

논과 밭 토양에서 토층간 미생물 군집의 차이

김찬용 · 박기춘^{1*} · 이영근²

경상북도농업기술원, ¹농촌진흥청 인삼과, ²안동대학교 식물의학과

Variation of Microbial Community Along Depth in Paddy and Upland Field

Chan-Yong Kim, Kee-Choon Park^{1,*}, and Young-Keun Yi²

Gyeongbuk Agricultural Research & Extension Services, Daegu, 702-708, Korea

¹Ginseng Research Division, Rural Development Administration, 80 Bisanri, Eumseong, Chungbuk, 369-873, Korea

²School of Bioresource Science, Andong National University, Andong 760-749, Korea

We examined the vertical distribution of specific microbial groups and the patterns of microbial community structure within the soil profile using phospholipid fatty acid (PLFA). Samples were collected from the soil surface down to 15 cm in depth from paddy and upland fields located in Daegu, Korea. The two fields have been fertilized with only chemical fertilizers N, P, K for 33 years. Principal component analysis of the PLFA signatures indicated that the composition of the soil microbial communities changed significantly with the cultivation practices and soil depth, suggesting that cultivation practices of paddy and upland fields had more significant influence on soil microbial community than the soil depth did. The soil microbial communities changed more drastically with soil depth in upland field than in paddy field, with making thicker soil surface in paddy field in terms of soil microbial community. The ratios of cyclopropyl/monoenoic precursors and total saturated/total monounsaturated fatty acids increased with soil depth, suggesting that the deeper soil horizons are more carbon-limited and anaerobic than surface soil. The community analysis using PLFAs as biomarkers revealed that Gram-positive bacteria and actinomycetes tended to increase in proportional abundance with increasing soil depth, while the abundance of Gram-negative bacteria and fungi were highest at the soil surface and substantially lower in the subsurface.

Key words : Soil microbial community, PLFA, Soil profile

서 언

토양 미생물 군집 구조는 토양의 깊이에 따라 달라진다 (Agnelli et al., 2004; Blume et al., 2002; Ekelund et al., 2001; Griffiths et al., 2003). 그 이유는 토양에 투입되는 자원이 토층에 따라서 달라지기 때문인데, 식물체 잔유물이나 뿌리 등의 유기물이 표층에 분포하며 (Feng et al., 2003; LaMontagne et al., 2003), 표층 토양은 반복되는 건조와 습윤 (Ekelund et al., 2001; Van Gestel et al., 1992), 동결과 건조의 반복 및 높은 산소 함량 (Agnelli et al., 2004) 등 호기성 미생물이 서식할 수 있는 환경적인 특징을 가지고 있다. 이러한 영향들은 토양 미생물 구성에 영향을 미쳐서, 표토에는 세균에 비하여 곰팡이 비율이 높고

(Blume et al., 2002; Feng et al., 2003; Jørgensen et al., 2002; Zelles and Bai, 1994), 심토에는 방선균과 그람양성균/그람음성균의 비율이 높다 (Feng et al., 2003; Fierer et al., 2003; Zelles, 1999; Zelles and Bai, 1994).

근래에는 토양에 화학비료만 투입하여 작물을 재배하는 경우가 많다. 한국의 대표적인 작부체계인 논벼재배와 밭의 보리와 콩 윤작 재배 체계로 33년간 화학비료만 표준시비하면서 유지한 인접지역의 논과 밭 토양에 대하여 인지질 지방산 분석을 통하여 토층간 미생물 군집 차이를 분석하였다.

재료 및 방법

경북농업기술원 동일연용 시험포장에 소재한 배수가 약간 불량한 식양질 논토양인 호남통 논에서 33년간 (1975-2007) 질소, 인산, 가리를 표준시비하면서 낙동

접수 : 2008. 12. 20 수리 : 2009. 4. 3

*연락처 : Phone: +82438715556,

E-mail: kcped2@rda.go.kr

벼를 재배하였다. 벼는 매년 동일하게 파종하여 (4월 20일) 45일간 육묘한 묘를 재식거리 30×15 cm로 이앙(6월 5일)하였다. 화학비료 시비량은 N-P₂O₅-K₂O=150-90-100 kg ha⁻¹ 기준으로 하고, 질소는 4회 분시 (50-20-20-10%)하였으며, 인산 및 가리는 전량 기비로 시비하였고, 시험은 매년 동일하게 경북농업기술원 경종기준에 준하여 관리하였다.

