

파에서 정식초기 파총채벌레의 경제적피해수준 설정

강택준* · 조명래 · 김형환 · 전흥용 · 김동순¹

국립원예특작과학원, ¹제주대학교 생명자원과학대학

Economic Injury Level of *Thrips tabaci* (Thysanoptera: Thripidae) on Welsh onions (*Allium fistulosum* L. var) in the Early Transplanting Stage

Taek-Jun Kang*, Myoung Rae Cho, Hyeong-Hwan Kim, Heung-Yong Jeon and Dong-Soon Kim¹

National Institute of Horticultural and Herbal Science, RDA, Suwon 441-440;

¹College of Agriculture & Life Sciences, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea.

ABSTRACT: This study was conducted to develop economic injury level (EIL) of onion thrips, *Thrips tabaci*, on welsh onion (*Allium fistulosum* L. var) in the early transplanting stage. The changes of welsh onion biomass, yield loss, and *T. tabaci* density were investigated according to the inoculation periods of *T. tabaci*. In the early transplanting stage of welsh onion, the yield loss (%) increased with increasing inoculation periods: 17.0, 53.3, 38.4, and 80.8% yield loss in 5, 10, 15, and 20 d inoculation periods, respectively. The relationship between Cumulative Insect Days (CID) of *T. tabaci* and yield loss (%) of welsh onion was well described by a nonlinear logistic equation. Using the estimated equation, EIL of *T. tabaci* on welsh onion was estimated to 30 CID per plant based on the yield loss 12% (an empirical gain threshold 5% + marketable rate 93% of welsh onion). ET was calculated to 24 CID, which corresponds to 80% of EIL. Until a more defined EIL-model is developed, the present results should be useful for *T. tabaci* management in early growth stage of welsh onion. The effect of *T. tabaci* attack on the yield of welsh onion in late growing season (120 days after transplanting) was also examined. The yield of welsh onion increased at a low population density of *T. tabaci* and decreased at higher densities, showing a typical over-compensatory response.

Key words: *Thrips tabaci*, Welsh onion, Economic injury level, Gain threshold

초 록: 파정식 초기 파총채벌레의 경제적피해허용수준을 설정하기 위하여 온실에서 파총채벌레 접종기간에 따른 파의 생육, 피해 및 수량을 조사하였다. 파 정식초기에는 파총채벌레 접종기간(즉 가해정도)에 따른 수량감소율은 5일, 10일, 15일, 20일 접종기간에서 각각 17.0%, 53.3%, 38.4%, 80.8%로 증가하였다. 파총채벌레 발생정도와 파 수량감소 관계를 구명하기 위하여 파총채벌레 누적밀도일(Cumulative Insect Days, CID)과 수량 감소율(%) 간 회귀분석을 실시한 결과 비선형적인 logistic 모형에 잘 적용되었다. 이 식으로부터 경험적인 수익한계(Gain Threshold) 5%와 통상적 상품화율(93%)를 감안한 수량 감소율 12% 수준에서 파총채벌레 경제적피해허용수준은 30 CID로 추정되었다. 또한 요방제밀도는 경제적피해수준의 80%가 되는 24 CID로 추정되었다. 본 결과는 더 개선된 모형이 개발될 때까지 파 생육초기 파총채벌레 관리에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단되었다. 또한 파 노지포장에서 생육후기(정식 후 120일 집중) 파총채벌레 피해가 파 수량에 미치는 영향을 검토한 결과, 파 생육후기에는 낮은 밀도에서 오히려 수량이 증가하였고, 그 후 밀도가 더 증가함에 따라 수량이 감소하는 등 전형적인 보상적 반응(over-compensatory response)을 보였다.

