Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2020.53.2.200>

pISSN : 0367-6315

eISSN : 2288-2162

Effects of Forest Fire on the Physicochemical Properties of Top Soils of Adjacent Agricultural Land

Yongseon Zhang¹, Dong-Jin Kim^{2*}, Hee-Rae Cho³, Young-Ho Seo⁴, Hyub-Sung Lee⁵, and Soon-Sun Kim⁶

¹Senior Researcher, Division of Soil and Fertilizer, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju, 55365, Korea

²Post-doctoral Fellow, Division of Soil and Fertilizer, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju, 55365, Korea

³Researcher, Division of Soil and Fertilizer, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju, 55365, Korea

⁴Researcher, Crop Research and Farm Management Division, Gangwon Agricultural Research and Extension Services, Chuncheon, 24226, Korea

⁵Certified Research Fellow, Division of Soil and Fertilizer, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju, 55365, Korea

⁶Research Fellow, Division of Soil and Fertilizer, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju, 55365, Korea

*Corresponding author: gimdj@jbnu.ac.kr

ABSTRACT

Received: May 7, 2020

Revised: May 22, 2020

Accepted: May 26, 2020

ORCID

Dong-Jin Kim

<https://orcid.org/0000-0001-5828-6732>

Combustion of agricultural topsoil leads to reduced organic sources, a transformation of soil structure, a formation of water repellent soil layer, and changes in balance and availability of nutrients. Therefore, in order to evaluate the change in soil environment of adjacent agricultural lands affected by forest fires, we investigated the physicochemical properties of the topsoil of agricultural lands in Goseong and Gangneung, Gangwon Province in 2019. The forest fire damaged agricultural land adjacent to forests do not have sufficient combustion sources like forest land. So there are no root burning, ash penetration, soil structure transformation, and water repellent soil layer, which can cause the soil to be thermally damaged. There was no statistically significant difference in the physical (bulk density, porosity, soil moisture, and soil three phase) and chemical (pH, EC, organic matter, available phosphate, and exchangeable cations) properties of the agricultural land damaged by wildfire and the control agricultural land. Based on this, there appears to be no combustion damage that affects the soil environment of farmland.

Keywords: Agricultural land, Forest fire, Soil combustion damage, Soil property, Soil water repellency

(Paddy)

(Upland)

(Orchard)

(Wilderness)

The burn phenomenon of top soils including ground cover, ash color and depth, soil structure, roots, and soil water repellency applied by USDA criteria.

Introduction

우리나라는 겨울과 봄철에 건조하고 특히 동해안 지역은 높새바람에 의한 기후 특성상 산불이 다른 지역에 비하여 많이 발생하고 있다. 산불은 산림식생 및 토양환경 변화뿐만 아니라 산림생태계 전반에 걸쳐 큰 변화를 초래한다 (Raison, 1979; Hungerford et al., 1991; Rab, 1996). 산불 발생은 식생 소실, 표토의 낙엽 및 산림 잔유물 등 유기물원 감소, 토양 입단구조 변형을 일으키고, 산불 강도가 강한 경우 토양수분 반발층이 형성되기도 한다 (Kauffman et al., 1993). 토양 피복도 감소와 토양입단 단립화는 빗방울에 의한 토양입자 분산을 용이하게 하고 토양수분 반발층 형성은 투수성을 감소시켜 적은 양의 강우에도 토양침식이 증가한다 (Lee et al., 2004a; Robichaud, 2005). 또한 산불로 인하여 질소, 인산, 칼륨, 황 등과 같은 양분이 손실되고 연소한 재에 의한 유기물 및 토양 pH 증가는 양분 유효도에 영향을 준다 (Khanna and Raison, 1986; Carballas et al., 1993). 이러한 토양환경 변화는 토양 특성, 산불 강도, 연소한 재의 집적 정도에 따라 다르게 나타나며, 산불 발생 후 경과시간이나 기상요인 등의 영향을 받기도 한다 (DeBano, 1991). 궁극적으로 산불 발생 이후 새로 성장하는 식물에 영향을 미치기 때문에 토양관리는 산림경영적인 관점에서 대단히 중요하다 (Kauffman et al., 1993).

