제주에서 적산온도를 이용한 볼록충채벌레 세대별 발생최성기 예측모형

황록연 · 현재욱 · 김동순^{1*}

국립원예특작과학원 감귤시험장, ¹제주대학교 생명자원과학대학(SARI) 식물자원환경전공

Models of Forecasting the Generation Peak Time of *Scirtothrips dorsalis* (Thysanoptera: Thripidae) adults Based on Degree-days on Jeju Island, Korea

Rok Yeon Hwang, Jae wook Hyun and Dong-Soon Kim^{1*}

Citrus Research Station, National Institute of Horticultural & Herbal science, Rural Development Administration, 690-150, Republic of Korea

¹Faculty of Bioscience and Industry, College of Applied Life Science, SARI, Jeju Nat'l. Univ., Jeju 690-756, Republic of Korea

ABSTRACT: The yellow tea thrips, *Scirtothrips dorsalis* (Thysanoptera: Thripidae), has been regarded as a minor pest on citrus on Jeju Island. However, the damage of yellow tea thrips has gradually increased since 2007. This study was conducted to develop a forecasting model for generation peak time of *S. dorsalis* by using degree-days. Simple linear regression analysis was applied to determine the relationship between the generation number (x , dependent variable) and degree-days (y , independent variable). As a result, two regression models were established: citrus-based model ($y = 310.9x + 69.0$, $r^2=0.99$) and green tea-based model ($y = 285.7x + 84.1$, $r^2=0.99$). The models were fitted by independent data sets obtained from 2013 and evaluated using the technique of RSS (residual sum of square) and χ^2 -test. The green tea based-model showed a good fitting ability. The discrepancy between model outputs and actual data, and the practical application of models were discussed.

Key words: *Scirtothrips dorsalis*, Citrus, Green tea, Degree-days, Forecasting model, RSS (residual sum of square)

조 록: 볼록충채벌레는 제주도 감귤에서 경미한 피해만 보고되다가 2007년부터 다발생하여 그 피해가 갈수록 심각해지고 있다. 본 연구는 적산온도를 이용하여 볼록충채벌레 각 발생세대의 발생최성기를 예측할 수 있는 모형을 개발하고자 수행하였다. 볼록충채벌레 성충 발생세대수를 독립변수(x)로 취급하고 세대별 발생최성기의 적산온도를 종속변수(y)로 취급하여 직선 회귀식을 추정하였다. 감귤원에서 유살된 자료와 녹차 또는 키위과원에서 얻은 자료를 기반으로 각각 감귤기반모형($y = 310.9x + 69.0$, $r^2=0.99$) 녹차기반모형($y = 285.7x + 84.1$, $r^2=0.99$)을 개발하였다. 각 모형의 예측값과 독립된 포장 실측자료와의 잔차자승합을 토대로 모형의 적합성을 평가하였으며, 녹차기반모형의 적합력이 좋았다. 본 예측모형을 통한 계산값과 실측치의 불일치에 대한 원인과 모형의 포장 활용도에 대하여 고찰하였다.

검색어: 볼록충채벌레, 감귤, 녹차, 적산온도, 예측모형, 잔차자승합

볼록충채벌레(*Scirtothrips dorsalis* HOOD)는 충채벌레목(Thysanoptera) 충채벌레과(Thripidae)에 속한 곤충으로 150여종의 기주식물을 가지는 해충으로 알려져 있다(Venette and Davis, 2004). 150여종의 기주식물 중 1차 기주식물로는 아스파라거스, 포도, 망고, 키위, 녹차, 고추, 콩, 배, 감자, 딸기 등이 있으며, 감귤은 2차 기주식물로 분류되어있다(Nietschke et al., 2008).

우리나라 농작물에서 볼록충채벌레 피해는 1993~1996년 포도에서 처음 보고되었다(Jeon et al., 2000). 제주에서는 한라산 1,400 m 이하 지역의 광대수염 등 다양한 야생기주에서 채집되었고(Kwon, 1991), 감귤에서는 1996~1998년 조사에서 처음 기록되었다(Kim et al., 2000). 그동안 감귤에 경미한 피해만 보고되다가 2007년 이후 감귤에 국부적으로 다발생하여 심한 피해를 주고 있었으며 점차 피해지역이 증가하고 있다(Hyun, 2008). 피해증상은 유과기에는 회백색으로 괴사되어 딱지형태의 코르크화 된 증상과 착색기에는 검붉은 그을음 증상을 나타내는 것으로 알려져있다(Hyun et al., 2012).

