

남부지방 단감원에서 미국선녀벌레의 분산 및 공간분포 분석

박부용* · 김민중¹ · 이상구 · 김길하²

국립농업과학원 농산물안전성부 작물보호과, ¹서울대학교 농업생명과학대학 농생명공학부, ²충북대학교 농업생명환경대학 식물의학과

Analysis for Dispersal and Spatial Pattern of *Metcalfa pruinosa* (Hemiptera: Flatidae) in Southern Sweet Persimmon Orchard

Bueyong Park*, Min-Jung Kim¹, Sang-Ku Lee and Gil-Hah Kim²

Crop Protection Division, Department of Agri-Food Safety, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea

¹Entomology program, Department of Agricultural Biotechnology, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

²Department of Plant Medicine, College of Agriculture, Life and Environment Sciences, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea

ABSTRACT: Since *Metcalfa pruinosa* was first reported in Koera, it has continually caused damage to sweet persimmon orchard in southern part of Korea. *Metcalfa pruinosa* exist not only in farmland but also in forest areas, and are difficult to control due to the influx of individuals from near forest. *M. pruinosa* has been occurred in orchard and its surroundings because of various host range. Thus, it has been difficult to decide spatial range and control time for efficient management. In this study, occurrence and dispersal pattern of *M. pruinosa* in persimmon orchard were surveyed using clear sticky traps, and spatial patterns were analyzed with SADIE(Spatial Analysis by Distance IndicEs), based on location information at sticky traps. Spatial association between survey time was also analyzed to identify when the spatial pattern changed. In sweet persimmon orchard, *M. pruinosa* mainly dispersed in mid to late May, when the first instar hatches, and in August, emerging season of adult. The first instar nymphs hatched in mid-May were randomly distributed in orchard, but distribution was changed to aggregative pattern after dispersed surroundings of orchard. Adults showed random distribution pattern after immigration to orchard again. These tendency was also observed in density change at orchard and its surroundings, and matched to actual density of *M. pruinosa* in sweet persimmon trees.

Key words: Sweet persimmon, *Metcalfa pruinosa*, Occurrence pattern, Spatial distribution

초 록: 미국선녀벌레(*Metcalfa pruinosa*)는 2009년 국내에 최초로 보고된 이후 남부지역 단감 과원을 중심으로 다양한 농작물에 경제적 피해를 야기한다. 미국선녀벌레는 기주 범위가 넓고 다양하여 농경지뿐 아니라 산림지역에도 존재하여 과수원 인근 산림에서 농경지로 유입되는 개체로 인하여 효율적인 방제를 위한 시간적, 공간적 범위를 결정하는데 어려움이 많다. 본 연구에서는 투명 접착트랩을 이용하여 단감원에서 미국선녀벌레의 발생 양상과 유입 및 유출 경향을 조사하였고, SADIE(Spatial Analysis by Distance Indices)를 사용하여 공간분포를 조사하였다. 또한 조사 시점간 공간분포의 상관관계를 분석하여, 분포의 패턴의 변화하는 시점들을 확인하였다. 단감원에서 미국선녀벌레의 발생 최정기는 5월 중순과 8월 중순으로 5월에는 약충이, 8월에는 성충이 발견되었다. 10월 이후에는 발견되지 않았다. 5월 중하순경 부화한 약충은 임의분포 하였으나 포장 외부로 분산한 후 집중 분포하는 패턴을 보였다. 성충은 다시 포장으로 유입된 후 임의분포하였다. 트랩 높이별 채집 정도는 약충기에는 상대적으로 아래쪽 트랩에서, 성충기에는 위쪽 트랩에서 많이 채집되었다. 이러한 경향성은 포장 내부와 주변부의 밀도 변화에서도 확인할 수 있었고, 포장 내 단감에서의 미국선녀벌레 실제 밀도와도 매우 유사한 경향을 보였다.

