

山火가 소나무림의 土壤과 流出水의 化學的 性質 및 植物量에 미치는 影響

鄭 蓮 淑·金 俊 鎬

(서울대학교 自然科學大學 植物學科)

Effects of Fire on Chemical Properties of Soil and Runoff, and Phytomass in *Pinus densiflora* Forest

Choung, Yeon Sook and Joon Ho Kim

(Dept. of Botany, Seoul National University)

ABSTRACT

In a red pine (*Pinus densiflora*) forest, changes of pH, electric conductivity, total carbon, total nitrogen, available phosphate and available potassium in soil and runoff have been studied at intervals for 1 year after early spring fire. Phytomasses of herb and shrub were measured following the current and the subsequent year.

The pH, E.C., total nitrogen and phosphate of soil in burned site were 1.1, 1.5, 1.6 and 2.0 times higher than in unburned site, respectively. But potassium showed no significant difference. A rise in pH, E.C., and total nitrogen in burned site were maintained through the study period while phosphate maintained 4 months after the fire.

The E.C., total carbon, NO₂-N and NH₄-N of runoff in burned site were 1.3, 1.3, 1.3 and 29.0 times higher than in unburned site, respectively, while NO₃-N in unburned site was 4 times higher than in burned site.

In burned site, phytomasses of herb and shrub were 148 and 33% of unburned site in a current year and 107 and 51% in a subsequent year, respectively.

The considerable amount of increase in soil nutrient after the fire was conserved by the uptake of the fast regrowing plants and by the immobilization of NH₄-N.

緒 論

한반도의 기후는 4~6월에 건조하기 때문에 산불이 자주 일어난다. 더구나 한반도에는 소나무림이 널리 분포되어 있는데 여기에 산불이 일어나면 소나무는 열에 약하고 재생능력이 없기 때문에 큰 피해를 받는다.

초지의 영양소 저장고는 주로 지하부에 있다. 따라서 불난 후의 세탈이나 유출수(Runoff)를 통한 손실은 토양 저장능에 비하여 적다. 이와 대조적으로 소나무림은 보통 토양이 척박하고 영양소 저장고가 지상부에 있어서 산불 후 영양소 유실이 큼으로 원상회복에 많은

시간이 소요된다. 그러나 빈영양상태의 생태계라도 산불 후 식생의 빠른 재생으로 영양염류를 흡수하고 일부 염류를 토양에 고정하여 그 손실을 감소시키고 있다(Boerner and Forman, 1982; Boerner, 1983).

본 연구는 소나무림에 산불이 발생한 후 부터 1년간 토양과 유출수의 pH, 전기전도도, 질소, 인 및 탄소의 동태를 밝히고 회복되는 식생의 식물량을 화재구와 대조구를 비교함으로써 산불에 의한 무기영양소 동태와 그 보존을 밝히는데 목적이 있다.

야외채집을 도와준 인제대학 조경제선생님과 서울대의 이승우씨께 감사드립니다.

調査地 概況

본 연구는 강원도 영월군 영월읍 영흥리 장릉(37° 11'~37° 12'N, 128° 25'~128° 28'E)의 석회암 토양에 형성된 약 350 ha 넓이의 소나무(*Pinus densiflora*)림 중 7 ha의 山火跡地에서 이

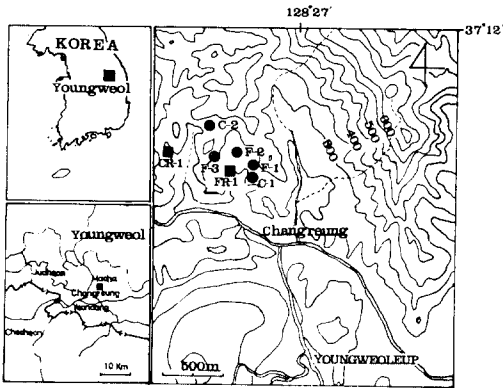


Fig. 1. Map showing the sampling sites. Circle and square indicate each soil and biomass, and runoff sites. Capital F, C and R mean burned, unburned and runoff.

루어졌다(Fig. 1). 산불은 1984년 4월 7일 일어났다. 산화점지에서 죽은 소나무는 벌채되었으며 조사는 산불 15일후부터 익년까지 계속되었다.

장릉의 모양은 오르도비스안기에 형성된 대석회암층 영흥층에 속하며 암회색 돌로마이트질 석회암으로써 Ca과 Mg이 많이 함유되어 있다(김등, 1979).