*Corresponding author: dongsoonkim@jejunu.ac.kr

Received October 29 2013; Revised November 10 2013

Accepted November 13 2013

감귤원에서 피해를 주는 볼록충채벌레 개체군의 공급원은 주변 잡초를 포함한 야생기주식물이며, 공급원에서 증식한 성충이 침입(이주)하여 피해가 발생하는 것으로 추정되고 있다(Ohkubo, 2001; Masui, 2007). 볼록충채벌레 성충이 감귤원으로 침입하는 시기는 주변 야생기주에서의 발생에 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Masui, 2007; Song et al., 2013).

제주 감귤에서 볼록충채벌레가 문제가 시작된 후 농가에서는 6월부터 9월까지 일정기간 마다 4~5년 약제를 예방적으로 과도하게 살포하고 있다. 일본에서는 볼록충채벌레 발생시기를 예측하기 위하여 황색 끈끈이트랩을 이용하고 있으며(Ohkubo, 1989; Muraoka, 1990; Masui et al., 1995; Tatara, 1995), 제주 감귤원에서도 널리 이용되고 있다(Hyun et al., 2012). 황색 끈끈이트랩의 이용가치는 높지만 트랩설치, 수거와 조사 등 노력과 비용이 많이 소요되기 때문에 보다 간편한 볼록충채벌레 발생예측 방법의 개발이 필요하다.

Masui(2008)는 일본 감귤원(Shizuoka 지역)에서 조사된 끈끈이트랩의 볼록충채벌레 유살수를 이용하여 발생세대별 최성기와 적산온도와와의 관계를 직선회귀식으로 제시하였다. 즉 적산온도를 계산하여 각 발생세대의 발생최성기를 예측할 수 있다. 하지만, Masui 모형이 제주에서 조사된 실측자료를 통하여 검증되지 않았고, 제주의 기상환경은 각 지역마다 다르며 식생 또한 일본의 Shizuoka 지역과 다르기 때문에 제주 감귤에 직접 적용하기 어렵다. 따라서 본 연구는 제주지역의 생물적 지리적 환경에 적합한 볼록충채벌레 발생세대 모형을 개발하고자 수행하였다. 2010년부터 2012년까지 조사한 자료를 이용하여 Masui(2008)의 방법을 적용하여 모형을 수립하였으며, 모형의 개발에 사용되지 않은 2013년 조사된 자료를 이용하여 모형적합성을 평가하였다.

재료 및 방법

제주 지역별 볼록충채벌레 발생 양상 조사

감귤과원 정점조사(2010~2012년): 감귤원에서 황색 끈끈이트랩(25 × 15 cm, 단면)을 이용하여 볼록충채벌레 성충 유살수를 조사하였다. 2010년부터 2012년까지 매년 11월에서 4월까지 10일 간격, 5월에서 10월까지 7일 간격으로 조사를 실시하였다. 조사과원은 제주도 북쪽지역인 조천읍내 3개 과원과 애월읍내 2개 과원, 제주도 동쪽지역인 성산읍내 3개 과원과 표선읍내 1개 과원, 제주도 동남지역인 남원읍내 5개 과원, 제주도 서남지역인 중문 1개 과원과 화순 1개 과원, 제주도 서쪽지역인 대정읍 2개 과원, 한림읍 2개 과원, 총 21개 과원에서

Fig. 1. The map of sampling sites of citrus orchards, kiwi orchards and green tea farm on Jeju Island, Korea (●: sampling sites, arrows: green tea farms or kiwi orchards; N, S, E and W means North, South, East and West, respectively; Ukiwi and Skiwi means kiwi orchard in Uigui and Sinraeri, respectively).

실시하였다(Fig. 1). 각 과원당 5주의 나무를 임의로 선발하여 높이 1~1.5 m(설치시 가장 효율적인 높이로 사람의 가슴 높이)의 가지에 황색 끈끈이트랩을 설치한 후 조사 시기마다 플라스틱 랩((주)크린랩)을 이용하여 트랩을 씌운 후 실험실로 가져와 실온에 보관하면서 해부현미경(올림푸스, SZX7)을 이용하여 30~100배로 조사하였다.