산불에 의한 토양환경 변화는 산불발생 2 - 3년 이내에 산불 이전 상태로 회복된다 (Woo et al., 1985; Lee et al., 1988; Woo and Lee, 1989). 산불이 산림 및 산림토양에 미치는 영향을 검토하기 위하여 산림식생 변이연구 (Woo and Kwon, 1983; Woo et al., 1985; Lee et al., 2004b), 지표 유출량 및 토사 유출량과의 연구 (Wells, 1987; Kim et al., 2008), 표토 토양구조 및 토양삼상 분포와 같은 산림토양의 물리성 변화 연구 (Lee, 1996), 산불이 산림토양의 화학적 특성변화에 미치는 영향 (Daubenmire, 1968; Swan, 1970; Douglas and Ballard, 1971; Seo et al., 2010) 등이 있었다. 1980년대 이후부터 산불 발생 후 그 지역의 2차 천이와 토양 성질 변화에 대한 연구 (Kang and Lee, 1982; Kim et al., 1983; Woo et al., 1985; Kim, 1989; Woo and Lee, 1989; Sim and Kim, 1993; Lee et al., 1997; Lee et al., 2004b), 산불이 소나무림 토양의 영양염류에 미치는 영향 (Mun and Choung, 1996), 산불이 토양 미생물 군집과 효소 활성에 미치는 영향 (Oh et al., 2001) 등 지금까지 국내에서는 산불과 관련하여 많은 연구를 수행했다. 그러나 이러한 대부분의 연구들이 산불 발생 후 오랜 시간이 경과한 어느 한 시점에서 비교 분석한 결과들에 편중되어 있으며, 산불 피해 후 산림식생 변이, 산림토양 유실 및 복구대책, 산림토양의 물리성 및 화학성 변화 연구가 수행되었으나 산지 부근에 인접한 농경지 토양의 피해 정도는 보고된 바 없었다.

따라서 본 연구에서는 산불 피해를 받은 산지 인접 농경지의 토양환경 변화를 분석하기 위하여 2019년 4월 4일 - 5일에 산불이 발생한 강원 고성과 강릉 지역 농경지 토양 표토층의 물리화학성을 조사하였다.

Materials and Methods

본 연구는 강원 고성과 강릉 지역에서 산불피해 산림 인근 농경지를 대상으로 실시하였으며, 산불은 강원 고성군 죽왕면 마좌리에서 2019년 4월 4일 발화하여 산림 2,487 ha가 소실되고 4월 5일 진화되었으며, 강원 강릉시 옥계면 남양리에서 2019년 4월 4일 발화하여 산림 1,260 ha가 소실되고 4월 5일 진화되었다.

산불이 진화 된 후 2019년 4월 17일부터 토지이용별로 논은 강원 고성군 토성면 원암리 450-1에서 벼 그루터기가 약 30% 연소한 지점, 밭은 강원 동해시 망상동 419-2에서 임지 인접부분에 약 50% 연소 지점, 과수원은 강원 고성군 토성면 성천리 312에서 아로니아 관부 연소로 80% 고사한 지점, 황무지는 강원 동해시 망상동 408-6에서 억새 등이

70% 이상 연소한 지점에서 조사하였다. 토양의 산불연소 강도를 관찰하기 위하여 연소지점은 표토 유기물이나 과수의 관부가 연소된 지점으로 하였고, 대조지점으로서 비연소지점은 연소지점으로부터 10 m 이내에서 표토 유기물이나 과수가 연소피해 흔적이 없는 지점을 선택하였다. 연소지점과 비연소지점은 각각의 필지를 상, 중, 하로 구분하여 3지점에서 토양시료를 채취하였다.

미국농무부 산불피해 조사기준 (Parson et al., 2010)에 따라 표토층은 식물체 관부 및 유기물층을 조사하였고, 15 cm 깊이까지 시굴하여 토양 연소 상태, 식물뿌리 분포, 토양구조 변화를 관찰하였다. 토양 물리화학적 변화를 조사하기 위하여 표토 0 - 15 cm에서 2인치 코어시료와 토양을 채취하여 실내에서 풍건한 후 2 mm 체를 통과한 것을 분석용 시료로 사용하였다. 토양 물리화학적 분석은 Soil Survey Laboratory Methods Manual (USDA, 2004)와 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)에 준하여 분석하였다. 토양 입경분석은 30% H_2O_2 로 유기물을 분해하고, 5% sodium hexametaphosphate로 분산시켜 pipette법으로 측정하였고, 용적밀도, 용적수분함량 및 토양삼상은 2인치 코어 (100 cm^3)로 시료를 채취하여 분석하였다. 토양 공극률은 용적밀도와 토양삼상 데이터를 활용하였다. 토양 pH와 전기전도도는 토양과 물의 비율을 1:5로 하여 초자전극법으로 측정하였으며, 토양유기물과 유효인산은 각각 Tyurin법과 Lancaster법으로 분석하였다. 교환성 양이온 (K, Ca, Mg 및 Na)은 1.0-N NH_4OAc (pH 7.0) 용액으로 침출하여 유도 결합플라즈마분광광도계 (ICP-OES, Integra XL Dual, GBC, Australia)를 이용하여 측정하였다.

