

피망에서 브리지를 이용한 칠레이리응애의 확산 증진 연구

조점래 · 김정환 · 서보윤 · 박부용 · 서미자*

농촌진흥청 국립농업과학원 농산물안전성부 작물보호과

A Short Study on Promoting the Dispersal of *Phytoseiulus persimilis* using a Bridge on Green Pepper

Jum Rae Cho, Jeong Hwan Kim, Bo Yoon Seo, Bue Yong Park and Meeja Seo*

Crop Protection Division, Dept. of Agro-food Safety and Crop protection, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

ABSTRACT: The vertical distribution and dispersion of the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* and its predator, *Phytoseiulus persimilis*, were investigated within and between green pepper plants. We also tested the effect of an artificial bridge with threads on dispersal of *P. persimilis* between the plants. The extent of spread of *T. urticae* depended on its infested density and location. When 10 adults of *T. urticae* were inoculated on upper leaf, they stayed on the upper leaf until 5 days after inoculation. However, when 100 adults were inoculated on an upper leaf, they dispersed to the lower leaf within a day. In condition that 10 adults of *T. urticae* were inoculated on the lower leaf, they started to move toward upward within a day. In the absence of *T. urticae*, *P. persimilis* tended to move to the leaves where *T. urticae* was present when both *T. urticae* and *P. persimilis* were inoculated together within a plant. An artificial bridge with threads between two plants was helpful to disperse *P. persimilis* to neighboring plants. Therefore, it would be expected that the dispersal of *P. persimilis* can be promoted by supplying the artificial bridges among plants and by narrowing the distances between plants.

Key words: Green pepper, *Tetranychus urticae*, *Phytoseiulus persimilis*, Connecting bridge, Dispersion

초록: 피망 작물에서 점박이응애 및 칠레이리응애의 수직 분포 및 확산 정도를 알아보고, 주간 브릿지를 이용한 칠레이리응애의 확산을 조사하였다. 이들의 확산은 점박이응애의 접종 밀도 및 위치에 따라 달랐다. 점박이응애를 상위엽에 주당 10 마리 접종하였을 경우 방사 5일까지도 하위엽보다는 상위엽에 머무는 경향을 보였으며, 주당 100 마리를 접종했을 때 이미 방사 1일차에 하위엽까지 이동하였다. 반면에 하위엽에 주당 10 마리 접종 후 1일차에 중·상위엽으로 이동하였고, 3일차는 상위엽에만 존재하였다. 주당 100 마리를 접종한 경우 1일차에 상위엽까지 이동하였으며 시간이 경과함에 따라 하위엽보다는 상위엽에 더 많이 분포하는 경향을 보였다. 점박이응애를 접종한 이후 칠레이리응애의 접종 위치에 따라 이들이 확산되는 정도를 조사한 결과, 점박이응애가 없을 경우 칠레이리응애를 하위엽에 방사하여도 상위엽으로 이동하였고, 상위엽에 방사하면 방사 후 3일까지는 상위엽에 머물러 있었다. 점박이응애가 있을 경우 칠레이리응애는 방사 이후 먹이가 있는 곳으로 이동하는 경향을 보였다. 피망 세 개 주를 상부 또는 하부에 실로 연결하고, 2, 3번 작물에 점박이응애를 접종한 후 1번 작물의 상·하위엽에 각각 칠레이리응애를 방사하였을 경우 연결된 실을 통해 이웃 작물로 이동하였다. 따라서 방사되는 칠레이리응애의 확산을 증진하기 위해서 가능하다면 작물체 간격을 좁혀주거나 작물체를 인위적으로 연결하여 준다면 더 넓은 지역으로 확산 가능하여 방사된 칠레이리응애에 의한 점박이응애 방제효과도 크게 증진될 수 있을 것으로 판단된다.

검색어: 피망, 점박이응애, 칠레이리응애, 연결 브리지, 확산

점박이응애(*Tetranychus urticae* Koch)는 많은 작물에서 중요한 해충 중의 하나로 이들의 기주는 채소류, 과수류, 및 화훼류 등 거의 800여종으로 알려져 있다(Migeon and Dorkeld,

2010). 이러한 점박이응애를 관리하기 위해 사용하는 농약의 대체 수단으로 천적을 활용한 생물적방제는 유용한 프로그램이다. 칠레이리응애(*Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot)를 이용하여 하우스 내 점박이응애를 성공적으로 관리(van Lenteren and Woets, 1988)한 대표적인 예로 들 수 있으나 점박이응애를 방제함에 있어서 수동으로 흩어 뿌리는 칠레이리응애의 방사

*Corresponding author: mijaseo0337@korea.kr

Received September 24 2020; Revised October 29 2020

Accepted November 6 2020

는 많은 노동력과 시간이 요구된다. 더군다나 수동으로 방사하는 것은 상대적으로 키가 큰 작물일 경우에 특별한 장치를 이용하여 높은 곳에 방사해야하는 어려움이 있다. 그래서 대안적으로 기계적 방사법(mechanical blower)을 사용하기도 하지만 균일하게 방사되지 않거나 방사 과정에 천적이 치사하는 등 어려움이 있다(Opit et al., 2005).

