한국응용곤충학회지
Korean J. Appl. Entomol. 60(3): 287-304 (2021)
DOI: https://doi.org/10.5656/KSAE.2021.08.0.027

ⓒ The Korean Society of Applied Entomology
pISSN 1225-0171, eISSN 2287-545X

우리나라 천적 연구의 현황 및 미래 전략: 1990년부터 2020년까지 한국응용곤충학회지 게재 논문 분석

조점래* · 김정환 · 서미자 · 최선우[1] · 임언택[2] · 이경열[3]
농촌진흥청 국립농업과학원 작물보호과, [1]전라북도농업기술원 농업환경과, [2]안동대학교 생명과학대학 식물의학과, [3]경북대학교 응용생명과학부

Current Status and Future Perspectives of Natural Enemy Research in Korea: Analysis of Research Papers Published in the Korean Journal of Applied Entomology from 1990 to 2020

Jum Rae Cho*, Jeong Hwan Kim, Meeja Seo, Seon U Choi[1], Un Taek Lim[2] and Kyeongyeoll Lee[3]
Applied Entomology Division, Department of Agro-food Safety and Crop Protection, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea
[1]Agricultural Environment Division, Jeollabuk-do Agricultural Research & Extension Services, Iksan 54591, Korea
[2]Department of Plant Medicine, Andong National University, Andong 36729, Korea
[3]Major in Applied Biology, Department of Applied Life Science, College of Agriculture & Life Science, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

ABSTRACT: Since 1995, researches on natural enemies have been conducted extensively in Korea. Research papers on natural enemies published in the Korean Journal of Applied Entomology from 1990 to 2020 were 130, which is 8.4% of all published papers during the same period. In 1990s, most research papers study the searching and biological characteristics of natural enemies, whereas the proportion of research papers related to the field application using the developed natural enemies has been increasing since 2010s. A total of 37 excellent natural enemies have been developed including 24 indigenous and 13 introduced natural enemies. In addition, 28 kinds of booklets and/or manuals were developed for field application of natural enemies. Although successes in research and development have been achieved since that period, more researches on search for and/or introduction of excellent natural enemy suitable for the Korean cultivation environment, mass production technology that can reduce cost, and quality control program in producing and distributing natural enemy remain to be pursued in the future. Furthermore, there is a need to develop the technology that can be used in compatible way with natural enemies and other crop protection agents including synthetic insecticides.

Key words: Natural enemy, Selection, Biological characteristics, Mass-rearing, Application technology

초 록: 우리나라의 천적 연구는 1995년부터 본격적으로 추진되었다. 25여 년이 지난 지금 1990년부터 2020년까지 한국응용곤충학회지에 발표된 논문은 약 130편으로 전체 약 1,550편의 8.4%가 천적에 관한 논문이었다. 이들 논문 중에는 1990년대에는 천적을 탐색하여 생물적 특성 연구에 관한 논문의 비율이 높았고, 2010년대에는 개발된 천적을 농가 현장에 적용하는 논문의 비율이 높았다. 이러한 연구의 결과로 국내 토착 천적이 24종, 도입 천적이 13종이 개발되어 총 37종의 우수 천적이 개발되었다. 또한 개발된 천적이 현장에 활용될 수 있도록 천적 활용 기술서 및 매뉴얼을 약 28종 이상 개발되었다. 이처럼 지금까지 천적 탐색, 생물적 특성 연구, 및 생산·이용 기술 측면에서 많은 성과가 있었으나 앞으로 추진하여야 할 과제도 많이 남아 있다. 우리나라 농작물 재배상황에 맞는 우수 천적을 탐색하거나 도입하는 연구, 비용을 절감할 수 있는 연중 대량생산 기술, 천적의 생산 및 유통 과정에 품질을 유지할 수 있는 기술, 및 천적과 저독성 작물보호제를 조화롭게 사용할 수 있는 기술 개발 등이 필요할 것으로 생각된다.

검색어: 천적, 선발, 생물적 특성, 대량사육, 이용 기술

***Corresponding author:** jrcho82@korea.kr
Received May 20 2021; **Revised** August 4 2021
Accepted August 24 2021

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

농산물 수출 분야에서 병해충 검역 이외에 나라별 사용금지 농약이 새로운 무역장벽으로 작용하고 있다. 이와 함께 2019년 모든 농산물에 대한 농약허용물질목록관리제도(PLS)가 시행됨에 따라 화학농약 허용기준이 엄격하게 적용되어 농약을 대체할 친환경적 농법의 개발이 절실히 요구되고 있다. 또한 건강 및 환경에 대한 관심이 더욱 커 농약의 부작용을 우려하는 소비자가 늘면서 천적을 이용한 생물적 방제 기술이 재조명되고 있으며, 우리나라에서도 근래 유기농, 친환경, 및 GAP (농산물우수관리) 인증 농산물의 판매가 계속 증가하는 경향이다(Yoon and Nam, 2015).

그러나 화학 살충제와 다르게 살아 움직이는 생물로써 천적 활용에 대한 농업인의 지식과 이해가 부족하고, 천적의 해충방제 효과에 대한 불신, 천적을 사용할 때 복잡한 기술 등 여러 가지 어려운 문제가 존재하는 것이 현실이다. 우리나라에서 천적 관련 연구는 정부 기관에서 1996년부터 본격적으로 추진하면서부터 시작되었고(Kim et al., 1999), 2005년부터 2010년까지 천적 지원사업이 추진되면서 꾸준히 성장하였다. 그러나 천적 기업의 부적절한 운영 및 다른 여러 가지 복잡한 이유로 인해 천적 지원사업이 폐지되고, 이후 천적 농업은 빠르게 쇠퇴하여 오늘날에 이르게 되었다. 더욱이 천적을 이용하는 농가의 수가 많지 않아 품목 및 생산량에 있어서 한계가 있어 국내에서 천적을 직접 생산하는 업체도 많지 않고, 생산된 천적의 품질 표준화 문제도 있다. 대부분의 업체가 외국에서 천적을 수입하여 판매하는 방식으로 전환되어 가격이 상대적으로 비싸고 유통 과정에 천적의 품질이 떨어지는 경우가 있을 것으로 본다.

따라서 본 논문에서는 유럽 등 농업 선진국과 비교하여 천적 활용도가 낮고, 천적에 대한 인식 정도도 낮은 우리나라 천적 농업의 현실에서 우리나라 천적 연구 현황을 분석하여 향후 천적 연구 활성화 방안을 모색하고자 하였다. 우리나라 천적 연구 현황을 분석하기 위해 우리나라 곤충학 분야의 대표 학회지인 한국응용곤충학회지에 1990년부터 2020년까지 게재된 전체 논문 중에서 '천적'이란 핵심어와 천적으로 판단되는 종을 다룬 논문을 대상으로 크게 네 분야 - 1) 천적 탐색 연구, 2) 탐색한 천적과 해충의 기능적 반응을 포함한 천적의 생물적 특성 연구, 3) 현장에서 이용할 수 있는 수량을 확보하기 위해 얼마나 많은 양의 천적을 어떻게 생산할 것인지를 연구하는 천적 생산기술 개발 연구, 4) 대량 생산된 천적을 현장에서 적용하는 연구 - 로 나뉘어 정성 및 정량(한 논문이 중복으로 계수되지 않았음)적으로 고찰하였다. 또한 농업 현장에서 천적이 잘 활용되지 않은 원인을 파악하여 천적이 현장에서 활용될 수 있는 방안을 제시하거나 천적 농업 활성화를 위해 필요한 연구 분야도 제시하였다.

천적에 대한 이해

모든 생물은 생태적으로 천적이 존재하고, 해충과 그 천적은 필연적으로 공진화 과정을 거치며, 둘 사이에 평형상태가 깨질 때 해충이 대발생하게 된다. 생물적 방제란 이와 같은 평형을 유지하여 해충의 발생을 억제하는 것이다(van Driesche and Bellows, 1996). 천적으로 포식자(predators), 기생자(parasitoids), 및 곤충병원성 미생물(insect pathogens) 등이 있다. 이러한 천적을 이용하는 방법은 3종류로서 외래해충이 침입하였을 때 도입 이용(introduction), 천적이 없거나 부족할 때 증식 방사(augmentation), 및 국내 생태계 안정을 위한 천적 보호(conservation) 등이 있다(Eilenberg et al., 2001).

도입(introduction) 천적을 활용한 해충방제의 역사는 길다. 침입해충을 방제하기 위해 이용하는 것이 대부분이고, 성공률도 높은 것으로 알려져 있다(van Driesche and Bellows, 1996). 천적을 도입하기 위해서는 방제 대상 해충을 분명하게 선정·평가하여 도입 시 국내에서 생태계에 피해를 주지 않은 범위에서 기생자, 포식자, 및 곤충병원성 미생물 중 어떤 종류를 도입할 것인지를 결정하고 엄격한 검역 절차를 거쳐 도입하여 활용해야 한다(http://edis.ifas.ufl.edu, 2013).

야외 포장에서 천적의 밀도가 낮거나 천적과 해충의 발생이 시기적으로 맞지 않는 경우, 해충의 밀도를 효과적으로 억제하기 위해 실내에서 대량 증식(augmentation)된 천적을 방사하여 해충을 방제할 수 있다. 이런 경우 이용되는 천적은 실내 조건에서 적절하게 사육될 수 있어야 하고, 사육과정에서 양질의 천적을 확보하기 위한 품질관리 시스템, 특정 작물 재배 시기에 수요를 감당하기 위해 대량 증식된 천적을 일정한 기간 저장하여 사용하더라도 천적의 질적 수준 및 활력이 떨어지지 않는 저장 기술, 적정 방사 기술의 확립, 및 이를 감당할 수 있는 정도의 비용이 발생하는 범위에서 천적을 활용할 수 있어야 한다. 이러한 대량증식 이용 방법에는 대량으로 방사한 천적과 함께 그 자손들까지 방제 효과를 나타내 주기를 기대하는 접종 증식 방사(inoculative release)과 충분히 많은 양의 천적을 방사하여 그 방사된 해충 밀도억제 효과를 나타내는 잉여 증식 방사(inundative release)가 있다(Hajek, 2004).

천적의 보호(conservation) 이용은 노지재배 작물과 같이 열린 공간으로 환경조절이 어렵고, 방사한 천적이 방제 구역으로부터 이탈할 수 있으며, 대상 면적이 넓어 많은 양의 천적을 방사하는 것이 현실적으로 어려운 상황에서 천적을 보호 이용에 중점을 두는 방식이다(McCravy, 2008). 토착 해충에 대해 토착 천적이 효과적일 수 있다. 천적을 보호하기 위해 선택성 농약을 사용하거나 천적을 보호하는 방식으로 농약 사용 방법을 개선

하거나 약제 저항성이 있는 천적을 이용하기도 한다.

따라서 천적을 이용한 생물적 방제는 해충 박멸이 목적이 아닌 생태계 내에서 해충과 천적의 평형상태를 유지하여 해충으로 인한 농작물의 손실을 줄이자는 개념으로 이해하여야 한다.

천적 활용 사례

외국의 천적 연구는 BC 300년경 중국에서 잎을 먹은 곤충으로부터 mandarin 오렌지 나무를 보호하기 위해 포식성 개미(*Oncophylla smaradina*) 집을 옮겨준 것으로부터 시작되었다(Sauer, 1993). 1888 ~ 1889년 미국 농무성 곤충과(Division of Entomology, USDA) Riley and Koebele에 의해 캘리포니아 감귤 과수원에 베달리아무당벌레를 도입하여 이세리아깍지벌레를 방제한 것이 대표적인 사례였다(Riley, 1895). 1926년 영국에서 온실가루이좀벌이 토마토, 오이 등 시설원예에 피해를 주는 온실가루이의 천적으로 발견되었고(Speyer, 1927), 1930년대 유럽 여러 나라에 보급되었다(Tonnoir, 1937). 1958년 독일에서 잎응애류 방제를 위해 칠레로부터 칠레이리응애를 도입하여 우수한 효과를 확인하였으며(Rodriguez, 1958), 1967년 Koppert사에서 생산하면서 본격적으로 상업화가 시작되었다. 1973년 카사바깍지벌레가 남미에서 서아프리카로 침입하여 매년 300km씩 번져 나가 카사바의 피해가 심각하였을 때 깡충좀벌의 일종인 *Epidinocarsis lopezi* (De Santis)를 파라과이에서 도입하여 성공한 사례가 있다(Neuenschwander et al., 1986; Herren et al., 1987).

