

林火對於木麻黃林地磷肥吸附之影響

陳明義* 林昭遠* 呂金誠*

一、前言

森林火災會改變林地土壤及地表覆蓋層之理化性質與植生狀況，影響林地養分及水文之循環⁽³⁾⁽⁵⁾。林火發生時，土壤及植物體中之氮素容易因高溫而汽化逸失。火燒期間，雖汽化了大部分之氮素，土壤全氮量將頓減，惟因焚燒能加速植株有機殘體之礦質化作用（mineralization），火燒過後土壤中有效型態之氮含量增多，加上酸性土壤可能因 pH 值之提高，有利於土壤中微生物及共生固氮菌之活動，致土壤氮素之供應率很容易復原⁽⁷⁾⁽¹⁰⁾⁽¹²⁾。鉀素易受淋洗而移動，火燒時雖亦可能受高溫汽化損失及火燒後因淋洗流失，但其可輕易地經母岩風化或迅速地由其他鄰近生態系之流入而獲得補充。肥料三要素（N、P、K）中唯獨磷肥在土壤中之移動性最慢，林地磷素之循環係長時間經植物根系吸收後隨著植株之代謝而發生，土壤不同層次之磷素由植物根系之吸收經枯枝落葉累積於地表。林地發生火燒後，大量之灰分夾帶著磷肥若無法進入土層中被土壤吸附固定。於山地易因地表沖蝕而流失，而在海岸地區則易受風蝕而損失，除非加以人工施肥，否則短期間內很難獲得補充。故考量林地生態系火燒後之養分循環，土壤對磷肥之吸附能力就顯得重要。木麻黃為台灣最主要的防風林樹種，海埔地多種植木麻黃以防風定砂。惟木麻黃林易發生火災，木麻黃林地之養分狀況及火燒對養分循環之影響有加以瞭解之必要。本文除探討木麻黃林地之養分狀況外，並就林內之火燒跡地與其鄰近未火燒區之土壤，分析其理化性質及對磷肥吸附特性之差異，探討火燒後磷肥之循環情形。

二、材料與方法

台中港防風林區面積約 300 公頃，係由建港工程所挖起之海砂填築而成，該大片新填地環境特殊，季風一起，飛砂漫天，影響建港及營運，故自民國 64 年起，陸續栽植木麻黃防風林，期能固定飛砂，並收防風之效⁽⁴⁾。該林區於民國 76 年 11 月 14 日發生火災，同月 18 日於火燒區及其鄰近未火燒之同齡林地內採取表土層（0—5 cm）進行分析比較。另就台中港木麻黃生育地，依不同造林地區略分為七區，分別採取表層（0—15 cm）、中層（15—30 cm）、底層（60—75 cm）等三種不同層次土壤，分析其理化性質。土壤質地以比重計法分析。pH 值以水與土為 1：1 重量比之混合液用 pH 計測定。有機質以重鉻酸鉀氧化滴定。有效性磷依 Bray No. 1 法測定。交換性陽離子用中性醋酸銨溶提。萃取性鐵以 0.1 N HCl 萃取而得。

* 國立中興大學，台中市。

退水曲線以 Haines Buchner funnel 改良法測得⁽¹¹⁾。磷吸附曲線係稱取 3 g 土樣，添加不同量之已知濃度 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 溶液，以 0.02 M CaCl_2 為介質 (medium)，加入 2 滴甲苯 (toluene) 後密閉，早晚各振盪 30 分鐘，六天後離心測定溶液中之磷含量，藉以推算土壤對磷之吸附量⁽¹²⁾。

三、結果與討論

台中港防風林區木麻黃生育地土壤之理化性質如表一所示。北林區之新植林地尚未成林，土壤表層有機質及有效性磷未見增加。一般而言，10 年生以上之林地，土壤性質皆已獲得改善，其中以地表層尤為顯著。因調查區皆為砂質土，土壤保水與保肥能力甚差。該生態系中水分與養分之蓄存，端賴地表之有機質層。防風林一旦受到林火焚燬破壞後，於生態系中扮演著養分收支功能之有機質層一瓦解，該地之養分將因缺少有機質層及防風林之保護，易受到淋洗或風蝕而損失。

