

밭토양 유기재배가 토양 미생물 생태에 미치는 영향

이영한[†] · 손연규^{1†} · 안병구² · 이성태 · 신민아 · 김은석 · 송원두 · 곽연식^{3*}

경상남도농업기술원, ¹국립농업과학원, ²전라북도농업기술원, ³경상대학교

Impacts of Organic Farming System on the Soil Microbial Population in Upland Soil

Young-Han Lee[†], Yeon Kyu Sonn^{1†}, Byung-Koo Ahn², Seong-Tae Lee, Min-A Shin, Eun-Seok Kim, Won-Doo Song, and Youn-Sig Kwak^{3*}

Gyeongsangnam-do Agricultural Research and Extension Services, Jinju 660-370, Korea

¹National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707

²Jeollabuk-do Agricultural Research and Extension Services, Iksan 570-704, Korea

³Department of Applied Biology, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

The present study evaluated the seasonal changes of the soil microbial population by selected media in an organic farming system (OFS) with rye rotation cropping management compared to those in a conventional farming system (CFS) with chemical fertilizers, pesticide and herbicide from May 2009 to October 2010 in an upland field. With the exception of fungi, populations of aerobic bacteria, Gram-negative bacteria, and *Bacillus* spp. were higher in the OFS soil during soybean-growing stages. In addition, populations of aerobic bacteria, Gram-negative bacteria, and *Bacillus* spp. in the OFS soil were nearly two times more than those in the CFS soil on reproductive growth stages. Our findings suggested that *Bacillus* spp. should be considered as responsible factor for microbial population differentiation observed between the OFS and the CFS in upland fields.

Key words: Upland soil, Microbial population, Organic farming, *Bacillus* spp.

서 언

농업은 다양한 토양 미생물에 의한 생태계 순환으로 환경과 가장 조화된 산업이다 (Pollock et al., 2008; Pretty, 2008; Zhao et al., 2008). 토양 미생물 다양성은 토양 유기물의 분해와 관련이 있다 (Waldrop et al., 2000). 따라서 유기농업을 실천하는데 유기물 공급은 필수적인 요소이다 (Erenstein, 2002; Lal, 1991; Lee, 2010). 일반적으로 유기농업은 토양 미생물 형성을 촉진시키고 (Wright et al., 1999) 토양 미생물 다양성을 향상시키며 (Mäder et al., 2002) 환경스트레스를 경감시키는 (Altieri, 2002) 등의 장점이 알려져 있다. 또한, 유기농업은 토양 미생물의 분포와 활성에 긍정적인 기여를 하며 (Clark et al., 1998; Drinkwater et al., 1995) 미생물 생체량의 증대 (Gelsomino et al., 2004;

Liu et al., 2007) 그리고 토양 입단 (Stark et al., 2007) 을 좋게 한다. 미생물에 의한 토양 건전성 유지는 토양에서 미생물의 수, 미생물체량 그리고 효소활성 등과 관련되어 있다 (Suh, 1998). 일반적으로 밭토양에서 녹비작물을 장기적으로 연용할 경우 토양은 바실러스균과 그람음성 세균이 우점하는 경향이 있다 (Suh et al., 2010). 밭 토양의 곰팡이 개체수는 곡간 및 선상지가 하성평탄지 보다 유의적으로 많았으며 작물별 미생물상과 토양 미생물체량 및 탈수소 효소 활성은 유의적인 차이가 없었고 바실러스균과 곰팡이 균은 토양의 유기물 함량과 정의 상관관계를 보였다 (Lee and Ha, 2011). 그러나 밭토양에서 유기농업을 추진할 경우 토양 건전성의 지표로 사용되는 미생물에 대한 연구가 부족하여 유기농업을 확대하는데 어려움이 있다.

따라서 본 연구는 밭에서 콩을 유기농업과 관행농업으로 재배할 경우 토양 미생물의 계절적 변화를 연구하여 생태적 원리에 부합하는 유기농업의 장점을 밝혀내고 유기농업의 토양 미생물 기초자료로 활용하기 위해 수행하였다.