천적 산업은 유럽에서 네덜란드, 벨기에, 및 영국 등 북유럽으로부터 발전하였으며, Koppert, Biobest, 및 Novatis사가 토마토, 피망, 및 오이 등 주요 과채류 해충방제를 위해서 천적을 공급·판매하고 있다. 세계적으로 수십 개의 천적 회사가 있으며, 2019년 전 세계 천적 곤충을 이용한 해충방제의 시장 가치(Global agri natural enemy pest control market value)를 약 15조 원 정도로 추정하였다(Future Market Insights, 2019). 해충을 방제하기 위해 이용되는 천적은 약 100여 종 정도이고, 이 중 70% 이상이 온실의 해충방제로 사용되고 있다.

우리나라 천적 활용의 역사는, 1934년 일제강점기에 사과에 발생하는 사과면충(*Eriosoma lanigerum*)을 방제하고자 사과면충좀벌(*Aphelinus mali*)을 일본에서 도입하여 정착시킨 것에서 출발하였다(Recited from Kim et al., 1979). 그리고 1975년 제주도 감귤 해충인 루비깍지벌레(*Ceroplastes rubens*)를 방제하기 위해 루비붉은깡충좀벌(*Anicetus beneficus*)을 일본에서 도입하여 성공한 바 있다(Kim et al., 1979). 이후 1996년부터 농촌진흥청 농업과학기술원 천적연구실에서 천적의 실용적 연구를 시작하였고, 1997년 칠레이리응애를 이용하여 점박이응애를 방제하고자 시범사업을 추진하게 되면서 많은 농가의 관심을 받는 계기를 만들었다. 1998년 최초로 천적 회사가 설립되는 등 90년대 이후 국내 천적 농업도 활성화되기 시작하였다. 1998년 ㈜ 한국 IPM이 창업되었고, 1999년 동그라미곤충농장㈜, 2001년 ㈜ 세실, 2002년 ㈜ 바이코시스, ㈜ 유용곤충연구소가 창업하였으며, 2006년 네덜란드 천적 회사 Koppert Biological Systems가 우리나라에서 한국 지사를 설립하고 천적을 생산하기 시작하였다. 2007년 ㈜ 동그라미곤충농장이 ㈜ 나비스로 변경되었다. ㈜ 웜텍이란 회사는 2000년경 무당벌레를 생산하는 전문 기업으로 창업하였으나 2002년 폐업되었다. 2021년 현재 Koppert코리아는 네덜란드 Koppert사와 ㈜ 경농(IPM팀)은 벨기에 Biobest사와 협력하여 천적 사업을 하고 있으며, 오상킨섹트㈜는 진디벌 등, ㈜ 에코윈, ㈜ 대동테크, 및 ㈜ SJ인터내셔널은 곤충병원성 선충, ㈜ 곤충산업연구소는 칠레이리응애, ㈜ 바이오콘은 토양포식성응애 등을 생산·보급하고 있다. 경남 거창 천적생태과학관에서는 비영리를 목적으로 천적을 생산하여 딸기 농가에 공급하고 있다.

천적 연구의 현황과 성과

천적 연구의 현황

본 논문에서는 우리나라 한국응용곤충학회지에 출판된 논문을 대상으로 분석하였기에 해외 출판물 또는 출판되지 않았으나 이미 추진된 연구내용에 대해 파악하여 기술하지 못한 점은 아쉬움이 있다. 그러나 국내 천적 연구 현황을 개략적으로 파악하는 데 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

1990년부터 2020년까지 한국응용곤충학회지에 발표된 논문 수는 총 1,550편이며, 천적과 관련된 논문은 130편으로 약 8.4%를 차지하고 있다. 1990 ~ 1999년까지는 천적을 탐색하거나 천적 자체의 생물적 특성을 구명한 논문의 비율이 높았고, 2000년부터 최근까지는 천적의 생물적 특성 구명 및 현장에서 활용하는 기술 연구 등에 관련된 논문의 비율이 높았다(Table 1). 포식성 및 기생성 천적류에 관한 연구는 천적 자체의 생물적 특성 연구 및 이용 기술에 관한 연구의 비중이 높았고, 곤충병원성 미생물의 경우는 탐색 및 동정하는 분야의 논문 비중이 상대적으로 높았으며 현장에 이용하는 기술에 관한 연구는 그 다음으로 높았다. 특히, 곤충병원성 선충의 경우는 현장에서 이용하기 위한 적용 연구가 많이 추진되었다(Table 2). 천적의 종류 및 연구 시기에 따라 중점적으로 연구하는 주제가 조금씩 다르게 나타났다.

Table 1. The number of papers published in Korean Journal of Applied Entomology (KJAE) from 1990 to 2020

Year	Total no. of papers published in KJAE	No. of papers related to natural enemy (%)	R & D fields related to natural enemy	No. of published papers (%)
1990 ~ 1999	434	41(9.4)	Search for natural enemy	12(29.3)
			Biological characteristics	14(34.1)
			Production technology	5(12.2)
			Application technology	10(24.4)
2000 ~ 2009	521	53(10.2)	Search for natural enemy	5(9.4)
			Biological characteristics	18(34.0)
			Production technology	6(11.3)
			Application technology	24(45.3)
2010 ~ 2020	595	36(6.1)	Search for natural enemy	2(5.6)
			Biological characteristics	15(41.7)
			Production technology	5(13.9)
			Application technology	14(38.9)
Total	1,550	130(8.4)		

Table 2. The number of papers published in Korean Journal of Applied Entomology classified by research fields and objects

R & D fields	Number of published papers (%)						Total (%)
	Predators	Parasitoids	Fungi	Bacteria	Viruses	Nematodes	
Search for natural enemy	2(4.5)	6(14.0)	5(50.0)	1(33.3)	5(38.5)	0(0.0)	19(14.6)
Biological characteristics	20(45.5)	18(41.9)	2(20.0)	1(33.3)	3(23.1)	3(17.6)	47(36.2)
Production technology	8(18.2)	4(9.3)	0(0.0)	0(0.0)	1(7.7)	3(17.6)	16(12.3)
Application technology	14(31.8)	15(34.9)	3(30.0)	1(33.3)	4(30.8)	11(64.7)	48((36.9)
Total	44	43	10	3	13	17	130

포식성 천적 연구

1990년부터 2020년까지 포식성 천적의 탐색(2), 생물적 특성(20), 및 생산(8)·이용(14) 기술에 관한 연구에 대해 약 44편의 논문이 발표되었다. Ryu (1997)는 제주도산 이리응애 4종을, Kim and Lee (1998)는 해송에서 솔껍질깍지벌레의 포식성 천적 곤충류로 딱정벌레 10종, 벌목 7종, 노린재목 6종, 및 집게벌레목 1종을 보고하였고, 이중 발생량과 포식량이 많은 홍점박이무당벌레(*Chilocorus rubidus*)와 무당벌레(*Harmonia axyridis*), 왕침개비(*Brachyponera chinensis*), 말벌(*Vespula crabro flavofasciata*), 다리무늬침노린재(*Spedanolestes impressicollis*) 및 껍적침노린재(*Velinos nodipes*) 등을 천적으로 기대되는 종으로 분류하였다. 또한, Kim and Choi (2000)는 유자에서 귤응애 천적으로 *Oligota kashmirica benefica*, 꼬마남생이무당벌레(*Propylea japonica*), 애꽃노린재(*Orius sauteri*), 응애총채벌레(*Scolothrips takahashii*), 및 긴털이리응애(*Amblyseius womersleyi*) 등을 보고하면서 깨알반날개류와 꼬마무당벌레를 우점하는 천적으로 보고하였다.

Kim et al. (1996)은 차응애(*Tetranychus kanzawai*)의 주요 포식성 천적인 긴털이리응애(*A. womersleyi*)의 온도별 발육 특성, 포식량 및 산란수 등을 조사하였고 월동에 관한 정보도 보고하였다. 기주 먹이 곤충에 따른 으뜸애꽃노린재(*O. strigicollis*)의 발육과 산란 특성(Kim et al., 1997), 3종 이리응애[긴털이리응애(*A. womersleyi*), 팔라시스이리응애(*A. fallacis*), 및 서양이리응애(*Typhlodromus occidentalis*)]의 발육 특성 및 포식량 비교(Kwon et al., 1998), 무당벌레(*H. axyridis*)의 포식 행동 및 포식 능력(Seo and Youn, 2000), 진디혹파리(*Aphidoletes aphidimyza*)의 발육 및 포식력(Choi et al., 2001), 감귤원에 발생하는 귤응애에 대한 3종 이리응애(*A. womersleyi*, *A. fallacis* 및 *T. occidentalis*)의 포식량 비교(Kim et al., 2002), *O. kashmirica* (반날개과)의 응애류 포식량과 포식 선호성(Choi and Kim, 2003), 온도와 먹이에 따른 진디혹파리(*A. aphidomyza*)의 발육

기간, 산란력, 부화율, 우화율, 및 포식 능력(Jeong et al., 2003), 국내종 으뜸애꽃노린재(*O. strigicollis*)와 유럽종 미끌애꽃노린재(*O. laevigatus*)의 발육 기간, 산란수, 수명, 및 포식량 등 특성 비교(Kim et al., 2008), 꽃노랑총채벌레, 목화진딧물, 점박이응애에 대한 애꽃노린재(*O. sauteri*)의 포식 반응(Paik et al., 2003; 2010), 참딱부리긴노린재의 발육, 산란, 포식에 미치는 온도의 영향(Kim et al., 2012), 온도가 갈고리뱀잠자리붙이의 생물적 특성에 미치는 영향(Kim et al., 2013), 철모깍지벌레에 대한 애홍점박이무당벌레의 포식 능력(Jin et al., 2015), 꼬마남생이무당벌레의 온도별 성충 수명, 산란수 및 두 종 진딧물에 대한 포식량 비교(Park et al., 2019) 등 다양한 포식성 천적의 생물적 특성에 관한 연구 결과들이 보고되었다.

포식성 천적의 사육은 충분한 먹이를 공급해 주지 않으면 사육밀도를 유지하는 데 어려움이 있다. 따라서 인공사료를 개발하려는 시도가 많이 있었다. Choi et al. (1999, 2000)은 난황, 효모가수분해물, 맥주효모, 비타민혼합물, 및 설탕 등으로 구성된 인공사료로 칠성풀잠자리붙이를 사육한 결과를 보고하였다. 기주 먹이에 따른 포식성 천적의 발육과 포식 능력도 비교하였는데, Kim and Kim (2004)은 목화진딧물과 복숭아혹진딧물을 먹이로 진디혹파리의 발육과 성충 수명을 비교한 연구 결과를 보고하였다. 생산된 천적을 어떻게 저장하느냐에 따라 포식 능력 및 수명도 달라질 수 있다. Kim et al. (2009)은 저온저장이 미끌애꽃노린재 및 칠레이리응애 생물적 특성에 미치는 영향을 조사하였다. 또한, Seo et al. (2019)도 저온저장이 포식성 천적인 참딱부리긴노린재와 갈고리뱀잠자리붙이의 품질에 미치는 영향을 보고한 바 있다. 천적을 현장에서 활용하기 위해서는 대량으로 사육할 수 있는 시스템이 중요하다. Jung et al. (2018)은 이중상자 시스템을 이용하여 뿌리이리응애를 대량 사육하는 기술을 개발하였다. 이중상자 시스템을 이용하여 뿌리이리응애의 밀도를 4주에 3배로 증가시킬 수 있었다고 보고하였다.

대량 생산된 천적을 이용하여 실제 농가 현장에서 해충의 밀도를 억제하는 기술 개발이 중요하다. 차응애의 포식성 천적으로 이리응애류를 많이 활용하는데, Kim and Lee (1996)는 강낭콩에서 긴털이리응애와 차응애의 기능반응을 조사하고 개체군 밀도억제 능력을 조사하였다. 긴털이리응애와 차응애의 비율이 25°C에서 1:32, 20°C에서 1:16까지는 억제 능력이 보이지만 15℃에서는 조사한 어느 비율에서도 억제 능력이 보이지 않았다고 보고하였다. 채소류 진딧물에 대한 칠성풀잠자리붙이의 밀도억제 효과(Lee et al., 2000), 하우스 고추에서 으뜸애꽃노린재를 이용한 총채벌레 방제 효과(Song et al., 2001), 감귤 하우스에서 팔라시스이리응애를 이용한 귤응애의 생물적방제(Kim et al., 2003), 시설재배 꽈리고추, 피망에서 으뜸애꽃노린재와 오이이리응애를 이용한 총채벌레 밀도억제 효과(Kim et al., 2006), 시설 가지에서 칠레이리응애를 이용한 점박이응애 밀도억제 효과(Moon et al., 2006), 고추에서 오이이리응애를 이용한 차먼지응애 생물적방제(Na et al., 2009), 오이에서 지중해이리응애를 이용한 꽃노랑총채벌레 생물적방제(Kim et al., 2009), 수경재배 딸기에서 총채가시응애를 이용한 작은뿌리파리 생물적 방제(Kim et al., 2016), 시설재배 국화에서 자가 생산한 뿌리이리응애를 이용한 총채벌레 생물적 방제(Jung et al., 2019), 시설 딸기에서 'natural enemy in first 기법'을 적용한 점박이응애 방제 효과(Ham et al., 2019), 피망에서 브리지를 이용한 칠레이리응애 확산 증진 연구(Cho et al., 2020) 등 포식성 천적을 활용하여 다양한 재배작물에서 해충을 방제한 사례를 보고하였다.

