

강원지역 유기 및 관행 과수원에서의 절지동물 군집 특성 비교

위 준¹, 이용호^{1,2,*}, 홍선희², 조기종³, 오영주⁴, 나채선⁵, 박광래⁶

¹고려대학교 오정리질리언스연구원, ²한경국립대학교 식물자원조경학부, ³고려대학교 환경생태공학과,

⁴㈜미래환경생태연구소, ⁵국립백두대간수목원 야생식물종자연구실, ⁶농촌진흥청 국립농업과학원 농업환경부

Comparison of soil arthropod community characteristics in organic and conventional orchards in Gangwon Province

June Wee¹, Yong Ho Lee^{1,2,*}, Sun Hee Hong², Kijong Cho³, Young Ju Oh⁴, Chae Sun Na⁵ and Kwang Lai Park⁶

¹Ojeong Resilience Institute, Korea University, Seoul 02841, Republic of Korea

²School of Applied Science in Natural Resources & Environment, Hankyong National University, Anseong 17579, Republic of Korea

³Department of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul 02841, Republic of Korea

⁴Institute for Future Environmental Ecology Co., Ltd., JeonJu 54883, Republic of Korea

⁵Seed Conservation Research Division, Baekdudewgan National Arboretum, Bonghwa 36209, Republic of Korea

⁶Department of Agricultural Environment, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Republic of Korea

Contribution to Environmental Biology

- Formicidae and Collembola are most abundant group in orchards in the Gangwon Province, regardless of the fruit type and cultivation practices.
- In assessing the impact of cultivation practices on orchard soil arthropod community, it is essential to consider the complexity arising from the types of fruit and soil characteristics collectively.

*Corresponding author

Yong Ho Lee

Tel. 02-3290-3462

E-mail. yongho@korea.ac.kr

Received: 1 December 2023

Revised: 22 December 2023

Revision accepted: 22 December 2023

Abstract: This study conducted an investigation into the effects of fruit type and cultivation practices (organic and conventional) on soil characteristics and soil arthropod communities within apple, blueberry, grape, peach, and pear orchards. The collection of soil arthropod communities was achieved through the utilization of pitfall traps, with concurrent measurements taken for soil moisture content, electrical conductivity, and temperature. The findings of this study unveiled substantial impacts attributed to fruit type and cultivation practices on soil characteristics. Specifically, within organic apple orchards, discernibly higher levels of soil moisture content, electrical conductivity, and temperature were observed when compared to their conventional counterparts. The investigation into soil arthropod communities yielded a total of 1,527 individuals, classified into five phyla and 15 orders. The range of abundance, species richness, and diversity indices varied across conventional and organic orchards. Cultivation practices were found not to exert a significant influence on soil arthropod community characteristics. However, Non-metric Multidimensional Scaling (NMDS) analysis indicated a significant differentiation in soil arthropod community structure based on cultivation practices. This study underscores the importance of considering vegetation structure and environmental

characteristics that may influence soil arthropod communities comprehensively when assessing the impact of cultivation practices on soil arthropods. Furthermore, it emphasizes the need to account for both the characteristics and structure of soil arthropod communities in understanding the implications of cultivation practices on these organisms.

Keywords: organic farming, soil physicochemical properties, pitfall, Formicidae, Collem-bola

1. 서 론

농업 관행은 전 세계적인 생물다양성 감소의 주요한 요인으로 지목되어 왔다(IPBES 2019). 비료와 농약의 과다 사용, 대규모 단일 작물의 재배, 과도한 경운 등으로 대표되는 강화된 농업 관행은 생물들에게 직접적으로 부정적인 영향을 미칠 수 있을 뿐만 아니라, 농생태계를 단조롭게 만들어 다양한 서식지를 감소시킬 수 있기 때문이다(Guedes *et al.* 2016; Raven and Wagner 2021). 농생태계가 높은 생물다양성을 가지고 있으며, 작물 생산을 비롯한 다양한 생태계 서비스를 제공할 수 있다는 사실을 감안할 때(Zabala *et al.* 2021), 농업 관행이 생물다양성에 미치는 영향을 규명할 필요가 있으며, 이를 최소화하기 위한 노력이 필요하다.

유기농 농업, 작물 다양성 증진 등 다양한 방법들이 농업 관행의 부정적인 영향을 최소화하기 위한 방안으로 제시되어 왔다(Ponisio *et al.* 2015). 우리나라에서도 친환경농업 육성 및 유기식품 등의 관리·지원에 관한 법률에 근거하여, 유기농산물과 무농약농산물 인증 제도를 도입하고 친환경 농업을 장려하고 있다. 국립농산물품질관리원의 친환경 인증관리 정보시스템(<https://www.enviagro.go.kr/>)에 따르면 유기농산물은 농업생태계를 건강하게 유지·보전하고 환경오염을 최소화하는 경작원칙을 적용하여 합성 농약과 화학비료를 사용하지 않고, 작물 돌려짓기(윤작) 등 유기재배 방법에 따라 생산한 농산물로 정의된다. 유기농산물의 경제적 이점으로 인하여 유기농산물을 생산하는 농가는 증가하고 있는 추세이나(KREI 2019), 유기농산물 재배가 생물다양성에 미치는 영향에 대한 연구는 부족한 실정이다.

