한 결과(Fig. 5A), 자손세대에서는 모두 *succinea* 그룹에 속하는 색상패턴을 지닌 개체들만 출현하였으며, YBM19의 암컷이 우점으로 나타났지만, 수컷은 한 마리도 출현하지 않았다. 대부분 수컷은 YBM16이 가장 많았다. 같은 그룹인 YBM00을 서로 교배한 결과(Fig. 5B), 암수 모두에서 부모세대와 같은 패턴인 무늬가 없는 YBM00의 개체가 우점을 나타내었다. 한편 *conspicua* 그룹인 BRA02를 서로 교배하였을 경우(Fig. 5C), YBM00의 수컷이 1마리 출현하였을 뿐, 모두 부모세대와 같은 색상패턴을 가진 개체들이 출현하였으며, 성비도 안정적으로 균형을 이루면서 나타났다. *spectabilis* 그룹인 BRA04의 경우(Fig. 5D), 부모세대와 같은 형태가 암수 모두 우점을 나타냈으나, *succinea* 그룹에 속하는 개체들도 나타났다. 위의 4가지 주요패턴의 교잡결과를 보면, Seo *et al.* (2007)이 보고한 바와 같이 자연개체군에서 50% 이상으로 우점하는 패턴이 YBM19 패턴인데, 이 패턴 사이의 교잡만이 암컷의 비율이 현저하게 높아 성비가 매우 불안정한 결과를 나타내고 있는 점은 매우 특이하다고 하겠다. 한편, *axyridis* 그룹의 경우(Fig. 5E-5J), 모든 조합에서 다른 그룹에 속하는 개체들이 출현하였다. RU2를 교배한 경우와 RT12를 교배한 경우에는 *succinea*와 *conspicua* 그룹에 속하는 개체들이, RU'2의 경우에는 *succinea* 그룹에 속한 YBM00이 출현하였고, RW4의 경우에는 *succinea* 그룹에 속하는 6개의 패턴과 *conspicua* 그룹의 BRA02가 출현하였고, RW'4는 부모세대와 같은 색상이 우점이었으나, RU2 패턴이 많이 출현하였고, 배경이 될 수 있는 YBM00의 패턴이 출현하였다. RWS4의 경우에는 *succinea* 그룹에 속한 YBM19와 RW4가 출현하였다. RWS4의 가운데 있는 점은 아마도 YBM19에 있는 점에서 유래한 듯하다. 서로 패턴이 유사해 보이는 RW4와 RW'4의 경우를 비교하여 보면, RW4에서는 RWS4 패턴이 많이 나왔지만, RW'4의 패턴에서는 RU2 패턴이 부모세대 못지않게 많이 나오는 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과를 종합하여 보면, 색상패턴 유전의 명확성을 알 수 없으나, 모든 경우에 있어서 부모세대와 같은 색상패턴이 우점을 나타내는 것을 알 수 있고, 색상패턴을 형성하는 기본적인 패턴들이 부모세대에 열성형질로 잠재하여 있다가 자손 세대에서 표현형

으로 표출이 되고 있는 것으로 생각된다.

점이 없는 패턴과 점이 있는 패턴이 교배하였을 경우에 따른 자손 세대의 색상패턴

부모세대에서 같은 무늬를 대상으로 서로 교배를 하였을 경우, 부모세대의 무늬가 우점을 나타낸 바 있어, 배경색으로 역할을 할 수 있을 것으로 생각된 YBM00을 대상으로 각각 교배를 실시하였다. 그 결과, *succinea* 그룹에서는 YBM00이 암컷과 수컷으로 YBM19와 각각 교배하였을 경우 자손세대에서도 YBM00과 YBM19가 모두 출현하였다(Fig. 6A & 6B). 그렇지만, 출현 빈도에 있어서는 YBM00의 암컷이 YBM19의 수컷과 교미하였을 경우에 YBM00은 암컷이 14마리, 수컷이 20마리가 출현하였고, YBM00이 수컷으로 YBM19의 암컷과 교미하였을 경우에는 YBM00과 YBM19의 수컷만 각각 8마리와 4마리가 출현하였고, 암컷은 나타나지 않았다. 이 경우에는 전체적인 성비가 3:20으로 암수가 바뀐 경우인 10:7에 비하여 매우 불균형을 이루었다. 한편 YBM00과 *conspicua* 그룹인 BRA02, *spectabilis* 그룹인 BRA04와 교배를 하였을 경우를 보면 YBM19와 교배했을 때와는 다른 양상을 나타내고 있다. YBM00이 암컷이고 BRA02와 BRA04가 수컷인 경우에는 BRA02와 BRA04만 출현하였는데, BRA02 수컷과 YBM00 암컷이 교미하였을 경우, BRA04도 출현하였으나, BRA04 수컷과 YBM00 암컷이 교미하였을 경우에는 BRA04만 출현하였다(Fig. 6D & 6F). 반면에 YBM00이 수컷으로 BRA02나 BRA04와 교미하였을 경우에는 암컷과 같은 패턴을 가진 개체들이 높은 우점을 하고 있었고, YBM00도 수컷으로 많이 출현하였으며, 아울러 *succinea* 그룹에 속한 다른 색상패턴을 가진 개체들이 출현하였다. 특히 YBM00 수컷과 BRA02 암컷이 교미하였을 경우에 다양한 *succinea* 그룹이 출현하였다. 이와 같은 결과를 종합해 보면, 같은 패턴의 색상무늬를 가지고 있는 개체라 할지라도 암컷 혹은 수컷으로 교배가 이루어지느냐에 따라 자손세대들이 달라지는 것을 확인할 수 있었으며, 어떠한 색상 유전자 조합을 가지고 있는지는 알 수 없지만, BRA02나 BRA04는 수컷으로 교배하였을 경우에 YBM00에 대하여 우성을 나타내는 것으로 추측할 수 있다. 반면에 이들이 수컷으로 교배하였을 경우에는 내재하고 있는 색상무늬 유전자가 작용을 하여 *succinea* 그룹의 표현형을 나타내고 있다고 하겠다.

