

ORIGINAL ARTICLE

국내 흰개미(*Reticulitermes speratus kyushuensis* Morimoto)에 의한 토양의 화학적 특성 변화

성세하 · 김근기 · 홍창오 · 박현철*

부산대학교 생명환경화학학과

Changes in Chemical Property of Soil Affected by Termites (*Reticulitermes speratus kyushuensis* Morimoto) in Korea

Se Ha Seong, Keun Ki Kim, Chang Oh Hong, Hyeon Cheal Park*

Department of Life Science & Environmental Biochemistry, Pusan National University, Miryang 50463, Korea

Abstract

Termites (Isoptera) are classified into approximately 3,106 species. In Korea, only one species has been identified, which is *Reticulitermes speratus kyushuensis* Morimoto. The termite, a social insect, is known to play an important role in nutrient cycling of the ecosystem, although some species of termites are well-known pests attacking wooden structures or any plant materials. However, there is a lack of research about termites in Korea, including aspects such the taxonomy, physiology, and ecology of termites. This study was carried out to provide valuable basic data on the ecological role of termites in an ecosystem in Korea for the future studies. For the experiments, soil and termite samples were randomly collected from Mt. Hwajang located in Jikdong-ri, Eonyang-eup, Ulju-gun, Korea between October 5 and 30, 2015. Analysis results showed that there were no significant differences in soil chemical properties between the soil samples just after air-drying and one year elapsed without any treatment. The treated soil with termites showed significantly higher than the soil without termite treatment. Chemical properties of total nitrogen, organic matter, available phosphate, pH, Calcium(Ca), Potassium(K) and Magnesium(Mg) in soil treated with termites were $1.11 \pm 0.3 \text{ g kg}^{-1}$, $43.3 \pm 12.4 \text{ g kg}^{-1}$, $27.4 \pm 2.9 \text{ mg kg}^{-1}$, 4.56 ± 0.2 , $0.82 \pm 0.2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, $3.18 \pm 1.4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, $1.73 \pm 1.1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, respectively. The values of soil property of without termite treatment were $0.56 \pm 0.1 \text{ g kg}^{-1}$, $30.5 \pm 3.1 \text{ g kg}^{-1}$, $24.0 \pm 4.7 \text{ mg kg}^{-1}$, 4.09 ± 0.1 , $0.71 \pm 0.2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, $2.88 \pm 1.5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, $1.30 \pm 0.7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, respectively. These results suggest that inhabitation of termites could improve soil chemical properties in an ecosystem.

Key words : Termites, *Reticulitermes speratus kyushuensis* Morimoto, Soil chemical properties, Ecosystem

Received 11 May, 2017; Revised 31 May, 2017;

Accepted 1 June, 2017

*Corresponding author: Hyeon Cheal Park, Department of Life Science & Environmental Biochemistry, Pusan National University, Miryang 50463, Korea
Phone : +82-55-350-5547
E-mail: hcpark@pusan.ac.kr

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

흰개미는 이름과 달리 개미와는 전혀 다른 흰개미목(Isoptera)에 속한 곤충으로서 현재까지 전 세계적으로 대략 3,106여 종이 알려져 있다. 흰개미는 개미나 벌과 같이 계급구조를 가진 사회성 곤충으로서 주로 Cellulose가 함유된 죽은 나무, 낙엽, 부엽토 혹은 동물 배설물 등을 섭식하는 생태계 내에서 중요한 역할을 하는 분해자이지만, 간혹 목조 구조물이나 농작물에 피해를 입히는 해충 종도 있다. 흰개미의 생태학적 중요성에도 불구하고, 일부 종에 의한 목조 구조물에 대한 피해가 심각하여 전 세계적으로 이에 대한 연구가 진행되고 있으나, 국내의 경우 생태계 내에서의 흰개미 역할에 대한 연구뿐만 아니라 목재 피해와 관련된 흰개미의 분류학적, 생리학적, 생태학적 연구 등 흰개미에 대한 전반적인 연구가 미흡한 실정이다.