농생태계에 존재하는 다양한 생물 군집 중 토양 절지동물 군집은 농생태계에서 핵심적인 역할을 수행할 수 있다. 그들은 토양 중의 유기물 분해나 양분 순환에 기여할 뿐만 아니라, 식물과의 상호작용을 통해 생태계 내 균형을 유지

하는 것으로 알려져 있다(Pulleman *et al.* 2012; Mitchell *et al.* 2014). 이러한 중요성에 비추어 볼 때, 토양 절지동물의 다양성은 농생태계의 건강 및 지속 가능성에 큰 영향을 미칠 수 있으며, 재배 방식(관행 농업과 유기 농업)이 농생태계에 미치는 영향을 평가하는 유용한 지표로 이용될 수 있다(Bang *et al.* 2023).

재배 방식이 토양 절지동물의 다양성에 미치는 영향은 재배되고 있는 작물에 따라 달라질 수 있다. 왜냐하면 식물과 토양 절지동물 군집은 먹이 사슬이나 식물토양 피드백(plant-soil feedbacks) 작용 등을 통하여 밀접하게 연관되어 있기 때문이다(Bardgett and Wardle 2010; van der Putten *et al.* 2013). 우리나라 농경지를 대상으로 수행된 연구에서도 작물의 종류에 따라 농생태계의 생물다양성이 달라질 수 있음을 보고하였다(Kim *et al.* 2018). 이와 같은 연구들에 비추어 볼 때, 재배 방식이 농생태계 내 토양 절지동물의 다양성에 미치는 영향을 규명하는 데 있어, 작물의 종류가 고려될 필요가 있다.

본 연구에서는 재배 방식(관행 농업과 유기 농업)과 작물의 종류가 토양 절지동물 다양성에 미치는 영향을 평가하기 위하여, 관행 농업과 유기 농업으로 재배되는 강원도 내 사과, 블루베리, 포도, 복숭아, 배 과수원에 대한 토양 절지동물 군집에 대한 조사를 수행하였으며, 다양성에 영향을 미칠 수 있는 토양 특성에 대한 분석을 수행하였다. 우리는 작물의 종류에 따라 재배 방식이 토양 절지동물 다양성에 미치는 영향이 달라질 것이며, 이런 차이가 토양 특성과 관련이 있을 것이라는 가설을 세웠으며, 본 실험을 통하여 검증하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사 지역 및 조사 시기

본 연구에서는 강원지역에서 관행 과수원과 유기 과수

원의 토양 생물다양성을 비교하기 위해, 강원도 관행 과수원 5곳과 조사 시기 중 유기농산물 인증을 받은 유기 과수원 5곳을 조사 지역으로 선정하였다(Table 1). 국립농산물 품질관리원의 친환경 인증관리 정보시스템(<https://www.enviagro.go.kr/>)에 공개된 정보를 바탕으로 지역과 재배하는 과수가 모두 다른 5곳의 유기 과수원을 선정하였다. 그 후, 사전 탐문을 통하여 유기 과수원과 가장 인접하며 동일한 과수를 재배하는 5곳의 관행 과수원을 선정하였다. 최종적으로 사과(관행: 평창군, 유기: 양양군), 블루베리(원주시, 원주시), 포도(동해시, 삼척시), 복숭아(강릉시, 강릉시), 배(홍천군, 홍천군)를 재배하는 관행 및 유기 과수원이 선정되었다. 계절에 따른 과수원 토양 절지동물의 밀도 변동을 고려하여(Kim *et al.* 2011), 토양 절지동물의 밀도가 가장 높을 것으로 예상되는 8월(2022년) 현장 조사를 수행하였다.

2.2. 토양 절지동물 군집 및 토양 특성 조사

본 연구에서는 관행 및 유기 과수원의 토양 절지동물 군집을 조사하기 위해 함정트랩(pitfall trap)을 활용하였다. 각 과수원의 내부에 5 m 간격으로 4개씩, 총 40개의 함정트랩(PET, 지름: 9.3 cm, 높이: 10.6 cm)을 설치하였다. 함정트랩은 트랩 상단이 지표면과 일치하도록 설치되었으며, 설치 후 70% Ethyl-alcohol을 200 mL 넣어주었다. 설치된 함정트랩은 24시간 후에 회수되었으며, 채집된 절지동물은 70% Ethyl-alcohol로 옮겨 보존하였다. 채집된 개체들은 가능한 종(species) 수준까지 광학현미경을 이용하여, 한국곤충명집(The Entomological Society of Korea 1994)과 한국곤충생태도감(Korean Entomological Institute 1998)에 기반하여 동정하였으며, 종별 개체수가 기록되었다.