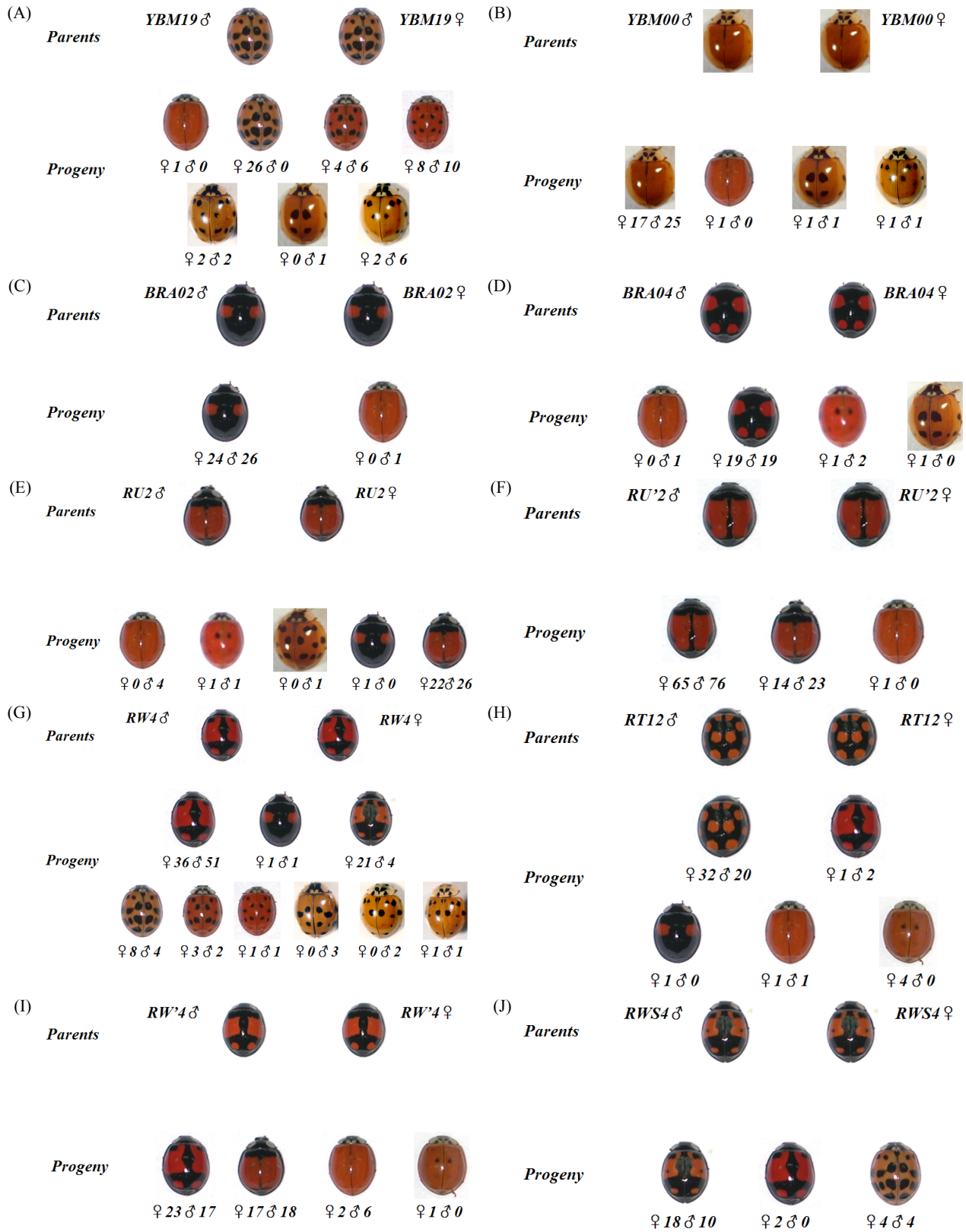


Fig. 5. Cross combination of *H. axyridis* with same elytra colored patterns. (A) YBM19; (B) YBM00; (C) BRA02; (D) BRA04; (E) RU2; (F) RU'2; (G) RW4; (H) RT12; (I) RW'4; (J) RWS4.