검색어: 파총채벌레, 파, 경제적피해수준, 요방제밀도, 수익한계, 보상적 반응

파총채벌레(Onion thrips, *Thrips tabaci*)는 파, 마늘, 양파 등 백합과작물과 감자, 가지, 고추 등 가지과에 속하는 여러 가지 작

물의 잎, 줄기, 꽃을 가해하는 주요 해충으로 알려져 있다(Woo *et al.*, 1991). 파총채벌레에 관한 외국에서의 조사 연구로는 일본, 영국 등에서는 파 및 딸기 등에 발생하는 파총채벌레에 대한 생태적 특징 연구 및 현지 재배 양식에 맞는 방제시기 설정에 관한 연구가 일부 수행되었다(Kendall and Capinera, 1987;

*Corresponding author: tjkang72@korea.kr

Received September 5 2011; Revised September 29 2011;

Accepted October 9 2011

Fournier *et al.*, 1995). 국내에서는 파, 미늘, 양파 등 백합과작물과 감자, 가지, 고추 등 가지과에 속하는 여러 가지 작물의 잎, 줄기, 꽃을 가해하는 주요 해충으로 조사되었고, 파 등의 재배시기에 많은 피해를 주고 있는 것으로 알려져 있지만 발생 생태 등 일부 연구가 수행되었고 피해 요인 해석에 관한 연구가 부족한 실정이다 (Park, 1997).

작물에서 병해충 발생에 의한 경제적피해수준 설정 관련 연구는 Stern *et al.* (1959)에 의해 확립되었고, Pedigo *et al.* (1986)가 일반화된 모형으로 발전시켰다. 국내에서는 최근에 대학, 연구기관 등에서 주요작물의 병해충, 잡초에 대한 객관적인 실험을 바탕으로 한 피해허용수준 설정 연구가 진행되었으며 (Ministry of Agriculture & Forestry, 2004), 현재 병해충잡초의 발생밀도별 요방제 수준에 대한 연구가 60여 종의 병해충잡초에 대해 활발히 이루어지고 있다. 본 연구에서는 정식 초기 유묘시기와 정식 후기 파에서 파총채벌레의 접종수준 및 기간에 따른 피해 조사를 수행한 후 파총채벌레의 누적밀도일(Cumulative Insect Days, CID)과 주당 발생밀도 수준을 이용하여 파에서 경제적 피해(Economic Injury Level)를 분석하고 요방제수준(Economic Threshold Level)을 설정하는 것을 목적으로 하였다.

재료 및 방법

파총채벌레 사육: 접종실험에 사용한 파총채벌레는 2009년 수원에 소재한 국립원예특작과학원 파 노지 포장에서 채집하였으며, 유리온실 내에서 파 유묘들을 이용하여 누대사육하여 마련하였다.

실내접종 실험: 원예용 포트(25×30cm)에 4~5주씩 파 유묘(파종 60일묘, 흑금성외대)를 정식하고(5월 2일), 30일 후 처리구별 망사케이지(50메쉬 나일론 재질)를 이용 격리하여 접종실험을 위한 장치를 마련하였다. 파총채벌레 가해정도에 따른 파 피해정도를 구명하기 위하여 무처리를 제외하고 모든 포트에 심어진 파에 주당 파총채벌레 성충 6마리씩을 암수구분없이 접종(정식 후 30일)하였다. 그 다음 5, 10, 15 및 20일 후 각 처리구에 순차적으로 약제(emamectin benzoate 유제 2.15%)를 살포하여 발생된 해충들을 최대한 제거하였다. 따라서 전체 처리내용은 5, 10, 15 및 20일간 파총채벌레 접종구와 무접종구로 구성되었다. 처리별 4반복으로 수행하였으며 접종 후 5, 10, 15, 20일과 100일(최종 수확) 등 총 5회에 걸쳐 처리구별 파총채벌레 발생밀도 및 피해율을 조사하였고, 수확 후에는 수확한 대파의 생체량 및 상품성 정도를 조사하여 경제성 분석에 이용하였다. 처리별 발생밀도에 대하여 분산분석(ANOVA)을 실시하여 통계적 유의성을 검정하였으며, 유의성이 있는 경우 Duncan의 다중

검정법을 이용하여 평균간 비교(유의수준 5%)하였다(SAS Institute, 2004).

