미국 북서부지역에 발생하는 서부양벚과실파리의 발생 월동 후 발생 동태에 관한 연구

송유한* · 안광복

경상대학교 농업생명과학연구원

(2007년 11월 10일 접수; 2007년 12월 3일 수락)

Development of Western Cherry Fruit Fly, *Rhagoletis indifferens* Curran (Diptera: Tephritidae), after Overwintering in the Pacific North West Area of USA

Yoochan Song* and Kwang-Bok Ahn

Institute of Agriculture and Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

(Received November 10, 2007; Accepted December 3, 2007)

ABSTRACT

The western cherry fruit fly, *Rhagoletis indifferens* Curran (Diptera: Tephritidae), is the most important pest of cultivated cherries in the Pacific Northwest area of the United States, being widely distributed throughout Oregon, Washington, Montana, Utah, Idaho, Colorado and parts of Nevada. The control of *R. indifferens* has been based on calendar sprays after its first emergence because of their zero tolerance for quarantine. Therefore, a good prediction model is needed for the spray timing. This study was conducted to obtain the empirical population dynamic information of *R. indifferens* after overwintering in the major cherry growing area of the Pacific Northwest of the United States, where the information is critically needed to develop and validate the prediction model of the fruit fly. Adult fly populations were monitored by using yellow sticky and emergence traps. Larvae growth and density in fruits were observed by fruit sampling and the pupal growth and density were monitored by pupal collection traps. The first adult was emerged around mid May and a large number of adults were caught in early June. A fruit had more than one larva from mid June to early July. A large number of pupae were caught in early July. The pupae were collected in various period of time to determine the effect of pupation timing and the soil moisture content during the winter. A series of population density data collected in each of the developmental stage were analyzed and organized to provide more reliable validation information for the population dynamic models.

Key words : Western cherry fruit fly, Phenology, Prediction, Model, Degree-day

I. 서 론

서부양벚과실파리(Western Cherry Fruit Fly, *Rhagoletis indifferens* Curran)는 미국 북서부지역(Pacific Northwest) 및 California 북부에서 재배되는 체리(양

앵두)의 중요 해충으로(Frick *et al.*, 1954; AliNiazee, 1978), 이 지역의 중요한 수출 소득 작물인 단체리(Sweet Cherry, *Prunus avium*) 뿐만 아니라 신체리(Saur Cherry, *P. cerasus*), 야생체리(Wild Cherry) 등 각종 체리를 가해하여 큰 피해를 주고 있다

(AliNiazee, 1981).

서부양벚과실파리는 1908년 Oregon의 Stayton에서 처음 그 피해가 기록되었으며, 1909년 Oregon의 Salem 근처에서 피해가 발견되었고, 곧이어 북서부의 다른 지역으로 빠르게 퍼지기 시작하여 1920년대와 30년대에는 Oregon과 Washington의 몇몇 지역에서 피해가 기록되었다. 1938년에는 California 북부 지역에서 유충에 의해 피해를 입은 체리가 보고되었고, 1942년 동부 Washington의 Yakima Valley와 1950년대 후반 Canada의 British Columbia Rootenay 지역에서 중요 해충으로 자리 잡았다. 그 이후 이 해충은 처음 분포했던 British Columbia, Washington, Oregon, California에 추가로 Idaho, Montana, Colorado, Nevada, Utah에서 발견되고 있다(Frick *et al.*, 1954; AliNiazee, 1974).

체리의 중요한 생산지인 미국의 Oregon주와 Washington주 등 북서부지역에서 생산되는 체리를 과실파리가 분포하지 않는 지역(남부 California, 미국 중부 및 동부, 일본 한국 등 아시아지역, 유럽지역 등지)으로 수출하기 위해서는 철저한 검역절차를 거쳐야 하며, 수출기본단위(주로 20톤 컨테이너 단위)의 선별 검사에서 단 한 마리의 과실파리가 발견되어도 전체가 폐기되는 소위 “Zero Tolerance”의 기준이 적용되고 있다 (Riedl and Coop, 1996).

따라서, 체리 재배농가에서는 이 해충의 방제를 위해 과실파리가 월동 후 처음 우화시점(First Emergence Date)부터 8~10일 간격으로 유기인계 살충제를 사용하여 방제하며, 8월말까지 재배기간 중 평균 5회 정도 살충제를 살포하며, 이로 인하여 경제적 손실뿐만 아니라, 주변 생태계에도 많은 영향을 미치고 있는 실정이다(AliNiazee, 1978).

“Zero Tolerance” 검역체계 하에서 과실파리를 방제하기 위해서는 살충제 살포가 유일한 대안이며, 이를 위해서는 살충제를 살포하는 시점, 특히 봄철 월동 후 성충의 우화시기를 예측하는 것이 매우 중요하다. 이를 위해서 전통적으로 성충의 유인제(암모니아 방출기)를 장착한 황색끈끈이트랩을 사용하여 왔다.

