

노지고추에서 고추역병 경감을 위한 녹비작물 호밀의 재배효과*

권오훈** · 김찬용*** · 김영숙**** · 원종건***** · 정희영*****

Effect of Rye Cultivation for Reduction of Phytophthora Blight in Red Pepper Field

Kwon, Oh-Hun · Kim, Chan-Yong · Kim, Young-Suk ·
Won, Jong-Gun · Jung, Hee-Young

This study was carried out to evaluate the effect of rye as green manure crop on the improvement of soil environment and reduction of Phytophthora blight in red pepper of open field where Phytophthora blight occurred frequently. Soil physical properties such as bulk density and porosity were increased in rye cultivation. In addition, gaseous was increased but liquid was decreased compared with conventional cultivation. The analysis of phospholipid fatty acids extracted from soil showed that rye cultivation significantly increased relative abundance of microbial community and ratio of aerobic to anaerobic bacteria. Furthermore, ratio of saturated to unsaturated fatty acids and cyclo-fatty acids to precursor. the indicators of increasing in environmental stresses, were reduced in rye cultivated field. Occurrence of Phytophthora blight in rye cultivation was reduced 30.7% compared with conventional cultivation. These results suggest that rye cultivation in red pepper of open field where Phytophthora blight occurred can improve soil environment and reduce damage of Phytophthora blight.

Key words : *phytophthora blight, red pepper, rye, soil microbial community, soil physical properties*

* 본 연구는 농촌진흥청 농업과학기술 연구개발사업(PJ009324022015)의 지원에 의해 이루어진 것임.

** Corresponding author, 경북농업기술원 영양고추연구소 농업연구사, 경북대학교 응용생명과학부 박사과정(love6mm@korea.kr)

*** 경북농업기술원 영양고추연구소 농업연구사

**** 경북농업기술원 영양고추연구소 연구원

***** 경북농업기술원 영양고추연구소 농업연구관

***** 경북대학교 응용생명과학부 교수

I. 서 론

고추(*Capsicum annuum* L.)는 우리나라의 대표적인 조미채소로 재배면적은 2019년에 31,644 ha로 채소재배 면적의 15.5%, 조미채소 면적의 32.3%를 차지하고 있고(Korean statistical information service, <http://kisis.kr>), 그 재배면적은 조금씩 증가하고 있는 추세에 있다.

고추는 재배기간이 길어 다양한 병해에 노출되어 있지만, 이 중에서 고추 역병과 탄저병은 국내 고추재배에서 가장 심각한 병해이다. 고추역병은 *Phytophthora capsici*에 의해 발생하는 토양전염성병으로 정식 이후부터 전 생육기간에 걸쳐 발생하며 주로 지제부에서 발생하여 포기 전체를 시들게 함으로써 수량감소에 직접적인 영향을 준다. 이러한 고추역병의 피해를 줄이기 위한 방제방법으로는 살균제를 이용한 화학적 방제가 일반적이다. 그 중 대표적인 고추역병 방제용 살균제인 metalaxyl은 난균류에 우수한 방제효과가 있는 약제로 전 세계적으로 널리 사용되고 있다(Kim et al., 2000). 하지만, metalaxyl의 지속적인 사용으로 국내외에서 저항성균이 출현하면서 방제에 어려움이 많다(Lamour and Hausbeck, 2000; Lee et al., 2009). 또한, 고추 역병균은 서로 다른 교배형에 의한 배수체 상태에서 유전적 변이가 발생하여 처리하는 살균제의 효과가 감소하는 경우가 있는 것으로 알려져 있다(Bowers and Mirchell, 1991; Lee et al., 2008). 이러한 저항성균의 발달은 농약살포 횟수 증가로 이어지고, 안전성에도 문제가 발생할 수 있어 화학적 방제를 보완하기 위해 비닐터널 유인재배, 유기농자재 등의 다양한 방제방법이 개발되어 이용되고 있다(Cheong et al., 2010; Park et al., 2012). 그 중 길항미생물을 이용한 생물학적 방제는 친환경적이라는 관점에서 선호하고 있고 국내에서도 토양 근권에서 분리한 *Bacillus* 속, *Serratia* 속 등의 다수의 길항미생물을 고추역병 방제에 이용하고 있다(Shen et al., 2005; Lee et al., 2011a). 특히, 길항미생물인 *Bacillus* sp.는 녹비작물을 연용한 유기재배 밭토양에서 개체수가 증가하며 이와 더불어 토양 내 그람음성 세균과 호기성 세균의 밀도도 증가한다고 하였다(Suh et al., 2010; Lee et al., 2011b).

