

粉煤灰复田立地欧美杨施肥效应研究*

王世绩 刘雅荣 刘建伟 张建国 冷国友 周树理

摘要 对粉煤灰复田立地上欧美杨人工幼林施肥效应进行了研究,结果表明:①N、P、K 和绿肥肥效均极其显著。相比较而言,N 肥和绿肥肥效高于 P、K 肥。N、P、K 和绿肥肥效显著的原因主要是由于立地土壤养分极缺乏之故;②连续 4 a 施肥,最大肥效出现在造林的当年。与对照相比,15 个施肥处理林分树高和胸径在第 4 年时比对照分别提高 47.7%~71.7% 和 37.7%~71.7%,表明施肥处理肥效极其显著;③粉煤灰复田立地欧美杨人工幼林最佳施肥方案为:N(150 g/株)+P(32.775 g/株)+K(62.25 g/株)+(绿肥 20 kg/株)。

关键词 粉煤灰、复垦、欧美杨、施肥

安徽省淮北煤矿是我国的主要产煤区之一。由于采煤后形成大面积的塌陷区,不仅造成可利用土地面积的减少,而且发电厂每年排放大量的粉煤灰,存在着占用土地和生态环境恶化的问题。因此,从 80 年代初开始,淮北矿务局与发电厂协作,将电厂排放的粉煤灰填充到塌陷区内,当粉煤灰接近地面时,在其表层覆一层 30 cm 的潮土,形成一种特殊的“人工”土壤。但是这种土壤 N 素和有机质极为缺乏,而且含有较多的重金属元素,不适宜种植作物,而成为发展林业的新型用地。本文是粉煤灰复垦造林系列研究的一部分,详细探讨了粉煤灰复田立地上施肥对欧美杨人工幼林生长的效应,目的是为废矿区复垦造林提供技术资料^[1-4]。

1 自然概况

试验地设在安徽淮北矿务局林业试验站内。地理坐标为 116°17' E, 33°46' N。年平均气温 14.5℃,年降水量 826.9 mm,无霜期 202 d。地下水位 2 m。试验地土壤下层为 4~5 m 深的电厂粉煤灰,表层覆有 30 cm 厚的潮土。粉煤灰颗粒:直径 0.1~0.01 mm,占 62%~64%,小于 0.01 mm 的占 9%,比重 2.0~2.1。粉煤灰呈碱性反应,复田立地 pH 较高,特别是干旱季节更高,年变动在 8.2~9.5 之间,粉煤灰中含有少量 N(全 N 含量不足 0.02 g/kg)和 P(速效 P 为 0.0015~0.025 g/kg),含有较多 K(0.022~0.026 g/kg)以及较多的金属元素 Pb、Hg、Al、Cd、Cr 等。

2 材料和方法

2.1 供试材料

试验树种为欧美杨(*Populus × euramericana* cl. 'Neva'),均采用 1 年生苗造林,株行距为

1995—11—16 收稿。

王世绩研究员,刘雅荣,刘建伟,张建国(中国林业科学研究院林业研究所 北京 100091);冷国友,周树理(安徽省淮北矿务局林业处)。

* 胡子龙、善万勇参加部分田间试验,周银莲、阮大津承担化学分析工作。

4 m × 4 m, 苗木规格为: 苗高 2.8 ~ 3.2 m, 地径 2.0 ~ 2.5 cm。造林时间为 1991 年 1 月。

2.2 试验方法

表 2 正交试验表 $L_{16}(4^5)$

处 理	因 素				空 列
	N	P	K	绿 肥	
1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3
4	1	4	4	4	4
5	2	1	2	3	4
6	2	2	1	4	3
7	2	3	4	1	2
8	2	4	3	2	1
9	3	1	3	4	2
10	3	2	4	3	1
11	3	3	1	2	4
12	3	4	2	1	3
13	4	1	4	2	3
14	4	2	3	1	4
15	4	3	2	4	1
16	4	4	1	3	2

设 4 因素 4 水平试验(表 1), 采用 $L_{16}(4^5)$ 正交试验表(表 2)。每 16 个处理为一个区组, 重复 3 次。每小区定植 16 株苗, 小区间均设保护行。施肥从造林当年(1991)开始, 连续 4 a。每年 3 月中、下旬施 N、P 和 K 肥, 5 月上、中旬压埋绿肥(苕子)。施肥方法是以 60 cm 半径环绕树木挖三个深度为 60 cm 的施肥穴, 将肥料埋入土中。每年调查一次树高和胸径生长量。

表 1 因素水平表 (单位: g/株)

水平	因 素			
	N	P	K	绿肥(kg/株)
1	0	131.105	124.50	5
2	150	65.550	62.25	10
3	75	0	0	0
4	300	32.775	41.50	20

3 结果分析

3.1 施肥因素肥效的主次性

杨树对水肥的需求一般比较高。但由于立地土壤肥力状况不同, 自然其需肥的反应也不尽相同。利用协方差分析可以确定施肥因素肥效的显著性和主次性。表 3 为 16 个处理连续 4 a (1991 ~ 1994 年) 树高和胸径连年生长量方差分析结果。