表一 台中港區木麻黃生育地土壤性質

地 點	栽植時間	砂粒 ----- %	粉粒 ----- %	粘粒 ----- %	質地	pH	電導度 mmhos/cm	有機質 %	有效性		交 換 性		
									P ppm	K	Na	Ca	Mg
北林區裸地表層	民國 76 年	95.5	1.5	3.0	S	8.55	0.08	0.17	2.76	26	11	56	52
北林區裸地中層		95.5	2.0	2.5	S	8.26	0.09	0.24	2.86	37	18	133	67
北林區裸地下層		93.5	3.0	3.5	S	8.35	0.09	0.17	2.86	38	19	133	75
北林區林地表層	民國 72 年	90.0	7.0	3.0	S	7.55	0.12	0.40	2.67	62	15	278	50
北林區林地中層		91.0	5.5	3.5	S	7.70	0.11	0.17	2.57	43	12	322	63
北林區林地下層		94.0	3.5	2.5	S	7.75	0.13	0.13	2.95	47	17	167	92
南林區 I 林表層	民國 66 年	88.8	7.7	3.5	S	6.62	0.18	1.18	8.76	64	45	200	125
南林區 I 林中層		94.0	3.0	3.0	S	7.25	0.14	0.44	3.81	60	21	222	92
南林區 I 林下層		94.0	3.0	3.0	S	7.92	0.13	0.27	2.95	56	43	267	58
南林區 II 林表層	民國 65 年	88.5	8.5	3.0	S	5.75	0.28	4.21	4.29	41	22	367	142
南林區 II 林中層		94.5	2.5	3.0	S	6.15	0.09	0.50	2.10	39	20	144	67
南林區 II 林下層		94.5	2.5	3.0	S	7.25	0.20	0.24	2.76	72	33	278	58
南林區 III 林表層	民國 65 年	91.0	6.0	3.0	S	5.65	0.11	0.91	4.48	48	50	122	92
南林區 III 林中層		87.0	10.0	3.0	S	6.05	0.08	0.74	2.86	44	19	156	108
南林區 III 林下層		93.0	4.5	2.5	S	7.29	0.10	0.17	3.24	44	18	156	79
南林區 IV 林表層	民國 64 年	84.5	11.5	4.0	S	6.49	0.12	1.38	17.33	62	15	222	83
南林區 IV 林中層		87.5	7.5	5.0	S	6.53	0.13	0.87	11.24	68	41	111	75
南林區 IV 林下層		92.0	4.0	4.0	S	7.35	0.12	0.20	4.00	31	29	256	75
港區舊林 表層	光復初期	86.0	11.0	3.0	S	5.78	0.38	2.32	8.48	106	20	300	125
港區舊林 中層		86.0	11.0	3.0	S	6.60	0.08	0.47	3.62	85	29	133	75
港區舊林 下層		76.5	20.5	3.0	LS	6.98	0.07	0.40	2.57	86	44	178	92