작물체에서 생물적 방제인자의 이동을 제한하는 가장 대표적인 요소로는 방사시기에 좋지 않은 환경조건으로 보고 있다(Collier and Van Steenwyk, 2004). Weintraub et al. (2007)은 피망에서 극도로 낮거나 높은 온도가 사막이리응애(*Neoseiulus californicus*)의 확산에 부정적인 영향을 준다고 보고하였다. 해충의 분포 역시 천적의 이동에 중요한 영향을 미친다. 기주 내 해충이 고르게 분포할 경우 이들의 천적이 대상 기주 해충을 찾는데 소요되는 시간이 적지만, 국부적으로 분포한다면 대상 기주를 찾는데 많은 시간이 필요하기 때문이다(Ryoo, 1996). 방사할 천적의 효율을 극대화하기 위해, 기주 해충의 분포나 환경조건과 함께 중요한 요소는 방사된 천적이 방사된 지점으로부터 빠르게 기주가 있는 곳으로 확산되는 것이다(Pratt and Croft, 2000; Skirvin and Fenlon, 2003; Buitenhuis et al., 2010; Parolin et al., 2012). 응애의 확산과 관련해 Lopez et al. (2017)은 차면지응애(*Polyphagotarsonemus latus*)의 방제에 있어 식물 사이의 연결부분의 존재 여부에 따라 차면지응애 천적의 확산 효과가 달라진다고 보고하였다. 더욱이 포식성응애는 날 수도 없고 무한정 많은 양을 방사할 수도 없기 때문에 방사된 포식성응애가 이웃하는 작물체로 도달될 수 있도록 작물체간 연결이 확산의 중요한 요인이 될 수 있다(Buitenhuis et al., 2015). 따라서 생물학적인 방제인자의 효과를 제대로 발휘하기 위해서는 먹이 조건이 풍부하거나 온도가 적당하여야 할 것이며, 방사된 생물학적 인자가 빠르게 확산될 수 있도록 이웃하는 작물체가 서로 연결되어 있거나 인위적으로 연결될 수 있도록 장치를 설치하는 것이 필요할 것으로 생각된다. 특히 해충 발생이 적거나 작물체가 어릴 때 작물체가 무성하지 않은 초기에 방사된 칠레이리응애가 성공적으로 효과를 발휘하기 위해서는 인위적으로 작물체간 연결다리를 만들어 주는 것이 천적을 빨리 확산시키는 좋은 방법으로 생각되었다.

따라서 본 연구에서는 해충을 방제하기 위해 방사되는 칠레이리응애의 효율을 증진시키기 위해 피망작물 주내에서 점박이응애 및 칠레이리응애의 수직 분포 및 확산 정도를 알아보고, 또 작물의 상부와 하부에 인위적으로 실을 연결하고 칠레이리응애를 방사하였을 때 확산되는 정도와 방제효과를 조사한 결과를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

시험곤충

천적의 먹이인 점박이응애(*Tetranychus urticae*)는 실내 사육실 온도 $25 \pm 2^\circ\text{C}$, 습도 50 ~ 70% 및 광주기 16:8(L:D)의 환경 조건에서 강낭콩을 이용하여 누대 사육한 계통을 증식하여 사용하였다. 점박이응애의 접종은 필요한 일정 수의 점박이응애를 접종한 강낭콩 잎 조각을 피망 잎에 올려놓고 하루 정도 이동할 시간을 두었다. 천적인 칠레이리응애(*Phytoseiulus persimilis*)는 네덜란드 Koppert 에서 수입한 제품으로 택배로 도착한 날 $10 \pm 1^\circ\text{C}$ 항온기에 보관하면서 필요 시 꺼내어 하루 정도 상온에서 순화한 후 사용하였다.

점박이응애의 피망작물 주내 수직 분포

온실 내 포트(직경 23 cm, 높이 15 cm)에서 재배한 약 35 ~ 45 cm 높이 피망작물의 잎을 상, 중, 및 하 3개의 잎만 남기고 모두 제거하였다. 주변으로부터 오염을 차단하기 위하여 나일론 망사케이지(70 cm × 85 cm × 115 cm) 안에 포트를 넣어 두고 점박이응애가 옆 포트로 이동하는 것을 막기 위하여 포트 밑에 물을 채워 두었다(Fig. 1). 점박이응애 접종 위치에 따른 수직 분포 변화를 보기 위해 상위엽과 하위엽에 각각 방사하였다. 또한 방사 밀도에 따른 수직 분포 변화를 확인하기 위해 상대적으로 낮은 밀도인 10 마리와 높은 밀도 100 마리를 접종하였다. 1개의 망사케이지에 3개의 포트를 넣었으며 3반복으로 수행하였다. 망사케이지는 $25 \pm 2^\circ\text{C}$ 조건에 보관하면서 시험을 진행하였다.

점박이응애 접종 후 1, 3일차에는 확대경을 이용하여 기주 내에서의 이동상황을 육안으로 조사하였고, 5일차에는 작물을 절취하여 현미경 아래에서 조사하였다. 줄기에 붙은 개체는 상위엽과 중위엽 사이는 상위엽에, 중위엽과 하위엽 사이는 중위엽에, 및 하위엽 아래 부분은 하위엽에 포함하여 계수하였다.

칠레이리응애의 피망작물 주내 수직 분포

작물, 작물의 잎 남김, 망사케이지 크기 및 케이지 보관장소 등은 시험 2와 동일하게 수행하였다. 칠레이리응애가 옆 포트 로 이동하는 것을 막기 위하여 포트 밑에 물을 채우고, 1 개의 망사케이지에 3 개의 포트를 넣었으며 3반복으로 수행하였다. 먹이인 점박이응애 없이 칠레이리응애만 접종하였는데, 하위엽과 상위엽에 각각 주당 50 마리씩 접종하였다. 조사방법은 시험 2와 같다.

피망작물 주내 점박이응애 분포에 따른 칠레이리응애의 공간 분포

점박이응애 먹이 작물, 작물의 잎 남김, 망사케이지 크기, 및 케이지 보관장소 등은 시험 2와 동일한 방법으로 하였다. 점박이응애와 칠레이리응애의 접종 위치를 달리하여 처리 1은 점박이응애 100 마리를 상위엽, 칠레이리응애 50 마리를 하위엽에 접종하였고, 처리 2는 처리 1과 반대로 상위엽에 칠레이리응애 50 마리, 하위엽에 점박이응애 100 마리를 접종하였다. 접종 후 1, 3, 5일차에 시험 2와 3과 같은 방법으로 조사하였다.

피망작물 간 점박이응애 및 칠레이리응애의 확산

점박이응애 기주식물, 기주식물의 잎 남김, 망사케이지 크기 및 케이지 보관장소 등은 시험 2와 동일한 방법으로 하였다. 망사케이지 내에 3개의 피망 포트를 1, 2, 3 포트 순으로 35 cm 간격으로 놓고, 포트 밑에는 접종한 응애가 작물체 밖으로의 이동을 막기 위하여 물을 채웠다. 칠레이리응애의 이동을 확인하기 위한 실을 1, 2, 3 포트의 상위엽 연결과 하위엽 연결 2 가지 방법으로 실시하였다(Fig. 1). 먹이인 점박이응애를 1 번 포트에는 접종하지 않고 2 번과 3 번 포트에 각각 300 마리씩 접종하였다. 점박이응애 접종 1일 후 두 처리 모두 칠레이리응애를 1 번 포트의 하위엽에 각각 50 마리씩 접종하였고, 시험은 3 반복으로 실시하였다.