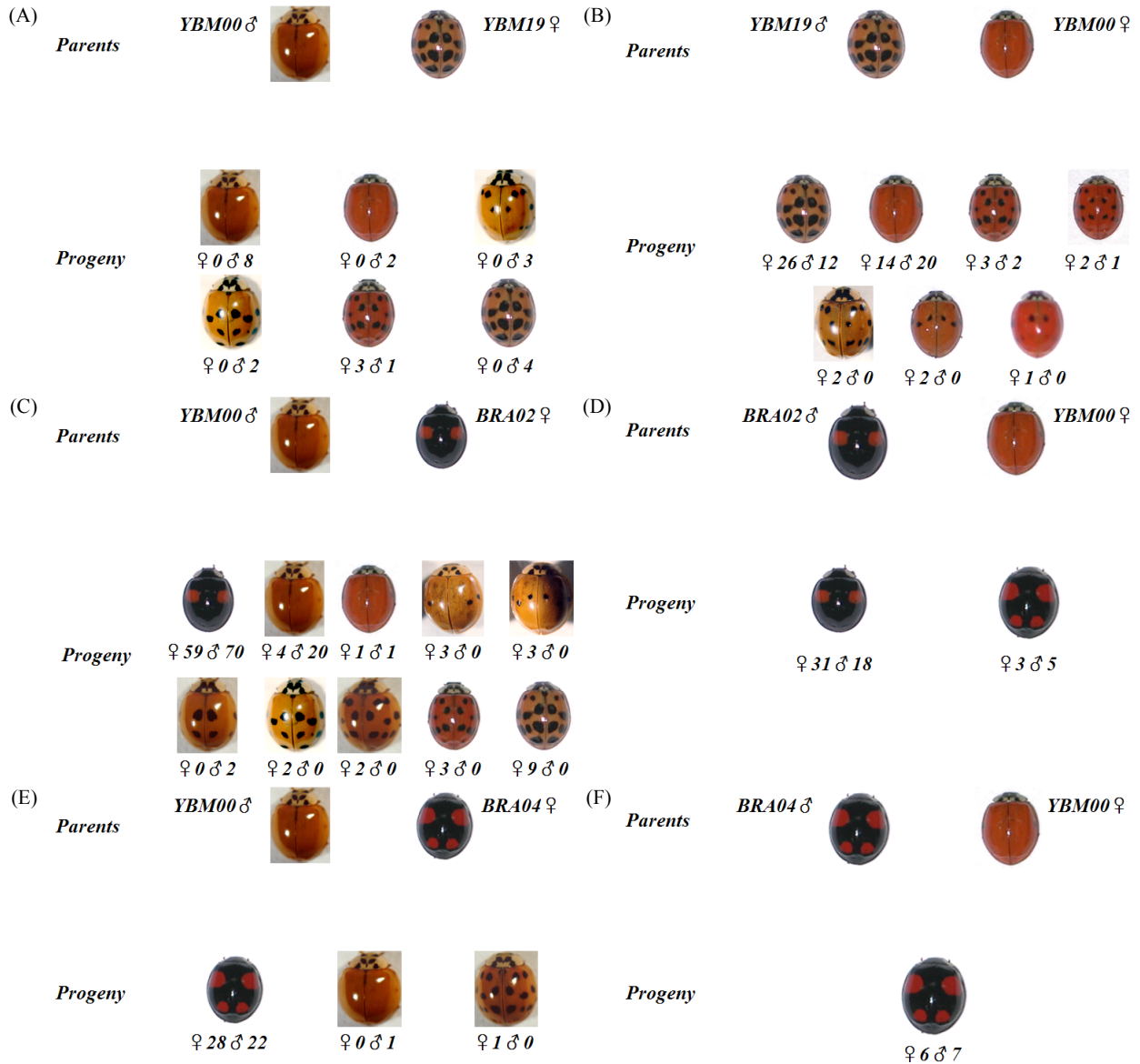


Fig. 6. Cross combination of *H. axyridis* with YBM00 elytra colored patterns. (A) Male of YBM00 breed with female of YBM19; (B) Female of YBM00 breed with male of YBM19; (C) Male of YBM00 breed with female of BRA02; (D) Female of YBM00 breed with male of BRA02; (E) Male of YBM00 breed with female of BRA04; (F) Female of YBM00 breed with male of BRA04.

서로 다른 색상패턴 그룹별 교배에 따른 자손 세대의 색상패턴

Succinea그룹의 YBM19와, conspicua그룹의 BRA02, spectabilis그룹의 BRA04를 가지고 서로 암수를 달리하여 교배를 하였다. 그 결과 Fig. 7에서 볼 수 있는 바와 같이 많은 자손 세대를 얻지 못하였다. YBM19를 수컷으로 하여 교미하였을 경우에는 자손 세대에서 YBM19를 포함한 succinea그룹의 자손을 얻을 수 있었으나 수컷은 출현하지 않았고, 암컷으로 교배를 하였을 경우에는

BRA02와의 사이에서는 succinea그룹의 자손이 출현하지 않았다. BRA02를 수컷으로 교미하였을 경우에 YBM19 수컷과의 사이에서는 BRA02와 BRA04만이 출현하였고, BRA04 암컷과의 사이에서는 BRA02와 BRA04, YBM19가 출현하지 않고 succinea그룹에 속하는 표현형만 출현하였다. 반면에 BRA02를 암컷으로 사용하였을 경우에는 BRA02와 BRA04가 모두 출현하였고 succinea그룹도 출현하였다. BRA04를 수컷으로 사용하였을 경우에는 YBM19 암컷과의 사이에서는 부모와 같은 패턴과 succinea그룹에 속하는 패턴이 출현하였지만 YBM19 수컷은 나오지 않았

