

산불 발생 후 토양 미생물의 밀도 변화

박동진 · 육연수 · 김종진 · 이상화 · 김창진*

생명공학연구소

1997년 10월 21일에 발생한 지리산 국립공원의 산불 지역을 대상으로 토양 미생물의 분포 밀도 변화에 대해 연구하였다. 산불 발생 직후 표층, 지하 5 cm, 10 cm, 20 cm, 30 cm의 각 깊이에서 토양 미생물의 밀도(CFU/g dry soil)를 조사하였다. 표층과 지하 5 cm 깊이에 분포하는 세균의 밀도는 산불이 없었던 인근 지역(대조구)의 10^6 CFU/g soil 수준에 비해 10^5 CFU/g soil 수준으로 감소하였다. 방선균은 표층에서 완전히 소멸되었으며 지하 5 cm 깊이에서는 대조구의 10^6 CFU/g soil 수준에 비해 낮은 10^5 CFU/g soil 수준이었다. 곰팡이는 표층과 지하 5 cm 깊이 모두에서 완전히 소멸된 것으로 나타났다. 그러나 지하 10 cm 이상의 깊이에 분포하는 미생물들의 밀도는 전혀 감소되지 않았다. 또한, 산불 발생 후 토양 미생물의 분포 회복 양상을 알아보기 위해 표층과 지하 5 cm 깊이에서 경시적으로 밀도를 조사하였다. 산불 발생 2개월만에 미생물 밀도의 대부분은 크게 증가하여 산불이 없었던 인근 지역과 비슷하였으나 토양 표층에 분포하는 방선균만은 산불 발생 4개월 후에도 여전히 대조구의 10^6 CFU/g soil 수준에 비하여 낮은 10^5 CFU/g soil 수준을 나타내었다.

KEY WORDS □ forest fire, microbial density, postfire change, soil microbial population

토양의 구조 발달과 물질 순환 대사에 관여하는 토양 미생물은 초목과 더불어 산림 생태계를 구성하는 중요한 요소이다(1, 2). 그런데, 산불은 그 발생 정도에 따라 토양 온도를 최고 1000°C 이상까지 상승케 하여 미생물을 곧바로 사멸시킬 수 있으며 또한 산불 발생 후 토양의 영양·환경적 변화(3, 8, 11)는 미생물의 분포에 지속적인 영향을 미칠 것으로 생각된다.

산불 발생에 따른 토양 미생물의 분포 변화에 관한 연구는 산불의 발생 정도나 산불 발생 후 토양의 생태학적 상태를 알 수 있는 생물학적 지표를 제시할 수 있으며 또한 궁극적으로는 산림의 효과적인 복원에 이용될 수 있기에 매우 중요한 것으로 생각된다. 그러나 이러한 연구는 그 중요성에도 불구하고 거의 이루어지지 않았다. 국내에서도 매년 정기적으로 산림을 불태우고 있는 휴전선 남방지역에서 토양 미생물의 계절적 분포 변화를 조사한 홍등의 연구(10)를 제외하고는 거의 전무하였다.

1997년 10월 21일 경상남도 산청군 실천면 내대리 소재 지리산 삼신봉 근처에서 발화한 산불은 주로 참나무와 잣목으로 구성된 활엽수림 10 ha를 전소시킨 뒤 1997년 10월 23일에 진화되었다. 본 연구에서는 산불 발생이 토양 미생물의 분포에 미치는 영향과 차후 회복되는 경향을 알아보고자 이 산불 지역에서 4개월 동안 3차에 걸쳐 세균, 방선균, 곰팡이의 토양 분포 밀도를 조사하여 산불이 없었던 인근 지역과 비교하였다.

재료 및 방법

토양시료

경남 하동군 소재 지리산 국립공원의 산불 발생 지역과 산불이 없었던 인근 지역(대조구)으로부터 각각 5지점을 선정하고 표층, 지하 5 cm, 10 cm, 20 cm, 30 cm의 각 깊이에서 산불 소멸 직후, 그리고 산불 2개월 및 4개월 후에 각 토양 시료를 채취하여 본 실험에 사용하였다.