체리 주산단지인 미국 북서부 중에서도 The Dalles 지역은 일조량이 많고 체리 수확기에 건조하여 병해가 적고 강우에 의한 열과가 거의 생기지 않는 등 최적지로 인식이 되고 있다. 그 동안 이 지역에서 과실파리의 방제를 위해 지속적으로 살충제를 사용함으로써 그 밀도가 매우 낮아졌으며, 이 지역 주민의 전체가

정원수로 심어져 있던 양벚나무와 야생체리를 제거하는 등 협력체계가 구축되어 있다. 따라서 성충 예찰을 위한 황색끈끈이트랩에 유인되는 과실파리의 수가 거의 없어서 끈끈이트랩으로써 과실파리의 발생 예측이 매우 어려운 실정이다. 그럼에도 불구하고 살충제 살포를 등한시 할 경우 과실파리의 피해가 나타나서 큰 경제적 손실을 입게 되므로 월동 후 과실파리의 발생 경과를 예측할 수 있는 적절한 대안이 절실히 필요한 실정이다.

한편 The Dalles 지역으로부터 서쪽으로 약 30 km 떨어진 Hood River 지역은 The Dalles 지역에 비해 수확기에 다소 강우량이 많으므로 체리보다는 사과와 배를 주로 재배하고 있다. 그리고 과실파리의 방제를 위해 살충제를 거의 살포하지 않고 있으므로, 아직도 끈끈이트랩으로 월동 후 과실파리를 모니터링할 수 있다. 따라서 이 지역 트랩유살자료를 참고로 The Dalles 지역의 과실파리 우화상황을 예측할 수 있겠다는 제안이 있었으나, 이 지역 우화 시기가 The Dalles 지역보다 늦은 관계로 이 제안은 적용이 불가능한 것으로 판명된 바 있다(Riedl and Coop, 1996).

이와 같이 황색끈끈이트랩으로 월동 후 성충의 발생 시기를 적절히 예측할 수 없는 문제점을 해결하기 위해, 유효적산온도를 기초로 한 발육모형이 제안되었고, 이러한 발육모형을 사용함으로써 살충제의 사용 시기를 적절히 예측하여 살포횟수와 살포량을 줄이고 환경에 나쁜 영향을 회피 할 수 있을 것으로 인식되고 있다(AliNiazee, 1976; Stark and AliNiazee, 1982a, 1982b).

이러한 이유로 미국 Washington주, Utah주, Oregon주의 Willamette Valley 지역 등 3개 지역에서는 각 지역별로 특이적인 온도 의존적 과실파리 발육모형이 개발되어 월동성충의 출현 및 산란 시기를 예측하고 살충제 살포 시점을 정하는 데 사용 중에 있다 (AliNiazee, 1979; Jones *et al.*, 1991). Riedl and Coop(1996)은 이와 같이 타 지역에서 사용 중인 온도의존모형을 체리 주산단지인 The Dalles 지역에 적용할 수 있는지를 검토하였으나, 어떤 것도 적용이 어렵다는 사실을 알게 되었다. 그 주된 이유는 지금까지 개발된 예찰모형의 어떤 것도 지역 특이적 환경에 대한 일반화 된 원리의 도출과 이를 토대로 한 일반 모형으로서의 기능을 포함하고 있지 않았기 때문이라고

하였다.

따라서, Song *et al.*(2003)은 온도 의존적 Time Varying Distributed Time Delay 개념(Manetsch and Park, 1974)을 적용하여 이러한 지역 특이적 환경요소를 정밀하게 수용할 수 있는 과실파리 예측 모형을 개발하였다. 이 모형은 서부양벚과실파리의 월동 후 우화시기 뿐만 아니라 우화 후 성충의 산란과 사망, 알의 밀도와 발육, 부화상황, 유충의 발육과 밀도, 용화, 번데기의 밀도변동 등 모든 생물적 경과와 그 달 성시기를 예측할 수 있는 종합적 개체군 동태모형으로서 작성되었다.

Song *et al.*(2003)의 개체군동태 모형의 검증을 위하여서는 실제 과원에서 각 발육단계별 현장 밀도변동 조사결과가 필요하지만, 현재까지 기록은 앞서 언급된 바와 같은 황색끈끈이트랩으로 Hood River 지역에서 월동 후 유인/포획된 성충의 수를 조사한 지난 30여 년간의 기록과 AliNiazee(1976, 1978, 1979)의 우화 트랩에 의한 우화 패턴이 거의 전부인 실정으로, 유충 발육 및 밀도, 용화시기와 용화수의 경시적 변동 등에 관한 어떠한 실측자료도 없는 실정이다.

따라서, 본 연구는 Song *et al.*(2003)에 의해 개발된 서부양벚과실파리의 개체군 동태와 발생경과 모형의 검증을 위하여 필요한 각 발육단계별 과실파리의 발생경과와 밀도 변동에 관한 사항을 과원에서 정밀히 추적하여 월동 후 개체군 밀도변동 동태를 파악하고, 이에 근거하여 Song *et al.*(2003)의 발생예측 모형의 정확도를 검증하여 필요하다면 수정을 가하고자 수행하였다.