이처럼 고추역병 발생을 억제하기 위한 다양한 방법들이 개발되어 활용되고 있지만, 최근에는 여러 작물에서 토양 내 발생하는 병해충의 피해를 줄이기 위해 녹비작물을 이용한 다양한 연구가 수행되고 있다(Kim et al., 2014; Jung et al., 2015a). 그 중 호밀은 참깨 연작지에서 발생하는 주요 토양전염성병인 역병과 시들음병의 발생을 줄이고, 감자 재배지에서는 토양전염성병인 가루더듬이병과 무름병의 발생을 감소시킨다고 하였다(Nam et al., 2007; Zhang et al., 2007).

이에 본 연구에서는 토양전염성병인 고추역병 다발생 포장에서 동계 휴작기 동안 호밀을 녹비작물로 재배한 후 토양환경 변화 및 고추역병 경감효과를 분석하여 고추역병 피해를 줄이기 위한 재배법을 확립하고자 수행하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시험포장 및 처리방법

본 시험은 경상북도농업기술원 영양고추연구소 시험포장에서 토성이 미사질양토로 배수가 불량하며 1997년부터 고추를 연작하여 고추역병이 상습적으로 다발하는 시험포에서 실시하였다. 시험포장의 토양 이화학적 특성을 분석하기 위해 표토를 제거하고 토양시료 채취기로 0~15 cm 깊이의 토양을 채취하여 음건한 후 2 mm 토양체로 토양분석용 시료를 조제하여 분석하였으며 그 결과는 Table 1과 같았다. 시험포장은 난괴법 3반복으로 호밀재배 시험구와 관행재배 시험구로 조성하였고, 각 시험구면적은 42.2 m² (3.3 m×12.8 m)로 하였다. 호밀재배 시험구는 2014년 10월 초순에 호밀을 20 kg/10a 파종 후, 이듬해 4월 하순에서의 생체량은 평균 2,108 kg/10a였으며 이를 경운하여 토양에 환원하였다. 시비는 표준시비량을 계산하여 10a당 요소 41.3 kg, 용성인비 56 kg, 염화칼리 25 kg, 고토석회 150 kg 및 퇴비 2,000 kg으로 하였다. 용성인비, 고토석회, 퇴비는 전량 기비로 사용하고, 요소와 염화칼리는 60%를 기비, 40%는 추비로 3회 나누어 점적호수를 이용하여 관주하였다. 시험품종은 고추역병 감수성 품종으로 알려진 ‘부부’를 70일간 육묘한 후 5월 상순에 이랑간격 110 cm, 주간간격 40 cm로 하여 1열 이랑재배로 정식하였으며, 재배기간 동안 역병방제용 약제는 살포하지 않았다.