미생물 분리 배지

조사 대상 미생물로서는 호기성 중속영양 세균, 방선균, 곰팡이(사상균)의 3개 군으로 하였으며 토양 시료로부터 미생물을 분리하기 위한 배지는 다음과 같다. 세균은 nutrient agar(NA) 배지(peptone 1 g, NaCl 5 g, yeast extract 2 g, beef extract 1 g, cycloheximide 50 mg, agar 20 g, pH 6.0, 증류수 1 l) (4)를 사용하였고, 방선균은 humic acid-vitamin agar (HVA) 배지(humic acid 1 g, Na_2HPO_4 0.5 g, KCl 1.7 g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.05 g, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.01 g, CaCO_3 0.02 g, cycloheximide 50 mg, nalidixic acid 20 mg, agar 20 g, pH 7.2, 증류수 1 l) (9)를 이용하였으며, 곰팡이는 potato dextrose agar(PDA) 배지(potato dextrose broth 24 g, chloramphenicol 50 ppm, agar 20 g, pH 5.6, 증류수 1 l) (4)를 사용하였다.

균 밀도 측정

각 토양 시료를 실온에서 풍건하고 이로부터 1g씩을 취하여 멸균 생리 식염수로 10^{-4} 배까지 희석한 후 NA, HVA, PDA 배지에 각각 도말하였다. HVA 배지와 PDA 배지는 28°C 에서 14일 간 배양하였고, NA 배지는 32°C 에서 3일간 배양하였다. 이때 각 배지 상에 나타난 콜로니 중 작균에 해당되는 미생물의 집락 수(colony forming unit, CFU)를 측

*To whom correspondence should be addressed
Tel : 042-860-4332, Fax : 042-860-4595
E-mail : changjin@kribb4680.kribb.re.kr

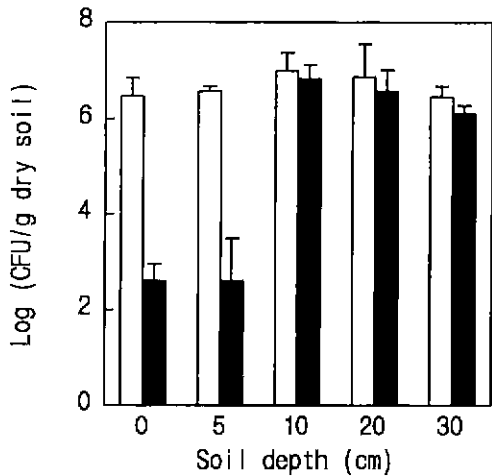


Fig. 1. Number of viable bacteria in soils just after forest fire. Soil samples were taken from unburnt (□) and burnt (■) sites.

정하였으며 세균은 NA, 방선균은 HVA, 곰팡이는 PDA 배지에 나타난 것을 기준으로 하였다. 모든 토양 시료의 미생물 분포 밀도는 3반복으로 실험하여 산술 평균±표준 편차로 표시하였다.

결과 및 고찰

산불 발생 직후 토양 미생물의 분포 감소

산불 발생 직후 세균, 방선균, 곰팡이의 분포 밀도를 토양 깊이 별로 조사하여 산불이 없었던 인근 지역(대조구)과 비교하였다. 대조구 지역에서 세균은 표층부터 30 cm 깊이까지 평균 $(5.4 \pm 3.2) \times 10^6$ CFU/g의 밀도를 나타내었다. 산불 지역의 표층과 지하 5 cm 깊이에서 세균의 밀도는 $(4.0 \pm 0.6) \times 10^2$ CFU/g 수준이었으나 지하 10 cm 이상의 깊이에서는 비 산불 지역과 비슷하였다(Fig. 1). 방선균은 대조구 지역에서 평균 $(7.7 \pm 6.1) \times 10^5$ CFU/g의 분포 밀도를 나타내었다. 산불 발생 직후 토양 표층에서 방선균은 완전히 소멸되

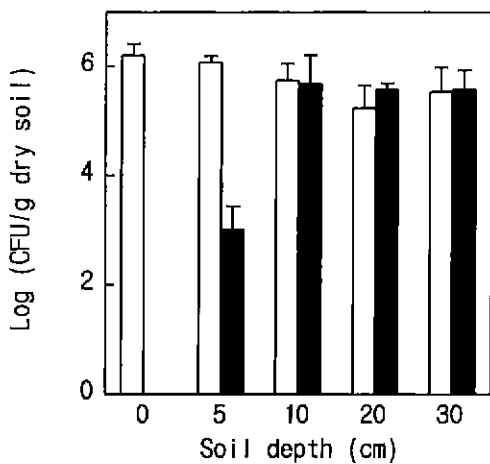


Fig. 2. Number of viable actinomycetes in soils just after forest fire. Soil samples were taken from unburnt (□) and burnt (■) sites.

