

합성페로몬의 地上높이別 位置 및 風速에 따른 솔껍질깍지벌레 수컷의 飛行^{1*}

朴承瓚² · 魏安珍³ · 金炯善³

Flight of *Matsucoccus thunbergianae* Males in Response to Synthetic Pheromone Placed at Various Heights above Ground and the Wind Speed^{1*}

Seung-Chan Park², An-Jin Wi³ and Hyung-Sun Kim³

요 약

솔껍질깍지벌레의 수컷성충이 합성페로몬에 반응하여 비행하는 행동습성을 규명하고자 수직으로 세운 대나무 막대에 지상 0.1m부터 2.0m의 범위에 끈끈이 트랩을 5개 배열하고 그중 0.1m, 1.0m, 2.0m중의 한곳에 합성페로몬을 처리한 bait를 부착하여 각 끈끈이 트랩에서의 수컷부착수를 수관 율폐도별로 조사한 결과는 다음과 같다. 솔껍질깍지벌레 피해 해송림 근처의 공터에서, 페로몬 bait를 지상 2m 및 1m에 설치했을 때 동일 수직 막대상에 있는 각 높이의 트랩당 수컷부착수는 차이가 없었으나 지면근처에 bait를 설치한 경우 지면근처에 수컷이 집중적으로 비행하고 있었다. 수관 율폐도가 소한 임지의 경우, bait를 지상 2m에 설치한 것은 동일 수직막대상에 있는 각 높이의 트랩당 수컷부착수는 차이가 없었으나 지상 1m에 설치한 것은 bait 부위를 중심으로 많은 수컷이 비행하고 있었고, 수관 율폐도가 밀한 장소에서는 bait의 지상높이에 관계없이 수컷은 그 bait의 근처에서 많이 비행하고 있었다. 3개 지역 공터 지면부위에 bait를 설치한 처리구에서 지면부위의 트랩에 가장 많은 수컷이 부착되어 본 해충의 선단지 조사를 위한 페로몬 트랩 설치장소는 지면부위가 가장 적합한 것으로 판단된다.

풍속별 수컷의 페로몬에 대한 반응조사 결과, 페로몬을 감지한 수컷은 풍속이 낮은 공간을 주로 비행하는 것으로 조사되었다.

ABSTRACT

Matsucoccus thunbergianae is a major insect pest of *Pinus thunbergiana* in southern Korean peninsula. To study the flight behavior of *M. thunbergianae* males responding to the synthetic pheromone, five sticky traps were placed on a bamboo pole at various heights, between 0.1m and 2.0m above ground. A bait impregnated with the synthetic pheromone was placed at 0.1m, 1.0m or 2.0m above ground and the number of male catches on each trap was counted. In an open area, numbers of males caught per trap were not different between heights when the bait was placed at 2m or 1m above ground ; when the bait was placed at 0.1m height, male flight was aggregated near the ground. In a forest with low crown closure, trap catches on five traps on the same bamboo pole were not different one another when the bait was placed at 2m height, but most males were flying near the bait when it was placed at 1m height. In a dense pine forest, most males were flying around the bait regardless of

¹ 接受 2000年 1月 3日 Received on January 3, 2000.

² 전남대학교 농과대학 임학과(Dept. of Forestry, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea.)

³ 전라남도 산림환경연구소(Chonnam Province Forest Environmental Research Station Naju, Chollanamdo 520-830, Korea)

* 본 연구는 전남대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

the bait position. In all three places, most males were caught on the trap near the ground when the baits were placed 0.1m above ground. Thus, for monitoring the frontal zone of infestation of the scale, placing the pheromone trap near the ground was considered the most efficient. When the males perceived pheromone, they tended to fly in the air with low wind speed.

Key words : *Matsucoccus thunbergiana*, *Pinus thunbergiana*, *pheromone*, *matsuone*, *trap*, *male flight*.

