

酸雨地区火炬松幼林施肥对土壤 和针叶养分含量的影响*

孙翠玲 郭玉文 宋 菲 唐国银 彭久联 刘祖芬

关键词 火炬松、酸雨、施肥

目前我国林木施肥以杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)、杨树(*Populus* spp.)等树种较多^[1],有关火炬松(*Pinus taeda* L.)幼林施肥报道尚不多见,采取施肥措施是达到火炬松速生丰产的重要手段。四川盆地是我国火炬松的主栽区,也是高频率降落酸雨地区^[2],土壤酸化引起土壤中K、Ca等营养元素淋失,造成土壤养分不平衡,土壤贫瘠化。另外,这一地区火炬松幼林出现早衰现象^[3]。因此,迫切需要探讨火炬松幼林施肥对土壤养分变化和火炬松叶片养分含量的影响。本文通过对四川省隆昌县1990~1992年火炬松幼林施肥试验研究结果进行分析,旨在为火炬松速生丰产林合理施肥提供科学依据。

1 试验地概况

1.1 试验地自然条件和大气污染状况

试验地设于四川省隆昌县森林经营所范围内,位于29°30'N, 105°40'E,为半丘陵山地。年平均温度17.5℃,绝对最低温度为-0.6℃,年降水量为1045mm,无霜期356d,成土母质为沙、泥岩风化坡积、残积物,土类为黄壤,质地为重壤土,供试土壤化学性质如表1。根据隆昌县80年代大气监测资料,本地区大气污染和酸雨危害严重,SO₂平均浓度为0.13kg/m³,氟化物平均浓度为0.004~0.015kg/m³。

表1 供试土壤化学性质(平均值)

采样深度 (cm)	全 N (g/kg)	有效	速效	有效	有效	交换性	交换性	交换性	交换性	pH
		P	K	Mn	Fe	1/2 Mg ²⁺	1/3 Al ³⁺	1/2 Ca ²⁺	H ⁺	
		(mg/kg)				(cmol(+)/kg)				
0~10	0.90	3.28	61.30	2.72	56.45	0.96	0.13	7.52	0.47	3.93
10~20	0.36	1.68	50.97	1.13	48.59	1.08	0.16	9.24	0.35	3.96

1.2 试验林地选择

在隆昌县境内1200hm²火炬松林中,选取污染及生长状况中等的幼林地6hm²做试验林,从中随机设置处理和重复。被抽样的试验林海拔450m,坡向东偏南,坡度12~15°,坡位低山中上部,土层厚度30~40cm,试验林营造于1986年,每公顷2500株。1990年5月布置试验

1995—09—11 收稿。

* 孙翠玲副研究员,郭玉文(中国林业科学研究院森林生态环境研究所 北京 100091);宋菲(林业部调查规划院);唐国银,彭久联,刘祖芬(四川省隆昌县林业局)。

* 本文为1990~1992年国家自然科学基金资助项目内容,承蒙刘寿坡研究员审阅。土壤和植物叶片养分含量测定由于建国、叶水英高级工程师完成,在此一并致谢。

时, 林木平均树高、胸径、地径分别为 2.75 m、3.55 cm、5.55 cm。

1.3 试验设计与方法

1.3.1 试验设计 见参考文献[3]。

1.3.2 分析项目与方法 分别于 1990 年 5 月、1991 年 5 月、1992 年 5 月采集各处理 0~10 cm 和 10~20 cm 深度土壤样品, 并同时采集当年生顶梢叶片和 2 年生侧枝叶片样品供分析用。1990 年 5 月采集土壤样品作为本底值(见表 1)。

土壤样品的测试项目及分析方法为: 有机质(重铬酸钾氧化法), 全 N(凯氏法), 有效 P(酸浸提-钼锑抗比色法), 速效 K(火焰光度计法), 交换性 Ca^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Mg^{2+} (原子吸收分光光度计法), 交换性 Al^{3+} 、 H^{+} (中和滴定法), 有效 Fe(原子吸收分光光度计法)。叶片中营养元素测定方法: N(凯氏法), P(钒钼黄比色法), K、Ca、Mg、Fe、Mn、Zn(原子吸收分光光度计法), Al(比色法), S(BaSO_4 比浊法), F(离子色谱法)。

