

두둑을 재활용한 한국형 무경운 유기 농업
V. 분할 관수와 유기물 처리에 의한 시설 무경운 유기재배
고추의 수량 및 토양 화학성과 미소 곤충의 변화

양승구* · 김도익** · 김희권** · 양정고*** · 한연수**** · 정우진*****

Korean-Style of No-Tillage Organic Agriculture on Recycled Ridge
V. Changes in Pepper Yield, Soil Chemical Properties and
Distribution of Animalcule with Split Irrigation and Organic Matter
at Plastic Film Greenhouse Soil in Organic Cultivation of
No-Tillage Systems

Yang, Seung-Koo · Kim, Do-Ik · Kim, Hee-Kwon · Yang, Jung-Ko ·
Han, Yeon-Soo · Jung, Woo-Jin

This study was carried out to investigate the hot pepper yield, chemical properties of soil and distribution of animalcule with split irrigation and input of organic matter under no-tillage hot pepper green house condition. After experiment, soil pH maintained range of 5.6~6.2 in whole treatments. Organic matter content of soil was range of 32~42g · kg⁻¹. Soil salinity (EC) content of soil was range of 1.0~2.7 dS · m⁻¹. Exchangeable cations in soil were range of 0.08~0.24 cmol⁺ · kg⁻¹ in K, 9.5~12.8 cmol⁺ · kg⁻¹ in Ca, and 2.7~3.2 cmol⁺ · kg⁻¹ in Mg. Available phosphorus (P₂O₄) content in soil was range of 1,011~1,137 mg · kg⁻¹. Yield of pepper was more decreased in treatment of soybean cake fertilizer than no-treatment of soybean cake fertilizer. Yield of pepper in treatment of soybean cake fertilizer was increased at 33% of standard fertilizer application. Yield of pepper in no-treatment of soybean cake fertilizer was increased at 33% and 66% of standard fertilizer

* Corresponding author, 전라남도농업기술원 친환경농업연구소(sky3878@korea.kr)

** 전라남도농업기술원 친환경농업연구소

*** 전라남도보건환경연구원

**** 전남대학교 농업생명과학대학 식물생명공학부

***** Co-corresponding author, 전남대학교 농업생명과학대학 농화학부 친환경농업연구소(woojung@jnu.ac.kr)

application. Number of fruits was increased range of 12.5~34.9% at half division irrigation compared with whole quantity irrigation. Yield of pepper was increased range of 13.5~34.4% at half division irrigation compared with whole quantity irrigation. Nine index of nature status and 271 Individual were captured in treatment of soybean cake fertilizer. Five index of nature status and 54 Individual were captured in treatment of soybean cake fertilizer. Nature status for environmental change as index organism was 11 points and 5 points, at treatment of soybean cake fertilizer and no-treatment of soybean cake fertilizer, respectively.

Key words : *biological diversity, fertilizer, irrigation, nature, organic*

I. 서 론

최근 우리나라는 사회가 발전하고 소비자들의 요구가 다양화되면서 환경에 대한 관심의 증가로 농업생태계의 다양성과 건전성을 향상시키는 유기농업에 대한 관심도 증대되고 있다(Ma and Joachim, 2006; Kim et al., 2016). Kim 등(2016)에 따르면 농업생태계는 영농과정에서 끊임없는 교란이 일어나며 교란의 성격과 방법에 따라 서식생물의 종 구성과 밀도에 큰 영향을 받는다고 하였다(Bengtsson et al., 2005). 토양 생태계의 다양성은 농업형태에 따라서 달라지는데, 친환경농업이 실질적으로 농업 생태계에서 생물 다양성 보전과 같은 환경 보전 기능을 가지고 있는지에 대한 연구가 최근에 시작되고 있다(Kim et al., 2011; Lee et al., 2013; Yang et al., 2017a). 이와 같은 문제점의 해결방안의 하나로 최근 앵그루 작물을 재배할 때 만들어진 기존의 두둑과 고랑을 재활용하여 다음 작물을 재배하는 한국형 무경운 농업은 생산비가 절감되고, 농가소득이 증대되며(Yang et al., 2012b), 투입부분의 탄소의 절감과 온실가스의 발생이 감소되는(Yang et al., 2017a) 저탄소 녹색 농업기술로(Lee et al., 2012) 평가되고 있다.

무경운 토양은 경운 토양에 비하여 관입저항이 현저하게 감소되어 작토층의 깊이가 증가되기 때문에(Yang and Jung, 2016) 작물재배 시 동일한 시비조건에서 경운토양에 비하여 염류농도가 낮아지고 토양에 무기성분 농도가 저하되는 것으로 보고되고 있다(Yang et al., 2014; 2015a). 또한 무경운 토양은 경운토양에 비하여 토양에 습도의 편차가 감소되는 효과도 인정되고 있다(Yang et al., 2015b). 뿐만 아니라 무경운 토양은 경운토양에 비하여 토양 교란이 감소되기 때문에 식물 잔사를 기계적으로 분쇄하거나 이동시키는 등 토양 생태계에서 중요한 역할을 하는 토양 동물과(Choi, 1996; Cobo et al., 2002; Filser, 2002; Yang et al., 2017), 유기물을 분해하는 토양 미생물(Siepel and Maaskamp, 1994; Heneghan et al., 1999; Eo et al., 2010) 등 생물다양성이 증가되며, 자연 환경변화의 지표가 되는 자연도 점수가 높은 것으로 보고되고 있다(Yang et al., 2017a).

한편 농업에 있어서 관수 방법은 수경재배를 제외하고 대부분 1회에 전량 관수하는 것이

V. 분할 관수와 유기물 처리에 의한 시설 무경운 유기재배 고추의 수량 및 토양 화학성과 미소 곤충의 변화

일반적이지만 Yang 등(2015b)에 의하면 1/2량을 먼저 관수하고 1시간 후에 나머지 1/2량을 관수한 결과 수분의 함량은 경운 표토에서 표토와 심토의 수분 편차가 크고, 관수 후 시간의 경과에 따라서 수분함량의 편차가 크게 나났다고 하였다. 그러나 무경운 토양에서는 수분의 편차는 토양의 깊이와 관수 후 시간의 경과에 따른 편차가 미미하여 토양 환경이 안정적이었다고 하였다(Yang et al., 2015b).