이를 위하여 황색끈끈이트랩, 우화케이지, 용화트랩 등을 이용하여 실제 과원에서 각 태별 발생경과를 경시적으로 조사하였으며, 체리 과실이 달리는 시기부터 일정 간격으로 과실을 수거하여 시기별 과실 내부의 유충 수를 조사하였고, 실내에서 용화케이지를 이용하여 용화시기를 조사하였다. 위와 같은 여러 조사를 통해 얻어진 자료에서 나타난 과실파리의 월동 후 개체군 밀도변동과 용화시기를 Song *et al.*(2003)의 모형에서 예측한 결과와 비교하여 검증함으로써 더욱 정밀한 예측 모형을 개발하는데 이용하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 조사장소

야외 체리 과원에서 서부양벚과실파리의 월동 후 각

태별 발육경과와 밀도변동 동태를 파악하기 위하여 미국 Oregon주 Hood River의 대표되는 2개 장소인 Cottonwood와 Dillon을 선정하여 조사 하였다. Cottonwood(주소: 230, 13th St. Hood River, OR97031; 위경도: N45.708433°, W121.525383°)는 미국 Columbia 강 연안에 가까운 곳으로 Dillon에 비해 고도가 낮고 따뜻하며, 과원이 형성 된 후 주택지로 둘러싸이게 되어 수년간 살충제 살포 없이 방치된 관계로 과실파리의 밀도가 높은 실험지로 선택되었다.

반면 Dillon(주소: 1367 Dillon Rd, Hood River OR97031; 위경도: N45.680383°, W121.535433°)은 Cottonwood에 비해 일반 체리과원과 가깝고 고도가 40m 정도 더 높으며 평지에 위치 해 있고, 주변의 지속적인 방제활동으로 인해 과실파리의 밀도가 낮은 실험지로 선정되었다.

이 두 곳 이외에도 Cottonwood와 인근의 주택지인 A Street(주소: 2400, A Street, Hood River, OR97031; 위경도: N45.700200°, W121.525667°)와 State Street(주소: 1284, State Street, Hood River, OR97031; 위경도: N45.708150°, W121.524883°) 등에서 과실을 수거하여 조사하였다.

2.2. 성충의 우화 및 발생 시기 조사

서부양벚과실파리가 땅속에서 월동 한 후 우화에 나오는 개체의 수를 조사하기 위하여 Fig. 1과 같은 밀 변 0.95×0.95 m 깔대기 모양의 망사 우화케이지를 설치하였다. 이 케이지의 꼭대기는 지름 40 mm로 개방하여 그 위에 원형의 수반을 설치하고 비닐을 덮어

Fig. 1. The emergence trap used for monitoring the western cherry fruit fly, *Rhagoletis indifferens*, adults emerging from overwintered pupae from the ground of cherry orchards.

우화한 성충이 달아나지 못하도록 하였다. 우화한 성충의 수는 일주일에 2회 방문하여 물에 빠진 성충을 제거하며 그 수를 암수를 구분하여 조사하였다. 우화 케이스는 Dillon에 2개를 설치하였으며, Cottonwood에는 설치하지 않았다.

우화 후 과원에서 과일파리 밀도 변동을 알아보기 위하여 유인제(50% ammonium acetate + 3% soy hydrolysate)의 50% 용액을 함유한 8ml 들이 바이얼)를 장착한 황색 끈끈이 트랩 (Pherocon-ICPY, 22.5×28 cm, yellow sticky cardboard sheet, Zoecon Corp., Palo Alto, California)을 Cottonwood를 포함한 모든 조사지에 설치하였으며, 일주일에 2회 조사 지역을 방문하여 트랩에 채집된 성충을 핀셋을 이용해 제거하면서 그 수를 조사하였다.

2.3. 과일 내 유충 밀도 조사

Cottonwood와 Dillon의 조사지점에서 과실을 일주일에 1회 100개씩 나무에서 채취하여 현미경하에서 과일 표면의 산란흔을 조사하고, 과실을 쪼개어 과일 속의 유충 수를 조사하였다. 과일 내에 존재하는 유충은 모두 꺼내어 몸길이를 측정하여 조사 시점의 유충의령기를 간접적으로 측정하였다.

2.4. 용화시기 조사

서부양벚과실파리는 과일 내 노숙유충이 과실에서 탈출하여 토양 속으로 파고 들어가 번데기가 되고 그 상태로 월동하게 된다. 과실에서 탈출하는 노숙유충을 채집하기 위해 square trap과 mat trap을 이용하였다. square trap은 우화시기 조사에서 사용된 것(Fig. 1)과 같은 뼈대에 튼튼한 천을 덮어서, 깔때기 모양의 좁은 곳이 아래로 오도록 설치하였다. 이 trap의 아랫부분은 지름 40 mm로 개방하였으며, 고무마개를 이용해 막고 모래를 0.1 m가량 채웠다. mat trap은 2×4 m의 천으로 사방에 말뚝을 박아 나무 아래 고정하였으며, square trap과 마찬가지로 중간에 모래를 부어 낙하한 유충이 숨어서 용화를 할 수 있도록 하였다.

이 용화 트랩은 일주일에 2회씩 각 trap의 모래를 체를 이용해 걸러낸 후 번데기와 노숙유충을 채집하였다. 채집 후 실험실로 가져와 수를 조사하고 날짜, 장소 별로 플라스틱 컵에 담아 보관하였다.