기생성 천적 연구

1990년부터 2020년까지 기생성 천적의 탐색(6), 생물적 특성(18), 및 생산(4)·이용(15) 기술에 관한 연구로는 약 43편의 논문이 발표되었다. Yeo et al. (1990)은 멸구류의 알 기생봉 흰등신충채벌(*Anagrus incarnatus* Haliday)의 형태적 특성을 관찰한 결과를 보고하면서 Sahad and Hirashima (1984)가 보고한 *A. incarnatus*와 동일한 종인 것을 확인하였다. Lim et al. (2007)은 알락수염노린재 알 기생봉인 *Trissolcus nigripedius*의 지역적 분포를 조사하였으며, 콩밭에서 알락수염노린재의 천적으로 유용할 것으로 보고하였다. 밤나무혹벌의 천적 종류(Kim, 1993) 및 한국산 맵시벌과의 새로운 숙주와 황다리독나방에 기생하는 맵시벌과 4종(Choi et al., 2015)을 보고한 바 있다.

기생성 천적을 탐색한 후 발육 기간, 수명, 산란수, 및 기생율 등 생물적 특성을 조사한 논문이 많이 발표되었는데, Kim (1990)은 흰등멸구에서 약충 기생벌인 *Pseudogonatopus nudas* Perkins의 발육 기간 및 산란수, 흰등멸구 약충의 발육단계별 산란 선호성 등을 조사하여 멸구류 생물적 방제의 기초자료로 활용하고자 하였다. 광 조건이 송충알벌의 산란과 우화에 미치는 영향(Park et al., 1999), 화랑곡나방의 기생성 천적인 보리나방살이고치벌의 발육과 온도와의 관계(Kim et al., 2000), 조명나방 알에 대한 쌀좀알벌(*Trichogramma evanescens*)과 *T. ostrinia*의 기생 특성(Jung et al., 2005), 굴파리좀벌(*Diglyphus isaea*)의 생태적 특성 및 저장 조건(Kim et al., 2007), 하늘소류에 기생하는 개미침벌(*Sclerodermus harmandi*)의 생물적 특성(Hong et al., 2008), 낙엽송잎벌살이뾰족맵시벌의 생물학적 특성(Lee et al., 2009), 목화면충좀벌과 진디면충좀벌의 기주와 온도에 따른 특성(Byeon et al., 2012), 꽃매미알기생봉 *Anastatus orien-*

*talis*의 기생율(Choi et al., 2014), 밤나무혹벌의 기생천적 남색긴꼬리좀벌(*Torymus geranii*)의 생물적 특성(Kim et al., 2005), 및 기주에 따른 목화검정진디벌과 진디벌의 생물적 특성 비교 연구(Ji et al., 2014) 등 천적의 생물적 특성 연구에 관하여 18편의 논문이 발표되었다. 이러한 연구는 천적을 농가 현장에 적용할 때 필요로 하는 천적의 수량을 대량으로 확보하는 기술에 관한 기초 정보 수집과정으로 이해할 수 있다.

사육 기술에 관하여 Li (1992)는 중국에서 polyethylene이나 polypropylene으로 인공 알을 만들어 *Trichogramma* spp., 짚시나방벼룩좀벌(*Anastatus japonicus*), *Telonomus dendrolimusi*, *Dibrachys cavus*, 보리나방살이고치벌(*Habrobracon hebetor*), *Bracon greeni* 등을 성공적으로 사육한 결과를 보고하였다. 알 기생봉인 *Trichogramma* sp. Nabis 101의 저온 발육과 단기 저장 기술을 개발(Kim et al., 2009)하였는데, 10°C에서 5주 동안 생존력, 성비, 수명, 및 기생 능력이 큰 저하 없이 유지된다고 보고하였다. Seo et al. (2018)은 산누에나방과 꽃매미알을 이용한 꽃매미벼룩좀벌(*A. orientalis*)의 대량 사육 기술을 개발하였는데, 본 기주가 아닌 산누에나방의 복부를 절개하여 미성숙 알을 수거하여 꽃매미를 대량으로 사육할 수 있었다. Seo et al. (2019)은 저온저장이 기생성 천적인 콜레마니진디벌과 예쁜가는배고치벌의 기생 및 생존에 미치는 영향을 조사한 결과, 저온 저장기간이 길어질수록 기생벌의 치사율과 우화율이 감소하고 저장 후 성충으로 우화한 개체의 기생율이 급격히 감소하는 경향을 보였다고 보고하였다.

생산된 천적을 이용하여 농업 현장에서 효과를 확인한 연구 결과도 동기간 중에 15편이 발표되었다. 오이 시설재배지에서 천적유지식물 이용 진딧물 방제(Kim and Kim, 2003), 대용량 밀 저장 엘리베이터(직경 8 m, 높이 41 m)에서 보리나방살이고치벌(*Habrobracon hebetor*) 이용 화랑곡나방 방제(Na et al., 2005), 토마토 시설재배지에서 굴파리좀벌(*Diglyphus isaea*) 이용 아메리카잎굴파리 밀도억제 효과(Kim et al., 2007), 가지 시설재배지에서 *Neochrysocharis formosa*를 이용한 아메리카잎굴파리 밀도억제 효과(Moon et al., 2007), 여름 작형 파프리카 시설재배지에서 생물적 방제 기반 종합관리 기술 개발(Choi et al., 2009), 겨울 작형 파프리카 시설재배지에서 천적 이용 해충 밀도억제 효과(Kim et al., 2010), 수박 시설재배지에서 콜레마니진디벌 이용 목화진딧물 방제(Moon et al., 2011), 고추 시설재배지에서 천적 이용 해충방제 효과(Kim et al., 2012), 토마토 반촉성 시설재배지에서 천적을 중심으로 온실가루이와 총채벌레 관리모델(Jeong et al., 2017), push-pull 전략을 이용한 시설 토마토 담배가루이 방제 효과(Lee et al., 2019), 시설 토마토에서 'natural enemy in first 기술'을 이용한 생물적 방제 연구(Ham et al., 2020) 등 실제 농업 현장에서 천적을 이용한 해충방제에 관한 연구 결과들을 보고하고 있었다. 작물도 해충도 다양하여 이에 맞는 천적을 적용하는 것이 어려운 일이지만 농가 현장 상황에 적합한 천적 활용 기술 개발이 시의적절하게 추진되고 있다.

곤충병원성 미생물 천적 연구

곤충병원성 곰팡이 연구

1990년부터 2020년까지 곤충병원성 곰팡이의 동정(5), 생물적 특성(2), 및 이용(3) 기술에 관한 연구는 약 10편의 논문이 발표되었다. Seo et al. (1995)은 삼림 토양에서 사상균으로 감염된 솔잎혹파리를 채집하여 *Beauveria*속 29균주, *Pacilomyces* 속 2균주를 분리하였다. *Beauveria* 속 SFB-168-2는 솔잎혹파리에 대해 82.9%의 병원성을 나타냈다. Lee et al. (1997)은 우리나라 남부지방에서 채집한 꿀벌부채명나방으로부터 *Beauveria* spp.와 *Metahizium* spp.를 분리하였고, Kim et al. (1996)은 잣나무넓적잎벌에 대한 *B. bassiana*의 효과를 조사하였다. Lee et al. (1997)은 오리나무잎벌레, 밤나무혹나방, 회양목명나방, 등얼룩풍뎅이, 배추좀나방, 및 거세미나방에 대해 *B. bassiana* GY1-17의 병원성을 검토하였다. Choi et al. (2016)은 곤충병원성 곰팡이 *Neozygites floridana*가 점박이응애에 감염되어 천적 칠레이리응애 대량증식에 부정적인 영향을 미치는 것을 보고하였다. Choi et al. (2017)은 곤충병원성 곰팡이 *Zoophthora radicans*가 혹명나방, 배추좀나방, 및 복숭아혹진딧물 등을 감염하는 것을 확인하였다. Choo et al. (1996)은 곤충병원성 선충과 곰팡이를 이용한 농가 화장실 파리의 미생물적 방제 연구에서 큰집파리에 대해 *Steinernema glaseri*가 96.7%, *S. carpocapsae*가 90.0%, *Heterorhabditis bacteriophora*가 86.7%의 치사율을 보였다고 보고하면서 파리방제에 곤충병원성 선충과 곰팡이를 이용할 가능성이 있다고 하였다. 한편 Jeong et al. (1993)은 5종의 곤충병원성 곰팡이(*Arthrobotrys arthrobotryoides, A. conoides, A. oligospora*, *Daclylella lobata*, 및 *Fusarium oxysporum*)가 당근뿌리혹선충에 대해 방제 효과가 있다고 보고하였다.

곤충병원성 세균 연구

1990년부터 2020년까지 곤충병원성 세균의 동정(1), 생물적 특성(1), 및 이용(1) 기술에 관한 연구는 3편의 논문이 발표되었다. Kim et al. (2002)은 누에 무름병을 일으키는 병원성 세

균 *Staphylococcus gallinarum*을 분리하여, 분리된 세균을 5령 누에 유충에 5×10^6cfu 농도로 처리하였을 때 무름병 증상이 유발되는 것을 확인하였다. 접종 6일 후부터 치사하기 시작하여 10일 경과 후 처리된 유충을 모두 사망하는 것으로 보고하였다. Seo and Kim (2010)은 곤충병원성 선충의 장내공생세균(*Xenorhabdus* 및 *Photorhabdus*)을 이용하여 배추좀나방을 방제하는 생화학 농약으로 개발하려고 시도하였다. 이 두 세균을 각각 단독으로 처리하면 배추좀나방의 생존력에 뚜렷한 영향을 주지 못하였지만, *Bt* 세균(*Bacillus thuringiensis*)과 혼합하여 처리하였을 때 현저하게 병원성이 증가하였다고 보고하였다(Seo et al., 2012).

곤충병원성 바이러스 연구

1990년부터 2020년까지 곤충병원성 바이러스의 동정(5), 생물적 특성(3), 및 증식(1)·이용(4) 기술에 관한 연구는 약 13편의 논문이 발표되었다. Im et al. (1991)은 담배나방에서 세포질다각체바이러스를 분리 동정하여 병원성을 검정한 결과, 담배나방 세포질다각체바이러스는 7개의 폴리펩타이드로 구성되어 있으며, 5.0×10^6 PIBs/㎖ 농도에서 반수치사기간(LT_{50})은 16.4일이었다고 보고하였다. 담배거세미나방 핵다각체바이러스는 온도 조건에 따라 병원성이 다르게 나타났는데 온도가 높을수록 반수치사농도가 낮아지고, 반수치사시간은 짧아졌다고 보고하였다(Kim et al., 2003). 파밤나방 핵다각체바이러스도 유사한 경향을 보였다(Kim et al., 2004). 담배거세미나방 핵다각체바이러스는 온도, 보관상태, 및 태양광선 유무에 따라 병원성이 달랐다(Im et al., 1990). 파밤나방 핵다각체바이러스의 생화학적 특성(Jin et al., 1991), 배추흰나비 과립바이러스의 생화학적 특성(Ryu et al., 1991), 담배나방 핵다각체바이러스 생화학적 특성(Jin et al., 1995)을 조사하였으며, Choi et al. (1996)은 파밤나방 4령 유충에 1.0×10^6다각체/㎖ 농도로 접종하여 86.7% 살충률과 함께 파밤나방 핵다각체바이러스를 증식하는 기술을 개발하였다. 이러한 증식 기술을 바탕으로 Im et al. (1990)은 담배거세미나방 핵다각체바이러스를 제제화하여 콩 포장에서 담배거세미나방 방제 효과를 시험한 결과 90% 이상의 살충률을 확인하였으며, 유기합성농약보다 7일 늦게 효과를 나타냈었지만 2주 이상 효과가 지속되었다고 보고하였다(Im et al., 1990). 또한 Kim et al. (2001)은 핵다각체바이러스와 NeemAzal-T/S와 혼합 효과도 검토하였는데, 핵다각체바이러스 단독 처리보다 혼합처리 시 방제 효과가 2~3배 이상 증가하였다. 국화 포장에서도 담배거세미나방 핵다각체바이러스의 효과가 인정되었다(Kim et al., 2003).