2 结果与分析

2.1 施肥对土壤养分含量变化及 pH 值的影响

2.1.1 施 N 肥 从表 2 看出, G 处理(对照)土壤全 N 逐年降低。在火炬松幼林生长过程中, 土壤中的 N 不断被其吸收, 而叶片中部分 N 因酸性雨水淋洗^[4], 通过地表径流或向地下渗透而损失, 因此火炬松枯枝落叶归还的 N 不能维持土壤中 N 平衡, 从而造成全 N 含量的降低。所有处理土壤全 N 含量 0~10 cm 土层均高于 10~20 cm 土层。就施用 N 肥对土壤全 N 含量变化影响而言, 1991 年测定结果除 F 处理外, 各施 N 处理(A、B、D)均促进土壤中全 N 含量增加, 增加幅度为 0.01~0.22 g/kg。1992 年全 N 测定结果均低于 1991 年同一处理, 这表明施 N 肥在一定程度上补充了 N 素营养, 但 N 素肥效维持 2 年, 需隔年施肥。

2.1.2 施 P、K 肥 从表 2 看出, 与 1990 年测定结果相比, G 处理土壤有效 P 含量逐年降低, 且含量较低, 表明土壤严重缺 P 现象仍在加剧; 速效 K 3 a 中有增减变化, 但变化不大。有效 P、速效 K 含量 0~10 cm 土层基本高于 10~20 cm 土层。就施肥效果来说, 土壤施入 P、K 后第二年(1991 年)土壤中有有效 P、速效 K 含量增加, 而第三年效果不同, 施 P 肥仍高于 1990 年, 施 K 肥速效 K 则低于 1990 年, 这与 P 肥易被吸附固定而 K 则易被淋失有关。K 肥也宜隔年施用。

2.1.3 施 Ca、Mg 肥 从表 2 看出, Ca、Mg 肥除了起到增加土壤中交换性 Ca、Mg 含量外, 比较明显的作用是在一定程度上降低了土壤中交换性 Al^{3+} 、 H^{+} 的含量, 从而降低了土壤酸度, 这一点在火炬松叶片抗黄化和生长量增加方面表现尤为突出^[3]。

施肥对土壤中微量元素含量变化影响没有明显规律。

2.2 施肥对火炬松针叶营养元素含量的影响

2.2.1 针叶中营养元素分布的特点 表 3 表明, 针叶中大量元素含量依次为: N、K(Ca)、P、Mg, 微量元素含量依次为: S、Mn、Al、Fe、Zn。当年生顶梢针叶中 N、P、K 含量大于 2 年生侧枝针叶, 而当年生顶梢针叶中 Ca、Fe、Mn、Al 的含量小于 2 年生侧枝针叶。这表明在火炬松针叶中, N、P、K 易移动, 而 Ca、Fe、Mn、Al 则易积累。

2.2.2 施肥对针叶中营养元素含量的影响 从火炬松针叶中元素含量可以看出, G 处理针叶中 N、P 含量基本稳定。从施肥处理来看, 施肥后第二年(1991 年), 无论是当年生顶梢针叶, 还