실내에서의 용화시기를 조사하기 위해 0.3×0.4 m 크기의 케이스에 10 mm 깊이의 가는 모래를 채운 후

철망을 설치하고 그 위에 조사지역에서 가져온 과실을 케이스 당 200개씩 넣어 섭씨 25도의 실온에 두었다. 일주일에 2회 모래를 체로 쳐서 번데기를 수거하고, 용화한 번데기의 수를 채집날짜와 장소별로 구분하여 플라스틱 컵에 담아 보관하였다.

2.5. 발육단계의 실측자료와 예측자료의 비교

이와 같이 조사된 성충의 실측 우화일과 야외 존 채밀도, 용화시기 등을 Song *et al.*(2003)에 의해 개발된 서부양벚과실파리의 개체군 동태와 발생경과 모형에서 예측된 결과와 비교하였다. 이를 위해 각 Cottonwood와 Dillon 등 2개 조사지에 온도기록장치(Hobo Onset Temperature Logger, Model H08-002-02)를 설치하여 시간별로 온도를 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 월동 후 서부양벚과실파리의 성충의 출현 시기

서부양벚과실파리가 땅속에서 번데기로 월동한 후 우화해 나오는 시기를 예측하는 것은 체리 농가에서 살충제를 언제 사용할지를 결정하는 중요한 지표가 된다. 지금까지는 황색 끈끈이트랩에 잡히는 성충의 수와 포집시기가 그 가이드라인이 되어 왔다. 그러나 이러한 유살트랩에 잡히는 수는 과원에 존재하는 과실파리의 밀도를 간접적으로 나타낼 뿐 이론적으로 실제 우화패턴을 직접적으로 표시하는 지표가 될 수가 없다.

따라서 본 연구에서는 Dillon에 우화케이스를 설치하고 아울러 Dillon과 Cottonwood에 황색끈끈이 트랩을 설치하여 실제 우화와 성충의 포장밀도의 연관성을 알아보고자 하였다.

그 결과 우화케이스와 황색끈끈이트랩을 같이 설치한 Dillon의 결과를 나타낸 Fig. 2를 보면 우화케이스에서 나타난 성충의 우화 패턴은 끈끈이트랩의 과원 성충밀도 변화 패턴보다 전반적으로 빠르고 그 경사도가 급하게 나타났다. 이는 성충의 수명이 약 한달 정도(AliNiazee 1976, 1977) 임을 감안할 때, 우화 후 누적된 성충의 수를 반영한 끈끈이트랩의 성충 누적발생패턴의 경사가 완만하게 됨은 쉽게 짐작할 수 있다.

Song *et al.*(2003)에 의해 개발된 서부양벚과실파리의 개체군 동태와 발생경과 모형에서도 이와 같은 우

Fig. 2. The comparison of cumulated adult emergence (E.cage) and the sticky trap catch (sticky) of the western cherry fruit fly, *Rhagoletis indifferens*, adults after overwintering in the soil at the experimental site of Dillon (N45.680383°, W121.535433°) in 2004.

Fig. 3. The differences of sex in cumulated emergence of the western cherry fruit fly, *Rhagoletis indifferens*, adults in the emergence trap after overwintering at Dillon (N45.680383°, W121.535433°) in 2004.

화 패턴과 밀도패턴의 차이를 잘 나타내어 주고 있으며, 본 조사결과는 이 모형이 현실을 반영하고 있다는 증거로 인정된다.

Dillon에서 조사된 우화성충의 성비를 조사한 Fig. 3을 보면 암컷이 수컷보다 다소 늦게 출현하는 경향이 있었으나 큰 차이는 없었다. 대부분의 과실파리에서 수컷은 암컷보다 빨리 나타나는데, 서부양벚과실파리도 같은 경향이 아닌가 생각된다.

Dillon과 Cottonwood 이외에도 State Street, A Street에서 황색끈끈이트랩을 설치하여 성충의 발생 시기와 밀도를 조사한 결과(Fig. 4), 조사지에 따라 잡히는 성충의 누적 패턴은 큰 차이가 없었으나 대체로 따뜻한 곳에 해당하는 Cottonwood와 A Street에서

Fig. 4. The cumulated number of the western cherry fruit fly, *Rhagoletis indifferens*, adults caught in a sticky trap at the various trap sites of Cottonwood (N45.708433°, W121.525383°), Dillon (N45.680383°, W121.535433°), State Street, and A Street in Hood River Oregon in 2004.

성충이 빨리 출현하고 밀도가 매우 높은 반면 State Street와 Dillon에서는 그 발생밀도가 1/4 정도인 큰 차이를 보였다.

이는 특히 Dillon의 경우 상업적 과원이 가까운 관계로 살포되는 살충제의 영향을 받았기 때문인 것으로 생각이 된다.

3.2. 과실 내 유충의 밀도변동

서부양벚과실파리는 후대(유충)의 원만한 발육을 위하여 체리 과실 당 1개의 알을 낳으며, 화학물질로 표식을 하여 다른 성충이 중복하여 산란을 하지 못하도록 하는 것으로 알려져 있다(Frick, *et al*, 1954; AliNiazee, 1978; Mumtaz and AliNiazee, 1983).