산림인접 농경지의 연소지점과 대조지점 토양에 대한 물리화학적 통계적 유의성 차이 검증은 SPSS (statistical package for the social sciences, ver. 18.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 통계프로그램을 이용하여 t-test (유의수준 5%)를 실시하였다.

Results and Discussion

조사지점의 일반적인 현황은 Table 1과 같았다. 조사지점 중 귀산 양질사토와 반호 사양토는 산록과 연결되는 산록 경사지와 구릉지에 위치하고 있었으며, 사촌 사양토는 산림의 좁은 공간에 위치하였고, 남계 사양토는 하성평탄지 토양이지만 임지 가까이에 위치한 토양이었다. 산불에 의한 토양의 연소 정도는 표토 유기물이 다소 불에 그슬린 흔적 (scorching)이 나타나는 낮은 연소에서 표토에서 5 cm 이내에 토양수분 흡수를 방해하는 토양수분 침투 반발층 (water repellency layer)이 형성될 정도로 심한 연소현상이 나타난다.

산불피해 농경지의 연소 강도는 Fig. 1과 같이 표토 유기물을 포함한 표토층의 연소 상태, 토양 중 연소한 재 (ash)의 침투정도, 토양구조 변화, 식물뿌리 연소 정도와 깊이, 수분침투 반발력을 조사하였다. 논 표토에서는 벼 그루터기 및 벼짚이 연소되었으나 식물체 원래 조직이 관찰 가능한 상태이었고, 토양 중 벼 뿌리 연소나 연소한 재 (ash) 침투가

Table 1. Soil survey information of the sampling sites affected by forest fire.

Land use	Topography	Soil series	Soil texture (USDA)	Effective soil depth
				cm
Paddy	Alluvial plain	Namgye	Sandy loam	15
Upland	Alluvial fan	Banho	Clay loam	20
Orchard	Narrow valley	Sachon	Sandy loam	50
Wilderness	Hilly	Guisan	Loamy sand	20

Fig. 1. The burn phenomenon of top soils including ground cover, ash color and depth, soil structure, roots, and soil water repellency applied by USDA criteria.

나타나지 않았고, 토양구조 변형 없이 물을 가하면 즉시 흡수되었다. 밭과 황무지에서 식물체 원래 조직이 관찰 가능한 상태로 전년도 농산물 잔사나 억새 (*Miscanthus sinensis* var. *purpurascens*), 쭉 (*Artemisia princeps*) 등의 연소 면적이 50% 이하로 토양 중 연소한 재 (ash) 침투정도, 토양구조 변화, 식물뿌리 연소 깊이, 수분침투 반발력이 논토양과 유사한 경향이였다. 아로니아 (*Aronia melanocarpa*)가 식재된 과수원에서는 토양유실방지 및 잡초 발생방지를 위하여 피복되었던 흑색비닐이 연소되고 과원의 일부는 아로니아 관부가 연소되어 고사되기도 하였으나 토양 중 잔뿌리가 연소하거나 연소한 재 (ash) 침투, 수분침투 반발력이 나타나지 않았다. 미국농무부 산불피해 조사기준 (Parson et al., 2010)에 따른 연소 피해 강도는 지표면에서 식물체 조직을 식별할 수 있는 수준으로 낮았으며 연소면적은 50% 이하였다. 연소한 재 (ash)는 토양 중으로 침투하지 않았으며, 지표면 인접부에 직경 0.25 cm 이하의 미세 뿌리가 그대로 유지되었다. 토양구조 변형 없이 시굴한 토양단면에 물을 가하면 표토로부터 5.0 cm 이내에서 물방울을 형성하지 않고 물이 즉시 침투하는 점으로 보아 연소피해 수준이 낮은 것으로 판단하였다.