곤충병원성 선충 연구

1990년부터 2020년까지 곤충병원성 선충의 생물적 특성(3) 및 생산(3)·이용(11) 기술에 관한 연구는 약 17편의 논문이 발표되었다. Choo et al. (1995)은 우리나라 곤충병원성 선충의 종류와 대상 해충에 따라 병원성의 차이가 있다고 하였다. Lee et al. (2005)은 골프장에 문제가 되는 녹색콩풍뎅이 성충을 방제하기 위해 한국산 곤충병원성 선충(*Steinernema carpocapsae*, *S. glaseri*, 및 *Heterorhabditis* sp.)의 병원성을 검토한 결과, *S. carpocapsae*가 97.5%, *S. glaseri*가 80%, 및 *Heterorhabditis* sp.가 90.8%의 치사율을 보여 높은 병원성이 있음을 확인하였다. Kim et al. (2007)은 *S. carpocapsae* GSN 1계통이 우엉뭉뚝날개나방 유충을 100% 치사시켰다고 보고하였다. Han et al. (1999)은 파밤나방과 담배거세미나방에 대한 *S. carpocapsae*의 감염력을 보고하였다. 두 기주 간 또는 발육 시기에 따라 반수치사병원선충수의 차이는 없었으나, 기주 내에 증식된 선충의 수는 기주의 크기에 비례한다고 보고하였다. 온도에 따른 선충의 증식은 온도가 증가함에 따라 기주 내 최대 감염태 선충을 확인하는 소요 기간은 온도가 낮을수록 길어졌다. Choo et al. (2002)도 온도 및 농도가 곤충병원성 선충 *S. carpocapsae* 포천계통의 병원성과 증식에 미치는 영향을 조사하였고, 또한 Han et al. (2010)은 꿀벌부채명나방을 대상으로 *S. arenarium* 농도가 병원성, 발육, 및 증식 등에 미치는 영향을 보고하였다. 다양한 산림해충 방제를 위해 곤충병원성 선충을 활용하는 방법을 연구한 논문이 발표되었는데, 밤 종실해충에 대한 *S. carpocapsae* 및 *H. bacteriophora*의 효과(Choo et al., 2001), 산림해충(오리나무잎벌레, 사철나무알락명나방, 및 회양목명나방)에 대한 *S. carpocapsae* 및 *H. bacteriophora*의 효과(Choo et al., 1991) 등이 있다. 이후 긴수염버섯파리(Kim et al., 2001), 목화바둑명나방(Kim et al., 2001), 잔디밤나방(Kang et al., 2004), 버섯혹파리(Kim et al., 2004), 배추좀나방(Kim et al., 2006), 담배거세미나방(Kim et al., 2008), 이화명나방(Choo et al., 1991), 및 긴수염버섯파리(Choi et al., 2018)에 대한 *S. carpocapsae*, *H. bacteriophora*의 생물적 방제에 관한 연구 결과들이 보고되었다.

천적 활용의 성과

우리나라에서 1999년부터 2020년까지 천적을 탐색·선발한 것은 총 37종으로 국내 토착 천적이 24종, 도입 천적이 13종이다. 상품화 연도는 천적 종류에 따라 다르며, 방제 대상 해충에 따라 포식성 및 기생성 천적으로 개발되어 있다(Table 3).

Table 3. Current status of the natural enemy developed in Korea (1999 ~ 2020)

Scientific name	Function	Target insects	Commercialized year	Origin sources (days introduced)	
Amblyseius womersleyi	pr	mites	1999		domestic
Phytoseiulus persimilis	pr	mites	2003	exotic (24 JAN 2003)	-
Aphidius ervi	pd	aphids	2003		domestic
Aphidoletes aphidimyza	pr	aphids	2003	-	domestic (3 JUN 2003)
Muscidifurax raptor	pd	flies	2003	-	domestic
Steinernema carpocapsae	epn	moths	2003	-	domestic
Heterorhabditis bacteriophora	epn	mushroom flies	2003	-	domestic
Aphidius colemani	pd	aphids	2003	exotic (4 MAR 2003)	-
Encarsia formosa	pd	whiteflies	2003	exotic (4 MAR 2003)	-
Diglyphus isaea	pd	leaf miners	2003	-	domestic (11 APR 2003)
Dacnusa sibirica	pd	leaf miners	2003	exotic (11 APR 2003)	-
Amblyseius cucumeris	pr	thrips	2003	exotic (3 JUN 2003)	-
Trichogramm evanescens	pd	moths	2004	-	domestic
Orius strigicollis	pr	thrips	2004	-	domestic (12 JUN 2005)
Harmonia axyridis	pr	aphids	2005	-	domestic
Orius laevigatus	pr	thrips	2006	exotic (31 AUG 2005)	-
Eretmocerus eremicus	pd	whiteflies	2006	exotic (26 DEC 2005)	-
Aphidius gifuensis	pd	aphids	2007	-	domestic
Stethorus punctillum	pr	mites	2007	-	domestic
Atheta coriaria	pr	mushroom flies	2007	-	domestic
Hypoaspis aculeifer	pr	thrips	2007	exotic (9 OCT 2006)	-
Amblyseius swirskii	pr	whiteflies	2007	exotic (9 OCT 2006)	-
Eretmocerus mundus	pd	whiteflies	2007	exotic (16 OCT 2007)	-
Trichogramma ostriniae	pd	moths	2008	-	domestic
Nesidiocoris tenuis	pr	whiteflies	2008	-	domestic
Amblyseius californicus	pr	mites	2008	-	domestic (30 OCT 2009)
Aphelinus asychis	pd	aphids	2008	-	domestic
Chrysopa pallens	pr	aphids	2008	-	domestic

Table 3. Continued

Scientific name	Function	Target insects	Commercialized year	Origin sources (days introduced)	
Chrysopa carnea	pr	aphids	2008	-	domestic
Micromus angulatus	pr	aphids	2009	-	domestic
Hypoaspis miles	pr	mushroom flies	2010	exotic	-
Cryptolaemus montrouzieri	pr	scale insects	2010	exotic (3 DEC 2009)	-
Aphidius matricariae	pd	aphids	2010	exotic (19 MAY 2010)	-
Amblyseius barkeri	pr	thrips	non- commercialized	-	domestic
Geocoris pallidipennis	pr	whiteflies	non- commercialized	-	domestic
Aphelinus varipes	pd	aphids	non- commercialized	-	domestic
Meteorus pulchricornis	pd	moths	non- commercialized	-	domestic
Total 37 species		33 commercialized, 4 non-commercialized		13	24

* Note. This data were adapted from the report on measures to revitalize the natural enemy industry in Korea (National Institute of Agricultural Sciences, 2018).
** pr: predator, pd: parasitoid, epn: entomopathonic nematode

국내에서 천적의 대량생산 기술은 1996년 농촌진흥청 농업과학기술원 곤충과에 천적연구실 설치된 이후 논산, 담양, 밀양 지역에서 딸기의 점박이응애 방제를 위해 칠레이리응애를 이용한 현장 실증사업으로 천적 보급사업(1995 ~ 2002)을 추진하였다. 천적 사육 기술을 개발하여 특허를 취득하고 기술이전하였으며(2000 ~ 2011), ㈜ 세실 등 8개 천적 회사가 창업하여 천적을 실용화한 사례가 있었다(2000 ~ 2013). 친환경 농업에 관하여 관심이 증가하여 천적 이용 농산물 생산을 지원하기 위해 파프리카 등 9개 작물에 대해 천적을 활용하는 농가에 대해서 6년간(2005 ~ 2010) 총 약 400억 원을 투입하여 산업을 육성하려는 시도가 있었다(Lee et al., 2020). 최근에는 외래유입·돌발해충인 꽃매미, 미국선녀벌레, 및 갈색날개매미충 등을 방제하기 위해 꽃매미벼룩좀벌(Seo et al., 2018), 선녀벌레집게벌(Seo et al., 2018), 및 날개매미충알벌(Jeon et al., 2020) 등을 각각 개발하고 있다.

연구사업의 결과로 현장 수요자 중심의 천적 활용 기술서를 개발·보급해 왔는데, 농업인용으로 병해충 생물적 방제 강화를 위한 현장 토론회 자료집(2008)에서는 농업인, 회사대표, 및 연구기관 등의 성공사례가 포함되어 있으며, 시설재배 작물인 파프리카(2008), 딸기(2011), 및 고추((2011)에서 천적 이용 매뉴얼, 시설재배지 천적 유지 식물 활용 기술(2016), 천적과 작물보호제를 활용한 파프리카 해충방제(2017) 등 천적 이용 기술서(5권)가 개발·보급되었다. 전문가용으로 2000년부터 2017년까지 천적연구회지 14종, 천적 연구 및 활용 관련 자료집 9종 - 주요 천적의 증식과 이용(1997), 천적의 이해와 활용(1998), 천적의 사육과 이용(1999), 주요 천적의 사육과 이용(2002), 천적 이용 해충방제 기술(2003), 해충과 천적의 이해(2004), 천적 이용 가이드(2005), 천적 연구 자료집(2009), 천적 품질관리 매뉴얼(2017) - 이 개발·보급되었다(Lee et al., 2020).

파프리카에서 진딧물 등 4종 해충을 방제하기 위해 천적과 작물보호제를 조화롭게 활용하는 현장 실증 연구가 추진되었다(2015 ~ 2017). 그 결과 약제 방제와 비교하여 천적과 저독성 약제 조합의 경우 ha당 200만원(30%) 정도 비용이 증가하나 약제사용 부담 및 잔류농약을 감소시키는 결과를 도출하였다(Cho et al., 2018). 친환경인증제의 개선(2015년 저농약인증기준 폐지), GAP 기준 강화 등으로 인하여 천적에 대한 농가의 문의가 증가하고 있으나, 현재 국내 천적 시장에서 유통되는 제품은 국내 천적 회사인'㈜ 곤충산업연구소'등에서 생산하여 공급하고 있고, 대부분의 천적은 외국계 천적 회사인 네덜란드 'Koppert사'와 벨기에 'Biobest사' 등에서 수입하여 공급하고 있다.

우리나라 농가 현장에서 천적을 이용하여 작물을 재배하는 면적은 1998년 3 ha에서 2010년 2,500 ha로, 시장 규모도 약 182.5억 원으로 가장 높았고, 이후 이용 면적과 시장 규모가 급

Table 4. Area cultivated using natural enemy and its market size in Korea

Year	1998	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016
Cultivation area using natural enemy (ha)	3	77	214	396	1,066	2,114	2,500	630.2	398.2	425
Natural enemy market size (million, KRW)	-	-	-	-	9,490	14,600	18,250	5,230	5,890	4,880

* Note. This data were adapted from the report on measures to revitalize the natural enemy industry in Korea (National Institute of Agricultural Sciences, 2018).

격하게 줄어들었다. 2016년에는 2010년 대비 이용 면적이 80% 이상 줄어들었고, 시장 규모도 70% 이상 감소하였다(Table 4).

천적 연구 활성화 방안

천적 활용의 문제점

1990년 이후부터 2020년 현재까지 농가 현장에서 천적을 활용할 수 있도록 작물별 천적 이용 매뉴얼 - 파프리카(2008), 딸기(2011), 및 고추((2011) - 등 농업인용 5종, 전문가용 22종이 개발·보급되어 있으나 작물 종류, 작물 재배 형태, 해충 밀도, 시설조건 및 계절에 따라 다양하고 복잡한 현장에 맞는 천적 활용 매뉴얼이 부족하다. 농업인 대상으로 천적 사용 시 애로사항에 관해 설문 조사한 결과에 의하면 첫째는 가격(50%), 둘째는 적용 기술(23%), 셋째는 정보(10%) 부족 순으로(Lee et al., 2014) 농가에서는 어려움을 호소하고 있다. 결국 천적에 대한 이해 부족, 천적보다 다소 사용이 쉬운 농약과 유기농업자재를 선호하는 경향도 있어서 농업인을 대상으로 천적 활용 기본교육이 부족하고, 현장 기술 지원 강화를 위한 지도직·컨설턴트 대상 천적 활용 전문 교육도 부족하다. 현재 천적 이용 농가 수가 적고, 품목 및 생산량도 제한적이고, 생산 천적의 품질 표준화 및 판로 부족 등으로 국내 천적 생산업체의 경영상태는 아주 열악한 상태로 국내 천적 산업 기반 자체가 취약한 것으로 판단된다. 그러다 보니 대부분의 업체가 외국에서 천적을 수입하여 판매하는 방식으로 전환되어 상대적으로 가격이 비싸져 농업인의 경영비 부담이 가중되고 있다(Lee et al., 2020).