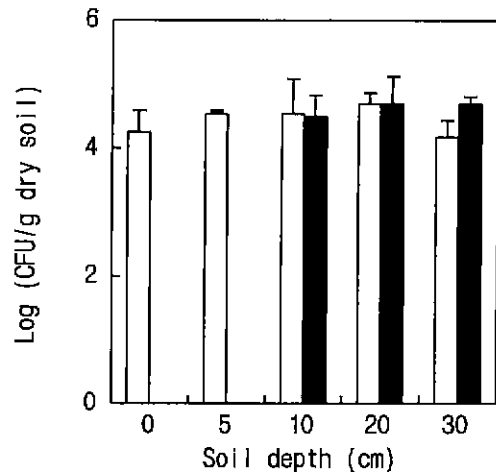


Fig. 3. Number of viable fungi in soils just after forest fire. Soil samples were taken from unburnt (□) and burnt (■) sites.

었고 지하 5 cm 깊이에서도 $(1.0 \pm 0.4) \times 10^3$ CFU/g의 낮은 밀도를 나타내었으나 지하 10 cm 이상의 깊이에서는 대조구 지역과 비슷하였다(Fig. 2). 곰팡이는 산불 지역의 표층과 지하 5 cm 깊이 모두에서 완전히 소멸되었으며 지하 10 cm 이상의 깊이에서는 다른 균들과 마찬가지로 의미있는 밀도 감소가 나타나지 않았다(Fig. 3). 따라서 산불 발생 직후 토양 깊이 5 cm 이내에 분포하는 미생물들의 밀도는 그들의 종류에 따라 완전 소멸 또는 크게 감소되었으며 지하 10 cm 이하에서는 미생물들의 밀도 감소가 없었던 것으로 판단된다. 토양 미생물에 대한 산불의 이러한 효과는 산불의 발생 강도와 직접 관련이 있으며 또한 산불 발생 지역 토양의 열전달율과 조사 방법 등에 따라서 다소 차이가 있을 것으로 고려된다.

산불 발생 후 토양 미생물의 분포 회복

산불 발생 후 토양 미생물의 분포 회복 경향을 알아보기

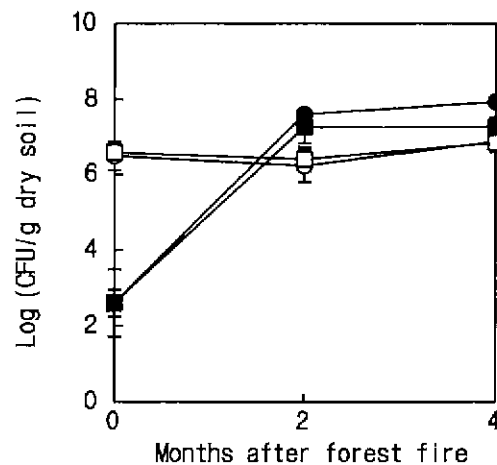


Fig. 4. Recovery of bacterial population in forest soils after fire. Soil samples were taken at the surface (○) and 5 cm (□) depth of unburnt, and the surface (●) and 5 cm (■) of burnt sites the indicated month after fire.

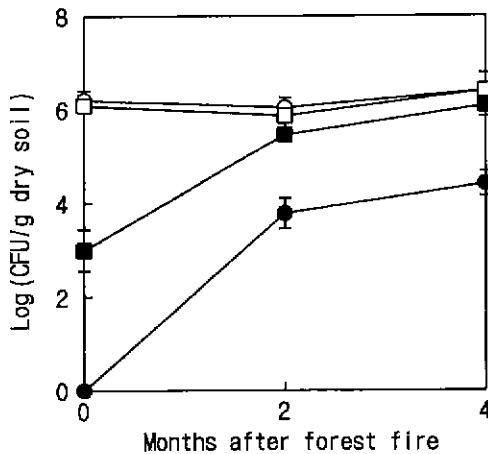


Fig. 5. Recovery of actinomycete population in forest soils after fire. Soil samples were taken at the surface (○) and 5 cm (□) depth of unburnt, and the surface (●) and 5 cm (■) of burnt sites the indicated month after fire.