토양수분 반발층의 출현 여부는 산불피해 농경지 토양유실 여부와 직접 관련이 있어서 가장 중요한 지표가 되는데, 산불이 발생하면 관목지대 수관층 온도가 1,100°C 이상 (Countryman, 1964), 토양과 낙엽층 경계 온도는 약 850°C에 도달 할 수도 있으나 산불로 유기물층에서 기화된 소수성 유기물이 토양 중으로 확산하면서 표토로부터 0.5 - 5.0 cm 하부층에서 두께 1 mm 이하로 응축되어 토양입자 표면에 피복된다 (DeBano, 2000; Brady et al., 2001; Neary et al., 2005). 토양수분 반발층은 토양이 약 175°C 미만으로 가열 될 때는 발생하지 않으나 (DeBano, 1991; DeBano, 2000; Doerr, 2004; Dlapa et al., 2008), 토양이 175 - 200°C에서 15분 이상 가열 될 때 강한 토양수분 반발층이 형성되며 (DeBano, 1991, March et al., 1994), 토양이 280 - 400°C로 가열되면 기존에 생성된 토양수분 반발층이 파괴되기도 한다 (Savage, 1974; DeBano et al., 1979; March et al., 1994; Giovannini and Lucchesi, 1997). 한편, 모든 조사 대상지에서 산불 당시에 토양이 절연체 역할을 하고, 농경지에서는 가연성 물질량이 적어 토양 5 cm 깊이에서 토양온도가 150°C 이상을 초과하기 어렵다 (DeBano et al., 1979)는 점을 고려하면, 토양수분 반발층을 형성할 정도로 토양에 연소피해를 줄 수 있는 규모는 아니었다. 미국의 Rendija Canyon, Frijoles Canyon 및 Beaver Gulch 산림지역에서 산불 연소 토양은 토양수분 반발층이 형성되어 비연소 토양보다 수분침투율이 2배 이상 낮은 것으로 나타났다 (Martin and Moody, 2001).

Table 2. Soil physical properties of the burned and unburned agricultural lands adjacent to forest fires.

Land use	Site	Bulk density	Soil porosity	Soil moisture	Three phase		
					Solid	Liquid	Gas
		Mg m ⁻³	%	% (w/w)	----- % -----		
Paddy	Burned	1.29 ± 0.04	51.2 ± 1.4	18.3 ± 1.1	48.8 ± 1.4	23.6 ± 0.9	27.6 ± 0.9
	Unburned	1.17 ± 0.09	55.8 ± 3.6	21.4 ± 3.8	44.2 ± 3.6	24.9 ± 2.6	30.9 ± 1.3
	Pr > t [†]	NS	NS	NS	NS	NS	*
Upland	Burned	1.31 ± 0.11	50.5 ± 4.2	20.2 ± 4.4	49.5 ± 4.2	26.4 ± 6.0	24.1 ± 8.6
	Unburned	1.32 ± 0.08	50.0 ± 3.1	20.3 ± 2.3	50.0 ± 3.1	26.7 ± 1.4	23.3 ± 1.8
	Pr > t	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Orchard	Burned	1.16 ± 0.03	56.1 ± 1.2	12.8 ± 1.7	43.9 ± 1.2	14.9 ± 1.6	41.2 ± 0.9
	Unburned	1.20 ± 0.12	54.5 ± 4.5	11.6 ± 1.4	45.5 ± 4.5	13.9 ± 2.0	40.6 ± 5.9
	Pr > t	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Wilderness	Burned	1.28 ± 0.11	49.7 ± 4.3	12.9 ± 2.0	50.3 ± 4.3	16.4 ± 1.3	33.3 ± 3.6
	Unburned	1.38 ± 0.04	47.8 ± 1.5	10.6 ± 1.7	52.2 ± 1.5	14.6 ± 2.0	33.2 ± 1.5
	Pr > t	NS	NS	NS	NS	NS	NS

[†]NS and * are no significant and significant, respectively, at $p < 0.05$ t-test.

산불 인접 농경지 중 논과 과수원은 사양토, 밭은 식양토, 황무지는 양질사토로 연소지점과 비연소지점의 토양 물리성은 Table 2와 같았다. 용적밀도, 공극률, 토양수분, 고상, 액상은 연소지점과 비연소지점의 유의적 차이는 나타나지 않았다. 기상의 경우 논에서 비연소지점이 연소지점보다 높게 나타났으나 밭, 과수원, 황무지에서는 유의적 차이가 나타나지 않았다. Nam et al. (2000)의 연구에서 산불 이후 토성은 큰 변화를 보이지 않는 것으로 나타났으나 지표면(토심 0 - 10 cm)의 용적밀도는 산불이 나지 않은 지역에 비해 증가하는 결과를 보였고, 투수계수는 상대적으로 감소하는 경향을 보인다고 보고한바 있다. 본 조사에서 농경지는 물리성 변화가 일어날 정도로 산불피해를 받지 않았으며, 이것은 연소피해가 낮아 수분 침투가 가능한 것과 관련이 있는 것으로 보인다.