접수 : 2011. 8. 25 수리 : 2011. 10. 3

[†]공동 제1저자

*연락처 : Phone: +82557721922

E-mail: kwak@gnu.ac.kr

재료 및 방법

시험포장 및 재배조건 밭토양에서 유기농업과 관행 농업의 토양 미생물 변화를 검토하기 위하여 하동군 양보 면에 위치한 대곡양토 (35°02'47"N, 127°51'31"E)에서 콩을 대상으로 2009년 5월부터 2010년 10월까지 수행하였다. 시험구는 1,000 m² (50 m × 20 m)로 2요인 난괴법 3반복으로 실시하였다. 매년 콩은 5월 30일에 60 cm × 15 cm 길이로 파종하였고 10월 9일에 수확하였다. 유기농업 시험구는 매년 5월 24일에 호밀 (N-P₂O₅-K₂O=43-22-74 kg ha⁻¹)을 5.12 Mg ha⁻¹ 환원시켜 경운하였다. 관행농업 시험구는 합성화학비료 (요소 87 kg ha⁻¹, 용과린 75 kg ha⁻¹ 및 염화칼륨 100 kg ha⁻¹)를 사용하여 경운하였다. 또한, 관행농업 시험구는 6월 15일에 제초제로 alachlor (성분량 5%) 수화제를 토양 투입농도가 1.7 mg kg⁻¹이 되도록 조절하여 살포하였고 8월 14일에 살충제로 fenitrothion (성분량 40%) 수화제를 토양 투입농도가 0.6 mg kg⁻¹이 되도록 조절하여 살포하였다. 토양 미생물 다양성 변화를 조사하기 위해 토양 시료는 파종 전, 영양생장기, 생식생장기 및 수확기에 0-15 cm 깊이에서 3반복으로 채취하였다.

토양 미생물 조사방법 채취한 토양은 냉장고에 보관하면서 1주일 이내에 토양 미생물을 조사하였다. 토양 호기성 세균은 cycloheximide 50 µg mL⁻¹ (Dindal, 1990)을 가한 yeast extract medium (James, 1958), 곰팡이는 streptomycin-rose bengal medium (Martin, 1950)을 사용하였다. 또한, 그람음성세균은 crystal violet 내성균 medium, 중온성 바실러스균은 Suh and Shin (1997)의 방법을 사용하였다.

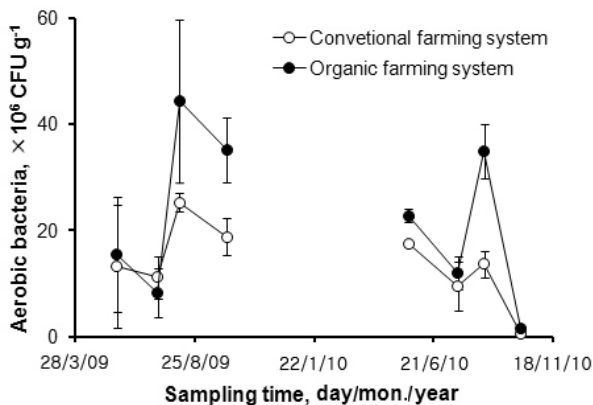


Fig. 1. Changes in populations of aerobic bacteria in the upland soybean cultivation period. The system was not significant, the date was significant at $p < 0.001$, and system × date interaction was significant at $p < 0.001$.

다변량 주성분 분석 및 통계분석 미생물 자료는 SAS 프로그램 9.1.3 버전 (2006)을 이용하여 통계분석 하였다. 유기농업 시험구와 관행농업 시험구의 계절적인 미생물 분포변화와 시험구와 조사시기에 따른 상호관계를 검토하기 위하여 two-way ANOVA 분석을 실시하여 0.1%, 1.0% 그리고 5.0% 유의수준에서 F 검정을 실시하였다. 또한, 토양 미생물 다양성은 주성분 분석을 통하여 유기농업 시험구와 관행농업 시험구의 차이를 비교 검토하였다.