Table 1. Chemical properties in the experimental field

pH (1:5)	O.M. (g·kg ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg·kg ⁻¹)	Exchangeable cation (cmol·kg ⁻¹)			EC (dS·m ⁻¹)
			K	Ca	Mg	
7.4	43.3	603.7	2.1	10.7	4.5	1.3

* Abbreviation: O.M. (Organic Matter), Av.P₂O₅ (Available phosphate), EC (Electrical Conductivity)

2. 토양 물리성 분석

호밀재배에 따른 토양 물리성 변화를 분석은 고추 생육초기인 5월 하순과 생육후기인 8월 하순에 두 차례 걸쳐 실시하였고, 용적밀도, 고상, 액상 및 기상비율을 조사하였다. 토양시료는 표토를 제거한 후 100 cm³ 코어(Eijkkelkamp, Netherlands)를 이용하여 0~5 cm 깊이의 토양을 채취하여 밀봉한 후 실험실로 운반하였다. 토양시료는 Dry oven (NDS-600D, Eyla, Japan)에서 105°C로 48시간 건조시켜 흡착된 수분을 제거하였다. 용적밀도는 건조토양을 코어부피로 나누어 계산하였다. 고상비율은 건조토양의 중량에 진비중으로 나누어 나타내었으

며, 액상비율은 채취한 토양시료 무게에서 건조토양의 무게를 뺀 후 물의 밀도로 나눈 값을 액상비율로 하였다. 기상비율은 전체비율에서 고상과 액상비율을 뺀 값으로 표시하였다.

3. 토양미생물 인지질지방산 분석

토양 내 미생물상 변화를 분석하기 위해서 Peacock 등(2001)의 방법으로 인지질 지방산 (phospholipid fatty acid, PLFA)을 추출하여 토양 미생물 군락의 구성을 비교하였고, 토양 내 미생물상 분석을 위한 토양시료는 호밀을 토양에 환원한 후 5월 하순에 채취하였다. 토양 시료는 지표면으로부터 15 cm 깊이의 토양을 구당 3지점에서 코어로 채취하여 음건한 후 2 mm 체로 걸러 -80°C 냉동고에 보관하면서 분석에 사용하였다. 인지질 지방산 분석을 위해 5 g의 토양 시료에 chloroform : methanol : buffer solution (1 : 2 : 0.8, v : v : v) 혼합액을 넣어 지질을 추출한 후 silicic acid column으로 중성지방질, 당지질 및 인지질로 분리하였다. 이 중에서 인지질을 메틸화 하여 만들어지는 메틸화된 지방산에 fatty acid methyl ester 19:0 150 ng·ul⁻¹을 내부 표준물질로 이용하여 MIDI Sherlock Microbial Identification System (MIDI Inc., Newark, DE)으로 인지질 지방산을 정성 및 정량하였다. 각 인지질 지방산 값은 각 시료에서 총 인지질 지방산의 백분율로 표시하였다. 각 지방산의 생물학적 지표 분류는 Li 등(2006)의 분류 기준을 이용하여 그람음성세균의 지표 지방산은 18:1 ω 7c, 19:0cy ω 8c, 17:1 ω 8c, 그람양성세균의 지표 지방산은 i14:0, i15:0, a15:0, i16:0, i17:0, a17:0, 곰팡이의 지표 지방산은 18:2 ω 6,9c, 균근균의 지표 지방산은 16:1 ω 5c, 방선균의 지표 지방산은 10Me16:0, 10Me17:0, TBSA10Me18:0을 이용하였다. 호기성균은 16:1 ω 7t, 18:1 ω 7c, 혐기성균은 cy19:0을 지표 지방산으로 사용하였다. 또한, 불포화지방산의 지표 지방산은 16:1 ω 5c, 17:1 ω 8c, 18:1 ω 7c, 포화지방산의 지표 지방산은 14:00, 15:00, 16:00, 17:00, 18:00, 20:00, Cyclopropyl의 지표 지방산은 cy17:0, cy19:0 ω 8c, 전구체의 지표 지방산은 16:1 ω 7c, 18:1 ω 7c를 이용하였다.

4. 고추역병 발병조사 및 통계 분석

역병 발병양상을 조사는 7월 하순부터 2주 간격으로 3회 실시하였으며, 구당 전체 재식 주수에 대한 발병주수를 조사하여 역병 발병률로 나타내었다.