검색어: 단감, 미국선녀벌레, 발생패턴, 공간분포

기후변화 및 국제무역량 증가 등으로 인하여 해충의 국제적 이동이 가속화 되고, 외래 침입해충의 발생 및 정착으로 인하여 피해가 증가하고 있다. 이 중 최근 국내에서 문제가 되고 있는 대표적 외래 침입해충으로 꽃매미, 갈색날개매미충 및 미국선녀

*Corresponding author: florigen1@korea.kr

Received October 28 2019; Revised November 7 2019

Accepted November 10 2019

벌레를 꼽을 수 있으며 이 외래해충들의 발생 및 피해면적이 증가하고 있는 상황이다(RDA, 2016; Kim et al., 2019). 이들 중 미국선녀벌레는 2009년 처음 국내발생이 확인되었으며, 경남 김해의 단감 과수원의 피해가 보고되었다(Lee and Wilson, 2010). 미국선녀벌레는 연간 1세대 발생하며, 가을에 기주식물에 산란하고 겨울을 난 알이 다음해 5월 중순 이후 약충으로 부화한다. 부화한 약충은 기주식물의 수액을 흡즙하고 감로를 배설하는 등 직·간접적으로 피해를 준다. 또한 기주범위가 넓어 초본과 목본 등 다양한 식물을 섭식한다(Strauss, 2010; Kim and Kil, 2014). 미국선녀벌레의 방제를 위해 수행한 몇 가지 선행 연구로는 식물추출물이나 유기농자재를 이용한 친환경 방제 시도나(Kim et al., 2013; Park et al., 2018), 농업해충 방제약제로 등록되어 있는 31종의 살충제를 이용하여 미국선녀벌레 성충의 살충효과를 조사한 연구가 있다(Ahn et al., 2011). 그러나 효율적인 해충 개체군 관리를 통한 방제효과를 극대화하기 위해서는 방제대상 해충의 생태정보를 아는 것이 중요하며, 이를 통해 실현 가능한 관리방법을 선택하고 실행하기 위해 발생밀도, 발생유형 및 잠재적 피해 가능성을 구명하는 것이 중요하다(Hill, 1988). 해충의 행동패턴을 유추하기 위해 선행 연구에서 톱다리 개미허리노린재(*Riptortus pedestris*) 등 다양한 해충을 대상으로 공간분포분석을 수행하였다(Kennedy, 1972; Taylor, 1986; Park et al., 2016; Kim et al., 2017; Park et al., 2018). 곤충의 공간분포 패턴은 일반적으로 균일(uniform), 임의(random), 및 집중(clump)의 3가지 유형으로 구분할 수 있으며, 이는 생물과 환경 또는 개체들간 상호작용의 결과로 나타난다. 이를 통해서 곤충 개체군의 군집이나 이산 등 생태를 추정할 수 있다(Ludwig and Reynolds, 1998). 공간분포 연구는 초기에는 평균과 분산과의 관계를 이용하여 분석하였다(Taylor, 1961). 그러나 평균과 분산의 관계를 이용한 공간분포 분석은 위치정보를 사용하지 않기 때문에 위치와 관계없이 데이터의 평균과 분산이 동일할 경우 공간분포적 특징을 확정하기 어렵다. SADIE(Spatial Analysis by Distance IndicEs)는 관측된 데이터와 함께 위치정보에 기반한 분석을 할 수 있기 때문에 샘플들 간의 거리지수를 추정할 수 있고, 집단간 군집지수의 상관지수를 기반으로 곤충이나 기타 절지동물의 공간패턴을 추정하는데 사용되고 있다(Perry, 1995; Perry et al., 1999; Reay-Jones, 2012). 또한 이러한 추정값을 바탕으로 공간에 따른 개체군의 상대적 밀도치인 집단(cluster)화 지수의 차이를 색상의 농도로 표현하여 시각화할 수 있다(Perry, 1998).

이 방법은 곤충을 포함한 절지동물류의 공간분포를 특성화시키는 데에 사용되는 방법으로 생태계수데이터를 기반으로 한다(Perry, 1995; Perry et al., 1999). 여기엔 몇가지 지수를 사

용하는데 군집지수(I_0), 군집확률(P_a), 집단지수(V_i, V_j), 전체 연관지수(X)를 이용하여 각각 샘플링된 지점의 값들을 정량화한다. 여기서 $I_0 > 1$ 의 값은 군집분포를, $I_0 = 1$ 은 균일, $I_0 < 1$ 의 값은 랜덤분포 패턴을 나타낸다(Perry, 1995). I_a 의 P값은 I_a 가 랜덤 분포인지 아닌지에 대한 유의성을 의미한다. 집단지수(V_i, V_j)는 개별값(Identity characteristics)들이 평균 이상이면 양의 값, 평균 미만일 경우 음의 집단지수를 갖게 된다. 전체 연관지수(X)는 연관된 지수들의 평균이다(Perry, 1998). 양의 연관($X > 0, P < 0.025$)은 두 시점에 대하여 동일한 값(patch or gap)을 갖는 반면 음의 연관($X < 0, P > 0.975$)은 두 시점에 대해 다른 값을 갖는 경우를 나타낸다(Midgarden et al., 1993; Perry et al., 1999).