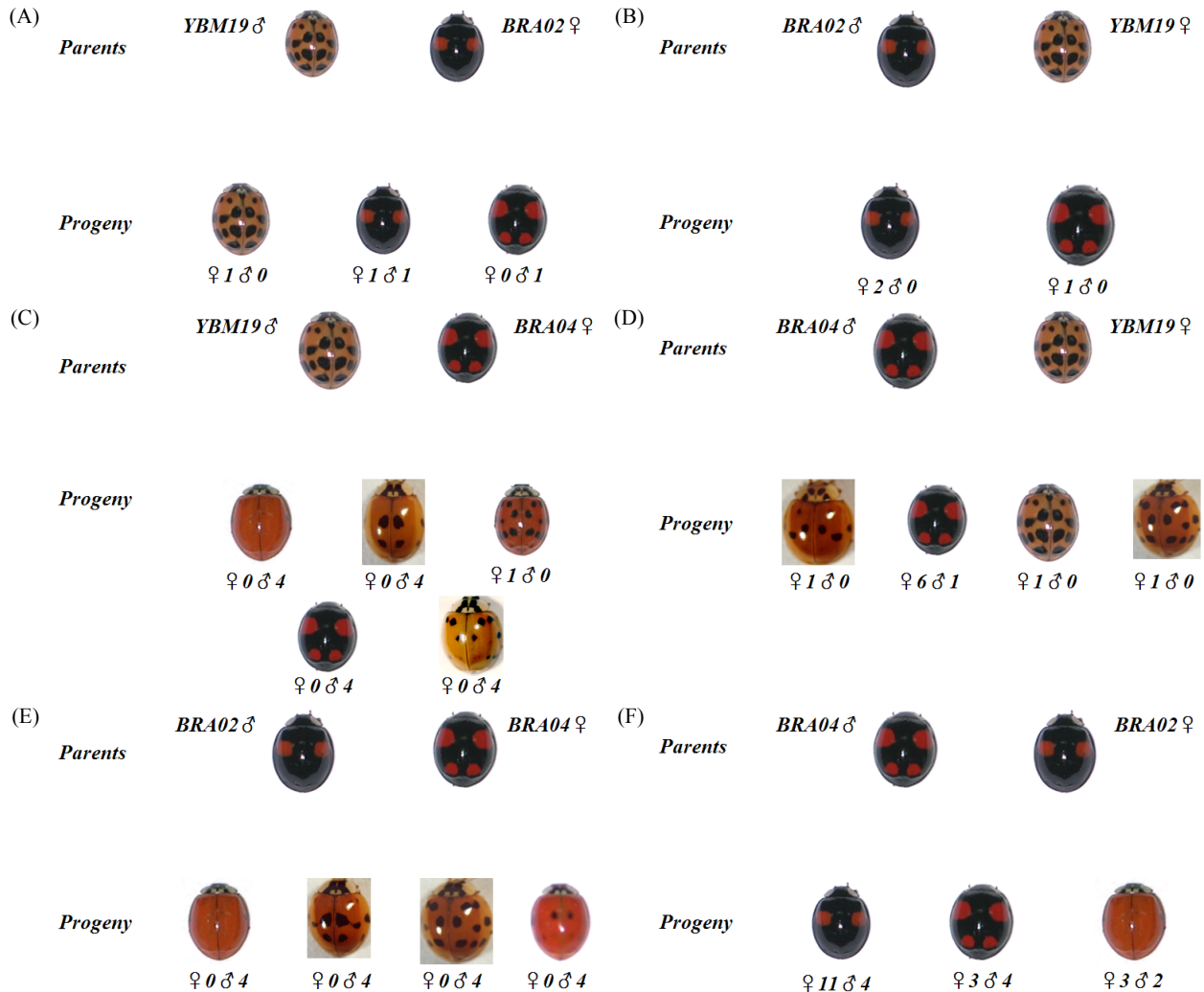


Fig. 7. Cross combination of *H. axyridis* between different elytra colored pattern groups. (A) Male of YBM19 breed with female of BRA02; (B) Female of YBM19 breed with male of BRA02; (C) Male of YBM19 breed with female of BRA04; (D) Female of YBM19 breed with male of BRA04; (E) Male of BRA02 breed with female of BRA04; (F) Female of BRA02 breed with male of BRA04.

으며, BRA02 암컷과의 사이에서는 부모 패턴과 함께 YBM00의 표현형이 출현하였다. 이상의 결과에서 보면, 서로 다른 색상 그룹별 교배에서는 많은 수의 자손을 생산하지 못하는 것으로 나타났다. 또한 BRA02 수컷과 BRA04 암컷과의 사이에서는 특이하게 암컷의 자손이 출현하지 않았으며, 모두 succinea 그룹에 속하는 패턴들만 출현하였다.

Axyridis 그룹에 속하는 서로 다른 색상패턴별 교배에 따른 자손 세대의 색상패턴

Axyridis 그룹에 속하는 대부분의 색상패턴은 검은 바탕에 커다란 노란색 혹은 붉은색을 띤 무늬를 만들고 있거나

마치 거북이와 같은 갈라진 형태로 남생이무당벌레의 초시색상과 유사한 패턴을 지니고 있다. 월동개체군에서 출현하는 빈도를 보면 이 그룹에 속한 모든 개체수를 더해 1%가 채 되지 않을 정도로 출현빈도가 낮은 색상그룹이다(Seo et al., 2007).

이들 그룹 중에서 RU2 type을 대상으로 RU'2, RS2, RW2, RT12 등 4개의 타입을 가지고 암수를 번갈아 가면서 교배를 한 결과(Fig. 8), RU2 수컷과 RU'2 및 RS2 암컷 사이에서는 부모 세대의 색상패턴만이 출현하였으며, RU'2 수컷과 RU2 암컷 사이에서는 RU'2 type만 출현하였고, RU2 수컷과 RW4 암컷 사이에서는 RW4 type만 출현하였고, RU2 암컷이 RT12 수컷과의 사이에서도 RU2 type은 만들어 내지 못하고 RT12 type과 다른 형태의