본 실험의 통계학적 분석은 SAS 프로그램(version 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 이용하여 유의성 검정(t-test)을 수행하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 녹비재배와 관행재배 토양의 물리성

고추 포장에서 녹비작물로 호밀재배시의 토양 물리성 변화는 Table 2와 같으며, 호밀재배에 따른 토양 물리성 변화는 고추 생육초기와 후기 모두 유사한 결과를 보였다. 호밀을 토양에 환원 후 용적밀도는 관행재배에 비해 0.06~0.15 Mg·m⁻³ 정도 감소하는 경향이었고 그에 따라 공극률은 2.2~5.8% 증가하는 경향이였다. Yang 등(2012)과 Park 등(2013)은 녹비작물 재배 및 환원으로 토양의 용적밀도가 감소되고 공극률이 증가하여 토양 물리성이 개선되는 것으로 보고하였는데 본 연구결과와 동일한 경향이였다. 호밀의 토양환원에 따른 토양삼상의 분포를 보면, 고상은 관행재배와 비교하였을 때 통계적으로 유의적인 차이는 없었으나 호밀재배 포장에서 낮은 경향을 나타내었다. 액상은 조사 시기에 따라 호밀재배가 관행재배 보다 5.8~12.0% 낮았고 기상은 호밀재배가 관행재배 보다 8.0~17.9% 높은 것으로 나타났다. 이는 Nam 등(2007)이 참깨 연작지에서 녹비작물의 재배가 토양삼상의 분포를 개선시킨다는 결과와 유사한 경향을 나타냈다. 토양입단은 작물의 연작 연수가 증가할수록 불량하여 고상의 비율이 높아지고 기상의 비율이 낮아진다고 하였는데(Chung et al., 1989), 대부분 연작재배가 이루어지는 고추의 특성을 볼 때, 호밀을 이용한 녹비작물 재배는 토양의 물리성을 개선시킬 것으로 생각된다.

Table 2. Comparison of soil physics by rye cultivation

Sampling time	culture	Bulk density (Mg·m ⁻³)	Porosity (%)	Three phases (%)		
				Soild	Liquid	Gaseous
May. 26	Rye+ Red pepper	1.10	57.7	42.3	22.7	35.0
	Red pepper	1.25	51.9	48.1	34.5	17.4
	<i>t-test</i>	NS ¹⁾	NS	NS	** ²⁾	**
Aug. 25	Rye+ Red pepper	1.13	57.4	42.6	21.8	35.6
	Red pepper	1.19	55.2	44.8	27.6	27.6
	<i>t-test</i>	NS	NS	NS	**	**

¹⁾ NS: Not significant at 0.05 probability level

²⁾ **: Significant at *P* = 0.01 respectively

2. 녹비재배와 관행재배의 토양 미생물 지표 인지질 지방산 함량

고추역병 다발생지에서 녹비작물로 호밀재배 후 토양 미생물 종류별 군락의 변화는 추출한 인지질 지방산을 이용하여 분석하였고 그 결과는 Table 3과 같다. 지표 지방산의 분석 결과를 보면 호밀재배에서 곰팡이, 세균, 방선균 및 균근(VAM)의 비율이 관행재배 보다 통계적으로 유의성 있게 증가하는 것을 볼 수 있었다. 특히, 호밀재배에서 세균 비율은 20.6%로 관행재배 보다 9.2%로 증가하였다. 토양 내 유기물의 투입은 기질을 증가시키고 토양 화학성을 변화시켜 2차적으로 미생물 군집에 영향을 줄 수 있고 미생물 밀도는 유기물 함량과 밀접한 관계가 있다고 하였는데(Antisari et al., 2013; Eo et al., 2018), 본 연구에서의 결과로 볼 때 녹비작물로 재배된 호밀이 토양에 환원된 후 토양미생물의 영양원으로 사용되는 비율이 높았던 결과로 보인다.