산불 인접 농경지별 연소지점과 비연소지점의 토양 화학성은 Table 3과 같다. 산불 이후 유기물 함량은 논을 제외한 농경지에서 증가하였고, 유효인산은 과수원을 제외한 다른 농경지에서 증가하였다. 그러나 pH, EC, 교환성 양이온은 산불피해에 따른 증가 또는 감소 경향이 일정하게 나타나지 않았다. 산불의 영향을 받은 토양은 조사 시점에 따라 유기물 함량이 감소 또는 증가하는 것으로 보고된 바 있는데, 산불은 단기적으로 많은 양의 죽은 뿌리를 발생시켜 산림 토양 유기물을 일시적으로 증가시키지만 장기적 측면에서는 산화발생 후 지상부 소실과 함께 낙엽, 낙지 등과 같은 유기물원 유입량이 감소한 결과라 하였다 (Covington and Sackett 1984; Woo et al., 1985; Lee et al., 1988). 또한 다른 연구에서 산화지 표토층의 토양 pH와 교환성 양이온이 증가하는 것으로 보고되었으며 (Lee et al., 1988, Woo and Lee, 1989), 그 원인은 연소한 재의 발생과 함께 증가한 교환성 양이온 때문인 것으로 알려져 있다 (Raison, 1979; DeBano, 1991; Mun and Chang, 1996). 따라서 산불의 영향을 받아 토양표면의 잔여물이 열에 의해 분해되거나 산화되어 토양 내 유기물이 증가한 것으로 보이지만, pH, EC, 유효인산, 교환성 양이온은 조사 농경지에 따라 증가 또는 감소 경향이 일정하게 나타나지 않았다.

산불의 영향을 받은 농경지 현장조사 결과를 종합하면, 미국농무부 산불피해 조사기준 (Parson et al., 2010)에 따른 산불 연소 강도는 지표면의 식물체 조직을 식별할 정도로 낮은 수준이었으며 연소면적은 50% 이하였다. 연소한 재(ash)는 토양 중으로 침투하지 않았고, 지표면 인접부에 직경 0.25 cm 이하의 미세 뿌리가 그대로 유지되었다. 토양구

조 변형 없이 시굴한 토양단면에 물을 가하면 표토로부터 5.0 cm 이내에서 물방울이 형성되지 않고 침투하는 점으로 볼 때, 모든 농경지의 연소피해가 낮은 것으로 판단되었다. 산불 인접 농경지 중 토양유기물은 논을 제외한 농경지의 연소지점에서 높게 나타났고 유효인산은 과수원을 제외한 농경지의 연소지점에서 높게 나타났다. 그러나 산불 인접

Table 3. Soil chemical properties of the burned and unburned agricultural lands adjacent to forest fires.

Land use	Site	pH	EC [†]	SOM	Avail. P ₂ O ₅	Exch. Cation			
						K	Ca	Mg	Na
		1:5 (H ₂ O)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	----- cmol _c kg ⁻¹ -----			
Paddy	Burned	6.0 ± 0.0	0.26 ± 0.02	27.5 ± 0.8	104 ± 4	0.26 ± 0.02	3.56 ± 0.11	0.60 ± 0.02	0.34 ± 0.00
	Unburned	5.7 ± 0.0	0.34 ± 0.07	27.0 ± 0.4	97 ± 1	0.25 ± 0.01	3.57 ± 0.08	0.60 ± 0.02	0.34 ± 0.00
	Pr > t [‡]	*	NS	NS	*	NS	NS	NS	*
Upland	Burned	6.9 ± 0.0	0.24 ± 0.01	20.7 ± 0.2	54 ± 1	0.76 ± 0.01	7.21 ± 0.08	1.96 ± 0.02	0.34 ± 0.00
	Unburned	7.5 ± 0.0	0.28 ± 0.01	16.6 ± 0.0	3 ± 0	0.55 ± 0.01	7.78 ± 0.07	1.94 ± 0.00	0.34 ± 0.00
	Pr > t	*	*	*	*	*	*	NS	NS
Orchard	Burned	6.5 ± 0.0	0.31 ± 0.02	28.5 ± 0.0	332 ± 18	0.72 ± 0.02	4.27 ± 0.12	1.93 ± 0.04	0.33 ± 0.00
	Unburned	6.8 ± 0.0	0.42 ± 0.02	25.1 ± 0.0	760 ± 16	0.81 ± 0.04	5.97 ± 0.37	1.90 ± 0.10	0.33 ± 0.00
	Pr > t	*	*	*	*	*	*	NS	NS
Wilderness	Burned	7.0 ± 0.0	0.45 ± 0.01	16.6 ± 0.1	15 ± 1	0.33 ± 0.02	6.62 ± 0.19	1.60 ± 0.04	0.33 ± 0.00
	Unburned	6.5 ± 0.0	0.12 ± 0.00	12.3 ± 0.1	1 ± 0	0.06 ± 0.00	1.75 ± 0.06	0.49 ± 0.02	0.33 ± 0.00
	Pr > t	*	*	*	*	*	*	*	*