칠레이리응애의 주내 이동상황을 첫 일차는 확대경을 이용하여 육안으로 조사하였고, 5 일차에는 작물을 절취하여 현미경 아래에서 조사하였다. 실에 붙어 있는 개체는 1 번과 2 번 포트 사이는 2 번 포트에, 2 번과 3 번 포트 사이는 3 번 포트에 이동한 것으로 간주하였다.

피망작물 간 브리지를 이용한 칠레이리응애의 생물적방제 효과

점박이응애 기주식물, 기주식물의 잎 남김, 망사케이지 크기 및 케이지 보관장소 등은 시험 2와 동일한 방법으로 하였다. 망사케이지 내에 2개의 피망 포트를 50 cm 간격 두고 Fig. 1과 같이 상부 또는 하부에 실을 연결하였고, 포트 밑에는 층의 이동을 막기 위하여 물을 채웠다. 먹이인 점박이응애를 1 번 포트에는 접종하지 않고 2 번 포트에 각각 300 마리씩 접종하였다. 점박이응애 접종 1일 후 두 처리 모두 칠레이리응애를 1 번 포트의 하위엽에 각각 50 마리씩 접종하였고, 시험은 3 반복으로 실시하였다. 처리 후 1, 3, 7일차에 작물을 절취하여 현미경 아래에서 실, 약층 및 성층 등 모든 발육단계의 응애류를 조사하였다. 실에 붙어 있는 개체는 작물체에 있는 것으로 포함시켜 계수하였다.

결과 및 고찰

점박이응애의 피망작물 주내 수직 분포

점박이응애를 접종한 후 시간의 경과에 따른 피망작물 주내 점박이응애의 분포 확산은 Fig. 2와 같다. 점박이응애를 상위엽에 접종하고 이들의 확산을 조사한 결과, 점박이응애 접종 밀도가 낮은(10 마리/주) 경우 방사 5일까지도 하위엽보다는 상위엽에 더 많이 머물러 있는 경향을 보였으며, 접종 밀도가 높은(100 마리/주) 경우에는 이미 접종 1일차에 하위엽까지 이동하는 경향을 보였다(Fig. 2A). 점박이응애를 하위엽에 접종하였을 경우에는, 주당 10 마리 접종 후 1일차에 이미 중-상위엽으로 이동하였고, 3일차는 상위엽에만 존재하였다. 이후 다시 하

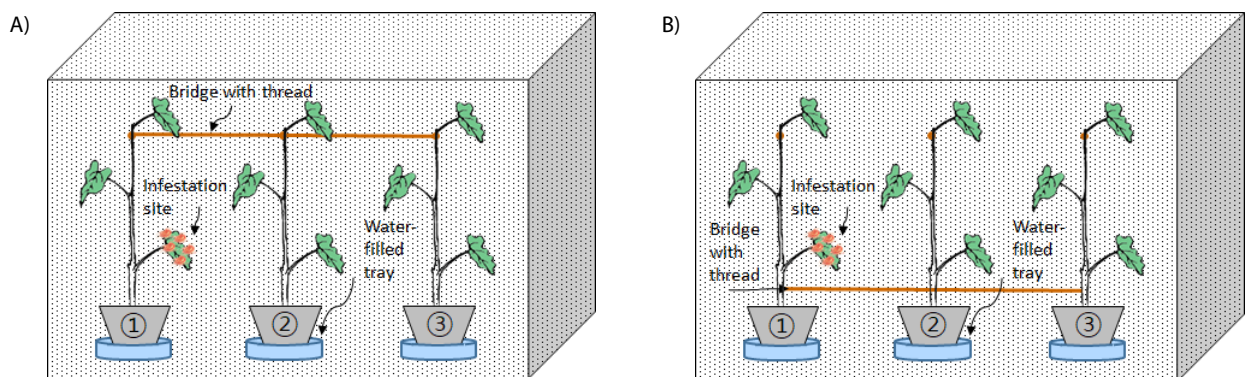


Fig. 1. Three neighboring plants were connected with a bridge of thread (A: upper region, B: lower region) and they were placed in a water-filled tray.

위엽까지 이동하는 경향을 보였다. 주당 100 마리를 접종한 경우 접종 1일차에 이미 상위엽까지 이동하였으며 시간이 경과함에 따라 하위엽보다는 상위엽에 더 많이 분포하는 경향을 보였다(Fig. 2B). 이러한 결과는 일반적으로 점박이응애는 양성주 광성을 보이며, 발생 밀도가 늘어남으로 집중적인 흡즙에 의한 잎의 변색에 의해 상대적으로 흡즙하기에 적합한 작물체의 상위엽(어린잎)으로 이동한다는 보고(Suski and Naegele, 1963; Jones and Parrella, 1984; Nachman and Zemek, 2002; Walzer et al., 2007)와 유사한 결과를 보였다. 또한 Kumaran (2011)은 한 작물체 내에서도 점박이응애는 작물체의 중·하위엽에서 보다는 상위엽에 더 높은 밀도를 형성하고 있고, 한 어린 잎 내에

서도 앞 뒷면에 더 많은 밀도를 형성한다고 보고한바 있다.