녹차원, 키위과원 정점조사(2011~2012년): 녹차원과 키위과원에서 황색 끈끈이트랩(25 × 15 cm, 단면)을 이용하여 볼록충채벌레 성충 유살수를 조사하였다. 2011년부터 2012년까지 7일 간격으로 조사를 실시하였다. 조사는 신흥리 소재의 녹차원 1곳(TEA)과 신례리 소재의 키위과원 2곳(KIWI, Skiwi), 의귀리 소재의 키위과원 1곳(Ukiwi)에서 실시하였다(Fig. 1). 녹차원의 경우 6주의 나무를 임의로 선발하여 약 50~80 cm(녹차 나무의 상단부) 높이에 황색끈끈이트랩을 설치하였으며, 신례리 키위과원의 경우 각각 10주(KIWI), 8주(Skiwi)의 나무를 임의로 선발하였으며, 의귀리 키위과원(Ukiwi)의 경우 6주의 나무를 임의로 선발하여 높이 1.5~1.8 m(키위과원 지주대에 설치)의 가지에 황색 끈끈이트랩을 설치한 후 조사시기마다 플라스틱 랩((주)크린랩)을 이용하여 트랩을 씌운 후 실험실로 가져와 실온에 보관하면서 해부현미경(올림푸스, SZX7)을 이용하여 30~100배로 조사하였다.

볼록충채벌레 발생세대 예측모형 개발

모형개발을 위한 자료의 준비: 제주에서 조사된 볼록충채벌레 성충 유살수에 대하여 Masui(2008)와 같은 방법을 적용하여 발생세대수를 독립변수(x)로 취급하고 세대별 발생최성기의 적산온도를 종속변수(y)로 취급하여 직선회귀식($y = ax + b$)을 추정하였다. 앞에서 조사한 자료를 이용하여 적산온도에 따

른 성충 발생량의 도표를 작성하고(Appendix I), 발생최성기에 대응하는 적산온도 값을 구하였다. 볼록총채벌레의 포장 발생 양상 관측자료에서 일부 발생세대가 출현하지 않는 등 복잡하였기 때문에 우선 Masui(2008) 모형을 이용하여 임시로 세대를 구분하였다(see vertical dotted lines in Appendix I). 그 다음 Masui(2008)와 같은 방법으로 세대별 정점을 발생최성기로 간주하였다. 또한 성충 발생기가 정점을 보이지 않는 경우는 중간 위치를 발생최성기로 판단하였다. 기타 발생최성기를 구별하기 어려운 경우는 분석에서 제외하였다. 이러한 과정을 통하여 월동세대를 '0'로 하고 1세대부터 7세대까지 발생최성기의 적산온도 값을 구하였다.

포장 관측자료가 감굴원과 녹차 또는 키위과원으로 구성되어 있었기 때문에 감굴원에서 관측된 자료만을 이용한 모형(감굴기반모형)과 녹차(또는 키위)에서 자료를 합하여 모형(녹차기반모형)을 제작하였다(SAS Institute, 1999).

유효적산온도 계산: 국립원예특작과학원 감굴시험장에서 운영하는 감굴생육정보시스템의 기상정보(13개 지역: 하례리 감굴시험장 관내, 금악, 덕수, 덕천, 무릉, 신촌, 신희, 신흥, 용흥, 아라, 창천, 토산, 하원)중 정점조사를 실시한 과원과 가장 인접한 지역의 기상자료를 이용하여 계산하였다. 계산방법은 Tataru(1994)가 제시한 방법으로 볼록총채벌레의 발육 상한선과 하한선을 33.0°C와 9.7°C로 고정하고 적산온도 계산을 위한 일유효온도는 다음과 같은 식을 이용하여 계산하였다.

$$H(Ti) = (\sum Ti) / 24 \quad (1)$$

Ti 는 관찰되는 때 1시간 동안의 유효온도이다. 여기서 해당 온도 t (t =일평균온도, t =(일최저+일최고)/2)에 따라서 $Ti = 0$ ($t < 9.7$ 또는 $t > 33.0$) 또는 $Ti = t - 9.7$ ($9.7 \leq t < 33.0$)로 계산되었다. 최종 적산온도(H)는 1월 1일부터 얻어진 $H(Ti)$ 의 합으로 계산되었다.

모형의 포장적합

포장적합 자료 수집(2013): 감굴원 중에서 볼록총채벌레 발생량이 많은 남원읍 일대의 감굴과원 정점조사 2곳(ES3, ES5)과 녹차원, 키위과원 정점조사 4곳(녹차원 1곳, 키위과원 3곳)에서 앞서 실시한 조사와 동일한 방법으로 볼록총채벌레 발생량을 조사하였다.