[†]EC, electrical conductivity; SOM, soil organic matter.

[‡]NS and * are no significant and significant, respectively, at $p < 0.05$ t-test.

Table 4. Physical and chemical properties of the burned and unburned soils after forest fires.

Property		Burned	Unburned	Pr > t [‡]
Physical	Bulk density (Mg m ⁻³)	1.26 ± 0.09	1.27 ± 0.12	NS
	Soil porosity (%)	51.9 ± 3.7	52.0 ± 4.4	NS
	Soil moisture (% w/w)	16.1 ± 4.1	16.0 ± 5.6	NS
	Three phase (%)			
	Solid	48.1 ± 3.7	48.0 ± 4.4	NS
	Liquid	20.3 ± 5.7	20.0 ± 6.3	NS
	Gas	31.6 ± 7.9	32.0 ± 7.0	NS
Chemical	pH (1:5, H ₂ O)	6.6 ± 0.4	6.6 ± 0.7	NS
	EC [†] (dS m ⁻¹)	0.32 ± 0.09	0.29 ± 0.12	NS
	SOM (g kg ⁻¹)	23.3 ± 5.2	20.3 ± 6.3	NS
	Avail. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	126 ± 129	215 ± 331	NS
	Exch. Cation (cmol _c kg ⁻¹)			
	K	0.52 ± 0.23	0.42 ± 0.30	NS
	Ca	5.42 ± 1.60	4.77 ± 2.40	NS
	Mg	1.52 ± 0.58	1.23 ± 0.72	NS
	Na	0.33 ± 0.00	0.33 ± 0.06	NS

[†]EC, electrical conductivity; SOM, soil organic matter.

[‡]NS is no significant at $p < 0.05$ t-test.

농경지를 연소지점과 비연소지점으로 구분하여 토양 물리화학적 특성을 비교한 결과 통계적 (t -test, $p < 0.05$)으로 유의한 차이가 나타나지 않았다 (Table 4). 따라서 산불 인접 농경지 토양은 연소원이 산림토양처럼 충분하지 않아 열적 피해로 나타날 수 있는 토양수분 반발층이 형성되지 않았고, 연소 토양과 비연소 토양의 용적밀도, 공극률, 토양수분, 삼상과 같은 물리성과 pH, EC, 유기물, 유효인산, 교환성 양이온과 같은 화학성 변화가 통계적으로 유의한 차이가 없음을 고려할 때, 농경지의 토양환경에 영향을 미칠 정도의 산불 피해는 없는 것으로 판단되었다.

Conclusions

산불의 영향으로 농경지 표토가 연소되게 되면 유기물원 감소, 토양구조 변형, 토양수분 반발층 형성, 양분수지와 유효도 변화를 초래하게 된다. 따라서 본 연구에서는 산불 피해를 받은 산지 인접 농경지 토양환경 변화를 분석하기 위하여 2019년 산불이 발생한 강원 고성과 강릉 지역에서 농경지 표토층의 물리화학적 특성을 조사하였다. 산림에 인접한 산불피해 농경지 토양은 임지처럼 연소원이 충분하지 않아 열적 피해로 나타날 수 있는 뿌리 연소, 재의 침투, 토양구조 변형, 토양수분 반발층이 형성되지 못하였고, 산불피해 연소토양과 비연소토양의 용적밀도, 공극률, 토양수분, 삼상과 같은 물리성과 pH, EC, 유기물, 유효인산, 교환성 양이온과 같은 화학성 변화가 통계적으로 유의한 차이가 없음을 고려할 때, 농경지에서 토양환경에 영향을 미칠 정도의 산불 연소피해는 없는 것으로 판단되었다.

