

林火對於森林土壤效應之研究

呂福原¹⁾ 歐辰雄²⁾ 廖秋成³⁾

[摘要]

本研究主要目的在探討森林火災對於土壤所產生之物理與化學效應，根據火災跡地與非火災跡地配對取樣調查、分析結果如下：

- 1 林火所產生顯著之物理效應即使土壤表面之日溫差加大，及減低表層土壤之粗孔隙。
- 2 火災跡地表層土壤之 pH 值，有效性磷與鉀均呈顯著增加，而有機物質含量則少量減少，其土壤全氮量並未減低，反而因焚燒而增加。
- 3 林火對於土壤之效應可謂利弊兼具，若能控制燃料量及防止沖蝕，引火整地對於促進天然更新或復舊造林是有利的。

The Effect of Fire on Forest Soil

Fu-Yuan Lu¹⁾ Chern-Hsiung Ou²⁾ Chiou-Cheng Liao³⁾

[Abstract]

This study was designed by means of paired sampling on burned areas and matched up with nearby unburned areas to collect the data of physical and chemical properties of forest soils.

According to the analysis and comparisons, we had the conclusion as following:

1. After fire, the daily maximum soil temperature was significant raised than unburned areas. It made the span of daily variances of soil temperature more greater than the unburned ones and this caused the break of the dormant seeds of pioneer species and invasion of the species known as host plants for dinitrogen-fixing micro-organisms as a result of their increased of abundance, and total nitrogen content of soils.
2. The lethal factor following severe burns was destruction of the soil granular and the reduction of macropore space and compaction of

1) 國立嘉義農業專科學校森林科教授

Professor, Department of Forest, National Chiayi Institute of Agriculture.

2) 國立中興大學森林系副教授

Associate Professor, Department of Forest, National Chang-Hsing University.

3) 國立嘉義農專森林科副教授

Associate Professor, of Forestry, National Chiayi Institute of Agriculture.

surface soil layers. The net result of the both factors caused decreasing the infiltration rates and increasing of the soil erosion

3. The main effect of burning is the production of residual ash containing soluble bases and mineral element. That raised the pH value, effective phosphorus and potassium.

4. If we can control the amount of fuel and soil erosion, application of prescribed burning is beneficial for both natural regeneration and reforestation. It is to be confirmed here for the advantage for both practical & theoretical purposes in forest management as well as in silviculture.

一、前言

森林火災常被認為森林最嚴重威脅之一，根據統計，本省每年森林火災發生之次數，平均達百餘次，財產之損失以千百萬計，

其不僅破壞森林資源，更長期擾亂整個森林生態系之穩定。

火災對於森林土壤而言，最直接的效應即改變地表有機物質的形式，而散發大量熱能，同時短期或長期間內改變靠近地表土壤之物理及化學性質，亦影響土壤生物族群之活動。

許多間接效應亦隨著植被之破壞而產生，由於礦質土之裸露造成嚴重之沖蝕，森林動物之棲息及覓食環境遭受破壞，造成嚴重之鼠害，對水土保持及造林木均構成威脅。

森林火災雖在地表持續短暫幾分鐘或幾小時，但是所產生的效應卻持續好幾年，甚至造成週期性循環，阻擾森林之復舊故瞭解及探討火災後林地之變化，為加速復舊造林之所必需，鑑此，乃從事林火對於土壤效應之研究。

二、供試林地及研究方法

(一)供試林地

本省中部山區火災頻度最高，所以分別在大甲林區、埔里林區及豐大林區交通易達之處，選定近年發生火災之林地取樣分析其土壤，各樣區概況。發生火災及調查取樣地點與時間如表一：