表 3 连年生长量协方差分析(F 值)

项 目	1991 年		1992 年		1993 年		1994 年	
	树高	胸径	树高	胸径	树高	胸径	树高	胸径
N	31.434*	39.481*	39.551*	51.280*	12.314*	18.587*	54.186*	7.830
P	20.100*	18.535*	7.716*	10.989*	33.987*	15.031*	1.675*	2.637
K	16.477*	13.879*	5.794*	7.743*	20.013*	6.406*	19.075*	2.869
绿肥	53.426*	90.565*	2.635*	1.959*	35.047*	21.387*	8.090*	4.287

注: $F_{0.05} = 2.87$ 。

从表 3 可以看出, 连续 4 a 施 N 肥和 K 肥, 肥效均达到了显著水平。P 肥肥效变化规律是造林当年至第 3 年肥效显著; 第 4 年肥效未达到显著水平。绿肥肥效变化规律是造林当年、第 3 年、第 4 年肥效显著; 第 2 年肥效未达到显著水平。关于 N、P、K、绿肥的长期施肥效果有待于进一步的观测和研究。

由以上分析可看出, N、P、K、绿肥对欧美杨生长均具显著效应。肥效显著的原因主要是由于粉煤灰复田立地土壤养分极缺之故。如果从 F 值的整体变化比较, 则不难看出, N 肥和绿肥的 F 值要明显大于 P 肥和 K 肥, 因此, N 肥和绿肥肥效要显著大于 P 肥和 K 肥。

3.2 最优施肥方案的选择

施肥试验的目的不但要提高林木的生长量,同时也要考虑施肥的经济效益,在本地区的条件下,造林的生态效益和社会效益尤显重要。本试验分析了4种施肥量及肥料配比的效果。表4是根据树高和胸径连年生长量进行线性方差分析得到的不同施肥因素、不同水平的回归系数。回归系数的大小反映了不同施肥因素、不同水平间肥效作用的大小和差异,数值越大,则表明某一因素某一水平的肥效也越大,反之亦然。根据表4,可进一步整理出施肥因素最优水平的年度变化表(表5)。根据表5最优水平的显著性水平,淮北废矿区复田立地欧美杨最优施肥

表4 连年生长量协方差分析回归系数

生长指标	树 高				胸 径			
	1991年	1992年	1993年	1994年	1991年	1992年	1993年	1994年
N 1(0)	-0.390	-0.888	0.167	-0.729	-0.432	-1.111	-0.448	0.185
	0.159	-0.044	0.256	-0.383	0.148	0.126	0.015	0.031
	0.074	-0.291	0.423	-0.599	0.053	-0.195	-0.072	-0.069
	0	0	0	0	0	0	0	0
P 1(131.100)	-0.281	-0.124	0.338	-0.043	-0.279	-0.251	0.147	-0.067
	-0.006	-0.092	0.275	-0.034	-0.086	-0.012	0.088	-0.082
	-0.383	-0.417	0.303	-0.131	-0.386	-0.552	-0.317	0.053
	0	0	0	0	0	0	0	0
K 1(124.50)	-0.078	0.049	-0.402	0.379	-0.097	-0.015	-0.245	0.178
	0.044	0.082	-0.287	0.109	0.059	0.114	-0.100	0.113
	-0.348	-0.262	-0.527	-0.037	-0.289	-0.387	-0.273	-0.263
	0	0	0	0	0	0	0	0
绿肥 1(5)	-0.206	-0.105	-0.276	-0.265	-0.317	-0.103	-0.063	0.033
	-0.003	-0.099	-0.223	-0.055	-0.066	-0.097	-0.228	0.065
	-0.673	-0.256	-0.379	-0.018	-0.857	-0.264	-0.339	0.182
	0	0	0	0	0	0	0	0

方案为: N(150 g/株) + P(32.775 g/株) + K(62.25 g/株) + (绿肥 20 kg/株。)

3.3 施肥的时效性

施肥处理的时效性指的是林木对施肥肥效反应的初始时间、最大肥效反应时间、肥效结束时间。关于这三个时间指标,可以用下式 k 来确定:

$$k = \Delta X(i) / \Delta X(i)$$

其中 $\Delta X(i)$ 表示施肥林木第 i 年的生长量; $\Delta X(i)$ 表示对照林木第 i 年的生长量。

用上式判别3个时间指标的方法是:林木施肥后,当 k 值开始大于1时的时间为肥效反应的初始时间,当 k 值最大的时间为肥效反应最大时间,当 k 值开始等于1,并且随着时间的延长始终等于1或小于1,则 k 值开始等于1的时间为肥效反应结束时间。表6为不同施肥处理 k 值计算结果。从表6可以看出,15个处理肥效反应初始时间和最大肥效反应时间均为造林当年,从而表示,在粉煤灰立地条件下,造林当年施肥林木对施肥反应最为敏感,并且肥效也最大。在一般正常的土壤条件下,施肥当年对杨树生长的影响较小^[5],本试验当年施肥的效果极