칠레이리응애의 피망 작물 주내 수직 분포

칠레이리응애의 기주인 점박이응애를 접종하지 않고 칠레이리응애를 파프리카 주 당 50마리를 하위엽과 상위엽에 각각 접종하였을 때 칠레이리응애는 하위엽에서 중·상위엽으로 이동하였다. 상위엽에 방사하였을 경우 칠레이리응애는 먹이원이 없어도 방사 후 3일까지는 상위엽에 머물러 있었다. 그러나 시간이 경과함에 따라 먹이원이 없는 상태에서는 식물체 내 존재하는 것이 아니라 이리저리 이동하면서 식물체 밖으로 이탈

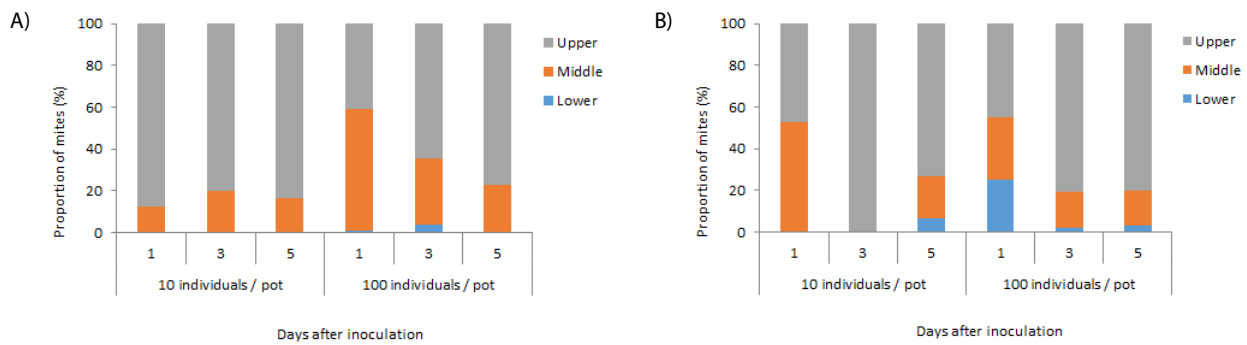


Fig. 2. Vertical distribution of *T. urticae* on different infestation sites and densities (A: upper-leaf infestation, B: lower-leaf infestation).

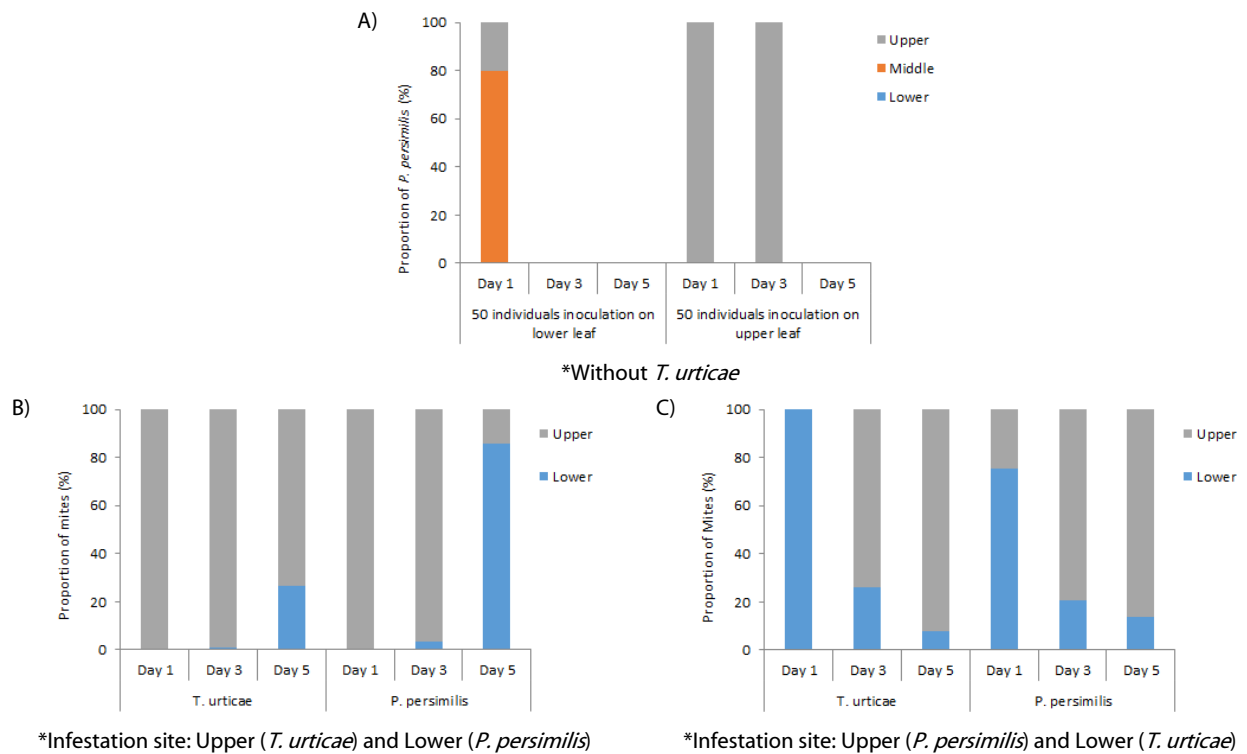


Fig. 3. Vertical distribution of *T. urticae* and *P. persimilis* with or without *T. urticae* at two different infestation sites of green pepper plant.

하여 유실되는 경향을 보였다(Fig. 3A). 먹이원인 점박이응애가 있는 경우는 Fig. 3B, C와 같다. 점박이응애를 상위엽에 접종하고, 칠레이리응애를 하위엽에 방사하였을 경우 3일이 지나더라도 하위엽으로 이동하지 않으며 5일이 지나면 20% 이상이 하위엽으로 이동하는 경향을 보였다(Fig. 3B). 이에 따라 칠레이리응애는 3일차까지도 먹이원이 있는 상위엽에 머물러 있으며 5일차에는 80% 이상 하위엽으로 이동하는 경향을 보여 먹이를 찾는 행동을 지속적으로 하는 것으로 나타났다. 점박이응애를 하위엽에 접종하고 칠레이리응애를 상위엽에 방사한 경우에 점박이응애는 시간이 경과할수록 상위엽으로 이동하고 있으며, 칠레이리응애는 먹이원의 분포에 따라 하위엽으로 이동하고 있음을 알 수 있었다. 칠레이리응애를 상위엽에 방사하든 하위엽에 방사하든 칠레이리응애는 기주인 점박이응애가 존재하는 곳을 향해 이리저리 먹이 찾는 행동을 하는 것으로 보여진다. 일반적으로 정상적인 상태에서 포장에서 점박이응애가 감염된 초기에는 식물체 내 공간분포에 대한 변이는 덜하지만 발생밀도가 증가할수록 점박이응애는 상부에서 더 많은 밀도가 형성되면서 분포의 변이도 현저히 증가하는 것으로 보고하였다(Jones, 1990; Wilson and Morton, 1993).