일반적으로 작물 재배 전 유기물과 비료의 공급방법은 농촌진흥청에서 제공하는 시비량을 산정하여 토양 표면에 유기물과 비료를 살포하고 8 ~12 cm 깊이로 경운 로타리 작업을 하여 유기물과 비료를 토양에 고루 섞어주는 것이 일반적인 방법이다. 그러나 무경운 농업은 경운 로타리 작업이 생략되기 때문에 유기물과 비료를 토양 표면에 표층시비 할 수 밖에 없다. 따라서 동일한 시비량과 관수량을 토양에 공급하여도 작물과 토양의 미생물과 곤충에 미치는 영향이 달라질 것으로((Yang et al., 2017a) 생각되었다.

따라서 본 논문은 두둑을 재활용한 한국형 무경운 재배 토양에서 대두박 투입과 분할 관수가 고추 생육과 수량 및 토양 화학성과 미소동물에 미치는 영향을 구명하고자 수행한 결과의 보고이다.

II. 재료 및 방법

1. 토양 및 시비관리

본 시험은 1984년부터 시설 채소를 재배하고 있는 전남 나주시 남평읍 평사리 한국저탄소·무경운농업연구회 회장농가의 무농약 인증 토양에서에서 유기재배에 준하여 시험을 수행하였다. 시험 토양의 경운 관리는 2009년 3월부터 경운하지 않고 무경운으로 관리한 JD 중동통 미사질양토에서 시험을 수행하였다. 시험토양은 표토(토양표면에서 12 cm 깊이까지)와 심토(12 cm 깊이에서 24 cm 깊이까지)를 3반복으로 채취, 건조하여 무기성분을 분석하였다(Table 1).

Table 1. Chemical characteristics of soil used in experiment (29th Dec. 2009)

Soil deep*	pH (1:5)	OM (g kg ⁻¹)	Available P ₂ O ₄ (mg kg ⁻¹)	K	Ca	Mg	CEC	EC (dS m ⁻¹)
				Exch. cation (cmolc kg ⁻¹)				
Top soil	5.93	34.0	818	0.30	10.46	2.35	14.87	1.610
Deep soil	5.85	25.0	697	0.22	9.46	2.22	13.66	1.235

* Top soil deep: surface soil~12cm, Deep soil : 12 cm ~ 24 cm

토양 pH 및 EC (Electric Conductivity), 유기물 유효인산, 질소, 교환성 양이온 함량을 분석하였다.

토양 pH 및 EC는 풍건토양 5 g에 증류수 25 ml를 넣고(1:5 H₂O법) 180 rpm에서 30분 교반 후 1시간 방치 후 pH meter (ORION STAR A214, America)와 EC meter (ORION STAR A212, America)로 측정하였다. 유기물은 CN 기기분석 방법으로 CN 기기 매뉴얼에 준하여 측정하였다. 유효인산은 토양 5 g에 침출액 20 ml를 넣고 10분간 진탕한 후 No.2 여과지(Advantec, 110 mm)로 여과한 여과액을 UV-VIS spectrophotometer (Cary8454 UV-Vis, Germany)를 사용하여 720 nm에서 흡광도를 측정하는 Lancaster법으로 분석하였다. 토양내 질소는 풍건토양 2 g을 원소분석기(Elementar, Vario MAX CN, Germany)를 이용하여 측정하였다. 토양내 교환성양이온 Ca, K, Mg은 풍건토양을 1N Ammonium Acetate (pH 7.0)로 침출하여 No.2 여과지로 여과한 여과액을 유도결합플라즈마분광분석기(ICP-OES, Optima 7300DV, America)를 이용하여 측정하였다(NIAST, 2000).

시험 처리는 ha당 가공된 발효 대두박(Table 2) 3,000 kg을 투입한 처리와 무 투입 조건에서 시비량은 표준시비량(ha당 N: 225 kg, P: 64 kg, K: 101 kg) 33%와 66%, 100%를 투입하였다(Table 3). 시비 방법은 Table 2의 시중에서 판매되고 있는 유기질비료인 구아노와 해조

Table 2. Composition of minerals at organic fertilizer

Fertilizer	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg
				(%)				
Soybean cake	4.6	12.3	50.2	0.31	0.15	0.48	0.74	0.46
Chenyengegi	3.84	185.3	81.8	8.47	0.14	3.85	1.13	0.42
Palm carbon	11.4	113.1	16.4	0.25	0.01	17.98	2.45	1.36

Table 3. Input amounts of soybean cake and organic fertilizer supplemented into soil (kg ha⁻¹)

Soybean cake fertilizer	Standard fertilizer application*	N	P	K
No treatment	33%	74	21	33
	66%	149	42	67
	100%**	225	64	101
Treatment	33%	84	23	38
	66%	159	46	76
	100%	234	69	115

* Criteria for fertilizer prescription of crops. 2010. RDA. Sanrocksa. Suwon

** Standard fertilizer application

V. 분할 관수와 유기물 처리에 의한 시설 무경운 유기재배 고추의 수량 및 토양 화학성과 미소 곤충의 변화

류를 주성분으로 구성된 Chenyengegi와 Palm의 껍질을 탄화시켜 만든 Palm carbon의 성분량을 계산하여 Table 3과 같이 조합하여 시험 처리별로 각각 표층 시비하였다.

2. 관수 및 토양 수분관리

분할관수 효과를 구명하고자 발효 대두박(Table 2) 3,000 kg을 투입한 토양과 투입하지 않은 토양에 표준시비량의 66% 시비 조건에서 생육상태에 따라서 관수량을 ‘1회 전량 관수한 처리구’와 관수량의 1/2을 관수하고 1시간 후 나머지 1/2을 관수한 ‘2회 분할 관수처리구’로 나누어 시험을 수행하였다.