흰개미는 지렁이와 함께 생태계 내에 필수적인 물질을 제공하는 Ecosystem Engineer로 알려져 있는데, 이는 토양의 물리적, 화학적으로 안정적인 영향을 미치며, 섭식 및 서식 활동으로 인해 생태계 영양물질의 순환을 도와 토양 내 영양물질 함량을 높이는 것으로 알려져 있다(Jouquet et al., 2005a, 2005b, 2006). 연구가 주로 많이 이루어진 흰개미 종은 지상에 흙더미를 쌓아 흰개미 집(Mound)을 형성하는 Mound-building 종인데, 이들 흰개미의 Mound는 주변 환경보다 안정적인 형태의 물리적 화학적 성질을 가지고 있으며(Hesse, 1955; Wood, 1988; Lamoureux et al., 2012; Davies et al., 2016), Mound에 조성된 토양은 비료 없이 작물을 기를 수 있을 정도로 풍부한 영양물질이 있는 것으로 알려져 있다(Jouquet et al., 2004, 2005a, 2005b). 이들 연구자들에 의해 규명된 사실로 인해 해외에서는 흰개미 피해와 관련된 연구보다 생태계 내에서 흰개미와 관련된 토양의 물리적 화학적 특성에 대한 연구가 더 많이 진행되고 있다.

국내에 서식하고 있는 흰개미는 토양 지하에 흰개미 집을 형성하는 Subterranean termite 종으로서 *Reticulitermes speratus kyushuensis* Morimoto 단 한 종만이 보고되었으며(Fig. 1), 국내에서는 흰개미를 목조 문화재에 대한 해충으로만 여기고 있고, 관련 연구조차 미흡한 실정이다. 위에서 언급한 Mound-building

종과는 달리 서식지를 찾기가 힘든 Subterranean 종에 대한 연구는 외국에서조차 연구가 많이 이루어지지 않고 있지만, 지금까지 밝혀진 바에 따르면, Subterranean 종 역시 Mound-building 종만큼 유의적으로 물리적 화학적으로 토양을 비옥하게 한다는 연구 결과가 있다(Nutting et al., 1987). 일반적으로 흰개미는 종에 관계없이 생태계에서, 특히 상대적으로 토양 내 분해자의 서식밀도가 낮은 사막과 같은 생태계에서 영양물질 순환에 있어서의 역할은 매우 중요한 것으로 알려져 있다(Schaefer et al., 1981; Park, 1996; Juergens, 2013).

본 연구는 위에서 언급한 것처럼 생태계에서 중요한 역할을 하고 있는 것으로 알려진 흰개미의 생태학적 연구의 일환으로서 국내에 서식하고 있는 흰개미의 토양에 미치는 영향을 파악하기 위한 방법의 일환으로 흰개미 유무에 따른 토양 영양염류를 비교하고 토양 활성을 높여주는데 있어서 흰개미의 역할을 규명하고자 수행하였다.



Fig. 1. Workers of *Reticulitermes speratus kyushuensis* Morimoto in a woods.

2. 재료 및 방법

2.1. 흰개미 채집

국내에 서식하고 있는 흰개미인 *Reticulitermes speratus kyushuensis* Morimoto는 2015년 10월 5일부터 10월 30일에 걸쳐 울산광역시 울주군 언양읍 직동리 소재 화장산 내 산불이 난 지역(Fig. 2)에서 나무 그루터기 및 나무잔해들을 제거하여 흡충기를 이용하여 채집하였다(Fig. 3, Fig. 4). 채집한 흰개미는 플라

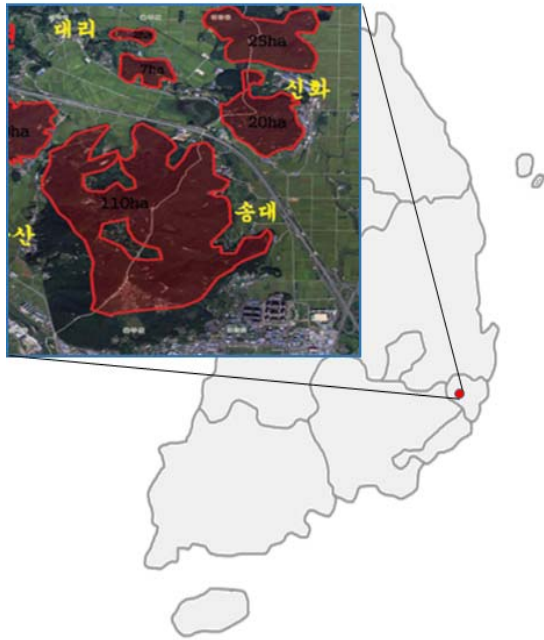


Fig. 2. Location of termite and soil sampling sites in the study area in Ulju, Ulsan, Korea.



