

두둑을 재활용한 한국형 무경운 유기 농업 IV. 분할관수와 유기물처리에 의한 시설 고추 유기재배 토양 미생물상과 토양 효소의 변화

양승구* · 신길호*** · 송용수**** · 김길용**** · 정우진**

Korean-Style No-tillage Organic Agriculture on Recycled Ridge IV. Changes in Soil Microorganisms and Enzymes by Split Irrigation and Organic Matter Application in Organic Farming of Red Pepper in Plastic Film Greenhouse

Yang, Seung-Koo · Shin, Kil-Ho · Song, Yong-Su · Kim, Kil-Yong · Jung, Woo-Jin

This study was carried out to investigate the changes in soil microorganisms and soil enzymes by split irrigation and organic matter application under no-tillage green house conditions. Soil bacteria and fungi abundances were higher in soybean cake fertilizer than in the soil without the soybean cake fertilizer under whole quantity irrigation. Bacteria and fungi abundances in soil increased with increasing organic fertilizer application rate. Bacteria and fungi amount in the soil increased at half division irrigation in no-treatment of soybean cake fertilizer compared with whole quantity irrigation. Actinomycete amount in the soil decreased with increasing soybean cake fertilizer with whole quantity irrigation while clearly increased in no-treatment of soybean cake fertilizer. Actinomycete amount in soil clearly increased with increasing organic fertilizer input at half division irrigation. Chitinase activity in the soil decreased in soybean cake fertilizer with increasing organic fertilizer input, while increased in no-treatment of soybean cake fertilizer. Chitinase activity in the soil increased at half division irrigation compared with whole quantity irrigation regardless of soybean cake fertilizer input. β -Glucosidase activity in the soil was higher in soybean cake fertilizer than in no-treatment of

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

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

*** 전라남도농업기술원 친환경농업연구소

**** 전남대학교 농업생명과학대학 농화학과 친환경농업연구소

soybean cake fertilizer with whole quantity irrigation. β -Glucosidase activity in the soil increased with increasing organic fertilizer input, but decreased in above the standard level 66%. β -Glucosidase activity in the soil clearly increased in no-treatment of soybean cake fertilizer at half division irrigation compared with whole quantity irrigation. *N*-acetyl- β -D-glucosaminidase activity was higher in soybean cake fertilizer than in no-treatment of soybean cake fertilizer with whole quantity irrigation. *N*-acetyl- β -D-glucosaminidase activity in the soil increased with increasing organic fertilizer input, but decreased in above the standard level 66%. *N*-acetyl- β -D-glucosaminidase activity in the soil was not significantly different at half division irrigation and whole quantity irrigation in organic fertilizer input, while increased at half division irrigation in no-treatment of soybean cake fertilizer. Acid phosphatase activity increased at standard level 66% in soybean cake fertilizer, while was not significantly different in no-treatment of soybean cake fertilizer. Spore density of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) in the soil increased with increasing organic fertilizer input at whole quantity irrigation in no-treatment of soybean cake fertilizer, while decreased above the standard level 66% in organic fertilizer input. However, spore density of AMF in the soil was not significantly different in soybean cake fertilizer regardless of input amount of organic fertilizer. Root colonization rate of AMF in red pepper roots was not significant difference at two irrigations regardless of soybean cake input.

Key words : *enzyme activity, fertilizer, irrigation, no-tillage, organic*

I. 서 론

우리나라 농업은 유구한 역사를 지니고 있는데, 한반도에서는 구석기 시대의 주먹도끼(Hnad axe) 등 다양한 석기들이 출토되고 있으며, 신석기시대의 유적으로 알려진 서울 근교의 한강변 미사리에는 백제시대의 하층과 상층의 밭 경작 유구가 발굴되었는데, 하층은 4-5세기경으로 부분기경(部分起耕)이 실시되었으며, 상층은 6세기경으로 밭 전체를 같이 하는 상경화(常耕化)가 실시된 것으로 보고되고 있는 등(Korean historical association Report, 1999) 경운은 우리 문화형성과 발전에 크게 기여하여 왔다(Yang and Jung, 2016). 그러나 많은 장점에도 불구하고 과도한 경운은 대형농기계의 하중에 의한 토양 다짐의 결과로 토양 물리성 악화, 토양 생물상의 감소와 뿌리 성장의 제한, 에너지 과다 소모 등 문제점이 발생되고 있다(Kim et al., 1997; Yang et al., 2014; 2015a; 2015b; 2016).

이와 같은 문제점의 해결방안의 하나로 앞그루 작물을 재배할 때 만들어진 기존의 두둑과 고랑을 재활용하는 한국형 무경운 농업은 토양 물리성의 개선, 노동력과 생산비의 절감, 온실가스의 감소, 토양 생물상의 증가 등 긍정적으로 평가되고 있다(Yang et al., 2011; 2012; Lee et al., 2012; Yang et al., 2014; 2015a; 2017a).

한편 환경변화에 민감하게 반응하는 미생물은 환경에 적응한 균이 토양에서 우점하게

IV. 분할관수와 유기물처리에 의한 시설 고추 유기재배 토양 미생물상과 토양 효소의 변화

되는데(Lee and Ha, 2011), 무경운 토양은 관행 경운 토양에 비하여 미생물 생체 탄소 함량의 증가와(Lee et al., 2012; Zhang et al., 2012) 내생균근균의 개체 수의 증가로(Wright et al., 1999) 토양 입단 형성이 촉진된다. 따라서 이와 같은 토양 미생물과 토양효소 활성은 토양 질의 중요한 생물지표가 된다(Anderson, 1991; Kirschbaum, 1995; Nobili et al., 2006; Hu and Cao, 2007; Kim et al., 2012). 유기 및 무기질 비료의 주된 시비 목적은 작물에 양분을 공급하는 것이지만, 유기물의 형태와 공급량은 토양 미생물의 량과 비율 등 미생물상에 미치는 효과가 다르며(Bardgett and McAlister, 1999; Boyle et al., 2008; Park et al., 2008), 계속되는 토양 교란과 염류집적도 영향을 미친다(Sohn et al., 2008; Yang, et al., 2011).