表一：樣區位置及火災與調查取樣時間

編號	位 置	火 災 時 間	調 查 時 間	備 註
I	豐大事業區 33林班	69. 12. 26	71. 2. 25	調查樹林
II	豐大事業區 18林班	71. 2. 17	71. 2. 26	草生地及紅檜造林地
III	大甲溪事業區 28林班	70. 7. 6	70. 9. 25	二葉松造林地
IV	埔里事業區 118林班	71. 1. 9	71. 2. 5	楓香造林地
V	埔里事業區 102林班	69. 12. 28	70. 2. 6	杉木造林地
VI	濁水溪事業區 28林班	68. 11. 28	70. 2. 4	調查樹林

(二)研究方法：

為比較林地發生火災前後土壤物理與化學性質之改變，故在靠近火災跡地之邊緣配對取樣，作為對照組，分別取樣調查土壤溫度、pH值、全氮量、含碳有機質及土壤三要素N、P、K之定量分析。

1 土壤溫度之測定：地表溫度以曲管地表溫度計測定，使彎曲玻璃管先端之圓球與地表密切接觸，地中溫度則以鐵管地中溫度計分別測取 10 cm，20 cm或 30 cm深之地中溫度，均於正午 11.00 ~ 13.00 之間，各測定 15 分鐘，為土壤日最高溫。

表二：土壤日最高溫之配對比較

Table II: The Paired comparison of the soils daily maximum temperature

深度 Depth (cm)	處理 Treatment	重 複 Replication						平均 Mean	t
		I	II	III	IV	V	VI		
0	火災跡地 Burned sites	27.5	6.5	34.5	41	28.0	24.7	27.03	3.314*
	非火災跡地 Unburned sites	21.5	6.0	28.5	38	15.5	11.5	20.17	
10	火災跡地 Burned sites	21.5	7.0	22.5	25	18.0	22.0	19.33	1.90
	非火災跡地 Unburned sites	21.0	6.6	21.0	22.5	15.2	10.8	16.18	
20	火災跡地 Burned sites	20.5	7.3	21.5	23.0	17.5	17.5	17.88	2.12
	非火災跡地 Unburned sites	19	7.0	19.5	21.5	15.0	9.5	15.25	

$$t_{\frac{0.05}{2}} = 2.57 \quad t_{\frac{0.01}{2}} = 4.03 \quad d.f = 5$$

2 林火對於表層土壤粗孔隙之效應：火災跡地一方面由於土壤表面被覆灰分物質隨著降雨之向下滲透阻塞孔隙，另一方面由於地表裸露，降雨打擊地面造成粒團破裂，土粒分散，分散之土粒邊填塞土壤孔隙，因而造成表層土壤粗孔隙之極顯著降低，平均約降低 7.8 % (表三)，使表土緻密，減低降水滲透率，形成逕流，造成沖蝕。

表三：表層土壤孔隙之配對比較

Table III: The paired comparison of soils porosity.

處理 Treatment	重 複 Replication						平均 Mean	t
	I	II	III	IV	V	VI		
火災跡地 Burned sites	18.0	20.5	21.0	10.5	26.5	23.0	19.92%	-14.94
非火災跡地 Unburned sites	27.0	28.0	26.5	18.0	35.1	31.5	27.68%	

$$t_{\frac{0.05}{2}} = \pm 2.57 \quad t_{\frac{0.01}{2}} = \pm 4.03 \quad d.f = 5$$

3 林火對於土壤有機物之效應：森林火災造成土壤有機物的減少，損失量隨火災強度而不同，輕微的地表火並未顯著減少地表有機物 (表四)，僅減少 0.81 %，而A層則由於表層灰分殘留有機質分解之加速與淋溶作用之增強而增加 0.58 %，但未達 5 % 之不顯著水準。