토양 절지동물 상과 토양 특성 간의 관계를 파악하기 위해 함정트랩 설치 시, 휴대용 토양 분석기(WT1000N; Mirae Sensor, Republic of Korea)를 사용하여 토양 수분 함량(%), 토양 전기전도도(dS m^{-1}), 토양 온도($^{\circ}\text{C}$)를 측정하였다. 각 과수원에서 4회씩 측정을 반복 후, 기록하였다.

2.3. 통계 분석

조사된 토양 절지동물 군집 자료에 기반하여 10개 조사 지점에 대한 개체수(abundance), Shannon 다양성 지수(diversity index), 종 풍부도(richness)를 산출하였다.

분석에 앞서 산출된 자료들의 등분산성과 정규성을 각각 Levene 검정과 Shapiro-Wilk 검정을 통하여 확인하였다. 과수의 종류와 재배 방식이 토양 특성과 토양 절지동물 군집의 개체수, 다양성 지수, 종 풍부도에 미치는 영향을 파악하기 위하여 이원분산분석(two-way analysis of variance)을 수행하였다. 추가적으로 각 과수별 재배 방식이 토양 특성과 토양 절지동물 군집에 미치는 영향은 t -검정을 통하여 검정되었다($p < 0.05$). 위의 통계분석은 모두 SAS 프로그램(version 9.4, SAS Institute, Cary, NC, USA)을 이용하여 수행되었다. 과수의 종류와 재배 방식에 따른 토양 절지동물의 군집 구조는 Bray-Curtis 거리 행렬에 기반한 Nonmetric multidimensional scaling(NMDS)를 이용하여 시각화되었다. NMDS는 R Studio version 4.2.3의 vegan 패키지에서 제공되는 'metaMDS' 함수를 사용하여 수행되었다. 추가적으로 'adonis2' 함수를 사용한 permutational multivariate analyses of variance(PERMANOVA)(Anderson 2014)를 통해 과수의 종류와 재배 방식에 따른 토양 절지동물 군집의 차이를 검정하였으며, 'evifit' 함수를 사용하여 토양 절지동물 군집과 토양 변수 사이의 상관관계를 분석하였다.

3. 결 과

3.1. 과수 종류와 재배 방식이 토양 특성에 미치는 영향

토양 수분 함량, 토양 전기전도도, 토양 온도의 범위는 관행 및 유기 과수원에서 각각 13.25~27.80%, 0.06~0.55 dS m^{-1} , 26.35~30.88 $^{\circ}\text{C}$ 및 19.70~44.93%, 0.07~0.78 dS m^{-1} , 25.33~29.98 $^{\circ}\text{C}$ 였다(Table 1). 이원분산분석 결과, 과수의 종류는 토양 전기전도도와 토양 온도에 유의한 영향을 미쳤으며, 재배 방식은 토양 수분 함량에 유의한 영향을 미쳤다(Table 2). 토양 수분 함량과 토양 온도에 대해서는 과수의 종류와 재배 방식에 대한 상호작용이 관찰되었다($p < 0.05$). 과수의 종류별 재배 방식의 영향을 파악하기 위해 t -검정을 수행한 결과, 유기 사과 과수원에서 관행 사과 과수원에 비해 유의하게 높은 토양 수분 함량, 토양 전기전도도, 토양 온도가 관측되었다(Table 1). 관행 포도 과수원에서는 유기 포도 과수원에 비해 높은 토양 온도가 관측되었으며, 관행 배 과수원에서는 유기 배 과수원에 비해 높은 토양 전기전도도가 관측되었다($p < 0.05$).

Table 1. GPS coordinates and soil physicochemical characteristics in orchards with different type of crop and management practice

Crop	Management	Location	Water contents (%)	Electrical conductivity (ds m ⁻¹)	Soil temperature (°C)
Apple	Conventional	37°40'23"N 128°36'53"E	13.25 ± 8.33b	0.20 ± 0.18b	26.35 ± 0.73b
	Organic	38°09'08"N 128°35'26"E	44.93 ± 1.91a	0.63 ± 0.12a	28.28 ± 0.36a
Blueberry	Conventional	37°16'55"N 127°56'18"E	17.23 ± 2.19	0.55 ± 0.13	30.88 ± 1.13
	Organic	37°20'26"N 127°58'40"E	19.70 ± 11.4	0.78 ± 0.77	29.98 ± 1.00
Grape	Conventional	37°28'05"N 129°08'18"E	26.08 ± 12.44	0.51 ± 0.30	28.75 ± 0.41a
	Organic	37°11'42"N 129°02'25"E	23.05 ± 1.32	0.08 ± 0.05	25.33 ± 0.68b
Peach	Conventional	37°52'48"N 128°46'54"E	25.73 ± 2.15	0.06 ± 0.06	28.40 ± 0.69
	Organic	37°52'43"N 128°47'09"E	26.68 ± 2.04	0.07 ± 0.00	29.83 ± 1.38
Pear	Conventional	37°49'48"N 128°00'54"E	27.80 ± 3.78	0.42 ± 0.08a	26.35 ± 0.05
	Organic	37°49'42"N 128°00'52"E	30.83 ± 9.99	0.28 ± 0.05b	26.55 ± 0.23

Different letters within each crop are significantly different at a significance level of $\alpha = 0.05$ (t-test).

