

한국형 사과 병해충종합관리(IPM) 체계 수립을 위한 기초연구의 전개: 이순원 박사의 연구 사례

안정준* · 오현석 · 최경산 · 최경희¹ · 도윤수¹ · 이선영² · 이동혁³

국립원예특작과학원 온난화대응농업연구소, ¹농촌진흥청 연구정책국, ²농촌진흥청 국립원예특작과학원 원예특작환경과, ³농촌진흥청 국립원예특작과학원 사과연구소

Development of Basic Research for Establishing the Apple IPM System in Korea: Dr. Lee Soon-Won's Research Case

Jeong Joon Ahn*, Hyeonseok Oh, Kyung San Choi, Kyung-Hee Choi¹, Yun-Su Do¹, Sun-Young Lee² and Dong-Hyuk Lee³

Research Institute of Climate Change and Agriculture, National Institute of Horticultural and Herbal Science, RDA, Jeju 63240, Korea

¹Research Policy Bureau, RDA, Jeonju 54875, Korea

²Horticultural and Herbal Crop Environment Division, National Institute of Horticultural and Herbal Science, RDA, Wanju 55365, Korea

³Apple Research Institute, National Institute of Horticultural and Herbal Science, RDA, Gunwi 39000, Korea

ABSTRACT: The concept of integrated pest management (IPM) first developed in the 1950s, and the concept of economic control via pest management was established in the 1960s. Research on IPM began in the United States and Europe, and IPM studies in Korea started with citrus insects and paddy field pests following the distribution of high-yield varieties of rice. Apple IPM in Korea began with research on pest control using chemical pesticides and pesticides resistant to insect pests, studies on the ecology of insect pests and their natural enemies, and the exploitation of sex pheromones on insect pests. Since the 1990s, IPM research and field projects have been carried out simultaneously for farming households. In the 2000s, the development of pest monitoring and forecasting models centered on mating disturbances, database programs for pests, and networks for sharing information. IPM technology has expanded via the development of unmanned forecasting systems and automation technologies in the 2010s.

Key words: Integrated pest management (IPM), Apple, Economic control, Transfer technology and outreaches

조 록: 1950년대에 종합적 유해생물관리(IPM)의 개념이 발달하기 시작하여 1960년대에는 경제학적 개념이 해충방제에 포함되기 시작하였다. 1970년대부터 미국과 유럽을 중심으로 종합방제와 관련된 연구가 진행되었다. 우리나라 병해충 종합방제에 관한 연구는 1970년대 감귤해충에 대한 종합방제연구와 통일계 품종의 보급에 따른 수도해충종합방제연구에서 시작되었다. 우리나라 사과 병해충종합관리 연구는 1980년대 화학 농약을 이용한 방제 및 약제 저항성 연구, 해충 및 천적생태에 대한 연구, 성페로몬에 대한 연구를 시작으로 진행되었다. 1990년대부터는 농가보급을 위한 IPM 연구사업과 현장실증사업이 병행되었다. 2000년대에는 교묘교란제를 중심으로 한 해충예찰과 발생모형 개발, 해충에 대한 DB 프로그램 및 정보공유를 위한 네트워크가 구축되었다. 2010년대는 무인예찰 및 자동화기술 개발을 통해 IPM 기술이 확장되고 있다.

검색어: 종합적 유해생물관리, 사과, 경제적 방제, 지도사업

본 종설은 1979년 9월부터 2008년 4월까지 농촌진흥청에 근무하시면서 우리나라 사과병해충종합관리 발전에 기여하셨던 이순원박사의 연구에 대하여 기술하려고 한다. 대부분의

자료는 농업과학도서관(Agricultural Science Library website, N.D.) 인터넷 서비스를 통하여 얻은 연차보고서(82건), 학회에 등재된 논문(16건), 농업논문집(7), 저술(25건) 등을 통하여 얻었다. 독자들의 이해를 돕기 위하여 일부 결과는 원본에 나와 있는 도표와 그림의 자료를 그대로 인용하였다. 박사님이 이루신 많은 업적들에 대하여 원래의 의미를 왜곡하지 않도록 노력하였다.

*Corresponding author: j2ahn33@korea.kr

Received January 30 2021; Revised February 16 2021

Accepted February 19 2021

IPM 개념 및 국내의 발달과정

농업현장에 발생하는 병해충을 방제하기 위해 광범위한 효능을 가지고 있는 화학농약을 1940년대부터 사용하기 시작하였는데 이러한 방제방법들은 저항성 해충의 출현, 환경오염, 잔류농약에 의한 건강문제, 유익한 곤충의 정성적, 정량적 감소, 이차해충의 발현 등 다양한 문제를 야기시켜 왔었다(Luck, et al., 1977; Blommers, 1994; Aktar et al., 2009). 농업현장에 이용되는 농약사용에 대한 부작용은 환경문제뿐만 아니라 공중보건, 안전한 먹거리 등 사회경제적 문제와 연관되어왔다. 이러한 문제를 해결하기 위한 일환으로 국제적으로는 “종합적 유해생물 관리”라는 개념이 1950년대 후반에 형성되기 시작하였다. 1958년 캐나다 몬트리올에서 개최된 제 10회 세계곤충학회에서 미국과 네덜란드 두 연구그룹에 의해 종합적 방제의 개념이 소개되었다(Pickett et al., 1958). 미국 캘리포니아 Riverside와 Berkeley 연구센터에서 근무하던 곤충학자들에 의해서 제시된 “종합적 방제(integrated control)”는 전 세계적으로 이견 없이 잘 받아들여져 왔다(Damos et al., 2015). Stern et al. (1959)은 생물학적 방제와 다른 방제 방법을 효율적으로 상호보완할 것을 제시하였는데 해충개체군의 안정적 밀도수준의 개념을 이용하여 해충의 경제적피해허용수준(Economic threshold, ET), 경제적가해수준(Economic injury level, EIL) 등의 개념을 제안하여 해충방제 시스템에 경제학적 체계를 소개하였다. 유럽에서는 1959년 종합적인 과수생산(Integrated Fruit Production IFP)의 포괄적인 개념의 하나로서 IOBC (International Organization of Biological Control)내에 “과수원 종합방제팀”(integrated control in orchard)을 구성하여 곤충학자들이 생물학적 방제를 발전시키기 위한 연구를 진행하였다. van den Bosch and Stern (1962)은 생물학적, 재배적, 화학적 방법을 포함하는 사용가능한 모든 인위적 행위를 포괄할 수 있는 IPM의 개념적 틀을 확장하였다. 1965년 FAO (The Food and Agriculture Organization)가 주관한 심포지엄에서 IPM에 대한 개념이 보다 명확하게 정의되었다. Kogan (1998)은 IPM에서 고려해야하는 세 가지 생태학적 계층단계(hierarchical ecological scale)와 5 가지 기본속성(농업규모, 사회경제적 수준, 생태적 수준, IPM의 중점사항, IPM 전략)들을 제안하였다. 1 단계는 단일 종 혹은 종으로 구성된 개체군 수준에서 종합적 관리를 실행하는 단계로서 IPM 전략은 해충모니터링, 해충의 경제적 피해허용수준, 예방적 관리전략, 해충가해에 대한 기주식물의 내성(tolerance), 진화적인 관점, 관리전략들의 사용법에 대한 숙지를 강조하였다. 2 단계는 군집수준에서 다양한 유해생물들(해충, 식물병원체, 잡초)의 영향과 이들을 관리하는 방법들을 통합하는 단계

로서 IPM 전략은 서식지관리, 기주식물과 유해생물들의 상호작용에 관한 다양한 모델 연구 등이 있다. 3 단계는 농업생태계 혹은 지역단위 생산시스템에서 다양한 유해생물들의 영향과 이들을 관리하는 방법들을 통합하는 단계로서 생산시스템내에서 기주식물의 스트레스와 유해생물관리를 이해하고 생태계와 경관수준에서 IPM 전략을 수행할 것을 제안하였다. Peterson et al. (2018)은 Kogan이 제시한 체계적인 IPM 전략을 보다 확장하기 위해 기주식물과 유해생물의 상호작용에 관한 진화적인 관점, 기주식물의 유해생물에 대한 유전적 내성, 관리전략만을 강조하지 않으면서 보다 효율적으로 관리하는 방법들의 종합 등을 제안하였다. Dara (2019)는 최근 농업기술의 발달, 정보통신(information technology, IT)기술로 인한 의사소통도구의 발달, 소비자 트렌드 변화, 국제적인 무역과 인구이동, 지속가능한 농업시스템에 대한 사회적 인식증가, 기후변화 등으로 인해서 기존의 생태적 관점을 강조하는 IPM의 변화가 필요함을 제안하였다. 새로운 IPM 패러다임에는 여러 가지 요소들이 포함되었는데 세 가지 측면에서 - 관리(management), 경영(business), 지속성(sustainability) - 확장된 요소가 필요함을 시사하였다. 관리적 측면은 유해생물관리, 지식과 정보, 계획과 조직, 의사소통, 연구와 지도사업 등 5가지 요소로 구성되어진다. 유해생물관리는 기주식물저항성, 재배적 방제, 생물학적 방제, 행동적 방제, 물리적 방제, 미생물적 방제, 화학적 방제 등이 있다. 지식과 정보에는 유해생물에 관한 것, 이용 가능한 방제방법들의 선택에 관한 것, 기술과 도구 등이 있다. 계획과 조직에는 유해생물 모니터링, 정보관리, 개선조치들(corrective actions) 등이 있다. 의사소통에는 새로운 지식정보의 지속적인 습득(staying informed), 생산자간 의사소통, 생산자-소비자 의사소통, 생산자-연구자-소비자 간 의사소통 등이 있다. Dara는 IPM에 관한 새로운 연구사업을 개발하고 이러한 결과를 현장에 적용하기 위한 지도사업이 지속적인 연계를 가지고 발전되어야 함을 강조하였다. 국내에서 IPM의 기본개념과 발달과정에 대하여 현재선 교수님(Hyun, 2005)에 의해 논의된 바가 있다.