2 粗孔隙之測定：以 100 ml 之定容鋼筒由地表打入未經翻動之天然狀態土層中，使其盛滿土壤後取出，切去多餘之土壤，取回後，筒口以濾紙封口，任其吸水，使微管水達到最高的含量，而重力水則不存在時稱取重量，然後在 105° C 烘箱內充分烘乾，其重量之差即為水之重量，由土壤之容重及比重求出該土壤之孔度。

$$\text{孔度}(\%) - \text{水之體積}(\%) = \text{粗孔隙體積}(\%)$$

3 pH 值測定：取土壤樣品 20g，置於 100 ml 燒杯內，加蒸餾水 20 ml，作成懸浮液，以 pH 測定儀測定其 pH 值。

4 有機質含量之測定：稱取土壤樣品 1 g 放入 250 ml 之錐形瓶內，加 $K_2Cr_2O_7$ 溶液 10 ml，濃硫酸 20 ml 充分搖勻，靜置 10 min，任其冷卻，加水 100 ml 搖勻放冷，過濾，取濾液 6 ml，置於比色管，用光電比色器測定其有機質之含量。

5 全氮量之測定：稱取烘乾土 2 g，於分解瓶中，加濃硫酸 10 ml 及 1 g 之觸媒（硫酸銅及硫酸鉀）後置於分解爐加熱至分解液呈淡青色，冷卻後加水稀釋至 100 ml，取 25 ml 分解液，置於蒸餾器中，再加 5% NaOH- $Na_2S_2O_3$ 液 15 ml 入蒸餾器，並取 20 ml HCl，置於三角瓶的接收液，並滴加混合指示劑（Methyl red-Methylene blue）2~3 滴，至收得溶液為原溶液之 2~3 倍即表示作用完成，以 0.1 N NaOH 滴定，由空白滴定所消耗之 NaOH ml 數，減去測定土壤分解液所消耗之 NaOH，即是正確之 NaOH 消耗之量。

$$\frac{(X - Y) \times \text{NaOH 之 Normality}}{2} \times \frac{100}{25} = N \%$$

6 有效性磷之測定：稱取 5 g 之土壤樣品及 0.2 g 之活性炭，放入小錐形瓶內，加 20 ml 之浸土劑（0.05N HCl - 0.025 N H_2SO_4 ）振盪 15 分用濾紙過濾，即得土壤浸出液。吸取土壤浸出液 4 ml，放入比色管加水 1 ml，加鉬酸鉍酸液 1 ml，靜置 20 min，用光電比色計測定其含量。

7 交換性鉀之測定：稱取 25 g 之土壤樣品，放入 250 ml 之燒杯中，加 100 ml 之 1N CH_3COONH_4 ，後用玻璃棒充分攪拌後，放置一夜，用濾紙過濾，再用 30~50 ml 1N CH_3COONH_4 淋洗，然後用 CH_3COONH_4 定容為 250 ml，以原子吸收光光度計測定其含量、換算成 100 g 土壤中鉀所含之毫克當量。

三、結果與討論

1 林火對土壤溫度之效應：森林火災燒毀地被植物及全部或部份隔離土壤之有機質層，導致地表裸露而且使表層土壤顏色加深，使陽光之直接輻射及太陽能之吸收量增強。雖土壤之提高受季節性、輻射強度及微氣候變化之影響，各觀測值之變域甚大，但仍呈顯著之差異。火災跡地與非火災跡地比較，地表平均溫度升高 6.86° C，而 10 cm 及 20 cm 深的溫度則於 1% 及 5% 之顯著水準下無顯著差異，（表二）。

表四：土壤有機物含量之配對比較

Table III: The paired comparison of soil organic matter contents

(%)

土層 Horizon	處理 Treatment	重 複 Replication						Mean	t
		I	II	III	IV	V	VI		
O	火 災 跡 地 Burned sites	8.3	8.3	8.1	7.1	4.7	6.9	7.23	-2.38
	非 火 災 跡 地 Unburned sites	9.7	9.6	8.25	7.4	6.6	6.7	8.04	
A	火 災 跡 地 Burned sites	7.7	8.1	7.9	6.4	5.2	6.0	6.88	2.0
	非 火 災 跡 地 Unburned sites	7.0	7.6	7.9	4.5	4.7	6.1	6.30	

$$t_{\frac{0.05}{2}} = \pm 2.581 \quad t_{\frac{0.01}{2}} = \pm 4.03 \quad d.f = 5$$