본 조사지내 소나무의 수령은 30~150년, 높이는 10~20 m이다. 아교목층은 괴불나무(*Lonicera maackii*), 울피불나무(*Lonicera praeflorens*), 개웃나무(*Rhus trichocarpa*), 생강나무(*Lindera obtusiloba*) 등으로, 관목층은 참싸리(*Lespedeza cyrtobotrya*), 털덩강나무(*Abelia coreana*), 개서어나무(*Car-*

pinus tschonoskii), 물푸레나무(*Fraxinus rhychophylla*), 산초나무(*Zanthoxylum schinifolium*), 청가시덩굴(*Smilax sieboldii*) 등으로, 초본층은 기름새(*Spodiopogon cotulifer*), 그늘사초(*Carex lanceolata*), 둥굴레(*Polygonatum odoratum* var. *pluriflorum*), 삼주(*Atractylodes japonica*) 등으로 구성되어 있다. 7~8월 경에는 좀팽의다리(*Thalictrum minus* var. *hypoleucum*), 참싸리(*Lespedeza cyrtobotrya*), 오이풀(*Sanguisorba officinalis*), 삼주(*Atractylodes japonica*) 등의 잎에 황화현상이 관찰되었다. 본 조사지의 낙엽층은 5~9 cm, 토심은 10~40 cm, A층의 두께는 얇고 토색은 황갈색이며 석회암이 곳곳에 노출되어 있다. 조사지소는 고도 200~300 m, 경사각은 20~30°인 장소에 정하였다. 조사는 화재구 3지소 F-1, 2, 3와 산불의 피해가 없는 인접한 대조구 2지소 C-1, 2에서 이루어졌다. 조사지 FR-1과 CR-1은 유출수 조사를 위한 화재구와 대조구로써 강우 후에 지표수가 모이는 작은 집수장소이었다.

調査 方法

토양과 유출수의 조사는 1984. 4~1985. 3, 식생의 식물량은 1984. 10과 1985. 10에 하였다.

낙엽을 제거한 토양은 화재구(F-1, 2, 3)와 대조구(C-1, 2)에서 각각 4반복하여 10 cm 깊이까지 채취하여 음건하고 1 mm체로 쳐서 분석에 사용하였다. 유출수는 FR-1과 CR-1구에서 반복하여 채수하고 -35°C 이하로 보관 후 분석하였다.

토양과 유출수의 pH와 전기전도도는 토양과 물을 1:5로 혼합, 진탕후 여과하여 pH미터(Fisher 230A)와 전기전도도계(YSI 33)로 측정하였다. 토양의 총질소함량은 micro-kjeldahl법(Jackson, 1967)으로, 가용성 인은 0.03 N ammonium fluoride용액과 0.025 N 염산 혼합액(Bray and Kurtz, 1945)으로 추출한 후 ascorbic acid법(Strickland and Parson, 1972)에 따라 분광광도계로 700 nm에서 비색정량하였고 칼륨은 1 N ammonium acetate로 추출하여 flamephotometer(Coleman 51)로 정량하였으며, 유출수 중의 총탄소량은 potassium persulfate로 물을 산화시켜 CO_2 자동분석계(Yanaco Air-200)로 측정하였다(APHA, 1981). $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ 및 $\text{NH}_4\text{-N}$ 은 Strickland and Parsons법(1972)에 따라 정량하였다.

結 果

화재구와 대조구 토양요인의 차이는 F-1, 2, 3지소와 C-1, 2지소의 각각 전체평균을 t 검정법으로(Table 1), 시간경과에 따른 토양특성의 변화는 Duncan의 다중검정으로 비교하였다(Table 2).

산불 후의 토양은 pH 7.5~8.0로써, 대조구의 것 pH 6.5~7.0에 비하여 높게 유지되었

Table 1. Summary of soil data at 3 burned and 2 unburned sites. Asterisks indicate significant (*; $p < 0.05$) or highly significant (**; $p < 0.01$) differences between burned and unburned sites for each soil factor. All figures are means and SD taken from all sampling dates

Site	pH	E.C. ($\mu\text{mhos/cm}$)	T-N (mg/g)	A-P ($\mu\text{g/g}$)	A-K (mg/g)
Burned	7.77 \pm 0.09**	111.1 \pm 8.2**	4.16 \pm 0.61**	2.11 \pm 0.45**	0.26 \pm 0.07
Unburned	7.17 \pm 0.27	74.2 \pm 10.8	2.60 \pm 0.23	1.06 \pm 0.24	0.27 \pm 0.01

Table 2. Changes of soil factor after the fire. For each site, values followed by the same lower case letter are not significantly different at L.S.R.=0.05