단감과 과원 주변의 미국선녀벌레 발생 분포 정보에 관련된 선행 연구가 있는데(Yoon et al., 2011), 이 연구에서 미국선녀벌레가 단감나무에 산란이 가능하다는 것을 확인하였고, 약충기에는 과원 내부의 감나무보다 과원 밖의 식생에서의 밀도가 더 높다고 보고하였다. 또한 성충의 경우는 약충에 비해 과원내부에서 높은 밀도가 관찰되었는데, 이는 성충의 이동성과 관련이 있을 것으로 추론하였다. 하지만 이 결과만으로는 미국선녀벌레의 분산 동태나 분포 변화를 정량적으로 제시할 수 없고, 이에 따른 다양한 방제 전략을 적용하기 위한 시간적 공간적 범위를 결정하기 어렵다.

따라서 본 연구는 1) 남부지방 단감 과원에 발생하는 미국선녀벌레의 포장 내외부의 발생특성을 구명하고, 2) 미국선녀벌레의 시기에 따른 밀도 변화를 파악하고, 3) 공간분포 패턴과 분포의 변화를 추정하여, 미국선녀벌레의 효율적 방제에 활용할 수 있는 정보를 제시하기 위해 수행하였다.

재료 및 방법

조사개요

조사대상 지역은 경남 김해시 진영읍 신용리 산45 소재 단감을 대상으로 하였고, 조사기간 동안 살충제를 일절 처리하지 않았다. 미국선녀벌레의 유출입이 발생할 수 있는 산지에 연결한 포장을 선정하였다. 이 포장은 미국선녀벌레의 유출입의 발생 가능성이 있는, 산지에 연결한 포장이다. 연결 부분은 포장 서쪽, 남서쪽 및 남동쪽으로서 아카시나무 등 관목과 환삼덩굴 등의 초본으로 구성된 수목지대가 과원과 연결해 있었다. 조사는 포장 경계부와 내부를 포함하여 52개 지점에 투명 점착트랩(Green agrotech, 25x15cm)을 설치하였고, 52개 트랩 중 30개는 포장 내부에, 22개는 포장 경계부에 설치하였고, 설치 위치의 GPS 좌표를 측정하였다(Fig. 1). 트랩은 각 조사 포장에 가

능한 한 동일 간격으로(10~15m) 배치하였고, 조사 지점 별로 지주대 2개를 땅에 고정 후 지주대 사이에 투명 점착트랩을 3개씩 끼워 고정시켰다. 3개의 점착트랩은 지면부, 지면위 50cm 및 90cm에 각각 배치하였다(Fig. 2). 중단부와 상단부에 설치된 트랩들은 월동 기주에서 부화 후 이탈하는 개체들과 비행하는 성충을 포획하기 위해 설치되었다. 트랩이 설치된 30개 지점의 단감나무에서 실제 단감에 피해를 주는 미국선녀벌레의 밀도변화를 추정하기 위해 육안조사를 병행하였다. 육안조사는 선정된 30개 나무에서 신초 끝부터 50cm 의 2개 가지에 붙어있는 미국선녀벌레를 대상으로 하였다. 투명점착트랩과 육안조사는 미국선녀벌레의 발생 시기를 고려하여(Lee et al., 2016),



Fig. 1. Information on the transparent sticky trap spots in the Sweet persimmon field. Trap locations are indicated by black and red dots. The traps marked red dots were installed at edge of persimmon orchard.



Fig. 2. Transparent sticky trap installation status (Left: inside of field, Right: edge of field).

2018년 5월 15일부터 10월 7일까지 7~10일 간격으로 15회 진행하였다. 트랩에 잡힌 약충과 성충은 현미경으로 동정한 후 높이별로 개체수를 구분하여 카운팅하였다.