적합성 비교: 실제 관측자료(Appendix II)에서 세대별 정점은 모형개발에서 수행했던 것과 동일한 방법으로 찾았다(1세대~6세대). 수집자료는 감굴원 자료와 녹차(또는 키위과원) 자

료로 나누어서 모형과 비교하였다. 준비된 각각의 실측자료는 감굴기반모형, 녹차기반모형, 일본모형의 예측값과 잔차자승합(RSS, residual sum of square; 관측값-예측값 제곱의 합)을 구하여 비교하였다. RSS이 작은 경우 적합도가 높다는 것을 나타낸다. 또한 관측치와 예측치간 χ^2 -검정을 실시하였다(SAS Institute, 1999).

결 과

볼록총채벌레 발생 양상

2010년부터 2012년까지 끈끈이트랩을 이용하여 포획한 볼록총채벌레 성충의 발생소장은 Appendix I에 나타내었다. 조사 과원과 작물 그리고 지역에 따라 발생량 및 발생시기가 다양하게 나타났다. 볼록총채벌레 발생소장 원자료(Appendix I)에서 각 발생세대별 정점을 추출한 자료는 Table 1에 기술하였다. 관측자료에 따라서 일부 발생세대가 나타나지 않는 경우도 있었으나, 종합적으로 보았을 때 월동세대와 생육기 사이에 7개의 발생최성기가 나타났다. 이 자료를 감굴원과 녹차원(또는 키위과원)으로 구분하여 각 세대별 적산온도(평균)를 계산한 결과 월동세대 정점은 감굴원보다 녹차원에서 빨리 나타났으며(각각 70DD와 40DD), 1~3세대는 발생시기에 차이가 없었으나 이후 생육기 각 세대의 발생최성기는 녹차원에서 더 빠른 경향이였다. 즉 감굴원에서는 1세대부터 7세대까지 373, 664, 994, 1,343, 1,636, 1,951, 2,216DD에 발생최성기가 나타났다. 녹차(키위)원에서는 각각의 정점은 371, 693, 997, 1,165, 1,445, 1,802, 2,115DD에 나타났다.

예측모형 개발 및 포장적합

볼록총채벌레 발생세대별 적산온도를 추정하는 선형회귀모형을 추정한 결과를 Table 2에 나타내었다. 감굴원에서 유살된 자료와 녹차 또는 키위과원에서 얻은 자료를 기반으로 각각 감굴기반모형($y = 310.9x + 69.0, r^2=0.99$)과 녹차기반모형($y = 285.7x + 84.1, r^2=0.99$)을 제시하였다(Fig. 2). 두 모형 모두 0.99 이상의 높은 결정계수를 보였다.

2013년 포장조사 자료와 모형의 예측값 중 Julian date 자료를 비교한 결과 Table 3과 같았다. 감굴원의 관찰값과 녹차원의 관찰값을 감굴기반모형, 녹차기반모형 그리고 Masui(2008) 모형과 비교한 결과 감굴원 관찰값의 경우 잔차자승합(RSS)이 Masui(2008) 모형의 예측값과 비교했을 때 가장 작았고 그 다음은 녹차기반모형의 예측값과 비교했을 때였다. 녹차원의 관

Table 1. The Julian dates and degree-days on each generation peak of *S. dorsalis* adults in different host plants and locations; based on Appendix I