서 론

우리 나라 해안지방의 주요 수종인 해송(곰솔)에 큰 피해를 주고있는 솔껍질각지벌레는 1983년 이후 매년 약 5km의 속도로 피해가 확산되고 있으며(박, 1991) 현재는 북쪽으로 진라북도 부안군 해송림 일원, 동쪽으로는 해송림이 매우 발달하여 있는 경상남도 통영군까지 확산되어 있다.

성페로몬을 이용한 해충방제의 가능성은 Bute-nandt 등(1959)이 최초로 누에나방(*Bombyx mori*)의 성페로몬을 동정한 이래 여러 연구자들에 의해 논의되어졌고 각지벌레류중 최초로 성유인 물질의 존재가 밝혀진 것은 1966년 Doane이 미국의 솔껍질각지벌레류(*Matsucoccus resinosa* Bean and Godwin) 암컷은 수컷을 유인하는 물질을 발산함을 증명한 것이었다. 그후 각지벌레류 페로몬 연구는 주로 미국에서 감귤을 가해하는 해충류를 대상으로 수행되어왔다. 그러나 다른 주요 해충류에 비하여 그 연구 실적은 미약한 형편이다.

Jutsum과 Gordon(1989)은 성페로몬이 특정 곤충의 성충을 유인하여 이들 곤충 밀도를 추측할 수 있다는 사실을 밝힌 이래 성페로몬은 대부분의 나방류 해충들에 대하여 사용되어 오던 전통적인 예찰수단을 대체하게 되었다고 보고한 바 있다.

솔껍질각지벌레류의 경우 페로몬의 분리는 Park 등(1986)에 의하여 최초로 수행되었다. 일반적으로 페로몬은 종특이성이 강하여 다른 종들간에는 유인효과가 없는 반면 우리 나라와 미국의 솔껍질각지벌레류는 상호 유인효과도 있음이 같은 연구에서 밝혀진바 있다. 이어서 Lanier 등(1989)은 한국, 중국, 미국에서 각각 피해를 주는 *Matsucoccus thunbergiana*, *M. matsumurae*, *M. resinosa* 등 3종의 페로몬은 같은 분자구조를 가짐을 밝히고 [화학명 : (2E, 4E) - 4,6,10,12 - tetramethyl - 2,4 - tridecadien - 7 - one] 이의 trivial name을 matsuone으로 명명하였다. 그때 당시 matsuone은 합성되지 않았으나 유사한 구조를 가진 3개의 인공합성 물질의 유인효과가 증명되었다. 그리고 Hibbard 등(1991)은 matsuone이

Lanier 등(1989)에서 공시되었던 유사합성 물질보다 월등히 유인효과가 높음을 밝혔다. 그러나 matsuone에는 4가지의 이성질체(enantiomer)가 존재하는 바 이들 각각에 대한 합성 및 생물검정은 이루어지지 않았었다.

Cywin 등(1991)은 천연페로몬과 (6R, 10R) - matsuone 및 이의 diastereomer인 (6S, 10S) - matsuone의 NMR spectrometry를 비교한 결과 천연물은 (6R, 10R) - 또는 (6S, 10S) - matsuone 중의 하나임을 확인하였다.