포장접종실험: 포장접종 실험을 위하여 이랑의 폭을 약 1m로 조성한 후 20~25cm 간격으로 2줄씩 파(파종 60일묘, 흑금성외대)를 정식하였고(5월 23일), 파총채벌레를 접종하기 전 처리구별 비슷한 수준의 파를 조성하기 위하여 접종 전 일정기간동안 인위적 관리를 하였다. 정식 전 30일까지 해충의 발생 상황을 고려하여 약제(emamectin benzoate 유제 2.15%, spinosad 입제 10%)를 3~4회 살포하였고, 이후 격리망(50메쉬 나일론 재질)을 씌워서 외부에서의 해충 유입을 최대한 차단하였다. 정식 120일 후 파총채벌레 성충을 각각 주당 0(무처리), 5, 10, 20, 40마리 수준으로 접종처리하였다. 파총채벌레의 피해량을 분석하기 위하여 접종 30일 후 수확시기에 각 처리구별로 수확하여 파의 생체량, 피해율과 상품화율 등을 측정하였으며, 각 측정값에 대하여 분산분석(ANOVA)을 실시하여 통계적 유의성을 검정하였고, 유의성이 있는 경우 Duncan의 다중검정법을 이용하여 평균간 비교(유의수준 5%)하였다(SAS Institute, 2004).

경제적피해허용수준 추정: 실내접종실험 결과를 활용하여 파 정식초기 파총채벌레의 경제적피해수준을 추정하였다. 파총채벌레 접종기간에 따른 파의 피해량을 추정하기 위하여 파총채벌레 누적밀도일(Cumulative Insect Days, CID) 개념을 도입하였다(Reuda *et al.*, 2007; Ruppel, 1983; Sanchez *et al.*, 2007). 즉 1 CID는 한 마리 총채벌레가 하루 동안 가해한 양을 누적한 것으로 예를 들어 1마리가 10일간 가해하면 10 CID가 된다. 따라서 각각의 조사일에서 얻어진 총채벌레 발생 밀도를 이용하여 CID값을 계산하였으며, 이때 총채벌레 발생 밀도는 두 조사일 사이 평균 밀도를 이용하였다. 파 손실량(%)과 각 처리구별 CID의 관계를 아래의 Logistic 함수를 이용하여 분석하였다.

$$y = a + \frac{b}{1 + \exp(-(x - c)/d)}$$

여기서 y는 CID x에서의 감수량(x는 CID, y는 감수량), a, b, c, d는 추정해야 할 매개변수로 각 매개변수는 Table Curve 2D 프로그램을 이용하여 추정하였다(Jandel Scientific, 1996).

경제적피해수준을 추정하려면 해충방제비용을 작물의 수량으로 변환해야 한다. 즉 단위면적당 방제비용과 동등한 작물수량인 수익한계(Gain Threshold, 또는 수익역치)를 추정하는 것이 필요하다(Pedigo *et al.*, 1986; Pedigo, 1996). 하지만 작물의 시장가격은 그 당시의 사회적 환경에 따라 변동되기 때문에 정확한 수익한계를 추정하기 어려워서(Pedigo *et al.*, 1986), 경제적피해수준 설정시 임의로 수익한계를 전체수량의 3.5~5%범

Table 1. Population densities (Mean±SE) of *T. tabaci* on welsh onion in each experimental plot where *T. tabaci* adults were inoculated during different periods (days)

Inoculation period in days ¹	Days after introduction (DAI)			
	5	10	15	20
0	0.0±0.0b ²	0.0±0.0b	0.0±0.0c	0.0±0.0b
5	11.5±0.5a	0.0±0.0b	0.0±0.0c	0.0±0.0b
10	8.5±0.5a	27.0±8.0a	1.0±0.0c	0.0±0.0b
15	9.5±1.5a	30.0±4.0a	52.5±8.5b	5.0±5.0b
20	10.0±2.0a	40.5±2.5a	76.5±2.5a	17.5±7.5a

¹Six *T. tabaci* adults were introduced onto each welsh onion 30 days after transplanting and removed after each inoculation period.

²Means followed by same letters in a column are not significantly different by Duncan's multiple range test at 5% level.

위에서 설정한 경우가 많다(Ministry of Agriculture & Forestry, 2004; Choi *et al.*, 2006). 따라서 본 연구에서는 파의 수익한계를 5%로 설정하였고, 상품화율 93%(RDA, 2008)를 고려하여 감수량 12%에서 경제적피해수준을 설정하였다.