Site ^a	Year	Julian dates									Degree-days							
		O.W. ^b	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	O.W.	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	
N1	2010	85	- ^c	-	-	-	250	270	-	36	-	-	-	-	1694	1941	-	
	2011	105	145	174	-	-	254	277	-	25	240	507	-	-	1672	1897	-	
	2012	100	152	180	-	212	243	264	-	20	343	634	-	1137	1639	1872	-	
N2	2010	96	-	-	-	-	228	250	279	67	-	-	-	-	1508	1893	2243	
	2011	105	145	180	203	216	238	258	283	27	277	666	1005	1288	1631	1916	2166	
	2012	111	152	173	194	222	236	257	278	65	385	651	947	1415	1660	1957	2156	
N3	2010	-	-	-	-	-	238	259	279	-	-	-	-	-	1586	1900	2099	
	2011	105	-	180	203	226	230	271		28	-	642	1005	1384	1727	1960		
	2012	100	145	180		208	236	271	292	32	322	745		1169	1636	1960	2196	
N4	2010	-	-	-	-	-	228		265	-	-	-	-	-	1608		2153	
	2011	105	145	-	199	-	235		271	54	338	-	1092	-	1734		2245	
	2012	118	142	166	187	211	231		260	134	354	642	929	1345	1732		2166	
N5	2010	96	-	-	-	207	-	-	279	78	-	-	-	1205	-	-	2389	
	2011	105	-	174	-	-	230	-	271	54	-	662	-	-	1665	-	2245	
	2012	111	145	-	187	-	222	-	264	86	384	-	929	-	1558	-	2208	
E1	2010	96	-	-	-	217	-	-	179	111	-	-	-	1357	-	-	2297	
	2011	105	141	174	203	-	-	251	271	55	306	632	1076	-	-	1847	2111	
	2012	105	145	180	-	222	236	267	278	64	376	767	-	1459	1701	2079	2182	
E2	2010	96	-	-	-	-	-	250	279	111	-	-	-	-	-	1933	2297	
	2011	105	153	174	195	-	230	251	271	55	401	632	938	-	1540	1846	2111	
	2012	124	139	173	195	215	-	250	278	185	322	691	966	1331	-	1896	2182	
E3	2010	105	158	-	-	207	228	259	279	126	486	-	-	1178	1549	2068	2297	
	2011	105	153	167	195	216	238	-	271	55	401	551	938	1310	1648	-	2111	
	2012	92	145	-	194	215	229	257	285	26	376	-	966	1331	1584	1986	2240	
E4	2010	-	158	-	-	207	237	-	279	-	486	-	-	1178	1734	-	2297	
	2011	105	160	174	195	223	238	251	271	55	479	632	938	1429	1648	1847	2111	
	2012	124	139	180	201	-	-	257	292	185	322	769	1073	-	-	1986	2287	
ES1	2010	75	-	-	-	-	228	-	270	61	-	-	-	-	1590	-	2288	
	2011	105	153	180	203	-	230	-	277	71	421	736	1108	-	1571	-	2232	
	2012	111	145	173	-	215	-	250	285	102	402	731	-	1378	-	1979	2364	
ES2	2010	85	-	-	196	-	228	250	283	70	-	-	1017	-	1590	1988	2419	
	2011	90	153	180	203	216	238	258	283	29	421	736	1108	1343	1683	1999	2291	
	2012	100	139	166	194	208	-	243	278	49	344	644	1013	1244	-	1876	2364	
ES3	2010	85	158	-	196	-	-	-	270	70	499	-	1017	-	-	-	2288	
	2011	105	160	-	203	216	-	255	277	71	498	-	1108	1343	-	1949	2232	
ES4	2010	85	-	-	-	-	-	-	-	138	-	-	-	-	-	-	-	
	2011	105	160	188	-	-	230	258	283	74	472	803	-	-	1546	1985	2226	
	2012	111	145	184	205	-	236	257	306	64	311	717	1013	-	1531	1816	2172	