Table 2. Results of a two-way analysis of variance (ANOVA) for the effects of the type of crop (C) and the management practice (M) on the soil physicochemical properties and soil arthropod community index

Variable	df	Soil properties						Community					
		WC		EC		ST		Abundance		Richness		Diversity	
		F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
Crop (C)	4	2.41	-	3.67	*	27.18	***	2.52	-	3.90	*	1.98	-
Management (M)	1	7.58	**	0.04	-	0.30	-	0.08	-	1.84	-	0.55	-
C × M	4	6.02	**	2.15	-	11.35	***	1.35	-	0.98	-	1.10	-

The levels of statistical significance are expressed as follows: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, and *** $p < 0.001$.

WC: Soil water contents (%); EC: Soil electrical conductivity (ds m⁻¹); ST: Soil temperature (°C)

3.2. 과수 종류와 재배 방식이 토양 절지동물 군집에 미치는 영향

함정트랩을 통하여 전체 10개 과수원에서 절지동물문 내 5강 15목에 속하는 1,527 개체가 채집되었다(Supplementary Table S1). 과수원에서의 우점종은 3종으로 주름개미(*Tetramorium tsushimae*), 툽토기류(*Collembola* sp.), 곰개미(*Formica japonica*)였으며, 아우점종은 8종으로 초파리류(*Drosophila* sp.), 고려작은반딧불토기(*Lepidocyrtus koreanus*), 스무털보툽토기(*Entomobrya vigintisetata*), 포장가시툽토기(*Tomocerus laxalamellus*), 잔털등근툽토기(*Ptenothrix ciliophora*), 툽토기류(*Collembola* sp.), 분개미(*Formica sanguinea*), 모대가리귀뚜라미(*Loxoblemmus doenitzi*)였다(Table 3).

개체수, 종 풍부도, 다양성 지수의 범위는 관행 및 유기 과수원에서 각각 9~93 ind. trap⁻¹, 4.00~17.00, 1.09~1.84 및 27~48 ind. trap⁻¹, 9.50~14.00, 1.33~2.14였다(Table 4). 이원분산분석 결과, 과수의 종류는 풍부도에만 유의한 영향을 미쳤다(Table 2). 재배 방식이 군집 특성에 미친 유의한 영향과 과수의 종류와 재배 방식 사이의 상호작용은 관측되지 않았다. 과수의 종류별 재배 방식의 영향을 파악하기 위해 t-검정을 수행한 결과, 유기 사과 과수원에서 관행 사과 과수원에 비해 유의하게 높은 풍부도와 다양성 지수가 관측되었지만, 그 외 과수에서는 유의한 차이가 발견되지 않았다(Table 4).

NMDS (stress=0.21) 공간에서 과수의 종류 및 재배 방식에 따른 토양 절지동물 군집의 확연한 분리는 관측되지 않았다(Fig. 1). 하지만 PERMANOVA 결과, 토양 절지동

물 군집은 NMDS 공간에서 과수의 종류 ($F=2.92$; $df=4, 35$; $p<0.001$)와 재배 방식 ($F=1.89$; $df=1, 38$; $p<0.001$)에 따라 유의하게 달랐다. 반면, 토양 절지동물 군집과 토양 특성 간의 유의한 상관관은 발견되지 않았다 ($p>0.05$).

4. 고 찰

4.1. 강원 지역 과수원 내 토양 절지동물 군집 특성

강원 지역 과수원에서 발견된 토양 절지동물 군집은 주로 개미류(주름개미 등)와 툽토기류(고려작은반딧불기 등)에 의하여 우점하였다(Table 3). 개미류와 툽토기류는 딱정벌레류와 함께 과수원 토양에서 가장 흔하게 발견되는 절지동물군이다(Sonoda *et al.* 2011). 강원지역을 포함한 우리나라 동부지역 과수원 내 토양 절지동물 군집에 대한 연구에서도, 딱정벌레류와 함께 개미류 및 툽토기류가 우점하고 있음을 확인할 수 있었다(Ahn *et al.* 2017).

본 연구에서 딱정벌레류는 풍부하게 분포하였으나 우점하지는 않았는데, 이는 지역 및 조사 시기에 따른 딱정벌레류 밀도의 높은 변동성에 기인한 것으로 판단된다. 딱정벌레류의 밀도 변동은 먹이원의 유무나, 먹이를 경쟁하는 다른 생물들의 유무에 의하여 크게 달라질 수 있다(Sonoda *et al.* 2011; Russell *et al.* 2017). Sonoda *et al.* (2011)은 일본 복숭아 과수원에 대한 생물다양성 조사를 통하여, 딱정벌레류는 과수원 토양에 풍부하게 분포하지만, 다른 절지동물과의 상호작용으로 인하여 밀도의 변동성이 매우 높

아 과수원에 대한 지표생물로 적절하지 못하다고 보고하였다. 이와 같은 딱정벌레류 밀도의 높은 변동성 때문에, 본 연구에서는 딱정벌레의 우점을 관찰할 수 없었던 것으로 판단된다.