작물재배는 동일한 량을 관수할지라도 관수방법에 따라서 작물의 생육과 수량이 달라지는데, Kim 등(2013)은 양액재배에서 1회 공급량을 늘리면서 1일 공급 횟수를 줄여 근권 함수율을 떨어뜨리고 EC를 높이면 생식생장이 촉진되어 착과수가 증가하지만(Beniot, 1992; Lee et al., 1998), 장기간 계속되면 동화양분의 전류가 부족하여 품질이 나빠지게 된다하였다(Tadesse et al., 1999). 또한 Yang 등(2015)은 분할관수는 토양수분의 편차를 줄이고 물리성을 안정시키기 때문에 동일한 관수량을 1회 전량 관수한 처리에 비하여 2회 분할하여 관수한 처리가 고추의 생육량을 47~49% 증가시키고 풋고추 수량을 36~39% 정도 증수시켰다고 하였다.

따라서 본 연구에서는 ‘두둑을 재활용한 한국형 무경운 농업’에 있어서 관수방법과 유기물 시용방법이 토양 미생물과 내생균근균, 토양효소 활성에 미치는 영향을 구명하고자 본 시험을 수행하였다.

II. 재료 및 방법

1. 토양 및 재배관리

본 시험은 1984년부터 시설 채소를 재배하고 있는 전남 나주시 남평읍 평사리 무농약 인증 토양으로(Yang et al., 2015b), 2009년 2월 경운하여 1기작으로 시설 풋고추를 정식하여 7월까지 수확하고, 노지 풋고추가 생산되는 7월에 철거하였다. 고랑을 재활용하여 경운하지 않고 농촌진흥청 표준시비의 기비량을 두둑과 고랑 전면에 표층시비하고 8월에 2기작 풋고추를 정식하여 12월까지 재배한 토양에서 시험을 수행하였다.

시험 토양은 2009년 2월부터 무경운으로 관리한 JD 중동통 미사질양토(표토: 미사 30%; 점토 16%; 모래 54%, 심토: 미사 26%; 점토 12%; 모래 62%)였다(Table 1).

시험구는 발효 대두박을 투입한 처리를 주구로 관수 방법을 세구로 분할구 배치 3반복으로 구당 33 m²로 시험구를 배치하였다.

시비 시험은 ha당 발효 대두박(Table 2) 3,000 kg을 투입한 처리와 무 투입으로 나누었으며, 시비량은 농촌진흥청 표준시비량을 유기질비료로 성분량을 계산하여 33%와 66%, 표준량의 100%를 투입하여 시험을 수행하였다(Table 3).

Table 1. Composition of minerals at organic fertilizers used in experiment

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 2. Input amounts of soybean cake and organic fertilizer into soil (kg/ha)

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

관수 시험은 생육상태에 따라서 관수량을 1회에 전량 관수한 처리와 1회에 1/2량을 관수하고 관수 1시간 후 나머지 1/2량을 관수한 처리로 나누어 수행하였다.

고추 정식은 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.

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(Yang et al., 2015b; 2017b).

2. 토양 미생물상 분석

토양미생물의 분포를 조사하기 위하여 고추수확을 완료한 7월 6일 표토에서부터 12 cm 깊이까지 250 g의 토양을 3반복으로 채취하여 4°C의 냉장고에서 토양을 관리하면서 미생물의 분포를 분석하였다. 사용한 배지에 있어 세균의 경우 LB 고체배지(50 ppm cycloheximide 포함), 곰팡이의 경우 PDA 고체배지, 방선균의 경우 HV 고체배지(50 ppm cycloheximide 포함)를 적용하였다. 미생물수의 조사 및 계수는 토양 미생물실험법(2002)에 준하여 시료토양을 희석계열로 희석한 후 적정 희석계열에서 희석액을 취하여 각각의 배지에 접종하는 희석평판법을 이용하였다.

3. 토양 효소활성 측정효소

1) 키틴아제(Chitinase) 활성

키틴아제 활성 측정은 Trotta 등(1996)의 방법을 변형하여 조사하였는데, 콜로이드달 키틴(colloidal chitin)로부터 유리된 *N*-acetyl glucosamine (NAG)의 양을 측정하였다(Yedidia et al., 2000). 키틴아제의 활성은 420 nm에서 흡광도를 측정한 후 NAG 표준곡선에 의하여 구한 값을 Unit로 표시하였다(1 unit = 1 nmol NAG /h/g soil).

2) β-글루코시다아제(β-glucosidase) 활성

β-글루코시다아제 활성은 Skujins (1976) 방법을 변형하였고, 토양 1 g에 0.2 mL toluene, 4 mL modified universal buffer solution (pH 6.5)을 넣고, 1 mL 0.025 M ρ-nitrophenyl-β-D-glucoside (ρNG) 용액으로 배양한 후 1 mL의 0.5 M CaCl₂와 4 mL의 0.5 M THAM 완충액(pH=12)을 넣어 진탕한 다음 여과액을 A 400 nm에서 측정하여 이미 얻은 표준곡선에 의하여 구한 값을 Unit로 표시하였다(1 unit = 1 nmol ρNP/min/g soil).

3) N-아세틸-β-D-글루코사민데이즈(N-acetyl-β-D-glucosaminidase) 활성

N-아세틸-β-D-글루코사민데이즈 활성은 Boerner 등(2000)의 방법을 변형하였고, ρ-nitrophenol-*N*-acetyl glucosaminide를 이용하여 조사하였다. *N*-acetyl glucosaminidase 활성은 420 nm에서 흡광도를 측정한 후 ρ-nitrophenol 표준곡선에 의하여 구한 값을 Unit로 표시하였다(1 unit = 1 nmol ρNP/min/g soil).

4) Acid phosphatase 활성

Acid-phosphatase 활성은 Tabatabai (1982) 방법을 변형하였고, 토양 1 g에 0.2 mL toluene, 4 mL modified universal buffer solution (pH 6.5)을 넣고, 1 mL 0.025 M ρ-nitrophenyl

phosphate 용액(ρ NP)에 배양하였다. 배양이 끝난 후 1 mL의 0.5 M CaCl_2 와 4 mL의 0.5 M NaOH를 넣어 진탕하여 여과한 후 표준곡선에 의하여 구한 값을 Unit로 표시하였다(1 unit = 1 nmol ρ NP/min/g soil).