결과 및 고찰

미생물 개체수 변화 밭토양에서 유기농업 시험구와 관행농업 시험구의 토양 미생물 변화를 조사하였다. 파종 전 호기성 세균 개체수는 2009년에 유기농업 15.4 × 10⁶ CFU g⁻¹, 관행농업 13.3 × 10⁶ CFU g⁻¹으로 유의적인 차이가 없었으나 2010년에는 유기농업이 22.8 × 10⁶ CFU g⁻¹로서 경운 관행농업 17.6 × 10⁶ CFU g⁻¹에 비해 유의적인 증가를 나타냈다 (Fig. 1). 이러한 결과는 경남지역 밭 토양 25개소의 호기성 세균 평균값인 17.5 × 10⁶ CFU g⁻¹과 비슷한 경향이였다 (Lee and Ha, 2011). 또한, 생식생장기에는 유기농업이 2009년에 44.3 × 10⁶ CFU g⁻¹, 2010년에 35.0 × 10⁶ CFU g⁻¹로서 관행농업의 25.2 × 10⁶ CFU g⁻¹, 13.7 × 10⁶ CFU g⁻¹보다 유의적으로 많았다. 이러한 경향은 유기농업 시험구는 호밀을 투입함으로 미생물의 먹이가 관행농업 보다 많은 데 기인된 것으로 판단되었다 (Clark et al., 1998; Reganold et al., 1987). 호기성 세균의 개체수는 파종이후 영양생장기에 감소하다가 생식생장기에 증가하였으며 수확기에 감소하는 추세를 보였다. Pozo et al. (1994)은 제초제 alachlor 농도를 1.7-8.3 mg kg⁻¹으로 살포한 결과 처리 후 30일까지 세균과 곰팡이의 개체수가 증가한다고 하였다. 따라서 영양생장기에 호기성 세균의 개체수가 관행농업이 유기농

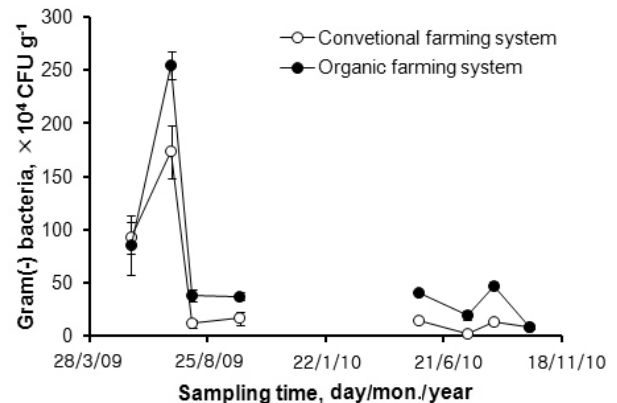


Fig. 2. Population dynamic of Gram-negative bacteria in the upland soybean cultivation period. The system was not significant, the date was significant at $p < 0.001$, and system × date interaction was not significant.

업 보다 많거나 비슷한 상태를 보인 것은 제초제alachlor의 사용에 따른 영향으로 생각되었다 (Lee and Kim, 2011). 콩 생육단계 전반에 걸쳐 호기성 세균 개체수는 유기농업과 관행농업은 유의적인 차이가 없었으며 콩의 생육단계별로 생식생장기에 가장 많았으며 ($p<0.001$) 재배방법과 생육단계의 상호작용도 유의적인 차이가 있었다 ($p<0.001$).

그람음성 세균 개체수의 변화는 Fig. 2와 같다. 그람음성 세균의 개체수는 2009년 파종이후부터 2010년 수확이전까지 유기농업이 관행농업 보다 많은 경향이였다. 영양생장기에 그람음성 세균 개체수는 유기농업이 2009년에 255.1×10^4 CFU g^{-1} , 2010년에 19.6×10^4 CFU g^{-1} 으로 관행농업의 2009년 173.5×10^4 CFU g^{-1} 및 2010년 2.2×10^4 CFU g^{-1} 보다 유의적으로 많았다. 이러한 경향은 생식생장기에도 유사한 결과를 보였으며 유기물 시용에 따라 그람음성 세균 개체수는 제초제나 살충제의 존재 보다 민감하게 반응하는 것으로 판단되었다 (Drinkwater et al., 1995). 콩 재배방법에 있어 유기농업과 관행농업 그리고 재배방법과 생육단계별 상호작용은 유의적인 차이가 없었으나 생육단계별 차이는 유의적인 차이가 있었다 ($p<0.001$).

바실러스 개체수의 변화는 Fig. 3과 같이 영양생장기에 유기농업이 2009년 28.9×10^5 CFU g^{-1} , 2010년 18.5×10^5 CFU g^{-1} 으로 관행농업의 23.1×10^5 CFU g^{-1} 및 7.4×10^5 CFU g^{-1} 보다 많았다. 또한, 생식생장기에도 유기농업은 2009년에 17.8×10^5 CFU g^{-1} , 2010년에 18.7×10^5 CFU g^{-1} 으로 관행농업의 7.4×10^5 CFU g^{-1} 및 7.7×10^5 CFU g^{-1} 보다 많았다. 이러한 결과는 Lee and Ha (2011)가 보고한 경남지역 밭토양의 바실러스 평균치 15.9×10^5 CFU g^{-1} 와 비교할 때 유기농업은 높은 반면 관행농업은 낮은 개체수를 보였다. 바실러스 개체수는 재배방법에 따라 유기농업과 관행농업 ($p<0.001$), 생육단계별 ($p<0.001$) 그리고 재배방법과 콩 생육단계의 상호작용에 유의적인 차이를 나타

냈다 ($p<0.01$).