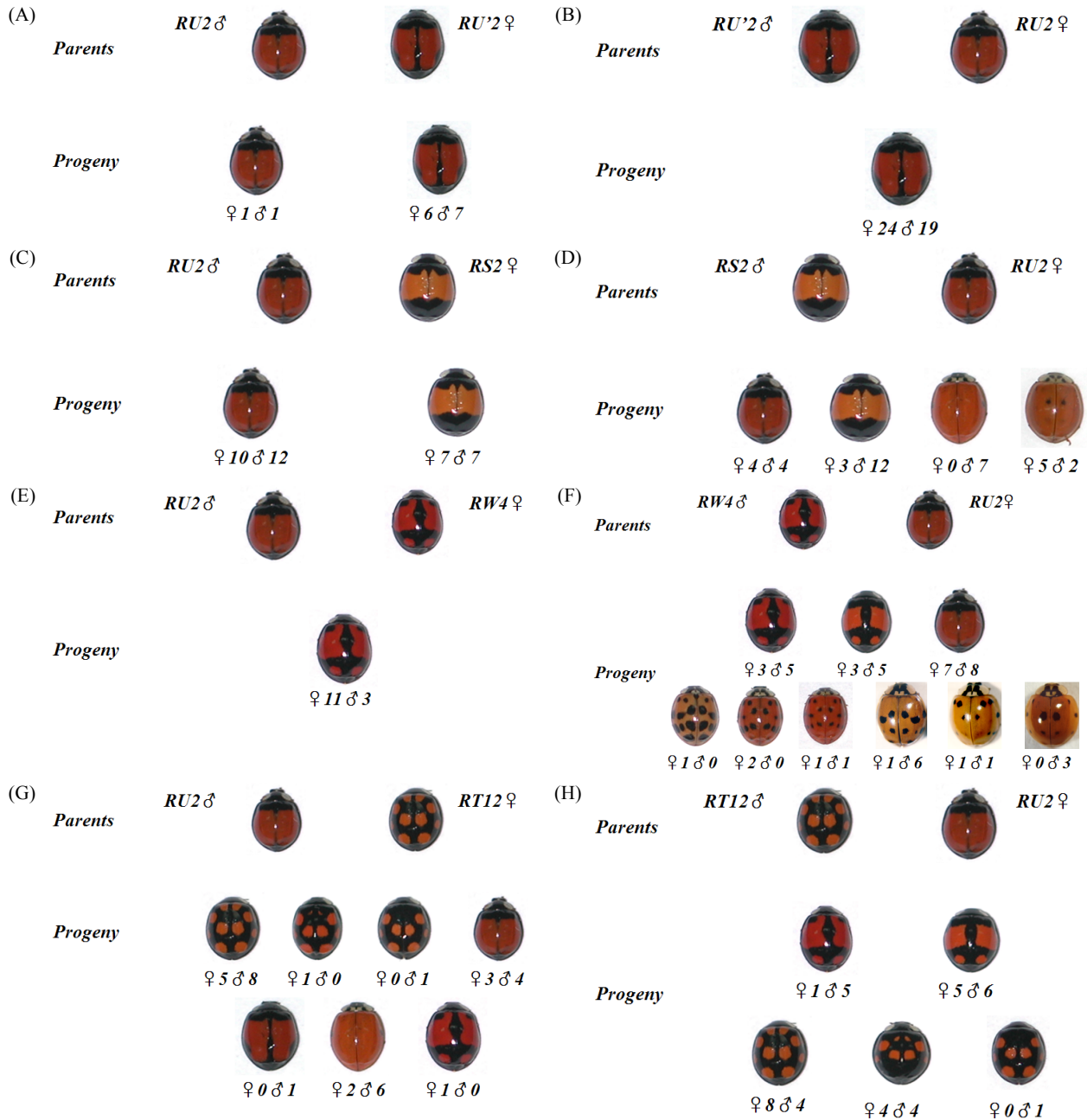


Fig. 8. Cross combination of *H. axyridis* between different elytra colored pattern with RU2 type in axyridis group. (A) Male of RU2 breed with female of RU'2; (B) Male of RU'2 breed with female of RU2; (C) Male of RU2 breed with female of RS2; (D) Male of RS2 breed with female of RU2; (E) Male of RU2 breed with female of RW4; (F) Male of RW4 breed with female of RU2; (G) Male of RU2 breed with female of RT12; (H) Male of RT12 breed with female of RU2. RU2: Rare U-shaped with 2 spots; RU'2: Rare wrinkled U-shaped with 2 spots; RS2: Rare striped 2 spots; RW4: Rare wrinkled shaped 4 spots; RT12: Rare turtle shaped 12 spots.

axyridis 그룹의 색상패턴을 보이는 자손을 만들어 내는 것으로 미루어 보면 이들에 비하여 열성 유전을 하고 있는 것이 아닌가 추정된다. 한편 RU2 암컷이 RS2나 RW4의 수컷과 교배를 하게 되면 자신들의 type이외에도 succinea 그룹에 속하는 색상패턴을 가진 자손을 생산하고 있었으

며, 특히 RW4의 수컷과의 사이에서는 YBM19 암컷 1마리가 출현하기도 하였다. 이와 같이 부모세대에 YBM19 type이 없는 경우에도 자손이 출현하는 빈도는 매우 낮은 것으로 위에서 살펴본 RW4와 RWS4의 암컷과 수컷 사이에서와 YBM00 수컷과 BRA02 암컷 사이에서만 관찰이

되었다. 또한 Fig. 9에서 볼 수 있는 바와 같이 RW4와 교미를 한 경우에는 유난히도 succinea 그룹에서 YBM19는 아니더라도 점이 많은 형태가 출현하고 있어 RW4나

RWS4가 YBM19 type의 형질을 가지고 있을 수 있다고 생각된다.