4. 균근균 포자밀도 및 감염 조사

포자 분리는 습식사별법(Daniels and Skipper, 1982)을 이용하여 녹비작물의 근권 토양의 (신선토 1g의 부피는 0.97 cm^3 , 건조 무게 0.84 g, 건조 부피 0.85 mL) 포자를 $45 \mu\text{m}$ 와 $500 \mu\text{m}$ 크기의 체로 분리하여 4°C 에서 보관하면서 실체현미경(Stereoscopic microscope, Olympus, SZX12, Japan)하에서 계수하였다.

균근균 감염율 조사는 Phillips와 Hayman (1970)의 방법으로 염색하였다. 염색 방법은 Formalin Acetic Acid (FAA)용액에 각각의 뿌리를 약 1cm 길이로 자른 후 10% KOH 용액으로 90°C 의 온도에서 뿌리의 생태에 따라 20~30분간 처리하여 증류수로 3~4회 행구어낸 후 Tripian blue 염색액(Brundurt et al., 1994)으로 염색한 후 50% glycerol로 탈색하였다. 감염률 및 감염특성은 Mcgonigle 등(1999)의 방법으로 염색된 뿌리절편을 AMF의 감염구조인 수지상체(arbuscule), 낭상체(vesicle) 및 균사(hyphae)를 광학현미경(Olympus, BX50, Japan)하에서 관찰하여 5 mm 내의 감염구조 존재여부를 %로 나타내었다.

5. 통계분석

본 시험의 통계분석은 SAS 9.2 (Statistical Analysis System Institute Inc. 2002) package를 이용하여 분석하였으며, 처리 간 유의성은 one-way ANOVA (Analysis of Variance) 방식으로 “Tukey’s Honestly Significant different Test”를 이용하여 검정하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 토양 미생물상

1) 세균

1회 전량관수 조건에서 대두박 투입 처리구의 토양 세균 수는 $2.8\sim 3.8 \times 10^6 \text{ CFU g}^{-1}$ 으로, 대두박 무 투입구의 $1.8\sim 3.2 \times 10^6 \text{ CFU g}^{-1}$ 에 비하여 많았다(Fig. 1). 그리고 대두박 투입에 관계없이 유기질비료의 투입량이 표준시비량의 66%까지 증가되면 세균 수는 증가되었으나, 그 이상에서는 유의적인 차이가 없었다.

IV. 분할관수와 유기물처리에 의한 시설 고추 유기제배 토양 미생물상과 토양 효소의 변화

대두박 무투입 조건의 2회 분할 관수는 1회 전량 관수에 비하여 세균 수가 많았다.

한편 세균지표지방산의 비율은 유기물 함량에 따라서 달라지는데(Park et al., 2008), Kim 과 Lee (2011)는 논외 토양 미생물 군집을 분석한 결과 총 FAME 함량과 총 세균 함량이 자 운영 처리구가 무처리에 비해 유의적으로 높았다고 하였다. 따라서 본 시험에서 대두박 투입이 세균의 증가에 긍정적인 영향을 미친 원인으로 판단되었다.

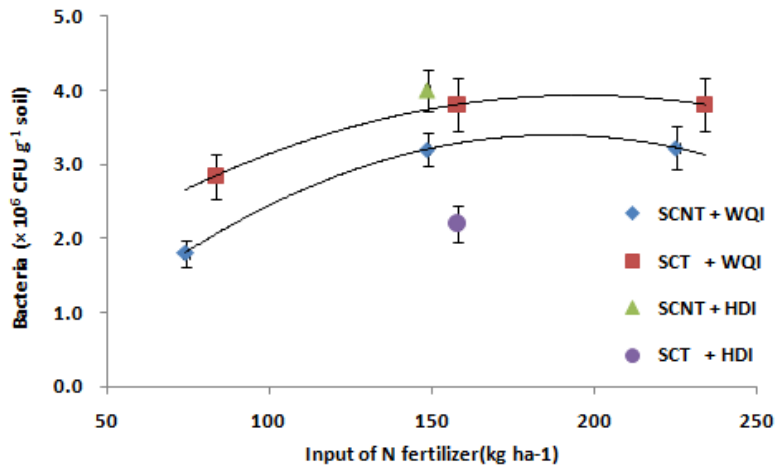


Fig. 1. Change of soil bacteria abundance with different irrigation methods and input of organic fertilizer in no-tillage soil.

SCT + WQI: Soybean cake treatment + Whole quantity irrigation.

SCT + HDI: Soybean cake treatment + Half division irrigation.

SCNT + WQI: Soybean cake no treatment + Whole quantity irrigation.

SCNT + HDI: Soybean cake no treatment + Half division irrigation.

2) 곰팡이

1회 전량 관수 조건에서 대두박을 투입한 처리의 곰팡이 수는 $2\sim 2.8 \times 10^6$ CFU g⁻¹으로, 무투입 $0.8\sim 1.5 \times 10^6$ CFU g⁻¹에 비하여 현저하게 많았다(Fig. 2). 그리고 유기질 비료의 시비량이 표준시비량의 66% (ha당 N 성분량 149~159 kg) 수준까지 증가되면 곰팡이 수는 증가되었으나, 그 이상 시비량이 증가되면 곰팡이 수는 감소되는 경향이였으나, 대두박 투입조건에서는 유의적인 차이가 없었다.

한편 Park 등(2008)은 곰팡이 지표지방산의 비율이 수피, 왕겨, 우분 처리구에서 높았으며 유기물량이 곰팡이의 생육에 긍정적인 영향을 미치기 때문(Bardgett and McAlister, 1999; Boyle et al., 2008; Park et al., 2008)이라고 하였다. 이와 같은 원인으로 본 시험에서 대두박을 발효시켜 투입한 처리구가 무투입구에 비하여 곰팡이 수가 2~2.2배 정도 증가된 원인으로 생각되었다.