그 결과에 의하여 Mori와 Harashima(1993)는 본 2종류의 물질을 합성하였으며 이들 합성물중 (6R, 10R) - matsuone이 천연물임이 Park 등(1994)의 생물검정 결과 최종적으로 결정되었다. Park 등(1994)은 그 외에 (6R, 10R) - matsuone의 임내와 임외 공터에서의 페로몬 농도별, 지상 높이별, 트랩형태별, 페로몬 방출용기(dispenser)별 수컷 유인효과 및 유효기간(日數), 본 페로몬에 반응하여 끈끈이 트랩에 유인되는 수컷성충의 비행습성, 그리고 monitoring에의 이용으로서 본 해충 선단지 조사에의 활용 가능성 등에 대해서도 조사 보고하였다. 또한 박 등(1994)은 (6R, 10R) - matsuone의 농도별 지상높이별 유인효과, 본 페로몬 발산체로부터의 수컷 유인수조사, 발생선단지 조사를 위한 본 페로몬 트랩 이용실험 및 교미교란 예비실험 결과에 대해서도 보고하였다. 페로몬을 이용한 직접적 해충방제 방법으로서 교미교란(mating disruption)에의 이용은 각지벌레류의 경우 Sternlicht 등(1983) 및 Bar-Zakay 등(1989)에 의하여 California red scale을 대상으로 검토된 바 있다. 각지벌레류에 있어서 monitoring에의 이용은 Shaw(1971)에 의하여 거론된 이후 현재까지 Tremblay와 Rotundo(1975), Moreno 등(1985)을 비롯한 많은 연구자들에 의하여 다양한 종을 대상으로 연구가 계속되고 있는데 전반적으로 다른 조사 방법에 비하여 경제성이 앞서는 것으로 평가되고 있다.

본 해충의 발생선단지 조사는 Park 등(1994), 박 등(1994)에서 수피틈에서 알주머니를 찾는 관

행선단지 조사 방법에 비해 성페로몬 트랩을 지상 1.0m높이에 설치하는 것이 더욱 효과적이라고 보고된 바 있다.

본 연구는 수관 울폐도 소지역, 밀지역 및 공터 등 3지역에서 솔경질각지벌레 번식생태를 조사하므로써 수관 울폐도가 서로 다른 지역에서의 발생선단지 조사시 가장 효율적인 트랩 설치위치를 구명하기 위해, 그리고 수컷이 수관근처와 지면 근처에서 많이 비행하는 이유를 구명하기 위하여 수행되었다.

재료 및 방법

1. 시험 재료 및 시험장소 개황

합성페로몬은 (6*R*, 10*R*) - matsuone[화학명 : (2*E*, 4*E*, 6*R*, 10*R*) - 4, 6, 10, 12 - tetramethyl - 2, 4 - tridecadien - 7 - one]으로서 합성 과정은 Mori와 Harashima(1993)에 보고되어 있다.

페로몬 방출용기로는 직경 9.5mm, 두께 3mm인 회색의 고무격막(rubber GC septum : Supelco Inc., Bellefonte, Pennsylvania, U.S.A)을 사용하였다. Hexane에 희석한 페로몬은 태양 광선에 의한 분해를 방지하기 위하여 외벽은 백색, 내벽은 흑색을 칠하여 만든 1.5×1.5×1.5cm의 정육면체 종이 뚜껑 속에 편으로 고정시켰다. 끈끈이 트랩은 비닐 코팅한 흰색의 평면 종이(12×12 cm)에 Tanglefoot(The Tanglefoot Company, Grand Rapids, Michigan, U.S.A)를 칠하여 사용하였다. 실험은 솔경질각지벌레 피해 해송림 근처의 공터, 그리고 수관 울폐도가 소한 임지와 수관 울폐도가 밀한 임지 등 3개소에서 수행되었다.

실험대상지중 전라남도 나주시 다도면 풍산리 임지는 Park 등(1994), 박 등(1994)에서도 시험지로 선정되었던 장소로서 수령 17~32년생의 해송 단순림으로 상층목의 평균 수고가 8m, 수관폭이 3m 정도이며 울폐도가 약 40% 정도로 소하였으며 이곳에서 페로몬 bait의 지상높이별, 풍속별 수컷 성충의 비행습성을 조사하였다.

페로몬 bait의 지상높이별 수컷성충의 비행은 공터와 수관 울폐도가 밀한 임지에서도 조사되었는데 공터는 상기 수관 울폐도가 소한 임지의 인근 지역에 위치해 있으며 수관 울폐도가 밀한 전라남도 나주시 남평읍 노동리 임지는 수령 20~40년생의 해송 단순림으로 상층목의 평균 수고가

13m, 수관폭이 5m정도이며 울폐도가 약 80%이었다.