결 과

실내접종 실험 및 요방제 밀도 수준 설정

정식한 지 30일 지난 파 유묘에서 파총채벌레 초기 접종밀도에 따른 시기별 피해에 대한 실내 실험 결과, 약제방제구를 제외한 다른 처리구들에서 접종 10일 이후부터 처리구별로 파총채벌레 발생 수준들이 유의하게 차이를 보였고 육안조사 결과도 확연히 차이를 보였다. 파에서 발생하는 총채벌레 평균 밀도는 접종기간이 증가할수록 발생 밀도수준이 유의하게 증가하였다 ($F=6.67$; $df=4$; $p=0.0004$) (Table 1).

실내접종실험에서 조사 기간 동안 파총채벌레를 접종하지 않고 해충이 발생하지 않도록 관리한 무처리구에서 최종 수확한 파 생체중량을 기준(CID값 0에서 피해율 0%)으로 설정하여 각 처리구별 피해율을 산정하였다. 초기 파총채벌레들을 처리구별로 접종한(각 6마리/주) 다음 접종 기간을 5, 10, 15, 20일로 설정하여 피해율을 산정한 결과 피해율은 각각 17.0%(43.8 CID), 53.3%(195.0 CID), 38.4%(487.5 CID), 80.8%(1086.3 CID)로 증가하였다. 이 결과를 바탕으로 파총채벌레 누적밀도 일(CID)과 수량 손실률(%) 관계를 이용하여 파생육 초기 파총채벌레 경제적피해수준을 설정하였다. 두 변량 간 관계는 비선형회귀식으로 잘 설명되었으며($r^2=0.81$)($F=2.83$; $df=5$) (Fig. 1). 추정된 각 매개변수 값은 $a=-7532.03$, $b=7606.06$, $c=-1132.68$, $d=242.15$ 이었다. 이 식으로부터 파에서 상품화율 93%(RDA, 2008)와 임의의 수익한계를 5%로 설정하였을 때의 수량감소율 12%에서 파에서 파총채벌레의 경제적피해수준을 추정할 결과

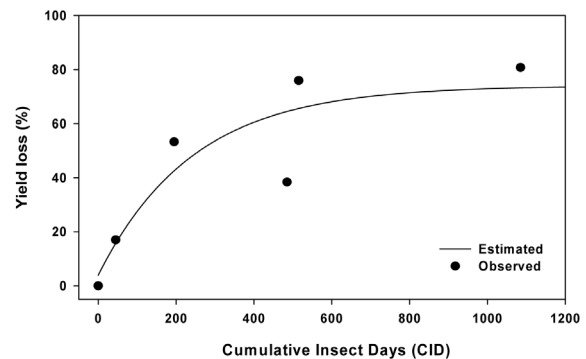


Fig. 1. The yield loss curve of young welsh onion caused by *T. tabaci* as a function of the cumulative insect days (CID). *T. tabaci* were introduced 30 days after transplanting.

약 30 CID (29.85 CID)였다. 일반적으로 경제적피해수준의 80% 선에서 요방제밀도(economic threshold), 즉 해충밀도가 경제적피해수준에 도달하는 것을 방지하기 위하여 방제수단을 동원해야 하는 밀도수준을 설정하고 있기 때문에 파 정식 초기 파총채벌레의 요방제밀도는 약 24 CID (23.88 CID)가 되었다 (Pedigo *et al.*, 1986; Pedigo, 1996; Southwood and Norton, 1973; Stone and Pedigo, 1972).

포장접종 실험

파 생육 후기 (정식 후 120일) 파총채벌레 접종밀도별 파수량 변화는 Table 2와 같았다. 상품화율은 처리별 일관성이 없었으며, 수량의 척도인 파 포기 당 무게는 파총채벌레 접종밀도에 따라 통계적으로 유의하게 달랐다($F=3.27$; $df=4$; $p=0.0151$). 무처리(무접종)보다 5마리 접종구에서 파 무게가 증가하다가 그 후 감소하는 경향을 보였으며, 0에서 10마리 접종구 간에는 파 무게에 차이가 없었다. 또한 0, 10, 20마리 접종구 간에도 파 무게에 차이가 없었다.