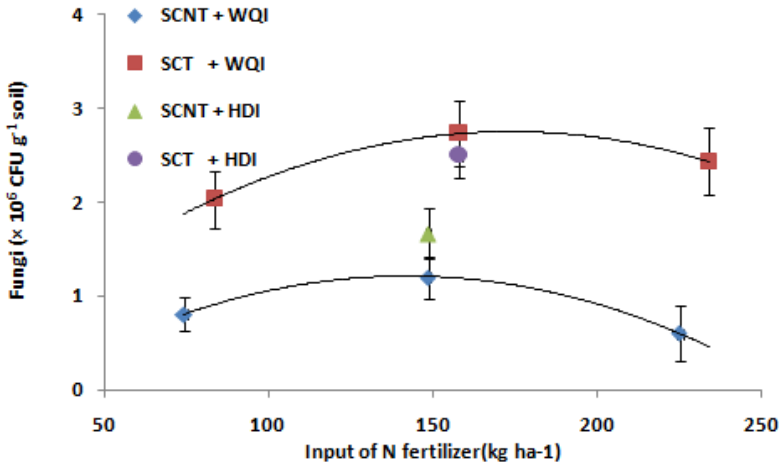


Fig. 2. Change of soil fungi abundance with different irrigation methods and input of organic fertilizer in no-tillage soil.

그리고 주요 생물학 지표가 되는 곰팡이/세균 비율을 계산하여 대두박 투입구와 무투입구를 비교한 결과, 투입구의 1회 전량 관수와 2회 분할 관수 처리에서의 비율이 각각 0.6과 1.1로, 무투입구의 0.2와 0.5보다 2배 이상 큰 수치를 보였다(Fig. 1 and 2).

3) 방선균

1회 전량 관수 조건에서 대두박을 투입한 처리구는 유기질 비료 시비량이 증가되면 유의적인 차이가 없었으나 방선균 수가 감소되는 경향이었으나, 대두박 무투입에서는 유기질비료 시비량이 증가되면 방선균 수가 현저하게 증가되었다(Fig. 3). 대두박을 투입한 처리의 2회 분할 관수에서는 방선균 수가 무투입에 비하여 증가되었다.

한편 Kim과 Lee (2011)는 논토양의 미생물 군집을 분석한 결과, 방선균과 곰팡이는 관행과 무처리구에 비해 녹비 시용구가 많은 경향이었으나 유의적인 차이가 없었다고 하였다. 그리고 Park 등(2008)은 유기물을 투입하여 방선균을 조사한 결과 무기질소 공급이 방선균 밀도를 낮추지만(Clegg, 2006), 총 질소함량이 높은 퇴비 처리구에서 방선균 밀도가 높았으며 이는 무기질소와 유기질소가 토양 미생물상에 미치는 효과가 확연히 다르기 때문이라고 하였다(Chang et al., 2007). 따라서 본 시험에서 발효시킨 대두박을 투입하고 유기질 비료의 투입량이 증가되면 방선균 수가 감소되지만, 대부박을 투입하지 않은 처리에서는 유기질 비료량이 증가되면 방선균의 밀도가 현저하게 많아진 원인으로 판단되었다.

한편 대두박을 투입한 처리에서 2회 분할 관수한 토양의 세균과 방선균은 증가되었다. 그러나 곰팡이는 분할관수의 효과가 인정되지 않았다. 2회 분할 관수한 토양은 1회 전량 관수에 비하여 토양수분의 변화가 적기 때문에(Yang et al., 2015b) 세균과 방선균은 곰팡이

Ⅳ. 분할관수와 유기물처리에 의한 시설 고추 유기재배 토양 미생물상과 토양 효소의 변화

에 비하여 생육이 촉진된 것으로 생각되었다.

2회 분할 관수한 토양은 1회 전량관수에 비하여 수분함량 편차가 감소되고 고추의 착과 수 증가로 고추 수량이 경운 재배는 36%, 무경운 재배는 39% 정도 증수되었다고 하였는데 (Yang et al., 2015b) 세균과 방선균의 증가와 같은 미생물이 중요한 역할을 한 것으로 생각 되었다.

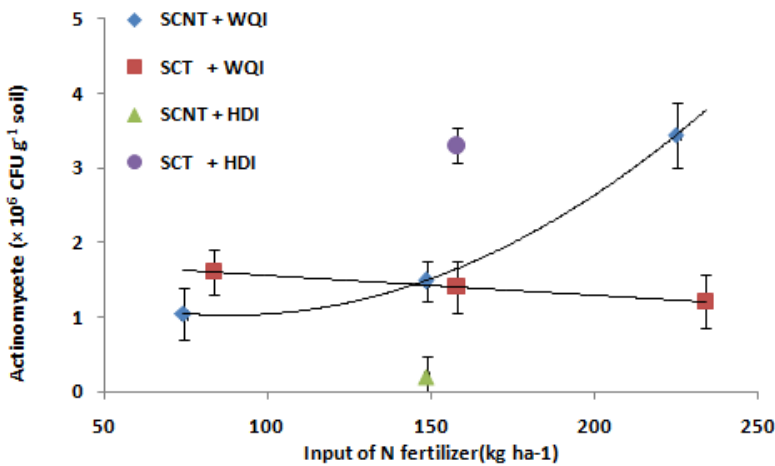


Fig. 3. Change of soil actinomycete abundance with different irrigation methods and input of organic fertilizer in no-tillage soil.

2. 토양 효소

1) 키틴아제 활성

키틴을 가수 분해해서 *N*-아세틸글루코사민 생성 반응을 접촉하는 토양 내 chitinase 효소 활성은 1회 전량관수 조건에서 대두박을 투입한 처리가 16.3~17.8 units g⁻¹으로 무투입 14.5~16.7 units g⁻¹에 비하여 높은 경향을 보였다(Fig. 4).

대두박 투입에서는 유기질 비료의 시비량이 증가되면 토양 내 chitinase 활성은 감소되고, 대두박 무 투입에서는 시비량이 증가되면 chitinase 활성은 증가되었다. 그리고 대두박 투입에 관계없이 2회 분할 관수처리의 토양 내 chitinase 활성은 14.1~14.6 units g⁻¹으로 1회 전량 관수의 대두박 무투입에 비하여 증가되었다.

따라서 대두박 투입과 분할 관수는 대두박 무 투입과 1회 전량관수 조건에 비하여 토양 내 chitinase 활성에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 생각되었다.