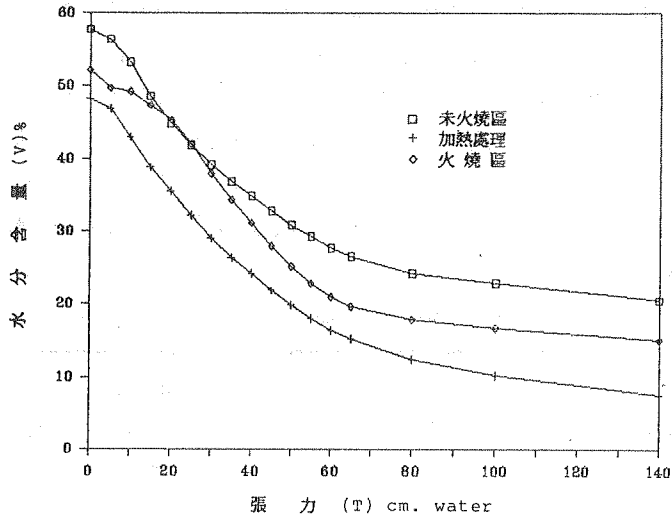
火燒跡地與其鄰近未火燒區各處理土壤分析結果如表二。未火燒區土壤經 250 °C 加熱處理 30 分鐘後，有機質含量由 2.29 % 降至 2.15 %，有效性磷含量由 2.5 ppm 增至 8.2 ppm，交換性鈣含量由 218 ppm 增為 321 ppm，萃取性鐵含量可由 177 ppm 提高至 267 ppm，其他各項性質差異較小。此可能是有機質易與磷、鈣、鐵等元素形成錯合物 (chelate) ⁽¹⁾，高溫處理能破壞有機錯合物，使被鉗著之元素有效性提高。再與現場火燒區之土樣比較可知，火燒區土壤之 pH 值由 4.40 增至 6.30，pH 值提高了 1.9 個單位，除灰分之影響外，由表一各林區土層 pH 值之變化可知本區土壤原係鹼性土，因造林產生有機酸致地表層漸轉成酸性土。林木受火燒焚燬後，防風效果驟減，地表可能受到救火工作之擾動，加上此時東北季風盛行，表土層風蝕甚為嚴重，致 pH 值較高之下層土壤裸露出來。火燒後土壤有機質從 2.29 % 減至 0.85 %，而有效性磷含量可由 2.5 ppm 提高至 8.5 ppm，其他之交換性鉀、鈉、鈣等之含量亦有增加。其主要原因可能係添加灰分所致。未火燒區地表 (0 - 5 cm) 土壤受到土壤微生物活動之影響，土壤團粒化非常發達，經篩分析結果，其粒徑介於 2.00 mm 與 4.76 mm 間者之風乾重量約佔全土樣之 18 %，此於該生態系之養分循環扮演著極重量之角色。表二顯示，土壤團粒除了有效性磷含量較少外，有機質及各交換性陽離子之含量均遠大於其它處理者。

表二 火燒區與其鄰近未火燒區各處理土壤之化學分析

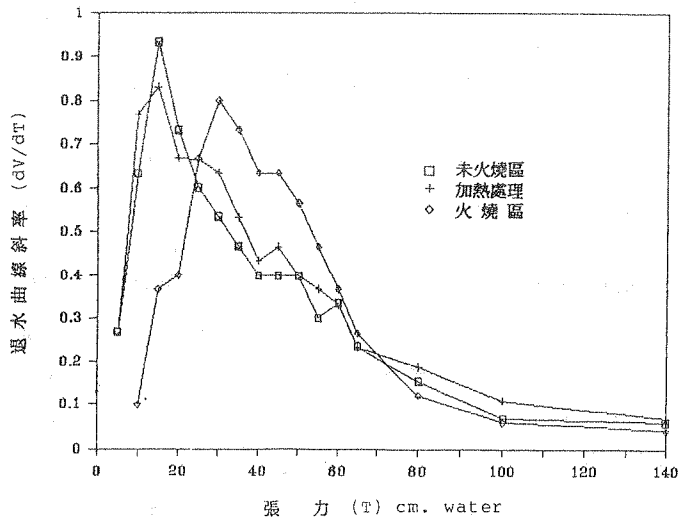
處	理 質 地	pH	有機質 %	有效性	交 換 性			萃 取 性		
				P ppm	K	Na	Ca	Mg	Fe	Al
				----- ppm -----			--- ppm ---			
未火燒區土壤	LS	4.40	2.29	2.5	48	45	218	176	177	18.7
加熱處理	LS	4.35	2.15	8.2	44	43	321	171	267	16.5
火燒區土壤	LS	6.30	0.85	8.5	77	66	236	127	116	11.0
土壤團粒	----	4.35	8.88	2.0	95	93	637	286	238	30.5