본 연구에서는 성충이 월동번데기로부터 우화한 후 체리 과실에 존재하는 유충의 수와 그 발육경과를 알아보고자, 주 1회 100개 정도의 과실을 임의로 채취하여 과실의 상태 (Stage)를 기록한 후 과실을 쪼개어 유충을 조사하였다.

이미 알려진 사실과 마찬가지로 과실 한 개에 한 마리의 유충이 존재할 것으로 생각하였으나, 실제 조사 결과 과실파리 성충의 밀도가 높아지면 2마리 이상의 유충이 과실 내에 존재하였으며, 특히 성충의 밀도가 높았던 Cottonwood에서는 많게는 7~8마리까지도 과실 내에 존재하는 것으로 조사되었다(Table 1, 2).

Cotton Wood와 Dillon은 성충밀도에서와 같이 유충 밀도에도 큰 차이(Cottonwood의 유충밀도가 월동

Table 1. Larval density of the western cherry fruit fly, *Rhagoletis indifferens*, in the fruits sample at the location of Cottonwood*

Date Sampled (year 2004)	No. Fruit	Category of Larval Density per Fruit					Pupae Pupae	Mean number per fruit
		0	1	2	3	>4		
01-Jun	66	40	24	0	0	0	2	0.40
04-Jun	100	36	51	7	1	0	1	0.69
Sub Total	166	76	75	7	1	0	3	0.57
15-Jun	105	32	38	21	7	2	22	1.25
17-Jun	100	17	45	21	9	4	29	1.59
Sub Total	205	49	83	42	16	6	51	1.41
21-Jun	111	33	44	22	4	2	55	1.47
24-Jun	104	32	35	22	11	2	126	2.37
Sub Total	215	65	79	44	15	4	181	1.90
28-Jun	97	17	34	20	20	6	18	1.81
01-Jul	112	25	46	24	13	3	24	1.51
Sub Total	209	42	80	44	33	9	42	1.65
05-Jul	106	48	34	13	7	3	20	1.07
08-Jul	100	60	29	6	1	6	6	0.74
Sub Total	206	108	63	19	8	9	26	0.91
12-Jul	104	71	24	4	2	2	4	0.48

*Cottonwood: 230, 13th St. Hood River, OR97031; N45.708433°, W121.525383°

월 초 사이에는 2마리 이상의 유충이 과실 내에 존재하는 것으로 조사되었다(Table 1, 2).

이는 암컷 성충이 산란 후 기피제 등 흔적을 남기지만, 성충의 밀도가 높아질 경우 먹이의 부족으로 이미 산란된 과실에 또 다른 암컷이 산란하는 것으로 생각된다.

과실 내 존재하는 유충의 체장을 측정하여 유충의 발육 단계별 밀도를 조사하였다. 그 결과 Cottonwood와 Dillon 모두에서 노숙 유충의 밀도가 높았다(Figs. 5, 6). 그러나 Dillon의 경우 Cottonwood에 비해 기온이 낮은 지역으로 노숙 유충의 밀도가 최성기를 보이는 시기가 늦게 나타나서 피크가 나타나기 전에 모두 낙과하였다. 따라서 이와 같이 과실파리의 용화시기보다 수확기(낙과기)가 이를 경우 땅에 떨어진 과실에서 더 이상 발육을 진행하지 못하였다.

3.3. 용화시기 조사

서부양벧과실파리는 노숙유충이 되면 과실에서 땅으로 떨어져 토양 속으로 파고 들어가 번데기가 되고 그 상태로 월동하므로, square trap과 mat trap을 이

용하여 유충이 탈출하는 시기를 조사하였다.

또한 실내에서도 용화시기를 조사하기 위해 조사지역에서 가져온 체리 과실을 용화케이지에 넣고 용화되는 유충의 수를 조사하였다.

야외에서 용화 패턴을 보기 위해 설치한 두 종류의 트랩인 square trap과 mat trap 간에는 잡히는 수에 있어서 mat trap이 월등히 많았으나 장소가 같으면 누적 용화패턴은 같게 나타났다(Figs. 7, 8). 특히 과실파리의 발생이 많았던 Cottonwood의 경우(Fig. 7) 용화 피크가 트랩의 종류에 관계없이 6월말에 뚜렷하게 나타난 반면, Cottonwood에 비해 기온과 발생밀도가 낮았던 Dillon에서는 7월초와 7월중 하순에 2번의 완만한 피크를 보였다. 이는 앞으로 좀 더 검토를 해 보아야 할 것이나, 발생 피크가 다른 두 생태형이 존재할 가능성도 배제할 수 없을 것으로 생각된다.