Acknowledgement

This work was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agriculture Sciences & Technology Development (Project No. PJ013512)”, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Brady, J.A., P.R. Robichaud, and F.B. Pierson. 2001. Infiltration rates after wildfire in the Bitterroot Vally. ASAE annual international meeting presentation, Paper Number 01-8003, American Society of Agricultural Engineers, Sacramento, CA, USA.
- Carballas, T. 2003. Los incendios forestales. In: reflexiones sobre el medio ambiente en Galicia, p.363-415. Xunta de Galicia, Santiago de Compostela, Spain.
- Countryman, C.M. 1964. Mass fires and fire behavior, p.53. USDA Forest Service Research Paper PSW-19, USA.
- Covington, W.W. and S.S. Sackett. 1984. The effect of a prescribed burn in southwestern ponderosa pine on organic matter and nutrients in woody debris and forest floor. *Forest Sci.* 30:183-192.
- Daubenmire, R.F. 1968. Ecology of fire in grasslands. *Adv. Ecol. Res.* 5:209-266.
- DeBano, L.F. 2000. The role of fire and soil heating on water repellency in wildland environments: a review. *J. Hydrol.* 231-232:195-206.
- DeBano, L.F., R.M. Rice, and C.E. Conrad. 1979. Soil heating in chaparral fires: effects on soil properties, plant nutrients, erosion, and runoff, p.21. USDA Forest Service Research Paper PSW-145, USA.
- DeBano, L.F. 1991. The effect of fire on soil proper-ties. *Proceedings- management and productivity of western-montane forest soils*, p.151-156. USDA Forest Service General Technical Report INT-280, USA.
- Dlapa, P., I. Simkovic, S.H. Doerr, R. Kanka, and J. Mataix-Solera. 2008. Application of thermal analysis to elucidate

- water-repellency changes in heated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72:1-10.
- Doerr, S.H. 2004. Heating effects on water repellency in Australian eucalypt forest soils and their value in estimating wild fire soil temperatures. *Int. J. Wildland Fire*. 13:157-163.
- Douglas, G.W. and T.M. Ballard. 1971. Effects of fire on alpine plant communities in the North Cascades, Washington. *Ecology*. 52:1058-1064.
- Giovannini, G. and S. Lucchesi. 1997. Modifications induced in the soil physio-chemical parameters by experimental fires at different intensities. *Soil Sci.* 162:479-486.
- Hungerford, R.D., M.G. Harrington, W.H. Frandsen, K.C. Ryan, and G.J. Niehoff. 1991. Influence of fire on factors that affect site productivity, proceedings-management and productivity of west-ern-montane forest soils, p.32-50. USDA Forest Service General Technical Report INT-280, USA.
- Kang, S.J. and J.T. Lee. 1982. Ecological studies on vegetation recovery of burned field after forest fire. *Korean J. Ecol.* 5(1):54-62.
- Kauffman, J.B., R.L. Sanford, Jr., D.L. Cummings, I.H. Salcedo, and E.V.S.B. Sampaio. 1993. Biomass and nutrient dynamics associated with slash fires in neotropical dry forests. *Ecology*. 74:140-151.
- Khanna P.K. and R.J. Raison. 1986. Effect of fire intensity on solution chemistry of surface soil under a *Eucalyptus pauciflora* forest. *Aust. J. Soil Res.* 24:423-434.
- Kim, C.G., K.I. Shin, K.Y. Joo, K.S. Lee, S.S. Shin, and Y.S. Choung. 2008. Effects of soil conservation measures in a partially vegetated area after forest fires. *Sci. Total Environ.* 399:158-164.
- Kim, W. 1989. The Secondary succession and species diversity at the burned area of the pine forest. *Korean J. Ecol.* 12(4):285-295.
- Kim, W., H.S. Jeong, and U.R. Chong. 1983. The early vegetational succession of the burned area in Dangji-dong. *Korean J. Ecol.* 6(4):237-242.
- Lee, C.W., C.Y. Lee, J.H. Kim, H.J. Youn, and K. Choi. 2004a. Characteristics of soil erosion in forest fire area at Kosung, Kangwondo. *J. Korean For. Soc.* 93(3):198-204.
- Lee, H.H. 1996. Effects of forest fire on the water storage characteristics of forest land. *J. Korean Soc. For. Sci.* 85(1):66-75.
- Lee, K.S., Y.S. Choung, S.C. Kim, S.S. Shin, C.H. Ro, and S.D. Park. 2004b. Development of vegetation structure after forest fire in the east coastal region, Korea. *Korean J. Ecol.* 27(2):99-106.
- Lee, W.K., C.S. Kim, S.H. Cha, Y.K. Kim, J.K. Byun, K.S. Koo, and J.W. Park. 1997. Fire effects on soil physical and chemical properties following the forest fire in Kosung. *Korean J. Ecol.* 20(3):57-162.
- Lee, W.K., K. Choi, and M.Y. Oh. 1988. Effect of forest fire on soil properties and vegetation. *Res. Rep. For. Res. Inst.* 37:35-49.
- March, R.J., X. Arias, and A. Sole. 1994. Effects of slash burning on some soil physical properties in an olm-oak coppice, p.29-42. In: M. Sala and J.F. Rubio (eds.). *Soil Erosion and degradation as a consequence of forest fires. Selection of papers from the International Conference on Soil Erosion and Degradation as a Consequence of Forest Fires*. Barcelona, Spain, 1991. Geoforma Ediciones, Logrono, Spain.
- Martin, D.A. and J.A. Moody. 2001. Comparison of soil infiltration rates in burned and unburned mountainous watersheds. *Hydrol. Process.* 15:2893-2903.
- Mun, H.T. and Y.S. Choung. 1996. Effects of forest fire on soil nutrients in pine forests in Kosong, Kangwon Province. *Korean J. Ecol.* 19(5):375-383.
- Nam, Y., E.S. Min, and I.S. Jang. 2000. Soil physical and chemical properties of forest-fired area in Koseong, Kangwon. *Kor. J. Env. Eco.* 14(1):38-45.
- Neary, D.G., K.C. Ryan, and L.F. DeBano. 2005. *Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soils and water*. General Technical Report RMRS-GTR-42-volume 4. United States Department of Agriculture, Forest Service,

- Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO, USA.
- NIAST. 2010. Methods of soil and plant analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- Oh, K.C., J.K. Kim, W.O. Jung, and J.K. Min. 2001. The changes of forest vegetation and soil environmental after forest fire. *J. Korean Env. Res. Reveg. Tech.* 4(3):19-29.
- Parson, A., P. Robichaud, S. Lewis, C. Napper, J. Clark, and T. Jess. 2010. Field guide for mapping post-fire soil burn severity. General Technical Report RMRS-GTR-243. United States Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO, USA.
- Rab, M.A. 1996. Soil physical and hydrological properties following logging and slash burning in the Eucalyptus regnans forest of southeastern Australia. *For. Ecol. Manage.* 84(1-3):159-176.
- Raison, R.J. 1979. Modification of the soil environment by vegetation fires, with particular reference to nitrogen transformations: a review. *Plant Soil.* 51:73-108.
- Robichaud, P.R. 2005. Measurement of post-fire hillslope erosion to evaluate and model rehabilitation treatment effectiveness and recovery. *Int. J. Wildland Fire.* 14:475-485.
- Savage, S.M. 1974. Mechanism of fire-induced water repellency in soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38:652-657.
- Seo, J.I., K.W. Chun, S.W. Kim, and M.S. Kim. 2010. Rainfall pattern regulating surface erosion and its effect on variation in sediment yield in post-wildfire area. *J. Korean For. Soc.* 99(4):534-545.
- Sim, H.B. and W. Kim. 1993. Comparison of the community structure in the burned and unburned areas in SeobJe-Gol. *Korean J. Ecol.* 16(4):429-438.
- Swan, F.R.Jr. 1970. Post-fire response of four plant communities in south-central New York states. *Ecology* 51: 1074-1082.
- USDA. 2004. Soil survey laboratory methods manual. Soil Survey Investigation Report No. 42. Version 4.0. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Washington, DC, USA.
- Wells, W.G. 1987. The effects of fire on the generation of debris flows in southern California. *Geol. Soc. Am.* 7:105-114.
- Woo, B.M. and H.H. Lee. 1989. Effects of forest fire on the forest vegetation and soil (IV). *J. Korean For. Soc.* 78(3):302-313.
- Woo, B.M. and T.H. Kwon. 1983. Effects of forest fire on the forest vegetation and Soil (I). *J. Korean Soc. For. Sci.* 62:43-52.
- Woo, B.M., T.H. Kwon, H S. Ma, H.H. Lee, and J.H. Lee. 1985. Effects of forest fire on the forest vegetation and Soil (II). *J. Korean Soc. For. Sci.* 68:37-45.