발생패턴 및 공간분포 분석

발생패턴은 전 조사 기간 중 트랩에 잡힌 개체를 카운팅하여 조사하였고, 트랩의 안쪽과 바깥쪽을 구분하여 포장 내부로의 유입과 포장 외부로의 유출 정도를 파악하여 미국선녀벌레의 이동 현황을 분석하였다. 각 지점의 좌표는 ArcGis 10.1을 이용하여 베이스맵과 geo-reference를 맞춰 지점별 좌표를 추출하였고, 분석 데이터의 시각화에 활용하였다. 공간분포 분석은 트랩조사 데이터를 Spatial Analysis by Distance Indices (SADIE)를 이용하여 분석하였다. 도출된 분석 결과값을 토대로 전 조사 기간 및 각 조사시기의 전후간 연관성을 구명하고 미국선녀벌레의 분포패턴을 분석하였다.

결과 및 고찰

단감원 미국선녀벌레 발생 및 유출입 패턴

단감포장 내에서 미국선녀벌레는 5월 중하순과 8월 중순에 가장 많은 개체수가 포획되어 이 시기에 이동이 가장 활발했던 것으로 보인다(Fig. 3). 포획된 총태는 5월에 부화한 1령 약충이, 7월 중순 이후에 주로 성충이 포획되어 이미 보고된 발육시기와 일치하였다(Lee et al., 2016). 중단부와 중간 높이에서 잡힌 미국선녀벌레의 포획 비율은 약충기인 5월부터 7월초까지는 50%수준으로 지속되어 지속적으로 나무에서 이탈하는 것으로 추정되었으나 총량은 지속적으로 감소하여 이탈은 약충 초기에 주로 일어나는 것으로 보인다(Fig. 3) 반면에 성충이 출

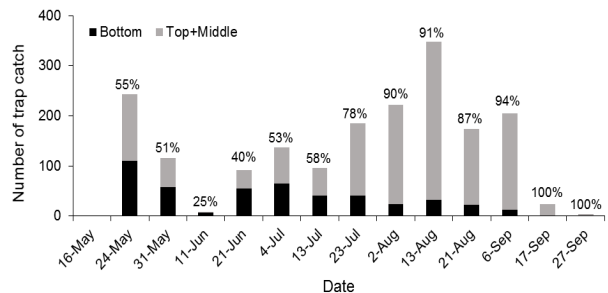


Fig. 3. Number of *M. pruinosa* caught by sticky traps. grey bar indicate the number of *M. pruinosa* caught in top and middle heights. black bar indicate number of *M. pruinosa* caught in bottom heights. The proportions are corresponding to grey bar.

현하는 시기부터는 상단부와 중단부에서의 포획 비율이 급격히 증가하여 성충이 비행으로 활발히 이동한 것으로 추정되었다(Fig. 3). 실제 단감나무에서의 미국선녀벌레 밀도는 약충의 부화시기와 성충시기에만 관찰되었고, 특히 성충기에 높은 밀도가 관찰되어 우화한 성충이 상당량 유입되었을 것으로 보인다(Fig. 5).

최초로 트랩에 미국선녀벌레가 잡힌 5월 24일에는 단감 과원 가장자리 대비 단감 과원 내부에서 평균적으로 포획된 개체수가 많았고, 그 비율은 1.22로 계산되었다(Fig. 3). 기준 비율인 1.22를 기준으로 단감 과원 내부와 가장자리에서의 포획비율을 비교한 결과, 약충 발생기 내내 기준비율보다 포획 비율이 낮았고 그 비율이 유지되는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 3). 따라서 이 시기에는 단감 과원 가장자리에서 높은 밀도가 포획되었음을 확인할 수 있었고, 약충 발생 초기에 포장 가장자리로의 이동이 있었음을 유추해 볼 수 있었다. 반면 성충 주요 발생시기에는 가장자리 트랩 대비 내부 트랩의 포획 비율이 설정했던 기준비율보다 큰 것을 확인할 수 있었다(Fig. 3). 따라서 성충 발생시기에는 단감 과원 내부에서 상대적으로 많은 개체수가 포획되었고, 외부에서의 유입이 있었을 것으로 판단되었다.