천적을 연구하거나 개발하는 데에도 많은 어려움이 있다(Table 5). 천적을 탐색하는 측면에서는 우리나라 재배환경에 적합한 선발된 천적 종수가 적으며, 선발된 우수 천적이 있어도 대량으로 사육할 기술이 부족하고, 비용도 많이 들어가는 어려움이 있다. 대량 생산하는 기술이 부족하면 공산품처럼 농가가 원하는 시기에 바로 공급할 수 없는 어려움도 있다. 또한 대량 사육을 위한 천적 품질관리 프로그램도 아직 많이 부족한 실정이다. 천적을 현장에 적용할 때 각 지역 및 재배작물에 알맞은 천적이 부족하고, 천적과 다른 작물보호제와 함께 사용할 수 있는 기술도 부족하고, 생태공학적으로 천적을 활용하는 기술도 부족한 것으로 보인다.

천적 활용 농산물 생산 확대 유인책이 미흡하고 천적지원사업(2005 ~ 2010)의 중단으로 국가의 정책적 지원사업이 위축되어있는 것도 천적 산업이 발전하지 못하는 이유 중의 하나로 볼 수 있다. 대형마트 등 유통업체가 주도하여 천적 활용 생산 농산물 유통을 확대하여 천적 활용 농산물 생산을 촉진하는 구조가 만들어져 있지 않은 것도 천적 농업이 활성화되지 않고 있는 이유일 것이다.

천적 연구의 방향

천적의 이용은 노지작물에서는 천적 자원 보존 및 생태계 안정을 목적으로, 시설재배 작물에서는 농약을 절감하면서 해충을 방제하는 것을 목적으로 하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 농업 현장에서 천적이 제대로 작동되고 지속 가능한 농업에 활용되기 위해서는 대상 작물의 재배기간이 긴 것이 유리하고, 잎을 생산하는 엽채류 보다는 과일을 생산하는 과채류 작물에서 천적을 활용하는 것이 비교적 합당할 것으로 본다. 따라서 농약 사용을 자제하려는 친환경 재배 농가 중에 파프리카, 딸기, 토마토, 참외(오이), 고추, 가지, 일부 화훼류 등의 작물에서 천적을 활용하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

우리나라 천적 농업은 산업의 수명주기(개발단계 → 성장단계 → 성숙단계 → 쇠퇴기) 측면에서 보면 개발단계에서 성장기로 넘어가는 중간 단계에 있다고 판단된다. 우리나라 농업 현장에서는 농업인의 노령화와 천적 농업에 대한 이해 부족 등으로 천적 농업이 활성화되지 않고 있다고 판단된다. 따라서 천적 농업에 관한 인식 전환을 위해 국가 또는 지자체가 주도하여 천적 전문 연구자가 농업인 및 천적 컨설턴트를 대상으로 기본 및 전문 교육을 할 수 있는 장을 정기적으로 만들어 가야 할 것이다.

과거 천적 지원사업의 부실 운영으로 천적의 효과에 대한 부정적 인식을 많이 가지고 있다. 이러한 인식을 불식시키기 위해서 천적 전문가는 천적의 장단점을 정확히 소개하고, 천적의 효

Table 5. Difficulties in research and development of natural enemy

R & D fields	Difficulties in research and development of natural enemy
Search for natural enemy	- Lack of natural enemy suitable for the Korean cultivation environment - Lack of technology to breed excellent natural enemy - Increased incidence of invasive insects
Production technology	- High cost in the producing and purchasing natural enemy - Difficulty in the quality control of natural enemy - Difficulty in timely supply of natural enemy
Application technology	- Lack of technology to use natural enemy suitable for each region - Lack of technology for harmonious use with natural enemy and other crop protection agents - Lack of ecological approach to use natural enemy

* Note. This data were adapted from the R & D planning report for revitalizing the natural enemy agriculture (Lee et al., 2020).

과가 정확하게 발현되는 조건과 사례를 홍보하고 교육하여야 할 것이다. 반면 천적에 대한 이해가 높거나 천적을 요구하는 경우가 많으면 천적을 농업인 스스로 생산하여 사용할 수 있는 시스템을 갖춰 주거나 교육하는 것도 하나의 방안이 될 수 있을 것으로 본다. 천적 회사로부터 구매한 천적이 제대로 작동하여 효과를 발현하게 하려면 농가 포장의 해충 발생상황을 정확히 예찰하고 정확한 방사량과 방사 적기를 결정하여 방사하여야 하기 때문이다. 물론 천적 회사도 공산품처럼 품질을 제대로 관리된 천적 제품을 판매하여야 한다.

천적 농업이 성장하기 위해서는 국가, 지자체 등 공적영역에서 지원시스템이 필요하다. 그러나 국가가 농민에게 직접 보조로 지원하는 것이 어려워 어느 특정 단체가 국가의 지원으로 천적을 생산 후 농가에 보급하는 체계로 운영하는 것을 도입하는 것이 좋다. 더욱이 우리나라는 현재 천적에 대한 농가의 이해 수준이 높지 않고 천적 생산업체도 많지 않아 천적 농업이 활성화되어 있지 않아 성장산업이 되기까지 계속해서 국가 또는 지자체가 천적 농업 기반을 조성하기 위한 체계 구축하고 지원할 필요가 있을 것으로 본다.

천적 농업이 활성화되어 천적 산업으로 발전하기 위해서 천적을 탐색하여, 대량으로 생산하여 농가에 공급되어 활용되는 전과정에서 더욱 세심한 연구개발이 이뤄져야 한다. 천적 연구개발을 위해 정부, 농업인, 천적 생산 회사, 및 소비자 차원에서 검토되어야 할 사항이 많이 있다. 정부에서는 천적 연구개발 인력 확보, 연구시설 투자, 천적 산업화를 위한 정부의 능동적 지원이 필요하다. 농업인은 농약과 비교해서 천적의 효과 발현이 늦거나 분명하지 않은 점, 이로 인해 약간의 농작물 피해를 감수한다든가 현장에서 천적과 해충의 발생상황을 정확히 모니터링하여야 하는 등 복잡한 문제들에 대하여 인내하고 이해할 수 있어야 한다. 천적 회사는 복잡하고 다양한 문제(천적 그 자체를 특허로 출원할 수 없는 어려움, 대량생산, 장기간 저장, 생산과정에서 품질관리, 생산 이후 판로 개척 등)를 감수하고 해결할 수 있어야 한다. 또한 농산물을 사용하는 소비자도 화학살충제 등으로 생산된 흠이 없는 농산물보다도 다소 병해충에 의해 약간의 흠이 있는 농산물을 소비하는 마음의 자세도 필요하다.

따라서 천적 농업이 한 단계 도약하기 위해서 농업인, 산업체, 및 국가 또는 지자체 측면에서 각 역할과 사명을 자각하여야 한다. 초기 천적 산업에서는 천적 농업의 장점 및 단점 등에 대하여 농업인과 소비자에게 교육하거나 현장에서 실증시험을 통해 천적 이용의 장점에 관한 인식을 높여야 한다. 그리고 천적 산업이 성장하려면 성장 초기에는 국가나 지자체가 일정한 예산과 인력을 투입하여 천적 생산 및 보급하는 거점센터를 육성하고 최소한의 비용으로 천적을 공급하여 천적을 활용한 농업이 가능하다는 것을 농민들에게 직접 확인시켜 줄 필요가 있다. 최근 현장에서 천적을 요구하는 농가가 늘어나고 있다. 지역별로 보면, 경남 거창군 천적생태과학관에서는 군 내 딸기 농가에 천적을 공급하여 농산물을 생산하는 시스템을 구축하였다. 경북대학교 친환경농업연구교육센터에서는 천적곤충을 이해하고 생산하는 교육과정을 운영하면서 천적을 활용하는 환경을 만들고 있다. 자연드림은 전남 구례군에서 천적센터를 운영하고 있다. 전라북도농업기술원은 농업인 중심으로 전라북보천적농업연구회를 구성하여 회원들에게 천적을 공급해서 농산물을 생산하도록 지원하고 있다. 위로부터가 아닌 아래로부터 시작된 이러한 환경을 적극적으로 지원하기 위한 다양한 연구 및 기술 개발이 필요한 시점이다.

천적을 80 ~ 90% 이상 수입에 의존하고 있는 상황에서 우리나라의 농작물 재배 양식에 적합하고 수입 천적보다 효과가 우수한 토착 천적을 탐색하는 연구를 추진하여야 할 것이다. 아울러 우리나라 작물 재배 유형에 적합한 천적을 육종하는 기술을

개발하는 연구도 추진할 필요가 있다.

기후변화로 인한 한반도의 아열대화, 수출입 농산물 증가, 및 외국 여행객 증가로 인하여 외래 유입 해충이 증가하고 있어 이들을 방제하는 천적을 도입하여 현장에 활용하는 연구도 필요하다. 천적은 살아 움직이는 생물이라 공산품과 달라서 주문과 동시에 바로 배달될 수 있는 물건이 아니므로 연중 대량으로 생산하여 언제든지 필요한 시기에 바로 공급할 수 있는 주요 천적 생산 거점센터를 구축하여 운영하는 것도 좋은 대안이라 생각된다. 따라서 천적이 필요한 시기에 언제든지 공급될 수 있도록 비용 절감형 연중 생산기술에 관한 연구도 필요하다. 아울러 천적을 연중 및 대량으로 생산할 때 야기되는 동종 천적의 누대 사육에 따른 활력 저하 및 천적의 품질 유지 문제를 해결하는 연구, 또한 유통 과정에서 천적의 활력이 떨어지지 않도록 저온 저장 기술 및 적기에 공급할 수 있도록 천적 생산 후 일정 기간 저장하는 기술에 관한 연구도 필요할 것이다.

천적은 화학살충제에 대해 감수성이 높아 화학살충제와 혼용할 수 없는 경우가 많다. 저항성을 가진 천적을 선발하거나 천적에 안전한 저독성 화학살충제를 선발하여 천적과 화학살충제를 조화롭게 사용하는 기술을 개발할 필요가 있다. 또한 생태공학적 접근을 통한 농업생태계의 다양성 유지로 생물 저항성을 극대화하여 친환경적이고 지속 가능한 신개념의 작물보호 기술 개발이 필요하며, 재배작물과 주변 식물의 다양성 관리를 통한 병해충의 자연적/생물적 방제법을 개발하는 연구도 필요할 것이다.

또한, 우리나라 농가 현장에서 농업인의 노령화로 인해 천적에 대한 이해가 부족하여 천적을 이용하는데도 어려움이 있으므로 이들 농업인을 전문적으로 컨설팅하기 위한 천적 전문가 육성 프로그램과 교육교재 개발도 필요할 것이다. 아울러 천적 농업의 순기능, 천적 활용 생산 농산물에 대한 소비자 인식을 높이기 위해 TV, 신문 등 온·오프라인 미디어를 활용하여 홍보하는 노력도 필요할 것으로 본다.

맺음말

우리나라에서 천적에 관한 연구를 정부기관에서 본격적으로 추진한 1996년 이후 약 25여 년이 지난 지금 천적 연구와 관련한 논문은 130편이다. 초기에는 천적을 탐색하여 이들의 생물적 특성 연구에 관한 논문의 비율이 높았고, 지금까지 탐색·선발한 천적은 총 37종으로 국내 토착 천적 24종, 도입 천적 13종이 개발되었다. 근래 들어 농가 현장에서 실제로 천적을 활용하는 기술에 관한 논문의 비율이 높았다. 영농 현장에서 직접 천적을 활용하는 농업인과 현장에서 컨설팅하는 전문가를 위한 천적 활용 기술서 및 매뉴얼 28종을 개발·보급하여 많은 성과도 거두었다.

그러나 앞으로 외래 유입 해충을 효율적으로 관리하기 위해서 도입 천적에 관한 연구가 필요할 것으로 본다. 천적을 연중 대량으로 생산하여 언제든지 필요한 시기에 바로 공급할 수 있는 기술, 천적의 품질 유지 문제를 해결하는 연구과제도 필요할 것이다. 천적은 농약에 대해 감수성이 높아 농약과 동시에 사용할 수 없는 경우가 많으므로 천적과 농약을 조화롭게 사용하는 기술 개발이 필요할 것으로 본다. 재배작물과 주변 식물의 다양성 관리를 통한 병해충의 자연적/생물적 방제법을 개발하는 연구도 필요하다. 또한 연구개발 이외에도 천적에 대한 이해를 높이기 위해 농업인을 전문적으로 컨설팅하기 위한 천적 전문가 육성 프로그램과 교육교재도 개발하여야 한다. 아울러 천적 농업의 순기능 및 천적 이용 생산 농산물에 대한 소비자 인식을 높이기 위해 온·오프라인 미디어를 활용한 홍보도 필요할 것으로 생각한다.