Fig. 3. A termite colony in a rotten wood in a sampling site.



Fig. 4. Collecting termites with a corrugated roll.

스틱 상자에 수분을 적신 골판지와 휴지를 같이 넣어 실험실로 운반한 다음, 수분손실을 방지하기 위해 그늘에 보관한 뒤 실험에 사용하였다.

2.2. 토양 채취

실험에 사용할 토양 역시 2015년 10월 5일부터 10월 30일까지 흰개미 채집 지역인 울산광역시 울주군 언양읍 직동리 화장산에서 채집하였는데, 토양은 낙엽층과 부식층을 제거한 후 깊이 15 cm 이하의 토양

을 Auger를 이용하여 임의 선발된 세 곳의 채취지점에서 약 3 kg씩 채집하고 깨끗한 비닐 백에 보관하여 실험실로 운반한 다음 실험실내 실험을 진행하기 전 토양의 화학성을 분석하였으며, 그 결과는 Table 1과 같다.

2.3. 실험실 내 실험

채취한 토양은 2주간 음지에서 풍건한 후 2 mm 체로 걸러서 121 °C에서 15분간 Autoclave를 이용, 고압

Table 1. Selected chemical properties of the studied soil

Parameters	Measured value
Total nitrogen(g kg ⁻¹)	0.54±0.1
Organic matter(g kg ⁻¹)	31.1±3.1
Available phosphate(mg kg ⁻¹)	23.4±4.2
pH	4.03±0.1
K(cmolckg ⁻¹)	0.71±0.2
Ca(cmolckg ⁻¹)	2.88±1.5
Mg(cmolckg ⁻¹)	1.28±0.6

Each value represents the mean±S.D

멸균하여 실험에 사용하였다. 멸균한 토양시료 900 g 과 나무 조각(*Pinus densiflora*) 5 g을 지름 18 cm, 높이 15 cm인 원형 통에 담고(Fig. 5), 흰개미 300마리(일 흰개미 295마리, 병정 흰개미 5마리)를 넣고 증류수 10 mL를 표면에 골고루 뿌려주고, 뚜껑을 닫은 뒤 암실(온도 $26 \pm 1^\circ\text{C}$, 습도 $55\% \pm 10\% \text{RH}$)에 약 1년간 보관하며 관찰하였다. 토양 표면의 수분이 말랐을 경우 약간의 증류수를 추가하였으며, 각 실험은 3반복으로 수행되었다.

1년 후 흰개미를 넣지 않은 통의 토양 내 나무 조각을 제거하고 건조시킨 후에 토양 화학성을 분석하였으며, 흰개미를 넣은 통의 토양 역시 나무 조각을 제거하고 2 mm 체를 이용하여 토양과 흰개미를 분리한 다음 체를 통과한 흰개미나 사체들은 핀셋을 이용하여 제거하고 골고루 섞은 뒤 건조시켜 분석에 이용하였다.

흰개미에 의해 변화된 토양의 화학성을 비교하기 위해 공시토양과 1년간 흰개미 없이 방치한 토양을 비교하였다.

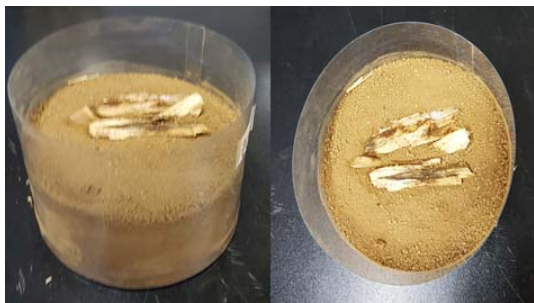


Fig. 5. Termite rearing: 295 termite workers and 5 soldiers.