4.2. 과수 종류와 재배 방식이 토양 특성에 미치는 영향

본 연구에서 과수 종류에 따라 토양 온도와 토양 전기전도도의 유의한 차이가 관측되었다(Table 2). 이러한 결과는 과수에 따라 서로 다른 토양과의 상호작용에 기인할 수 있다. 먼저, 토양과 직접적으로 접촉하는 과수의 뿌리는 과수의 종류에 따라 고유의 형태적, 생리적, 기능적 특성들을 가지며, 이런 특성들은 과수와 토양 사이의 물과 양분 이동에 영향을 미칠 수 있다(Atkinson 2000). 과수 종류에 따라 서로 다른 물 및 양분 이동은 토양 온도나 토양 전기전도도와 같은 토양 특성에 영향을 미칠 수 있다. 둘째로, 과수는 종류와 연령에 따라 서로 다른 수관의 형태를 갖는다. 조사된 사과, 블루베리, 포도, 복숭아, 배 과수원의 내 수목의 연령은 모두 상이하였는데, 이러한 차이가 수관 형태의 차이를 만들고 이로 인한 토양 특성의 차이를 야기할 수 있다. 왜냐하면, 토양 온도는 일사량에 따라 크게 달라질 수 있으며(Brady and Weil 2008), 과수원에서의 일사량은 주로 과수의 수관 형성 정도에 따라 달라질 수 있기 때문이다. 마지막으로, 관측된 토양 특성의 차이는 과수와 더불어 형성된 잡초 군집의 차이에 기인할 수 있다. 토양 전기전도도를 포함한 다양한 토양의 물리화학적 성질은 서식하는 식물 군집과 밀접한 관련을 맺는 것으로 알려져 있다(Brady

Table 3. Dominant and subdominant species of soil arthropod communities in orchards with different type of crop and management practice

Crop	Management	Dominant species	Subdominant species
Apple	Conventional	<i>Collembola</i> sp.	<i>Drosophila</i> sp.
	Organic	<i>Collembola</i> sp.	<i>Lepidocyrtus koreanus</i>
Blueberry	Conventional	<i>Collembola</i> sp.	<i>Formica sanguinea</i>
	Organic	<i>Tetramorium tsushimae</i>	<i>Collembola</i> sp.
Grape	Conventional	<i>Tetramorium tsushimae</i>	<i>Entomobrya vigintisetata</i>
	Organic	<i>Formixia japonica</i>	<i>Loxoblemmus doenitzi</i>
Peach	Conventional	<i>Tetramorium tsushimae</i>	<i>Tomocerus laxalamellus</i>
	Organic	<i>Tetramorium tsushimae</i>	<i>Ptenothrix ciliophora</i>
Pear	Conventional	<i>Tetramorium tsushimae</i>	<i>Lepidocyrtus koreanus</i>
	Organic	<i>Tetramorium tsushimae</i>	<i>Drosophila</i> sp.

and Weil 2008; Ma *et al.* 2020). 우리나라 과수원의 식물 다양성이 과수의 종류에 따라 달라질 수 있다는 점에 비추어 볼 때(Kim *et al.* 2019), 본 연구에서 조사된 토양 특성의 차이는 지상부 식물 군집의 차이에 기인한 것으로 판단된다.

재배 방식은 오직 토양 수분 함량에만 유의한 영향을 미쳤다(Table 2). 포도를 제외한 모든 과수의 유기 과수원에서 관행 과수원에 비하여 높은 수분 함량이 관찰되었으나, 유의한 차이는 오직 사과 과수원에서만 발견되었다(Table 1). 이런 차이는 유기 과수원과 관행 과수원의 하부 식생의 차이에 기인할 수 있다. 토양 표면을 덮는 식물의 존재는 토양 수분 함량과 밀접한 관련을 맺고 있음을 감안할 때(Burke *et al.* 2021), 본 연구에서 관찰된 결과 역시 제초제를 사용하지 않는 유기 과수원의 하부 식생에 영향을 받았을 것으로 판단된다. 특히 사과 유기 과수원의 경우 토끼풀(*Trifolium repens*)을 이용한 초생재배를 하고 있었기 때문에, 수분 함량이 더 높았을 것으로 판단된다.

4.3. 과수 종류와 재배 방식이 토양 절지동물 군집에 미치는 영향

식물과 토양 절지동물 군집은 복잡한 상호작용을 통해 서로의 종 풍부도(species richness)에 영향을 미칠 수 있는데, 이러한 상호작용은 식물 토양 되먹임(plant-soil feedbacks) 작용이나 먹이 사슬 등을 통해 이루어지는 것으로 알려져 있다(Bardgett and Wardle 2010; van der Putten *et al.* 2013). 본 연구에서 관찰된 과수 종류에 따른 토

양 절지동물 군집의 차이는 이러한 식물과 토양 절지동물 간의 상호작용으로 인하여 발생한 것으로 판단된다(Table 2). 본 연구에서 관찰된 과수에 따른 토양의 물리화학적 성질의 변화는 이와 같은 추론을 뒷받침한다.