利用土壤退水曲線與其斜率變化曲線可瞭解土壤孔隙大小之分佈情形。圖一顯示出火燒與加熱處理過之土壤，其飽和含水量顯著地降低，尤以加熱處理過之土壤為甚，下降幅度可達 16.5 %。可見高溫會使林地有機質層之土壤炭化，形成斥水層 (water-repellent layer) ⁽⁸⁾⁽⁹⁾。此將影響林地之水文循環並間接地影響及養分循環。退水曲線之斜率變化如圖二。依毛細管上升公式 (capillary rise equation)， $r = 2S / T$ ，(r：孔隙半徑，S：表面張力，T：張力)，可將橫軸之各張力值換算成孔隙半徑值，由此即可瞭解土壤孔隙大小之分佈情形。因張力 T 與孔隙半徑 r 成反比，故圖形愈往右移，其細孔隙所佔之比率愈多。由圖二之尖峰張力值換算所得之尖峰孔隙半徑，係代表著該處理土壤之主要孔隙分佈半徑。經計算後三種處理土壤之主要孔隙分佈半徑分別是：非火燒區 0.097 mm，加熱處理 0.097 mm，火燒區 0.049 mm。雖然加熱處理土壤之主要孔隙分佈與未火燒者相同，但其斜率尖峰高度已明顯

地下降，部份粗孔隙土壤已受高溫之影響而變成較細之孔度，故其圖形右側較小孔徑部份有增加之趨勢，由此可知火燒會破壞土壤團粒之結構⁽²⁾。土壤團粒遭受破壞雖可提高土壤之比表面積，增加與灰分之接觸空間，有助於養分之吸附，但其相對地亦增加了被淋洗及風蝕之機會。且因斥水層之形成，導致水分不易滲入土中，因此地表灰分內之營養元素亦將無法下移。由於林木火燒後其防風能力減弱，在海邊強勁東北季風吹襲下，大部份之灰分及養分可能會被風蝕而離開原來生態系之養分循環圈。



圖一 各處理土壤之退水曲線



圖二 各處理土壤退水曲線之斜率變化

不同樹種對土壤中有效磷含量之需求雖不同，但大部份樹種至少需50. ppm才可正常生長⁽¹⁴⁾。台中港木麻黃生育地內有效性磷之含量極低，僅為 2.-17. ppm，若無土壤微生物加以輔助吸收，其可能已構成植物生長之限制因子。火燒雖可提高土壤中磷之有效性，供植物吸收利用，惟林木經焚燒後，未致死林木根系吸收能力尚待探討外，由有機物質灰化所殘留之磷素，若不能被植物吸收利用或土壤吸附固定，則可能被風蝕或淋洗出生態系之外，而中斷其循環途徑。

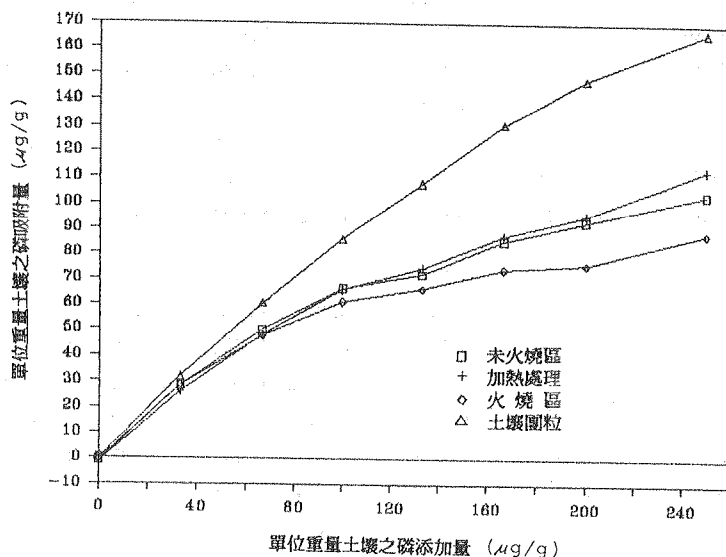
圖三顯示各處理土壤於磷之不同添加量下，對磷之吸附情形。因表層土含有複雜的有機物質，故為不均質體 (heterogeneity)，其吸附作用不適用 Langmuir isothermal equation，而須以 Freundlich isothermal equation 來討論⁽⁶⁾。表三中各處理之土樣平衡後，將溶液中磷之濃度 C 與單位重量土壤之磷吸附量 $\frac{x}{m}$ 代入 Freundlich isothermal equation：