2.4. 토양시료 분석

보관된 토양 시료들은 pH, 유기물함량, 전 질소함량, 유효인산함량, 치환성 칼슘, 마그네슘, 칼륨 함량을 측정하였는데, pH는 초자전극법(시료 : 증류수 = 1 : 5)으로 pH meter를 이용해 측정하였고, 유기물함량은 Tyurin법, 전질소함량은 Kjeldahl법, 유효인산함량은 Lancaster법, 치환성 칼슘, 마그네슘, 칼륨은 EDTA 적정법을 이용하여 측정하였다(National Institute of Agricultural Sciences, 2000). 통계 분석은 Statistix 9.0을 이용하였으며, 평균값 비교는 Turkey LSD Multiple Comparison을 이용하였다.

3. 결과 및 토의

3.1. 시간의 경과에 따른 무처리 토양의 화학적 성질 변화

실험을 진행하기 전 채취한 토양의 전 질소함량, 유기물 함량, 유효인산 함량, 토양 pH, 치환성 양이온 K, Ca, Mg 함량은 각각 $0.54 \pm 0.1 \text{ g kg}^{-1}$, $31.1 \pm 3.1 \text{ g kg}^{-1}$, $23.4 \pm 4.2 \text{ mg kg}^{-1}$, 4.03 ± 0.1 , $0.71 \pm 0.2 \text{ cmolc kg}^{-1}$, $2.88 \pm 1.5 \text{ cmolc kg}^{-1}$, $1.28 \pm 0.6 \text{ cmolc kg}^{-1}$ 로서 분석되었으며, 아무 처리 없이 1년이 경과한 토양의 경우 $0.56 \pm 0.1 \text{ g kg}^{-1}$, $30.5 \pm 3.1 \text{ g kg}^{-1}$, $24.0 \pm 4.7 \text{ mg kg}^{-1}$, 4.09 ± 0.1 , $0.71 \pm 0.2 \text{ cmolc kg}^{-1}$, $2.88 \pm 1.5 \text{ cmolc kg}^{-1}$, $1.30 \pm 0.7 \text{ cmolc kg}^{-1}$ 으로 나타나, 시간의 경과에 따른 토양의 이화학적 성질의 변화에 있어서 유의적인 차이가 없었다(Table 2). 이는 토양 화학성에 영향을 미칠 수 있는 요인이 없었기 때문으로 사료되며, 이는 실험 전 예상했던 결과와 동일하였다.

Table 2. Changes of chemical properties between the soil prior to the study and a year passed

Soil sample	Total nitrogen (g kg^{-1})	Organic matter (g kg^{-1})	Available phosphate (mg kg^{-1})	pH	Exchangeable cation (cmolc kg^{-1})		
					K	Ca	Mg
Just after air-drying	0.54 ± 0.1^a	31.1 ± 3.1^a	23.4 ± 4.2^a	4.03 ± 0.1^a	0.71 ± 0.2^a	2.88 ± 1.5^a	1.28 ± 0.6^a
1 year elapsed	0.56 ± 0.1^a	30.5 ± 3.1^a	24.0 ± 4.7^a	4.09 ± 0.1^a	0.71 ± 0.2^a	2.88 ± 1.7^a	1.30 ± 0.7^a

Each value represents the mean \pm S.D., and the values with different letters are not significantly different by Turkey LSD multiple comparison test ($n=6$, $p=0.05$)

Table 3. Changes in chemical property of soil affected by termite rearing

Soil	Total nitrogen (g kg ⁻¹)	Organic matter (g kg ⁻¹)	Available phosphate (mg kg ⁻¹)	pH	Exchangeable cation (cmolc kg ⁻¹)		
					K	Ca	Mg
NT ¹	0.56±0.1 ^b	30.5±3.1 ^b	24.0±4.7 ^b	4.09±0.1 ^b	0.71±0.2 ^b	2.88±1.7 ^b	1.30±0.7 ^b
T ²	1.11±0.3 ^a	43.3±12.4 ^a	27.4±2.9 ^a	4.56±0.2 ^a	0.82±0.2 ^a	3.18±1.4 ^a	1.73±1.1 ^a