미국선녀벌레 공간분포 패턴과 조사시점별 연관성

단감 과원에서 미국선녀벌레는 6월 21일($I_a=1.564$), 7월 4일

(1.691), 7월 23일(1.728)의 조사시점에서는 집중 분포 하는 것으로 나타났지만, 대부분의 기간 동안 임의분포(random)하였다(Table 1). 월동란에서 깨어나 최초로 발생하는 시기와 9월 중순 이후를 제외한 나머지 조사일 모두 I_a 값이 1보다 크기 때문에 상대적으로 집중 분포하는 것으로 보이지만, 통계적으로 유의하지는 않았기 때문에($p>0.1$), 집중 분포하지 않은 것으로(random) 판단하였다. 또한 약충과 성충의 분포 패턴의 변화가 상이하여 미국선녀벌레는 동일한 발육태로 종의 패턴을 추정하기에는 무리가 있다고 보며, 이는 부화 약충의 분산에 의해 분포패턴이 변화하고, 포장 내부와 주변부의 밀도 변화에 대한 패턴이라고 판단된다. 이는 만약 약충의 분산 또는 이동이 없었다면, 포장 내부 및 주변부의 밀도는 최초 부화시기(5월 24일)에 조사된 값이 일정하게 지속되어야 한다는 가정이, 1령 약충 부화 이후 약충시기에 포장 내부의 비율이 급격하게 감소하였다는 점에서 성립되지 않기 때문이다(Figs. 4, 5). 단감 과원의 미국선녀벌레의 분포를 시각화하였을 때에도, 붉은색으로 표현한 밀도가 높은 지역이 최초 발생을 제외한 약충기에는 대부분 포장 가장자리에서 발생하였다(Fig. 6). 약충 최초발생기와 성충시기에는 포장 가장자리와 내부와 상관없이 발생하여 추정된 분포 패턴과 일치하는 것을 확인할 수 있었다(Table. 1, Fig. 6).

조사시점별 공간분포 간 연관성은 대부분의 기간에서 직전에 조사된 분포와 양의 상관관계를 보였으나, 5월 24일에서 6월 21일 사이의 분포들은 음의 상관관계를 보여서 밀도가 높거

Table 1. Summary of SADIE analysis results for *M. pruinosa* distribution in persimmon orchard

Date	Aggregation			Association			Stage
	I_a	P_a	Pattern	X	P_x	Correlation	
16-May	N/A	N/A	N/A				Egg
24-May	0.985	0.346	Random	N/A	N/A	N/A	Nymph
31-May	1.395	0.115	Random	0.0975	0.2884	-	Nymph
11-Jun	1.427	0.051	Random	-0.4585	0.9974	Negative	Nymph
21-Jun	1.564	0.013	Aggregated	-0.2682	0.9639	Negative	Nymph
4-Jul	1.691	0.039	Aggregated	0.4738	0.0002	Positive	Nymph, Adult
13-Jul	1.443	0.064	Random	0.7747	<0.0001	Positive	Nymph, Adult
23-Jul	1.728	0.026	Aggregated	0.5576	<0.0001	Positive	Nymph, Adult
2-Aug	1.118	0.256	Random	0.5503	<0.0001	Positive	Adult
13-Aug	1.234	0.180	Random	0.3198	0.0089	Positive	Adult
21-Aug	1.164	0.231	Random	0.2385	0.0855	-	Adult
6-Sep	1.215	0.141	Random	0.4211	0.0108	Positive	Adult
17-Sep	0.950	0.462	Random	0.2588	0.0487	Positive	Adult
27-Sep	0.875	0.628	Random	0.2957	0.0926	-	Adult

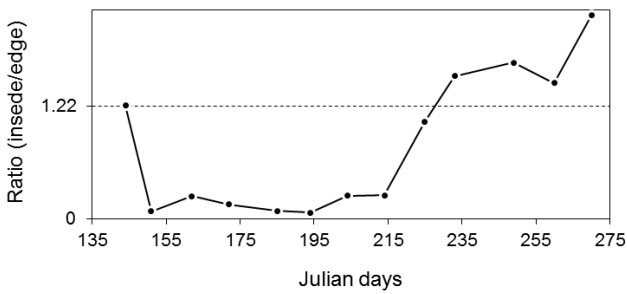


Fig. 4. Ratio of trap catches between inside and edge of persimmon orchard. The reference ratio was calculated by first trap catch data in 2018.

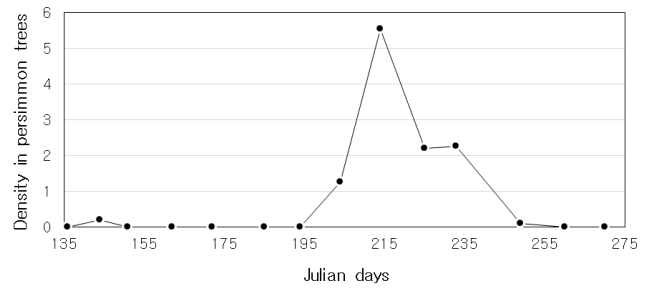


Fig. 5. Density of *M. pruinosa* in persimmon trees.