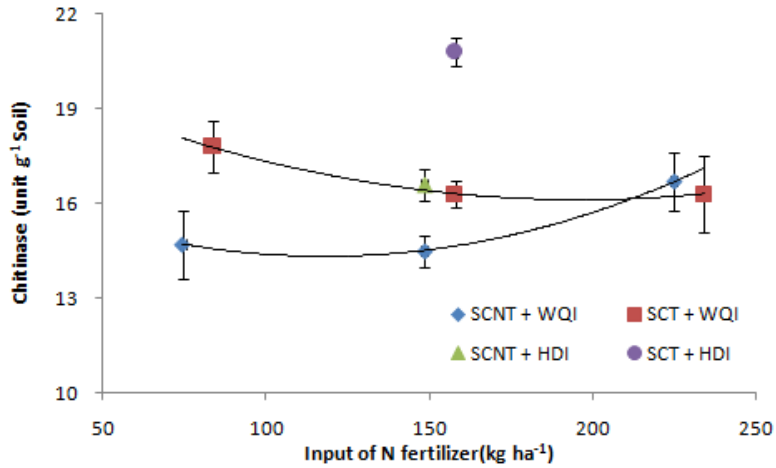


Fig. 4. Change of soil chitinase activity with different irrigation methods and input of organic fertilizer in no-tillage soil.

2) β -Glucosidase 활성

β -D-글루코피라노시드 결합에 대해 절대적 특이성을 보이며 유기물 내의 다당류를 분해하여 포도당으로 전환시켜 토양 미생물들의 영양원이나 에너지원으로 이용할 수 있게 도와주는 역할을 담당하는 β -Glucosidase 효소의(Kim et al., 2012; Eivazi and Tabatabai, 1988) 활성을 조사한 결과(Fig. 5), 1회 전량관수 조건에서 대두박 투입 처리는 13.8~18.4 units g⁻¹으로 무투입 8.5~14.2 units g⁻¹ soil 에 비하여 높았다. 대두박 투입조건에서 유기질

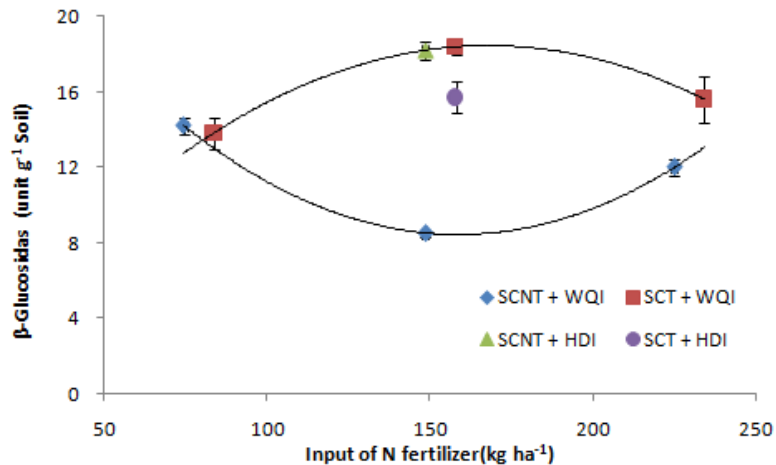


Fig. 5. Change of soil β -glucosidase activity with different irrigation methods and input of organic fertilizer in no-tillage soil.

Ⅳ. 분할관수와 유기물처리에 의한 시설 고추 유기재배 토양 미생물상과 토양 효소의 변화

비료 투입량이 표준시비량의 66%까지 증가되면 효소활성은 증가되었으나, 표준시비량 이상에서는 감소되었다.

2회 분할관수 조건에서 대두박 무 투입의 β -Glucosidase 활성은 $18.2 \text{ units g}^{-1}$ 으로 1회 전량관수 8.5 units g^{-1} 에 비하여 현저하게 증가되었다.

한편 Kim 등(2012)은 고추 경작지에 미생물제제를 처리하고 토양미생물군집을 분석한 결과 β -Glucosidase의 경우 다른 효소들보다 처리간의 차이가 크지 않았지만, 복합미생물제제 처리구가 가장 높은 활성을 나타내었다고 하였다. 따라서 본 시험에서 대두박을 투입한 처리구에서는 유기질 비료의 시비량이 표준량의 66%인 ha당 N 157 kg을 초과하면 β -Glucosidase의 활성은 감소되고, 대두박 무투입에서는 유기질 비료량이 증가되면 오히려 효소활성이 증가되었다.

3) N-acetyl- β -D-glucosaminidase 활성

라이소솜(lysosome) 효소인(Yang and Lee, 1981) 베타-엔-아세틸글루코사미니다아제(N-acetyl- β -D-glucosaminidase)의 토양 내 활성은 1회 전량관수 조건에서 대두박을 투입한 처리는 $10.5\sim 14.3 \text{ units g}^{-1}$ 으로 무투입 $8.3\sim 11.0 \text{ units g}^{-1}$ 에 비하여 높았다(Fig. 6). 그리고 유기질 비료 투입량이 증가되면 N-acetyl- β -D-glucosaminidase의 활성은 증가되었으나, 대두박 투입처리의 표준시비량의 66% 이상에서는 유의적인 차이가 없었다.

대두박 투입 조건에서 2회 분할관수 처리는 1회 전량관수와 차이가 없었으나, 대두박 무투입에서는 2회 분할 관수가 1회 전량관수에 비하여 효소활성이 증가되었다.

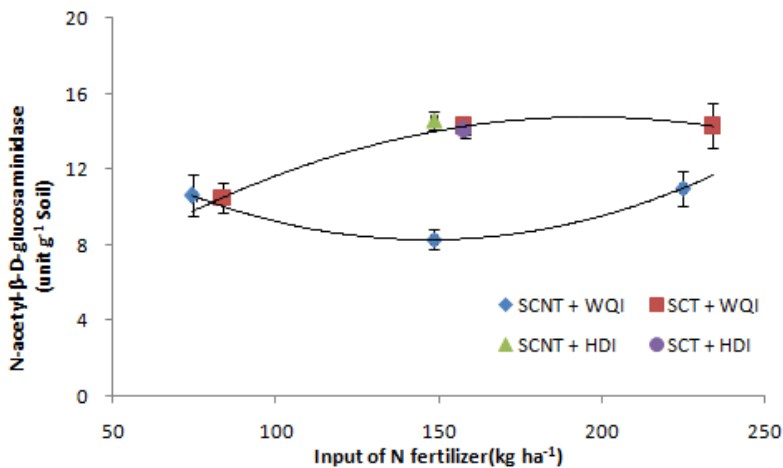


Fig. 6. Change of soil N-acetyl- β -D-glucosaminidase activity with different irrigation methods and input of organic fertilizer in no-tillage soil.