우리나라에서는 1973 ~ 1978년 감귤의 해충 및 천적을 조사하고 종합방제 계획의 발전 및 해충 발생 예찰사업의 기초를 확립하기 위해 “감귤해충의 종합방제에 관한 시험”이 시작되었다(Bae et al., 1973; Moon et al., 1977; Kim et al., 1979) (Figs. 1 and 2). 1978년에는 한국식물보호학회 특별강연 “식물보호의 당면과제와 전망: 해충, 작물병”을 시작으로, 1979년 “종합방제를 위한 노린재류의 천적”, 1980년 한국식물보호학회 심포지엄 “종합적 방제의 현황과 대책”등을 개최하여 IPM에 대한 인식의 저변확대에 이바지하였다(Boo, 2012).

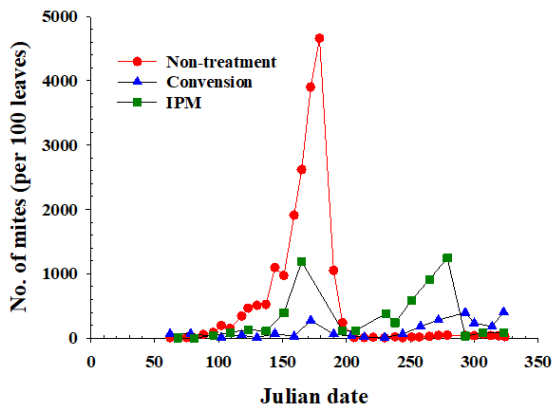


Fig. 1. Comparison of the density of *Panonychus citri* among different pesticide treatments in citrus orchards, 1973, Jeju. Non-treatment: spraying only fungicides, Conventional: spraying insecticides three times and acaricides four times, IPM: spraying acaricides two times (modified from the table in Bae et al., 1973).

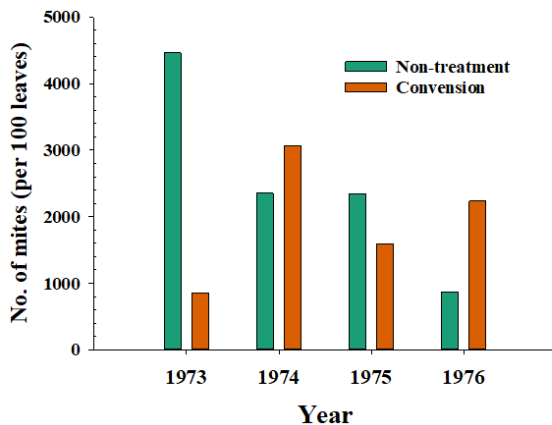


Fig. 2. Comparison of the density of *Panonychus citri* between two pesticide treatments from 1973 to 1976, Jeju. Non-treatment: spraying only fungicides, Conventional: spraying insecticides more than three times and acaricides four times (modified from table 1 in experiment 4, Moon et al., 1977).

우리나라 사과 IPM 체계 수립을 위한 기초 연구 사례: 이순원 박사님의 연구 사례

이차해충의 약제저항성 및 방제 체계 연구

응애류

응애류는 세계 2차 대전 이전까지 크게 문제가 되지 않았던 해충이었는데 심식충류와 잎말이나방류의 방제를 위해 DDT, BHC 및 새로 개발된 유기합성 농약을 사용하게 되면서 응애류를 포식하는 천적들의 감소와 살충제들에 의한 응애류의 생식력 증대로 주요 해충이 되기 시작하였다(McMurtry et al., 1970).

우리나라에서는 1952년부터 경북 경산지역에서 문제가 되었다는 보고가 있었고 (Lee et al., 1985), Lee et al. (1962)은 1961년 전국 11개소를 조사하여 *Metatetranychus* (= *Panonychus*) *ulmi* 사과응애, *Tetranychus telarius* (= *Tetranychus urticae*) 점박이응애, *Tetranychus viennensis* (= *Amphitetranynchus viennensis*) 벗나무응애, *Bryobia praetiosa* 크로바응애가 과수재배지역에 분포함을 보고하였다. Lee (1965)는 1964년부터 1965년에 걸쳐 전국 58개소의 과수지대에서 39종의 기주식물을 대상으로 식물기생성응애를 조사하였는데 사과응애, 점박이응애, 벗나무응애, *Hemitarsonemus* (= *Polyphagotarsonemus*) *latus*, 등이 대부분의 과수재배지역에 분포함을 보고하였다. 응애류에 대한 약제사용이 계속됨에 따라 저항성이 문제화되었고 이러한 저항성문제를 해결하기 위한 효과적인 방안으로 종합방제에 관한 연구가 필요하게 되었다.

1979년 “과수 응애류의 약제 저항성시험”을 통해 사과응애의 살비제에 대한 저항성 획득정도가 지역별로 조사되었다. 1969년도의 수준에 비하여 최고 362.8배(수원계통), 최저 26.3배(충주계통)로서 수원에서 조사된 계통이 높은 저항성을 나타내고 있었다(Fig. 3). 아카루, 오마이트 등은 지역간의 차가 크지 않았으나 씨트라존과 프리트란은 지역에 따라 상당한 저항성의 차이를 보여주었다(Fig. 4)(Ryu et al., 1980).

1978년부터 1980년까지 관행방제에서 살충제 방제횟수를 절감하여 해충과 천적의 발생소장에 변화를 추적하여 방제생략 한계를 구명하고자 하였다(Ryu et al., 1981). 무방제구에서 점박이응애 밀도변화는 7월까지 약제처리구보다 높았으나 8월 이후에는 약제처리구보다 낮게 유지됨을 알 수 있었다(Fig. 5). 조사된 천적으로는 기생천적류인 쯤벌류와 포식성인 거미류, 반날개류, 무당벌레류, 풀잠자리 등이 있었는데 이들의 밀도변동은 무방제구에서 매년 증가하는 경향이였으나 약제살포횟수가 많을수록 밀도가 급격히 저하하는 경향을 보였다(Fig. 6). 이 연구를 통해 “약제살포횟수에 따른 해충의 발생과 천적의 밀도변동을 추적하기 위해서는 한 해충을 대상으로 조사하여 타해충의 방제를 위한 약제의 영향을 받지 않는 조건에서 해충별로 시험연구하는 것이 바람직할 것”이라는 제안을 하였다. 1983년부터 1985년까지 점박이응애의 종합방제법 수립을 위하여 발생소장 및 밀도변동 요인을 구명하였다(Lee et al., 1986). 점박이응애는 성충으로 지면낙엽과 사과나무 조피 틈에서 월동하는 것을 밝혔으며 조피 월동충은 65 ~ 98%가 겨울철 저온과 건조 등으로 사망하였다(Lee et al., 1994). 월동 점박이응애는 3월에 대부분 조피에서 지면으로 이동하여 지면 잡초에서 증식하나 일부는 사과잎으로 직접 이동하였다. 사과응애는 최초 9월 중순부터 월동 알을 산란하였으며 11월 중순까지도 월동 알을 산란하였

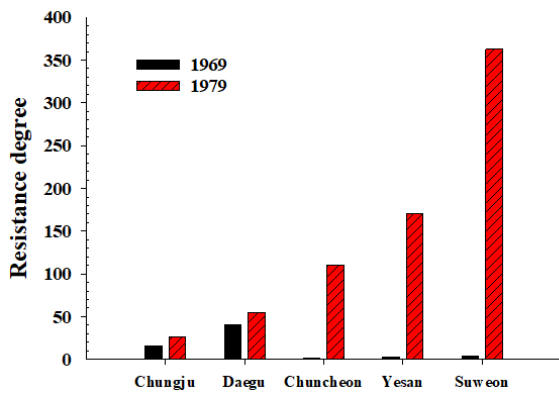


Fig. 3. Comparison of the degree of acaricide (Kelsen) resistance to *Panonychus ulmi* among different locations between 1969 and 1979. The degree of resistance was tested using the slide dipping method (Ryu et al., 1980).

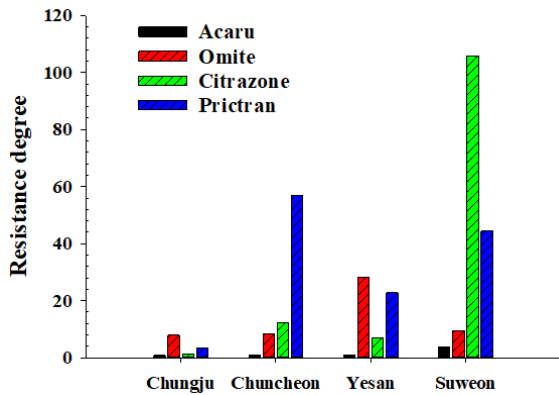


Fig. 4. Comparison of the degree of acaricide resistance to *Panonychus ulmi* among four different locations. The degree of resistance was tested using the slide dipping method (Ryu et al., 1980).