表 2 火炬松幼林施肥各处理土壤养分含量测定结果

处理	采样深度 (cm)	年份	全 N (g/kg)	有效 P	速效 K	有效 Fe	有效 Mn	交换性	交换性	交换性	交换性	pH
				(mg/kg)				1/2 Ca ²⁺ 1/2 Mg ²⁺ 1/3 Al ³⁺ H ⁺ (cmol(+) / kg)				
A	0~10	1990	0.75	5.42	66.87	3.80	82.67	1.02	0.14	8.20	0.54	3.93
		1991	0.82	4.67	62.37	0.39	49.03	1.76	0.23	8.50	0.56	3.77
		1992	0.66	0.64	60.30	0.89	48.50	0.51	0.17	7.78	0.44	3.87
	10~20	1990	0.41	1.72	53.83	1.64	62.63	1.04	0.19	1.43	0.45	3.95
		1991	0.42	2.42	49.63	0.44	61.36	1.75	0.41	10.89	0.46	3.80
		1992	0.39	0.95	48.30	1.04	56.90	1.65	0.20	9.17	0.29	3.94
B	0~10	1990	0.94	3.46	65.43	3.98	48.00	1.22	0.15	7.65	0.66	3.92
		1991	1.05	3.12	64.10	1.02	45.40	1.06	0.25	6.50	0.57	3.94
		1992	0.69	2.31	63.80	1.19	42.30	0.96	0.20	5.81	0.52	3.98
	10~20	1990	0.30	1.25	48.33	1.29	39.90	1.19	0.17	7.75	0.40	3.94
		1991	0.52	1.17	47.60	0.78	42.70	0.98	0.24	7.53	0.38	3.95
		1992	0.28	1.02	49.80	0.92	54.90	0.92	0.28	7.01	0.34	3.97
C	0~10	1990	0.84	3.49	55.43	3.30	44.80	0.91	0.14	8.02	0.52	3.91
		1991	0.74	4.47	70.37	0.81	32.33	1.44	0.29	7.74	0.46	3.80
		1992	0.61	0.79	50.80	0.44	30.60	0.45	0.16	7.28	0.18	3.96
	10~20	1990	0.41	2.38	38.33	0.86	42.80	1.02	0.16	8.33	0.31	3.96
		1991	0.38	3.18	69.46	0.62	50.00	1.49	0.50	7.81	0.31	4.12
		1992	0.32	1.11	36.30	0.70	38.10	0.56	0.27	7.32	0.29	4.22
D	0~10	1990	0.91	2.33	61.27	0.70	64.00	1.07	0.15	6.94	0.51	3.97
		1991	0.92	4.73	72.39	0.85	39.00	1.23	0.18	6.81	0.32	3.99
		1992	0.73	5.87	59.80	1.11	33.30	0.98	0.25	6.72	0.18	4.02
	10~20	1990	0.29	1.37	58.33	0.70	52.07	0.80	0.15	7.91	0.28	3.93
		1991	0.31	1.89	65.28	0.74	50.70	0.89	0.16	7.72	0.27	4.02
		1992	0.25	1.95	56.28	0.83	39.90	0.87	0.17	7.66	0.26	4.16
E	0~10	1990	0.82	2.08	65.86	2.16	59.84	0.78	0.12	5.99	0.37	3.92
		1991	0.71	4.48	67.27	0.79	34.22	1.49	0.23	5.73	0.28	3.92
		1992	0.55	4.13	69.80	0.59	31.10	0.15	0.16	5.50	0.28	3.99
	10~20	1990	0.31	1.30	44.60	1.08	56.00	1.24	0.16	8.69	0.36	3.92
		1991	0.29	4.03	63.70	0.57	49.17	1.45	0.40	8.10	0.27	3.95
		1992	0.26	1.13	84.70	0.74	36.30	0.41	0.20	8.09	0.18	4.04
F	0~10	1990	1.08	3.39	58.80	3.08	44.60	0.93	0.12	7.66	0.34	3.88
		1991	0.76	4.64	64.73	0.46	34.13	1.54	0.24	6.79	0.32	3.99
		1992	0.56	8.41	56.80	0.51	27.40	0.69	0.19	6.45	0.19	4.06
	10~20	1990	0.42	1.14	58.36	1.31	40.53	0.81	0.11	9.45	0.23	3.98
		1991	0.29	2.84	62.70	0.28	27.80	1.59	0.29	8.98	0.21	4.01
		1992	0.28	7.64	55.80	0.27	35.90	0.77	0.19	8.25	0.27	4.08
G	0~10	1990	0.97	2.80	55.47	2.01	51.40	0.72	0.10	8.20	0.41	3.98
		1991	0.72	2.75	47.00	0.53	42.99	0.70	0.23	8.49	0.51	3.82
		1992	0.49	2.60	65.30	0.39	49.60	0.43	0.19	8.20	0.51	3.76
	10~20	1990	0.38	2.59	55.03	1.03	46.19	1.47	0.15	10.84	0.41	4.01
		1991	0.37	2.08	46.33	0.50	41.88	1.03	0.24	10.92	0.43	3.84
		1992	0.29	1.43	51.10	0.64	54.70	0.55	0.24	11.70	0.44	3.82