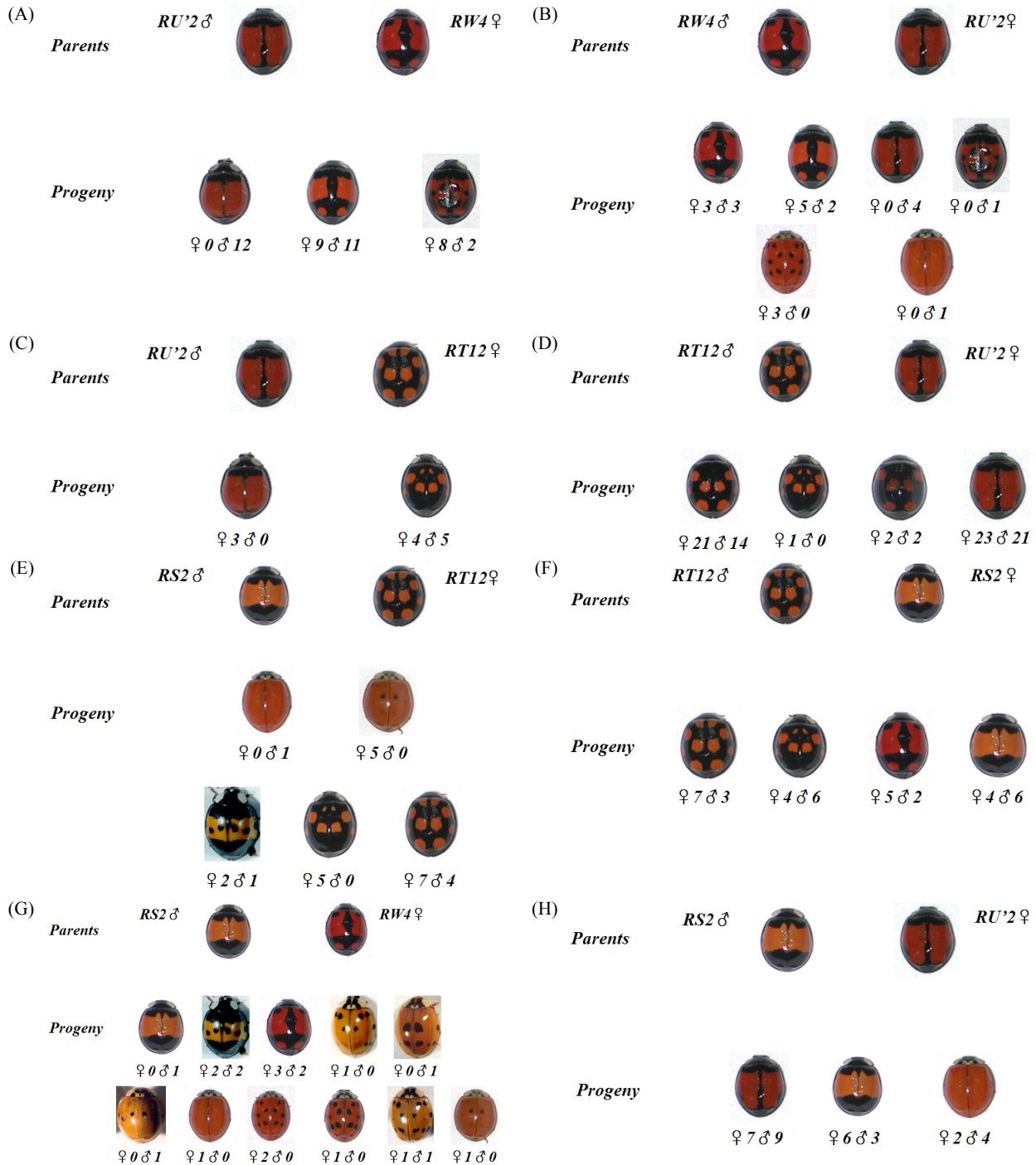


Fig. 9. Cross combination of *H. axyridis* between different elytra colored pattern with RU'2 and RS2 types in axyridis group. (A) Male of RU'2 breed with female of RW4; (B) Male of RW4 breed with female of RU'2; (C) Male of RU'2 breed with female of RT12; (D) Male of RT12 breed with female of RU'2; (E) Male of RS2 breed with female of RT12; (F) Male of RT12 breed with female of RS2; (G) Male of RS2 breed with female of RW4; (H) Male of RS2 breed with female of RU'2. RU'2: Rare wrinkled U-shaped with 2 spots; RS2: Rare striped 2 spots; RW4: Rare wrinkled shaped 4 spots; RT12: Rare turtle shaped 12 spots.

YBM19, BRA02와 BRA04에서 같은 색상패턴의 집단교배에 따른 세대별 색상패턴 변화

위에서 서술한 경과들을 바탕으로 보면, 무당벌레의 색상 유전에 대한 일정한 법칙을 찾을 수가 없음을 알 수 있다. 다만 어느 특정한 type들이 다른 것들보다 좀 더 많이 나오고 적게 나오는 양적인 비교를 통하여 추측할 수 있을 뿐이다. 따라서 이러한 type을 서로 교배하였을 때에 잡종의 출현을 막고 순수한 부모세대의 패턴만을 얻기 위하여 succinea그룹의 YBM19 type과, conspicua그룹의 BRA02 type, spectabilis그룹의 BRA04 type을 대상으로 하여 순수혈통을 찾으려고 시도하였다. 결론부터 서술하면, 이와 같은 노력은 실패로 돌아가서 순수한 혈통을 찾는 일은 매우 어려워 보인다. YBM19 type의 경우(Fig. 10), 암컷과 수컷 각 10마리로 처음 부모세대를 구성하고 누대사육을 시작한 결과 3세대가 경과 한 후부터 YBM19 type이 급격히 감소하였고, 10세대에 이르러서는 수컷이 전혀 출현하지 않아 9세대의 수컷을 이용하였으나 결국 12세대에 가서는 YBM19 type이 출현하지 않았다. 따라서 자연 상태의 월동 개체군에서 50%이상의 가장 높은 비율로 존재하고 있는 YBM19 type이 근친교배를 통해서는 세대를 거듭할수록 감소하고 있는 것을

알 수 있었다.

한편, conspicua그룹의 BRA02를 누대 사육하였을 경우에는(Fig. 11), 1세대에서는 전부 부모세대의 패턴만을 얻었으나, 이는 Fig. 5C에서 YBM00 수컷 1개체가 출현한 것과는 다른 결과를 나타내었다. BRA02 type의 경우에도 세대를 거듭하면서 2세대에서는 spectabilis그룹의 BRA04가 출현하였고, succinea그룹에 속하는 패턴들이 나오기 시작하여 6세대를 경과하기까지 이어지고 있는 것을 알 수 있어 BRA02 type 또한 순수혈통을 찾는 데는 많은 어려움이 있을 것으로 예상된다.

Spectabilis그룹의 BRA04의 경우에는 Fig. 5D에서와 마찬가지로 부모세대와 같은 형질인 BRA04가 주로 출현하였으나 succinea그룹에 속한 type들이 다양하게 나타났다. 특히 제 2, 3세대에서는 YBM19 type이 나타나기도 하여 BRA04에는 YBM19 type에 관련된 유전형질이 내포되어 있을 수 있다는 가능성을 제기하고 있다. 제 5세대의 경우, 부모세대만 출현하여 순수혈통의 분리가 이루어지는 듯하였으나 6, 7세대를 경과하면서 succinea그룹에 속하는 type들이 계속 출현하여, BRA04 type도 BRA02 type과 마찬가지로 순수혈통을 분리하는데 많은 난관이 예상된다.

이상의 결과를 종합하여 보면, 무당벌레에서 색상변이

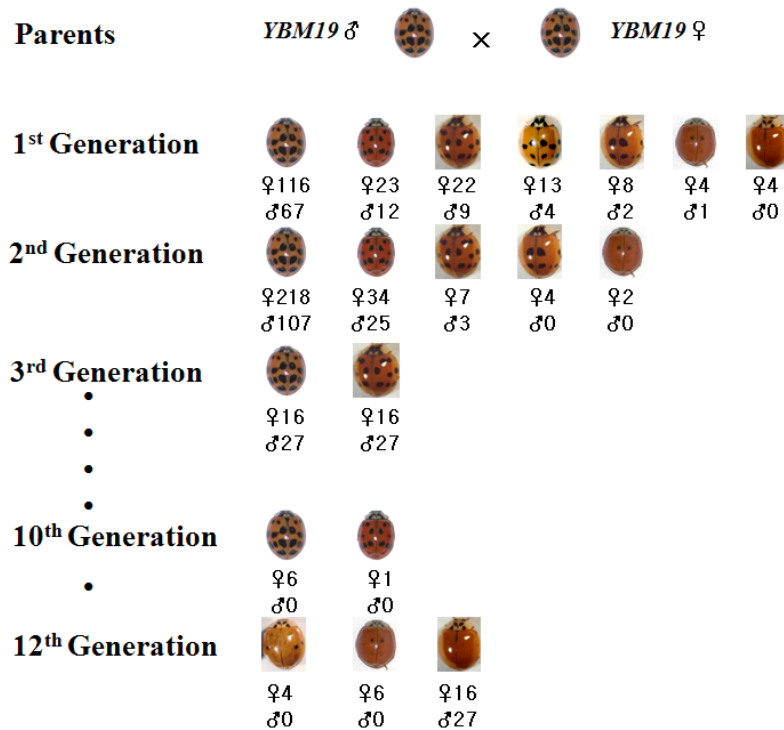


Fig. 10. Several generations from cross breeding with YBM19 types in succinea group. From 10th generation, the number of males were decreased or did not occurred as 7 females and 0 male.