¹NT: Termite not reared²T: Termite reared

Each value represents the mean±S.D, and the values with different letters are not significantly different by Turkey LSD multiple comparison test (n=6, p=0.05)

3.2. 흰개미 처리에 따른 토양의 화학 성질 변화

흰개미를 처리한 토양의 전 질소 함량은 1.11 ± 0.3 g kg⁻¹, 흰개미를 처리하지 않은 토양이 0.56 ± 0.1 g kg⁻¹로서 흰개미를 처리한 토양 내 함량이 높게 나타났다(Table 3). 유기물 함량은 흰개미 처리 토양이 43.3 ± 12.4 g kg⁻¹, 처리하지 않은 토양이 30.5 ± 3.1 g kg⁻¹로 흰개미를 처리한 토양 내 함량이 높게 나타났으며, 유효인산은 흰개미 처리 토양이 27.4 ± 2.9 mg kg⁻¹, 처리하지 않은 토양이 24.0 ± 4.7 mg kg⁻¹으로 흰개미 처리 토양 내 함량이 높게 나타났다. 치환성 양이온인 K, Ca, Mg의 경우 흰개미 처리 토양에서 각각 0.82 ± 0.2 cmolc kg⁻¹, 3.18 ± 1.4 cmolc kg⁻¹, 1.73 ± 1.1 cmolc kg⁻¹, 흰개미를 처리하지 않은 토양에서 각각 0.71 ± 0.2 cmolc kg⁻¹, 2.88 ± 1.7 cmolc kg⁻¹, 1.30 ± 0.7 cmolc kg⁻¹로 분석되어 흰개미 처리 토양 내 함량 역시 처리하지 않은 토양보다 유의적으로 높은 것으로 분석되었다. pH 역시 흰개미 처리토양이 4.56 ± 0.2 로 흰개미를 처리하지 않은 토양(4.09 ± 0.1)보다 높게 나타났다.

유기물을 포함한 전 질소, 유효인산, 치환성 양이온의 함량 증가는 흰개미의 섭식활동이 주원인으로 사료되며, 토양 pH의 증가는 유효인산과 치환성 양이온 함량증가에 따른 것으로 사료된다. 흰개미는 집을 지을 때 수확활동을 통해 생성된 생성물과 부산물을 이용하여 주변 토양 물질의 구성요소를 변화시켜 비옥도를 높인다고 알려져 있다(Coventry et al., 1988; Park, 1996; Ruckamp et al., 2010). 다른 연구들도 흰개미에 의해 분해된 유기물은 직접 토양에 환원되거

나 흰개미 집을 형성하는데 사용되며, 흰개미 집에 함유된 영양분은 여러 요인에 의해 침식되어 주변 생태계 내에 토양 화학성이 증가한다고 보고된 바 있다(Coventry et al., 1988; Lamoureux et al., 2012).

흰개미를 처리한 토양에서 전 질소함량의 증가는 흰개미의 생물학적 활동으로 인한 증가와 다른 요인에 의한 증가도 포함되어 있다. Ohkuma(2001)는 흰개미는 섭식활동으로 인해 체내에 있는 장내미생물을 이용하여 유동성 질소를 고정할 수 있는 능력이 있다고 보고하였고, Sileshi et al.(2010)은 흰개미 체내에 축적된 질소가 흰개미가 죽어 다시 토양으로 돌아갈 때 질소함량이 높아진다고 보고하였다. 하등 흰개미 종의 경우 군집 내 흰개미가 여러 원인에 의해 죽게 될 경우 시체들을 별도의 공간에 모아 두게 되는데, 이 때 죽은 흰개미 사체에서 미생물에 의해 고정된 질소가 토양에 환원되어 주변 토양에 질소 함량을 높여주게 된다고 알려져 있다(Lamoureux et al., 2012).