곰팡이 개체수의 변화는 대부분의 콩 생육단계에서 유기농업과 관행농업은 유의적인 차이가 없었다 (Fig. 4). 곰팡이 개체수는 파종 이전에 관행농업이 2009년 17.7×10^4 CFU g^{-1} , 2010년 13.1×10^4 CFU g^{-1} 으로 유기농업의 8.4×10^4 CFU g^{-1} 및 8.7×10^4 CFU g^{-1} 보다 많았다. 또한, 곰팡이 개체수는 생육 전반에 걸쳐 관행농업이 유기농업 보다 높은 경향을 나타냈다. 재배방법에 따른 유기농업과 관행농업 그리고 재배방법과 생육단계별 상호작용은 유의적인 차이가 없었으나 콩 생육단계별로 유의적인 차이가 있었다 ($p<0.001$).

토양 미생물 주성분 분석 밭토양 미생물 개체수의 변화를 설명하기 위하여 주성분 분석방법을 이용하였다 (Lee and Ha, 2011; Lee and Zhang, 2011; Lee et al, 2011). 유기농업과 관행농업 토양의 미생물 개체수를 주성분으로 분석한 결과는 Fig. 5와 같다. 주성분 분석결과 제1주성분이 43.8%, 제2주성분이 38.3%로서 전체 82.1%의 자료를 설명할 수 있었다. 제1주성분은 그람음성 세균과 바실러스 개체수가 정의 기여하였으며 호기성 세균 및 곰팡이 개체수는 부의 기여를 하는 것으로 나타났다. 또한, 토양 바실러스 개체수와 그람음성 세균 그리고 호기성 세균과 곰팡이 개체수는 고도의 정의 상관관계를 나타냈다. 주성분 분석결과 재배방법에 따라 유기농업과 관행농업 ($p<0.001$) 그리고 생육단계별 ($p<0.001$)로 유의적인 차이가 있었으나 재배방법 및 콩 생육단계별 토양 미생물 개체수의 상호작용은 유의적인 차이가 없었다. 콩 생육단계별 유기농업과 관행농업의 토양의 미생물 개체수는 유기물 및 제초제 사용 등의 조건에 영향을 받는 것으로 나타났으며 바실러스 개체수는 유기농업과 관행농업 토양 미생물 특성을 가장 잘 구분할 수 있는 특성을 보였다.

미생물의 다양성은 유기농업이나 관행농업 그리고 계절

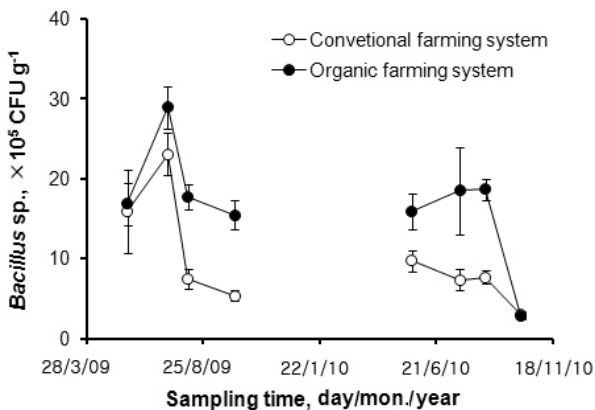


Fig. 3. Seasonal *Bacillus* spp. density changes in the upland soybean cultivation period. The system was significant at $p<0.001$, the date was significant at $p<0.001$, and system \times date interaction was significant at $p<0.01$.