사 사

본 종설은 농촌진흥청 공동연구사업(PJ01593802)으로 지원된 예산으로 작성되었다.

저자 직책 & 역할

조점래: 농촌진흥청 국립농업과학원, 농업연구관; 논문구성, 자료수집 및 분석, 논문작성 및 수정
김정환: 농촌진흥청 국립농업과학원, 기술전문위원; 자료 분석, 논문검토 및 수정
서미자: 농촌진흥청 국립농업과학원, 농업연구사; 자료 분석, 논문검토 및 수정
최선우: 전라북도농업기술원, 농업연구사; 자료 분석, 논문검토 및 수정
임언택: 안동대학교, 교수; 자료 분석, 논문검토 및 수정
이경열: 경북대학교, 교수; 자료 분석, 논문검토 및 수정

모든 저자는 원고를 수정·검토하고 투고에 동의하였음.

Literature Cited

Byeon, Y.W., Kang, E.J., Kim, J.H., Choi, M.Y., Choi, Y.S., 2012. The effect of temperatures on the biological characteristics of two aphid parasitoids *Aphelinus asychis* (Walker) and *Aphelinus varipes*

(Forster) (Hymenoptera: Aphelinidae) on two aphid hosts. Korean J. Appl. Entomol. 51, 397-403.

Cho, J.R., Choi, B.R., Park, C.G., Kim, K.H., Lee, G.S., Seo, B.Y., Kim, J.H., 2018. Development of optimum pest management model using natural enemy in Paprika at green house. in: Cho, J.R., Choi, N.J., Kwon, M., Jung, T.S., Ahn, G.S., Choi, Y.S., Kim, J., Yang, C.J., Im, U.T. (Eds). Development of optimum pest management model using natural enemy in crops at green house and open field. RDA Agenda Res. Rept., Korea.

Cho, J.R., Kim, J.H., Seo, B.Y., Park, B.Y., Seo, M.J., 2020. A short study on promoting the dispersal of *Phytoseiulus persimilis* using a bridge on green pepper. Korean J. Appl. Entomol. 59, 383-391.

Choi, D.S., Kim, K,J., 2003. Predatory preference and predation amount of *Oligota kashmirica benefica* (Coleoptera: Staphylinidae) about spider mites. Korean J. Appl. Entomol. 42, 197-201.

Choi, J.K., Kim, K.Y., Suh, H.Y., Jeon, M.J., Shin, Y.M., Kim, I.K., Jeong, J.C., Kim, Y.J., Lee, J.W., 2015. New host records of Ichneumonidae (Hymenoptera), with list of Icheumon wasps parasiting *Ivela auripes* (Butler) (Lepidoptera: Lymantriidae) from Korea. Korean J. Appl. Entomol. 54, 127-136.

Choi, J.Y., Kim, H.S., Jin, B.R., Seol, K.Y., Park, H.Y., Kang, S.K., 1996. Pathogenicity and production of *Spodopetra exigua* nuclear polyhedrosis virus. Korean J. Appl. Entomol. 35, 228-231.

Choi, M.Y., Kim, J.H., Kim, H.Y., Byeon, Y.W., Lee, Y.H., 2009. Biological control based IPM of insect pests on sweet pepper in greenhouse in the summer. Korean J. Appl. Entomol. 48, 503-508.

Choi, M.Y., Lee, G.H., Paik C.H., Kim, D.H., 2001. Development and predation of an aphidophagous gall midge, *Aphidoletes aphidimyza* (Randani) (Diptera: Cecidomyiidae) on *Myrus persicae* Sulzer. Korean J. Appl. Entomol. 40, 45-49.

Choi, M.Y., Lee, G.H., Paik, C.H., Lee, J.J., 2000. Development of artificial diets for green lacewing, *Chrysopa pallens* (Rambur), by addition of natural products. Korean J. Appl. Entomol. 39, 99-103.

Choi, M.Y., Lee, J.J., Lee, G.H., 1999. Rearing of a green lacewing, *Chrysopa pallens* Ramber, on artificial diets. Korean J. Appl. Entomol. 38, 35-39.

Choi, M.Y., Yang, Z.Q., Wang, X.Y., Tang, Y.L., Hou, Z.R., Kim, J.H., Byeon, Y.W., 2014. Parasitism rate of egg parasitoid *Anastatus orientalis* (Hymenoptera: Eupelmidae) on *Lycorma delicatula* (Hemiptera: Fulgoridae) in China. Korean J. Appl. Entomol. 53, 135-139.

Choi, S.U., Kim, J.H., Seo, K.W., Moon, Y.H., Lee, G.J., Lee, C.K., Kim, J.S., Kim, J.H., 2017. Occurrence of the entomopathogenic fungus *Zoophthora radicans* (Entomophthorales: Entomophthoraceae) in Jeollabuk-do, Korea. Korean J. Appl. Entomol. 56, 195-201.

Choi, S.U., Lee, G.J., Moon, Y.H., Seo, K.W., Kang, C.H., Kim, J.H., Kim, J.S., 2016. Occurrence of the mite pathogenic fungus *Neozygites floridana* on two spotted spider mite (*Tetranychus urticae*) in Korea. Korean J. Appl. Entomol. 55, 465-469.

Choi, Y.S., Seo, H.Y., Whang, I.S., Lee, D.H., 2018. Biological control of the sciarid fly, *Lycoriella mali* (Diptera: Sciaridae) using *Steinernema carpocapsae* in a button mushroom cultivation house. Korean J. Appl. Entomol. 57, 355-359.

Choo, H.Y., Kaya, H.K., Kim, J.B., Park, Y.D., 1991. Evaluation of entomopathogenic nematodes, *Steinernema carpocapsae* (Steinernematidae) and *Heterorhabditis bacteriophora* (Heterorhabditidae) against rice stem borer *Chilo suppressalis* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae). Korean J. Appl. Entomol. 30, 50-53.

Choo, H.Y., Kaya, H.K., Lee, S.M., Kim, T.O., Kim, J.B., 1991. Laboratory Evaluation of entomopathogenic nematodes, *Steinernema carpocapsae* and *Heterorhabditis bacteriophora* against some forest insect pests. Korean J. Appl. Entomol. 30, 227-232.

Choo, H.Y., Kim, H.H., Lee, D.W., Lee, S.M., Park, S.H., Choo, Y.M., Kim, J.G., 2001. Practical utilization of entomopathogenic nematodes, *Steinernema carpocapsae* Pocheon strain and *Heterorhabditis bacteriophora* Hamyang strain for control of chestnut insect pests. Korean J. Appl. Entomol. 40, 69-76.

Choo, H.Y., Kim, H.H., Lee, D.W., Park, Y.D., 1996. Microbial control of fly maggots with entomopathogenic nematodes and fungus in outhouses of farmhouses. Korean J. Appl. Entomol. 35, 80-84.

Choo, H.Y., Lee, D.W., Yoon, H.S., Lee, S.M., Hang, D.T., 2002. Effects of temperature and nematode concentration on pathogenicity and reproduction of entomopathogenic nematode, *Steinernema carpocapsae* pocheon strain (Nematoda: Steinernematidae). Korean J. Appl. Entomol. 41, 269-277.

Choo, H.Y., Lee, S.M., Chung, B.K., Park, Y.D., Kim, H.H., 1995. Pathogenicity of Korean entomopathogenic nematodes (Steinernematidae and Heterorhabditidae) against local agricultural and forest insect pests. Korean J. Appl. Entomol. 59, 383-391.

Eilenberg, J., Hajek, A., Lomer, C., 2001. Suggestions for unifying the terminology in biological control. BioControl 46, 387-400.

Future Market Insights, 2019. Global agri natural enemy pest control market. https://futuremarketinsights.com/reports/agri-natural-enemy-pest-control-market (accessed on 4 August, 2021)

Hajek, A., 2004. Augmentation: Inundative and inoculative biological control. in: Natural enemies: An introduction to biological control, Cambridge University Press, Cambridge, pp.62-79. doi: 10.1017/CBO9780511811838.006

Ham, E.H., Jun, H.J., Lee, J.S., Lim, E.T., Lee, Y.S., Park, J.K., 2019. Biological control of *Tetranychus urticae* Koch on strawberry using "natural enemy in first (NEF)" method. Korean J. Appl. Entomol. 58, 319-320.

Ham, E.H., Jun, H.J., Lee, J.S., Lim, E.T., Park, J.K., 2020. A Study on biological control using the 'natural enemy in first (NEF)' technology in tomato greenhouses. Korean J. Appl. Entomol. 59, 407-408.

Han, G.Y., Lee, D.W., Choo, H.Y. 2010., Effect of Inoculation

concentration on pathogenicity, development, propagation and body length of entomopathogenic nematode, *Steinernema arenarium* (Nematoda: Steinernematidae). Korean J. Appl. Entomol. 49, 61-67.

Han, S.C., Lee, S.S., Kim, Y.G., 1999. Pathogenicity and multiplication of entomopathogenic nematode, *Steinernema carpocapsae* Weiser, on beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner) and tobacco cutworm, *Spodoptera litura* (Fabricius). Korean J. Appl. Entomol. 38, 255-260.

Herren, H.R., Neuenschwander, P., Hennessey, R.D., Hammond, W.N.O., 1987. Introduction and dispersal of *Epidinocarsis lopezi* (Hym., Encyrtidae), an exotic parasitoid of the cassava mealybug *Phenacoccus manihoti*. (Hom., Pseudococcidae), in Africa. Agric. Ecosys. Environ. 19, 131-144.

Hong, J.I., Koh, S.H., Chung, Y.J., Shin, S.C., Kim, G.H., Choi, K.S., 2008. Biological characteristics of *Sclerodermus harmandi* (Hymenoptera: Bethylidae) parasitized on cerambycid. Korean J. Appl. Entomol. 47(2), 133-139.

Im, D.J., Jang, D.S., Choi, K.M., Kang, S.K., 1991. A cytoplasmic polyhedrosis virus isolated from the oriental tobacco budworm, *Heliothis assulta* Guenee (Lepidoptera: Noctuidae). Korean J. Appl. Entomol. 30, 219-226.

Im, D.J., Jin, B.R., Choi, K.M., Kang, S.K., 1990. Microbial control of the tobacco cutworm, *Spodoptera litura* (Fab.), using *S. litura* nuclear polyhedrosis virus. Ⅰ. The effect of spray on soybean leaves, temperature, storage, and sunlight on the pathogenicity of the virus. Korean J. Appl. Entomol. 29, 184-189.

Im, D.J., Jin, B.R., Choi, K.M., Kang, S.K., 1990. Microbial control of the tobacco cutworm, *Spodoptera litura* (Fab.), using *S. litura* nuclear polyhedrosis virus. Ⅱ. Formulation of *S. litura* nuclear polyhedrosis virus as viral insecticides. Korean J. Appl. Entomol. 29, 244-251.

Im, D.J., Jin, B.R., Choi, K.M., Kang, S.K., 1990. Microbial control of the tobacco cutworm, *Spotloptera litura* (Fab.), using *S. litura* nuclear polyhedrosis virus. Ⅲ. Field evaluation of the viral insecticides. Korean J. Appl. Entomol. 29, 252-256.

Jeon, S.W., Kim, K.H., Lee, G.S., Seo, B.Y., Kim, J.E., Kang W.S., Cho, J.R., 2020. Biological characteristics of *Phanuromyia ricaniae* (Hemiptera: Platygastroidea), an egg parasitoid of *Ricania sublimata* (Hemiptera: Ricaniidae). Korean J. Environ. Biol. 38, 586-593

Jeong, M.J., Jang, S.S., Kim, H.K., Park, C.S., Choo, H.Y., 1993. Evaluation for biocontrol potentials of nematophagous fungi against root-knot nematode. Korean J. Appl. Entomol. 32, 382-388.

Jeong, T.S., Hwang, M.R., Hwang, S.J., Lee, J.H., Lee, A.S., Won, H.S., Hong, D.K., Cho, J.R., Ham, E.H., 2017. Greenhouse whitefly and thrips management model using natural enemies in semi-forcing culture of tomato. Korean J. Appl. Entomol. 56, 403-412.

Jeong, Y.S., Choe, Y.S., Oh, I.S., Han, K,H., Seo, M.J., Youn, Y.N., 2003. Biological characteristics of the aphid-eating gall-midge, *Aphidoletes aphidimyza* (Diptera: Cecidomyiidae) as a biological control agents of aphids. Korean J. Appl. Entomol. 42, 241-248.

Ji, C.W., Kang, E.J., Byeon, Y.W., Kim, J.H., Choi, B.R., 2014. Comparative analysis of the biological characteristics of *Ephedrus plagiator* (Nees) and *Aphidius ervi* Haliday according to different aphid hosts. Korean J. Appl. Entomol. 53, 427-433.