$$\frac{x}{m} = KC^{\frac{1}{n}} \dots\dots\dots(1)$$

(1)式兩邊取對數後可得：

$$\log \frac{x}{m} = \log K + \frac{1}{n} \log C \dots\dots\dots(2)$$

以 $\log \frac{x}{m}$ 對 $\log C$ 作迴歸可得直線圖。各處理土樣之吸附曲線經上式轉換，由線性迴歸方程式可分別求其 K 與 n 二常數值。K 值影響被吸附物質之移動性甚大，K 值愈大則其吸附能力愈強，愈不易被淋洗流失。各處理土壤 K 值比較之結果，以土壤團粒之 73 為最大，約為其他處理者之兩倍，雖其對磷肥有很強之吸附性，但因其顆粒較大，於現場實際之吸附效果將因與灰分之總反應面積較小而受到限制。未火燒區、加熱處理、與火燒區三者之 K 值差異不大，其對磷之吸附結果係受 n 值所影響。n 值愈大吸附力愈小，火燒區土壤於高濃度之磷添加量下，其對磷之吸附力顯著地下降，故其 n 值最大。加熱處理與未火燒區土壤之吸附曲線差異不大，其 K 與 n 值互有消長。因磷能被有機物質所銻合 (chelated)，在酸性土中又易被鐵、鋁所固定，故各處理土壤間之差異主要可能係受有機質及鐵、鋁含量及 pH 值之改變所致，土壤團粒對磷之吸附量大，可能是有機質及萃取性鐵、鋁含量較多之故。而火燒區土壤因有機質及萃取性鐵、鋁含量較少，加上 pH 值提高，磷之有效性增加，故其對磷之吸附量較少。



圖三 各處理土壤之磷吸附曲線

表三 各處理土樣經不同磷添加量後之磷吸附情形

處	理	磷添加量 ($\mu\text{g/gsoil}$)	溶液含磷量 C (ppm)	磷吸附量 $\frac{x}{m}$ ($\mu\text{g/g}$)	實測值 $\log C$	估算值 $\log \frac{x}{m}$	Est.	Freundlich isothermal equation
未火燒區土壤		0	0.078	-0.78	-1.108	-----	-----	
		33.33	0.490	28.43	-0.310	1.454	1.478	
		66.67	1.657	50.10	0.219	1.700	1.674	$Y=1.592923+0.369345X$
		100.00	3.358	66.42	0.526	1.822	1.787	$r=0.99253$
		133.33	6.142	71.91	0.788	1.857	1.884	$K=39.167$
		166.67	8.136	85.31	0.910	1.931	1.929	$n=2.707$
		200.00	10.700	93.00	1.029	1.968	1.973	
		250.00	14.604	103.96	1.164	2.017	2.023	
加熱處理		0	0.118	-1.18	-0.928	-----	-----	
		33.33	0.755	25.78	-0.122	1.411	1.455	
		66.67	1.863	48.04	0.270	1.682	1.644	$Y=1.513485+0.481544X$
		100.00	3.407	65.93	0.532	1.819	1.770	$r=0.98849$
		133.33	5.878	74.55	0.769	1.872	1.884	$K=32.620$
		166.67	7.912	87.55	0.898	1.942	1.946	$n=2.077$
		200.00	10.456	95.44	1.019	1.980	2.004	
		250.00	13.628	113.72	1.134	2.056	2.060	
火燒區土壤		0	0.049	-0.49	-1.310	-----	-----	
		33.33	0.480	28.53	-0.319	1.455	1.477	
		66.67	1.882	47.85	0.275	1.680	1.658	$Y=1.574626+0.305276X$
		100.00	3.894	61.06	0.590	1.786	1.755	$r=0.99156$
		133.33	6.712	66.21	0.827	1.821	1.827	$K=37.551$
		166.67	9.254	74.13	0.966	1.870	1.870	$n=3.276$
		200.00	12.408	75.92	1.094	1.880	1.909	
		250.00	16.148	88.52	1.208	1.947	1.943	
土壤團粒		0	0	0	-----	-----	-----	
		33.33	0.15	31.83	-0.824	1.503	1.516	
		66.67	0.62	60.47	-0.208	1.782	1.776	$Y=1.863588+0.421341X$
		100.00	1.39	86.10	0.143	1.935	1.924	$r=0.99791$
		133.33	2.52	108.13	0.401	2.034	2.033	$K=73.045$
		166.67	3.58	130.87	0.554	2.117	2.097	$n=2.373$
		200.00	5.20	148.00	0.716	2.170	2.165	
		250.00	8.32	166.80	0.920	2.222	2.251	