관수는 점적관수 시스템을 이용하여 생육상태에 따라서 관수하였으며, 생육 단계별 관수 간격은 3월 19일부터 4월 20일까지는 약 4.6일 간격, 그 후 5월 20일까지는 3.8일 간격, 그 후 수확을 완료한 7월 6일까지는 평균 2.5일 간격으로 관수하였다. 3월 19일 정식부터 수확을 완료한 7월 6일까지의 고추 1주당 1일 관수량은 2.38 L로 재배 기간 122일 동안에 주당 290.6 L, ha당 관수량은 5,667 톤이었다, 자세한 관수 방법 및 토양수분 조건은 Yang 등 (2015b)의 시험조건과 같다.

3. 고추의 정식 및 재배관리

고추는 2010년 3월 3일 녹광 고추 품종을 135×38 cm 간격으로 ha당 19,490주를 정식하였다. 고추의 묘 소질은 경경 3.5 mm, 경장 21.1 cm, 초장 29.3 cm 수준이었다.

고추 수확 기간은 5월 24일부터 노지 풋고추의 본격 출하 전인 7월 6일까지 주 2회 수확하였으며, 광주광역시 근교농업의 2기작 고추재배 작형에 준하여 시험을 수행하였다. 고추의 생육 및 수량은 농촌진흥청 조사기준에 의거 조사하였다.

4. 토양 미소동물 조사

함정 트랩을(8×10×6 cm) 이용하여 활동성이 좋은 미소동물의 분포를 조사하고 자연도를 측정하였다. 함정트랩은 작물과 작물 사이에 5개씩 설치하였다. 트랩은 토양에 함정을 파고 흙바닥과 같은 높이에 설치하였으며 비눗물을 통에 부어 유인되는 토양 동물을 3일 후에 수거하여 종을 동정하였으며 자연도를 측정하였다.

5. 시험구 배치 및 통계분석

시험구는 반복이 있는 이원배치법을 이용하여 대두박 투입과 유기질비료 시비효과를 구

명하고자 대두박 투입과 무투입 2처리에 유기질비료 시비량 3처리를 각각 난괴법 3반복으로 배치하였다. 그리고 분할 관수효과를 비교하고자 유기질비료를 표준시비량의 66%로 고정하여 대두박 투입과 무투입 2처리를 각각 난괴법 3반복으로 배치하여 시험을 수행하였다.

본 시험의 통계분석은 SAS 9.2 (Statistical Analysis System Institute Inc. 2002) package를 이용하여 분산분석(two-way ANOVA)을 하였으며, 처리 간 유의성은 “Tukey’s Honestly Significant different Test”를 이용하여 검정하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 토양 무기성분

1) pH, EC, 유기물

토양의 화학성을 조사한 결과 pH는 5.6~6.2, 유기물 함량은 32~42 g kg⁻¹, 토양 EC는 1.0~2.7 dS m⁻¹로 측정되었으며, 고추재배 토양의 적정범위 수준이었다. 시험 전 후 pH, 유기물 함량은 차이가 없었으나, EC는 시험 후 증가했다(Table 1과 Table 4).

Table 4. Chemical properties of soil used after experiment (21th July 2010)

Irrigation management	Soybean cake fertilizer	Standard fertilizer application*	T-N (%)	pH	OM (g kg ⁻¹)	Available P ₂ O ₄ (mg kg ⁻¹)	Exch. cation (cmolc kg ⁻¹)			CEC (cmolc kg ⁻¹)	EC (dS m ⁻¹)
							K	Ca	Mg		
Whole quantity irrigation	No treatment	33%	0.16	6.10	33	1,068	0.17	10.0	2.44	19.0	1.01
		66%	0.16	5.61	32	1,090	0.20	9.6	2.41	18.6	1.84
		100%	0.15	5.77	35	1,137	0.17	10.3	2.83	19.5	2.48
	Treatment	33%	0.19	6.20	38	1,039	0.08	9.5	2.50	18.0	1.50
		66%	0.18	5.98	33	1,011	0.24	10.6	2.69	19.7	1.87
		100%	0.25	6.02	42	1,091	0.22	12.8	3.18	22.1	2.66
Half division irrigation	No treatment	66%	0.15	5.81	33	1,048	0.18	11.9	3.02	21.5	1.77
	Treatment	66%	0.18	5.87	34	1,047	0.17	10.9	2.92	20.4	1.81
Suitable level*			-	6.0~6.6	26~36	360~460	0.66~0.76	6.0	1.6~2.0	-	0~2.0

* Criteria for fertilizer prescription of crops. 2010. RDA. Sanrocksa. Suwon

한편 Suh 등(1998)이 우리나라 중부지역의 주요 시설재배지의 토양 화학성을 조사한 결

V. 분할 관수와 유기물 처리에 의한 시설 무경운 유기재배 고추의 수량 및 토양 화학성과 미소 곤충의 변화

과 편차가 심하였으나, 배추와 멜론, 오이의 토양 pH는 5.8~6.6이었으며, 유기물 함량은 26~39 g kg⁻¹이었고, 토양 EC는 2.0~3.46 dS m⁻¹ 수준이라고 보고하여 본 시험 결과와 유사한 경향을 보였다. 그리고 Yang 등(2015a)은 경운 토양과 3년 연속 무경운 토양에서 양액비료를 물과 희석하여 관비한 결과 경운 토양의 EC는 2.9~4.6 dS m⁻¹ 수준으로 짧은 기간에 현저하게 증가되었으나, 무경운으로 관리한 토양은 EC가 1.2~1.6 dS m⁻¹으로 변화가 적었다고 하였다(Yang et al., 2015a). 본 시험에서 재배 전 토양에 비하여 대두박 등 시비량에 따라서 차이는 있었으나 시험 후 토양의 EC가 1.0~2.7 dS m⁻¹ 수준으로 변화가 적어 Yang 등(2015a)의 결과와 유사한 경향을 보였다.