2. 페로몬 bait의 지상높이별 수컷의 비행

트랩당 페로몬의 농도는 50 μ g으로서 baited trap 및 blank trap을 지상 0.1m부터 2.0m의 범위에 5개를 수직으로 배열하고(이중 baited trap은 0.1, 1.0, 2.0m중 1곳에만 배치, 나머지 4개는 blank trap임) baited trap의 높이별로 각 트랩에서의 수컷유인 개체수를 조사하였다.

본 실험은 솔경질각지벌레 성충 우화기인 3월 하순부터 4월중순까지 수관 울폐도가 소한 임지와 공터, 밀한 임지 등 3지역에서 지역별로 4반복으로 수행되었으며, 박 등(1994)의 실험결과 페로몬으로부터의 거리가 10m 이상일 경우 수컷의 비행은 영향을 받지 않으므로 반복간 및 트랩간 거리는 10m 이상으로 배치하였다. 트랩별 수컷 부착수는 log($\chi + 1$)로 변환, 분산분석후 Duncan의 다중 검정으로 유의성을 검정하였다.

3. 풍속별 수컷의 페로몬에 대한 반응

솔경질각지벌레 피해림중 수관 울폐도가 소한 지역의 양지바른 지점에서, 자연상태의 풍속상태와 선풍기를 이용하여 트랩주변에 초속 2m의 풍속을 제공한 상태 등 2개의 다른 환경 하에서 수컷이 페로몬에 반응하는 양상을 비교 조사하였다. 끈끈이 트랩은 지상 20cm 높이에 설치하였으며, 수컷의 비행이 활발한 오전10시부터 오후1시까지의 자연 풍속은 대체적으로 0.5m/sec내외이었다. 각 풍속환경에 있어 페로몬을 처리하지 않은 끈끈이 트랩에의 수컷부착수에 대한 페로몬 bait를 처리한 끈끈이 트랩에의 수컷부착수의 비율을 조사 비교하여 풍속이 약할 때와 강할 때의 수컷의 자연비행밀도, 그리고 페로몬에 반응하여 비행하는 수컷의 밀도를 분석하였다.

실험규모는 20반복이었으며 트랩당 수컷부착수는 $\sqrt{\chi + 0.5}$ 변환후 각 풍속상황에서의 [페로몬 처리 트랩의 수컷부착수/무처리 트랩의 수컷부착수]를 비교하였다. 유의성 검정은 paired t-test에 의하였다.

결과 및 고찰

1. 페로몬 bait의 지상높이별 수컷의 비행

Miller와 Roelofs(1978)에 의한 Wind tunnel 안

에서의 redbanded leaf roller 수컷의 페로몬에 대한 반응에서의 같이 대부분의 나방류에 있어 페로몬의 감지는 날개의 운동(wing fanning) 및 이륙을 촉진시키고, 이륙한 수컷은 페로몬을 추적하여 페로몬 bait 근처에 착륙한다.

그러나 솔껍질작지벌레의 경우 페로몬 bait로부터 반경 5cm 이내, 5~10cm, 10~20cm의 끈끈이 트랩에 부착된 수컷은 10cm당 3.8, 5.1, 6.6마리로서 차이가 없었다(Park 등, 1994). 이에서 보면 솔껍질작지벌레 수컷은 페로몬 source를 추적하여 근처에 착륙하는 것이 아니고 페로몬의 농도가 높은 공간을 비행하며 착륙이 가능한 물체에 점점 다가다가 이륙과 부딪치게 되면 그 상황이 착륙하는 행동이 되어 그후 기어다니다가 암컷을 발견하게 되는 것으로 추정할 수 있다.