Location	Date	pH	E.C. ($\mu\text{mhos/cm}$)	T-N (mg/g)	A-P ($\mu\text{g/g}$)	A-K (mg/g)
Burned (n=12)	21 Apr.	7.8 a	135.9 a	5.32 a	3.51 a	0.28 a
	9 Jun.	7.9 b	90.3 b	4.06 b	2.85 b	0.23 a
	28 Jul.	7.9 b	101.7 b	3.95 b	1.75 c	0.26 a
	5 Oct.	7.6 c	106.8 b	3.49 b	1.28 c	0.30 a
	31 Mar.	7.7 c	120.8 c	4.00 b	1.15 c	0.21 b
Unburned (n=8)	21 Apr.	7.2 a	79.0 a	2.90 a	1.38 a	0.28 a
	9 Jun.	7.1 a	73.3 a	2.29 b	1.01 a	0.25 a
	28 Jul.	7.4 a	76.0 a	2.66 b	1.31 a	0.29 a
	5 Oct.	7.2 a	68.0 a	2.68 b	0.55 b	0.31 a
	31 Mar.	7.0 a	77.3 a	2.49 b	1.05 c	0.23 b

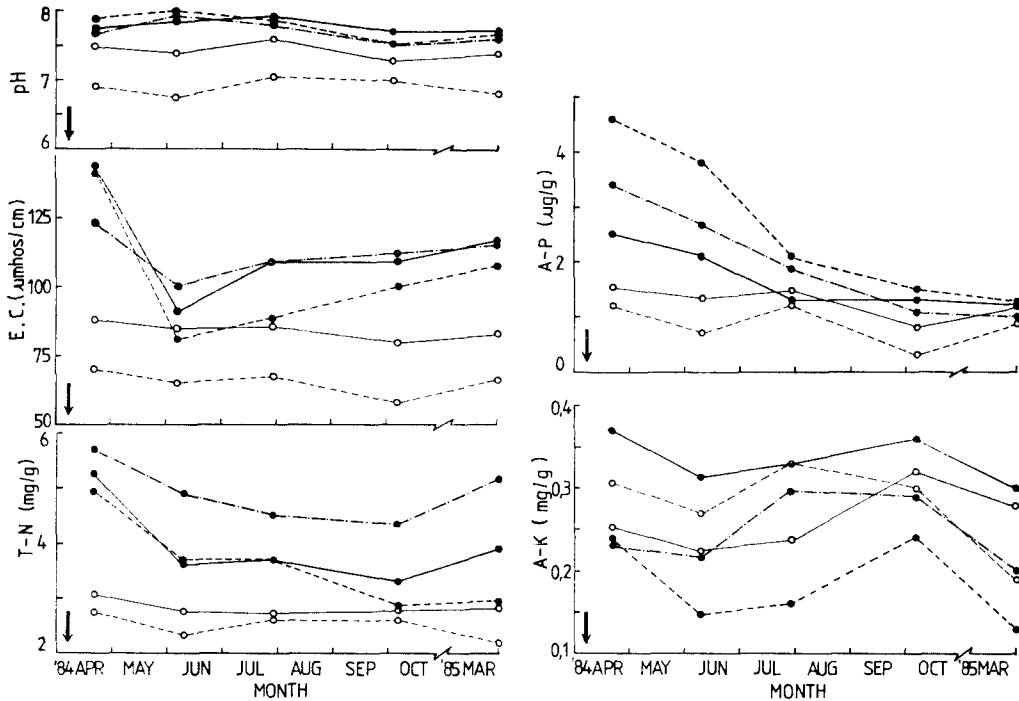


Fig. 2. Changes of pH, electric conductivity (E.C.), total nitrogen (T-N), available phosphorus (A-P) and available potassium (A-K) in soil after the fire. Closed and open circle indicate burned (F-1; ●—●, F-2; ●—●, F-3; ●—●) and unburned sites (C-1; ○—○, C-2; ○—○). Arrows mean date of fire.

다(Fig. 2, Table 1). 산불이 토양 pH에 미치는 영향에 대하여 초지에서 pH 1이하(Raison, 1979), 삼림에서는 산불 후에 pH 2~3 상승하는데(Raison, 1979) 특히 침엽수림에서는 pH 5에서 pH 6~7로(Rundel, 1981a) 상승하였다. 이처럼 토양 pH의 증가 원인은 유기물의 회화로 염기성 이온이 형성되고 석회질 모암이 노출되는 데 있을 것이다. 시간경과에 따른 토양 pH의 변화는 화재구에서 6월의 증가와 10월의 감소를 제외하고 차가 거의 없었다(Table 2). 대조구는 유의한 계절 변화가 없었다.