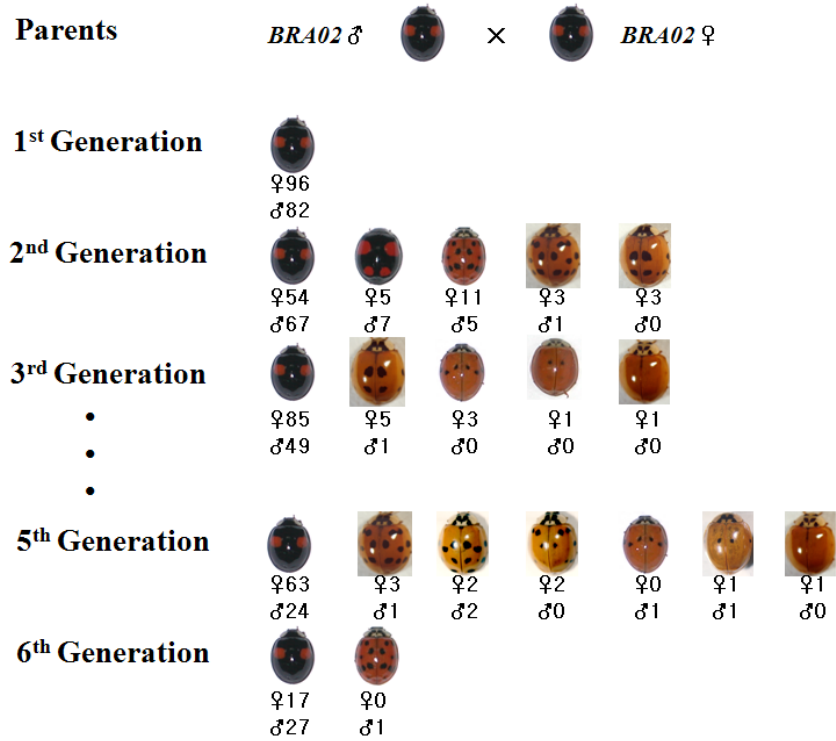


Fig. 11. Several generations from cross breeding with BRA02 types in conspicua color pattern group. From 6th generation, color pattern of progeny was mainly revealed conspicua pattern such as a parents pattern.

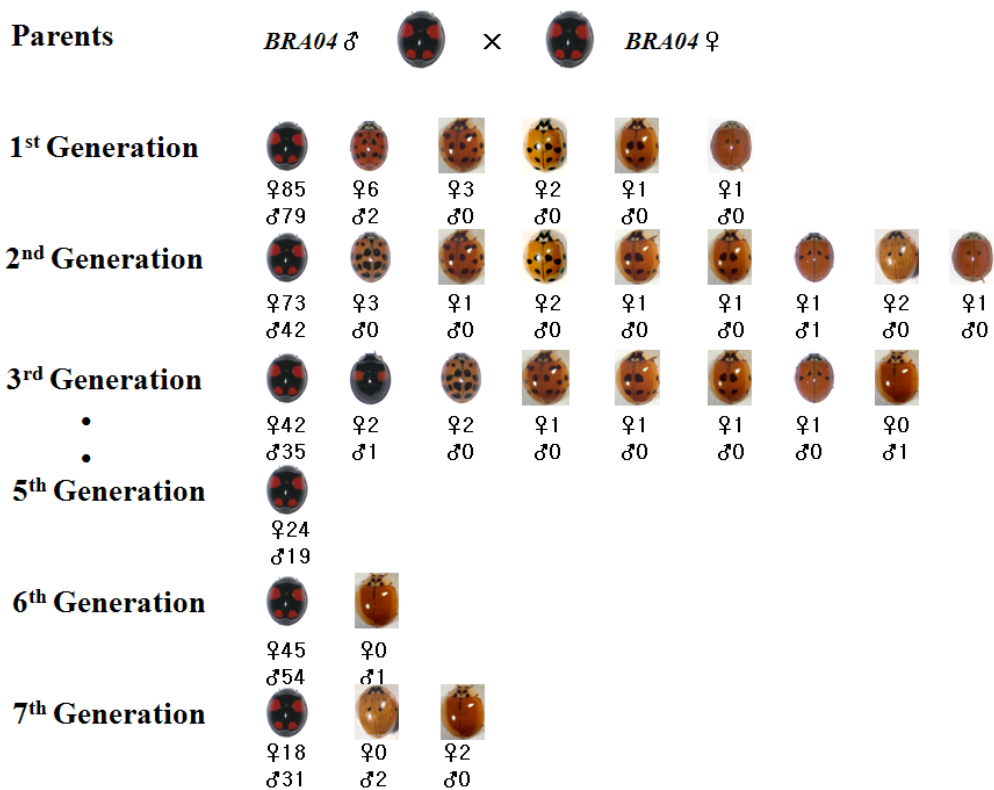


Fig. 12. Several generations from cross breeding with BRA04 types in spectabilis color pattern group. By 3th generation, color patterns of progeny were very different, but from 5th Generation, only spectabilis pattern occurred.

에 관련된 유전학적 현상이 어느 정도 증명되었지만, 앞으로 연구해야 될 많은 과제들이 많이 있음을 알 수 있다. 이미 Majerus and Kearns (1989)도 언급을 한 바 있지만, 반점의 색상이나 모양에 있어서 온도와 이용 가능한 먹이와 같은 환경적 요인들이 어떠한 영향을 미치는가에 대한 의문점도 더욱 많은 연구가 필요하다. 또한 이러한 환경요인과 무당벌레가 가지고 있는 내적인 유전적 요인이 어떻게 조화를 이루면서 자연변이가 그렇게 많이 일어나는지도 알아야 한다.