表 3 火炬松幼林施肥各处理针叶养分含量测定结果

处理	叶片 类型	年份	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Al	S	F
			(g/kg)						(μg/g)				
A	当年生 顶梢叶 片	1990	11.17	4.03	9.80	6.07	0.73	221.60	1631.00	50.03	418.00	727.67	10.57
		1991	18.90	4.75	10.10	4.85	1.00	157.73	903.33	48.00	425.30	2540.00	28.97
		1992	11.40	3.92	8.03	3.18	1.07	68.10	1183.00	33.80	123.80	3977.30	15.10
	2年生 侧枝叶 片	1990	10.50	1.98	4.57	8.07	0.74	261.17	2026.00	48.37	927.30	777.67	25.16
		1991	13.73	2.01	4.87	6.56	1.02	244.47	1506.67	42.57	824.30	2756.67	28.40
		1992	11.30	4.00	7.85	4.42	1.29	192.00	1480.90	42.90	655.80	5227.30	33.50
B	当年生 顶梢叶 片	1990	13.40	4.14	9.59	6.46	0.83	139.77	1635.00	40.00	395.33	872.67	16.33
		1991	17.20	4.86	9.79	4.31	1.13	119.70	1710.20	39.10	293.10	1324.60	17.39
		1992	13.90	4.78	9.76	2.60	1.60	80.00	1625.50	39.40	132.80	2454.60	18.20
	2年生 侧枝叶 片	1990	9.05	2.02	4.92	8.30	0.74	190.36	2111.33	40.30	795.33	1010.67	25.16
		1991	14.31	3.75	6.76	4.98	1.11	183.56	1995.30	39.00	710.80	2064.30	29.75
		1992	14.10	3.86	6.24	3.76	1.14	189.70	1625.50	39.40	558.40	3704.50	34.70
C	当年生 顶梢叶 片	1990	13.10	4.52	9.43	5.12	0.75	137.50	1622.33	44.90	534.33	891.33	12.93
		1991	17.43	4.80	9.87	4.11	1.18	165.53	880.00	42.07	436.80	2963.33	22.57
		1992	14.40	4.74	9.89	3.45	1.18	57.10	1217.00	35.40	212.10	2590.91	18.60
	2年生 侧枝叶 片	1990	9.97	2.30	5.19	7.28	0.68	218.87	2311.00	42.90	828.67	1252.67	29.33
		1991	12.73	2.11	4.44	6.45	1.19	251.47	1440.00	40.00	820.93	2981.67	37.33
		1992	12.70	3.07	6.15	4.83	1.27	196.60	1523.40	40.90	730.30	3727.00	37.50
D	当年生 顶梢叶 片	1990	13.06	4.18	10.17	6.40	0.75	132.43	1697.67	41.43	464.00	787.00	15.33
		1991	17.26	5.26	11.29	4.52	1.03	98.60	1521.70	39.60	379.80	1526.80	18.40
		1992	13.30	5.13	10.84	2.99	1.18	64.00	876.60	33.80	162.40	3136.00	19.30
	2年生 侧枝叶 片	1990	10.08	2.09	5.23	7.86	0.71	239.10	1831.00	44.93	844.00	454.33	22.00
		1991	13.93	3.72	7.21	5.75	1.10	211.20	1811.70	39.70	800.30	3118.50	29.70
		1992	13.60	3.63	6.83	4.25	1.26	182.90	1625.00	38.90	729.90	5727.30	37.30
E	当年生 顶梢叶 片	1990	19.70	4.33	9.80	5.76	0.60	141.60	1486.33	43.73	427.67	1008.33	14.27
		1991	17.47	5.17	10.20	4.18	1.09	141.10	910.00	37.97	375.63	2916.67	24.00
		1992	13.60	4.44	8.76	2.89	1.09	66.30	1167.00	28.80	207.80	2795.50	19.20
	2年生 侧枝叶 片	1990	9.33	2.13	4.95	8.07	0.73	213.30	1866.33	44.03	686.00	1008.33	13.03
		1991	11.83	2.42	6.89	6.12	1.02	228.00	1493.33	37.93	365.27	3053.33	32.80
		1992	13.00	3.72	8.76	2.89	1.09	66.36	1838.30	41.90	852.80	4454.60	40.00
F	当年生 顶梢叶 片	1990	13.57	4.25	10.40	6.11	0.70	124.16	1804.33	41.16	514.67	893.33	13.36
		1991	18.43	5.81	10.59	3.67	1.03	136.60	786.67	37.93	365.27	2663.00	22.17
		1992	13.30	5.15	8.82	2.55	1.13	66.00	1046.80	32.80	277.10	3295.50	19.90
	2年生 侧枝叶 片	1990	9.75	2.08	5.07	7.33	0.67	226.20	2120.00	42.86	761.00	1125.67	20.43
		1991	15.90	2.37	5.50	5.81	0.98	216.96	1320.00	30.77	802.87	2683.33	21.17
		1992	12.20	3.64	6.45	4.35	1.24	201.10	1446.80	42.40	785.70	4045.50	38.90
G	当年生 顶梢叶 片	1990	13.09	4.34	10.38	6.14	0.77	134.27	1648.67	47.27	434.67	932.33	15.00
		1991	12.37	4.40	9.54	4.01	0.84	114.50	942.00	34.83	475.33	2490.00	21.63
		1992	12.50	4.14	9.10	2.79	1.02	59.70	995.80	31.30	185.50	2772.70	17.80
	2年生 侧枝叶 片	1990	10.27	2.09	5.13	7.56	0.70	214.27	2217.67	42.60	878.00	1125.33	21.33
		1991	11.02	2.01	4.23	6.08	0.90	196.56	1716.67	34.07	827.97	2670.00	28.83
		1992	11.10	2.69	5.15	3.91	1.09	313.10	1591.50	35.90	586.60	3704.60	38.00