다. 월동을 위한 알은 수원지역에서 4월 중순부터 부화하기 시작하였다(Lee et al., 1989). 점박이응애는 5월~10월에, 사과응애는 7월~10월에 발생하였는데 점박이응애는 살비제 살포구에서 조사된 개체수가 무살포구보다 많았었다(Fig. 7). 사과나무에서 점박이응애가 사과응애보다 우점하였는데 이러한 결과를 바탕으로 1983년~1984년에 걸쳐서 전국 6개지역 15개 사과원(Lee et al., 1985), 1992년~2011년에 걸쳐 8개 도시 포함 남부지역에 위치한 사과주산지에서 발생하는 응애류의 발생소장을 조사하였다(Fig. 8)(Choi et al., 2014). 점박이응애는 연중 사과원에 분포하며 1999년까지는 우점응애였지만 2000년도부터는 사과응애로 우점종이 바뀌기 시작했다. 사과원에 농약 살포회수가 줄어들면서 사과응애가 다발생하는 사과원이 많아지고 점박이응애는 점차 줄어드는 경향을 보였다. 특히 4월~5월사이 사과응애의 밀도가 높았었다. 응애류 발생소장 조사는

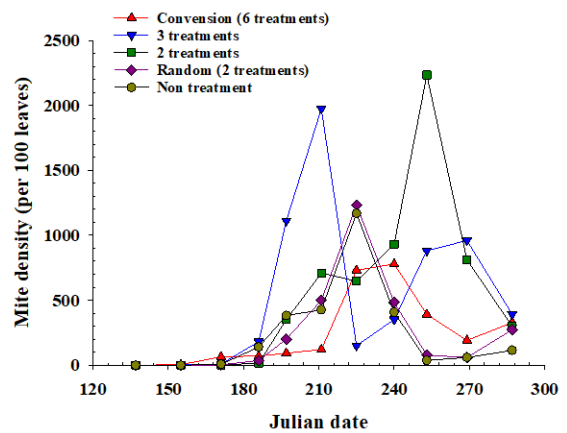


Fig. 5. Comparison of the density of *Tetranychus urticae* among different pesticide treatments in apple orchards, Suwon. Conventional: spraying a total of 19 times - acaricide six times and insecticide 13 times for moths and aphids, Three treatments: spraying a total of 12 times - acaricide three times and insecticide nine times, Two treatments: spraying a total of nine times - acaricide two times and insecticide seven times, Random (two treatments): spraying a total of six times - acaricide two times and insecticide four times, Non-treatment: no pesticides sprayed (Ryu et al., 1981).

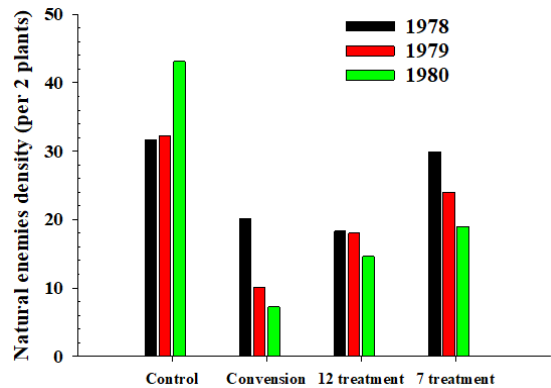


Fig. 6. Comparison of the density of natural enemies to mites among different pesticide treatments in apple orchards from 1978 to 1980, Suwon. Control: no pesticides sprayed, Conventional: spraying a total of 19 times - spraying acaricide six times and insecticide 13 times for moths and aphids, 12 treatments: spraying acaricide three times and insecticide nine times, Seven treatments: spraying acaricide two times and insecticides five times (Ryu et al., 1981).

현재까지 사과연구소를 중심으로 지속되고 있다.

점박이응애 방제밀도수준을 결정하기 위해 점박이응애 밀도에 따른 엽록소함량의 변화와 사과나무에 대한 피해정도를 분석하여 점박이응애 성충이 엽당 5마리일 때 약제를 살포할 것을 권장하였다(Yiem et al., 1993). 점박이응애 방제시 9월 하순 이후는 방제효과가 낮으므로 9월 상순 이전까지만 농약을 살포해야함을 구명하였다. 사과응애는 월동알에서 부화하는

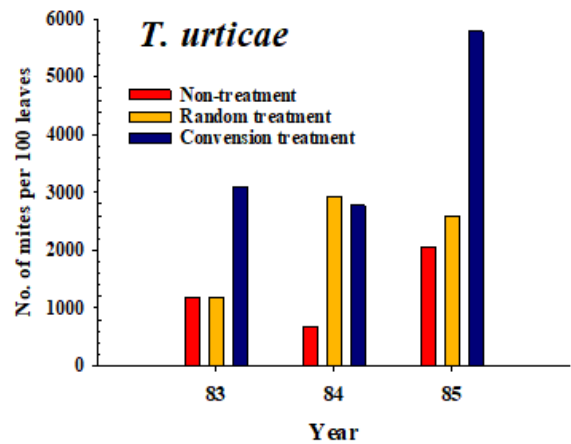
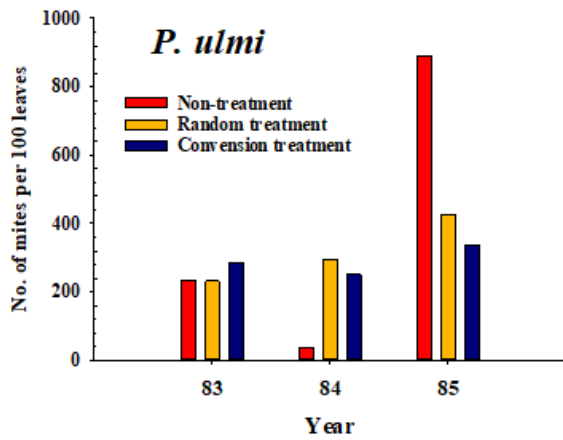


Fig. 7. Population densities of *Panonychus ulmi* and *Tetranychus urticae* under different pesticide treatments from 1983 to 1985. Non-treatment: spraying only fungicides eight times, Random treatment: spraying fungicides eight times, insecticides two times, and acaricides four times, Conventional treatment: spraying fungicides eight times, insecticides eight times, and acaricides five times (Lee et al., 1986).

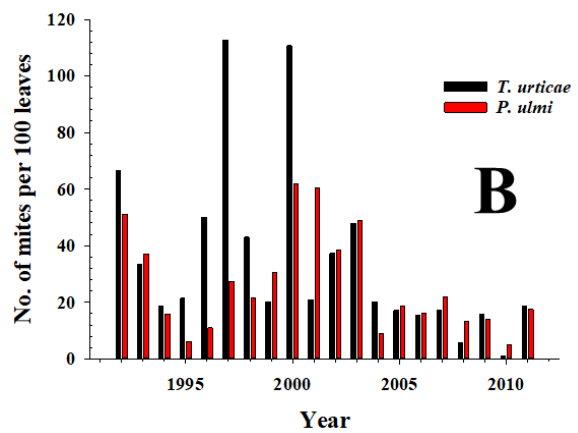
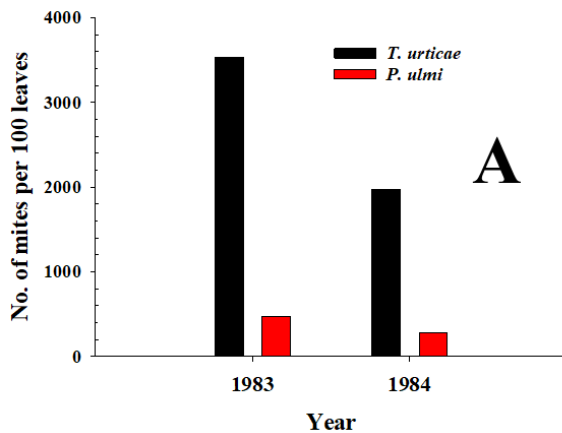


Fig. 8. A: Population densities of *Tetranychus urticae* and *Panonychus ulmi* in 15 commercial apple orchards from 1983 to 1984 (Lee et al., 1985), B: More than 17 commercial apple orchards from 1992 to 2011 (Choi et al., 2014).

개화 직전 또는 낙화 후가 방제 적기임을 구명하였다.

진딧물류

1982년 “주요 과수 채소류에 대한 진딧물의 우점종 조사”를 통해 사과에 피해를 주는 주요 진딧물은 사과혹진딧물 *Mysus malisuctus*, 조팝나무진딧물 *Aphis spiraeicola*, 복숭아혹진딧물 *Myzus persicae*이며 사과혹진딧물은 4~7월에 조팝나무진딧물은 8~10월에 우점하는 것을 확인하였다(Kim and Lee, 1983). 무처리구는 살균제 8회, 살충제 살비제 0회, 임의처리구는 살균제 10회 살충제 3회 살비제 2회, 관행처리구는 살균제 10회, 살충제 9회, 살비제 4회를 살포하는 시험에서 사과혹진딧물은 무처리시 피해가 극심하였으나 발생초기 약제 방제로

밀도를 낮출 수 있었다. 조팝나무진딧물은 무처리에 비해 임의와 관행처리구에서 개체수가 더 많이 발생하였다(Fig. 9). 3년 생 유목의 경우는 조팝나무진딧물이 가해하는 기간이 길어 2회 이상 약제방제하는 것이 필요하나 신초신장이 안정된 결실수의 경우는 발생최성기 이전 즉 5월 하순 ~ 6월 상순 1회 방제로 신초신장과 그늘음증상, 과실의 품질저하 등을 방제할 수 있다고 제시하였다(Ryu et al., 1997).