Table 2. The effect of *T. tabaci* introduction on the yield of welsh onion in the field

No. thrips introduced per plant	% Commercial welsh onion	Average fresh weight(g) per welsh onion	Yield loss (%)
0	90.4	174.0±10.4ab	6.7
5	82.6	187.6±13.5a	0
10	100	175.6±10.8ab	6.1
20	95.2	152.5±9.2bc	18.7
40	90.5	139.2±9.5c	25.7

T. tabaci were introduced onto welsh onions 120 days after transplanting. The commercial welsh onion was arbitrarily defined as welsh onions over 100g in fresh weight.

고찰

Poston *et al.* (1983)은 해충밀도와 수량 간의 관계를 3가지 유형으로 구분하였다. 첫째 감수성 반응(susceptive response)으로 밀도증가에 따라 수량이 서서히 감소하는 형태, 둘째는 내성적 반응(tolerant response)으로 처음에는 수량감소가 없다가 밀도가 어느 정도에 도달함에 따라 수량감소가 일어나는 경우, 셋째는 보상적 반응(over-compensatory response)으로 낮은 밀도에서는 오히려 수량이 증가하다가 어느 밀도 이상이 되면 비로소 수량감소가 일어나는 경우 등이다. Southwood and Norton (1973)은 내성적 반응이 가장 흔한 경우라고 보고한 바 있다. 파총채벌레에 대한 파의 수량반응은 파의 생육단계에 따라 다른 것으로 보인다. 즉 생육초기(유묘기 접종실험 참조)에는 감수성 반응에 가까웠다. 어린 파 유묘에서 파총채벌레 누적밀도일(CID)이 증가함에 따라 처음 수량감소율이 빠르게 증가하다가 점차 감소율 폭이 둔화되는 경향을 보였다. 반면, 파 생육후기(정식 후 120일 접종)에는 낮은 밀도에서 오히려 수량이 증가하였고, 그 후 밀도가 더 증가함에 따라 수량이 감소하는 등 전형적인 보상적 반응을 보였다.

이렇게 파는 생육후기에 파총채벌레 가해에 대하여 저항 및 보상능력을 갖고 있는 것으로 보인다. 접종밀도 수준이 그대로 유지되었다고 가정하고 5마리, 10마리, 20마리, 40마리 접종구의 누적밀도일(CID)를 계산하면 각각 150 CID, 300 CID, 600 CID 그리고 1,200 CID가 된다. 유묘기에 추정된 경제적피해수준이 30 CID 이었으므로 이와 비교하면 생육후기에는 실제 가해량은 많았으나 피해량은 적었음을 알 수 있다. 결론적으로 파 유묘 단계에서는 파총채벌레 발생수준에 따라 파 수량감소가 민감하고, 일정 발육단계 이상 성장 이후에는 어느 정도 파총채벌레 피해에 대하여 보상능력을 발휘하기 때문에 큰 수량피해가 나타나지 않는 것으로 판단된다. 따라서 파에서 총채벌레 발생 유무에 따른 방제시 결정이 유묘 시기에 매우 중요할 것

로 보이고, 본 연구에서 추정된 유묘기 파총채벌레 경제적피해 수준의 활용가치가 높다고 판단된다.

본 연구는 파 생육초기(정식 30일묘) 누적밀도일(CID)의 개념을 사용하여 파총채벌레 가해에 따른 수량감소율을 분석하였다. 누적밀도일은 특정시기의 해충 발생정도를 나타내는 개체군 밀도 개념과는 달리 기주식물에 지속적으로 피해를 주는 실질적인 해충의 누적 피해량을 나타내는 개념으로 단순히 발생 마리수로 표시된 밀도에 비하여 현장 적용 시 융통성을 발휘하기가 쉽다(Ruppel, 1983). 보통 경제적피해수준의 80% 선에서 요방제밀도(economic threshold), 즉 해충밀도가 경제적피해수준에 도달하는 것을 방지하기 위하여 방제수단을 동원해야 하는 밀도수준을 설정하고 있기 때문에(Stone and Pedigo, 1972), 파 정식초기(30일 전후) 파총채벌레 요방제밀도는 약 24 CID가 된다. 예를 들면, 파총채벌레의 밀도가 파 한주 당 6마리였다면 4일 이내에 방제가 필요할 것이다. 일반적으로 이와 같이 요방제 밀도를 CID의 단위로 표현하는 경우 방제시기를 신속적으로 적용할 수 있는 장점이 있다.