한편, 논 동일연용 포장과 인접한 밭 포장은 배수가 약간 양호한 미사 식양질 우평동에서 33년간 (1975-2007) 질소, 인산, 가리를 표준시비하면서 겨울철에는 올보리를 여름에는 황금콩을 재배하였다. 올보리를 재식거리 60×18 cm로 매년 동일하게 파종한 (10월 20일) 후 시비량은 N-P₂O₅-K₂O=120-80-60 kg ha⁻¹ 기준으로 시비하였으며, 질소는 3회 분시하였고 (40-30-30%), 인산 및 가리는 전량 기비로 시비하였다. 후작인 콩은 황금콩을 재식거리 60×15 cm로, 매년 동일하게 파종하였으며 (6월 15일), 비료는 별도로 처리하지 않고, 전작물인 보리 재배시 처리한 시비잔량을 이용하였다. 시험구는 매년 동일하게 경북농업기술원 경종기준에 준하여 관리하였다. 시험 전 논과 밭의 15 cm 깊이 토양 이화학성은 Table 1과 같다.

토양 시료는 2007년 11월 20일에 밭과 논 포장 각각 세 지점에서 직경 7 cm의 토양 시료 채취기로 15 cm 까지 채취하여 0~5, 5~10 10~15 cm의 세 층으로 구분하여 채취하였다. 채취한 시료는 곧바로 -80°C 냉동고에 보관하면서 분석시료의 균일도와 지방산 회수율을 높이기 위하여 동결건조 후 분쇄하여 다시 -80°C 냉동고에 보관하였다. 토양 이화학성 분석은 농촌진흥청 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법에 (NIAST, 2000) 준하여 분석하였으며, 토양 pH는 토양과 증류수를 1:5로 혼합하여 30분간 진탕 후 초차 전극법을 이용하여 측정하였고, 유기물 함량은 Tyurin법, 치환성양이온 함량은 1N-NH₄OAc (pH 7.0) 용액으로 30분간 진탕하여 추출한 여액을 원자흡광분광 분석기 (Perkin Elmer, AAS. 3300)를 이용하여 측정하였으며, 유효인산은 Lancaster법으로 720nm에서 비색측정하여 정량하였다. 토양 미생물상 분석을 위한 인지질 지방산 분석은 동결건조하여 분쇄한 시료를 이용하였으며 분석방법과 지표 지방산 분류는 Park et al. (2008)의 방법을 준용하였다.

토양에서 직접 추출한 지방산을 GC-MIDI로 분석한 결과 탄소수가 12개 이상인 지방산 50개 peak 중에서 3개 이하의 시료에만 존재하는 지방산을 제외한 42개의 지방산 함량 비율을 다변량 통계 분석법의 하나인 주성분 분석으로 분석하였다. 각 지표 지방산의 토층간 유의성 분석은 Duncan test를 이용한 분산분석으로 실시하였다.

결과 및 고찰

5 cm 깊이 간격으로 나누어 채취한 논과 밭 시료간 미생물 군집구조를 비교하기 위하여 추출한 인지질 지방산을 다변량 분석법인 주성분 분석으로 분석한 결과 재배작물 및 토양관리 방법이 상이한 논과 밭 그리고 토층간 미생물 군집이 현저한 차이를 나타내었다 (Fig. 1). 주요인 분석으로 얻어지는 그래프 상의 새로운 축인 PC1이 총변이의 43%를, PC2가 총변이의 28%를, PC3가 총변이의 15%를 각각 설명하였다. 가장 큰 변이를 설명하는 PC1에 대해서 논과 밭 토양은 완전히 구분되었으며, PC2에 대해서도 논 토양의 0~5 cm 깊이의 토양과 10~15 cm 깊이의 토양이 모든 밭 토양과 완전히 구분되었다. 그리고 PC3에 대해서는 10~15 cm 깊이의 논토양이 모든 토층의 밭토양과 완전히 구분되었다. 따라서 논토양은 밭 토양과 완전히 다른 미생물 군집을 형성하고 특히 논 토양과 밭토양의 표토는 완전히 구분되는 미생물상을 가지고 있었다. 이러한 논과 밭의 미생물 차이는 재배작물의 차이 (Larkin, 2006), 토양 수분함량 차이에 의한 유기물의 분해 (Pal and Broadbent, 1975) 등의 차이에 의한 것으로 사료된다. Medeiros et al. (2006)은 토양의 세균과 곰팡이 군집 구성은 토양 수분에 의해 크게 영향을 받는다고 보고한 바 있다.