점박이응애 분포에 따른 칠레이리응애의 피망작물 주내 공간 분포

점박이응애 100 마리를 상위엽에 접종하고 칠레이리응애를 상·하위엽 각각에 주 당 50 마리를 방사하였을 경우(Fig. 4A)와 점박이응애를 하위엽에 주 당 100 마리를 접종하고 칠레이리응애를 상·하위엽에 주 당 각각 50 마리를 방사한 경우(Fig. 4B), 이들의 분포패턴은 다양하였다. 점박이응애를 상위엽에 접종하면 대부분의 점박이응애는 상위엽에 머무르게 되고 극히 일부는 중위엽과 하위엽으로 이동하였고, 하위엽에 접종한 경우에는 접종 5일후 60% 이상 상위엽으로 이동하였고, 이에 따라 점박이응애를 상위엽에 접종한 후 칠레이리응애를 하위

엽에 접종하여도 접종 5 일후 80% 이상은 상위엽으로 이동하였다(Fig. 4A). 칠레이리응애를 상위엽에 접종할 경우 접종 5 일후 중·하위엽으로 이동하지 않고 상위엽에 분포하고 있었다(Fig. 4B). 점박이응애를 하위엽에 접종한 후 칠레이리응애를 상·하위엽에 접종하여도 접종 3일 후 90%이상이 상위엽에 집중 분포하는 것을 확인하였다. 앞서 여러 연구자들이 보고한 것(Suski and Naegele, 1963; Jones and Parrella, 1984; Nachman and Zemek, 2002; Walzer et al., 2007)과 마찬가지로 점박이응애는 식물체 내에서 상위엽으로 이동하는 경향성을 갖고 있고, 먹이원인 점박이응애의 분포에 따라 천적인 칠레이리응애의 분포가 결정되어 진다는 것을 알 수 있었다.

피망작물 간 칠레이리응애의 확산 분포

약 35 ~ 45 cm 높이의 피망이 심겨진 포트 세 개를 Fig. 1과 같이 35 cm 간격으로 위치시킨 후 포트 1, 2 및 3번의 상부(Fig. 5A) 및 하부(Fig. 5B)를 실로 연결하고, 2, 3번 포트에 잎 당 100 마리의 점박이응애를 접종(총 300마리)하였다. 접종 24시간 후 칠레이리응애를 하위엽에 총 50 마리를 방사한 결과, 상부를 연결한 경우 칠레이리응애는 방사 1일차 이미 세 번째 포트의 상위엽으로 100% 이동하였고, 5일차에는 상위, 중위, 및 하위엽까지도 고르게 분포하고 있었다(Fig. 5A). 하부를 연결한 경우 칠레이리응애는 방사 1일차 방사한 포트에는 존재하지 않고, 이미 2, 3번 포트로 이동하였으며, 심지어 3번 포트 상부에 100% 분포하고 있었다. 방사 후 5일차의 경우, 방사한 포트 하위엽에 100% 존재하다가 2, 3번 포트로 이동하여 상위, 중위 및 하위엽에도 고르게 분포하고 있었다(Fig. 5B). 상부 연결 다리와 하부 연결 다리 간에 유의성 있는 차이는 보이지 않지만 연결 다리가 칠레이리응애의 확산을 증진시키는 것은 확실히 나타났다. 작물 재배기간 중에 생산자가 재배 공간의 사용 정도나 작물체 형태에 따른 작물체간 간격은 다양하다. 해충-천적의 상호작용에 있어서 해충은 대개 작물체와 작물체 사이, 작물체

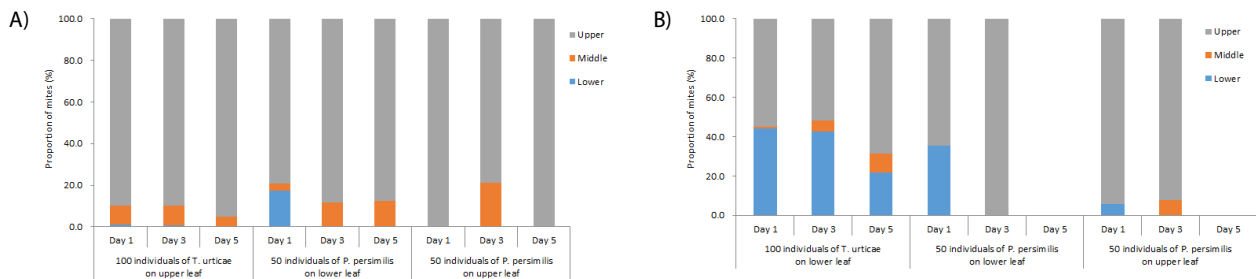


Fig. 4. Vertical distribution of *P. persimilis* on different infestation sites of *T. urticae* (A: upper-leaf infestation of *T. urticae*, B: lower-leaf infestation of *T. urticae*).

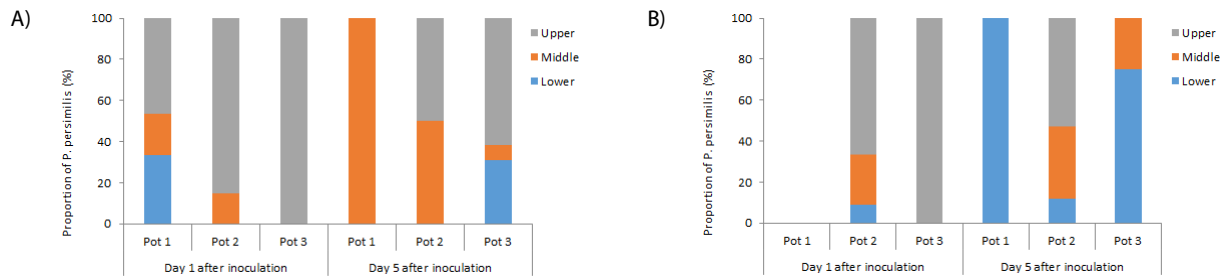


Fig. 5. Vertical distribution of *P. persimilis* on two different bridge positions (A: upper bridge, B: lower bridge) with infestation of *T. urticae*. *P. persimilis* were released on lower leaf.