是2年生侧枝针叶,所有施N处理(A、B、D、F)的N含量均有所增加,与未施肥时相比,增长量为3.31~7.73 g/kg。施P肥也表现出针叶中P含量的增加,其增长量为0.29~1.63 g/kg。这表明针叶吸收N、P量与施N、P肥呈正相关。从针叶含K量变化来看,施K肥与针叶吸收K量呈增减不定趋势。

虽然表2结果表明,施Ca肥促进了土壤中 Ca^{2+} 的增加,但从1990~1992年火炬松的当年生顶梢针叶和2年生侧枝针叶中Ca含量来看,无论是否施入Ca,其Ca含量仍逐年减少,其减少幅度为:当年生顶梢针叶1.67~1.86 g/kg,2年生侧枝针叶2.45~5.18 g/kg。

2.3 针叶中S、F的含量

表3表明,所有处理S、F含量逐年增加,且2年生侧枝针叶中含量高于当年生顶梢针叶,尤其是S的积累。一般认为,针叶中F含量为 $0.5 \sim 0.25 \mu\text{g/g}^{[15]}$,超过此值即表明受到污染。本试验大部分2年生侧枝针叶F含量自1990年开始就已经超过 $25 \mu\text{g/g}$,至1992年全部超标,高者达 $40 \mu\text{g/g}$,这说明隆昌除了受到 SO_2 污染外,HF也相当严重。