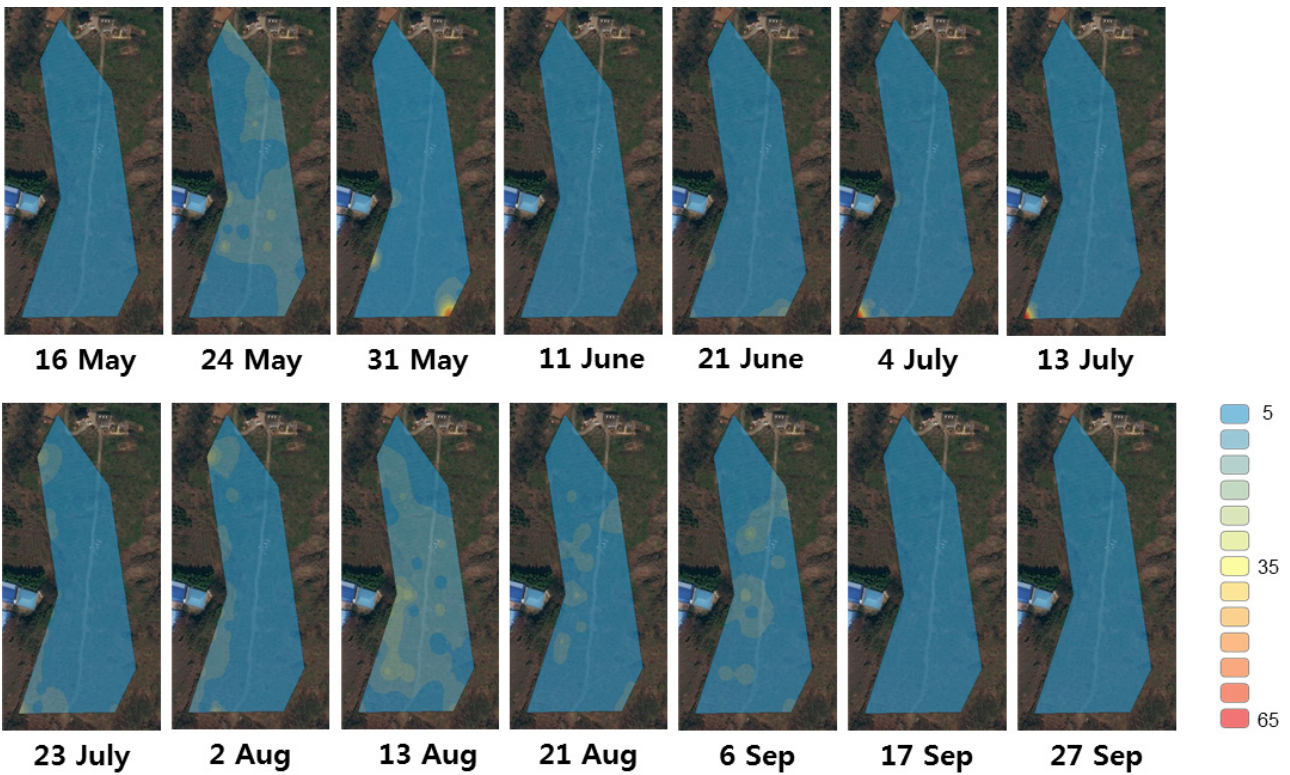


Fig. 6. Map of *M. pruinosa* distribution in persimmon field. The map are created using location information and trap captures with inverse distance weighting method. The red and blue colors indicate high and low density respectively.

나 낮았던 지점이 변했다는 것을 알 수 있었다 (Table. 1). 단감 과원의 분포지도에서도, 5월 24일에는 포장에 전반적으로 많은 개체수가 포획되었던 반면에 그 이후 약충 발생기에는 가장 자리에서 높은 밀도를 보여 연관성 분석의 결과와 유사하였다. 따라서 첫 발생시기부터 6월 중하순까지는 약충들이 포장 가장 자리 쪽으로 활발히 이동하였을 것으로 추정되며, 이들이 정착하여 4령 약충기부터 이동성이 점차 줄어들었다가 성충 우화 이후 다시 이동성을 보이는 것으로 판단된다.