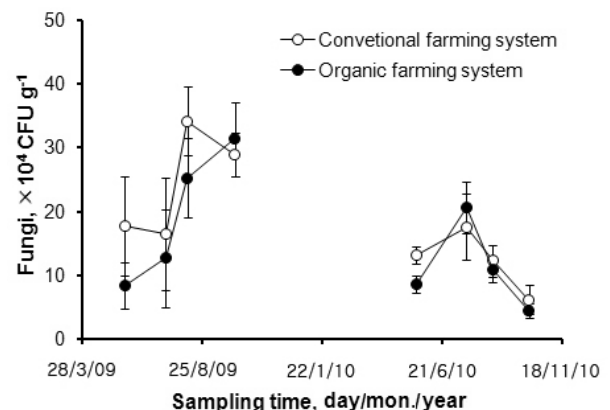


Fig. 4. Changes in populations of fungi in the upland soybean cultivation period. The system was not significant, the date was significant at $p<0.001$, and system \times date interaction was not significant.

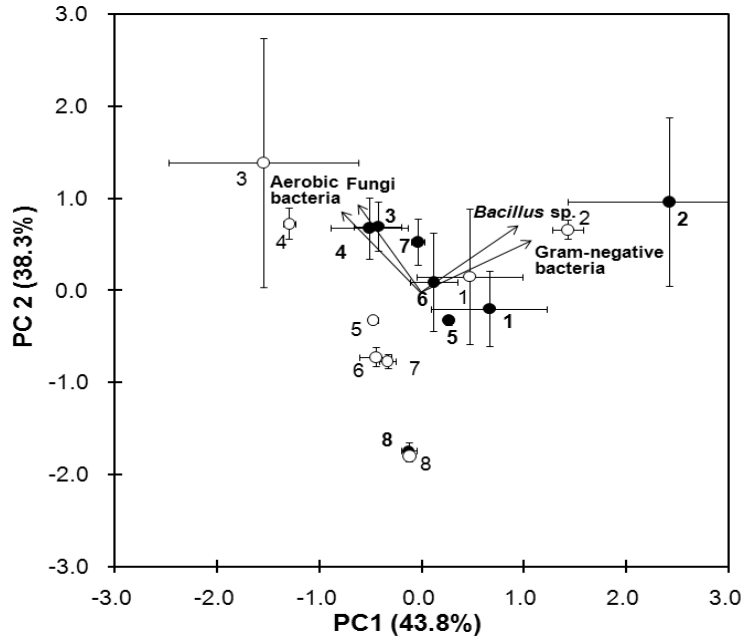


Fig. 5. Principal component analyses of soil microbial populations from an organic farming system (●) and a conventional farming system in the upland soybean cultivation period. (○). The variance explained by each principal component (PC) axis is shown in parentheses. PC analysis shows loading values for the individual population of microbes. The bars represent one standard deviation of the mean. 1, May 20, 2009; 2, Jul. 10, 2009; 3, Aug. 21, 2009; 4, Oct. 5, 2009; 5, May 20, 2010; 6, Jul. 21, 2010; 7, Aug. 23, 2010, and 8, Oct. 8, 2010. Significant effects of PC1 were obtained from two-way analysis of variance. The system was significant at $p < 0.001$, the date was significant at $p < 0.001$, and system \times date interaction was not significant.

적인 환경변화에 민감하게 반응하며 결국 환경에 적응한 균이 토양에서 우점하는 것으로 나타났다. 그러나 평판배지를 이용한 미생물의 개체수를 측정하는 방법은 토양에 서식하는 미생물의 0.3% 정도만 측정되기 때문에 토양 전체의 미생물 군집에 대한 정보를 얻을 수 없다. 따라서 향후 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 토양 전체 미생물 개체수를 분석하는 파이로시퀀싱 기술이나 미생물 세포벽 지방산 분석방법인 fatty acid methyl ester (FAME) 등의 기술 적용이 필요할 것으로 판단된다.

요 약

밭토양에서 콩 생육단계별 유기농업과 관행농업의 토양 미생물 개체수 변화를 2009년 5월부터 2010년 10월까지 평판배지 분석법으로 조사하였다. 콩 생육기간 동안 토양의 미생물 개체수는 곰팡이 개체수를 제외한 호기성 세균, 그람음성 세균 및 바실러스 개체수는 유기농업이 관행농업에 비해 많았다. 콩 생식생장기에 유기농업 토양은 호기성 세균, 그람음성 세균, 바실러스 개체수가 관행농업 보다 거의 두배 이상 많았다. 바실러스 개체수는 밭토양에서 유기농업과 관행농업을 구분할 수 있는 잠재적인 지표로 조사되었다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호: PJ0069 06222011)의 지원에 의해 이루어진 것임.