토양 N-acetyl- β -D-glucosaminidase 활성은 대두박 투입은 $p < 0.05$, 관수 방법은 $p < 0.01$, 그리고 대두박 투입 \times 관수 방법은 $p < 0.001$ 로서 고도의 유의성을 나타냈었다(date not shown).

4) Acid phosphatase 활성

토양 내 유기인산을 분해 가용화(mineralization)하여 미생물들이 이용할 수 있도록 도와주는 phosphatase acid의(Garcia-Gil et al., 2000; Kim et al., 2012) 토양 내 활성은 대두박 투입 조건에서 유기질 비료의 시비량이 증가되면 phosphatase acid의 활성은 증가되는 경향이 있으나 유의적인 차이가 없었다(Fig. 7). 그러나 대두박 무투입 조건에서는 유기질 비료 시비량이 표준시비량의 33% 수준에서 66% 수준인 질소 ha당 148.5kg, 인산질 비료량으로 54 kg으로 증가되면 phosphatase acid의 활성은 유의적인 증가를 보였으나 더 이상 시비량이 증가되면 phosphatase acid의 활성은 감소되었다($p < 0.05$).

한편 토양 내 유효인산의 함량이 효소활성에 중요한 역할을 하는데(Garcia-Gil et al., 2000; Joa et al., 2011), 인산농도가 부족하면 산성인산효소 활성이 증가하지만(Wasaki et al., 2003), pH와 인산함량이 높을수록 산성인산효소활성이 낮아지기 때문에(Sarapatka et al., 2004), 인산의 함량은 높은 시설하우스 토양 조건에서 추진한 본 시험의 결과는 phosphatase acid의 활성을 구명하기에는 한계가 있었다.

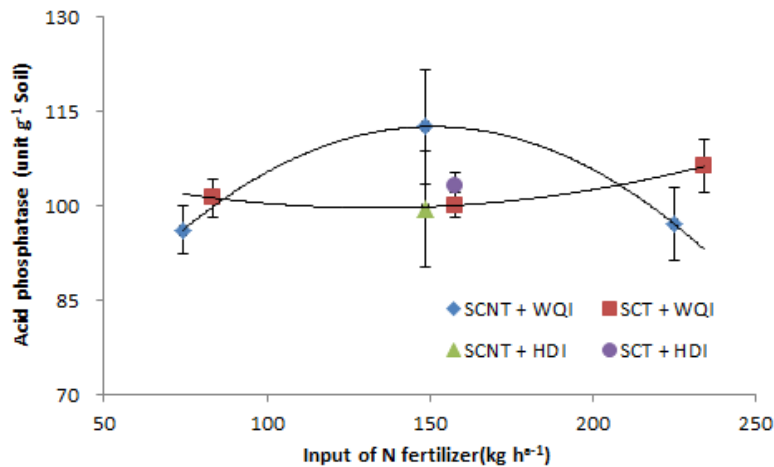


Fig. 7. Change of soil phosphatase acid activity with different irrigation methods and input of organic fertilizer in no-tillage soil.

3. 토양 AMF

두둑을 재활용한 무경운 토양에서 내생균근균(AMF)의 토양 30 g당 포자수는 1회 전량관

IV. 분할관수와 유기물처리에 의한 시설 고추 유기재배 토양 미생물상과 토양 효소의 변화

수와 대두박 무투입 조건에서 유기질 비료의 투입량이 표준시비의 66% 수준까지 증가되면 근균의 포자수는 증가되었으나, 그 이상 유기질 비료량이 증가되면 근균의 포자수는 감소되었다(Fig. 8). 그러나 대두박 투입에서는 유기질 비료량에 관계없이 토양 30 g당 근균의 포자수가 40~41개로 차이가 없었다. 그리고 2회 분할 관수에서 근균의 포자수는 1회 전량 관수에 비하여 대두박 무투입은 54개로 증가되었으나 대두박 투입처리는 차이가 없었다.

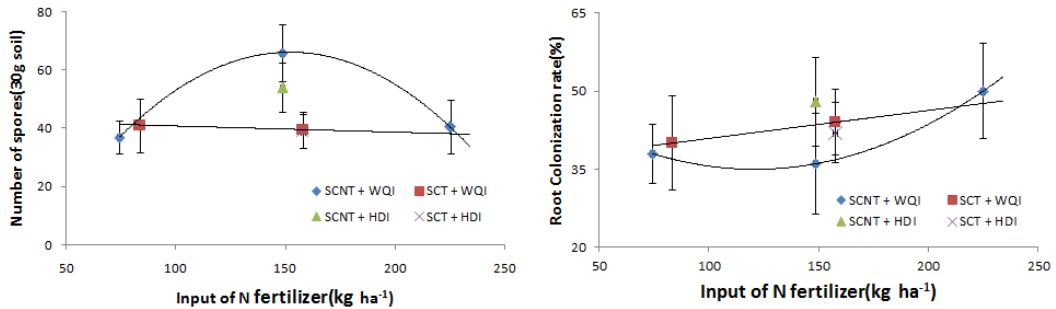


Fig. 8. Change of soil AMF spore density (spores 30 g⁻¹ fresh soil) and root colonization rate of red pepper after with different irrigation methods and input of organic fertilizer in no-tillage soil.

또한 내생 근균의 고추 뿌리에 정착율은 대두박 투입에서는 유기질비료 표준시비량의 33%에서 100%로 증가되어도 40~44% 수준으로 유의적인 차이가 없었으나, 대두박 무투입 조건에서 유기질비료 표준시비량이 증가되면 유의적인 증가를 보였다(p<0.05). 그리고 2회 분할 관수와 1회 전량관수는 내생 근균의 고추 뿌리에 정착률에 유의적인 차이가 없었다.

한편 우리나라 과채류 시설재배 토양은 계속되는 토양 교란과 염류집적으로 근균의 우점 포자의 종수와 밀도 및 작물의 근균 형성율이 감소된다고 알려져 있다(Sohn et al., 2008; Yang, et al., 2011). Kim과 Lee (2011)는 논토양의 내생근균의 함량이 청보리와 자운영, 트리티케일 녹비 시용처리구가 관행과 무처리에 비해 유의적인 증가를 나타냈으며, 이는 유기물 시용이 토양의 내생근균 함량을 증가시키기 때문이라고 하였다(Wright and Upadhyaya, 1996). 그러나 Yang 등(2012)은 시설재배 토양에서 토양을 교란시키지 않기 위하여 녹비작물이 생육하고 있는 상태에서 경운하지 않고 무경운으로 고추를 정식한 후, 녹비 작물을 예취하여 두둑 표면을 피복, 토양에 환원하고 고추를 재배한 토양의 AMF 포자 밀도는 녹비작물을 토양에 환원하기 전에 비하여 감소되었다고 하여 서로 다른 결과를 보였다.