한편 논토양과 밭토양을 각각 토심별로 나누어 분석한 결과, 논토양의 경우 0~5 cm 깊이 토양과 10~15 cm 깊이의 토양은 PC1, 2, 3 모두에 대하여 완전히 구분되는 미생물 군집을 가지고 있는 것으로 분석되었고 5~10 cm 깊이의 토층은 다른 두 층과 겹치는 미생물 군집을 가지고 있는 것으로 분석되었다. 한편 밭토양의 경우 PC1과 PC3에 대하여 0~5 cm 깊이의 표층이 다른 두층과 완전히 구분되고 나

Table 1. Selected chemical properties of the paddy and upland soils fertilized with only chemical fertilizers N, P, K for 33 years.

Location	pH	O.M.	EC	T-N	Av. P ₂ O ₅	Ex. Cation		
						K	Ca	Mg
	1:5	g kg ⁻¹	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	----- cmol ⁺ kg ⁻¹ -----		
Paddy field	5.5	31.0	7.1	0.3	109	0.4	6.2	1.7
Upland field	5.9	20.8	0.2	1.5	77	0.1	3.6	1.3

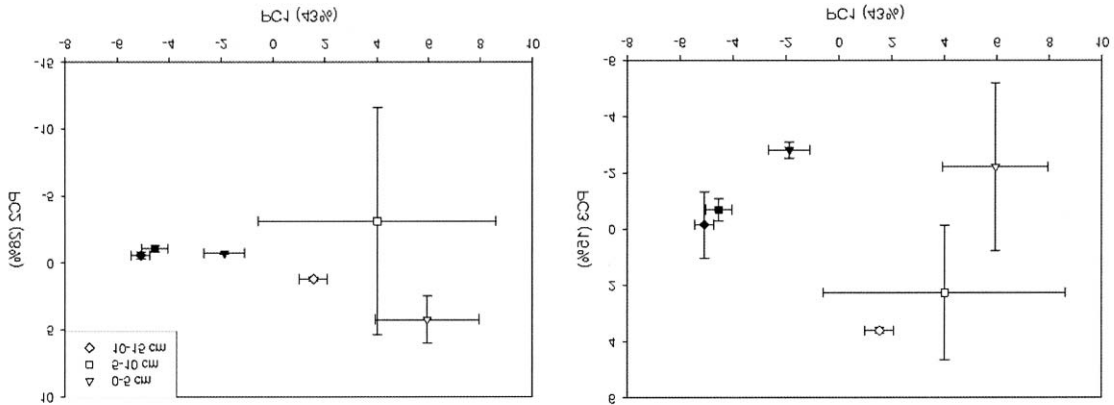


Fig. 1. Ordinate plot of principal component analysis (PCA) of PLFA signatures from soil samples collected at different depths within the two soil profiles. The same symbols are used for the same depth increments in the paddy and upland field profiles. The upland profile samples are represented by the filled symbols. Error bars indicate standard deviation.

머지 두 층은 완전히 구분 되지 않았지만 5~10 cm 깊이의 가운데 층이 주요인 분석 그래프 가운데에 위치하였다.

따라서 논토양과 밭토양의 미생물 군집 차이는 토층의 깊이 간 차이보다 크고, 논토양의 경우 5~10cm 깊이의 중간층이 그 위층 및 아래층과 미생물상이 겹치지만, 밭 토양의 경우 표층 0~5cm 토층이 그 아래의 토층과 구분되고 아래 두 층은 서로 구분되지 않은 특성을 보였다.