재배 방식에 따른 토양 절지동물 군집 특성의 유의한 차이는 발견되지 않았는데(Table 2), 이에는 여러 요인의 기여했을 것으로 판단된다. 먼저, 단 한 번의 관측으로 인하여 유의한 차이가 발견되지 않은 것일 수 있다. 토양 절지동물의 밀도는 계절에 따라 변동이 큰 것으로 알려져 있다(Sonoda *et al.* 2011; Russell *et al.* 2017). 토양 절지동물 밀도의 큰 변화는 군집 특성의 변화로 이어질 수 있다. Wardle *et al.* (1999)은 7년간의 장기 생물다양성 조사를 통하여, 재배 방식이 토양 절지동물의 군집 특성에 미치는 영향은 계절적 시간적 변화에 따라 달라질 수 있다고 보고하였다. 이러한 결과들에 미루어 볼 때, 재배 방식이 토양 절지동물 군집에 미치는 영향을 명확히 규명하기 위해서는 계절적 시간적 변동성을 고려한 장기적인 연구가 필요할 것으로 판단된다. 둘째로 지역에 따른 토양 절지동물 군집의 차이로 인하여 유의한 차이가 발견되지 않은 것일 수 있다. 강원지역은 태백산맥의 존재로 인하여 다양한 토양 및 기상 조건을 보유하고 있다(<https://soil.rda.go.kr>). 본 연구에서 조사된 과수원들이 영동 및 영서 지역에 걸쳐 넓게 분포한다는 점을 고려할 때, 조사 지점 토양 및 기상 조건의 다양성이 토양 절지동물 군집의 차이를 야기하고 유의한 차이의 도출을 방해했을 수 있다. 하지만 야외 조사에 있어 이와 같은 조건들은 통제될 수 없다. 그러므로, 이러한 한

Table 4. Soil arthropod community index in orchards with different type of crop and management practice

Crop	Management	Abundance	Richness	Diversity index
Apple	Conventional	11 ± 13	4.00 ± 1.87b	1.09 ± 0.26b
	Organic	29 ± 13	10.25 ± 1.92a	1.74 ± 0.20a
Blueberry	Conventional	9 ± 6	5.25 ± 3.19	1.17 ± 0.77
	Organic	27 ± 20	9.50 ± 6.02	1.39 ± 0.54
Grape	Conventional	93 ± 30	17.00 ± 6.28	1.84 ± 0.46
	Organic	46 ± 28	14.00 ± 2.55	2.14 ± 0.29
Peach	Conventional	28 ± 10	10.50 ± 4.72	1.80 ± 0.50
	Organic	48 ± 11	11.50 ± 1.80	1.33 ± 0.24
Pear	Conventional	59 ± 87	7.25 ± 5.17	1.40 ± 0.24
	Organic	33 ± 14	9.50 ± 6.06	1.37 ± 0.84

Different letters within each crop are significantly different at a significance level of $\alpha=0.05$ (*t*-test).

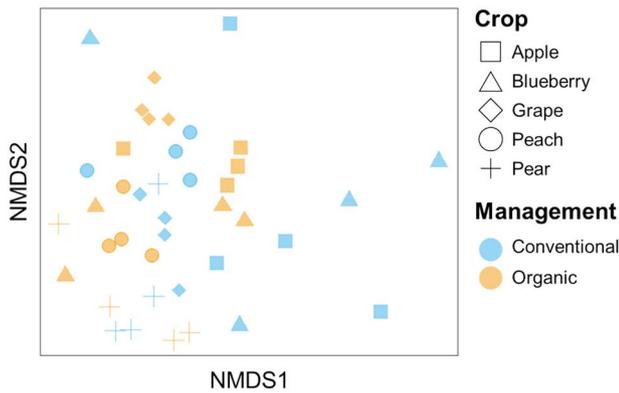


Fig. 1. NMDS ordination plots of soil arthropod community composition in pitfall trap of each orchard with different type of crop (apple, blueberry, grape, peach, and pear) and management practice (conventional and organic).

계의 극복을 위해서는 토양 특성 및 기상 특성에 의한 토양 절지동물 군집의 차이를 구분할 수 있는 통계적 방법론을 기반으로 한 다수의 반복 조사가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

유의한 차이가 확인되지 않았던 군집 특성과 달리, NMDS 공간에서 재배 방식은 토양 절지동물 군집 구조에 유의한 차이를 유발하였다(Fig. 1). 이러한 결과는 재배 방식이 생물다양성에 미치는 영향을 평가하는 데 있어, 군집 특성뿐만 아니라 군집의 구성 역시 고려되어야 함을 시사한다. Reese *et al.* (2016)은 도심지의 토양 미생물 및 개미 군집 조성에 대한 연구에서, 도심지 내 서로 다른 서식지에서 균류 군집의 종 풍부도는 유의한 차이를 보이지 않았지만, 서로 다른 종이 서식하고 있음을 보여주었다. 이러한 차이는 앞서 언급한 바와 같이 재배 방식에 따른 하부식생에 차이에 기인할 수 있다. Wardle *et al.* (1999)은 재배 방식이 다른 농경지에 대한 장기조사를 통하여 절지동물의 군집 구조가 잡초 군집 구조와 상관관계가 있음을 보여주었다. 이러한 결과들에 비춰볼 때, 본 연구에서도 하부식생의 차이에 따라 토양 절지동물 군집 구조에 차이가 발생한 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 강원 지역 유기 및 관행 과수원에서 토양 특성과 토양 절지동물 군집이 과수의 종류에 따라 달라질 수 있음을 보여주었다. 하지만 재배 방식에 의한 토양 절