아직 파에서 파총채벌레의 경제적피해수준에 관한 자료가 없는 상태이기 때문에 보다 개선된 정밀한 모델이 확립될 때까지 파 정식초기 파총채벌레 방제계획을 수립하는 데 유용하게 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

사사

본 연구는 2009년 농촌진흥청 국립농업과학원의 주요 병해충 잡초 경제적 방제수준 설정 및 피해해석 연구과제의 지원을 받아 수행한 결과입니다.

Literature Cited

Choi, Y.S., D.G. Park., K.S. Han and K.R. Choe. 2006. Determin-

- ation of economic injury levels (EILs) and control thresholds (CTs) of *Aphis egomae* (Hom.: Aphididae) in green perilla. Kor. J. Appl. Entomol. 45: 317-325.
- Fournier, F., G. Boivin and R.K. Stewart. 1995. Effect of *Thrips tabaci* (Thysanoptera: Thripidae) on yellow onion yields and economic thresholds for its management. J. Econ. Entomol. 88: 1401-1407.
- Jandel Scientific. 1996. Table Curve 2D Software. San Rafael, CA.
- Kendall, D.M. and J.L. Capinera. 1987. Susceptibility of onion growth stages to onion thrips (Thysanoptera: Thripidae) damage and mechanical defoliation. Environ. Entomol. 16: 859-863.
- Ministry of Agriculture & Forestry. 2004. Development of economic injury level, simple sampling methods and study of occurrence for major pests on cucumbers, hot peppers and tomatoes. 752 pp.
- Park, K.W. 1997. Ecological characteristics and forecasting method of *Thrips tabaci* Lindenman (Thysanoptera: Thripidae). M.S. Dissertation. 46pp. Chonnam National University.
- Pedigo, L.P. 1996. General models of economic thresholds. pp. 41-57. In Economic thresholds for integrated pest management, eds. by L.G. Higley and L.P. Pedigo. 327 pp. University of Nebraska Press, Lincoln.
- Pedigo, L.P., S.H. Hutchins and L.G. Higley. 1986. Economic injury levels in theory and practice. Annu. Rev. Entomol. 31: 341-368.
- Poston, F.L., L.P. Pedigo and S.M. Welch. 1983. Economic injury levels: Reality and practicality. Bull. Entomol. Soc. Am. 29: 49-53.
- RDA. 2008. Income analysis of agricultural products and livestock. <http://amis.rda.go.kr/>
- Reuda, A., F.R. Badenes-Pérez and A.M. Shelton., 2007. Developing economic thresholds for onion thrips in Honduras. Crop Prot. 26: 1099-1107.
- Ruppel, R.F. 1983. Cumulative insect-days as an index of crop protection. J. Econ. Entomol. 76: 375-377.
- Sanchez, J.A., F. Canovas and A. Lacasa. 2007. Thresholds and management strategies for *Aulacorthum solani* (Hemiptera: Aphididae) in greenhouse pepper. J. Econ. Entomol. 100: 123-130.
- SAS Institute. 2004. SAS/STAT user's guide, release 6.11 ed. SAS Institute, Cary, NC.
- Southwood, T.R.E. and G.A. Norton. 1973. Economic aspects of pest management strategies and decisions. pp. 168-184. In Insects: Studies in population management, eds. by P.W. Geier, L.R. Clark, D.J. Adnerson and H.A. Nix. 1295 pp. Canberra: Ecol. Soc. Aust. Mem.
- Stern, V.M., R.F. Smith, R. Van den Bosch and K.S. Hagen. 1959. The integrated control concept. Hilgardia 29: 81-101.
- Stone, J.D. and L.P. Pedigo. 1972. Development and economic injury level of the green clover worm on soybean in Iowa. J. Econ. Entomol. 65: 197-201.
- Woo, K.S., O.K. Kweon and K.S. Cho. 1991. Studies on distribution, host plants and taxonomy of Korean thrips (Insecta: Thysanoptera). Seoul Nat'l Univ. J. Agric. Sci. 16: 133-148.