2) 치환성 K, Ca, Mg

시험 후 토양의 치환성 K 함량은 시비량에 따라서 0.08~0.24 cmol_c kg⁻¹ 수준으로 시험 전에 비하여 20~73% 정도 감소되었다. 그러나 시험 후 토양 Ca 성분은 9.5~12.8 cmol_c kg⁻¹ 수준이었으며, Mg은 2.4~3.2 cmol_c kg⁻¹ 수준으로 시험 전 토양에 비하여 시비량에 따라서 9~36% 정도 증가되었다. 이와 같은 원인은 표준시비 조건에서 K 성분은 토양에 투입량 보다 흡수량이 높고, Ca과 Mg은 토양에 투입량이 흡수량보다 적어서 토양에 K성분은 결핍되고 Ca과 Mg은 집적되는 것으로 판단되었다.

한편 Yang 등(2011)은 본 시험과 동일한 시설재배 토양에서 녹비작물을 재배 환원하고 고추를 재배한 후 토양의 양이온을 조사한 결과 시험 후 K 함량이 0.20~0.25 cmol_c kg⁻¹으로 시험 전에 비하여 24~39% 정도가 감소되었고 하여 본 시험과 유사한 경향을 보였다. 그리고 시험 후 Ca 함량은 8.7~9.7 cmol_c kg⁻¹ 수준이었고, Mg 함량은 2.8~3.4 cmol_c kg⁻¹ 수준으로 본 시험의 결과와 유사한 수준이었다.

3) T-N, 유효인산

시험 전 토양의 유효인산은 고추 시설재배 적정범위의 약 2배 수준인 818 mg kg⁻¹ 수준의 토양에 동일한 비율로 시비한 관계로 시험 후 토양은 1,011~1,137 mg kg⁻¹ 수준으로 적정범위의 2.5~2.9배 수준으로 유효인산의 농도가 현저하게 증가되었다. 그리고 토양의 전질소 함량은 시비량의 증가와 대두박을 투입한 처리구에서 높았다.

한편 Suh 등(1998)은 시설재배 토양의 유효인산은 1,378 mg kg⁻¹이었다고 하였는데, Kim 등(2015)은 채소류 적정 생산을 위한 시비 추천량을 수량 반응만을 보고 결정하는 것은 주의가 필요하다며 최대 수량은 종종 질소 시비수준이 높을 때 얻을 수 있는 경우가 있어 과잉 시비로 소비되지 않은 무기태 질소가 토양에 잔류하게 되어 환경오염을 유발할 수 있다고 하였다(Zebarth et al., 1995). 본 시험 토양도 무농약 재배 인증 시설 재배 토양으로 축분과 고토 석회, 대두박 등을 무농약 재배 인증 기준에 따라서 시비하지만 장기적인 관점에서 보다 정밀하고 체계적인 토양관리가 필요하다고 판단되었다.

4) 유기자재 투입과 토양 무기성분과 상관관계

대두박 투입과 유기질비료 시비량이 토양 무기성분에 미치는 영향을 분석한 결과(Table 5-6, Fig. 1) T-N과 유기물 함량 변화에 각각 68%와 53.4% 수준의 영향을 미쳤으며, Ca과 Mg, CEC는 33.5~22.7% 수준의 영향을 미쳤으나, EC는 8.4%로 크게 영향을 미치지 못하였다($p=0.002\sim0.015$). 그러나 유기질 비료 시비량 증가가 토양 무기성분에 미치는 영향은 EC가 88.2%, Mg은 63.4%, K은 60.2% 수준으로 크게 영향을 미쳤으며, CEC와 Ca, 유기물은 각각 46.6%, 38.9%, 34.2% 수준의 유의적인 영향을 미쳤다($p=5E-09\sim0.003$).

Table 5. Effect of soybean cake and standard fertilizer application amounts on soil inorganic composition by statistical analysis of two-way ANOVA

Treatment		T-N	OM	Available P ₂ O ₄	K	Ca	Mg	CEC	EC
Soybean cake fertilizer treatment		0.004	0.002	0.068	1.000	0.008	0.002	0.015	0.003
Standard fertilizer application		0.215	0.003	0.114	2E-05	0.001	2E-05	4E-04	5E-09
	33	-	ab	-	a	a	a	a	a
	66	-	a	-	bc	ab	ab	ab	b
	100	-	b	-	c	b	b	b	c
Soybean cake fertilizer treatment × Standard fertilizer application		0.076	0.126	0.726	2E-04	0.008	0.165	0.003	0.039

a, b, c: Tukey's HSD Test

Table 6. Effect of soybean cake and standard fertilizer application amounts on soil inorganic composition by statistical analysis of variable factor ratio (%)

Treatment	T-N	OM	Available P ₂ O ₄	K	Ca	Mg	CEC	EC
Soybean cake fertilizer treatment	68.04	53.43	50.52	0	33.53	30.19	22.69	8.4
Standard fertilizer application	9.375	34.15	32.81	60.17	38.86	63.37	46.62	88.2
Soybean cake fertilizer treatment × Standard fertilizer application	17.24	8.852	4.131	37.84	24.34	4.357	27.88	2.7
Residual	5.343	3.572	12.54	1.999	3.27	2.076	2.813	0.6

대두박 투입과 유기질비료 시비량은 상호작용에 의하여 양이온인 K, Ca 그리고 CEC에 37.8~24.3% 수준에 유의적인 영향을 미치는 것으로 분석되었다($p=5E-09\sim0.003$). 그러나 N, 유기물, 유효인산, Mg은 유의성이($p=0.076\sim0.126$) 인정되지 않았다(Fig. 1).

V. 분할 관수와 유기물 처리에 의한 시설 무경운 유기재배 고추의 수량 및 토양 화학성과 미소 곤충의 변화

한편 양 등(2015a)은 경운과 무경운 토양의 전기전도도 EC는 총 질소함량(T-N), 토양의 총 질소함량은 치환성 K, Ca, Mg 함량, 양이온치환용량 CEC와 정(+)의 상관성을 나타냈었다고 하여 본 시험과 같은 경향을 보였다.