토양의 전기전도도(E.C.)는 화재구가 대조구보다 1.5배 상승하였다(Fig. 2, Table 1) 그런데 조사기간 중 화재구와 대조구의 E.C.는 조사지소 사이에 차이가 관찰되었다. E.C.의 상승원인은 Ca^{++} , K^{+} , Mg^{++} 등 양이온의 유리와 관련이 있을 것이다. 산불 직후의 E.C.는 화재구가 대조구보다 1.9배 높았는데 2개월 후의 것은 1.2배로 양자가 거의 가까워지고 그 이후에 화재구는 상승경향을, 대조구는 감소경향을 나타냈다(Fig. 2). 이 이유는 일부는 4~6월 사이의 강우(300 mm)에 의하여 세탈되고, 일부는 왕성하게 자란 임상식물에 의하여 흡수되었을 것이다. 대조구의 계절적 변화는 없었다(Table 2).

토양의 총질소(T-N) 함량은 화재구가 대조구 보다 전조사기간 중 1.6배 많았다(Fig. 2, Table 1). 시간경과에 따른 화재구의 질소의 동태는 화재 직후 5.3 mg/g에서 2개월 후인 6월의 3.7 mg/g로 감소하여 유의차가 있었고($p < 0.01$) 그 이후 가을까지 감소하다가 다음해 봄에 증가하는 경향이였다. 2개월 후의 T-N의 감소는 식물의 흡수와 강우에 의한 세탈일

것이다. 대조구는 6월 측정값의 감소가 유의하였는데 초봄식생의 흡수에 의한 계절적 경향일 것이다.

토양의 가용성 인함량(A-P)은 화재구와 대조구에서 각각 2.11, 1.06 $\mu\text{g/g}$ 으로써 화재구가 1.9배 높은 값을 나타내었고(Fig. 2). 두 비교구의 평균 차는 유의하였다($p < 0.01$, Table 1). 그러므로 산불 후에 토양의 A-P는 증가된다(Wagle and Kitchen, 1972; 박과 김, 1981; Raison, 1979). Boerner (1982)가 밝힌 소나무림에서 산불 전보다 A-P가 2.5~5.0배 증가한 사실과 본 결과와는 같은 경향이다. 화재구와 대조구의 A-P함량은 4월과 6월에는 각각 3.5와 1.4 $\mu\text{g/g}$ (2.5 : 1), 2.9와 1.0 $\mu\text{g/g}$ (2.9 : 1)로써 그 차가 컸으나 7월에는 1.8과 1.3 $\mu\text{g/g}$ (1.4 : 1)로써 유의차가 없었다.

화재구에서 시간경과에 따른 인의 동태는 화재 직후 4, 6, 7월에 3.5, 2.9, 1.8 $\mu\text{g/g}$ 으로써 크게 감소하여 그 차이가 유의하였고(L.S.R < 0.05, Table 2) 그 이후는 다소 감소하는 경향이 있었다. 대조구에서는 시간경과에 따라 4, 6, 7월에 1.38, 1.01, 1.31 $\mu\text{g/g}$ 으로 유의한 차이가 없었고 10월에 0.55 $\mu\text{g/g}$ 로써 낮은 값을 나타내었다.

토양의 칼륨함량(A-K)은 0.2~0.4 mg/g으로 변동하였는데, 화재구와 대조구의 총평균은 각각 0.26과 0.27 mg/g으로써 대조구가 높았으나 유의하지는 않았다. 방크스소나무림은 산불 후 토양의 A-K가 2.5~5.0배(Boerner, 1982), chaparral은 71%증가(Debano and Conrad, 1978)하였다. 그러나 영국의 초지는 20~30 mm의 강수로 토양의 A-K를 80~90% 세탈시켰다(Lloyd, 1971). 한편 소나무림에서는 산불 후 80 mm의 강수에 의하여 한달 이내에 1/3로 감소하였다. 이러한 결과로 보아 본 조사에서 A-K증가가 없는 이유는 A-K가 세탈된 까닭으로 생각된다. 시간경과에 따른 변화는 화재구나 대조구가 동일하게 산불후 부터 10월까지 유의한 차이가 없었고 10월부터 익년 3월 사이에 A-K함량의 감소가 유의하였다.