Table 3. Microbial phospholipid fatty acid affected by rye cultivation

culture	Relative abundance as a percentage of total PLFA (nmol · g ⁻¹)			
	Fungi	Bacteria	Actinomycetes	VAM-fungi ¹⁾
Rye+ Red pepper	2.8	20.6	6.5	2.7
Red pepper	0.7	11.4	3.7	1.5
t-test	*** ¹⁾	***	***	***

¹⁾ ***: Significant at $P=0.001$ respectively

토양 내 인지질 지방산 구성에 따른 토양 미생물 군락의 생리적인 지표 변화는 Table 4에서 나타난 바와 같다. 그람음성균/그람양성균 비율은 탄소 영양원이 적은 조건에서 탄소 영양원이 풍부한 조건으로의 이동 지표가 될 수 있는데(Yao et al., 2000), 호밀재배와 관행재배 간에 통계적으로 유의한 차이는 없었지만 호밀재배에서 그람음성균/그람양성균 비율이 증가하는 경향을 나타내었다. Kramer와 Gleixner (2008)는 신선 유기물이 투입된 토양에서 그람음성균이 증가한다고 하였는데, 호밀재배에서 그람음성균/그람양성균 비율이 증가한 것은 호밀의 토양환원으로 영양분인 탄소원이 풍부한 조건으로 바뀐 결과로 생각된다. 또한, Lee 등(2008)은 탄소원 공급이 길항미생물의 항진균 활성물질 생산능력을 향상시킨다고 하였는데, 이러한 결과로 볼 때 고추역병 다발생 포장에서 호밀재배는 토양 내 길항미생물을 활성화 하여 고추역병 발병에 영향을 주었을 것으로 판단된다. 토양 내 환경조건을 나타내는 호기성균/혐기성균의 비율(Kaur et al., 2005)은 호밀재배가 관행재배 보다 통계적으로 유의성 있게 높게 나타났다. 이는 호밀재배로 토양 용적밀도 및 액상비율 감소, 기상비율 증가 등의 토양입단이 형성되어 토양 내 호기조건이 증가된 결과로 생각된다.

*Phytophthora capsici*에 의한 역병은 수분과 밀접한 관계가 있는데(Hausbeck and Lamour, 2004), 호밀재배에 의한 토양환경이 호기조건으로의 개선은 고추역병 발병을 감소시킬 수 있을 것으로 생각된다. 포화지방산/불포화지방산 비율의 증가는 탄소 영양원 및 호기조건 부족 등에 대한 스트레스를 반영하는데(Pinkart et al., 2002), 호밀재배가 관행재배 보다 포화지방산/불포화지방산 비율이 유의성 있게 낮아 호밀재배가 토양 내 호기조건 부족에 대한 스트레스를 줄인 것으로 생각된다. 또한, 호밀재배에서 토양 내 포화지방산/불포화지방산 비율의 감소는 호기성균/혐기성균의 비율이 높았던 결과와도 상관이 있어 보인다. cyclo-지방산/전구체 비율은 탄소 영양원 및 통기부족, 수분과다 등의 스트레스 조건에서 증가하는데(Fierer et al., 2003), cyclo-지방산/전구체 비율에서도 호밀재배가 관행재배 보다 낮아 토양 미생물 군락에 대한 스트레스 환경을 줄여주는 역할을 하는 것으로 생각된다.