성충 발생이 확인되기 시작한 7월 중순 이후에는 점차적으

로 포장 내부에 많은 개체가 포획된 것을 확인할 수 있었지만 연관성 분석에서 음의 상관관계를 보이지는 않았다 (Table.1, Fig. 6). 하지만 7월 중순 이후에 분포 패턴이 집중 분포에서 임의 분포로 변화하였기 때문에 위성지도로 시각화한 결과와 같이 성충기에 포장으로 유입이 되었을 것으로 판단된다. 다만 유입이 상대적으로 천천히 진행되었기 때문에, 약충기에서 보였던 음의 상관관계는 보이지 않고 조사시점 간에 양의 상관관계를 보인 것으로 추정된다. 또한 이러한 성충 시기의 분포 변화가 이듬해 1령 약충의 분포에 영향을 주어 약충 부화기에는 포

장내부 전역에서 임의로 약충이 발생할 것으로 추정된다.

이상의 내용들을 종합해보면 5월 중하순경 부화한 미국선녀벌레 1령 약충은 최초 단감 과원 내에서 임의 분포를 보였지만, 부화 직후 월동한 단감에서 이탈해 분산해 나가는 것으로 추정된다. 특히 약충기 초반에 트랩에 포획된 개체수가 약충기 전체에서 가장 많았고, 포장 가장자리의 상대적 밀도가 급격히 증가하였으며, 분포가 음의 상관관계를 보인 후 분포 패턴 역시 변하였기 때문에, 빠른 속도로 분산하여 집중 분포를 하는 것으로 보인다. 이 원인으로는 월동처에서 이탈 후 단감 과원 내부의 다른 초본식물에 정착하였거나, 잡초가 관리되지 않은 포장 바깥지역으로 이동하여 이러한 패턴이 나타난 것으로 추정된다. 실제로 포장 바깥쪽 초본식물의 잎과 줄기에서 미국선녀벌레가 높은 밀도로 관찰되었고, 단감나무에서는 최초 발생기를 제외하고 약충이 관찰되지 않았다.

미국선녀벌레 성충은 단감 과원으로의 유입이 지속적으로 발생하는 것으로 보인다. 성충 시기에 분산이 활발하여 포획된 개체수가 많았고, 포장내부에서의 포획비율이 약충 부화시기보다 증가하였으며, 분포패턴이 변화하였기 때문이다. 또한 이러한 패턴은 단감나무에서 약충 밀도에 비해 성충밀도가 월등히 높은 것으로도 확인할 수 있다.

이 결과를 근거로 한 단감 과원에서의 미국선녀벌레 방제 시기와 범위는, 1) 약충 부화 시기에 포장 및 주변부(초기 밀도 관리), 2) 6월 말-7월 초에 주변부 초본 식물(성충 발생 억제), 3) 8월 초 포장 전체 및 주변부(성충 감로 피해 방지 및 산란 억제로 차년도 발생 밀도 관리)로 판단된다. 특히 집중 분포하지 않는 1령 약충 부화 직후와 성충기에는 이후의 유입 패턴을 고려할 때 단감 과원의 외곽 테두리 주변까지 염두 해 두어야 할 것으로 사료되며 전용 약제와 끈끈이 트랩 및 끈끈이 롤 등으로 방제를 해야 된다고 본다. 마지막으로 다른 과수 작물에서의 미국선녀벌레 방제에도 과원 내부의 산란 및 부화 여부와 초기 발생 밀도, 과원 내 외부 성충 밀도 등의 요소들을 고려해야 할 것으로 판단된다.

사 사

이 연구는 농촌진흥청 연구사업(PJ01249905)의 지원으로 수행되었으며 연구지원에 감사드립니다.