Table 1. Continued

Site ^a	Year	Julian dates								Degree-days							
		O.W. ^b	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	O.W.	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th
ES5	2010	96	-	-	-	-	-	228	-	177	-	-	-	-	-	1988	-
	2011	105	153	-	203	216	230	258	283	74	402	-	1067	1309	1546	1985	2226
	2012	111	-	187	-	-	236	271		64	-	757	-	-	1531	1939	
WS1	2010	100	-	186	202	228	-	259	284	74	-	761	995	1430	-	1927	2186
	2011	105	-	177	-	230	244	270	-	45	-	612	-	1422	1631	1971	-
	2012	100	-	173	194	222	-	257	285	30	-	648	926	1401	-	1931	2180
WS2	2010	75	158	-	196	217	-	254	288	48	435	-	923	1273	-	1898	2281
	2011	105	153	174	195	226	244	258	293	59	389	611	905	1415	1687	1898	2264
	2012	111	139	173	-	219	236	257	278	82	302	676	-	1382	1675	1969	2177
WS3	2010	-	-	-	196	-	-	-	279	-	-	-	923	-	-	-	2200
	2011	105	153	180	203	-	244	-	283	59	389	688	1041	-	1687	-	2177
	2012	111	139	173	-	-	-	257	-	82	302	676	-	-	-	1969	-
W1	2010	121	-	186	-	228	-	-	279	106	-	735	-	1417	-	-	2131
	2011	105	160	195	-	230	261	283	-	33	396	800	-	1348	1768	1948	-
	2012	92	139	173	201	222	-	278	-	12	247	606	980	1352	-	2063	-
W2	2010	116	158	176	207	228	-	-	279	102	385	594	1056	1417	-	-	2132
	2011	105	160	-	-	238	-	283	-	33	396	-	-	1453	-	1948	-
	2012	111	145	173	194		236	257	-	53	296	606	878		1590	1887	-
W3	2010	75	-	-	186	207	228	-	-	69	-	-	903	1261	1665	-	-
	2011	105	153	174	195	216	230	251	283	70	440	693	1021	1424	1666	2002	2407
	2012	111	139	173	-	-	-	236	250	122	365	791	-	-	-	1912	2124
W4	2010	90	-	-	-	-	228	259	279	64	-	-	-	-	1539	2065	2291
	2011	105	-	180	-	-	-	264	-	47	-	686	-	-	-	2026	-
	2012	100	-	173	194	-	-	-	-	35	-	679	972	-	-	-	-
TEA	2011	90	153	174	-	206	226	244	271	34	402	616	-	1116	1481	1768	2129
	2012	111	152	180	201	-	229	257	-	64	374	670	950	-	1420	1816	-
KIWI	2011	90	145	174	-	209	223	-	271	29	350	654	-	1213	1459	-	2169
	2012	81	145	173	194	-	-	236	264	11	403	731	1013	-	-	1761	2150
Skiwi	2012	-	145	180	198	-	-	236	257	-	403	814	1074	-	-	1761	2074
Ukiwi	2012	111	152	180	201	-	229	257	285	64	373	670	950	-	1420	1816	2053

^aThe site information was indicated in Fig. 1. ^bOverwintering generation. ^cNo data available.

찰값의 경우 녹차기반모형의 예측값과 비교했을 때 잔차자승합(RSS)이 가장 작았다. 감귤기반모형과 각 과원의 관측값을 비교했을 시 감귤원 및 녹차원 자료 모두 다른 모형보다 큰 값을 나타냈다. 관측일과 예측일의 차이를 비교한 결과 일본자료 기반 - 녹차기반 - 감귤기반 모형 순서로 차이가 작았으나, 5% 유의수준에서 각 세대별 관측치와 예측치의 차이에서 통계적

유의성은 없었다.

고찰

감귤나무는 볼록충채벌레의 2차 기주식물로 알려져 있어서 (Nietschke et al., 2008) 감귤원에서 생활사를 완성하지 못하며,

Table 2. Linear models for predicting the degree-days at each generation peak of *S. dorsalis* adults in difference host plants

Model type	Regression		Degree-days per generation (DDPG)
	Equation ^a	r ²	
Citrus-based model	$y = 310.9x + 69.0$	0.99	310.9
Green tea-based model	$y = 285.7x + 84.1$	0.99	285.7

^a $y = ax + b$, where y is degree-days at each generation (x) of adult *S. dorsalis*.

^bDDPG is estimated by the slope ("a") of the regression equations.

Fig. 2. Relationship between the generation number (x) and degree-days (y) on peak dates of *S. dorsalis* adults. The data sets were provided in Appendix I. Citrus-based model: $F = 4,0297.9$; $df = 1, 326$; $p < 0.0001$; $r^2 = 0.99$, Green tea-based model: $F = 4,949.2$; $df = 1, 35$; $p < 0.0001$, $r^2 = 0.99$.

Table 3. Comparison between observed and estimated date of the generation peaks of *S. dorsalis* adults in 2013

Generation	Observed julian date		Predicted julian date by model								
	Citrus	Green tea (or Kiwi)	Citrus-based			Green tea-based			Masui (2008)		
			Predicted	D1	D2	Predicted	D1	D2	Predicted	D1	D2
1st	152	146	141	11	5	142	10	5	142	9	4
2nd	174	177	165	9	12	164	10	13	163	11	14
3rd	197	196	188	9	8	186	11	10	184	13	12
4th	209	225	212	3	13	208	1	17	204	5	21
5th	229	229	236	8	8	230	1	1	225	3	3
6th	239	236	260	21	25	251	12	16	246	7	10
	χ^2 -value ^a		4.50ns			2.97ns			2.76ns		
	RSS ^b		975			534			480		

D1 and D2 indicate discrepancy between observed and estimated data from citrus and green tea (or kiwi) farms, respectively.

^a χ^2 -value = $\sum (O - P)^2 / P$ (O = Observed, P = Predicted); ns, not significant ($p = 0.05$).