지동물 군집 특성의 유의한 차이는 발견되지 않았는데, 이는 토양 절지동물 군집 특성이 과수의 종류, 토양 특성, 기상 특성 등에 따라 큰 변동성을 갖고 있기 때문으로 판단된다. 반면 토양 절지동물 군집 구조는 재배 방식에 의하여 유의한 영향을 받았는데, 이는 재배 방식에 따른 하부식생의 차이가 군집 구조에 영향을 미친 것으로 판단된다. 결론적으로, 본 연구는 재배 방식이 토양 절지동물에 미치는 영향을 파악하는 데 있어, 토양 절지동물 군집에 영향을 미칠 수 있는 과수의 종류, 토양 특성, 기상 특성 등이 종합적으로 고려되어야 하며, 토양 절지동물 군집의 특성뿐만 아니라 구조도 고려되어야 함을 시사한다.

적 요

본 연구는 사과, 블루베리, 포도, 복숭아, 배 과수원에서 과수의 종류와 재배 방식(유기 및 관행)이 토양 특성 및 토양 절지동물 군집에 미치는 영향을 조사하였다. 함정트랩을 사용하여 토양 절지동물 군집을 조사하였으며, 조사 당시의 토양 수분 함량, 전기전도도, 온도가 조사되었다. 결과적으로, 과수의 종류와 재배 방식은 토양 특성에 유의한 영향을 미쳤다. 특히, 유기 사과 과수원에서는 관행 사과 과수원에 비해 높은 토양 수분 함량, 전기전도도, 온도가 관측되었다. 토양 절지동물 군집에 대한 조사를 통해서 5강 15목에 속하는 1,527 개체가 채집되었다. 개체수, 종 풍부도, 다양성 지수의 범위는 관행 및 유기 과수원에서 각각 9~93 ind. trap⁻¹, 4.00~17.00, 1.09~1.84 및 27~48 ind. trap⁻¹, 9.50~14.00, 1.33~2.14였다. 재배 방식은 토양 절지동물 군집 특성에 유의한 영향을 미치지 않았다. 하지만 NMDS (Non-metric Multidimensional Scaling) 분석 결과, 재배 방식에 따라 토양 절지동물 군집 구조가 유의하게 다를 수 있음을 확인하였다. 본 연구는 재배 방식이 토양 절지동물에 미치는 영향을 파악하는데 있어, 토양 절지동물 군집에 영향을 미칠 수 있는 식생 군집 및 환경 특성이 종합적으로 고려되어야 하며, 토양 절지동물 군집의 특성뿐만 아니라 구조도 고려되어야 함을 시사한다.

CRedit authorship contribution statement

J Wee: Investigation, Writing-Original draft. **YH Lee:** Supervision, Investigation, Writing-Review & editing. **SH**

Hong: Writing-Review & editing. **K Cho:** Conceptualization, Resources. **YJ Oh:** Investigation, Methodology. **CS Na:** Conceptualization, Formal analysis. **KL Park:** Supervision, Resources.

Declaration of Competing Interest

The authors declare no conflicts of interest.

SUPPORTING INFORMATION

Supporting information related to this paper can be found at <https://doi.org/10.11626/KJEB.2023.41.4.530>.