한편 과원에서 과실을 Sampling하여 실내 용화케이지에서 용화시기를 조사한 결과(Fig. 9), 발생 최성기는 과원에서와 마찬가지로 6월말-7월초로 나타났다. 그러나 조사 지역 간 거리가 불과 1 km정도로 상당히 인접한 지역임에도 불구하고 밀도에 있어서는 큰 차이

Table 2. Larval density of the western cherry fruit fly, *Rhagoletis indifferens*, in the fruits sample at the location of Dillon*

Date Sampled (year 2004)	No. Fruit	Category of Larval Density per Fruit					Pupae	Total
		0	1	2	3	>4		
24-May	100	98	2	0	0	0	0	2
01-Jun	128	110	18	0	0	0	0	18
04-Jun	100	67	30	2	0	0	1	35
Sub Total	228	177	48	2	0	0	1	53
07-Jun	100	51	46	3	0	0	0	52
10-Jun	100	58	42	0	0	0	0	42
Sub Total	200	109	88	3	0	0	0	94
14-Jun	106	58	46	2	0	0	0	50
17-Jun	106	74	29	1	0	0	4	34
Sub Total	212	132	75	3	0	0	4	84
21-Jun	98	61	35	2	0	0	12	43
24-Jun	105	68	32	4	0	0	12	52
Sub Total	203	129	67	6	0	0	24	95
28-Jun	101	44	54	3	0	0	7	67
01-Jul	99	63	33	3	0	0	6	46
Sub Total	200	107	87	6	0	0	13	113
05-Jul	106	55	46	3	0	0	3	57
08-Jul	103	47	44	10	1	0	4	74
Sub Total	209	102	90	13	1	0	7	131
12-Jul	105	48	41	14	1	1	9	82
15-Jul	91	56	26	7	0	2	0	56
Sub Total	196	104	67	21	1	3	9	138

*Dillon: 1367 Dillon Rd, Hood River OR97031; N45.680383°, W121.535433°

Fig. 5. Number of larvae and pupae of the western cherry fruit fly, *Rhagoletis indifferens*, existed in 100 fruits collected from Cottonwood (N45.708433°, W121.525383°) in 2004. **Fig. 6.** Number of larvae and pupae of the western cherry fruit fly, *Rhagoletis indifferens*, existed in 100 fruits collected from Dillon (N45.680383°, W121.535433°) in 2004.

를 보였다. 특히, 8th Street의 경우 신체리(sour cherry)와 단체리(sweet cherry)에 따라 번데기 밀도에 큰 차이를 보였으며, 이것으로 미루어보아 암컷 성충

의 산란 선호도에 cherry의 품종이 영향을 미치는 것으로 생각된다.

Fig. 7. Number of dropping larvae of the western cherry fruit fly, *Rhagoletis indifferens*, collected from various traps at Cottonwood (N45.708433°, W121.525383°) in 2004.

Fig. 8. Number of dropping larvae of the western cherry fruit fly, *Rhagoletis indifferens*, collected from the two different types of traps at Dillon (N45.680383°, W121.535433°) in 2004.

3.4. 발육단계의 실측자료와 예측자료의 비교

Song *et al.*(2003)에 의해 개발된 서부양벚과실파리의 개체군 동태와 발생경과 모형은 온도의존적인 발육 및 밀도변화에 근거하여 최고최저기온, biofix, 월동번데기의 연령구성 등을 입력하여 이후 성충의 우화시기,

Fig. 9. Cumulated number of pupae of the western cherry fruit fly, *Rhagoletis indifferens*, collected from 100 cherries in 2004.

산란, 부화, 유충밀도, 용화, 번데기 밀도 등을 예측할 수 있다.

Cottonwood와 Dillon 등 2개 조사지에서 조사된 성충의 실측 우화일과 50% 존재밀도, 50% 용화시기 등을 Song *et al.*(2003)의 모형에서 예측된 결과와 비교하였다.

그 결과는 Table 3에서 보는 바와 같이 모형에 의해 예측된 발생일과 실측 발생일과는 1~2일 차이로 매우 정확하게 예측이 되었다. 이로 미루어 볼 때 본 연구에서 획득한 포장 실측자료는 누적 우화일, 유충의 발육단계, 산란일 등 다른 중요한 생물학적 사건을 예측하는 모형의 정확도 검증에도 잘 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

IV. 결 론

현재 미국 북서지역에서 체리를 재배함에 있어서 서부양벚과실파리의 정확한 발생 시기를 예측할 수 없어 상당히 많은 양의 살충제가 과용되며, 이로 인해 여러 가지 부작용의 발생이 우려되고 있는 실정이다(Riedl

Table 3. Comparisons of predicted and observed dates of adult emergence and pupation of the western cherry fruit fly, *Rhagoletis indifferens*, determined by the prediction model (Song *et al.*, 2003) and obtained by our experiments respectively, in 2004

Point of prediction	Location of Cottonwood*		Location of Dillon**	
	Prediction***	Observed	Prediction***	Observed
First emergence	May 15	May 14	May 20	May 22
50% emergence	May 31	May 30	June 02	June 04
50% pupation	July 01	June 30	July 04	July 05

*Cottonwood: 230, 13th St. Hood River, OR97031; N45.708433°, W121.525383°

**Dillon: 1367 Dillon Rd, Hood River OR97031; N45.680383°, W121.535433°

Fig. 10. Percent cumulative occurrence of various stage of the western cherry fruit fly, *Rhagoletis indifferens*, after overwintering and subsequent development at Cottonwood (N45.708433°, W121.525383°) in 2004.

and Coop, 1996). 따라서 농민이 적절히 살충제를 사용할 수 있도록 방제시기 등의 판단에 기본이 되는 월동 후 성충의 출현시기와 유충의 발육경과를 예측하는 예측모형이 개발된 바 있다(Song *et al.*, 2003). 그러나 지금까지 성충의 유살자료는 여러 곳에서 다년간 조사된 바 있으나 정밀한 예찰모형의 검정을 위해 필요한 유충의 발육경과, 용화시기 등의 자료가 매우 부족한 실정이다.