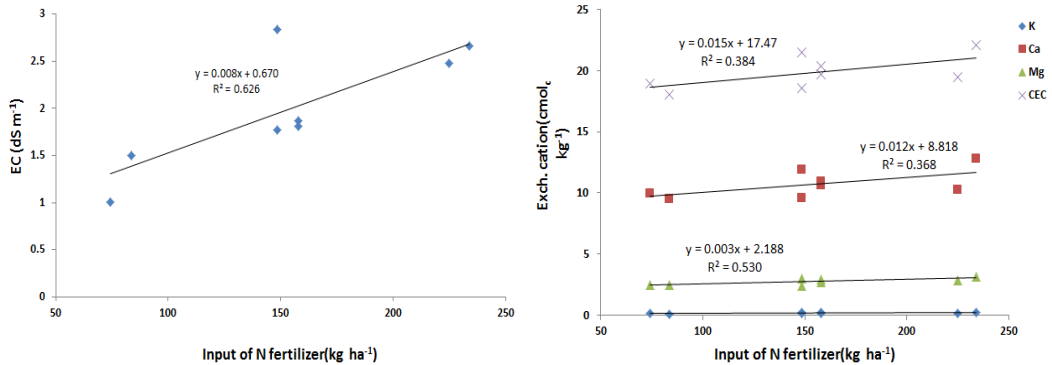


Fig. 1. Relationships between the electrical conductivity (EC) and exchangeable cation (K, Ca, Mg and CEC) content, and input of nitrogen fertilizer in no-tillage soil.

2. 토양 미소동물

무경운 토양에서 유기물 투입이 토양 미소동물에 미치는 영향을 조사한 결과 유기물을 투입하지 않은 무 처리에서는 주로 낙엽, 부식질, 균사, 포자, 미소동물의 사체, 변 등을 먹고 사는(Choi, 1996, Yang et al., 2017a) 특토기 2종과 응애류 2종, 거미류를 포함하여 5종 54 개체가 포획되었다(Table 7). 그리고 대두박을 발효시켜 투입한 처리는 무 처리에 비하여 4 종 163개체가 증가된 9종 271개체로 낙엽, 부엽, 부식질, 균사, 지렁이 및 절지동물의 사체, 파리목의 번데기, 변 등을 먹이로 하는 파리목유충, 딱정벌레 그리고 쥐며느리가 추가 포획 되었다.

농업생태계에서 유기물 사용은 식물 근권부의 분비물과 더불어 토양생물의 생체량과 분포에 영향을 미치는 주요한 요소로(Bunemann et al., 2006; Eo, et al., 2010), 유기물의 집적이 많아지면 유기물을 먹이로 하는 토양 동물상에 직·간접적으로 영향을 미치게 되고, 먹이와 장소, 계절에 따라 서식하는 비곤충류 절지동물의 종류와 개체가 달라질 수 있기 때문에(Lim et al., 2011) 대두박의 투입은 토양 미소동물의 종과 개체 수 증가에 긍정적인 영향을 미친 것으로 판단되었다.

포획된 전체 미소 동물 중 특토기류가 차지하는 비율이 71~82%로 특토기류의 개체 수가 가장 많았다. 분해균류(decomposer)를 먹고사는 특토기(Collembola) 아득한 옛날부터 존재 하고 있는 동물 중에 지구상에서 가장 개체수가 많고 우리 주변에서 흔하지만 크기가 5

mm 이하로 작고 주로 땅속 생활을 하기 때문에 매우 낮은 존재이다(Yeone Baskin, 2007). Yang 등(2017a)은 토양 곤충을 포획 조사한 결과 톡토기류 개체 수가 전체 곤충의 경운토양은 42%, 무경운 1년차 토양은 15%, 무경운 2년차 토양은 88%로 톡토기류의 개체 수가 전체 미소동물 중 가장 많았다고 하여 본 시험과 같은 경향이였다.

Table 7. Index of nature status and population of animalcule captured by trap with input of soybean cake in no-tillage soil

English name	Korean name	No treatment		Soybean cake fertilizer	
		Individual	Index of nature status	Individual	Index of nature status
Hypogastruridae	보라톡토기과	21	1	68	1
Isotomidae	마디톡토기과	23	1	124	1
Unclassified	미동정 톡토기류			7	1
Cryptostigmata Oribatci	날개응애과	4	1	8	1
Prostigmata	전기문응애	4	1	53	1
Diptera larva	파리목유충			1	1
wood louse	쥐며느리			4	1
Arachnida	거미류	2	1	2	1
Coleoptera (Staphylinidae)	딱정벌레목(반날개과)			4	3
Total	계	54	5	271	11

그리고 대두박을 투입한 처리의 응애류 개체 수는 전체 미소동물 개체수의 24.3%, 대두박무 투입은 7%로 톡토기에 이어 두 번째로 응애의 밀도가 높았다. Eo 등(2010)의 연구 결과에 따르면 인삼재배지에서 유기물을 시용한 결과 톡토기류는 처리 간에 차이가 없었으나, 날개응애류 밀도가 가장 높았다고 하였고, Yang 등(2017a)도 무경운 유기재배 토양의 미소곤충 수를 조사한 결과 톡토기류에 이어 두 번째로 응애류의 개체 수가 많았다고 하였다.

지표생물로서 환경의 변화에 민감하게 반응하는 동물적 특성을 이용하여 시설무경운 토양의 자연도 점수를(Choi, 1996; Yang et al., 2017a) 측정된 결과 대두박을 투입한 처리는 11점으로 무 투입 5점에 비하여 2배 이상 증가되었다. 한편 Yang 등(2017a)은 함정 트랩과 격자 트랩으로 채집된 미소동물의 자연도 점수를 측정된 결과 경운토양의 자연도 점수는 19점이었으나 무경운 토양은 33점으로 74% 정도 증가되었다고 하였다. 무경운 토양의 자연도 점수의 증가 원인은 환경에 대한 저항성이 강하여 어느 곳에서든지 잘 견디는 자연도 점수가(Choi, 1996) 1점인 C 그룹에 속하는 톡토기류와 응애류, 주름개미 등은 경운 방법에 따라 차이가 적었다. 그러나 환경 저항성이 중간으로 자연도 점수가 3점인 B그룹과 환경

V. 분할 관수와 유기물 처리에 의한 시설 무경운 유기재배 고추의 수량 및 토양 화학성과 미소 곤충의 변화

저항성이 매우 낮아 자연환경 파괴에 민감하게 반응하여 쉽게 소멸되는 자연도 점수가 5점인 A그룹에 속하는 미소동물은 관행경운 토양에서 포획되지 않았으나 무경운 토양에서 포획되었기 때문이라고 하였다(Yang et al., 2017a). 따라서 대두박 등 유기물의 투입은 자연도를 증가시켜 생물다양성을 풍부하게 유지하는 것으로 판단되었다.