Table 4. The phospholipid fatty acid characteristics of soil after rye cultivation

Culture	Gram- / gram+ bacteria	Aerobic / anaerobic bacteria	Saturated / saturated fatty acid	Cyclo-fatty acid / precursor
Rye+ Red pepper	0.64	1.57	1.19	0.48
Red pepper	0.61	1.15	1.38	0.71
t-test	NS ¹⁾	*** ²⁾	***	***

¹⁾ NS: Not significant at 0.05 probability level

²⁾ ***: Significant at $P=0.001$ respectively

3. 녹비재배에 따른 고추역병 경감 효과

고추역병 다발생지에서 녹비작물로 호밀을 재배한 후 고추역병 발병정도는 Table 5와 같다. 7월 하순 조사에서는 호밀재배 포장의 역병발병률은 통계적으로 관행재배와 유의한 차이는 없었다. 하지만, 8월 상순 조사에서 호밀재배 포장의 역병발병률이 15.0%로 관행재배에 비해 26.7% 낮은 발병률을 보였으며, 8월 하순 조사에서도 관행재배 보다 발병률이 30.7% 낮아 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다. 녹비작물은 토양 내 병해충 발생을 억제할 수 있는 것으로 알려져 있는데(Wright and Upadhyaya, 1996; Wang et al., 2001), 특히 참깨와 토마토 연작지에서 녹비작물로 호밀을 토양에 혼입하면 토양병원균인 *Fusarium oxysporum*과 *Pseudomonas corrugata*의 밀도를 현저히 감소시켜 피해를 줄일 수 있다고 하였다(Nam et al., 2007; Jung et al., 2015b). 따라서 본 연구에서의 결과로 볼 때 고추 연작지에서 호밀이 토양에 혼입되면 고추역병의 발병을 낮출 수 있을 것으로 생각되며 호밀재배에 따른 토양 내 고추 역병균의 밀도변화에 대해서는 추가적인 조사가 필요할 것으로 판단된다.

Table 5. Incidence of phytophthora blight by rye cultivation

Cultivation	Disease incidence (%)		
	Late july	Early august	Late august
Rye+ Red pepper	4.0	15.0	15.9
Red pepper	7.0	41.7	46.6
t-test	NS ¹⁾	* ²⁾	*

¹⁾ NS: Not significant at 0.05 probability level

²⁾ *: Significant at $P=0.05$ respectively

IV. 적 요

고추역병 다발생 포장에서 녹비작물인 호밀재배에 따른 토양환경 변화와 고추역병 경감 효과를 조사하였다. 토양 물리성을 분석한 결과에서는 호밀재배에서 용적밀도와 공극률이 증가하였다. 또한, 토양 삼상의 분포는 고상에서는 관행재배와 차이가 없었으나, 기상은 관행재배 보다 증가하고 액상은 감소하였다. 토양 내 인지질 지방산을 추출하여 지표 지방산으로 분석한 미생물 군락의 상대밀도는 호밀재배에서 유의성 있게 증가하였으며, 호기성균/혐기성균의 비율의 비율도 호밀재배에서 높게 나타났다. 환경스트레스 지표인 포화지방산/불포화지방산 비율과 cyclo-지방산/전구체 비율은 호밀재배가 관행재배 보다 낮아 토양환경이 개선된 것으로 나타났다. 호밀재배에 따른 고추역병의 경감효과를 조사한 결과 호밀재배가 관행재배 보다 30.7% 낮은 발병률을 나타냈다. 이상의 결과를 요약해볼 때, 고추역병 다발생 포장에서 녹비작물인 호밀재배는 토양환경을 개선하고 고추역병 발병을 감소시킬 것으로 사료된다.

[Submitted, March. 16, 2020; Revised, October. 15, 2020; Accepted, November. 4, 2020]

References

1. Antisari, L., G. Falsone, S. Carbone, and G. Vianello. 2013. Short-term effects of forest recovery on soil carbon and nutrient availability in an experimental chestnut stand. *Biol. Fert. Soils* 49: 165-173.