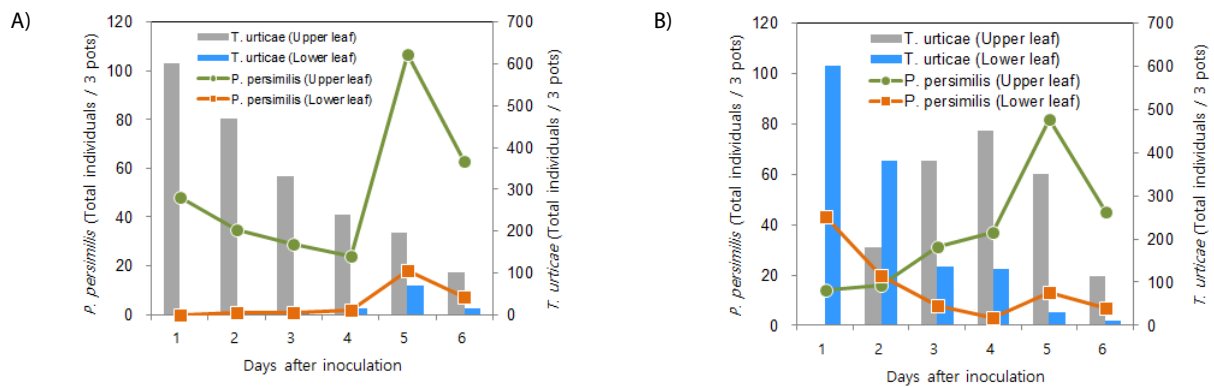


Fig. 6. Changes in population density of *T. urticae* and *P. persimilis* on different infestation sites. A) infestation site: Upper (*T. urticae*) and Lower (*P. persimilis*); B) infestation site: Lower (*T. urticae*) and Upper (*P. persimilis*).

내에서도 고르게 분포하지 않고 작물체와 작물체 사이에 인위적인 다리가 존재하지도 않을 경우 더욱 집중 분포할 수밖에 없을 것이다. 또한 점박이응애 분포에 따라 칠레이리응애도 점차 상위엽으로 이동하는 것은 당연한 기주 탐색 행동의 결과라고 생각된다.

Takafuji (1977)는 식물체간 칠레이리응애의 확산행동에 관한 차응애(*T. kanzawai*)의 밀도가 미치는 영향을 밝혔고, Buitenhuis et al. (2010)는 국화에서 총채벌레 유무에 따른 지중해이리응애(*Amblyseius swirskii*)의 확산정도를 조사하는 과정에서, 방사 14일 후 60 cm 떨어져 있는 식물체로 이동한 지중해이리응애를 발견하기 어렵다고 하면서 식물체간 연결다리가 없으면 이들 칠레이리응애의 확산속도는 매우 낮다고 결론내린 바 있다. Campbell and Lilley (1999)도 흡에 발생한 점박이응애를 방제하는 데 있어서 칠레이리응애의 방사밀도 및 시기가 중요하다고 보고한 바 있다. 본 연구에서도 포트 간 상부 또는 하부에 실을 이용하여 작물체간 연결 다리를 만들어 주었을 때 칠레이리응애의 이동에 의한 확산이 증진된 것을 확인할 수 있었다.

피망작물에서 점박이응애 및 칠레이리응애 방사 위치에 따른 밀도 변동

점박이응애를 상위엽에 방사하고 칠레이리응애를 하위엽에 방사한 경우, 방사 후 1일차 칠레이리응애는 대부분이 상위엽에 머물러 있으면서 점박이응애를 포식하였으며, 방사 후 시간이 경과함께 따라 상위엽에서 점박이응애의 밀도는 급격하게 감소하는 것과 동시에 하위엽으로 이동하지 않았다(Fig. 6A). 점박이응애를 하위엽에 방사하고 칠레이리응애를 상위엽에 방사한 경우, 하위엽에서 점박이응애의 밀도가 날이 갈수록 급격하게 줄어들면서 상위엽으로 이동하는 것으로 보여 지는데, 칠레이리응애 방사 후 1일차 하위엽에서 높은 수준의 밀도가 형성되었다(Fig. 6B). 그러나 하위엽 보다는 상위엽 쪽에 머물러 있는 개체수가 많은 것을 알 수 있었다. 따라서 칠레이리응애는 먹이 찾기 활동으로 인해 상하로 이동하고 먹이인 점박이응애 밀도와 밀접하게 관련하여 분포하는 것으로 보여진다. 따라서, 칠레이리응애를 응애류 해충이 있는 곳에 방사하는 것이 최선의 방법이겠지만 포장 내 해충의 분포를 알 수 없으므로 칠레이리응애를 하위엽에 방사를 한다하더라도 방제효과를 나타내는

데는 문제가 없을 것으로 사료된다.