본 연구에는 이와 같은 예찰모형검정용 실측 포장발생자료를 확보하기 위해 수행하였으며, 실제 성충 우화 시기와 용화시기, 유충 밀도와 같은 개체군 동태를 파악할 수 있는 자료를 얻었다. 본 연구에 의해 얻어진 중요한 각 태별 발생경과는 Cottonwood와 Dillon의 두 곳에서 상세히 파악되었으며, 각각 Fig. 10과 Fig. 11에 표시하였다. 특히 Dillon에서는 우화곡선으로부터 용화패턴까지 전 발육단계에 걸쳐 누적 발생곡선(Fig. 11)이 파악되어 Song *et al.*(2003)의 예찰모형을 검정하는데 매우 유용하게 사용될 수 있을 뿐만 아니라, 지금까지 거의 조사된 바 없었던 실제 과원에서의 발생동태를 파악하는 기초자료가 될 것으로 생각된다.

해충의 발생을 예측하는 모형의 대부분은 온도 의존적인 변온 동물의 발육에 근거하며(Baskerville and Emin, 1969; Riedl and Hoving, 1980), 예찰 모형의 종류는 온도 누적을 기본으로 하는 모형(Baskerville and Emin, 1969; AliNiazee, 1976, 1979; van Kirk and AliNiazee, 1981)에서부터 복잡한 변온 동물의 발달에서 생리적인 과정에 관한 가설에 근거한 이론

Fig. 11. Percent cumulative occurrence of various stage of the western cherry fruit fly, *Rhagoletis indifferens*, after overwintering and subsequent development at Dillon (N45.680383°, W121.535433°) in 2004.

적인 모형(Manetsch and Park, 1974)까지 복잡하다. 최근까지 미국 북서부 체리 재배지에서는 서부양벚과 실파리의 발생에 관해 많은 연구가 진행되었으며, 유효적산온도에 근거한 다수의 예찰 모형이 개발되어 보고되었다(Jones *et al.* 1991). 그러나 대상 지역에 따라 발생 조건은 상당한 차이가 있고 이러한 모형들이 대부분 황색끈끈이트랩에 의한 포장 성충밀도에 근거한 경험적 모형이므로 실제 서부양벚과실파리의 개체군 동태를 시뮬레이션할 수 없었다.

미국 북서부 체리 재배 농민들은 일반적인 화학 살충제를 이용하는 방제 프로그램이 서부양벚과실파리의 발생을 막는 유일한 방법으로 확신하고 있다. 특히, 이 해충은 체리를 타지로의 수출하기 위해 “zero tolerance”가 적용되므로 수확기에는 단 한 마리의 과실파리 유충도 발견되어서는 안 된다. 따라서 집중적인 방제활동으로 대부분의 체리 과원에서는 서부양벚과실파리의 밀도가 황색끈끈이트랩으로 파악하기 어려울 정도로 감소되어 있다.

본 연구에서 파악된 월동 후 개체군 동태 자료가 서부양벚과실파리의 예찰모형을 검정하고 개선하는 중요한 자료가 될 것임을 확신하며, 이를 통하여 체리 재배 농민이 적절한 살충제 사용함으로써 생산비를 줄이고 환경을 적절히 보전하는데 기여할 수 있을 것이다.

적 요

서부양벚과실파리(*Rhagoletis indifferens* Curran)은 미국 북서부지역 및 California 북부에서 재배되는 단 체리(*Prunus avium*)에 가장 큰 피해를 주는 해충이다.

체리의 수출을 위한 식물검역에서 Zero Tolerance의 규제를 받고 있는 이 해충의 방제를 위해 농가에서는 월동 후 우화 시점부터 지속적으로 약제를 살포하고 있으며, 살충제 처리의 적기를 예측할 수 있는 모형이 절실히 필요한 실정이다. 본 연구는 서부양벚과실파리를 대상으로 월동 후 성충의 우화 및 발생 시기, 유충의 밀도변화, 번데기의 용화시기 및 밀도변화 등을 정량적으로 추적하여 개체군 밀도의 경시적 변동과 월동 후 우화시기를 예측하는 모형 검정의 기초자료로 사용코자 수행하였다. 이를 위하여 황색끈끈이트랩, 우화케이지, 용화트랩 등을 이용하여 실제 과원에서 각 태별 발생경과를 경시적으로 조사하였으며, 체리 과실이 달리는 시기부터 일정 간격으로 과실을 수거하여 시기별 과실 내부의 유충 수를 조사하였고, 실내에서 용화케이지를 이용하여 용화시기를 조사하였다. 그 결과 월동 성충의 우화는 5월 중순에 시작하여 6월 초순에 정점에 도달하였고, 6월 중순부터 7월 상순까지 과실 당 1마리 이상의 유충이 존재하였다. 7월 중순에 번데기의 수가 정점에 도달하였으며, 월동 중에 토양습도 등의 조건에 따른 번데기의 발육속도 및 생존율을 측정하기 위해 대량의 번데기를 확보하였다. 이 연구에서 얻어진 자료에서 나타난 과실파리의 월동 후 개체군 밀도변동과 용화시기를 Song *et al.*(2003)의 모형에서 예측한 결과와 비교한 결과 모형에 의해 예측된 발생일과 실측 발생일과는 1~2일 차이로 매우 정확하게 예측이 되었다. 이로 미루어 볼 때 본 연구에서 획득한 포장 실측자료는 누적 우화일, 유충의 발육단계, 산란일 등 다른 중요한 생물학적 사건을 예측하는 모형의 정확도 검증에도 잘 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