2. Bowers, J. H. and D. J. Mitchell. 1991. Relationship between inoculum level of *Phytophthora capsici* and mortality of pepper. *Phytopathol.* 81: 178-184.
3. Cheong, S. S., J. H. Kim, and D. C. Choi. 2010. Effect of polyvinyl tunnel after mulching on the occurrence of *Phytophthora* blight and anthracnose of red pepper. *Res. Plant Dis.* 16: 106-108.
4. Chung, C. H., J. H. Jeon, H. K. Kim, and K. H. Park. 1989. Effects of the continuous cultivating years of the hot-pepper, sesame and peanut on yields and soil microorganism. *J. Kor. Soc. Soil Sci. Fert.* 22: 67-71.
5. Eo, J., M. H. Kim, H. K. Nam, S. I. Kwon, and Y. J. Song. 2018. Effect of organic waste application on soil chemical properties and organisms under *Zelkova serrata* cultivation. *Kor. J. Environ. Biol.* 36: 471-478.
6. Fierer, N., J. P. Schimel, and P. A. Holden. 2003. Variations in microbial community composition through two soil depth profiles. *Soil Biol. Biochem.* 35: 167-176.
7. Hausbeck, M. K. and K. H. Lamour. 2004. *Phytophthora capsici* on vegetable crops: research progress and management challenges. *Plant. Dis.* 88: 1292-1303.
8. Jung, Y. J., I. S. Nou, Y. K. Kwon, and K. K. Kang. 2015a. Effect of green manure crops incorporation for reduction of *Pythium zingiberum* in ginger continuous cultivation. *Kor. J. Plant Res.* 28: 271-278.
9. Jung, Y. J., I. S. Nou, and K. K. Kang. 2015b. Effect of green manure crops on tomato growth and soil improvement for reduction of continuous cropping injury through crop rotation in greenhouse. *Kor. J. Plant Res.* 28: 263-270.
10. Kaur, A., A. Chaudhary, A. Kaur, R. Choudhary, and R. Kaushik. 2005. Phospholipid fatty acid-A bioindicator of environment monitoring and assessment in soil ecosystem. *Curr. Sci.* 89: 1103-1112.
11. Kim, B. S., J. H. Choi, W. H. Chun, K. Y. Ryu, Y. I. Hahm, and Y. S. Lee. 2000. Mating type and metalaxyl sensitivity of *Phytophthora infestans* isolated from Kangwon area in Korea. *Kor. J. Pesticide Sci.* 13: 283-289.
12. Kim, H. H., D. H. Kim, C. Y. Yang, T. J. Kang, K. S. Han, H. W. Park, Y. H. Jung, S. W. Jeon, J. S. Song, and H. Y. Choo. 2014. Control effect of sudan grass on root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*, in cucumber and lettuce greenhouses. *Res. Plant Dis.* 20: 264-269.
13. Kramer, C. and G. Gleixner. 2008. Soil organic matter in soil depth profiles: Distinct carbon preferences of microbial groups during carbon transformation. *Soil Biol. Biochem.* 40: 425-433.