사 사

본 연구성과는 농촌진흥청(과제번호: PJ016062032023)의 지원에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- Ahn CH, YJ Oh, SM Ock, WJ Lee, SI Sohn, MH Kim, YE Na and CS Kim. 2017. The comparison of community characteristics of ground-dwelling invertebrates according agroecosystem types in the Eastern region of the Korean Peninsula. *Korean J. Appl. Entomol.* 56:29–39. <https://doi.org/10.5656/KSAE.2016.11.0.056>
- Anderson MJ. 2014. Permutational multivariate analysis of variance (PERMANOVA). *Wiley StatsRef, Statistics Reference Online*. UK. pp. 1–15. <https://doi.org/10.1002/9781118445112.stat07841>
- Atkinson D. 2000. *Root Characteristics: Why and What to Measure*. Root Methods. Springer. Berlin, Germany. pp. 1–13. https://doi.org/10.1007/978-3-662-04188-8_1
- Bang JH, IC Shin, YM Lee, DG Lee, MJ Park, S Lee, HJ Yoon, SG Park, YI Kuk and SJ Hong. 2023. Characteristics of benthic macroinvertebrate community and distribution of golden apple snail in certified environmentally-friendly paddy field complexes of South Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 41:126–137. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2023.41.2.126>
- Bardgett RD and DA Wardle. 2010. *Aboveground-Belowground Linkages: Biotic Interactions, Ecosystem Processes, and Global Change*. Oxford University Press. Oxford, UK.
- Brady NC and RR Weil. 2008. *The Nature and Properties of Soils*. 14th ed. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey, USA.
- Burke JA, KL Lewis, GL Ritchie, PB DeLaune, JW Keeling, V Acosta-Martinez, JM Moore and T McLendon. 2021. Net positive soil water content following cover crops with no tillage in irrigated semi-arid cotton production. *Soil Tillage Res.* 208:104869. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104869>
- Guedes RNC, G Smagghe, JD Stark and N Desneux. 2016. Pesticide-induced stress in arthropod pests for optimized integrated pest management programs. *Annu. Rev. Entomol.* 61:43–62. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-010715-023646>
- IPBES. 2019. *Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services* (Bronzizio ES, J Settele, S Díaz and HT Ngo, eds.). IPBES secretariat. Bonn, Germany. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3831673>
- Kim DI, SG Kim, SJ Ko, BR Kang, DS Choi, GH Lim and SS Kim. 2011. Biodiversity of invertebrate on organic and conventional pear orchards. *Korean J. Org. Agric.* 19:93–107.
- Kim H, KJ Kim, Y Sun, YJ Jo, TY Kim and MJ Moon. 2018. Change in biodiversity and community structures in agricultural fields depending on different farming methods. *Korean J. Org. Agric.* 26:687–706. <https://doi.org/10.11625/KJOA.2018.26.4.687>
- Kim MH, HK Nam, J Eo and YJ Song. 2019. Floristic features of orchards in South Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 37: 447–466. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2019.37.4.447>
- Korean Entomological Institute. 1998. *Insects Life in Korea*, 1st ed.. Korean Entomological Institute, Korea University. Seoul, Korea.
- KREI. 2019. *The Current Status and Future Challenges of Organic Agricultural Production and Consumption in 2019*, both Domestic and International. Korea Rural Economic Institute. Naju, Korea.
- Ma T, X Deng, L Chen and W Xiang. 2020. The soil properties and their effects on plant diversity in different degrees of rocky desertification. *Sci. Total Environ.* 736:139667. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139667>
- Mitchell MG, EM Bennett and A Gonzalez. 2014. Agricultural landscape structure affects arthropod diversity and arthropod-derived ecosystem services. *Agric. Ecosyst. Environ.* 192: 144–151. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.04.015>
- Poniso LC, LK M’Gonigle, KC Mace, J Palomino, P Valpine and C Kremen. 2015. Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. *Proc. R. Soc. B-Biol. Sci.* 282:20141396. <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.1396>
- Pulleman M, R Creamer, U Hamer, J Helder, C Pelosi, G Peres and M Rutgers. 2012. Soil biodiversity, biological indicators and soil ecosystem services - an overview of European approaches. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 4:529–538. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2012.10.009>

- Raven PH and DL Wagner. 2021. Agricultural intensification and climate change are rapidly decreasing insect biodiversity. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 118:e2002548117. <https://doi.org/10.1073/pnas.2002548117>
- Reese AT, A Savage, E Youngsteadt, KL McGuire, A Kolling, O Watkins, SD Frank and RR Dunn. 2016. Urban stress is associated with variation in microbial species composition - but not richness - in Manhattan. *ISME J.* 10:751-760. <https://doi.org/10.1038/ismej.2015.152>
- Russell MC, J Lambrinos, E Records and G Ellen. 2017. Seasonal shifts in ground beetle (Coleoptera: Carabidae) species and functional composition maintain prey consumption in Western Oregon agricultural landscapes. *Biol. Control* 106:54-63. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.12.008>
- Sonoda S, Y Izumi, Y Kohara, Y Koshiyama and H Yoshida. 2011. Effects of pesticide practices on insect biodiversity in peach orchards. *Appl. Entomol. Zool.* 46:335-342. <https://doi.org/10.1007/s13355-011-0041-2>
- The Entomological Society of Korea. 1994. Name Enumeration of Korean Insect, 1st ed.. Konkuk University Press. Seoul, Korea.
- van der Putten WH, RD Bardgett, JD Bever, TM Bezemer, BB Casper, T Fukami, P Kardol, JN Klironomos, A Kulmatiski, JA Schweitzer, KN Suding, TFJ van de Voorde and DA Wardle. 2013. Plant-soil feedbacks: the past, the present and future challenges. *J. Ecol.* 101:265-276. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12054>
- Wardle DA, KS Nicholson, KI Bonner and GW Yeates. 1999. Effects of agricultural intensification on soil-associated arthropod population dynamics, community structure, diversity and temporal variability over a seven-year period. *Soil Biol. Biochem.* 31:1691-1706. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(99\)00089-9](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00089-9)
- Zabala JA, JM Martínez-Paz and F Alcon. 2021. A comprehensive approach for agroecosystem services and disservices valuation. *Sci. Total Environ.* 768:144859. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144859>