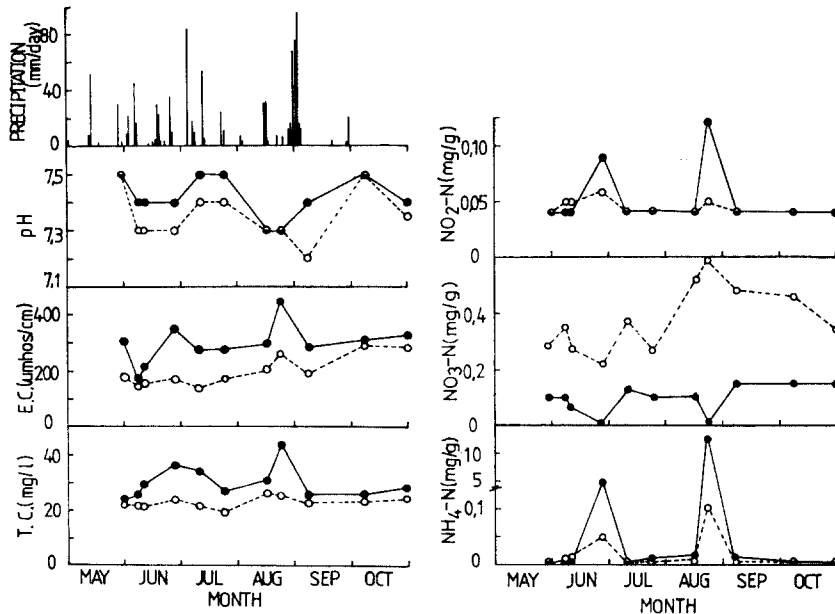


Fig. 3. Change of pH, E.C., total carbon (T.C.), NO₂-N, NO₃-N and NH₄-N in runoff after the fire. Closed and open circle indicate burned (FR-1; ●—●) and unburned site (CR-1; ○---○).

화재구 유출수의 pH, E.C 및 총탄소량(T.C.)은 대조구의 그것보다 높았다(Fig. 3). 즉 화재구와 대조구의 pH는 각각 평균 7.45와 7.30(1.02 : 1.00), E.C.는 249와 198 $\mu\text{mhos/cm}$ (1.3 : 1.0), T.C.는 30.9와 23.2 mg/l (1.3 : 1.0)이었다. E.C.와 T.C.는 강수량에 따라 변동하여 일강수량이 40 mm 이상일 때 회색되어 감소하는 경향이였다. 화재구에서 E.C.나 T.C.가 높은 이유는 강우에 의해 씻긴 무기이온이나 무기 및 유기탄소때문일 것이다.

화재구 유출수의 $\text{NO}_2\text{-N}$ 과 $\text{NH}_4\text{-N}$ 은 대조구보다 많았다. 즉 화재구와 대조구의 $\text{NO}_2\text{-N}$ 은 각각 평균 0.05와 0.04 mg/l (1.25 : 1.00), $\text{NH}_4\text{-N}$ 은 1.16와 0.04 mg/l (29 : 1)이었다. 그러나 $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 화재구보다 대조구에서 더 많이 유실되어 각각 평균 0.11와 0.45 mg/l (0.25 : 1.00)이었다. 이 결과는 화재 후 토양에 잔존하는 질소형은 주로 $\text{NH}_4\text{-N}$ 임을 제시한다.

Table 3. Mineral output to runoff in kg/ha/month at burned and unburned site

Date	Runoff (ton/ha/month)	T.C.		$\text{NO}_3\text{-N}$		$\text{NH}_4\text{-N}$		$\text{NO}_2\text{-N}$	
		Burned	Unburned	Burned	Unburned	Burned	Unburned	Burned	Unburned
May. '84	290	7.00	6.41	0.03	0.08	0.00	0.00	0.01	0.01
Jun.	550	16.84	12.39	0.05	0.34	0.92	0.01	0.03	0.03
Jul.	550	16.78	11.31	0.07	0.18	0.03	0.00	0.02	0.02
Aug.	560	20.96	14.66	0.04	0.31	2.93	0.04	0.05	0.02
Sep.	990	25.12	22.96	0.15	0.48	0.01	0.00	0.04	0.04
Oct.	500	14.74	12.10	0.08	0.20	0.00	0.00	0.02	0.02

Table 4. Allometric equations between organ and D^2H per stem in seven species

Species	No. of stem	Organ	Allometric equation	Correlation coefficient
<i>Abelia coreana</i>	21	Stem	$\log W_s = -1.904 + 0.861 \log D^2H$	0.982
		Branch	$\log W_b = -3.209 + 1.153 \log D^2H$	0.814
		Leaf	$\log W_l = -1.382 + 0.651 \log D^2H$	0.953
<i>Lonicera maackii</i>	31	Stem	$\log W_s = -2.174 + 0.945 \log D^2H$	0.989
		Branch	$\log W_b = -3.092 + 1.101 \log D^2H$	0.910
		Leaf	$\log W_l = -1.823 + 0.707 \log D^2H$	0.875
<i>Quercus dentata</i>	21	Stem	$\log W_s = -1.979 + 0.906 \log D^2H$	0.952
		Branch	$\log W_b = -3.164 + 1.111 \log D^2H$	0.883
		Leaf	$\log W_l = -1.326 + 0.749 \log D^2H$	0.983
<i>Carpinus tschonoskii</i>	9	Stem	$\log W_s + b = -2.033 + 0.933 \log D^2H$	0.987
		+Branch		
		Leaf	$\log W_l = -1.574 + 0.615 \log D^2H$	0.903
<i>Rhus trichocarpa</i>	6	Stem	$\log W_s + b = -1.990 + 0.891 \log D^2H$	0.999
		+Branch		
		Leaf	$\log W_l = -0.740 + 0.541 \log D^2H$	0.860
<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>	30	Stem	$\log W_s = -2.644 + 1.094 \log D^2H$	0.990
		Leaf	$\log W_l = -1.730 + 0.788 \log D^2H$	0.953
<i>Smilax sieboldii</i>	9	Stem	$\log W_s = -1.602 + 0.806 \log D^2H$	0.872
		Leaf	$\log W_l = -2.234 + 0.914 \log D^2H$	0.943