^bResidual sum of square = $\sum (O - P)^2$ (O = Observed, P = Predicted).

주변의 기주식물(1차 기주식물)에서 증식한 후 감귤원으로 비래하여 피해를 주는 것으로 알려져 있다(Masui, 2007; Song et al., 2013). 본 연구의 관측자료 중 특히 감귤원에서 발생세대가

소실되는 경우가 많았는데, 1차 기주식물에서 감귤원으로 비래여부와 관련된 것으로 보인다. 또한 1차 기주식물인 녹차(또는 키위)에서 불록총채벌레 발생최성기 출현시기가 빠르고(특

히 4세대부터), 감귤원에서는 지연되어 나타난 것은 이러한 요인이 반영된 것으로 이해된다. 따라서 본 연구에서는 감귤원 자료와 녹차원 자료를 분리하여 모형을 제작하였다. 하지만, 감귤원 기반모형의 적합도는 녹차기반모형보다 좋지 않았다. 이 원인은 볼록총채벌레의 유살수를 조사한 감귤원 위치가 녹차와 가까이 붙어 있어서(Fig. 1) 오히려 녹차에서의 발생양상과 큰 차이가 없었기 때문으로 보인다.

2013년 기상은 특이하게 전개되었는데, 특히 제주도에서는 3~4월 저온이 지속되다가 이후 급속히 예년 평균 기온으로 회복되고, 7월부터 8월 중순까지 극심한 가뭄이 지속되었다. 볼록총채벌레는 어린 조직(신초 잎)을 주로 섭식하기 때문에 기주식물의 신초 발생주기에 영향을 미치는 토양수분 조건(가뭄)은 볼록총채벌레의 발생양상에 영향을 미칠 수 있다. 이러한 평년과 상이한 기상조건 상태에서 얻은 자료는 모형 예측값과 다소 변이가 있었으나, 카이스퀘어 검정결과 5% 유의수준에서는 모든 모형의 예측값이 실측값과 차이가 없었다. 본 결과로만 보았을 때 녹차 등 볼록총채벌레 기주식물이 집중된 주변에 위치하는 감귤원에서는 녹차기반모형 또는 일본 Masui(2008) 모형을 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 볼록총채벌레 증식처로부터 거리에 따른 비례시기 지연효과에 대한 정보는 아직 알려진 바가 없다. 향후 본 연구에서 제시한 모형을 기본으로 감귤원 위치에 따른 발생최성기를 분석하여 정확한 모형을 개발하는 것이 필요하다.

일본에서 볼록총채벌레는 연 7~8세대 발생하는 것으로 보고되었다(Tatara, 1994). 본 연구에서는 월동세대를 제외하고 연 7세대의 발생최성기를 확인하였다. Masui(2008) 모형도 제주 볼록총채벌레 발생시기에 잘 적용되었듯이 일본(Shizuoka)과 제주에서 볼록총채벌레 발생양상은 비슷한 것으로 보인다. Nietschke et al.(2008)은 볼록총채벌레 세대기간으로 적산온도 281DD(발육점온도 9.7°C 이용)를 적용하여 미국남부지역에서 연간 발생세대수를 추정할 결과 18세대까지 발생할 수 있었다. 볼록총채벌레는 비휴면성 상태로 겨울을 지내므로 온도가 하락되면 연간 언제든지 발생이 가능하다(Okada and Kudo, 1982). 하지만, 제주 기상조건에서는 연 7세대가 일반적인 것으로 보이며 310.9DD(감귤기반모형)내지 285.7DD(녹차기반모형)의 세대기간이 필요한 것으로 판단된다.

감귤에서 볼록총채벌레 피해는 3세대 또는 6세대에 집중되는 것으로 보고되었다(Song et al., 2013). 본 연구에서 개발한 모형을 이용하면 적산온도를 계산하여 쉽게 발생시기를 예측할 수 있었다. 또한 해당시기에 황색 끈끈이트랩을 설치하여 같이 활용한다면 더 정확하게 볼록총채벌레의 비례여부를 판단할 수 있을 것이다. 앞으로 보다 더 효과적인 예찰모형이 개발