Pratt and Croft (2000)는 정원 내 측백나무에서 점박이응애를 방제하기 위해서 (*Neoseiulus fallacis*)의 확산속도는 아주 낮았다고 평가하였다. Tetranychid mite의 확산은 천적으로부터 도망가기 위한 중요한 기작이다(Kennedy and Smitley, 1985). Spider mite의 분포패턴은 아주 빠르게 변화하기 때문에 이들의 포식성 천적은 생존을 위한 효율적인 먹이 탐색행동을 가져야 한다(Zhang and Sanderson, 1993). Takafuji (1977)는 이웃하는 두 강낭콩 포트 사이에서 차응애에 반응하는 칠레이리응애의 확산 속도를 조사하였는데, 강낭콩 잎과 잎 사이를 합판으로 연결하였을 때 확산의 속도가 빨랐다고 보고하였다. 과수작물에서 칠레이리응애의 이동을 결정하는데 있어서 중요한 요소 중의 하나는 식물체 간 연결 정도에 달려 있으며, 인위적인 연결 다리가 많을수록 식물체 간 이동하는 칠레이리응애의 비율은 증가한다고 보고하였다(Zemek and Nachman, 1998). 또 Zemek and Nachman (1999)은 작물체에 발생한 점박이응애가 칠레이리응애를 작물체에 접종하였을 때 적어도 세 개의 인위적으로 연결한 다리를 지나 갈 수 있다고 보고하였다. 이러한 칠레이리응애의 작물체간 이동은 온도에 의해서도 영향을 받는 것으로 확인되었다(Skirvin and Fenlon, 2003). 본 연구에서 작물체 간 연결 다리를 만들어 줌으로써 해충의 발생 수준이 낮거나 작물 재배 초기에 천적을 미리 방사하는 ‘Natural enemy in first’ 개념을 확장시킨 해충방제 방법을 통해 천적의 이동 및 확산이 어려운 재배초기에 천적의 확산을 증진시킬 수 있는 유용한 방법이 될 수 있을 것으로 사료된다(Ham et al., 2019).

피망작물 간 브리지 이용에 의한 칠레이리응애의 생물적방제 효과

망사케이지 내에 두 개의 피망 포트를 넣어 두고 상부와 하부에 실을 연결하고, 2번 포트 하위엽에 300마리의 점박이응애

를 접종한 후 1번 포트 하위엽에 50마리의 칠레이리응애를 방사한 결과 시간의 경과에 따라 점박이응애 및 칠레이리응애의 밀도 변화는 Fig. 7과 같다. 방사된 칠레이리응애는 연결한 실을 통해 2번 포트로 이동하여 포식에 의한 점박이응애의 밀도가 현저하게 낮아져 상부에 실을 연결할 경우 7일차 보정살충율이 96.8%로 하부에 실을 연결한 곳에서 보정살충율 73.2%보다 높았다. 살충율 통계분석 결과, 실을 연결하지 않은 것보다 연결했을 때 살충율이 높게 나타났으나, 상부에 설치하는 것과 하부에 설치하는 것의 살충율 차이에 있어서는 통계적으로 유의미한 결과를 보여주지 못했다(3일차: $F_{2,6} = 4.251, p = 0.071$; 7일차: $F_{2,6} = 8.578, p = 0.017$). 앞에서 보여준 결과처럼 점박이응애가 상위엽으로 이동하는 성질에 적응하여 칠레이리응애도 먹이인 점박이응애의 공간분포에 따라 상위엽으로 이동하는 특성을 갖고 있는 결과와 부합된다고 사료된다. 다만 본 연구에서 피망에 점박이응애를 접종한 이후 무처리구에서도 점박이응애의 밀도가 감소하는 것을 아마도 강낭콩에서 사육된 점박이응애를 피망으로 옮겨 시험하였기에 피망에 적응하는데 어려움의 결과와 연관이 있을 것으로 보여 진다.

결론적으로 점박이응애는 주광성을 보이며, 잎이 변하거나 밀도가 늘어나면 작물체 즙액이 풍부한 상위엽으로 이동한다고 보고하였고(Suski and Naegele, 1963; Jones and Parrella, 1984; Walzer et al., 2007), 작물체 내에서도 점박이응애는 작물의 중·하위엽에서 보다는 상위엽에 더 높은 밀도를 형성하고 있는(Kumaran, 2011) 것과 마찬가지로 본 연구에서도 점박이응애는 하위엽에서 상위엽으로 이동하고 있음을 확인하였고, 점박이응애 이동에 따라 천적인 칠레이리응애도 점박이응애 밀도가 높은 상위엽으로 이동하고 있었다. 뿐만 아니라 칠레이리응애는 식물체 기리 연결하는 실을 있으면 실을 타고 수평으로 이동하여 이웃하는 작물체로 확산되는 것을 확인하였다. 따라서 방사되는 칠레이리응애의 밀도, 위치 등은 방제대상 해충의 분포 상황에 따라 달라져야 할 것으로 생각되며, 방사할 때

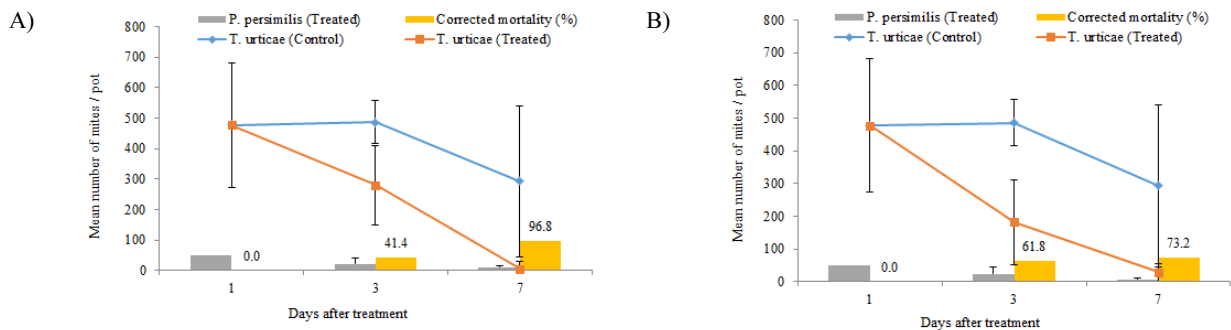


Fig. 7. Changes in population density of *T. urticae* and *P. persimilis* on two different bridge positions (A: upper bridge, B: lower bridge) and control effect by *P. persimilis*. Numbers above bar indicate corrected mortality at each days after treatment.

해충이 집중분포하고 있는 장소에 방사하는 것이 최선이겠지 만 천적이 이동할 수 있도록 작물체간 인위적인(실과 같은 인공 연결) 또는 자연적인(잎과 잎이 연결) 연결을 통해 하위엽에 방 사하여도 방제효과가 크게 떨어지지 않으면서도 시간과 노력 은 절감될 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ01336202 2020)으로 지원되었습니다.