Table 5. Phytomasses of shrub and herb after the forest fire

Date	Months after fire	Phytomass (g dry wt./m ²)					
		Burned			Unburned		
		F-1	F-2	F-3	C-1	C-2	
Shrub	Oct. '84	6	132± 6.3*	119± 7.6	116± 9.5	356±44.1	380±20.3
	Oct. '85	18	214±11.7	242±18.0	153±22.7	380±33.0	411±35.1
Herb	Oct. '84	6	131±22.2	152±14.7	126±18.0	75±17.7	106± 9.6
	Oct. '85	18	86±17.5	108±10.5	74± 9.4	69±14.8	98±10.8

* Data are means±S.E.

Thorntwaite법(1948)으로 계산한 월별 유출수량에 의하여 추정된 월별 T.C. NH₄-N, 및 NO₂-N의 총유출량은 대조구보다 화재구가 각각 1.3, 80.0 및 1.2배 많았지만 NO₃-N은 오히려 대조구가 3.8배 많았다. 6개월간 질소의 총유출량은 화재구와 대조구에서 각각 4.48과 1.78 kg/ha이었고 그중에서 특히 화재구에서는 NH₄-N이 87%를, 대조구에서는 NO₃-N이 89%를 차지하였다.

산불 후에 자란 식물량을 추정하기 위하여 출현한 7종의 상대성장식을 김(1970)에 의하여 구하였고(Table 4) 그 식을 조사지에서 단위면적당 출현한 개체에 적용하였다(Table 5). 조사지의 식물량 추정은 당년 생육기말과 익년 생육기말에 이루어졌다. 당년 말의 식물량은 화재구가 대조구의 33%, 익년 말의 것은 51%로 적었다. 관목중에서 털냉감나무, 괴불나무 및 개서어나무 등은 맹아가 무성하게 자라서 식물량의 많은 부분을 차지하였다. 초본은 당년 말에 대조구 보다 화재구가 148% 증가하였다. 치악산의 화재구는 대조구보다 220% 증가하였다(박과 김 1981). 그러나 Lloyd (1971)는 산불에 의한 식물량의 증가를 부인하였다. 리기다소나무림은 화재 후 빨리 재생된다(Boerner, 1983). 본 연구의 초본은 익년 말에 화재구가 대조구의 107%로써 유사하였다. 이 원인은 생산량을 촉진한 화재 효과가 사라졌음을 의미한다.

考 察

불의 직접적인 영향은 식생과 토양유기물의 산화를 통한 회분의 축적과 토양온도상승 등의 결과이다. 회분은 불완전하게 산화한 유기물과 무기이온으로 구성되어 가용성 염류를 증가시킴으로 E.C.를 높이고 염기성이온을 유리하여 pH를 높인다(Fig. 2). 본 조사의 토양은 모암이 석회암이므로 pH가 높았는데 화재구의 것은 pH 0.6이 더 높았다(Table 1). 이와같이 토양의 높은 pH는 토양미생물중 박테리아의 활성을 높일 것이다(Rundel, 1981a). 총이온의 동태를 나타내는 E.C.는 화재 1년후까지 대조구보다 높아 무기영양소가 많음을 나타내었다(Fig. 2). 그런데 2개월 후의 감소는 토양표면의 유동성이온이 강우에 의하여 씻겨 타인데 화재구의 유출수 중 높은 E.C.가 그러한 사실을 뒷받침한다(Fig. 3).