Literature Cited

- Barker, J.S.F., W.T. Starmer and R.J. MacIntyre. 1990. Ecological and evolutionary genetics of *Drosophila*. Plenum Press, New York.
- Belicek, J. 1976. Coccinellidae of Western Canada and Alaska with analyses of the transmontane zoogeographic relationship between the fauna of British Columbia and Alberta. *Questiones Entomol.* pp. 283-409.
- Brown, M.W. and S.S. Miller. 1998. Coccinellidae (Coleoptera) in apple orchards of eastern west virginia and the impact of invasion by *Harmonia axyridis*. *Ent. News.* 109(2): 136-142.
- Chapin, J.B. and V.A. Brou. 1991. *Harmonia axyridis* (Pallas), the third species of the genus to be found in the United States (Coleoptera: Coccinellidae). *Proc. Entomol. Soc. Wash.* 93: 630-635.
- Clarke, C.B. 1979. The evolution of genetic diversity. *Proc. R. Soc. Lond. B.* 205: 453-474.
- Day, W.H., D.R. Prokrym, D.R. Ellis and R.J. Chianer. 1994. The known distribution of the predator *Propylea quatuordecimpunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) in the United States, and thoughts on the origin of this species and five other exotic lady beetles in eastern North America. *Entomol. News* 105: 244-256.
- Dobzhansky, T. 1951. *Genetics and the origin of Species*. 3rd. (ed.). Columbia Univ. Press. New York.
- ESK and KSAE. 1994. Check list of insects from Korea (eds). Kon-Kuk Univ. Press. Seoul. 744p.
- Fassotte, C. 1983. Role biologique des prédateurs dans la régulation des populations aphidiennes. *Rev. Agric.* 36: 1436-1449.
- Ferran, A. and A.F.G. Dixon. 1993. Forging behaviour of ladybird larvae (Coleoptera: Coccinellidae). *Eur. J. Entomol.* 90: 383-402.
- Ferran, A., G. Ipert, S. Kreiter, S. Quilicci and H. Shanderl. 1986. Preliminary results of a study of the potentials of some aphidophagous coccinellids for use in biological control. *Ecology of Aphidophaga*, vol. 2. I. Hodek (ed.). Academia. Praha. pp. 479-484.
- Ferran, A., H. Niknam, F. Kabiri, J.-L. Picart, C. De Herce, J. Brun, G. Ipert and L. Lapchin. 1996. The use of *Harmonia axyridis* larvae (Coleoptera: Coccinellidae) against *Macrosiphum rosae* (Hemiptera: Sternorrhyncha: Aphididae) on rose bushes. *Eur. J. Entomol.* 93: 59-67.
- Ferran, A., J. Gambier, S. Parent, K. Legenfre, R. Tourniere and L. Giuge. 1997. The effect of rearing the ladybird *Harmonia axyridis* on *Ephestia kuehniella* eggs on the response of its larvae to aphid tracks. *J. Insect Behav.* 10(1): 129-144.
- Ford, E.B. 1971. *Ecological genetics*. 3rd (ed.). Chapman & Hall, London.
- Gesev, G.V. 1979. Particularités biologiques des aphidiphages et possibilités de leur utilisation pratique en plein champ pour la protection des cultures. In: *Lutte Biologique et itégré contre les pucerons*. Colloque Franco-Soviétique. Rennes. INRA. pp. 25-38.
- Hodek, I. & P. Kindlmann. 1988. Evaluation of impact of aphid predators and the value and limitations of mathematical models. In: E. Niemczyk & A.F.G. Dixon (eds.): *Ecology and Effectiveness of Aphidophaga*. SPB Acad. Publ., The Hague. pp 151-160.
- Hodek, I. 1973. *Biology of Coccinellidae*. Academia. Praha. 260pp.
- Hodek, I. and A. Honek. 1996. *Ecology of Coccinellidae*. Kluwer Academic Publishers Dordrecht Boston London. 464p.
- Hodek, I., K.S. Hagen & H.F. van Emden. 1972. Methods for studying effectiveness of natural enemies. In: *Aphid Technology - I.B.P. Handbook*. Academic Press. London and New York. 344pp. (147-188).
- Ipert, G. 1986. Les coccinellidae de France. *Phytoma* 377: pp. 14, 22
- Ipert, G. 1999. Biodiversity of predacious coccinellidae in relation to bioindication and economic importance. *Agricul. Ecosys. Environ.* 74: 323-342.
- Ives, A.R., P. Kareiva and R. Perry. 1993. Response of a predator to variation in prey density at three hierarchical scales: lady beetles feeding on aphids. *Ecol.* 74: 1929-1938.
- Kauffman, W.C. and C.P. Schwalbe. 1991. Plant growth responses to *Aphis fabae* injury: importance of predation by *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae). *Behaviour and Impact of Aphidophaga*. L. Polgar, R.J. Chambers, A.F.G. Dixon, and I. Hodek (eds.). SPB Pub. pp. 167-175.
- Kidd, K.A., C.A. Nalepa, E.R. Day and M.G. Waldvogel. 1995. Distribution of *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera: Coccinellidae) in North Carolina and Virginia. *Proc. Entomol. Soc. Wash.* 97(3): 729-731.
- Komai, T. 1956. Genetics of lady beetles. *Adv. Gen.* 8: 155-188.
- Lamana, M.L. and J.C. Miller. 1998. Temperature dependent development in an Oregon population of *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). *Environ. Entomol.* 27(4): 1001-1005.
- Mackauer, M. 1976. Genetic problems in the production of biological control agents. *Ann. Rev. Entomol.* 21: 369-385.
- Majerus, M. and P. Kearns. 1989. *Ladybirds*. Richmond Pub. U.K. 103p.
- Nalepa, C.A., K.A. Kidd and K.R. Ahlstron. 1996. Biology of *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) in winter aggregations. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 89(5): 681-685.
- Nénon, J.P. 1981. L'utilisation des insectes entomophages en lutte biologique. *Année Biol.* 3: 227-254.
- Pimental, D. 1961. Animal population regulating by the genetic feedback mechanism. *American Naturalist* Vol. XCV. 65-79.
- Seo, M.J. and Y.N. Youn. 2000. The Asian ladybird, *Harmonia axyridis*, as biological control agents: I. Predacious behavior and feeding ability. *Kor. 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.
- Seo, M.J., G.H. Kim and Y.N. Youn. 2007. Differences in biological and behavioral characteristics *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) according to color patterns. *J. Appl. Entomol.* (in press).
- Tedders, W.L. and P.W. Schaefer. 1994. Release and establishment of *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) in the southeastern United States. *Entomol. News.* 105: 228-243.
- 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). *Biological Control.* 28: 164-170.

(Received for publication August 3 2007;
accepted August 21 2007)