Jin, B.R., Park, B.S., Je, Y.H., Kang, S.K., 1991. Biochemical characteristics of *Spodoptera exigua* nuclear polyhedrosis virus. Korean J. Appl. Entomol. 30, 144-149.

Jin, B.R., Park, H.W., Woo, S.D., Kim, W.J., Park. B.S., Kang, S.K., 1995. Morphology and biochemical characteristics of a nuclear polyhedrosis virus isolated from the oriental tobacco budworm, *Helicoverpa assulta* (Guenee). Korean J. Appl. Entomol. 34, 218-223.

Jin, H.Y., Ahn, T.H., Lee, B.W., Jun, H.J., Lee, J.S., Park, J.K., Ham, E.H., 2015. Predatory capability of *Chilocorus kuwanae* (Silvestri) (Coleoptera: Coccinellidae) for *Saissetia coffeae* (Walker) (Hemiptera: Coccidae). Korean J. Appl. Entomol. 54, 437-442.

Jung, D.O., Hwang, H.S., Kim, J.W., Lee, K.Y., 2018. Development of the mass-rearing technique for a predatory mite *Stratiolaelaps scimitus* (Acari: Laelapidae) using the double box system. Korean J. Appl. Entomol. 57, 253-260.

Jung, D.O., Hwang, H.S., Kim, S.Y., Lee, K.Y., 2019. Biological control of thrips using a self-produced predatory mite *Stratiolaelaps scimitus* (Acari: Laelapidae) in the greenhouse chrysanthemum. Korean J. Appl. Entomol. 58, 233-238.

Jung, J.K., Park, J.H., Im, D.J., Han, T.M., 2005. Parasitism of *Trichogramm evanescens* and *T. ostriniae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) to eggs of the Asian com borer, *Ostrinia furnacalis* (Lepidoptera: Pyralidae). Korean J. Appl. Entomol. 44, 43-50.

Kang, Y.J., Lee, D.W., Choo, H.Y., Lee, S.M., Kweon, T.W., 2004. Biological control of *Spodoptera depravata* (Butler) (Lepidoptera: Noctuidae) using entomopathogenic nematodes. Korean J. Appl. Entomol. 43, 61-70.

Kim, C.S., Park, I.K., Kim, J.K., Shin, S.C., Chung, Y.J., Choi, K.S., 2005. Biology of *Torymus geranii* (Walker), a parasitoid of chestnut gall wasp *Dryocosmus kiriphilus* Yasumatsu (Hymenoptera, Cynipida). Korean J. Appl. Entomol. 44, 219-223.

Kim, D.H., Kim, K.S., Hyun, J.W., Jeong, S.K., 2002. Comparison of predation rates of three phytoseiid mite species on citrus red mite (*Panonychus citri* McGregor) on citrus tree. Korean J. Appl. Entomol. 41, 55-60.

Kim, D.H., Kim, K.S., Hyun, J.W., Lim, H.C., 2003. Release level of *Amblyseius fallacis* Garman (Acarina: Phytoseiidae) for biological control of *Panonychus citri* McGregor (Acari: Tetranychidae) on citrus. Korean J. Appl. Entomol. 42, 233-240.

Kim, D.I., Lee, S.C., 1996. Functional response and suppression of

prey population of *Amblyseius womersleyi* Schicha (Acarina: Phytoseiidae) to *Tetranychus kanzawai* Kishida (Acarina: Tetranychidae). Korean J. Appl. Entomol. 35, 126-131.

Kim, D.I., Lee, S.C., Kim, S.S., 1996. Biological characteristics of *Amblyseius womersleyi* Schica (Acarina: Phytoseiidae) as a predator of *Tetranychus kanzawai* Kishida (Acarina: Tetranychidae). Korean J. Appl. Entomol. 35, 38-44.

Kim, G.H., Park, Y.J., Kim, Y.G., 2002. Identification of a pathogenic bacterium, *Staphylococcus gallinarum*, to *Bombyx mori*. Korean J. Appl. Entomol. 41, 279-284.

Kim, H.H., Cho, S.R., Choo, H.Y., Lee, S.M., Jeon, H.Y. Lee, D.W., 2008. Biological control of tobacco cutworm, *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) by Steinernematid and Heterorhabditid entomopathogenic nematodes. Korean J. Appl. Entomol. 47, 447-456.

Kim, H.H., Cho, S.R., Lee, D.W., Jeon, H.Y., Park, C.G., Choo, H.Y., 2006. Biological control of diamondback moth, *Plutella xylostella* with Korean isolates of entomopathogenic nematodes (Steinernematid and Heterorhabditid) in greenhouse. Korean J. Appl. Entomol. 45, 201-209.

Kim, H.H., Choo, H.Y., Lee, D.W., Lee, H.S., Jeon, H.Y., Ha, P.J., 2004. Biological control of *Mycophila speyeri* Barnes (Diptera: Cecidomyiidae) using Korean *Steinernema* and *Heterorhabditis* isolates in *Pleurotus ostreatus* cultivation house. Korean J. Appl. Entomol. 43, 233-239.

Kim, H.H., Choo, H.Y., Lee, H.S., Park, C.G., Lee, D.W., Jin, B.R., Choo, Y.M., 2001. Biological control of *Lycoriella mali* (Diptera: Sciaridae), a pest of oyster mushroom, *Pleurotus ostreatus* using entomopathogenic nematodes. Korean J. Appl. Entomol. 40, 59-67.

Kim, H.H., Choo, H.Y., Park, C.G., Lee, S.M., Choo, Y.M., 2001. Biological control of cotton caterpillar, *Palpita indica* Saunder (Lepidoptera: Pyralidae) with entomopathogenic nematodes. Korean J. Appl. Entomol. 40, 245-252.

Kim, H.H., Han, G.Y., Choo, H.Y., Lee, S.M., Lee, D.W., 2007. Pathogenicity of entomopathogenic nematode, *Steinernema carpocapsae* GSN1 Strain (Rhabditida: Steinernematidae) against *Tebenna issikii* (Lepidoptera: Choreutidae). Korean J. Appl. Entomol. 46, 313-318.

Kim, H.H., Yoon, J.B., Kim, D.h., Yang, C.Y., Kang, T.J., 2016. Biological control of *Bradysia difformis* using the predatory mite (*Hypoaspis aculeifer*) in hydroponically cultivated strawberry. Korean J. Appl. Entomol. 55, 489-494.

Kim, H.J., Hong, O.K., Lee, C.K., Shin, S.C., Park, Y.C. 1996. Effects of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* on the larva of the black tipped sawfly, *Acantholyda posticalis posticalis* Matsumura. Korean J. Appl. Entomol. 35, 221-227.

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. Plant Prot. 18, 107-110.

Kim, H.Y., Kim, J.H., Kang, S.H., Lee, Y.H., Choi, M.Y., 2009. Biological control of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) on cucumber, using *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae). Korean J. Appl. Entomol. 48, 355-359.

Kim, J.B., 1990. Developmental period and oviposition of *Pseudogonatopus nudas* Perkins (Hymenoptera : Dryinidae), a nymphal parasitoid of the whitebacked planthopper, *Sogatella furcifera* Horvath (Hornoptera : Delphacidae). Korean J. Appl. Entomol. 29, 165-169.

Kim, J.H., Byeon, Y,.W., Kim, H.Y., Park, C.G., Choi, M.Y., Han, M.J., 2010. Biological control of insect pests with arthropod natural enemies on greenhouse sweet pepper in winter. Korean J. Appl. Entomol. 49, 385-391.

Kim, J.H., Byeon, Y.W., Choi, M.Y., Ji, C.W., Heo, S.Y., Park, E.M., Kang, E.J., 2012. Control efficacy of natural enemies on four arthropod pests found in greenhouse hot pepper. Korean J. Appl. Entomol. 51, 83-90.

Kim, J.H., Byeon, Y.W., Kim, Y.H., Park, C.G., 2006. Biological control of thrips with *Orius strigicollis* (Poppius) (Hemiptera: Anthocoridae) and *Amblyseius cucumeris* (Oudemans) (Acari: Phytoseiidae) on greenhouse green pepper, sweet pepper and cucumber. Korean J. Appl. Entomol. 45, 1-7.

Kim, J.H., Byeon, Y.W., Lee, G.S., Kim, H.Y., 2007. Evaluation of biological control of *Liriomyza trifolii* (Burgess) (Diptera: Agromyzidae) using *Diglyphus isaea* (Walker) (Hymenoptera: Eulophidae) in three seasonal culture types of tomato greenhouse. Korean J. Appl. Entomol. 46, 71-78.

Kim, J.H., Byoun, Y.W., Kim, Y.H., Kim, H.Y., 2007. Ecological characteristics and storage condition of *Diglyphus isaea* (Walker) (Hymenoptera: Eulophidae), an ectoparasite of *Liriomyza trifolii* (Burgess) (Diptera: Agromyzidae). Korean J. Appl. Entomol. 46, 43-49.

Kim, J.H., Cho, J.R., Lee, M.S., Kang, E.J., Byeon, Y.W., Kim, H.Y., Choi, M.Y., 2013. Effect of temperature on the biological attributes of the brown lacewing *Micromus angulatus* (Stephens) (Neuroptera: Hemerobiidae). Korean J. Appl. Entomol. 52, 283-289.

Kim, J.H., Han, M.W., Lee, G.H., Kim, Y.H., Lee, J.O., In, C.J., 1997. Development and oviposition of *Orius strigicollis* (Poppius) (Hemiptera: Anthocoridae) reared on three different insect preys. Korean J. Appl. Entomol. 36, 166-171.

Kim, J.H., Kim, H.Y., Byeon, Y.W., Choi, M.Y., Kang, E.J., 2012. Effect of temperature on the development, oviposition and predation of the bigeyed bug, *Geocoris pallidipennis* Costa (Hemiptera: Lygaeidae). Korean J. Appl. Entomol. 51, 461-467.

Kim, J.H., Kim, H.Y., Byeon, Y.W., Kim, Y.H., 2008. Biological characteristics of two natural enemies of thrips, *Orius strigicollis* (Poppius) and *O. laevigatus* (Fieber) (Hemiptera: Anthocoridae).

Korean J. Appl. Entomol. 47, 421-428.

Kim, J.H., Kim, H.Y., Han, M.J., Choi, M.Y., Hwang, S.J., 2009. Cold storage effect on the biological characteristics of *Orius laevigatus* (Fieber) (Hemiptera: Anthocoridae) and *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae). Korean J. Appl. Entomol. 48, 361-368.

Kim, J.K., 1993. Natural enemies of *Dryocosmus kuriphilus* Yasumastu (Hymenoptera: Cynipidae) and their seasonal prevalence of adult emergence in Korea. Korean J. Appl. Entomol. 32, 285-290.

Kim, K.C., Choi, D.S., 2000. Natural enemies of citrus red mite, *Panonychus citri* McGREGOR, and seasonal occurrence of major predators on yuzu tree (*Citrus junos*). Korean J. Appl. Entomol. 39, 13-19.

Kim, K.C., Lee, H.B., 1998. Natural enemies of the black pine bast scale (*Matsucoccus thunbergianae*) in the black pine forests. Korean J. Appl. Entomol. 37, 73-80.

Kim, N.K., Na, J.H., Ryoo, M.I., 2000. Effect of temperature on the development of *Bracon hebetor* (Hymenoptera: Braconida) parasitizing Indian meal moth (Lepidoptera: Pyralidae). Korean J. Appl. Entomol. 39, 275-279.

Kim, S.G., Kim, D.I., Park, J.D., Choi, H.G., Yu, Y.M., 2003. Pathogenicity of *Spodoptera litura* nucleopolyhedrovirus with different temperatures. Korean J. Appl. Entomol. 42, 159-163.

Kim, S.G., Kim, D.I., Park, J.D., Park, I.J., Lim, D.J., Kim, K.J., 2001. Effect of nuclear polyhedrosis virus and neemazal-t/s on *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae). Korean J. Appl. Entomol. 40, 137-141.

Kim, S.G., Park, J.D., Kim, D.I., Choi, H.G., Kim, S.S., Hwang, I.C., 2004. Effects of different temperatures on pathogenicity off *Spodoptera exigua* nucleopolyhedrovirus (SeNPV). Korean J. Appl. Entomol. 43, 329-332.

Kim, S.G., Park, J.D., Kim, D.I., Lim, D.J., Kim, K,J., Yu, Y.M., 2003. Effects of field application of *Spodoptera litura* nucleopolyhedrovirus to control *S. litura* in chrysanthemum. Korean J. Appl. Entomol. 42, 153-157.