4 林火對於土壤 pH 值之效應：火災跡地所殘留下來的灰分物質含有可溶性鹼，造成土壤 pH 值之增加，尤其表層土壤之 pH 值呈顯著升高，比非火災跡地平均升高 1.5 pH 單位，A 層土壤約升高 0.6 pH 單位（表五），其升高程度隨火災強度，燃燒有機物及土壤緩衝能量有關。

表五：土壤 pH 值之配對比較

Table V: the paired comparison of soil

pH

土層 Horizon	處理 Treatment	重 複 Replication						Mean	t
		I	II	III	IV	V	VI		
O	火 災 跡 地 Burned sites	6.5	4.7	5.2	8.9	4.1	4.7	5.68	2.694*
	非 火 災 跡 地 Unburned sites	4.8	3.9	4.9	5.2	3.3	3.2	4.22	
A	火 災 跡 地 Burned sites	4.8	4.6	4.8	5.7	3.6	4.9	4.73	2.282
	非 火 災 跡 地 Unburned sites	4.3	4.2	4.8	4.8	3.3	3.2	4.10	

$$t_{\frac{0.05}{2}} = 2.571 \quad t_{\frac{0.01}{2}} = 4.03 \quad d.f = 5$$

5 林火對於土壤全氮量之效應：氮於高溫中極易自有機物中揮發，所以林火所產生之高溫經常造成表層土壤全氮量之大量喪失（表六），但另一方面由於土壤 pH 值之升高，導致土壤內轉化氮之微生物的活動加劇，使表層土壤之全氮量增加，而且地被植物燃燒時殘留地表之灰分物質亦固定部份的氮，由表六顯示，由於森林火災而喪失之氮，量雖不少，然而燃燒後灰分中及氮固氮細菌所固定之氮，足以補償其損失而有餘，平均反而增加 0.17%，然對 A 層之效應則較小。

表六：土壤全氮量之配對比較

Table VI: The paired comparison of soil total nitrogen.

(%)

土層 Horizon	處理 Treatment	重 複 Replication						Mean	t
		I	II	III	III	V	VI		
O	火災跡地 Burned sites	1.08	1.15	0.59	0.53	0.44	0.77	0.76	1.77
	非火災跡地 Unburned sites	0.44	1.09	0.55	0.48	0.36	0.62	0.59	
A	火災跡地 Burned sites	0.49	0.67	0.39	0.29	0.22	0.44	0.42	1.0
	非火災跡地 Unburned sites	0.37	0.42	0.29	0.47	0.25	0.36	0.36	

$$t_{\frac{0.10}{2}} = 2.015$$

$$t_{\frac{0.05}{2}} = 2.57$$

$$d.f. = 5$$

6 林火對於土壤有效性磷與鉀之效應：林火最重要的效應之一，即產生含有 P.K. 的灰分物質，其含量隨著燃料量之多寡與火災之強度而異 (Armsom 1977)，根據分析顯示火災跡地表層及 A 層所含之有效性磷與鉀與非火災跡地比較均有極顯著之增加 (見表七、八) 表層與 A 層其有效性磷含量分別增加 3.14 ppm, 28 ppm, 而有效性鉀則分別增加 0.23 m.eq./100 g, 0.12 m.eq./100 g。

表七：土壤有效性磷含量之配對比較

Table VII: The paired comparison of soil available phosphorus contents.

土層 Horizon	處理 Treatment	重 複 Replication						Mean	t
		I	II	III	III	V	VI		
O	火災跡地 Burned sites	89.0	96.0	57.0	100.0	22.5	28.5	71.5ppm	3.18
	非火災跡地 Unburned sites	51.5	75.0	37.5	38.5	17.5	21.0	40.1ppm	
A	火災跡地 Burned sites	138.0	71.0	55.0	78.0	23.5	90.0	75.92ppm	3.37
	非火災跡地 Unburned sites	119.0	50.0	32.0	44.0	17.5	24.5	47.83ppm	

$$t_{\frac{0.05}{2}} = 2.57$$

$$t_{\frac{0.01}{2}} = 4.03$$

$$d.f. = 5$$

表八：土壤有效性鉀含量之配對比較

Table VIII: The paired comparison of soil effective potassium contents.