분석에 이용된 지방산 42개 중에서 세균, 곰팡이, 방선균의 생물적 지표가 되는 지방산과 토양 미생물 군집의 생리적 지수들을 논과 밭을 따로 구분하여 층별로 분석하였다. 논인 경우 혐기성균/호기성균 비율과 곰팡이/세균 지표지방산 비율, 곰팡이의 생물량은 표층 5 cm 깊이 토양이 아래 두 층 보다 유의성 있게 높았고, Cyclopropyl 지방산/Precursor 지방산 비율은 5cm 깊이 표층이 다른 두 층보다 유의성 있게 낮았다 (Fig. 2). 논토양 표층의 곰팡이 생물량, 곰팡이/세

균 생물량 비율, 호기성/혐기성균 비율 등이 높은 것은 표층에 투입되는 식물체 잔유물과 표토의 호기조건 차이에 의한 것으로 사료된다. 스트레스 조건을 나타내는 Cyclopropyl 지방산/전구체 지방산 비율은 논토양에서 5 cm 깊이까지 보다 그 이하의 층에서 유의성 있게 높게 나온 것은 혐기상태와 과수분의 스트레스로 인한 것으로 사료되며, 이들 지수가 토심이 깊어지면서 높아지는 것은 여러 연구와 일치하고 있다 (Bossio and Scow, 1998; Fierer et al., 2003; Hinojosa et al., 2005).

한편 밭토양의 경우 그람음성균/그람양성균 비율, 호기성균/혐기성균 비율, 단불포화지방산/포화지방산 비율, 곰팡이/세균 생물량 비율, 곰팡이 생물량 등은 표층 5 cm 깊이의 토양이 아래 두 층 보다 유의성 있게 높았고, Cyclopropyl 지방산/Precursor 지방산 비율, 세균 생물량 비율, 방선균 생물량 비율은 5cm 깊이까지의 표층 토양이 다른 두 층보다 유의성 있게 낮았으며, 균근균의 경우 중간층인 5~10cm 깊이의 토양

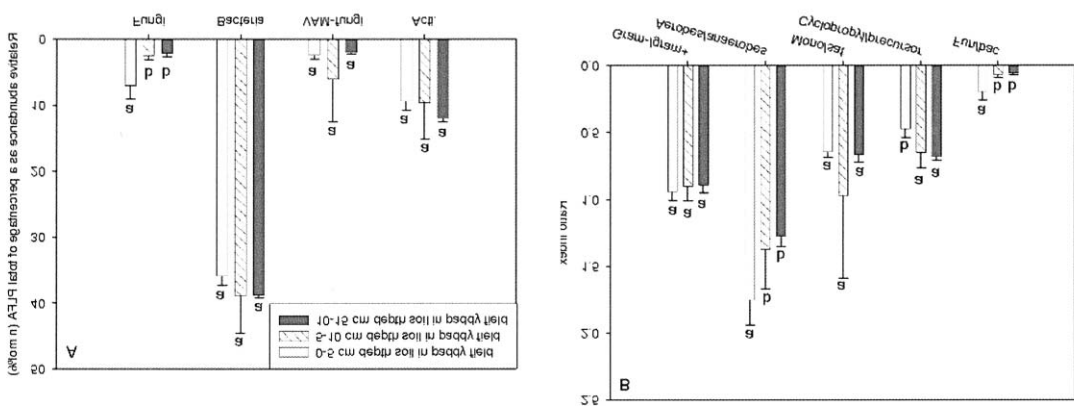


Fig. 2. The class of fatty acids (A) and the main ratio indexes (B) of fatty acids at different depths within paddy field amended with only chemical fertilizers N, P, K for 33 years. Data with the same letter indicates no significant difference, and data with different letter indicates significant difference at $P = 0.05$ level according to Duncan test. Error bars indicate standard deviation.

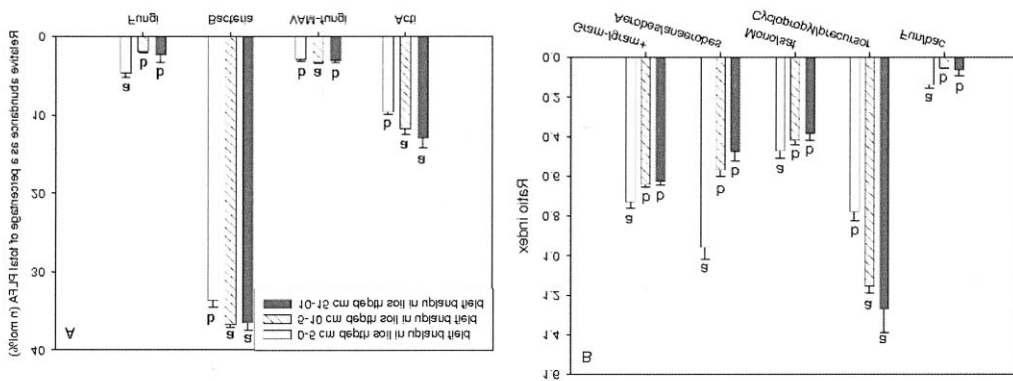


Fig. 3. The class of fatty acids (A) and the main ratio indexes (B) of fatty acids at different depth within upland field amended with only chemical fertilizers N, P, K for 33 years. Data with the same letter indicates no significant difference, and data with different letter indicates significant difference at 0.05 level according to Duncan test. Error bars indicate standard deviation.