응애류를 포함한 사과해충의 생물적 방제 연구

1980년부터 1982년에는 과수해충을 방제하기 위해 농약만을 사용함으로써 인한 부작용을 줄이기 위해 유용 천적을 조사하여 생물적 방제법 확립의 기초자료를 제공하고 나아가 기타 여

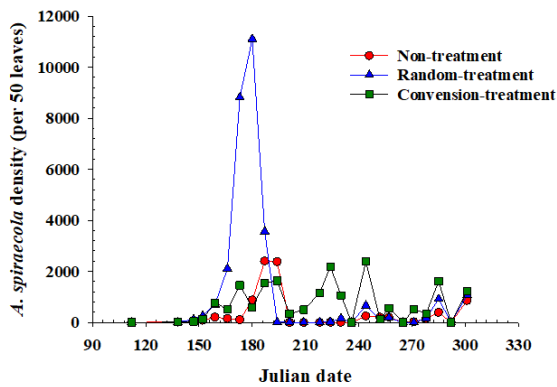


Fig. 9. Population fluctuations of *Aphis spiraeicola* under different pesticide treatments in apple orchards. Non-treatment: spraying only fungicides eight times, Random treatment: spraying fungicides eight times, insecticides two times, and acaricides four times, Conventional treatment: spraying fungicides eight times, insecticides eight times, and acaricides five times (Kim and Lee, 1983).

러 유효한 방제수단을 병용하여 종합적인 해충관리체계를 확립하고자 하였다(Lee et al., 1982). 사과면충(*Eriosoma lanigera* Hausmann)에 대한 천적으로는 애홍점박이무당벌레(*Chilocorus kuwanae* Silvestre), 무당벌레(*Coccinella axyridis* (Pallas)), 꼬마남생이무당벌레(*Propylaea japonica* Thunberg), 칠성폴잡자리붙이(*Chrysopa septempunctata* Wesmael)를 확인하였고, 조팝나무진딧물의 천적으로는 *Leucopomyia silesiaea* Eggeri, *Epistrophe balteatus*, 코롤라꽃등애(=별늪적꽃등애) (*Metasyrphus corollae* Fabricius), 네줄박이좁꽃등애(*Paragus quadrifasciatus* Meigen)를 확인하였다. 사과혹진딧물에 대한 천적으로는 애홍점박이무당벌레, 무당벌레, 꼬마남생이무당벌레, *Epistrophe balteatus* De Geer, 긴손깍지벌레붙이(*Phenacoccus aceris* (Signoret))의 천적으로는 무당벌레, 쌍점박이무당벌레(*Hyperaspis reppensis* Herbst), 흥테무당벌레(*Rodolia limbatus* (Motschulsky), 검은테애기무당벌레(*Scymnus hoffmanni* Weise)를 확인하였고, 애모무늬잎말이나방(*Adoxophyes orana* F. von Roslerstamm)과 흰불나방(*Hypantria cunea* Drury)의 천적으로는 *Orius sauteri* Poppius를 확인하였다. 점박이응애와 사과응애에 대한 천적으로는 포식성응애인 이리응애류 Phytoseiidae와 마름응애류 Stigmaeidae에서 각 1종씩 발견하였다. 살비제 무살포구와 관행살포구에서 초식성 및 포식성 응애류의 밀도변동을 조사하였다. 점박이응애는 사과나무에서 5월월부터 나타나기 시작해서 6월 중순이후 급격히 증가하여 7월 중하순에 발생최성기를 이룬 후 8월 중순이후에는 나타나지 않았다. Phytoseiidae는 6월 중순부터 나타나서 8월 중순에 발생최성기를 보였고 Stigmaeidae는 8월중순부터 나타나서 10월

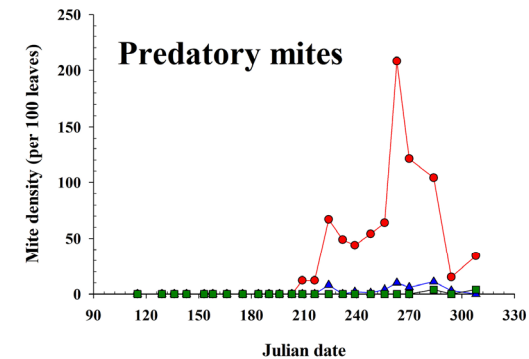
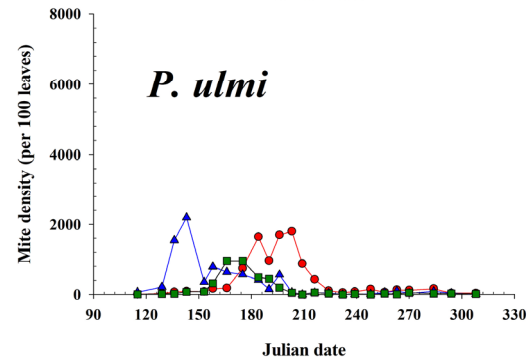
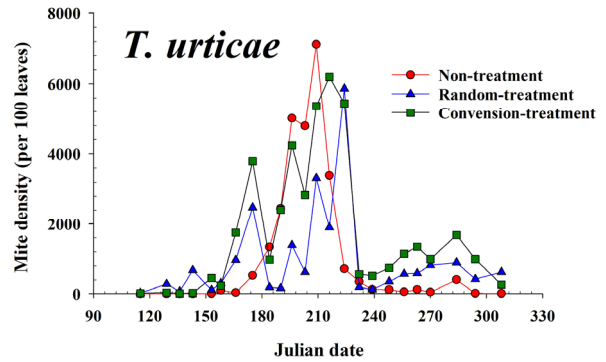


Fig. 10. Population fluctuations of *Tetranychus urticae*, *Panonychus ulmi*, and predatory mites under different pesticide treatments in apple orchards. Non-treatment: spraying only fungicides eight times, Random treatment: spraying fungicides eight times, insecticides two times, and acaricides four times, Conventional treatment: spraying fungicides eight times, insecticides eight times, and acaricides five times (Lee et al., 1986).

중하순에 발생최성기를 보여주었다

초식성응애류의 생물적 방제에 기초자료로 활용코자 포식성응애의 생태 및 활용가능성에 관한 실험이 1985년부터 진행되었다(Lee et al., 1986). 살균제는 10회내외로 정기살포, 살충제는 3~8회 살포, 살비제는 관행살포구(연 4~6회), 임의살포구(암컷 성충 200~300마리/100엽일 때) 및 무살포구로 나누어 점박이응애, 사과응애, 이리응애, 마름응애의 발생소장을 살펴보았다(Fig. 10). 무살포 처리구에서는 관행처리구에 비하여 우점응애인 점박이응애의 총발생량이 적었고 사과응애는

무살포구에서 발생량이 많았다. 점박이응애는 3월 12일 월동 성충 200마리, 긴털이리응애는 4월 1일과 7월 4일에 걸쳐 잡초와 사과나무에 임의로 접종하였을 때 점박이응애는 접종부위에 관계없이 4~5월에는 주로 잡초에서 활동하고 일부가 사과나무에서 증식하였으며 6월에 사과나무로 이동하면서 밀도가 증가하는 경향을 보였다. 긴털이리응애는 4~6월에 접종부위에 관계없이 주로 잡초에서 점박이응애를 포식하다가 6월 이후 점박이응애 밀도가 증식한 사과나무로 이동하는 패턴을 보였다. 이러한 결과는 점박이응애를 방제하기 위한 천적의 활용 전략에 주요한 의사결정요인이 되었다. 만코지 살균제를 제외한 살균제와 대다수 살비제는 긴털이리응애에 낮은 독성을 보인 반면 대부분 살충제는 긴털이리응애에 높은 독성을 보였다. 이러한 결과는 사과원에서 포식성응애 개체수를 보존하기 위해서는 선택적 살충제를 사용하는 것이 바람직함을 알려주는 결과였다. 긴털이리응애(*Amblyseius longispinosus* (= *Neoseiulus womersleyi*))의 발육, 산란, 섭식량이 조사되었는데 알에서 성충까지의 발육기간은 18~30도 범위에서 4~7일로 짧았고 암컷 성충의 일일섭식량은 점박이응애 약충에 대해 13~20마리였었다(Lee et al., 1987).

사과원에서 가장 문제가 되는 점박이응애의 생물적 방제를 위하여 1994년~1996년 “천적을 이용한 점박이응애 종합관리”과제를 수행하였다(MAFRA, 1997). 사과원 인근에 발생하고 있는 이리응애 종 수를 조사하였고 이들 중 우점종인 긴털이리응애와 외국에서 생물적 방제원으로 이용되고 있고 저항성이 유발된 *A. fallacis* (= *N. fallacis*)와 *Typhlodromus occidentalis*의 생태 및 농약별 독성조사를 실시하여 이리응애의 발생에 크게 영향을 주지 않는 농약을 선발하였다. 살균제는 이리응애에 독성이 높지 않았지만 지오판, 비타놀, 베노밀에 약간의 영향을 받았다. 살충제는 높은 독성을 나타냈는데 오메톤, 푸라치오카브, 델타린 등은 3종 이리응애의 암컷성충과 알에 높은 독성을 보였다. 곤충생장조절제는 비교적 낮은 독성을 보였다. 살비제에 대해서는 피리다벤, 테부펜피라드, 페나자퀸 등에는 독성을 보였던 반면 아씨틴, 치아스 등의 영향은 적었는데 살비제에 따라 선택적으로 반응을 보여 점박이응애 관리에 천적을 활용할 경우 살비제를 선택적으로 활용하는 방안을 제시하였다. 포식성응애류의 생활사와 포식량, 온도와 습도조건에 따른 생태적 특성을 비교하여 누대 및 대량사육체계 개선을 이룩하였다. 점박이응애에 대한 이리응애 3종의 밀도억제 가능성을 비교하였는데 사과원에 정착시키고자 할 때는 지면잡초보다 사과나무 수관내에 접종하는 것이 정착율이 높았었고 초생재배가 청경재배보다 접종 후 정착율이 높은 경향을 보였으며 7월보다는 5~6월에 접종하는 것이 사과원에서 점박이응애의 밀도를 억제

하는데 유리했었다. 이후 긴털이리응애의 발육 및 생태에 관한 연구는 후학들에 의해 지속적으로 이루어졌다(Lee and Ahn, 2000; Jung et al., 2003; Kim et al., 2003).