四、結語

綜合上述結果，台中港木麻黃林地養分循環機制在於地表之有機質層，各養分元素中以有效性磷之含量最為貧乏，若無土壤微生物加以輔助吸收，磷可能為本區植物生長限制因子之一。地表有機質層對磷之吸附甚強，磷有效性極低，火燒可使磷之有效性增加。火燒亦會破壞土壤之團粒構造，使土壤粒徑成細孔隙分佈，此雖可增加比表面積，加大與磷肥之接觸機會。但也相對地會形成斥水層，使磷肥不易淋洗入土，易受風蝕而損失。

中文摘要

本文係以台中港區木麻黃防風林內之火燒跡地與其鄰近未火燒區土壤樣品，分析其理化性質及對磷肥吸附特性之差異。另以台中港木麻黃之主要生育地，依不同造林地區略分七區，分層採取土樣，探討木麻黃防風林地之養分狀況與火燒後磷肥之循環情形。結果摘要如下：

- 1.海埔砂質地栽植木麻黃可以增加表土層之有機質，有助於養分之蓄積及土壤微生物之活動，土壤團粒化甚為發達。
- 2.本調查林區養分循環之機制在於地表有機質層。各營養元素中，以有效性磷之含量最為貧瘠，其可能是本區植物生長之一限制因子。
- 3.林內地表有機質層對磷之吸附甚強，有效性極低。高溫處理可提高磷之有效性。
- 4.土壤 pH 值之變化對磷之吸附有影響。加熱處理無法提高土壤之 pH 值。火燒區土壤 pH 值之增加，可能係灰分之添加及 pH 質較高之下層土壤因風蝕裸露所致。
- 5.高溫會破壞試區土壤團粒之構造，使其粒徑變小。各處理土壤之主要孔隙分佈半徑分別為：非火燒區 0.097 mm，加熱處理 0.097 mm，火燒區 0.049 mm。加熱處理者之主要孔隙分佈雖與未處理者相同，但其主要分佈粒徑之孔隙數量已明顯減少。
- 6.林地火燒後由於斥水層之形成及土壤孔隙變小，加上灰分阻塞之影響，會減低水分往下層土壤移動之速率，故磷肥之有效性雖可因火燒而提高，但短期間內無法深入土層，容易因風蝕而損失。
- 7.林地表面受到枯枝葉層覆蓋之影響，表土層有機質之含量較多，有機質分解產生之有機酸使得表層土逐漸酸化，致磷肥易為鐵、鋁所固定，有效性降低。
- 8.酸性林地經火燒後，因有機質減少，產生之灰分又可使土壤 pH 值增加，致磷之有效性亦隨之提高，故土壤對磷肥之吸附力減少。

引用文獻

- 1.林良平 1987. 土壤微生物學 南山堂出版社 p.383 - 405。
- 2.林昭遠、呂金誠、陳明義 1985. 林火對於台灣二葉松林地土壤團粒穩定性之影響 中華林學季刊