3 小结与讨论

(1)施N肥处理(除F处理外)在施肥后第二年土壤全N含量有所增加,其增加的幅度为 $0.01 \sim 0.22 \text{ g/kg}$ 。施P、K肥后第二年土壤中有效P、速效K含量增加,但是第三年P肥仍有效,而K则被淋失。因此,N、K肥宜隔年施用。

(2)施Ca、Mg肥除了能增加土壤中这两种离子浓度外,还抑制了 Al^{3+} 、 H^+ 的酸度,增加土壤pH值。考虑到本试验地土壤P严重不足,应以施用钙镁磷肥效果更好。

(3)针叶吸收N、P与土壤施N、P肥呈正相关,Ca、Mg肥的施入促进了针叶吸N。施K肥与针叶中K的含量关系较为复杂。

(4)无论是当年生顶梢针叶,还是2年生侧枝针叶,其中Ca呈逐年下降趋势,其降低幅度为:当年生顶梢针叶 $1.67 \sim 3.86 \text{ g/kg}$,2年生侧枝针叶 $2.45 \sim 5.18 \text{ g/kg}$ 。这可能是因为隆昌长期处于大气污染条件下,火炬松的S含量逐年增加,S含量的增加造成针叶中Ca析出淋失。

(5)施肥对土壤中微量元素Fe、Mn、Al等变化的影响没有明显规律,针叶中当年生顶梢针叶Fe、Mn、Al的含量小于2年生侧枝针叶。

参 考 文 献

- 1 李贻铨. 林木施肥研究. 中国林业年鉴, 北京: 中国林业出版社, 1988. 277~278.
- 2 陈桂元. 重庆地区污染源及其对酸雨的影响. 重庆环境科学, 1991, (5): 2~6.
- 3 孙翠玲, 唐国银, 彭久联, 等. 大气污染地区火炬松幼林施肥效应. 林业科学研究, 1994, 7(4): 420~424.
- 4 中国林学会主编. 酸雨与农业. 北京: 中国林业出版社, 1988. 146~150.
- 5 敦婉如. 大气氟污染与树木叶片含氟量的相关关系. 环境科学, 1990, 11(1): 39~43.

Impacts of Fertilization on the Change of Nutrient Content in Soil and Leaf in Young Loblolly Pine Plantation in Acid Rain Region

Sun Cuiling Guo Yuwen Song Fei Peng Jiulian Tang Guoyin Liu Zufen

Abstract From 1990 to 1992, experiments on the effect of fertilization on the change of nutrient content in soil and leaf in young loblolly pine plantation were conducted in Longchang County, Sichuan Province. The result showed that the nitrogen content in soil increased in the following year after corresponding amount of fertilizer was applied, within a range of 0.01 ~ 0.22 g/kg. Nitrogenous and potash fertilizer should be applied once every two years. In order to increase phosphorus content and control the content of Al^{3+} and H^+ in soil, calcium magnesium phosphate should be applied. Nitrogen and phosphorus in leaves were positively related with the application of nitrogenous and phosphorus fertilizer in soil. The relationship between the potassium content of leaf and the application of potash fertilizer in soil was complicated. Whether the application of calcium fertilizer was conducted or not, calcium contents of terminal leaf and lateral leaf decreased gradually from 1990 to 1992, within a range of 1.67 ~ 3.86 mg/g and 2.45 ~ 5.18 mg/g respectively.

Key words loblolly pine, acidrain, fertilization

Sun Cuiling, Associate Professor, Guo Yuwen (The Research Institute of Forest Ecology and Environment, CAF Beijing 100091); Song Fei (Institute of Forest Inventory and Planning, The Ministry of Forestry); Tang Guoyin, Peng Jiulian, Liu Zufen (Forest Bureau of Longchang County, Sichuan Province).