공터에서의 경우, 페로몬 bait를 지상 2m 및 1m에 설치했을 때 동일 수직막대상에 있는 각 높이의 트랩당 수컷부착수는 차이가 없었으나 지면 근처에 bait를 설치한 경우 지면근처에 수컷이 집중적으로 많이 비행함을 알 수 있었다(그림 1). 수관 울폐도가 소한 경우, bait를 지상 2m에 설치한 것은 동일 수직막대상에 있는 각 높이의 트랩당 수컷부착수는 차이가 없었으나 지상 1m에 bait를 설치한 것은 bait부위를 중심으로 많은 수컷이 비행하고 있었고(그림 2), 수관 울폐도가 밀한 장소에서는 bait의 지상높이에 관계없이 수컷은 그 bait 근처에서 많은 개체가 비행하고 있음

을 알 수 있었다(그림 3).

박 등(1994)은 수관 울폐도가 높은 장소와 낮은 장소에서 합성페로몬을 처리하지 않은 트랩을 이용하여 수컷의 자연비행밀도를 조사한 결과, 수관 울폐도에 관계없이 지면에 가까운 부위보다는 수관 근처에서 많은 수컷 성충이 유인되었다. 반면 페로몬 트랩을 설치한 경우 수관 울폐도가 높은 장소에서는 자연비행밀도와 같이 지면부위보다 수관 근처에 보다 많은 수컷이 유인되었으나 수관 울폐도가 낮은 장소에서는 수관 근처보다 햇볕을 수관 울폐도가 밀한 장소보다 더 많이 받을 수 있는 지면부위에 더 많은 수컷이 유인되었던 것으로 보아 페로몬을 감지한 수컷은 양지바르고 지면에 가까운 부위에서 많이 비행을 하는 것으로 보인다.

본 실험에서는 수관 울폐도 밀지역, 공터 및 수

Fig. 1. Number of males landed on traps with various heights above the ground, responding to the pheromone baits placed at various heights in on open area.

* Four replications. Although raw data are shown, significance tests were performed on $\log(x+1)$ -transformed data. Bars topped by the same letter are not significantly different ($P < 0.05$, Duncan's multiple range tests).

Fig. 2. Number of males landed on traps with various heights above the ground, responding to the pheromone baits placed at various heights in a forest with low crown closure.

* See figure 1.

Fig. 3. Number of males landed on traps with various heights above the ground, responding to the pheromone baits placed at various heights in a forest with high crown closure.

* See figure 1.

Table 1. Trap catches of *Matsucoccus thunbergianae* males on control and pheromone-baited traps in two different wind conditions*

Without artificial wind		Artificial wind speed of 2m/sec	
Control	Baited(50 μ g)	Control	Baited(50 μ g)
7.95(2.31**)	239.05(11.64)	9.45(2.54)	167.05(9.18)

* Mean numbers of males caught per trap, 20 replications.

** Numbers in parentheses are mean numbers of male catches after $\sqrt{x+0.5}$ transformation.

관 울폐도 소지역 등 3지역 모두 0.1m부위의 페로몬 트랩에 가장 많은 수컷이 유인되었다. 수관 울폐도 밀지역의 경우 박 등(1994)의 실험결과와 달리 본 실험에서는 0.1m높이에 가장 많은 수컷 성충이 유인된 것은 박 등(1994)의 경우 수관상부 햇볕이 잘드는 부위에 페로몬 트랩이 설치된 반면 본 실험에서는 페로몬 트랩 설치 최고높이가 2.0m로 햇볕이 잘 들지 않는 부위였기 때문인 것으로 추측된다.

본 해충의 발생 선단지 조사를 위한 페로몬 트랩의 이용은 수피틈에서 알주머니를 찾는 관행 조사방법에 비하여 효과적임이 Park 등(1994) 및 박 등(1994)에서 밝혀진바 있다. 당시는 지상 1.0m 높이에 페로몬 트랩을 설치하였는데 본 실험결과와 같이 지상 0.1m부위에 트랩을 설치하면 더욱 효율을 높일 수 있을 것으로 보인다.