저자 직책 & 역할

조점래 : 국립농업과학원, 농업연구관; 실험설계, 실험수행 및 분석, 원고작성

김정환 : 국립농업과학원, 연구원; 실험수행 및 분석

서보윤 : 국립농업과학원, 농업연구사; 원고검토

박부용 : 국립농업과학원, 농업연구사; 실험수행 및 원고검토

서미자 : 국립농업과학원, 농업연구사; 자료검토 및 원고작성

모든 저자는 원고를 읽고 투고에 동의하였음

Literature Cited

- Buitenhuis, R., Murphy, G., Shipp, L., Scott-Dupree, C., 2015. *Amblyseius swirskii* in greenhouse production systems: a floricultural perspective. *Exp. Appl. Acarol.* 65, 451-464.
- Buitenhuis, R., Shipp, L., Scott-Dupree, C., 2010. Dispersal of *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae) on potted greenhouse chrysanthemum. *Biol. Control* 52, 110-114.
- Campbell, C.A.M., Lilley, R., 1999. The effects of timing and rates of release of *Phytoseiulus persimilis* against two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* on dwarf hops, *Biocontrol Sci. Technol.* 9, 453-465.
- Collier, T., Van Steenwyk, R., 2004. A critical evaluation of augmentative biological control. *Biol. Control*, 31, 245-256.
- Ham, E.H., Jun, H.J., Lee, J.S., Lim, U.T., Lee, Y.S., Park, J.K., 2019. Biological control of *Tetranychus urticae* Koch on strawberry using “natural enemy in first” method. *Korean J. Appl. Entomol.* 58, 319-320.
- Jones, V.P., 1990. Developing sampling plans for spider mites (Acari: Tetranychidae): those who don’t remember the pest may have to repeat it. *J. Econ. Entomol.* 83, 1656-1664.
- Jones, V.P., Parrella, M.P., 1984. Dispersion indices and sequential sampling plans for the citrus red mite (Acari: Tetranychidae). *J. Econ. Entomol.* 77, 75-79.
- Kennedy, G.G., Smitley, D.R., 1985. Dispersal. In spider mites, their biology, natural enemies and control, Vol. 1A, in: Helle, W. and Sabelis, M.W. (Eds.), Elsevier, Amsterdam, pp. 233-242.
- Kumaran, N., 2011. Within-plant and within leaf dispersion pattern of two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) on okra. *Arch. Phytopathol. Plant Proc.* 44, 1949-1957.
- Lopez, L., Smith, H.A., Hoy, M.A., Cave, R.D., 2017. Dispersal of *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae) on high-tunnel bell peppers in presence or absence of *Polyphagotarsonemus latus* (Acari: Tarsonemidae). *J. Insect Sci.* 17, 1-7.
- Migeon, A., Nougquier, E., Dorkeld, F., 2010. Spider mites web: a comprehensive database for the Tetranychidae. in: Sabelis, M., Bruin, J., (Eds.), Trends in Acarology. Springer, Dordrecht, pp. 557-560.
- Nachman, G., Zemek, R., 2002. Interactions in a tritrophic acarine predator-prey metapopulation system IV: effects of host plant condition on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) *Exp. Appl. Acarol.* 26, 43-70.
- Opit, G.P., Nechols, J.R., Margolies, D.C., Williams, K.A., 2005. Survival, horizontal distribution, and economics of releasing predatory mites (Acari: Phytoseiidae) using mechanical blowers. *Biol. Control.* 33, 344-351.
- Parolin, P., Bresch, C., Desneux, N., Brun, R., Bout, A., Boll, R., Poncet, C., 2012. Secondary plants used in biological control: a review. *Int. J. Pest Management.* 58, 91-100.
- Pratt, P.D., Croft, B.A., 2000. Banker plants: evaluation of release strategies for predatory mites. *J. Environ. Hort.* 18, 211-217.
- Ryoo, M.I., 1996. Influence of the spatial distribution pattern of prey among patches and spatial coincidence on the functional and numerical response of *Phytoseiulus persimilis* (Acarina, Phytoseiidae). *J. Appl. Entomol.* 120, 187-192.
- Skirvin, D., Fenlon, J., 2003. Of mites and movement: the effects of plant connectedness and temperature on movement of *Phytoseiulus persimilis*. *Biol. Control.* 27, 242-250.
- Suski, Z.W., Naegele, J.A., 1963. Advances in acarology, light response in the two-spotted spider mite. II. Behavior of the “sedentary” and “dispersal” phases. Cornell University Press, New York, p. 445-453.
- Takafuji, A., 1977. The effect of the rate of successful dispersal of a phytoseiid mite, *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acarina: Phytoseiidae) on the persistence in the interactive system between the predator and its prey. *Res. Popul. Ecol.* 18, 210-222.
- van Lenteren, J.C., Woets, J., 1988. Biological and integrated pest control in greenhouses. *Ann. Rev. Entomol.* 33, 239-269.
- Walzer, A., Moder, K., Schausberger, K.M.P., 2007. Spatio-temporal within-plant distribution of the spider mite *Tetranychus urticae* confronted with specialist and generalist predators. *IOBC/WPRS Bull.* 30, 139-145.

-
- Weintraub, P.G., Kleitman, S., Alchanatis, V., Palevsky, E., 2007. Factors affecting the distribution of a predatory mite on greenhouse sweet pepper. *Exp. Appl. Acarol.* 42, 23-35.
- Wilson, L.J., Morton, R., 1993. Seasonal abundance and distribution of *Tetranychus urticae* implications for management. *Bull. Entomol. Res.* 83, 291-303.
- Zemek, R., Nachman, G., 1998. Interactions in a tritrophic acarine predator-prey metapopulation system: effects of *Tetranychus urticae* on the dispersal rates of *Phytoseiulus persimilis* (Acarina: Tetranychidae, Phytoseiidae). *Exp. Appl. Acarol.* 22, 259-278.
- Zemek, R., Nachman, G., 1999. Interactions in a tritrophic acarine predator-prey metapopulation system: prey location and distance moved by *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae). *Exp. Appl. Acarol.* 23, 21-40.
- Zhang, Z.Q., Sanderson, J.P., 1993. Behavioural responses to prey density by three acarine predator species with different degrees of polyphagy. *Oecologia* 96, 147-156.