3. 고추의 생육 및 수량

1) 대두박과 유기질비료 시비 효과

무경운 3년차 토양에서 대두박을 투입 처리 유무와 1회 전량 관수와 2회 분할 관수 처리 및 유기질 비료 시비량에 따른 풋고추의 과 특성 및 1과중은 유의적인 차이가 없었다(Table 7).

1회 전량관수 처리에서 대두박 투입은 무 투입에 비하여 수확과수의 감소로 수량이 감소되는 경향을 보였다(Table 8, Fig. 2). 그리고 대두박 무 투입 조건에서 유기질비료 표준시비량의 33~66% 수준에서 증수되었으나, 대두박 투입에서는 표준시비량의 33%에서 증수되었다.

Table 8. Yield properties of red pepper after different irrigation methods and input of organic fertilizer in no-tillage soil (13th May 2010)

Irrigation management	Soybean cake fertilizer	Standard fertilizer application*	Fruit diameter (mm)	Fruit length (cm)	Number of fruits (ea. plant ⁻¹)	Fruit weight (g ea. ⁻¹)	Fruit weight (g plant ⁻¹)	Yield (Mg ha ⁻¹)
Whole quantity irrigation	No treatment	33%	20.3	14.4	72.1	18.0	1,297	25,270
		66%	21.9	15.3	68.1	19.0	1,293	25,200
		100%	21.5	15.8	63.9	18.4	1,176	22,920
	Treatment	33%	22.3	15.4	70.5	19.1	1,347	26,260
		66%	20.2	15.2	56.5	19.0	1,073	20,910
		100%	21.2	15.1	47.0	18.0	846	16,500
Half division irrigation	No treatment	66%	20.9	15.0	77.3	18.8	1,454	28,340
	Treatment	66%	21.3	14.9	76.2	18.5	1,410	27,470

대두박 투입 처리는 고추의 수확과수에 45% 수준에 영향을 미쳤으며, 유기질비료 시비량은 고추의 수확과수에 40.7% 수준의 유의적인(p=0.001~0.003) 영향을 미치는 것으로 분석되었다(Table 8~10, Fig. 2) 대두박 투입과 시비량의 교호작용이 고추의 착과 수에 미치는 영향은 10%로 영향이 크지 않았다.(p=0.001)대두박 투입이 고추의 주당 생산량과 ha당 수확량에 35.2% 수준의 영향을 미쳤으나, p값이 0.051로 유의성이 없었으며, 유기질 비료 시비량이 증가되면 41.1% 수준의 유의적인(p=0.021) 영향을 미치는 것으로 분석되었다(Table 9~10).

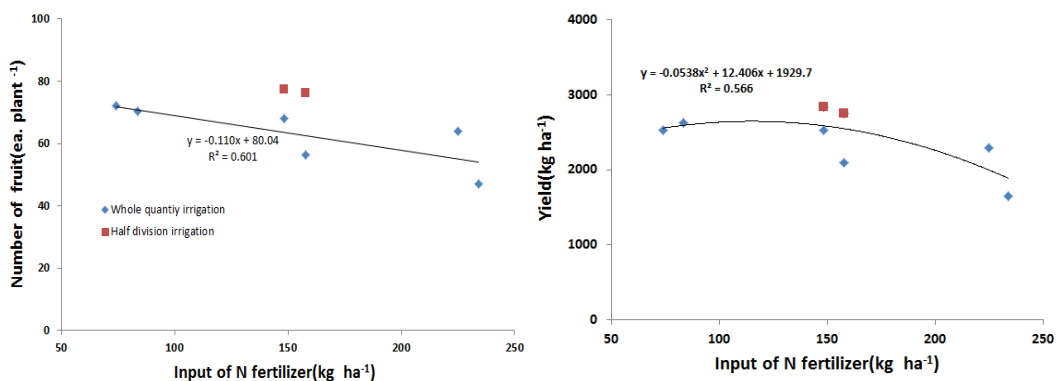


Fig. 2. Relationships between number of fruit and yield, and input of nitrogen fertilizer in no-tillage soil.

Table 9. Effect of soybean cake and standard fertilizer application amounts on yield characteristic of pepper by statistical analysis of two-way ANOVA

Treatment		Number of fruits (ea. plant ⁻¹)	Fruit weight (g ea. ⁻¹)	Fruit weight (g plant ⁻¹)	Yield (Mg ha ⁻¹)
Soybean cake fertilizer		0.003	0.748	0.051	0.051
Standard fertilizer application		0.001	0.561	0.021	0.021
	33	a	-	a	a
	66	bc	-	ab	ab
	100	c	-	b	b
Soybean cake fertilizer treatment × Standard fertilizer application		0.077	0.592	0.157	0.157

Table 10. Effect of soybean cake and standard fertilizer application amounts on yield characteristic of pepper by statistical analysis of variable factor ratio (%)

Treatment	Number of fruits (ea. plant ⁻¹)	Fruit weight (g ea. ⁻¹)	Fruit weight (g plant ⁻¹)	Yield (Mg ha ⁻¹)
Soybean cake fertilizer treatment	45.76	4.794	35.15	35.15
Standard fertilizer application	40.7	26.78	41.06	41.06
Soybean cake fertilizer treatment × Standard fertilizer application	10.33	24.22	16.27	16.27
Residual	3.222	44.2	7.514	7.514