23년간 연속한 시설재배 토양에서 수행한 본 시험 토양은 염류농도와 인산 등 무기성분의 축적량이 많아 시비량이 증가되어도 재배 작물 뿌리의 근균 감염률이 유의적인 증가를 보이지 않은 원인으로 생각되었다.

IV. 적 요

두둑과 고랑을 재활용한 한국형 무경운 농업에서 유기물 투입과 관수 효과를 구명하고자 무경운 토양에서 시험을 수행하였다.

1. 토양 미생물상

1회 전량관수 조건에서 대두박 투입 처리구의 토양 세균과 곰팡이 수는 대두박 무 투입구에 비하여 많았다. 그리고 유기질비료 투입량이 표준시비량 66%까지 증가되면 세균과 곰팡이 수는 증가되었으나, 그 이상에서는 세균과 곰팡이 수가 감소되는 경향이였다. 곰팡이/세균 비율은 관수 방법과 관계없이 대두박 투입 처리에서 0.6과 1.1로, 무투입 처리의 0.2와 0.5보다 2배 이상 높았다

1회 전량 관수 조건에서 유기질 비료 시비량이 증가되면 대두박을 투입한 처리는 방선균 수는 감소되는 경향이였으나, 대두박 무투입에서는 증가되었다. 2회 분할 관수는 1회 전량 관수에 비하여 대두박 무 투입 조건에서 세균과 곰팡이 수가 증가되었으나, 대두박 투입 조건에서는 방선균 수가 증가되었다.

2. 토양 효소

유기질 비료의 시비량이 증가되면 토양 내 Chitinase 활성은 대두박 투입 토양에서 감소되고, 대두박 무 투입에서는 증가되는 경향이였다. 그러나 대두박을 투입에 관계없이 2회 분할 관수는 1회 전량관수에 비하여 Chitinase 활성이 증가되었다.

1회 전량관수 조건에서 대두박 투입 처리구의 β -Glucosidase 활성은 무투입에 비하여 높았으며, 유기질 비료 투입량이 증가되면 표준시비량의 66%까지는 β -Glucosidase 활성이 증가되었으나, 표준시비량에서는 감소되었다. 대두박 무투입 조건에서 2회 분할관수 토양 내 β -Glucosidase 활성은 1회 전량관수에 비하여 현저하게 증가되었다.

1회 전량관수 조건에서 대두박을 투입한 처리의 *N*-acetyl- β -D-glucosaminidase의 활성은 무투입구에 비하여 높았다. 대두박 투입 처리에서 유기질 비료 투입량이 표준시비량의 66%까지 증가되면 *N*-acetyl- β -D-glucosaminidase의 활성은 증가되었으나, 표준시비량에서는 유의적인 차이가 없었다. 대두박 무투입 조건에서 2회 분할관수는 1회 전량관수에 비하여 *N*-acetyl- β -D-glucosaminidase의 활성은 증가되었다.

대두박 무투입 조건에서 유기질 비료 시비량이 표준량의 66% 수준에서는 토양 내 산성인산가수분해효소(Acid phosphatase)의 활성 높았다. 대두박 투입 조건에서는 유기질 비료 시비량이 증가되면 산성인산가수분해효소(Acid phosphatase)의 활성은 증가되는 경향이였다.

3. 토양 AMF

대두박 무투입 조건에서 유기질 비료의 투입량이 표준시비량의 66%까지 증가되면 토양의 내생균근균의(AMF) 포자수는 증가되었으나, 유기질 비료 투입량이 표준시비량에서는 균근의 포자수는 감소되었다. 그러나 대두박 투입에서 균근의 포자수는 유기질 비료 투입량에 따른 유의적인 차이가 없었다. 그리고 내생 균근의 고추 뿌리에 정착률은 대두박 투입량에 따른 유의적인 차이가 없었으며, 2회 분할 관수도 같은 경향이었다.

[Submitted, February. 6, 2017 ; Revised, May. 8, 2017 ; Accepted, May. 9, 2017]

References

1. “미사리 삼국시기 밭 유구의 농업”, 김기홍 국역사학회(Korean historical association) 보고서, 제146집 pp. 1-26.
2. Anderson J. M. 1991. The effects of climate change on decomposition processes in grassland and coniferous forests. *Ecol. Appl.* 1: 326-437.
3. Bardgett, R. D. and E. McAlister. 1999. The measurement of soil fungal: bacterial biomass ratios as an indicator of ecosystem selfregulation in temperate meadow grasslands. *Biol. Fert. Soils.* 29: 282-290.
4. Boerner, Ralph E. J., Kelly, L. M. Decker, Elaine Kennedy Sutherland. 2000. Prescribed burning effects on soil enzyme activity in a southern ohio hardwood forest: a landscape-scale analysis. *Soil Biol. Biochem.* 32: 899-908.
5. Boyle, S. A., R. R. Yarwood, P. J. Bottomley, and D. D. Myrold. 2008. Bacterial and fungal contributions to soil nitrogen cycling under douglas fir and red alder at two sites in oregon. *Soil Biol. Biochem.* 40: 443-451.
6. Chang, E. H., R. S. Chung, and Y. H. Tsai. 2007. Effect of different application rates of organic fertilizer on soil enzyme activity and microbial population. *Soil Sci. Plant Nutr.* 53: 132-140.
7. Clegg, C. D. 2006. Impact of cattle grazing and inorganic fertiliser additions to managed grasslands on the microbial community composition of soils. *Appl. Soil Ecol.* 31: 73-82.
8. Daniels, B. A. and H. D. Skipper. 1982. Methods for the recovery and quantitative estimation of propagules from soil. In: NC Schenck. *Methods and principles of mycorrhizal*