18 (3) : 45 - 52 。

3. 林昭遠、陳明義、呂金誠 1986. 林火對於東卯山區台灣二葉松林地土壤沖蝕量及養分流失量之影響
中華水土保持學報 17 (2) : 42 - 49 。
4. 陳明義、翁永昌 1977. 台中港防風林區植被營造之研究 國立中興大學理工學報 14 : 105 - 114 。
5. 陳明義、劉業經、呂金誠、林昭遠 1986. 東卯山台灣二葉松林火燒後第一年之植群演替。中華林學季刊 19 (2) : 1 - 15 。
6. Bohn, H.L., B.L.McNeal and G.A. O'Connor. 1979. Soil chemistry. John Wiley & Sons. N.Y. p. 185-188.
7. DeBano, L.F. and C.E. Conrad. 1978. The effect of fire on nutrients in chaparral ecosystem. Ecology 59:489-497.
8. DeBano, L.F., S.M. Savage and D.M.Hamilton. 1976. The transfer of heat and hydrophobic substances during burning. Soil Sci. Amer.J. Soc. 4:779-782.
9. DeByle, N.V. 1973. Broadcast burning of logging residues and water repellancy of soil. Northwest Sci. 47:77-87.
10. Dunn, P.H., L.F. DeBano and G.E.Eberlein. 1979. Effects of burning on chaparral soils. II. Soil microbes and nitrogen mineralization. Soil Sci. Soc. Amer. J. 43:509-514.
11. Haines, W.B. 1930. Studies in the physical properties of soil. Jour. Agr. Sci. 20:97-116.
12. Jorgensen, J.R. and C.G. Wells. 1971. Apparent nitrogen fixation in soil influenced by prescribed burning. Soil Sci. Am. Proc. 35:806-810.
13. Rajan, S.S.S., and R.L.Fox. 1972. Phosphate adsorption by soils. I. Influence of time and ionic environment on phosphate adsorption. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 3:493-504.
14. Wilde, S.A. 1958. Forest soils, their properties and relation to silviculture. Ronald Press. Co. N.Y. pp. 537.

Effects of Fire on the Phosphate Sorption of Casuarina Forest Soils

Ming - Yih Chen* Chao - Yuan Lin* King - Cherng Lu*

Abstract

The windbreak area of Taichung Harbor was filled with sand dredged from harbor construction. Casuarina has been planted in this area for sand fixation and wind reduction since 1974. Part of Casuarina forest was burned in November of 1987. These studies deal with the nutrient status as well as the effects of fire on the phosphate sorption of Casuarina forest soil. Results obtained were summarized as follows :

1. Casuarina plantation increased organic matter at surface soil of tidal sandy site. Nutrient stock, microbial activity and soil aggregation were enhanced.
2. Organic matter of surface soil was the basis of nutrient cycling. Content of available P was the poorest and could be one of the main limiting factor for Casuarina growth.
3. Phosphate was strongly adsorbed by soil aggregates and its availability was extremely low. Its availability was increased by heating.
4. Phosphate sorption was affected by soil pH value. Heating could not increase soil pH value. The increase of pH value at burned soil was probably resulted from the ash addition and the exposure of subsoil with higher pH value by wind erosion.
5. High temperature destroyed soil aggregates and decreased pore size. The predominance of pore radius distribution was 0.097mm, 0.097mm, 0.049mm for unburned, heated, and burned soil, respectively. Though heated soil had the same main pore radius with unburned one, the quantity of main pore was obviously decreased.
6. Following burning, water infiltration rate was decreased by water-repellent layer formation, smaller soil pore size, and ash deposition. Though available P was enhanced by burning, it did not infiltrate downward rapidly and was easily eroded by wind.
7. Top soil was acidified by organic matter decomposition. Therefore, phosphorus was easily fixed by iron and aluminum and its availability was decreased.
8. Following the burning of acid soil, P availability was increased due to the reduction of the organic matter and the increasing of the soil pH. Thus P sorption capacity of the acid soil declined.

* National Chung Hsing University., Taichung, Taiwan, R.O.C.