V. 분할 관수와 유기물 처리에 의한 시설 무경운 유기재배 고추의 수량 및 토양 화학성과 미소 곤충의 변화

그러나 발효된 대두박을 투입한 처리가 무 투입에 비하여 1회 전량 관수에서 시비량 33%를 제외하고 수량의 감소를 보였다. 이와 같은 원인은 적정 시비량보다 과다 투입된 원 인도 있을 수 있으나, 정식 직전에 질소 성분량이 비교적 적은 0.3% (Table 2) 수준인 대두 박을 투입한 토양 표면에서 하얀색의 곰팡이의 발생이 관찰되었다. 이는 본 논문과 같은 시험의 다른 논문(Yang et al., 2017b)에서 대두박을 투입한 처리가 무처리에 비하여 세균, 곰팡이의 수가 증가되었으며, 키틴아제와 β -글루코시다아제 및 *N*-아세틸- β -D-글루코사민 데이즈 활성이 증가되었다. 따라서 이들 미생물과 토양효소 활성이 증가되면서 질소 기아 현상과 같은 토양 환경 변화에 의한 스트레스가 작용하여 개화 및 수분과 수정에 단기적으로 부정적인 영향을 미쳐 착과수 감소로 고추의 수량이 감소된 원인으로 판단되었다.

한편 도를 증가시키는 효과가 있어(Table 7, Yang et al., 2017a) 장기적으로 토양에 물리 화학성이 개량되어 작물재배환경에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 생각되었다.

2) 분할관수 효과

분할관수 처리가 고추의 1과중 변화에는 유의적인 영향을 미치지 못하였다($p=0.56$). 그러나 분할관수 처리는 고추의 착과수에 73.3% 수준에 고도의 유의적인($p=0.001$) 영향을 미치는 것으로 나타났다(Table 11~12).

2회 분할관수는 1회 전량관수 처리에 비하여 대두박 무투입은 수확과수가 12.5%, 대두박 투입은 34.9% 증가되었다. 따라서 ha당 고추 수량은 수확 과수가 많은 2회 분할관수가 1회 전량관수 처리에 비하여 무투입은 13.5%, 투입은 34.4% 증수되었다. 그리고 주당 수확 과중과 ha당 고추 수확량은 분할관수 처리가 64.2% 정도 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 이는 분할관수 처리에 따른 착과수의 영향으로 판단된다($p=0.033$).

한편 Yang 등(2015b)에 의하면 2회 분할 관수는 1회 전량 관수에 비하여 토양 수분 편차를 감소시켜 개화와 수분, 수정에 긍정적인 영향을 미쳐 경운과 무경운 처리 공히 2회 분할 관수가 1회 전량 관수에 비하여 고추 수확 과수는 각각 47~49% 정도 증가되고, 고추 수량은 각각 36~39% 정도 증수되었다고 하여 본 시험과 유사한 경향이었다.

Table 11. Effect of soybean cake and irrigation methods on yield characteristic of pepper by statistical analysis of two-way ANOVA

Treatment	Number of fruits (ea. plant ⁻¹)	Fruit weight (g ea. ⁻¹)	Fruit weight (g plant ⁻¹)	Yield (Mg ha ⁻¹)
Soybean cake fertilizer treatment	0.069	0.836	0.208	0.208
Irrigation management	0.001	0.650	0.033	0.033
Soybean cake fertilizer treatment × Irrigation management	0.118	0.868	0.389	0.389

Table 12. Effect of soybean cake and irrigation methods on yield characteristic of pepper by statistical analysis of variable factor ratio (%)

Treatment	Number of fruits (ea. plant ⁻¹)	Fruit weight (g ea. ⁻¹)	Fruit weight (g plant ⁻¹)	Yield (Mg ha ⁻¹)
Soybean cake fertilizer treatment	13.9	3.537	18.1	18.11
Irrigation management	73.27	17.16	64.2	64.25
Soybean cake fertilizer treatment × Standard fertilizer application	9.682	2.279	8.0	8.002
Residual	3.154	77.02	9.6	9.645

IV. 적 요

본 논문은 한국형 무경운 재배 토양에서 유기물 투입과 분할 관수가 고추 생육 및 수량과 토양 화학성, 생물다양성에 미치는 영향을 구명하고자 추진하였다. 시험 후 토양에 화학성을 조사한 결과 토양 pH는 5.6~6.2, 유기물 함량은 32~42 g kg⁻¹, EC는 1.0~2.7 dS m⁻¹, 치환성 K은 0.08~0.24 cmol⁺ kg⁻¹, Ca은 9.5~12.8 cmol⁺ kg⁻¹, Mg은 2.7~3.2 cmol⁺ kg⁻¹ 수준이었으며, 유효인산은 1,011~1,137 mg kg⁻¹ 수준이었다. 무처리에서 토양에 미소동물은 톡토기와 응애류 등 5종 54개체가 포획되었으나, 대두박을 투입한 처리는 9종 271개체가 포획되어 되었다. 토양환경의 지표가 되는 자연도 점수가 대두박 투입 처리는 11점으로 무 투입 5점에 비하여 2배 정도 증가되었다. 대두박 투입은 무 투입에 비하여 고추의 수확과수의 감소로 수량이 감소되는 경향이였다. 그러나 대두박 무 투입 조건에서 표준시비량의 33~66% 수준에서고추 수량은 증수되었으며 대두박 투입에서는 표준시비량의 33% 수준에서 증수되었다. 2회 분할관수는 1회 전량관수에 비하여 고추의 수확 과수가 12.5~34.9% 증가되었고, 수량은 13.5~34.4% 정도 증수되었다.