14. Lamour, K. H. and M. K. Hausbeck. 2000. Mefenoxam insensitivity and the sexual stage of *Phytophthora capsici* in Michigan cucurbit fields. *Phytopathol.* 90: 396-400.
15. Lee, G. W., M. J. Kim, J. S. Park, J. C. Chae, B. Y. Soh, J. E. Ju, and K. J. Lee. 2011a. Biological control of *Phytophthora* blight and anthracnose disease in red-pepper using *Bacillus subtilis* S54. *Res. Plant Dis.* 17: 86-89.
16. Lee, J. B., J. H. Shin, J. O. Jang, K. S. Shin, C. S. Choi, K. W. Kim, M. S. Jo, C. P. Jeon, Y. H. Kim, and G. S. Kim. 2008. Antifungal activity of *Bacillus* sp. AM-651 against *Phytophthora capsici*. *Kor. J. Microbiol. Biotechnol.* 36: 227-232.
17. Lee, S. M., J. H. Shin, S. B. Kim, and H. T. Kim. 2009. Characteristics of *Phytophthora capsici* causing pepper *Phytophthora* blight resistant to metalaxyl. *Kor. J. Pesticide Sci.* 13: 283-289.
18. Lee, Y. H., Y. K. Sonn, B. K. Ahn, S. T. Lee, M. A. Shin, E. S. Kim, W. D. Song, and Y. S. Kwak. 2011b. Impacts of organic farming system on the soil microbial population in upland soil. *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 44: 819-823.
19. Li, W. H., C. B. Zhang, H. B. Jiang, G. R. Xin, and Z. Y. Yang. 2006. Changes in soil microbial community associated with invasion of exotic weed, *Mikania micrantha* H.B.K. *Plant Soil.* 281: 309-324
20. Nam, Y. S., I. J. Kim, M. J. Kim, H. J. Kang, T. Yun, C. W. Rho, K. B. Min, and C. H. Lee. 2007. Effects of green manure crops and rotational cropping system on growth and yield of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Kor. J. Plant Res.* 20: 404-408.
21. Park, J. H., S. T. Lee, D. C. Seo, S. H. Kim, H. C. Kim, S. W. Lee, J. S. Cho, and J. S. Heo. 2013. Effect of hairy vetch and crimson clover on the yield of carrot and soil physico-chemical properties in carrot-green manure crops rotation. *J. Agri. and Life Sci.* 47: 101-109.
22. Park, S. J., G. H. Kim, A. H. Kim, H. Lee, H. W. Gwon, J. Kim, K. H. Lee, and H. T. Kim. 2012. Controlling effect of agricultural organic materials on *Phytophthora* blight and anthracnose in red pepper. *Res. Plant Dis.* 18: 1-9.
23. Peacock, A. D., M. D. Mullen, D. B. Ringelberg, D. D. Tyler, D. B. Hedrick, P. M. Gale, and D. C. White. 2001. Soil microbial community responses to dairy manure or ammonium nitrate applications. *Soil Biol. Biochem.* 33: 1011-1019.
24. Pinkart, H. C., D. B. Ringelberg, Y. M. Piceno, S. J. Macnaughton, and D. C. White. 2002. Biochemical approaches to biomass measurements and community structure analysis. pp. 101-113.
25. Shen, S. S., O. H. Choi, S. H. Park, and C. S. Park. 2005. Root colonizing and biocontrol

- competency of *Serratia plymuthica* A21-4 against Phyttophthora blight of pepper. Plant Pathol. J. 21: 64-67.
26. Suh, J. S., J. S. Kwon, and H. J. Noh. 2010. Effect of the long-term application of organic matters on microbial diversity in upland soils. Kor. J. Soil Sci. Fert. 43: 987-994.
 27. Wang, K. H., B. S. Sipes, and D. P. Schmitt. 2001. Suppression of *Rotylenchulus reniformis* by *Crotalaria juncea*, *Brassica napus*, and *Tagetes erecta*. Nematropica. 31: 237-251.
 28. Wright, S. F. and A. Upadhyaya. 1996. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. Soil Sci. 161: 575-586.
 29. Yang, C. H., J. H. Lee, N. H. Baek, J. H. Jeong, K. M. Cho, S. B. Lee, and G. B. Lee. 2012. Incorporation effect of green manure crops on improvement of soil environment on Saemangeum reclaimed land during sorghum×sudangrass hybrid cultivation. Kor. J. Soil Sci. Fert. 45: 744-748.
 30. Yao H., Z. He, M. J. Wilson, and C. D. Campbell. 2000. Microbial biomass and community structure in a sequence of soils with increasing fertility and changing land use. Microb. Ecol. 40: 223-237.
 31. Zhang, Y. S., G. J. Lee, J. H. Joo, J. T. Lee, J. H. Ahn, and C. S. Park. 2007. Effect of winter rye cultivation to improve soil fertility and crop production in alpine upland in Korea. Kor. J. Environ. Agri. 26: 300-305.