식생의 산화시 유리된 영양염류는 휘발, 회분으로의 축적 또는 불완전산화물로 남는다(Boerner, 1982). 화재구의 토양 T-N이 화재 1년 후까지 대조구보다 높게 유지된 이유는 질소가 휘발되지 않고 회분으로 축적됨을 의미한다. Boerner(1982)는 방크스 소나무림의 화재시 토양온도가 200°C 이상되면 질소는 거의 휘발됨을 밝히고 Deban and Conrad(1978)

는 질소가 증가되지 않음을 밝히고 있다. 그러나 Christensen(1973)은 chaparral의 화재 후 $\text{NH}_4\text{-N}$ 이 14개월동안 대조구보다 높았고 Rundel(1981b)은 *Adenostoma chaparral*에서 화재 후 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 빠른 증가와 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도의 변화없음을 보고하였다. 본 조사에서도 화재구에서 유출수 중 $\text{NH}_4\text{-N}$ 농도가 높은 것으로 볼 때(Fig. 3), 토양의 총질소는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 보다 $\text{NH}_4\text{-N}$ 으로 주로 존재함을 알 수 있다. 이처럼 토양에 높은 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 함량은 회분속의 유기질소가 계속 암모니아화 작용을 받기 때문이다.

A-P의 함량은 화재후 4개월까지 대조구보다 많았고 그 이후는 그 차이가 없었다(Fig. 2). 화재 후 A-P의 변동은 Wagle and Kitchen(1972)이 *ponderosa*소나무림에서 32배, Rundel(1981a)은 200~500% 증가 함을 보고하였다. 화재에 의하여 인산은 거의 휘발하지 않아 회분 또는 잔유물로 남으며(Debano and Conrad, 1978), 소나무림에서 인산의 유실이 거의 없다(Lewis, 1974). 또한 화재구에서 유출수 중 인산함량이 낮아 측정할 수 없었던 것으로 볼 때 유출수를 통한 인산의 유실도 없다고 판단된다. 그러므로 산불적후부터 4개월간의 토양인산함량의 감소는 식생이 회복되는 단계에서 이용된 것으로 생각한다. 산불 후 식생에 의한 인흡수의 증가는 가용성 인이 부족한 석회암 토양에서 빠른 식생회복에 기여할 것이다(Lloyd, 1971, 1972). A-K는 쉽게 휘발하지 않으나(Raison, 1979), 재에 축적된 칼륨은 초기에 쉽게 소실되므로(Fig. 2) 식생의 회복에 미치는 영향은 적을 것으로 생각된다.

초본의 식물량은 화재당년에 136%, 다음해에 107%로 생육이 촉진되었다(Table 5). 초본은 초봄 화재 후 빨리 재생하여(Old, 1969; Boerner, 1982, 1983; Wright, 1976) 많은 영양소를 흡수하며(Lloyd, 1971, 1972) 생장이 촉진된다(박과 김, 1981; Raison, 1979). 화재 후 생육의 촉진은 가용성 영양염류가 증가되고 일시적으로 토양미생물을 멸균시켜 경쟁을 감소시키는데 기인한다(Raison, 1979; Rundel, 1981a). 그러나 이러한 효과는 화재 당년이 지나면 없어져 익년에는 생물량이 대조구와 유사하였다. 불이 계속 선택압으로 작용하는 pine barren에서는 적응기작이 발달하여 산불에 대하여 빠른 회복을 하는 소나무와 참나무 종류로 구성되어 1~2년 이내에 피도가 100% 회복된다(Boerner, 1981). 영양염류가 부족한 소나무숲에서는 저장능과 양이온 치환능이 부족하여 세탈이나 휘발을 통한 손실이 크다. 그러므로 본 조사지에서 초본과 관목의 생육이 촉진된 것은 염류흡수를 통한 영양염류 보존기작 중의 하나라 생각된다. 다른 보존기작은 유출수의 질소태에서 알 수 있었는데 대조구는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 형태로 유실된 반면 화재구는 $\text{NH}_4\text{-N}$ 로 유출되는 것이다(Fig 3, Table 3). 일반적으로 $\text{NH}_4\text{-N}$ 은 유동성인 $\text{NO}_3\text{-N}$ 보다 토양고정능이 커서 그 유실을 줄인다. 산불 후 생성된 $\text{NH}_4\text{-N}$ 이 $\text{NO}_3\text{-N}$ 으로 산화되지 않은 이유는 암모니아화박테리아가 질화박테리아보다 불에 더 강하고 회복도 빠른데 기인할 것이다(Raison, 1979).

摘 要

잘 보존된 소나무림에서 초봄에 산불이 발생한 후, 1년간 토양과 유출수의 영양염류의 변화를 조사하였고 당년과 익년생육기 말에 식물량의 회복을 대조구와 비교하였다.

토양 pH, E.C., 총질소 및 가용성 인산 함량은 화재구가 대조구의 각각 1.1, 1.5, 1.6 및 2.0배이었으나 토양 칼륨은 대조구와 유의한 차가 없었다. 토양 pH, E.C. 및 총질소함량은 산불 1년후까지, 인산은 4개월까지 대조구보다 높게 유지되었다.