화분매개 증진 연구

사과는 다른 품종의 꽃가루를 받아야 수정이 이루어지는 자가불화합성 과수로서 곤충에 의해 수분이 되는 충매화이다. 수분 수정이 불충분할 경우 종자수가 적어 발육이 부진하거나 조기낙과로 인해 착과율이 저조하고 기형과가 되기 쉽다. 고품질 사과의 다수확을 안정적으로 이루기 위해서는 화분매개곤충의 역할이 중요한데 1996년~1998년까지 “국내 토착 유용 화분매개곤충의 대량사육 및 이용기술 개발에 관한 연구”과제를 수행하였다(RDA, 1999). 연구기간동안 전국 60여개소에 대나무 대롱을 설치하여 우리나라에 자생하고 있는 뿔가위벌류를 채

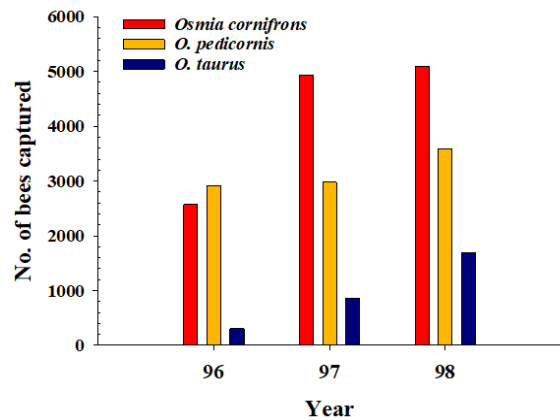


Fig. 11. Number of *Osmia* spp. captured from 1996 to 1998 in 66, 52, and 60 locations, respectively (Lee et al., 2002).

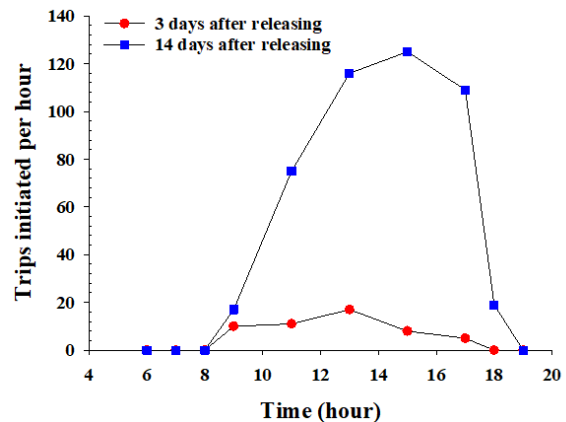


Fig. 12. Number of trips taken per hour for *Osmia cornifrons* in apple orchard, Gunwie (RDA, 1999).

집한 결과 머리빨가위벌(*Osmia cornifrons*), 빨가위벌(*O. pedicornis*), 붉은빨가위벌(*O. taurus*), 외빨가위벌(*O. satoi*, 꼬마민 빨가위벌(*O. jacoti*) 등 5종이 확인되었고 머리빨가위벌과 빨가위벌이 80%이상으로 우점을 보였다(Fig. 11) (Lee et al., 2002). 대나무 대롱에 영소하는 시기는 머리빨가위벌, 빨가위벌, 붉은 빨가위벌 3종 모두 3월 하순부터 4월 중순에 시작하여 5월 하순부터 6월 중순에 종료하였다. 사과원에 방사한 머리빨가위벌의 하루 중 활동은 09시경부터 18시까지 활동을 하였는데 활동 시작시 기온은 12.8도 이상이였다. 방사초기(방사 후 3일)에는 교미를 하거나 대나무대롱을 청소하기 위하여 주로 활동하였고 방사 후 14일은 만개기 이후(5월 5일)로 화분배개 활동이 왕성하여 활동수도 많고 활동종료 시간도 늦었다(Fig. 12). 이러한 결과는 미국에서 비디오를 이용한 머리빨가위벌의 일중활동 행동실험과 유사하였다(McKinney and Park, 2012). 머리빨가위벌 방사시기별 증식율을 보면 개화 2주 전 147%, 개화 1주 전 306%, 개화시 163%로 개화 1주 전에 방사하는 것이 머리빨가위벌 증식에 효과적임을 구명하였다. 머리빨가위벌에 영향을 주는 살충제는 포스팜, 메치온, 나크, 프로싱, 할로스린, 이미다클로프리트 등으로 약제살포 2일 후까지 활동에 큰 지장을 주었고 그로포, 푸라치오카브, 펜프로 등은 약제살포 4일 후까지 영향을 크게 주었다. 이상과 같은 연구를 통해 우리나라에 자생하고 있는 빨가위벌류를 수집하고 머리빨가위벌을 사과원에 방사하여 10만여 마리를 증식하였으며 1997년에는 전국 40개 시군 140개 사과원에 1998년에는 전국 26개시군 70개 사과원에 머리빨가위벌을 보급하여 고품질 사과의 안정적인 생산을 위한 머리빨가위벌 실용화를 이룩하였다.

나방류 해충 성페로몬을 활용한 예찰 및 방제 연구

성페로몬에 관한 연구는 1981년부터 합성 성페로몬을 이용한 해충 예찰법 확립과 교미교란 및 교미저해에 의한 해충방제법을 구명하기 위해 시작되었다(Goh et al., 1982). 복숭아심식나방 성페로몬을 이용한 결과 1981년과 1982년에 복숭아심식나방 성충은 사과포장에서는 7월 상순에 복숭아포장에서는 7월 상순부터 8월 하순까지 복숭아심식나방이 발생하였다(Goh et al., 1983).

1992년 유엔환경개발회의(UNCED, United Nations Conference on Environment and Development)에서 합의한 리오선언에 의해 각 국가는 환경농업 실천을 위하여 농약사용을 50% 이상 절감하는 방안을 제시하고 실천하여야만 되었다. 우리나라는 1993년을 기준으로 2004년까지 농약사용을 30% 절감, 사과에서는 2010년까지 농약 사용량을 50% 절감한다는 목표

달성을 위해 IPM을 적극적으로 수행할 것을 제시하였다(RDA, 2001). IPM을 수행하기 위해서는 정확한 해충들의 발생상황을 조사해야하는데 이를 위해 “성페로몬을 활용한 사과해충들의 발생예찰과 방제체계개발”과제가 1996 ~ 2000년동안 수행되었다(MAFRA, 2001a). 사과 과실을 직접 가해하는 복숭아심식나방(*Carposina sasakii*), 복숭아순나방(*Grapholita molesta*) 사과잎을 가해하는 사과굴나방(*Phyllonorycter ringoniella*), 은무늬굴나방(*Lyonetia prunifoliella*), 잎과 과실표면에 피해를 주는 사과애무늬잎말이나방(*Adoxophyes orana* = (*A. par-orana*)), 사과무늬잎말이나방(*Archippus breviplicatus*)을 대상으로 성페로몬연구와 예찰체계를 정립하기 위한 연구를 수행하였다(Fig. 13). 국내에서 제작된 성페로몬 미끼와 트랩을 이용하여 연구기간동안 6종 해충들에 대한 발생예찰을 사과주산지에서 실시하였으며 예찰에 필요한 기술을 대농민 교육과 훈련을 통하여 실시하였다. 또한 이들 해충의 시기별 발생밀도와 과실의 피해정도 및 농민의 성페로몬 트랩 활용 의견과 방제 실태를 조사하여 현장 중심의 연구에 이바지하였다. 그 결과 성페로몬 트랩 이용 예찰 방제 사과원에서는 관행방제 사과원에 실시하는 농약살포회수보다 살충제 3회, 살비제 1회 감소한 상태에서 방제효율을 높여 살충제 사용을 감소할 수 있음을 입증하였다. 농가소득측면에서 살충제 방제비용 절감과 병해충 방제에 의한 생산수량증가, “저농약품질인증”을 통한 소득증대가 가능하였다. 1997년에는 전국 40개 시군 200개 사과원에 심식충류 3종과 사과굴나방 1종 페로몬을 보급하였고 1998년에는 전국 34개 시군 150개 사과원에 복숭아심식나방 등 5종 페로몬을 농가에 보급하여 농약사용절감 및 환경친화적 해충관리를 현실화하는데 이바지하였다(Choi et al., 2004).

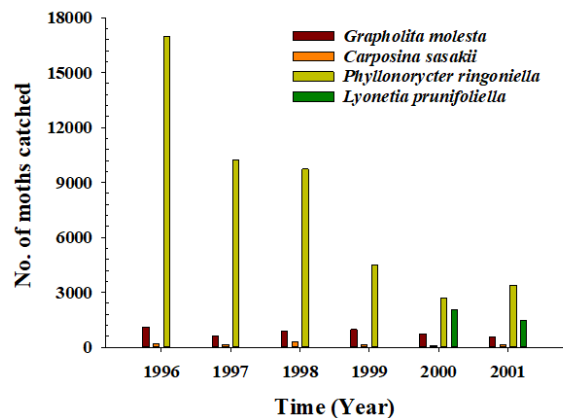


Fig. 13. Number of moths captured in pheromone traps from 1996 to 2001. *Lyonetia prunifoliella* was collected from 2000 to 2001 (MAFRA, 2001a).