4. 결론

본 연구는 국내 자생하는 흰개미가 토양의 이화학적 성질에 어떠한 변화를 미치는지를 파악하기 위해 실시되었으며, 연구 결과 유기물을 포함한 전 질소, 유효인산, 치환성 양이온(Ca, K, Mg), pH의 함량이 흰개미를 처리하지 않은 실험구보다 높은 값을 보였다. 흰개미 집 내의 토양은 흰개미의 수확활동 및 생물학적 활동으로 인하여 끊임없이 그 성질이 변하는데 먹이원의 종류에 따라 토양에 함유되는 영양물질의 양이 달라지게 되고, 이러한 섭식활동으로 인해 질소를

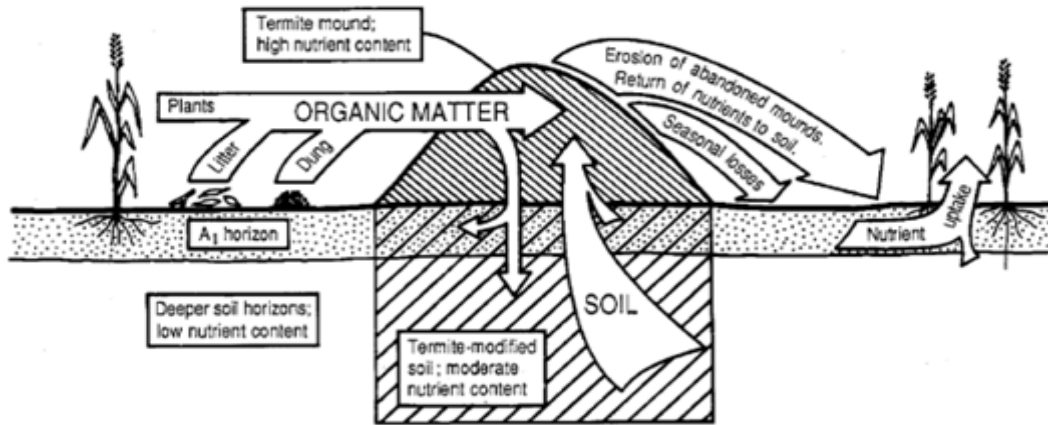


Fig. 6. The flow of nutrients and soil materials through termite mounds (Coventry et al., 1988).

포함한 유기물과 인산도 흰개미 집 내의 토양의 영양분을 제공하게 된다(Coventry et al., 1988; Park, 1996) (Fig. 6).

흰개미는 토양 비옥도를 높여주어 주변 토양에 서식하는 식물들이 잘 자라게 되고 이로 인해 흰개미가 섭취하는 먹이가 자연스럽게 풍부하게 되어 다시 토양의 비옥도를 높여주는, 이른바 공생 생태계를 형성하게 된다(Grogan, 2000; Bonachela et al., 2015). 따라서, 여러 연구에서 밝혀진 것처럼 초원과 같이 척박한 생태계에서 흰개미는 생태계 유지에 도움이 되고 환경 조성 측면에서 전 세계적으로 중요성이 강조되고 있음에도 불구하고 우리나라에서 진행된 흰개미 생태에 관련된 연구는 전무한 실정이다. 이번 연구 결과는 실험 기간이 짧아 흰개미가 토양 환경에 끼치는 영양염류 변화가 서식 환경 증진에 결정적인 영향을 주었다고 판별하기는 어렵겠지만, 총 질소, 유기물, 유효인산, 치환성 양이온, pH 등이 유효적으로 증가하는 것으로 나타났다. 본 연구는 흰개미의 토양 물리성 및 생물성의 변화에 미치는 영향과 관련된 연구에 중요한 기초자료를 제공하는데 기여할 것이며, 향후 심도 깊은 관련 연구의 진행이 필요할 것으로 사료된다.

Acknowledgements

This work was supported by a 2-Year Research Grant of Pusan National University. Methods of