土層 Horizon	處理 Treatment	重 複 Replication							t
		I	II	III	IV	V	VI	Mean	
O	火災跡地 Burned sites	0.69	0.69	0.61	0.60	0.34	0.47	0.57	3.83
	非火災跡地 Unburned sites	0.35	0.39	0.22	0.53	0.10	0.44	0.34	
A	火災跡地 Burned sites	0.49	0.10	0.22	0.22	0.07	0.12	0.20	2.62
	非火災跡地 Unburned sites	0.15	0.03	0.15	0.12	0.04	0.03	0.08	

$$t_{\frac{0.05}{2}} = 2.57$$

$$t_{\frac{0.01}{2}} = 4.03$$

$$d.f = 5$$

四、結論與建議

1 森林火災顯著提高土壤表面之日最高溫，使土壤之日溫差加大，產生劇烈之自然變溫作用，對於休眠中的先驅樹種 (Pioneer species) 之種子具有破壞休眠及促進急速發芽之效用。導致台灣赤楊 (*Alnus formosana*)，楊梅 (*Myrica rubra*)，豆科植物等固氮樹種相繼出現，使土壤的全氮量增加，造成後期樹種入侵之有利環境。

2 火災跡地最嚴重之致命傷即土壤粗孔隙呈極顯著降低，破壞土壤團粒構造，減低降水滲透，形成逕流、造成沖蝕、水土遭受破壞。

3 林火燃燒地被植物及部分有機質層，並使表層裸露土壤溫度升高加速有機質分解，以致造成其有機物含量之降低。然而殘留地面之灰分物質含有可溶性鹼及能夠被植物直接吸收利用之無機態磷質養分，使表層土壤之 pH 值及有效性磷與鉀之顯著增加，造成土壤生物或植物生長之有利環境。

4 林火對於土壤之效應可謂利弊兼具，若能控制燃料量及防止沖蝕，則引火整地對於促進天然更新或復舊造林是有利的，所以經常發生火災地區若能實施橫坡段狀保留植生帶，於乾旱季節引火整地，引導先驅樹種入侵以破除週期性之火災發生。

五、參考文獻

- 1 王子定 (1966)：應用育林學 (上册) pp232，正中書局印行。
- 2 王子定 (1974)：理論育林學 (上册) pp539～540，正中書局印行。
- 3 陳源長 (1965)：台灣之森林火災，台灣銀行季刊 18 (2)：329～360。
- 4 許博行、張峻德 (1980)：山黃麻種子發芽促進及貯藏試驗 (I)，國立中興大學農學院實驗林研究報告 (2)：103～118。
- 5 郭魁士 (1980)：土壤學、pp. 753，中國書局
- 6 郭魁士 (1965)：土壤實驗、pp. 225，中國書局

- 7 劉宜誠 (1976) : 林業試研設計、pp. 512, 台灣林業試驗所林業統計研究室
- 8 Armson, K. A. 1977. *Forest Soils: Properties and processes*; University of Toronto Press.
- 9 Davis, Kenneth P. 1959. *Forest Fire: Control and use*. Mc GRAW-HILL BOOK Company New York.
- 10 Debane, L. F. C. E. Conrad. 1978. The effect of fire on nutrients in a chaparral ecosystem. *Ecology*, 59 (3), 1978, pp. 489-497.

六、謝 誌

本研究承國科會提供經費補助，謹此致謝。研究進行中承大甲、埔里及檜大林區管理處提供森林火災資料與交通工具，研究助理郭玉花小姐與陳昭芬同學協助土壤分析工作，於此深致謝意。