[Submitted, January. 11, 2017 ; Revised, April. 5, 2017 ; Accepted, May. 10, 2017]

References

1. Bunemann, E. K., G. D. Schwenke, and L. Van Zwieten. 2006. Impact of agricultural inputs

V. 분할 관수와 유기물 처리에 의한 시설 무경운 유기재배 고추의 수량 및 토양 화학성과 미소 곤충의 변화

- on soil organisms-a review. Aust. J. Soil Res. 44: 379-406.
2. Choi, S. S. 1996. Soil zoology. Wonkwang University.
 3. Cobo, J. G., E. barrios, D. C. L. Kass, and R. J. Thomas. 2002. Decomposition and nutrient release by green manures in a tropical hillside agroecosystem. Plant Soil 240: 331-342.
 4. Eo, J. U., K. C. Park, S. W. Lee, Y. S. Bae, and B. R. Yeon. 2010. Effects of organic materials on soil organisms in a korean ginseng field. Korean J. Soil Sci. Fert. 43(2): 188-193.
 5. Filser, J. 2002. The role of collembolan in carbon and nitrogen cycling in soil. Pedobiologia 46: 234-245.
 6. Heneghan, L., D. C. Coleman, X. Zou, D. A. Crossley, and B. L. Haines. 1999. Soil microarthropod contributions to decomposition dynamics: Tropical-temperature comparisons of a single substrate. Ecology 80:1873-1882.
 7. Kim, D. I., S. G. Kim, S. J. Ko, B. R. Kang, D. S. Choi, G. H. Lim, and S. S. Kim. 2011. Biodiversity of invertebrate on organic and conventional pear orchards. Koren J. Organic Agri. 19(1): 93-107.
 8. Kim, M. H., L. J. Choe, M. S. Han, S. K. Choi, Y. E. Na, K. K. Kang, and J. U. Eo. 2016. Effects of conventional and organic farming on ground-dwelling invertebrates in paddy levees. Korean J. Org. Agric. 24(3): 539-556.
 9. Kim, Y. K., Y. Y. Cho, H. J. Oh, H. J. Kang, S. H. Yang, B. C. Moon, and C. S. Jwa. 2015. Growth, yield and nutrient uptake of radish as affected by amount of organic fertilizer in a volcanic ash soil. Korean J. Org. Agric. 23(4): 829-846.
 10. Lee, S. Y., S. T. Kim, J. S. Im, J. K. Jung, and J. H. Lee. 2013. Comparison of community structure and biodiversity of arthropods between conventional and organic red pepper fields. Koren J. Organic Agri. 21(4): 601-615.
 11. Lee, G. Z., Y. S. Choi, S. K. Yang, J. H. Lee, and S. Y. Yoon. 2012. Analysis of consumption of homemade organically processed food analysis of the carbon emission reduction effect from no-tillage in pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivation. Korean J. Organic Agri. 20: 503-518.
 12. Siepel, H., and F. Maaskamp. 1994. Mites of different feeding guilds affect decomposition of organic matter. Soil Biol. Biochem. 26: 1389-1394.
 13. Suh, J. S., B. G. Jung, and J. S. Kwon. 1998. Soil microbial diversity of the plastic film houses fields in Korea. Korean J. Soil Sci. Fert. 31(2): 197-203.
 14. Yang, S. K., Y. W. Seo, Y. S. Kim, S. K. Kim, K. H. Lim, K. J. Choi, J. H. Lee, and W. J. Jung, 2011. Changes of pepper yield and chemical properties of soil in the application of

- different green manure crops and no-tillage organic cultivation. *Korean J. Organic Agri.* 19(2): 255-272.
15. Yang, S. K., Y. W. Seo, J. H. Son, J. D. Park, K. J. Choi, and W. J. Jung. 2012b. Properties of pepper growth and yield, cost down with no-tillage organic cultivation in vinyl greenhouse. *Korean J. Organic Agri.* 20(3): 411-422.
 16. Yang, S. K., Y. W. Seo, S. K. Kim, B. H. Kim, H. K. Kim, H. W. Kim, K. J. Choi, Y. S. Han, and W. J. Jung. 2014. Changes in physical properties especially, three phases, bulk density, porosity and correlations under no-tillage silt loam soil with ridge cultivation of rain proof plastic house. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 47(4): 225-234.
 17. Yang, S. K., G. H. Shin, H. K. Kim, H. W. Kim, K. J. Choi, and W. J. Jung. 2015a. Changes of chemical properties and correlation under no-tillage silt loam soil with ridge cultivation of plastics film greenhouse condition. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 48(3): 170-179.
 18. Yang, S. K., G. H. Shin, H. K. Kim, H. W. Kim, K. J. Choi, and W. J. Jung. 2015b. Effects of no-tillage and split irrigation on the growth of pepper organically cultivated under plastic film greenhouse condition. *Korean J. Organic Agri.* 23(4): 781-796.
 19. Yang, S. K. and W. J. Jung, 2016. No-tillage agriculture of korean-type on recycled ridge I. Changes in physical properties : soil crack, penetration resistance, drainage, and capacity to retain water at plastic film greenhouse soil by different tillage system. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 24(4): 699-717.
 20. Yang, S. K., G. H. Shin, S. K. Kim, D. I. Kim, and W. J. Jung. 2017a. No-tillage agriculture of korean-style on recycled ridge III. Changes in pepper growth and biodiversity at plastic film Greenhouse soil in organic cultivation of no-tillage systems. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 25(1): 71-84.
 21. Yang, S. K., K. H. Shin, Y. S. Song, K. Y. Kim, and W. J. Jung. 2017b. Korean-style of no-tillage organic agriculture on recycled ridge IV. Changes in soil microorganisms and soil enzymes by split irrigation and organic matter application in organic farming of red pepper in plastic film greenhouse. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 25(2): 311-328.
 22. Zebarth, B. J., P. A. Bowen, and P. M. A. Toivonen. 1995. Influence of nitrogen fertilization on broccoli yield, nitrogen accumulation and apparent fertilizer-nitrogen recovery. *Can. J. Plant Sci.* 75: 717-725.
 23. Yeonne, Baskin. 2007. Under ground (Se Min Chio, Translation compilation). Park, K. C., Y. S. Kim, O.H. Kwon, T. R. Kwon, and S. G. Park .2008. Effects of organic amendments on soil microbial community in red pepper field. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 41(2): 118-125.