친환경 사과재배 시스템 구축 연구

우리나라는 1992년부터 일반농산물에 대해서 품질인증을 실시하였고 1993년부터 유기농산물 표시제도를 도입하여 유기, 무농약재배 농산물에 대한 품질인증을 실시하였으며, 1996년에는 저농약재배농산물에 대한 품질인증을 실시하였다. 1997년 환경농업육성법이 제정되었고, 1998년 유기농산물 가공품에 대한 품질인증이 시행되었으며 2001년부터 친환경농산물에 대한 의무인증제를 시행하였다. 친환경농업(Environment Friendly Agriculture)은 “농업과 환경을 조화시켜 농업의 생산을 지속가능하게 하는 지속농업(Sustainable Agriculture)”으로 농업생산의 경제성 확보, 환경보존 및 농산물의 안정성을 동시에 추구하기 위해 작물별 시비기준량 준수, 농약의 안전사용 기준 준수, 적절한 가축사료 첨가제 사용 등을 활용하는 농업을 말한다. 당시 정부는 친환경농업 5개년 계획(2001년~2005년)을 수립하였고 친환경농산물 생산량을 5%로 확대하는 목표를 세웠다(MAFRA, 2001b). 이에 2000년~2003년동안 “사과원 친환경농업 자재이용 실태 및 병해충 방제효과 조사”를 실시하였다(Song et al., 2004). 경북 등 사과주산지 사과원 농가에서 후지 품종 중심으로 병해충 발생량, 방제력과 친환경농업 자재별 사용실태와 과실특성, 생육상황에 대한 방대한 자료를 수집하였다. 이를 통해 사과원에서 친환경농업을 유지하기 위해서는 기존에 수립한 성페로몬트랩을 이용한 나방류 해충 발생예찰 및 방제시기결정을 따르고, 2004년부터 보급된 살균제 7~8회 살포, 퇴비제조 및 토양시용, 윤작 및 간작의 이용, 토착미생물배양제 제조, 천해녹즙 제조 및 영양주기 재배이론에 근거한 살포, 미생물 농약 및 천적의 이용 등을 실천할 것을 제시하였다. 사과원에서 무농약 이상 친환경 인증농가가 증가하면서 이

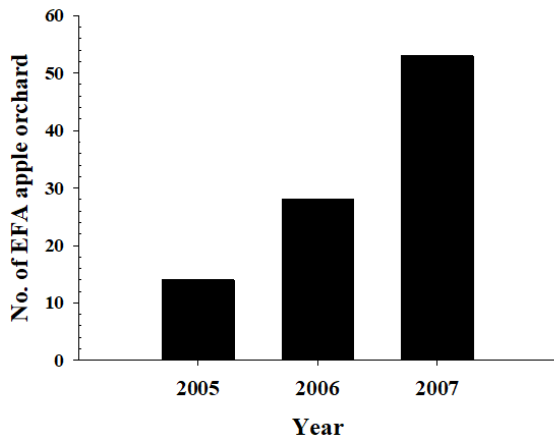


Fig. 14. Number of apple orchards performing Environmentally Friendly Agriculture (EFA) from 2005 to 2007 (Lee, 2008).

들 재배농가에 대한 병해충 발생과 피해를 조사하고 친환경 농자재 이용실태를 파악하기 위해 2005년~2007년 “무농약, 유기농업 사과원의 병해충 관리실태 조사 및 실증시험”을 실시하였다(Lee, 2008). 무농약 유기농업 인증 농가수는 연구기간 동안 매년 증가하였으며(Fig. 14), 탄저병, 점무늬낙엽병 등 5종과 복숭아순나방, 복숭아심식나방 등 11종의 병해충 방제를 위하여 석회보르도액, 유허합제, 기계유유제, 식물성오일, 난황유, 고미교란제 등을 사용하였다. 연 13~21회 친환경농자재를 살포하였으며 심식나방류 상습 피해과수원에서는 봉지씌우기를 이용하여 과실의 피해를 줄일 수 있었다.

사과 IPM 정책을 위한 대농민 지도사업

1992년 9월 하순 이후에 발생하는 점박이응애를 방제하는 경우 방제효과가 낮으므로 9월 상순 이전까지 약제 살포를 하는 것이 점박이응애 방제를 위해 효과적임을 밝혔다(Seo et al., 1993).

1993년. 알 상태로 월동을 하는 사과응애는 월동 알이 부화하는 사과나무 개화 직전 또는 낙화 후가 초기밀도를 억제할 수 있는 방제적기인데 살비란과 비스펜은 효과적으로 밀도억제를 하지 못하였다(Lee et al., 1994).

조팝나무진딧물은 조팝나무와 사과나무에서 월동 알로 겨울을 보내고 성충과 유충이 신초부위와 새로 나온 잎에 군집하여 흡즙하고 이들이 배설한 감로에 의한 과실의 그을음 증상으로 상품성을 저하시키고 유목의 신초신장을 감소시킨다. 발생최성기 이전인 5월 하순~6월 상순에 신초당 100~200마리/가 방제 적기임을 구명하였다(Choi et al., 1994).

사과나무의 주요 낙엽성 병해 중 하나인 갈색무늬병 포자의 비산은 5월 중하순부터 시작되어 8월 중순~9월 상순에 가장 많이 발생하는데, 8월 중순 이후에 가파르게 포자의 비산이 증가하였다. 이 시기 비가 내리기 전에 약제를 수관내부까지 충분히 살포하는 것이 좋으며 피해방지를 위해 지하수위를 낮추는 것이 필요하다(Kim et al., 1994).

1994년. 사과원 주변에 산재하는 각종 야생기주식물과 폐원 관리를 통해 사과수출 시 검역대상이 되는 복숭아심식나방과 복숭아순나방의 사과원 이동을 억제할 수 있었다(Seo et al., 1994).

1995년. 화분매개를 하는 꿀벌의 밀도는 착과율과 밀접한 관계를 가지고 있는데 사과나무 개화기에 꿀벌 개체 밀도와 사과 착과율과의 상관관계를 조사한 결과, 30분당 관찰되는 꿀벌 수가 50마리 이상이 관찰될 때 착과율이 50% 이상이 되는 것을 구명하였다(Kim et al., 1995).

전국 사과재배 농민들에게 사과 병해충 발생예찰과 방제대

책 정보를 신속히 전달하고, 현장애로사항과 성공사례 상호교환, 사과 가격정보 등 사과와 관련된 각종 자료의 데이터베이스화를 통하여 친환경 사과원 병해충종합관리체계를 정착시키고자 컴퓨터를 이용한 동호회를 구성하여 운영하였다. 여기에는 사과재배 농민과 연구 및 지도원, 조합 및 농약시판상이 이용하는 방안을 반영하였다. 하이텔 통신망내 KT-mail의 폐쇄 이용자 집단전산망(CUG)에서 “컴퓨터 사과사랑동호회”라는 명칭으로 기관 및 단체회원 24, 개인회원 22명의 회원으로 최초 활동하기 시작하였다. 이후 2000년에 “컴퓨터 사과사랑동호회” 홈페이지(Apple lovers society website, N.D.)가 개통되어 현재까지 이용되고 있고 2003년에는 “전국 사과종합정보 네트워크” 홈페이지(www.apple.go.kr)가 개통되었지만 현재는 운영되지 않고 있다. 사과사랑동호회 홈페이지는 행복쉼터, 사과품종재배, 사과종합병원, IPM사과, 자료실로 구성되어 있다(Lee et al., 1996).

1996년. 은무늬굴나방은 진딧물방제 약제인 이미다클로프 리드와 푸라치오카브, 사과굴나방 방제약제인 트리무론과 주론으로 동시방제를 할 수 있으며 왕풍뎅이는 8월 상순이 성충 발생 최성기이므로 8월 ~ 9월 상순에 다수진입제를 토양전면에 혼합처리하는 것이 왕풍뎅이 방제에 효과적임을 구명하였다(Lee, et al., 1996).

사과 과실의 문제병해 중 하나인 겹무늬썩음병은 6월 중순부터 8월 하순까지 비가 지속적으로 내리는 시간과 높은 상관관계를 가지고 있으며 평균기온이 22°C 이상에서 이병과율이 높았다. 같은 시기에 평균기온이 22°C 이상이고 비가 지속적으로 10시간 이상 내릴 경우 약제 방제를 하는 것이 필요함을 구명하였다(Lee et al., 1996).

봉지를 씌운 사과과실에서 그을음병, 겹무늬썩음병과 *Alternaria*, *Cephalothecium* 등이 나타나는데, 이러한 증상이 봉지를 씌운 과실 내에서 나타나는 것을 방지하기 위해서는 기상이 좋은 시기에 봉지씌우기를 실시하고, 봉지씌우기 전에 병해 방제를 철저히 하는 것이 바람직하였다(Lee et al., 1996).

3종 심식나방류의 발생예찰을 위하여 일본산 제품은 별도의 3가지 페로몬을 사용해야 하는데 국내합성 복합성페로몬은 3종 심식나방류의 발생예찰을 위해 한 개의 트랩설치로 가능하며 유인력도 일본제품과 비슷하거나 좋으므로, 사과원에서 발생하는 심식나방류들의 예찰과 방제적기를 결정하고 사과원 주변 심식나방류 발생원을 구명하는데 활용할 것을 제시하였다(Lee et al., 1997).