위해 표층과 지하 5 cm 깊이에서 경시적으로 밀도를 측정하여 대조구 지역과 비교하였다. 산불 발생 직후 표층과 지하 5 cm 깊이에서 크게 감소되었던 세균의 밀도는 산불 발생 2개월만에 크게 증가하여 오히려 대조구 보다 다소 높은 분포 수준을 나타내었으며 4개월 후에도 이와 비슷하였다 (Fig. 4). 산불 발생 지역의 토양 표층에서 방선균의 밀도는 산불 발생 2개월 후 $(6.0 \pm 0.3) \times 10^3$ CFU/g 수준을 나타내었으며 4개월 후에도 $(2.6 \pm 0.3) \times 10^4$ CFU/g의 분포 수준을 나타내어 $(1.8 \pm 1.0) \times 10^6$ CFU/g의 대조구에 비해 여전히 매우 낮은 수준이었다. 반면, 지하 5 cm 깊이에 분포하는 방선균의 밀도는 산불 발생 2개월만에 크게 증가하여 대조구 수준에 근접하였으며 4개월 후에도 이와 비슷하였다 (Fig. 5). 산불 발생 지역의 표층과 지하 5 cm 깊이에서 곰팡이는 산불 발생 2개월만에 대조구 지역과 비슷한 밀도 수준으로 증

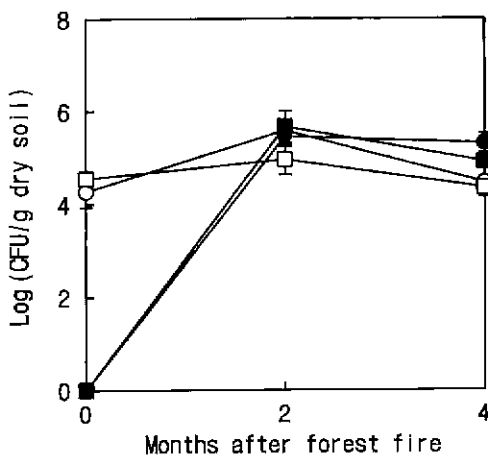


Fig. 6. Recovery of fungal population in forest soils after fire. Soil samples were taken at the surface (○) and 5 cm (□) depth of unburnt, and the surface (●) and 5 cm (■) of burnt sites the indicated month after fire.

가하여 4개월 후에는 대조구에 비해 약간 높은 분포 수준을 나타내었다 (Fig. 6). 따라서 산불로 인하여 크게 감소되었던 미생물들의 분포 밀도는 토양 표층에 분포하는 방선균을 제외하고는 산불 발생 2개월 안에 거의 대조구 수준 또는 그 이상으로 회복되었던 것으로 판단된다.

산불 발생 후 이러한 토양 미생물의 분포 변화는 그 조사 방법에 따라 다소 차이가 있을 것으로 고려된다. 가령, 이 연구에서는 대조구로서 편의상 산불 발생 지역에 인접하고 있는 산불이 나지 않은 곳을 이용하였으며 또한 미생물의 밀도 측정을 위해 평판 희석법을 사용하였는데 특히 후자는 주로 영양 균사로 성장하며 포자 형성율이 낮은 일부 곰팡이들에 대해 다소 한계가 있었을 것으로 고려된다. 한편, 산불 발생 후 생성된 숯 혹은 회분은 토양 pH를 높여 세균의 생장에 유리하다고 하였다 (7, 11). 그러나 Tryon (12)과 Düggeli (5)는 산불이 없었던 지역에 각각 숯과 회분을 인위적으로 첨가하고 세균의 밀도를 조사한 결과 대조구 지역과 별 차이가 없는 것으로 보고하였다. 세균과 달리 약 산성 조건은 일반적으로 곰팡이의 생육에 적합하다고 하였는데 (2) 본 연구에서는 곰팡이도 세균과 마찬가지로 산불 발생 후 대조구 지역에 비해 더 높은 분포 수준을 나타내었다. 또한 산불 발생 후 방선균은 세균과 달리 토양 깊이에 따라 느린 분포 회복을 보였다. 따라서 산불 발생 후 토양 미생물의 분포 회복은 토양 산도 (pH) 이상의 복합적 요소들에 의해 좌우될 것으로 보여진다.