analysis for soils, plants

REFERENCES

- Bonachela, J. A., Pringle, R. M., Sheffer, E., Coverdale, T. C., Guyton, J. A., Caylor, K. K., Levin, S. A., Tarnita, S. A., 2015, Termite mounds can increase the robustness of dryland ecosystems to climatic change, *Science*, 347(6222), 651-655.
- Coventry, R. J., Holt, J. A., Sinclair, D. F., 1988, Nutrient cycling by mound building termites in low-fertility soils of semi-arid tropical Australia, *Austral. J. Soil Res.*, 26, 375-390.
- Davies, R. G., Eggleton, P., Jones, D. T., Gathorne-Hardy, F., Hernandez, L. M., 2003, Evolution of termite functional diversity: Analysis and synthesis of local ecological and regional influences on local species richness, *J. Biogeo.*, 30, 847-877.
- DeSouza, O., Albuquerque, L. B., Tonello, V. M., Pinto, L. P., Junior, R. R., 2003, Effects of fire on termite generic richness in a Savanna-like ecosystem ('Cerrado') of central Brazil, *Sociobiology*, 42(2), 1-11.
- Grogan, P., Bruns, T. D., Chapin III, F. S., 2000, Fire effects on ecosystem nitrogen cycling in a Californian bishop pine forest, *Oecologia*, 122, 537-544.
- Hesse, P. R., 1955, A Chemical and physical study of the soils of termite mounds in east Africa, *Brit. Ecol. Soc.*, 43(2), 449-461.

- Jouquet, P., Dauber, J., Lagerlof, J., Lavelle, P., Lepage, M., 2006, Soil invertebrates as ecosystem engineers: Intended and accidental effects on soil and feedback loops, *Appl. Soil Ecol.*, 32, 153-164.
- Jouquet, P., Ranjard, L., Lepage, M., Lata, J. C., 2005a, Incidence of fungus-growing termites (Isoptera, Macrotermitinae) on the structure of soil microbial communities, *Soil Bio. & Biochem.*, 37, 1852-1859.
- Jouquet, P., Tavernier, V., Abbadie, L., Lepage, M., 2005b, Nests of subterranean fungus-growing termites (Isoptera, Macrotermitinae) as nutrient patches for grasses in savannah ecosystem, *African J. of Ecol.*, 43, 191-196.
- Jouquet, P., Tessier, D., Lepage, M., 2004, The soil structural stability of termite nests: Role of clays in *Macrotermes bellicosus* (Isoptera, Macrotermitinae) mound soils, *Euro. J. Soil Bio.*, 40, 23-29.
- Juergens, N., 2013, The biological underpinnings of Namib desert fairy circles, *Science*, 339, 1618-1621.
- Lamoureux, S., O'Kane, M. A., 2012, Effects of termites on soil cover system performance, Fourie, A. B., Tibbett, M. (eds.), 433-446.
- Lopez, D. H., 2001, Nutrient dynamics (C, N and P) in termite mounds of *Nasutitermes ephratae* from savannas of the Orinoco Llanos (Venezuela), *Soil Biol. Biochem.*, 33, 747-753.
- Lopez, D. H., Fardeau, J. C., Nino, M., Nannipieri, P., Chacon, P., 1989, Phosphorus accumulation in savanna termite mound in Venezuela, *J. Soil Sci.*, 40, 635-640.
- National Institute of Agricultural Sciences, 2000, *Methods of analysis for soils, plants* (Korean), 103-120.
- Nutting, W. L., Haverty, M. I., LaFage, J. P., 1987, Physical and chemical alteration of soil by two subterranean termite species in Sonoran Desert grassland, *J. Arid Environ.*, 12, 233-239.
- Ohkuma, M., 2001, Symbiosis in the termite gut, *Cellular Origin, Life in Extre. Habit. and Astrobiol.*, 4, 715-730.
- Park, H. C., 1996, The role of termites in an ecosystem, *Korean J. Soil Zool.*, 1(2), 140-148.
- Ruckamp, D., Amelung, W., Theisz, N., Bandeira, A. G., Martius, C., 2010, Phosphorus forms in Brazilian termite nests and soils: Relevance of feeding guild and ecosystems, *Geoderma*, 155(3-4), 269-279.
- Schaefer, D. A., Whitford, G. W., 1981, Nutrient cycling by the subterranean termite *Gnathanitermes tubiformans* in a Chihuahuan desert ecosystem, *Oecologia (Berl)*, 48, 277-283.
- Sileshi, G. W., Arshad, M. A., Konate, S., Nkunika, P., 2010, Termite-induced heterogeneity in African savanna vegetation: Mechanisms and patterns, *J. Veget. Sci.*, 21, 923-927.
- Wood, T. G., 1988, Termites and the soil environment, *Biol. Fertil Soils*, 6, 228-236.