이 다른 두층보다 유의성 있게 높았다 (Fig. 3). 발토양 5cm 깊이까지의 표토에서 높은 그램음성균/그램양성균 비율, 호기성균/혐기성균 비율, 곰팡이/세균 생물량의 비율은 표토의 높은 유기물 함량으로 인한 그램 음성균 및 곰팡이의 우세와 호기조건에 의한 것으로 사료되며, 이러한 토층간 미생물 군집의 차이는 Bartlett et al., (2008)와 Blume et al. (2002)의 연구에서도 확인된 바 있다. 한편 논외의 경우와 같이 표층의 낮은 단불포화지방산/포화지방산 비율과 높은 Cyclopropyl 지방산/전구체 지방산 비율은 표토에서는 산소가 충분하고 수분 스트레스가 적은 반면, 토심이 깊어질수록 탄소원이 부족하기 때문인 것으로 사료된다 (Fierer et al., 2003). 한편 토양 미생물 군집의 수직적 분포를 조사한 Fierer et al. (2003)의 연구에서처럼 본 연구에서도 표토에서보다 토심이 깊어질수록 방선균 비율이 높았던 것은 토심이 깊어짐에 따라 이분해성 유기물이 적어지기 때문으로 사료된다. 그리고 5~10cm 깊이까지의 토층에서 균근균 밀도가 높았던 것은 이들 균들이 적당한 깊이의 토양에서 생육이 양호하다는 것을 의미한다.

논토양과 발토양 미생물 군집의 뚜렷한 차이는 시비와 토양 관리방법이 다르고 특히 담수시기를 거쳐 재배되는 논과 콩과 보리가 윤작으로 재배되는 발토양 조건에서 유래한다고 볼 수 있다. 미생물 군집 구조가 논토양에서는 중간층이 위 아래 토층과 유사한 반면 발 토양에서는 표층이 아래 두 층과 완전히 구분되고 아래 두 층이 서로 유사한 것은 담수로 인해 토층간 균질화가 일어나는 논과 그러한 조건이 없는 발 토양의 차이로 인한 것으로 사료된다. 결론적으로 논과 밭의 미생물 군집구조 차이는 토심 층간 미생물 군집구조의 차이보다 크며, 미생물 군집 면에서 발토양의 표층이 논토양보다 얇고, 발토양의 표층 미생물 군집이 그 아래 층과 차이가 크다고 할 수 있다.

적 요

인지질 지방산을 분석하여 특정 미생물군의 수직적 분포와 토층간 미생물 군집 패턴을 조사하였다. 경북 농업기술원에 위치하고, 질소, 인산, 가리의 화학비료만 장기 연용한 논과 밭 포장에서 15 cm 깊이까지 토양을 채취하였다. 인지질 지표 지방산을 주요인 분석으로 분석하여 토양 미생물 군집을 분석한 결과 논과 밭 토양의 미생물 군집은 뚜렷하게 구분되었으며, 토층간 차이보다 논과 밭의 차이가 더 컸다. 논보다 밭은 토층이 깊어짐에 따라 미생물 군집이 급격하게 변화하였는데, 미생물 군집 측면에서 밭보다 논외의 표층이 더 두껍다고 볼 수 있다. cyclopropyl/monoenoic precursor 비율과 전체 포화지방산/전체 불포화 지방산 비율은 토심이 깊어짐에 따라 증가하였는데, 이는 토심이 깊어질수록 탄소원과 통기가 부족하기 때문에 일어나는 현상으로 보인다. 대체로 표토는 그램음성균, 곰팡이 등의 상대적 비율이 높고 토심이 깊어질수록 세균과 방선균의 상대적 비율이 높아졌다.