유출수의 pH, E.C., 총탄소량, $\text{NO}_2\text{-N}$ 및 $\text{NH}_4\text{-N}$ 은 화재구가 대조구의 1.02, 1.3, 1.3, 1.3 및 29.0배 이었다. 그러나 $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 대조구가 더 높아 화재구의 4배 이었다.

산화적지의 초본과 관목의 식물량은 당년생육기 말에 각각 대조구의 148과 33%이었고 익년생육기 말에는 각각 107과 51%이었다.

이상의 결과로, 초봄의 산불 직후 유리된 무기영양소는 초본의 빠른 성장과 증가된 식물량에 의하여 과량 흡수되어 그 유실을 방지함을 알 수 있었고 식생의 재생에 이용되고 남은 무기영양소 중 특히 질소는 토양고정능이 강한 $\text{NH}_4\text{-N}$ 으로 잔존하여 역시 무기영양소의 보존에 기여함을 알 수 있었다.

引用文獻

- 김종환·문희수·유장환·김용욱. (1979). 제천, 영월, 문곡, 사북 및 마차지역 석회암 광상조사연구. 자원개발연구소 조사연구보고, 9 : 113~160.
- 김준호. (1970). 육상식물의 생산력 추정을 위한 상대성장법의 이용에 대하여. 식회지, 13 : 47~55.
- 박봉규·김봉희. (1981). 치악산의 식생과 토양에 미친 산불의 영향. 식회지, 24 : 31~45.
- APHA. (1981). Standard methods for examination of water and wastewater. APHA, New York, p. 1134.
- Boerner, R.E.J. (1981). Forest structure dynamics following wildfire and prescribed burning in the New Jersey Pine Barrens. Am. Midl. Nat., 105 : 321~333.
- Boerner, R.E.J. (1982). Fire and nutrient cycling in temperate ecosystems. Bioscience, 32 : 187~192.
- Boerner, R.E.J. and R.T.T. Forman. (1982). Hydrologic and mineral budgets of New Jersey Pine Barrens upland forests following two intensities of fire. Can. J. For. Res., 12 : 503~510.
- Boerner, R.E.J. (1983). Nutrient dynamics of vegetation and detritus following two intensities of fire in the new Jersey Pine Barrens. Oecologia, 59 : 129~134.
- Bray, P. and L.T. Kurtz. (1945). Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Science, 59 : 39~45.
- Christensen, N.L. (1973). Fire and the nitrogen in California chaparral. Science, 181 : 66~68.
- Debano L.F. and C.E. Conrad. (1978). The effect of fire on nutrients in a chaparral ecosystem. Ecology, 59 : 489~497.
- Jackson, M.L. (1967). Soil chemical analysis. Prentice-Hall, New Delhi, p. 497.
- Lewis, W.M. Jr. (1974). Effects of fire on nutrient movement in a South Carolina pine forest. Ecology, 55 : 1120~1127.
- Lloyd, P.S. (1971). Effects of fire on the chemical status of herbaceous communities of the Derbyshire Dales. J. Ecol., 59 : 261~273.
- Lloyd, P.S. (1972). Effects of fire on a Derbyshire grassland community. Ecology, 60 : 915~920.
- Old S. (1969). Microclimate, fire, and plant production in an Illinois prairie. Ecol. Monogr., 39 : 355~384.
- Raison, R.J. (1979). Modification of the soil environment by vegetation fires, with particular references to nitrogen transformations: A review. Plant and Soil, 51 : 73~108.
- Rundel, P.W. (1981). Fire as an ecological factor. In, Encyclopedia of plant physiology. New series Vol. 12A. Physiological plant ecology I. O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond and H. Ziegler (eds.). Springer-Verlag, Berlin, pp. 501~538.
- Rundel, P.W. (1981b). The impact of fire on nutrient cycles. In, Symposium on nutrients as determinants of the structure and functioning of Mediterranean-type ecosystems. The role of nutrients. F.J. Kruger, D.T. Mitchell, J.U.M. Jarvis(eds.). Springer-Verlag, Heidelberg.

- Strickland, J.D.H. and T.R. Parsons. (1972). A Practical handbook of seawater analysis. Bull. Fish. Res. Bd. Can., p. 319.
- Thorntwaite, C.W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. Geog. Rev., 38 : 55~94.
- Wagle, F.G. and J.H. Kitchen, Jr. (1972). Influence of fire on soil nutrients in a ponderosa pine type. Ecology, 53 : 118~125.
- Wright, R.F. (1976). The impact of forest fire in the nutrient influxes to small lakes in northern Minnesota. Ecology, 58 : 649~663.

(1987年 8月 15日 接受)