2. 풍속과 페로몬에 반응하는 수컷의 비행과의 관계

이상에서 보면 솔껍질각지벌레 수컷은 페로몬을 감지하면 양지바른 수관, 지표면 등 착륙이 가능한 물체(substrate for landing) 근처에서 많이 비행을 하는데, 그렇다면 본 해충이 그 substrate를 어떻게 감지할 수 있는지에 대한 의문이 생긴다. 지표면 근처, 수관근처, 지표면이나 수관에서 2m이상 떨어진 허공에서의 미기상(광량, 자외선량, 온도, 풍속 등)을 조사한바 풍속을 제외한 다른 기상요인은 부위별로 차이가 없었으나 풍속의 경우 지표면이나 수관으로부터 20cm정도의 부위는 허공에 비하여 매우 낮았다. 그렇다면 페로몬을 감지한 수컷은 substrate에 가까운 장소를 찾는 데에 풍속을 이용, 풍속이 낮은 장소를 찾으며 비행하는 것이 바로 암컷의 근처에 착륙하는 행동이 될 수 있을 것이라 추측되어 두 개의 다른 풍속환경에서의 자연비행밀도와 합성페로몬을 처리한 경우의 비행밀도를 비교한 결과는 표 1과 같다.

자연풍속의 조건과 선풍기를 이용한 인위적인 풍속조건에서 페로몬을 처리하지 않은 끈끈이 트랩에의 수컷부착수는 차이가 없었다. 한편, 각 반복에서 자연 풍속에서의 무처리트랩 수컷부착수에 대한 페로몬 트랩 수컷부착수의 $\sqrt{x+0.5}$ 변환 후 비율 평균치는 4.85이었으며, 선풍기를 이용한 인위적인 풍속조건에서 무처리트랩 수컷부착수에 대한 페로몬 트랩 수컷부착수의 비율 평균치는 2.79로서 고도의 유의성을 나타냈다($t=3.07 > t_{0.01, df=9}=2.86$). 이에서 보면 페로몬을 감지한 수컷은 풍속이 낮은 공간에서 비행함을 선호하는 것으로 판단되며 이러한 행동습성이 지면 또는 수관부위에서 비행밀도가 높은 이유로 사료된다.

Doane(1996)과 Park(1988)에서 언급한 바와 같이 솔껍질각지벌레 수컷은 비행중 페로몬에 감응하기 전에 예비비행시간(preliminary flight period)를 갖고 있음이 추정되는데, 수컷은 고치 탈출후 최소한의 개체군 유지에 필요한 번식행동을 완료한 후 이륙, 예비비행을 하다가 페로몬을 감지하여 다른 나무에 착륙한 후 그곳의 암컷을 수정시키는 것으로 보인다. 이러한 번식행동은 일부의 암컷이 다른 나무에서 우화한 수컷에 의하여 수정됨으로써 지역개체군(deme)내의 근친교배를 억제하는 기작으로 풀이된다.

이러한 가설을 뒷받침하기 위하여는 앞으로 보다 상세한 실험에 의하여 암컷의 페로몬 또는 합성 페로몬의 존재 여부 및 수컷의 교미여부가 수컷의 이륙에 미치는 영향 등에 관한 연구가 필요할 것이며 이와 같이 솔껍질각지벌레 번식 생태조사는 다른 각지벌레류 번식 생태 규명에도 도움이 될 것으로 생각되므로 추후 솔껍질각지벌레 번식 생태와 관련한 연구를 더욱 진전시키는 것이 필요할 것으로 생각된다.