Kim, T.H., Kim, J.S., 2004. Development and adult life span of *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani) (Diptera: Cecidomyiidae) fed on the melon aphid, *Aphis gossypii* Glover or the green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae). Korean J. Appl. Entomol. 43, 297-304.

Kim, Y., Heo, H., Kim, G.S., Hahm, E., Kim, J., Kang, S., Kwon, K., 2009. Effect of a low temperature-induced quiescence on short term storage of an egg parasitoid, *Trichogramma* sp. Nabis101. Korean J. Appl. Entomol. 48, 369-375.

Kim, Y.H., Kim, .H., Park, S.G., Jang, J.H., Kim, D.H., 1999. Biological control of *Tetranychus urticae* using *Phytoseiulus persimilis* in strawberry. RDA Research Report, p. 48.

Kim, Y.H., Kim, J.H., 2003. Biological control of aphids on cucumber in plastic green houses using banker plants. Korean J. Appl. Entomol. 42, 81-84.

Kwon, G.M., Lee, Y.I., Lee, S.W., Choi, K.H., 1998. Development and prey consumption of phytoseiid mites, *Amblyseius womersleyi*, *A. fallacis*, and *Typhlodromus occidentalis* under controlled environments. Korean J. Appl. Entomol. 37, 53-58.

Lee, G.H., Lee, S.C., Choi, M.Y., Kim, D.H., 2000. Prey consumption and suppression of vegetable aphids by *Chrysopa pallens* (Neuroptera: Chrysopidae) as a predator. Korean J. Appl. Entomol. 39, 251-251.

Lee, H.K., Lee, S.G., Park, I.K., 2009. Biological characteristics of *Endasys liaoningensi* (Hymenoptera: Ichneumonidae), as a parasitoid of *Pachynematus itoi* (Hymenoptara: Tenthredinidae). Korean J. Appl. Entomol. 48, 553-556.

Lee, K.S., Lee, D.W., Kim, H.H., Lee, S.M., Choo, H.Y., Shin, H.K., 2005. Pathogenicity of entomopathogenic nematodes to *Popillia quadriguttata* (Coleoptera: Scarabaeidae) adult. Korean J. Appl. Entomol. 44, 145-150.

Lee, K.Y., Lim, U.T., Cho, J.R., Choi, S.U., Choi, Y.S., Lee, J.G., Ham, U.H., 2020. R&D planning report for revitalizing the natural enemy agriculture. Rural Development Administration.

Lee, S.M., Choo, H.Y., Park, Y.D., 1997. Entomopathogenic fungi, *Beauveria* and *Metarhizium* in the southern Korea. Korean J. Appl. Entomol. 36, 37-42.

Lee, S.M., Lee, D.W., Choo, H.Y., Park, B.D., 1997. Effects of pesticides on the pathogenicity of entomopathogenic fungi, *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*. Korean J. Appl. Entomol. 36, 179-184.

Lee, S.M., Lee, D.W., Choo, H.Y., Park, J.W., 1997. Pathogenicities of *Beauveria bassiana* GY1-17 against some agro-forest insect pests. Korean J. Appl. Entomol. 36, 351-356.

Lee, Y.S., Jang, M.J., Lee, H.J., Jung, G.H., Joo, Y.C., 2014. A study on quality improvement to enhance the utilization of indigenous natural enemy in Gyeonggi Province. Gyeonggi Agricultural Research & Extension Services Agric. Exp. Res. Rept., pp.449-510.

Lee, Y.S., Lee, H.A., Lee, H.J., Choi, J.Y., Lee, S.W., Hong, S.S., Jang, M.J., 2019. Push-pull strategy for control of sweet-potato whitefly, *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) in a tomato greenhouse. Korean J. Appl. Entomol. 58, 209-218.

Li, L.Y., 1992. *In vitro* rearing of parasitoids of insect pests in China. Korean J. Appl. Entomol. 31, 241-246.

Lim, E.T., Park, K.S., Mahamoud, A.M.A., Jung, C.E., 2007. Areal distribution and parasitism on other soybean bugs of *Trissolcus nigripedius* (Hymenoptera: Scelionidae), an egg parasitoid of *Dolycoris baccarum* (Heteroptera: Pentatomidae). Korean J. Appl. Entomol. 46, 79-85.

McCravy, K.W., 2008. Conservation biological control. in: Capinera, J.L. (Ed). Encyclopedia of entomology. Springer, Dordrecht. doi: 10.1007/978-1- 4020-6359-6_812

Moon, H.C., Kim, W., Choi, M.K., Shin, Y.G., Kim, D.H., Hwang, C.Y., 2011. Biological control of cotton aphid by

Aphidius colemani (Hymenoptera : Braconidae) in watermelon greenhouses. Korean J. Appl. Entomol. 50, 79-82.

Moon, H.C., Lim, J.R., Kim, J., Ryu, J., Ko, B.R., Kim, D.H., Hwang, C.Y., 2006. Biological control of *Tetranychus urticae* by *Phytoseiulus persimilis* in eggplant greenhouse houses. Korean J. Appl. Entomol. 45, 173-177.

Moon, H.C., Lim, J.R., Ryu, J., Shin, Y.K., Hwang, C.Y., 2007. Occurrence of *Liriomyza trifolii* and its biological control using *Neochrysocharis formosa* in eggplant greenhouse. Korean J. Appl. Entomol. 46, 425-430.

Na, J.H., Chun, Y.S., Ryoo, M.I., 2005. Suppression of Indian meal moth (Lepidoptera: Pyralidae) by iterative mass release of *Bracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) in wheat elevators. Korean J. Appl. Entomol. 44, 237-241.

Na, S.Y., Paik, C.H., Lee, G.H., Kim, D.H., 2009. Biological Control of *Polyphagotarsonemus latus* (Acari: Tasonemidae) by *Amblyseius cucumeris* (Acari: Phytoseiidae). Korean J. Appl. Entomol. 48, 347-354.

NAS, 2018. A report on measures to vitalize the natural enemy industry in Korea. National Institute of Agricultural Sciences.

Neuenschwander, P., Schulthess, F., Madojemu, E., 1986. Experimental evaluation of the efficiency of *Epidinocarsis lopezi*, a parasitoid introduced into Africa against the cassava mealybug *Phenacoccus manihoti*. Entomol. Exp. Appl. 42, 133-138.

Paik, C.H., Hwang, C.Y., Lee, G.H., Kim, D.H, Choi, M.Y., Na, S.Y., Kim, S.S., 2003. Development, reproduction and longevity of predator *Orius sauteri* Poppius (Hemiptera: Anthocoridae) when reared on three different preys. Korean J. Appl. Entomol. 42, 35-41.

Paik, C.H., Lee, G.H., Hwang, C.Y., Kim, S.J., 2010. Predatory response of the pirate bug, *Orius sauteri* Poppius (Heteroptera: Anthocoridae) on *Frankliniella occidentalis*, *Aphis gossypii* and *Tetranychus urticae*. Korean J. Appl. Entomol. 49, 401-407.

Park, B.Y., Jeong, I.H., Kim, G.H., Jeon, S.W., Lee, S.K., 2019. Temperature- dependent longevity and fecundity of *Propylea japonica* Thunberg (Coleoptera: Coccinellidae) and its predation amount on two aphid species. Korean J. Appl. Entomol. 58, 77-83.

Park, Y.K., Lee, H.P., Lee, K.S., Han, M.W., Lee, J.O., 1999. Effect of photoperiod on oviposition and emergence of egg parasitoid, *Trichogramma dendrolimi* Mastumura (Hymenoptera, Trichogrammatidae). Korean J. Appl. Entomol. 38, 93-99.

Riley, C.V., 1895. Notes from California: results of Mr. Korbele's second mission to Australia. Proc. Emtomol. Soc. Wash. 3, 250-252.

Rodriguez, J.G., 1958. The comparative NPK nutrition of *Pananychus ulmi* (Koch) and *Tetranychus urticae* (L.) on apple trees. J. Econ. Entomol. 51, 369-373.

Ryu, K.S., Jin, B.R., Kang, S.K., 1991. Biochemical characteristics of the granulosis viruses proteins of common cabbage worm, *Pieris rapae* and *Pieris brassicae*. Korean J. Appl. Entomol. 30, 180-186.

Ryu, M.O., 1997. Four species of the phytoseiid mites from Cheju island in Korea (Acari, Phytoseiidae). Korean J. Appl. Entomol. 36, 129-133.

Sahad, K.A., Hirashima, Y., 1984. Taxonomic studies on the Genera *Gonatocerus* Nees and *Anagrus* Haliday of Japan and adjacent regions, with notes on their biology (Hymenoptera, Mymaridae). Bull. Inst. Trop. Agr. Kyushu Univ. 7, 1-78.

Sauer, J.D., 1993. Historical geography of crop plants: a select roster. CRC Press, Boca Raton.

Seo, B.Y., Cho, J.R., Park, C.G., Kim, J.H., Lee, G.S., Kim, K.H., Jung, J.K., Hong, S.J., Ahn, K.S., 2018. Introduction of *Neodrynius typhlocybae* and biological control of invasive *Metcalfa pruinosa*. International Joint Conference on Plant Protection. Korea, Soc. Appl. Entomol. Fall proceeding abstract. pp. 414-414.

Seo, J.B., Jin, B.R., Shin, S.C., Park, H.Y., Lee, B.Y., Lee, C.K., Kang, S.K., 1995. Isolation of entomopathogenic fungi for infection to the pine gall midges, *Thecodiplosis japonensis* from the forest soil in Korea. Korean J. Appl. Entomol. 34, 368-372.

Seo, M., Kim, J.H., Seo, B.Y., Park, C., Choi, B.R., Kim, K.H., Ji, C.W., Cho, J.R., 2018. Mass-rearing techniques of *Anastatus orientalis* (Hymenoptera: Eupelmidae), as the egg-parasitoid of *Lycorma delicatula* (Hemiptera: Fulgoridae): an using method of *Antheraea pernyi* (Lepidoptera: Saturniidae) and *L. delicatula* eggs in laboratory. Korean J. Appl. Entomol. 57, 243-251.

Seo, M., Kim, J.H., Seo, B.Y., Park, H.H., Ji, C.W., Park, B.Y., Lee, S.G., Cho, J.R., 2019. Effect of cold storage on parasitism and survival of *Aphidius colemani* and *Meteorus pulchricornis*. Korean J. Appl. Entomol. 58, 321-327.

Seo, M.J., Kim, J.H., Seo, B.Y., Park, B.Y., Lee, S.G., Kim, K.H., Cho, J.R., 2019. Effect of cold storage on quality of *Geocoris pallidipennis* and *Micromus angulatus*. Korean J. Appl. Entomol. 58, 151-157.

Seo, M.J., Youn, Y.N., 2000. The Asian ladybird, *Harmonia axyridis*, as biological control agents: Ⅰ. Predacious behavior and feeding ability. Korean J. Appl. Entomol. 39, 59-71.

Seo, S.Y., Ahn, H.N., Eom, S.H., Im, E.Y., Park, J.Y., Kim, Y.G., 2012. Enhanced pathogenicity of *Bacillus thuringiensis* mixed with a culture broth of an entomopathogenic bacterium, *Xenorhabdus* sp. Korean J. Appl. Entomol. 51, 39-45.

Seo, S.Y., Kim, Y.G., 2010. Study on development of novel biopesticides using entomopathogenic bacterial culture broth of *Xenorhabdus* and *Photorhabdus*. Korean J. Appl. Entomol. 49, 241-249.

Song, J.H., Kang, S.H., Lee, K.S., Han, W.T., 2001. Effects of minute pirate bug, *Orius strigicollis* (Hemiptera: Anthocoridae) on control of thrips on hot pepper in greenhouse. Korean J. Appl. Entomol. 40, 253-258.

Speyer, E.R., 1927. An important parasite of the greenhouse whitefly (*Trialeurodes vaporariorum*, Westwood). Bull. Entomol. Res. 17, 301-308.

Tonnoir, A.L., 1937. The biological control of the greenhouse white

fly in Australia. J. Council Sci. Ind. Res. 10, 89-95.
van Driesche, R.G., Bellows, T.S., 1996. Biological control. Springer, Boston, MA. doi: 10.1007/978-1-4613-1157-7
Yeo, Y.S., Chang, Y.D., Goh, H.G., 1990. A morphological observation of an egg parasitoid, *Anagrus incarnatus* Haliday (Hymenoptera: Mymaridae), of the rice planthoppers. Korean J. Appl. Entomol. 29, 1-5.
Yoon, D.H., Nam, K.W., 2015. Application of GLOBAL G.A.P. standards to safety for agricultural products. Korean J. Int. Agric. 27, 50-58.