1997년. 사과원에 발생하는 사과 역병은 5월 중~ 하순경 발생하기 시작하여 6월 하순이 최대 발병시기인데 비가 내릴 때 병원균이 전파된 표토가 주간부에 튀어 병원균이 전파될 수 있

으므로 이 시기에 초생 및 피복재배를 함으로서 주간부와 어린 과실에 역병 발생을 줄일 수 있었다(Lee et al., 1998).

겹무늬썩음병 병원균 양은 비가 내리는 지속시간 및 강우량과 관계가 있었다. 사과나무 주간부에 도포처리를 함으로써 겹무늬썩음병 포자에 비산을 줄일 수 있고 겹무늬썩음병 발생을 억제할 수 있음을 밝혔다(Lee et al., 1996).

1998년. 사과나무에서 발생하는 흰날개무늬병은 토양병해로서 수분이 충분한 토양에서 잘 발생하는데 봄, 가을 각 1회 처리와 봄과 가을에 처리하는 비교 실험을 실시한 결과 봄 1회 처리와 봄과 가을에 처리하는 2회 처리간에 차이가 없으므로 봄 1회 처리하는 것이 효과적임을 밝혔다(Lee et al., 1997).

사과원 주변 폐과수원의 사과나무 방지로 인해 관행방제를 실시하고 있는 사과원에 각종 병원균 포자들이 비산하고 나방해충들이 비래하는 사례가 증가하므로 사과 문제병해충 발생원들을 조기 정비하는 것이 중요함을 제시하였다. 사과나무 조피는 가뭄이 심한 해에 많이 발생하므로 하천변 사질토양 사과원은 관수시설을 잘 갖추어야 적정 토양수분을 유지할 수 있고 이로 인해 과도한 조피가 생기지 않는다는 것을 지도사업에 반영하였다(Lee et al., 1997).

1996 ~ 1999년 “사과 병해에 대한 IPM 기술개발연구”(MAFRA, 2000)와 1996 ~ 2003년 “저농약 고효율 사과 병해방제체계 개발 연구”(MAFRA, 2004)을 경북대학교 엄재열 교수님과 수행하면서 병해분야의 IPM기술을 개발하였다. 1998년부터 사과원에 발생하는 병방제를 위하여 연간 12회 방제력을 최소 보급하였고 2004년에는 7~8회 방제력을 농가에 보급하였다. 2004년 이후 전국 사과주산지에서 이러한 방제력을 사과재배에 활용하고 있다.

결 언

우리나라 사과재배면적은 1994년 약 5만 2천 ha를 정점으로 2002년 2만 6천 ha까지 감소하였으나 사과가격의 상승으로 2003년부터 증가하기 시작하여 2017년 3만 3천 ha까지 증가하였다(www.kostat.go.kr) (Fig. 15). 우리나라 사과의 병해충종합관리에 관한 연구는 1980년대 초식성응애류의 농약저항성 연구를 시작으로 점박이응애의 천적 응애류 조사와 이들에 대한 선택성 농약 선발, 사과 해충방제법이 천적에 미치는 영향 파악, 사과해충의 종합적 관리 적용 및 실증시험을 통해 토대를 구축하였다. 1991년 “사과연구소”가 신설되면서 1990년대에는 사과 주요 병해충에 대한 생태연구, 약제방제법 개선, 요방제밀도 결정, 화분매개곤충 조사, 사과원 병해충 방제 실태조사, 대학교와 연계한 병해충 방제전략기술 개발 등 사과 IPM의

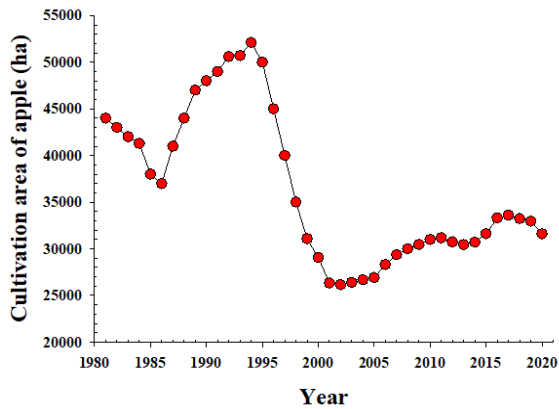


Fig. 15. Fluctuation in the cultivation areas of apple orchards from 1980 to 2020 (Statistica Korea website, N.D.).

현장 적용을 위한 기틀을 마련하였다. 2000년대에는 사과 친환경 경농업에 필요한 기틀을 마련하기 위한 준비와 실천, 기존에 수행하고 있던 성페로몬을 이용한 나방류 6종 및 응애류 조사를 지속적으로 실시하였다. 이러한 연구기반들은 이순원 박사님이 은퇴 이후 “과수 병해충 발생생태 및 종합관리 기술개발” 과제를 수행하는데 밑거름이 되었다(Lee and Choi, 2011). 사과 IPM은 자동화 기술(병해충 예찰, 농약 살포 의사결정, 생산량 예측, 시장변동 및 수출입동향 예측)을 개발하고 네트워크를 활용한 국내외 생산-소비시스템 다양화를 이루며, 기상정보를 이용한 미기상 예측을 통하여 고품질, 안전생산 시스템을 갖춘 사과원 생태계를 이루도록 하는 과제들이 남아있다. 이러한 과제를 해결하기 위해서는 우리나라와 외국에서 개발한 혁신적이고 환경친화적인 기술을 받아들이고, 개발된 기술을 지속적으로 농가에 보급하여 실천하는 연구가 이루어질 수 있도록 해야 할 것이다.

사사

본 원고를 작성하는데 많은 의견을 주신 안동대학교 정철의 교수님께 진심으로 감사를 드립니다. 본 원고를 보완할 수 있도록 도움을 주신 두 분의 심사위원님께 감사를 드립니다. 본 원고는 농촌진흥청 시험연구사업 “(PJ01206001) 노린재류의 시공간 분포연구”의 지원에 의해 수행되었다.

저자 직책 & 역할

안정준: 국립원예특작과학원, 연구사; 논문구성, 자료수집 및 분석, 논문작성 및 수정

오현석: 국립원예특작과학원, 연구사; 자료수집, 논문검토 및 수정

이선영: 국립원예특작과학원, 연구사; 자료수집, 논문검토 및 수정

최경산: 국립원예특작과학원, 연구사; 자료분석 및 검토, 논문 검토 및 수정

최경희: 농촌진흥청, 연구관; 자료수집, 논문검토 및 수정

도운수: 농촌진흥청, 연구사; 자료수집 및 검토, 논문검토 및 수정

이동혁: 국립원예특작과학원, 연구관; 자료수집 및 검토, 논문 검토 및 수정

모든 저자는 원고를 읽고 투고에 동의하였음.

Literature Cited

- Agricultural Science Library website, N.D. Lee Soon-Won. <http://www.lib.rda.go.kr/search/searchBriefList.do?siteCode=home&sType=KWRD&q=이순원&sysDiv=TOT&nDt=&si=TOTAL&loca=rda00001&sMenu=null> (accessed on 8 September, 2020).
- Aktar, M.W., Sengupta, D., Chowdhury, A., 2009. Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. *Interdiscip. Toxicol.* 2, 1-12.
- Apple lovers society website, N.D. <http://www.iloveapple.co.kr> (accessed on 9 September, 2020).
- Bae, D.H., Nam, I.H., Moon, D.Y. 1973. A study on citrus diseases and insect pests. *Annual Report, RDA*, p. 10.
- Blommers, L.H.M., 1994. Integrated pest management in european apple orchards. *Annu. Rev. Entomol.* 39, 213-241.
- Boo, K.S., 2012. History of the Korean society of applied entomology for its first fifty years. *Korean J. Appl. Entomol.* 51, 171-190.
- Choi, K-H., Lee, D-H., Lee, S-W., Yoon, C., Lee, S-Y., Do, Y-S., 2014. Species dominance of *Tetranychus urticae* and *Panonychus ulmi* (Acari: Tetranychidae) in apple orchards in the southern part of Korea. *Korean J. Appl. Entomol.* 53, 415-425.
- Choi, K-H., Lee, S-W., Lee, D-H., Kim, D-A., Suh, S-J., Kwon, Y-J., 2004. Recent occurrence status of tortricidae pests in apple orchards in Geoungbuk province. *Korean J. Appl. Entomol.* 43, 189-194.
- Choi, K-H., Lee, S-W., Seo, S-J., Kim, D-A., 1994. A study on the safety control method of plant diseases and insect pests in the orchards. *Annual Report, RDA*, p. 17.
- Damos, P., Colomar, L-A E., Ioriatti, C., 2015. Integrated fruit production and pest management in Europe: the apple case study and how far we are from the original concept?. *Insects* 6, 626-657.