- research. St. Paul, Minn., USA: American Phytopathological Society. pp. 29-35.
9. Lee, E. H., B. Y. Lee, Y. B. Lee, Y. S. Kwon, and J. W. Lee. 1998. Nitrate content and activities of nitrate reductase and glutamine synthase as affected by ionic strength, nitrate concentration, ratio of nitrate to ammonium in nutrient solution for culture of leaf lettuce and water dropwort. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 39: 161-165.
 10. Eivazi, F. and M. A. Tabatabai. 1988. Glucosidases and agalactosidases in soils. *Soil Biol. Biochem.* 20: 601-606.
 11. Garcia-Gil J. C., Plaza C., Soler-Rovira P., and A. Polo. 2000. Long-term effects on municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.* 32: 1907-1913.
 12. Hu, C. and Z. Cao. 2007. Size and activity of the soil microbial biomass and soil enzyme activity in long-term field experiments. *World J. Agri. Sci.* 3: 63-70.
 13. Kim, K. S., Y. B. Lee, S. J. Hwang, B. R. Jeong, and C. G. An. 2013. Irrigation method of nutrient solution affect growth and yield of paprika 'eyron' grown in rockwool and phenolic foam slabs. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 31(2): 179-185.
 14. Kim, P. J., D. K. Lee, and D. Y. Chung. 1997. Effects of soil bulk density on saturated hydraulic conductivity and solute elution patterns. *J. Korea Soc. Soil Sci. Fert.* 30: 234-241.
 15. Kim. Y. H., J. H. Lim, C. H. An, B. K. Jung, and S. D. Kim. 2012. Soil microbial community analysis using soil enzyme activities in red pepper field treated microbial agents. *J. Appl. Biol. Chem.* 55(1): 47-53
 16. Kirschbaum, M. U. F. 1995. The temperature dependence of soil organic matter decomposition, and the effect of global warming on soil organic C storage. *Soil Biol. Biochem* 31: 205-211.
 17. Lee, Y. H. and S. K. Ha. 2011. Impacts of chemical properties on microbial population from upland soils in gyeongnam province. *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 44(2): 242-247.
 18. Lee, Y. H., M. K. Kim, and Y. S. Ok. 2012. The relationship between microbial characteristics and glomalin concentrations in paddy soils of gyeongnam province. *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 45(5): 792-797.
 19. Nobili, D. M., M. Contin, and P. C. Brookes. 2006. Microbial biomass dynamics in recently air-dry for up to 103 years. *Soil Biol. Biochem.* 38: 2871-2881.
 20. 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.
 21. Sarapatka, B., L. Dudova, and M. Krskova. 2004. Effect of pH and phosphate supply on

IV. 분할관수와 유기물처리에 의한 시설 고추 유기재배 토양 미생물상과 토양 효소의 변화

- acid phosphatase activity in cereal roots. *Biologia*, Bratislava, 59: 127-131.
22. Skujins, J. 1976. Extracellular enzymes in soil. *CRC Crit. Rev. Microbiol.* 4: 383-421.
 23. Sohn, B. K., S. Y. Jin, H. L. Kim, J. S. Cho, and D. J. Lee, 2008. Improvement of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) propagule at the preplanting field for ginseng cultivation. *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 41(3): 170-176.
 24. Tabatabai, M. A. 1982. Soil enzymes, pp. 903-947. In: Page, A. L., R. H. Miler, and D. R. Keeney. (eds.). *Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and microbiological properties*, Amer. Soc. Agron. Madison, WI(USA).
 25. Tadesse, T., M. A. Nichols, and K. J. Fisher. 1999. Nutrient conductivity effects on sweet pepper plants grown using a nutrient film technique. 2. lossom-end rot and fruit mineral status. *New Zealand J. Crop Hort. Sci.* 27: 239-247.
 26. Trotta, A., G. C. Verese, E. Gnavi, A. Fusconi, S. Sampo, and G. Gerta. 1996. Interaction between the soilborne root pathogen *Phytophthora nicotianae* var. *parasitica* and the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomos mosseae* in tomato plants. *Plant Soil.* 185: 199-209.
 27. Wasaki, J., T. Yamamura, T. Shinano and M. Osaki. 2003. Secreted acid phosphatase is expressed in cluster roots of lupin in response to phosphorus deficiency. *Plant Soil.* 248: 129-136.
 28. Wright, S. F. and A. Upadhyaya. 1996. Extraction of an abuneant and unusual protein from soil and comparison with hyhal protein from arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Sci.* 161: 575-585.
 29. Wright, S. F., J. L. Starr, and I. C. Paltineanu. 1999. Changes in aggregate stability and concentration of glomalin during tillage management transition. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 1825-1829.
 30. Yang, S. K., D. I. Kim, H. K. Kim, J. K. Yang, Y. S. Han, and W. J. Jung. 2017. No-tillage agriculture of korean-style on recycled ridge. IV. Changes in ppepper yield and distribution of animalcule with split irrigation and organic matter at plastic film greenhouse soil in organic cultivation of no-tillage systems. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 25(2): 329-344
 31. 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.
 32. Yang, S. K., G. H. Shin, H. K. Kim, H. W. Kim, K. J. Choi, and W. J. Jung. 2015b. Effects of no-yillage and split irrigation on the growth of pepper organically cultivated under plastic film greenhouse condition. *Korean J. Organic Agri.* 23(4): 781-796.
 33. Yang, S. K., G. H. Shin, S. K. Kim, D. I. Kim, and W. J. Jung. 2017. 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.
34. Yang, S. K., Y. W. Seo, B. H. Kim, B. K. Sohn, C. D. Wee, J. H. Lee, W. J. Jung, and R. D. Park. 2011. Characteristics of spore density and colonization pattern of arbuscular mycorrhizal fungi on the no-tillage soil under greenhouse condition. Kor. J. Org. Agri. 19(3): 343-355.
35. Yang, S. K., Y. W. Seo, J. H. Son, J. D. Park, K. J. Choi, and W. J. Jung. 2012. Properties of pepper growth and yield, cost down with no-tillage organic cultivation in vinyl greenhouse. Korean J. Org. Agri. 20(3): 411-422.
36. 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.
37. Yedidia, I., N. Benhamou, Y. Kapulnik, and I. Chet. 2000. Induction and accumulation of PR proteins activity during early stages of root colonization by the Mycoparasite *Trichoderma harzianum* strain T-203. Plant Physiol. Biochem. 38: 863-873.