Literature Cited

Ahn, K.S., Lee, K.S., Lee, K.H., Song, M.K., Lim, S.C., Kim, G.H., 2011. Susceptibility of North American planthopper,

- Metcalfa pruinosa* to commercially registered insecticides in Korea. Korean J Pestic Sci 15, 329-334.
- Hill, N.S., 1988. Cultural practices for the management of plant parasitic nematodes. Ornament. Northwest Arch. 12, 7-9.
- Kennedy, J.S., 1972. The emergence of behavior. J. Aust. Entomol. 11, 168-176.
- Kim, D.E., Kil, J., 2014. Occurrence and host plant of *Metcalfa pruinosa* (Say) (Hemiptera: Flatidae) in Korea. J. Environ. Sci. Inter. 23, 1385-1394.
- Kim, J.R., Ji, C.W., Seo, B.Y., Park, C.G., Lee, K.S., Lee, S.G., 2013. Toxicity of plant essential oils and their spray formulations against the citrus flatid planthopper *Metcalfa pruinosa* say (Hemiptera: Flatidae). J. Pesticide Sci. 17, 419-427.
- Kim, M.J., Baek S., Lee, S.B., Lee, S.K., Park, B., Lee, Y.S., Ahn, K.S., Choi, Y.S., Seo, H.Y., Lee, J.H., 2019. Current and future distribution of *Metcalfa pruinosa* (Say) (Hemiptera: Flatidae) in Korea: Reasoning of fast spreading. J. Asia-Pacific Entomol. 22, 933-940.
- Kim S., Jung, M., Song, Y.J., Kang, S.C., Kim, B.Y., Choi, I.J., Kim, H.G., Lee, D.H., 2017. Evaluating the potential of the extract of *Perilla* sp. as a natural insecticide for *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) on sweet peppers. Entomol. Research 47, 208-216.
- Lee, H. Wilson, S.W., 2010. First report of the nearctic flatid planthopper *Metcalfa pruinosa* (Say) in the Republic of Korea (Hemiptera: Fulgoroidea). Entomol. News. 121, 506-513.
- Lee, W., Park, C.G., Seo, B.Y., Lee, S.K., 2016. Development of an emergence model for overwintering eggs of *Metcalfa pruinosa* (Hemiptera: Flatidae). Korean J. Appl. Entomol. 53, 35-43.
- Ludwig, J.A., Reynolds, J.F., 1988. Statistical ecology: a primer on methods and computing. A Wiley-Intersciences Publication, Jhon Wiley & Sons, New York.
- Midgarden, D.G., Youngman, R.R., Fleuscher, S.J., 1993. Spatial analysis of counts of western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomilidae) adults on yellow sticky traps in corn: geo-statistics and dispersion indices. Environ. Entomol. 22, 1124-1133.
- Park, B., Lee, S.K., Jeong, I.H., Park, S.K., Lee, S.B., 2018. Insecticidal activities and repellent effects of methylcinnamate and essential oils from *Alpinia galangal* against *Metcalfa pruinosa* nymphs and adults. J Appl Biol Chem. 61, 291-295.
- Park, C.G., Baek, S., Lee, S.K., Park, Y.L., 2016. Landscape-scale spatial dynamics of *Riptortus pedestris* (Hemiptera: Alydidae): Implications for areawide management. J. Asia-Pacific Entomol. 19, 969-975.
- Park, T., Choi, H., Jang H., Kim, K.H., Park, J.J., 2018. Spatial pattern analysis for distribution of migratory insect pests at paddy field in jeolla-province. Korean J. Appl. Entomol. 57, 361-372.
- Perry, J.N., 1995. Spatial analysis by distance indices. J. Animal Ecol. 64, 303-304.
- Perry, J.N., 1998. Measures of spatial patterns of counts in

-
- agriculture and ecology. *Comput. Electron Agric.* 15, 93-109.
- Perry, J.N., Winder, L., Holland, J.M., Alston, R.D., 1999. Red-blue plots for detecting clusters in count data. *Ecol. Lett.* 2, 106-113.
- Reay-Jones, F.P. 2012. Spatial analysis of the cereal leaf beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) in wheat. *Environ. Entomol.* 41, 1516-1526.
- RDA. 2016. Pests Report. Internal Resources.
- Strauss, G., 2010. Pest risk analysis of *Metacalfa pruinosa* in Aust. *J. Pest. Sci.* 83. 381-390
- Taylor, L.R., 1961. Aggregation, variance and the mean. *Nature* 189, 732-789.
- Taylor, L.R., 1986. Synoptic ecology, migration of the second kind and the rothamsted insect survey. *J. Anim. Ecol.* 55, 1-38.
- Yoon, Y.H., Son, J.Y., Ahn, G.H., Choi, T.M., Lee, H.S., Park, D.S., Hong, K.P., 2011. Seasonal occurrence of citrus flatid planthopper (*Metacalfa pruinosa*) in Persimmon Orchard. GNARES Research Report.