종합적으로, 산불은 토양 깊이에 따라 미생물들의 분포 밀도를 크게 감소시키며 그 수준은 산불의 발생 강도에 의존할 것으로 판단된다. 산불 발생 후 미생물 밀도의 대부분은 산불 발생 2개월 안에 거의 비 산불 지역 수준 또는 그 이상으로 빠르게 증가하는 것으로 보인다. 그러나 토양 표층에 분포하는 방선균은 산불 발생 4개월 후에도 여전히 비 산불 지역에 비해 낮은 밀도를 나타내었고 또한 본 연구 중 산불 지역으로부터 분리된 세균은 한 두 종에 불과하였다 (미발표 결과). 따라서 산불 발생 후 토양 미생물의 완전한 회복 특히 다양성 회복은 4개월 이상이 요구될 것으로 추측된다.

참고문헌

1. 신영오. 1992. 토양생태계와 토양자원. 한림저널사. p. 101-116
2. 신영오. 1985. 토양미생물학개론. 대광문화사. p. 15-27.
3. 임업연구원. 1997. 고성 산불지역 생태조사 결과 보고서. 임업연구원. p. 112-126
4. Atlas, R.M. 1993. Handbook of microbiological media, Parks, L. C., 1st ed., CRC, Fla, U.S.A. p. 666.
5. Düggeli, M. 1938. Studien ber den Einfluss der im Stadtwald Zofligen angewanten Massnahmen zur Bodenverbesserung auf die Bakterienflora des Waldbodens. *Mitt. Schweiz. Zentralanst. Forstl. Versuchsw.* **20**, 307-444.
6. Dumontet, S., H. Dinel, A. Scopa, A. Mazzatura, and A. Saracino. 1996. Post-fire soil microbial biomass and nutrient content of a pine forest soil from a dunal mediterranean environment. *Soil Biol. Biochem.* **28**, 1467-1475.
7. Fowells, H.A. and R.S. Stephenson. 1933. Effect of burning on forest soils. *Soil Sci.* **38**, 175-181.

8. Harris, P.A., H.H. Schomberg, P.A. Banks, and J. Giddens. 1995. Burning, tillage and herbicide effects on the soil microflora in a wheat-soybean double-crop system. *Soil Biol. Biochem.* **27**, 153-156.
9. Hayakawa, M. and H. Nonomura. 1987. Humic acid-vitamin agar, a new medium for the selective isolation of soil actinomycetes. *J. Ferment. Technol.* **65**, 501-509.
10. Hong, S.W., Y.C. Hah, and Y.K. Choi. 1968. Some effect of fire on vegetation, soil and soil microflora adjacent to DMZ in Korea. *Kor. J. Bot.* **11**, 9-19.
11. Kozłowski, T.T. and C.E. Ahlgren. 1974. Fire and ecosystems. p. 1-72. Academic Press, N.Y.
12. Tryon, E.H. 1948. Effects of charcoal on certain physical, chemical, and biological properties of forest soils. *Ecol. Monogr.* **18**, 81-115.

(Received December 26, 1998/Accepted February 1, 1999)

ABSTRACT: Change of Soil Microbial Populations after Forest Fire

Dong-Jin Park, Youn-Su Yuk, Jong-Jin Kim, Sang-Hwa Lee, and Chang-Jin Kim*
(Korea Research Institute of Bioscience & Biotechnology, KIST, P. O. Box 115,
Yusong, Taejon 305-306, Korea)

The change of soil microbial populations was studied at the burnt areas of Mt. Jirisan in Hadong-Gun, Kyungsangnam-Do, where the fire had occurred on Oct. 21 in 1997. On the first day of the fire extinguished, the microbial density (CFU/g dry soil) was investigated at the surface, 5 cm, 10 cm, 20 cm, and 30 cm depth of soils. Bacteria at the surface and 5cm depth of burnt sites were estimated with the low density level of 10^2 CFU/g soil comparing to the 10^6 CFU/g soil of the neighboring unburnt sites. Actinomycetes of burnt sites were completely disappeared at the surface, and were estimated with the low density level of 10^3 CFU/g soil at the 5 cm depth comparing to the 10^6 CFU/g soil at the depth of unburnt sites. Fungi were not isolated at the surface and 5 cm depth at all. However, the forest fire was not found to decrease the microbial populations at the lower depths than 10 cm. In addition, the recovery of soil microbial populations following the fire was bimonthly investigated at the surface and 5 cm depth. Most of microbial densities at the burnt sites were greatly increased two months after the fire, being enough to be compared with the neighboring unburnt sites. However, actinomycetes only at the surface of burnt sites still were estimated the low density level of 10^4 CFU/g soil 4 months after the fire comparing to the 10^6 CFU/g soil of unburnt sites.