될 때까지 본 모형은 볼록총채벌레 발생세대 예측에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

Literature Cited

- Hyun, J.W., 2008. Survey for citrus pests in Annual Research Report for 2008, Jeju citrus Research Station, RDA, Jeju, Korea (in Korean). pp. 551-565.
- Hyun, J.W., Hwang, R.Y., Lee, K.S., Song, J.H., Lee, P.H., Kwon, H.M., Hyun, D.H., Kim, K.S., 2012. Seasonal occurrence of yellow tea thrips, *Scirtothrips dorsalis* Hood (Thysanoptera: Thripidae) in citrus orchards and its damage symptoms on citrus fruits. Korean J. Appl. Entomol. 51, 1-7.
- Jeon, H.Y., Kim, D.S., Cho, M.R., Yi, M.S., Chang, Y.D., 2000. Recent status of major fruit tree pest occurrences in Korea. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 41, 607-612.
- Kim, D.H., Kwon, H.M., Kim, K.S., 2000. Current status of the occurrence of the insect pests in the citrus orchard in Cheju Island. Korean J. Appl. Entomol. 39, 267-274.
- Kwon, O.K. 1991. Studies on taxonomy and distribution of thrips (Thysanoptera) collected from Mt. Halla in Cheju Island. Bull. College of Agriculture-Wonkwang Univ. 14.
- Masui, S., Ishigami, S., Yamamoto, Y., Isozumi, T., Ueno, N., Inoue, N., 1995. Role of local forecasting for occurrence of citrus pest. Plant Prot. 49, 318-321 (in Japanese).
- Masui, S., 2007. Synchronism of immigration of adult yellow tea thrips, *Scirtothrips dorsalis* Hood (Thysanoptera: Thripidae) to citrus orchards with reference to their occurrence on surrounding host plants. Appl. Entomol. Zool. 42, 517-523.
- Masui, S., 2008. Estimation of the immigration time of *Scirtothrips dorsalis* Hood (Thysanoptera: Thripidae) adults in citrus orchards as a function of the total effective temperature. Appl. Entomol. Zool. 43, 511-517.
- Muraoka, M., 1990. A yellow sticky trap developed for forecasting the occurrence of the thrips in orchards. Plant Prot. 44, 24-26 (in Japanese).
- Nietschke, B.S., Borchert, D.M., Magarey, R.D., Ciomperlik, M.A., 2008. Climatological potential for *Scirtothrips dorsalis* (Thysanoptera: Thripidae) establishment in the United States. Flor. Entomol. 91, 79-86.
- Ohkubo, N., 1989. Forecasting of occurrence of yellow tea thrips, *Scirtothrips dorsalis* (Hood) in a citrus producing area by yellow plate sticky trap. Proc. Assoc. Pl. Prot. Kyushu. 35, 142-145.
- Ohkubo, N., 1995. Host plants of yellow tea thrips, *Scirtothrips dorsalis* Hood and annual occurrence on them. Bull. Nagasaki Fruit Tree Exp. Stn. 2, 1-15 (in Japanese with English summary).
- Ohkubo, N., 2001. Host preference and infestation process on citrus of yellow tea thrips, *Scirtothrips dorsalis* Hood. Bull. Nagasaki Fruit Tree Exp. Stn. 8, 1-3 (in Japanese with English summary).

Okada, T., Kudo, I., 1982. Overwintering sites and stages of *Scirtothrips dorsalis* Hood (Thysanoptera: Thripidae) in Tea fields. Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology 26, 177-182.

SAS Institute, 1999. SAS OnlineDoc, version 8. SAS Institute, Cary, NC.

Song, J.H., Kim, C.S., Yang, Y.T., Hong, S.Y., Lee, S.C., 2013. Annual occurrent pattern of *Scirtothrips dorsalis* (Thysanoptera: Thripidae) on citrus trees and surrounding host plants. Korean J. Appl. Entomol. 52, 185-191.

Tatara, A., 1994. Effect of temperature and host plant on the development, fertility and longevity of *Scirtothrips dorsalis* Hood (Thysanoptera: Thripidae). Appl. Entomol. Zool. 29, 31-37.

Tatara, A., 1995. Bionomics, monitoring and control of *Scirtothrips dorsalis* Hood (yellow tea thrips) in citrus groves. Spec. Bull. Shizuoka Citrus Exp. Sta. 7, 1-98 (in Japanese with English summary).

Venette, R.C., Davis, E.E., 2004. Chilli thrips/yellow thrips, *Scirtothrips dorsalis* Hood (Thysanoptera: Thripidae) mini pest risk assessment. Univ. of Minnesota, St. Paul, MN, USA. 31.

Appendix I

Appendix I. Continued

Appendix I. Continued

The number of adult per trap

Dgree-days

Appendix II