- Dara, S.K., 2019. The new integrated pest management paradigm for the modern age. *J. Integr. Pest. Manag.* 10, 1-9.
- Goh, H.G., Lee, J.O., Lee, S.W., Kang, S.K., Park, J.M., 1983. Monitoring seasonal occurrence of the peach fruit moth, *Carposina niponensis*, by sex pheromone. *Res. Rept. ORD (S.P.M.U.)* 25, 132-135.
- Goh, H.G., Lee, S.W., Lee, J.O., 1982. A study on the control method of insect pests. Annual Report, RDA, p. 13.
- Hyun, J-S., 2005. Integrated pest control: principles and practices. *Korean J. Appl. Entomol.* 44, 73-90.
- Jung, C., Kim, S., Lee, S.W., Lee, J-H., 2003. Phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) from Korean apple orchards and their ecological notes. *Korean J. Appl. Entomol.* 42, 185-195.
- Kim, D-A., Choi, K-H., Seo, S-J., Lee, S-W., Lee, J-T., 1994. A study on the safety control method of plant diseases and insect pests in the orchards. Annual Report, RDA, p. 17.
- Kim, D-S., Jung, C., Kim, S-Y., Jeon, H-Y., Lee, J-H., 2003. Regulation of spider mite populations by predacious mite complex in an unsprayed apple orchard. *Korean J. Appl. Entomol.* 42, 257-262.
- Kim, H.S., Moon, D.Y., Park, J.S., Lee, S.C., Lippold, P.C., Chang, Y.D., 1979. Studies on integrated control of citrus pests (2) control of ruby scales (*Ceroplastes rubens*) on citrus by introduction of a parasitic natural enemy, *Anicetus beneficus* (Hymenoptera, Encyrtidae). *Korean J. Pl. Prot.* 18, 107-110.
- Kim, I-S., Youn, J-C., Um, K-B., Choi, G-M., Lee, S-W., Kwon, Y-J., 1995. A study on the physiological ecology of major insects. Annual Report, RDA, p. 10.
- Kim, S.H., Lee, S.W. 1983. A study on the physiological ecology of insect pests. Annual Report, RDA, p. 4.
- Kogan, M., 1998. Integrated pest management: historical perspectives and contemporary developments. *Annu. Rev. Entomol.* 43, 243-270.
- Lee, D-H., Choi, K-H., 2011. Development on the occurrence ecology of plant diseases and insect pests and IPM technology in the orchards. Annual Report, RDA, p. 20.
- Lee, D-H., Lee, S-W., Choi, K-H., Kim, S-K., Ryu, U-H., Yiem, M-S., 1996. A study on the ecology and prediction of the occurrence of plant diseases and insect pests in the orchards. Annual Report, RDA, p. 11.
- Lee, D-H., Lee, S-W., Kim, S-K., Um, J-Y., 1996. A study on the safety control methods of plant diseases and insect pests in the orchards. Annual Report, RDA, p. 4.
- Lee, D-H., Yang, S-J., Lee, S-B., Um, J-Y., 1997. A study on the occurrence status and forecasting technology of plant diseases and insect pests in the orchards. Annual Report, RDA, p. 4.
- Lee, D-H., Yang, S-J., Ryu, U-H., Um, J-Y., 1998. A study on the occurrence status and forecasting technology of plant diseases and insect pests in the orchards. Annual Report, RDA, p. 4.
- Lee, J-H., Ahn, J.J., 2000. Temperature effects on development, fecundity, and life table parameters of *Amblyseius womersleyi* (Acari: Phytoseiidae). *Environ. Entomol.* 29, 265-271.
- Lee, K.Y., Ko, K.C., Paik, U.H., 1962. Survey of fruit mites distribution in the selected major fruit growing areas. *Res. Rept. RDA.* 5, 135-138.
- Lee, S.C., 1965. Survey on the kinds and distribution of mites in fruit and their natural enemies in Korea. *Res. Rept. RDA.* 8, 267-276.
- Lee, S.W., Lee, M.H., Choi, K.M., Hyun, J.S., 1985. Survey on occurrence of european red mite (*Panonychus ulmi* (Koch)) and two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae* Koch), and their control status in apple orchard. *Res. Rept. RDA,* 27, 86-91.
- Lee, S.W., Lee, M.H., Choi, K.M., Hyun, J.S., 1987. Development, fecundity, and prey consumption of the predacious phytoseiidae mite, *Amblyseius longispinosus* (Evans), under different temperatures. *Res. Rept. RDA.* 29, 277-281.
- Lee, S-W., 2008. Current status and actual experiment of the control and damage of major disease, insect and mite pests on organic or non-chemical pest control apple orchards. Annual Report, RDA, p. 9.
- Lee, S-W., Baek, J.C., Son, S.M., Hyun, J.S. 1982. A study on the natural enemies of insect pests. Annual Report, RDA, p. 21.
- Lee, S-W., Choi, K-H., Kim, D-A., Seo, S-J., Ryu, U-H., 1994. A study on the safety control method of plant diseases and insect pests in the orchards. Annual Report, RDA, p. 4.
- Lee, S-W., Choi, K-H., Kwon, G-M., Ryu, U-H., 1996. A study on the safety control methods of plant diseases and insect pests in the orchards. Annual Report, RDA, p. 7.
- Lee, S-W., Choi, K-H., Lee, D-H., Kim, D-A., Ryu, H-K., Lee, Y-I., 2002. Distribution and collection of *Osmia* bees in the mountain areas of Korea. *Korea J. Appl. Entomol.* 41, 263-267.
- Lee, S-W., Kim, D-A., Lee, D-H., Choi, K-H., Ryu, U-H., 1997. A precise survey on plant diseases and insect pests in crops. Annual Report, RDA, p. 10.
- Lee, S-W., Lee, M-H., Choi, K-M., Hyun, J-S., 1994. Overwintering ecology of two-spotted spider mites, *Tetranychus urticae* Koch, in apple orchard. *RDA. J. Agri. Sci.* 36, 341-345.
- Lee, S-W., Lee, M-H., Hyun, J-S., 1989. Ecology of the overwintering populations of european red mite, *Panonychus ulmi* (Koch), and effect of the dormant and the pre-bloom sprays in apple orchards. *Res. Rept. RDA.* 31, 38-44.
- Lee, S-W., Park, Y.S., Lee, M.H. 1986. A study on the ecology of insect pests. Annual Report. RDA, p. 7.
- Luck, R.F., van den Bosch, R., Garcia, R., 1977. Chemical insect control: a troubled pest management strategy. *BioSci.* 27, 606-611.
- McKinney, M.I., Park, Y-L. 2012. Nesting activity and behavior of *Osmia cornifrons* (Hymenoptera: Megachilidae) elucidated using videography. *Psyche (Camb Mass)* 2012, 1-7.
- McMurtry, J.A., Huffaker, C.B., van de Vrie, M., 1970. I. Tetranychid enemies: their biological characters and the impact of spray

- practices. *Hilgardia* 29, 331-390.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), 1997. Integrated management of the spider mite in apple orchards with some predatory mites. p. 71.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), 2000. Development of integrated pest management (IPM) against apple diseases. p.140.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), 2001a. Development of strategies for monitoring and control of lepidopteran apple insect pests with their sex pheromones. p. 329.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), 2001b. 5-year plan (2001~2005) for developing the Environment Friendly Agriculture. p. 164.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), 2004. Development of highly efficient spray program for apple with reduced chemical use. p.108.
- Moon, D.Y., Oh, S.D., Kim, H.S., 1977. A study on the integrated pests management of citrus. Annual Report, RDA, p. 11.
- Peterson, R.K.D., Higley, L.G., Pedigo, L.P., 2018. Whatever happened to IPM? *Am. Entomol.*, 64, 146-158.
- Pickett, J.H., Putman, W.L., LeRoux, E.J., 1958. Progress in harmonizing biological and chemical control of orchard pests in eastern Canada. *Proc. 10th Int. Congr. Entomol.* 3, 169-174.
- Rural Development Administration (RDA), 1999. Studies on the mass-rearing and utilization of pollinating insects from Korea. p. 228.
- Rural Development Administration (RDA), 2001. Medium and longterm development plan for agricultural science and technology. Sanglogsa, Suwon, Korea. p. 315.
- Ryu, J.G., Kim, S.W., Lee, S-W., Kim, S.Y., 1981. A study on insect pests control. Annual Report, RDA, p. 7.
- Ryu, J.G., Lee, S-W., Choi, S-Y., 1980. A study on the integrated pest management of horticultural insect pests. Annual Report, RDA, p. 4.
- Ryu, O.H., Choi, K.H., Lee, S.W., Choi, J.S., Lee, Y.I., 1997. Influence of the different density of *Aphis citricola* on the shoot growth, fruit quality, and disease occurrence in 'fuji' apples. *Kor. Soc. Hort. Sci.* 38, 66-70.
- Seo, S-J., Kim, D-A., Choi, K-H., Kim, J-H., Lee, S-W., 1993. A study on the improvement of cultivation environment for high quality fruit production of apple. Annual Report, RDA, p. 6.
- Seo, S-J., Lee, S-W., Choi, K-H., Kim, D-A., Ryu, U-H., 1994. A study on the occurrence status and forecasting technology of plant diseases and insect pests in the orchards. Annual Report, RDA, p. 17.
- Song, Y.I., Jeong, J.K., Lee, S.W., 2004. Survey on the status for using environment friendly agriculture materials and the effectiveness of pests control in apple orchards. Annual Report, RDA, p. 98.
- Statistica Korea website, N.D. http://kostat.go.kr/portal/korea/kor_nw/1/1/index.board?bmode=read&aSeq=383340 (accessed on 14 January., 2021).
- Stern, V.M., Smith, R.F., van den Bosch, R., Hagen, K.S., 1959. The integrated control concept. *Hilgardia* 29, 81-101.
- van den Bosch, R., Stern, V.M., 1962. The integration of chemical and biological control in arthropod pests. *Annu. Rev. Entomol.* 7, 367-387.
- Yiem, M-S., An, J-H., Lee, Y-I., Lee, S-W., 1993. Studies on the determination of economic injury level of two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch, and effective pesticide spray volume in apple orchards. *RDA. J. Agri. Sci.* 35, 359-363.