인용 문헌

1. 박승찬. 1991. 솔껍질각지벌레류의 지리적분

- 포, 생태, 피해 및 방제연구(총설). 한국임학회지 80 : 326-349.
2. 박승찬·위안진, K. Mori. 1994. 솔껍질깍지벌레 수컷 성충의 비행습성 및 합성 페로몬에 대한 반응. 한국응용곤충학회지 33(4) : 250~256.
 3. Bar-zakay, I., B.A. Peleg & A. Hefetz. 1989. Mating disruption of the California red scale, *Aonidiella aurantii* (Homoptera : Diaspididae). *Hassadeh* 70 : 1228-1231.
 4. Butenandt, A., R. Beckman, D. Stamm and E. Hecker. 1959. Under den Sexullockstoff des Seidenspinners. *Bombyx mori*. Reindarstellung und Konstitutionsermittlung. *Z. Naturforsch.* 14b : 381-430.
 5. Cywin, C.L., F.X. Webster & J. Kallmer-ten. 1991. Synthesis of (-) (6R, 10R) - matsuone. Assignment of relative stereochemistry to a pheromone of *Matsucoccus* pine bast scales. *J. Org. Chem.* 56 : 2953-2955.
 6. Doane, C.C. 1996. Evidence for a sex attractant in females of the red pine scale. *J. Econ. Entomol.* 59 : 1539-1540.
 7. Hibbard, B.E., G.N. Lanier, S.C. Park, Y.T. Qi, F.X. Webster & R.M. Silverstein. 1991. Laboratory and field tests with the synthetic sex pheromone of three *Matsucoccus* pine bast scales. *J. Chem. Ecol.* 17 : 89-102.
 8. Jutsum, A.K. & R.F.S. Gordon. 1989. Importance of pheromones to insects and their role in pest management. *In Insect Pheromones in Plant Protection*, eds. by A.K. Jutsum and R.F.S. Gordon, pp.1~16. John Wiley & Sons, New York.
 9. Lanier, G.N., Y. Qi, J.R. West, S.C. Park, F.X. Webster & R.M. Silverstein. 1989. Identification of the sex pheromone of three *Matsucoccus* pine bast scales. *J. Chem. Ecol.* 15 : 1645-1659.
 10. Miller, J.R. & W.L. Roelofs. 1978. Sustained-flight tunnel for measuring responses to wind-borne sex pheromones. *J. Chem. Ecol.* 4 : 187~198.
 11. Moreno, D.S., C.E. Kennett, H.S. Forster, R.W. Hoffman & D.L. Flaherty. 1985. Predicting California red scale infestations by trapping males. *Calif. Agri.* 36 : 10-12.
 12. Mori, K. & S. Harashima. 1993. Synthesis of (2E,4E,6R,10R)-4,6,10,12-tridecadien-7-one(matsuone) - the primary component of the sex pheromone of three *Matsucoccus* pine bast scales and its antipode. *Liebigs Ann. Chem.* 993-1001.
 13. Park, S.C., J.R. West, L.P. Abrahamson, G.N. Lanier & R.M. Silverstein. 1986. Cross-attraction between two species of *Matsucoccus*: Extraction, bioassay, and isolation of the sex pheromone. *J. Chem. Ecol.* 12 : 609-617.
 14. Park, S.C., A.J. Wi & H.S. Kim. 1994. Response of *Matsucoccus thunbergianae* males to synthetic sex pheromone and its utilization for monitoring the spread of infestation. *J. Chem. Ecol.* 20 : 2185-2196.
 15. Park, S.C. 1998. Biology and pheromone-mediated behavior of *Matsucoccus thunbergianae* in Korea with reference to *M. resinosa* in the United States (Homoptera : Coccoidea : Margarodidae). Ph. D. dissertation, State University of New York, Syracuse, New York, U.S.A.
 16. Shaw, J.G., D.S. Moreno, H.L. Heard & R.M. Howie. 1971. Scale detection system for coachella. *Citrograph* 57 : 67-69.
 17. Sternlicht, M., W.L. Roelofs, E. Dunkelblum & M.J. Gieselmann. 1983. Management of scale pests through utilization of their pheromone. Bet Dagan, Israel, Bard. 20pp.
 18. Trambly, E. & G. Rotundo. 1975. The pheromones of the Coccoidea and their possible use in integrated control. *8th Int. Plant Prot. Congr. Sec. 5* : 195-200.
 19. Warthen, J.D., Jr., M. Rudrum, D.S. Moreno & M. Jacobson. 1970. *Aonidiella aurantii* sex pheromone isolation. *J. Insect Physiol.* 16 : 2207-2209.