REFERENCES

- AliNiazee, M. T., 1974: The western cherry fruit fly, *Rhagoletis indifferens* (Diptera: Tephritidae) 1. Distribution of the diapausing pupae in the soil. *Canadian Entomology* **106**, 909-912.
- AliNiazee, M. T., 1976: Thermal unit requirements for determining adult emergence of the western cherry fruit fly (Diptera: Tephritidae) in the Willamette Valley of Oregon. *Environmental Entomology* **5**, 397-402.
- AliNiazee, M. T., 1977: Laboratory rearing of the western cherry fruit fly, *Rhagoletis indifferens* (Diptera: Tephritidae): oviposition and larval diets. *Canadian Entomology* **109**, 1227-1234.
- AliNiazee, M. T., 1978: The western cherry fruit fly, *Rhagoletis indifferens* Curran (Diptera: Tephritidae) 3. Developing a management program by utilizing attractant traps as monitoring devices. *Canadian Entomology* **110**, 1133-1139.
- AliNiazee, M. T., 1979: A computerized phenology model for predicting biological events of *Rhagoletis indifferens* (Diptera: Tephritidae). *Canadian Entomology* **111**, 1101-1109.
- AliNiazee, M. T., 1981: Improved control of the western cherry fruit fly, *Rhagoletis indifferens* (Dipt.: Tephritidae), based on area-wide monitoring. *Journal of the Entomological Society of British Columbia* **78**, 27-33.
- Baskerville, G. L., and P. Emin, 1969: Rapid estimation of heat accumulation from maximum and minimum temperatures. *Ecology* **50**, 514-516.
- Frick, K. E., H. G. Simkover, and H. S. Telford, 1954: Bionomics of the cherry fruit flies in eastern Washington. *Technical Bulletin Washington Agricultural Experimental Station* **13**, 66pp.
- Jones, V. P., D. G. Alston, J. F. Brunner, D. W. Davis, and M. D. Shelton, 1991: Phenology of the western cherry fruit fly (Diptera: Tephritidae) in Utah and Washington. *Annals of the Entomological Society of America* **84**, 488-492.
- Manetsch, T. J. and G. L. Park, 1974: Simulation of time delay. *Systems Analysis and Simulation with Application to Economic and Social Systems*, East Lansing (Ed), Department of Electrical Engineering and System Science, Michigan State University, Michigan.
- Mumtaz, M. M., and M. T. AliNiazee, 1983: The oviposition-detering pheromone in the western cherry fruit fly, *Rhagoletis indifferens* Curran (Dipt., Tephritidae). 1. Biological properties. *Sonderdruck aus Bd.* **96**, H1, S. 83-93.
- Riedl, H. and S. A. Hoying, 1980: Seasonal patterns of emergence, flight activity and oviposition of the walnut husk fly in Northern California. *Environmental Entomology* **9**, 567-571.
- Riedl, H. and L. B. Coop, 1996: Phenology model for cherry fruit fly in Hood River and The Dalles. Oregon Sweet Cherry Commission Progress Report. Oct. 2, 1996. Oregon State University, Corvallis, Oregon. 5pp.
- Song, Y. H., L. B. Coop, M. Omeg, and H. Riedl, 2003: Development of a phenology model for predicting western cherry fruit fly, *Rhagoletis indifferens* Curran (Diptera: Tephritidae), emergence in the mid Columbia area of the Western United States. *Journal of Asia Pacific Entomology* **6**(2), 187-192.
- Stark, S. B., and M. T. AliNiazee, 1982a: Evaluation of modifications to a basic thermal summation model for predicting the time of emergence of the adult western cherry fruit fly, *Rhagoletis indifferens* Curran (Dipt.,

- Tephritidae). *Sonderdruck aus Bd. 94*, H4, S. 401-407.
- Stark, S. B., and M. T. AliNiazee, 1982b. Model of Post-diapause development in the Western Cherry Fruit Fly. *Environmental Entomology* **11**, 471-474.
- van Kirk, J. R., and M. T. AliNiazee, 1981: Determining low-temperature threshold for pupal development of the western cherry fruit fly for use in phenology models. *Environmental Entomology* **10**, 968-971.