인 용 문 헌

Altieri, M.A. 2002. Agroecology: The science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agric. Ecosyst. Environ.* 93:1-24.
 Clark, M.S., W.R. Horwath, C. Shennan, and K.M. Scow. 1998. Changes in soil chemical properties resulting from organic and low-input farming practices. *Agron. J.* 90:662-671.
 Dindal, D.L. 1990. Soil sampling and method of analysis. *Soil Biology Guide.* Wiley Interscience.
 Drinkwater, L.E., D.K. Leturneau, F. Workneh, A.H.C. Van Bruggen, and C. Shennan. 1995. Fundamental difference between conventional and organic tomato agroecosystems in California. *Ecol. Appl.* 5:1098-1112.
 Erenstein, O. 2002. Crop residue mulching in tropical and semi-tropical countries: an evaluation of residue availability and other technological implications. *Soil Till. Res.* 67:115-133.
 Gelsomino, C.C., A. Ambrosoli, R. Minati, and P. Ruggiero. 2004. Functional and molecular responses of soil microbial

- communities under differing soil management practice. *Soil Biol. Biochem.* 36:1873-1883.
- James, N. 1958. Soil extract in soil microbiology. *Can. J. Microbiol.* 4:363-370.
- Lai, R. 1991. Tillage and agricultural sustainability. *Soil Till. Res.* 20:133-146.
- Lee, Y.H. 2010. Evaluation of no-tillage rice cover crop cropping systems for organic farming. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:200-208.
- Lee, Y.H. and H. Kim. 2011. Response of soil microbial communities to different farming systems for upland soybean cultivation. *J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem.* 54(3):423-433.
- Lee, Y.H. and S.K. Ha. 2011. Impacts of chemical properties on microbial population from upland soils in Gyeongnam Province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(2):242-247.
- Lee, Y.H. and Y.S. Zhang. 2011. Response of microbe to chemical properties from orchard soil in Gyeongnam Province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(2):236-241.
- Lee, Y.S., J.H. Kang, K.J. Choi, S.T. Lee, E.S. Kim, W.D. Song, and Y.H. Lee. 2011. Response of soil microbial communities to different cultivation systems in controlled horticultural land. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44:118-126.
- Liu, B., C. Tu, S. Hu, M. Gumpertz, and J.B. Ristaino. 2007. Effect of organic, sustainable, and conventional management strategies in grower fields on soil physical, chemical, and biological factors and the incidence of Southern blight. *Appl. Soil Ecol.* 37:202-214.
- Mäder, P., A. Fließbach, D. Dubois, L. Gunst, and U. Niggli. 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296:1694-1697.
- Martin, J.P. 1950. Use of acid, rose Bengal and streptomycin in the plate method for estimating soil fungi. *Soil Sci.* 69:215-232.
- Pollock, C., J. Pretty, I. Crute, C. Leaver, and H. Dalton. 2008. Introduction sustainable agriculture. *Philos Trans R. Soc. B.* 363:445-446.
- Pozo, C., V. Salmeron, B. Rodelas, M.V. Martinez-Toledo, and J. Gonzalez-Lopez. 1994. Effects of the herbicide alachlor on soil microbial activities. *Ecotoxicology* 3:4-10.
- Pretty, J. 2008. Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. *Philos Trans R. Soc. B.* 363:447-465.
- Reganold, J.P., L.F. Elliott, and Y.L. Unger. 1987. Long-term effects of organic and conventional farming on soil erosion. *Nature* 330:370-372.
- SAS Institute. 2006. SAS Version 9.1.3. SAS Inst., Cary, NC.
- Stark, C., L.M. Condon, A. Stewart, H.J. Di, and M. O'Callaghan. 2007. Influence of organic and mineral amendments on microbial soil properties and processes. *Appl. Soil Ecol.* 35:79-93.
- Suh, J.S. 1998. Soil microbiology. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 31(S):76-89.
- 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. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43: 987-994.
- Suh, J.S. and J.S. Shin. 1997. Soil microbial diversity of paddy field in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 30:200-207.
- Waldrop, M.P., T.C. Balser, and M.K. Firestone. 2000. Linking microbial community composition to function in a tropical soil. *Soil Biol. Biochem.* 32:1837-1846.
- 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.
- Zhao, J., Q. Luo, H. Deng, and Y. Yan. 2008. Opportunities and challenges of sustainable agricultural development in China. *Philos Trans R. Soc. B.* 363:893-904.