인 용 문 헌

Agnelli, A., J. Ascher, G. Corti, M.T. Ceccherini, P. Nannipieri, and G. Pietramellara. 2004. Distribution of microbial communities in a forest soil profile investigated by microbial biomass, soil respiration and DGGE of total and extracellular DNA. *Soil Biol. Biochem.* 36:859-868.

Bartlett, M.D., I.T. James, J.A. Harris, and K. Ritzc. 2008. Size and phenotypic structure of microbial communities within soil profiles in relation to play surfaces on a UK golf course. *Eur. J. Soil Sci.* 59:1013-1019.

Blume, E., M. Bischoff, J.M. Reichert, T. Moorman, A. Konopka, and R.F. Turco. 2002. Surface and subsurface microbial biomass, community structure and metabolic activity as a function of soil depth and season. *Appl. Soil Ecol.* 20:171-181.

- Bossio, D.A. and K.M. Scow. 1998. Impacts of carbon and flooding on soil microbial communities: Phospholipid fatty acid profiles and substrate utilization patterns. *Microbial Ecol.* 35: 265-278.
- Ekelund, F., R. Ronn, and S. Christensen. 2001. Distribution with depth of protozoa, bacteria and fungi in soil profiles from three Danish forest sites. *Soil Biol. Biochem.* 33:475-481.
- Feng, Y., A.C. Motta, D.W. Reeves, C.H. Burmester, E. van Santen, and J.A. Osborne. 2003. Soil microbial communities under conventional-till and no-till continuous cotton systems. *Soil Biol. Biochem.* 35:1693-1703.
- Fierer, N., J.P. Schimel, and P.A. Holden. 2003. Variations in microbial community composition through two soil depth profiles. *Soil Bio. Biochem.* 35:167-176.
- Griffiths, R.I., A.S. Whiteley, A.G. O'Donnell, and M.J. Bailey. 2003. Influence of depth and sampling time on bacterial community structure in an upland grassland soil. *FEMS Microbiol. Ecol.* 43:35-43.
- Hinojosa, M.B., J.A. Carreira, R. Garcia-Ruiz, and R.P. Dick. 2005. Microbial response to heavy metal-polluted soils: Community analysis from phospholipid-linked fatty acids and ester-linked fatty acids extracts. *J. Environ. Qual.* 34:1789-1800.
- Jorgensen, M. R. and M. Brandt. 2002. Soil microbial properties down the profile of a black earth buried by colluvium. *J. Plant Nutr. Soil Sc.* 165:274-280.
- LaMontagne, M.G., J.P. Schimel, and P.A. Holden. 2003. Comparison of subsurface and surface soil bacterial communities in California grassland as assessed by terminal restriction fragment length polymorphisms of PCR-amplified 16S rRNA genes. *Microbial. Ecol.* 46:216-227.
- Larkin, R.P., C.W. Honeycutt, and T.S. Griffin. 2006. Effect of swine and dairy manure amendments on microbial communities in three soils as influenced by environmental conditions. *Biol. Fert. Soils* 43:51-61.
- Medeiros, P.M., M.F. Fernandes, R.P. Dick, and B.R.T. Simoneit. 2006. Seasonal variations in sugar contents and microbial community in a ryegrass soil. *Chemosphere* 65:832-839.
- NIAS (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2000. Methods of soil & plant analysis. RDA, Suwon, Korea. p. 202
- Pal, D. and F. E. Broadbent. 1975. Influence of moisture on rice straw decomposition in soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 39:59-63.
- Park, K.C., T.R. Kwon, K.S. Jang, and Y.S. Kim. 2008. Short-term Effects of Cultivars and Compost on Soil Microbial Activities and Diversities in Red Pepper Field. *Korean J. Environ. Agr.* 27:139-144.
- Van Gestel, M., J.N. Ladd, and M. Amato. 1992. Microbial biomass responses to seasonal change and imposed drying regimes at increasing depths of undisturbed topsoil profiles. *Soil Biol. Biochem.* 24:103-111.
- Zelles, L., and Q.Y. Bai. 1994. Fatty-acid patterns of phospholipids and lipopolysaccharides in environmental-samples. *Chemosphere.* 28:391-411.
- Zelles, L. 1999. Fatty acid patterns of phospholipids and lipopolysaccharides in the characterisation of microbial communities in soil: a review. *Biol. Fert. Soils.* 29:111-129.