表5 施肥方案最优水平年度变化

指标	因素	1991年	1992年	1993年	1994年
树高	N	2	4	3	4
	P	4	4	1	4
	K	2	2	4	1
	绿肥	4	4	1	2
胸径	N	2	2	2	1
	P	4	4	1	3
	K	2	2	4	3
	绿肥	4	4	2	3

为明显, 与特殊的‘土壤’条件有关。

表 6 不同施肥处理的 k 值

处理号	树 高 年 生 长 量				胸 径 年 生 长 量			
	1991 年	1992 年	1993 年	1994 年	1991 年	1992 年	1993 年	1994 年
1	3.56	2.19	1.89	2.45	2.33	2.12	1.64	2.01
2	5.21	2.14	2.92	2.82	3.41	2.38	1.56	2.08
3(CK)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
4	5.38	2.29	1.83	2.41	3.73	2.45	1.62	1.77
5	4.49	2.85	1.74	2.65	2.97	3.14	1.71	1.94
6	5.77	2.70	1.57	2.44	3.92	3.00	1.66	1.83
7	5.08	2.52	1.85	2.17	3.35	2.87	1.53	1.90
8	5.44	2.83	1.59	3.22	3.73	3.07	1.86	1.99
9	4.90	2.45	1.77	1.80	3.42	2.62	1.62	1.97
10	4.36	2.56	1.77	2.27	2.74	2.97	1.58	2.04
11	5.41	2.41	1.78	2.71	3.62	2.64	1.65	2.27
12	5.33	2.59	1.82	2.07	3.67	2.81	1.65	1.63
13	4.85	2.70	1.83	4.21	3.45	2.98	1.91	2.79
14	5.03	2.71	1.88	2.31	3.33	3.02	1.68	2.04
15	5.05	2.89	1.31	2.79	3.55	3.00	1.57	2.11
16	4.21	2.89	1.28	3.61	2.74	3.08	1.67	2.89

3.4 不同施肥处理增值效应

表 7 表明, 在 15 个不同水平的处理中, 无论树高还是胸径, 与对照区相比都有显著增值效应, 其中树高比对照增加 47.7% ~ 71.7%, 胸径增加 37.3% ~ 71.7%。15 个施肥处理都有显著效应, 原因是由于粉煤灰复田立地土壤养分极为亏缺之故。这表明, 在粉煤灰复田立地这种特殊的“人工”土壤上, 如果不进行土壤改良(主要是增施 N 肥和有机肥), 树木是难以成林成材的。当地的其它试验也充分证明了这个结论^[6,7]。

3.5 施肥对欧美杨连年生长期规律的影响

从表 8 看出, 1 ~ 14 处理, 树高连年生长量的变化规律完全一致, 最大值均出现在第 3 年(1993), 15 和 16 处理则不同, 最大值却出现在第 2 年, 比其它处理提前一年。胸径连年生长量的变化规律是: 1, 3(CK) 两个处理, 胸径连年生长量最大值出现在第 3 年, 而 2, 4 ~ 16 处理则出现在第 2 年, 由此可见, 除 1 处理与对照一致外, 其它处理最大值均比对照提前 1 年。

表 7 不同施肥处理小区林木生长比较^①

处理号	(1994 年)			
	树 高		胸 径	
	平均值	百分率 (%)	平均值	百分率 (%)
1	10.65	147.7	9.32	137.3
2	11.23	155.8	10.30	151.7
3(CK)	7.21	100.0	6.79	100.0
4	11.59	160.7	10.55	155.4
5	11.90	165.0	11.12	163.8
6	12.32	170.8	11.47	168.9
7	11.31	150.9	10.51	154.8
8	12.38	171.7	11.66	171.7
9	11.31	156.9	10.51	154.8
10	11.20	155.3	10.16	149.6
11	11.78	163.4	10.77	158.6
12	11.49	159.4	11.00	162.0
13	12.17	168.8	11.25	165.7
14	12.05	167.1	10.95	161.2
15	11.59	160.7	10.92	160.8
16	11.54	160.0	10.48	154.3

① 3 次重复的平均值。

表8 不同施肥处理连年生长量

处理号	树 高(m)				胸 径(cm)				备 注
	1991年	1992年	1993年	1994年	1991年	1992年	1993年	1994年	
1	1.39	2.26	3.51*	1.74	1.54	2.50	2.92*	1.43	* 表示某一施肥处理连年生长量最大值
2	2.03	2.20	3.58*	2.00	2.25	2.81*	2.77	1.48	
3(CK)	0.39	1.03	1.86	0.71	0.66	1.18	1.78*	0.71	
4	2.10	2.36	3.40*	1.71	2.46	2.89*	2.88	1.26	
5	1.75	2.94	3.24*	1.88	2.96	3.71*	3.04	1.38	
6	2.25	2.78	2.92*	1.73	2.59	3.54*	2.95	1.30	
7	1.98	2.60	3.44*	1.54	2.21	3.39*	2.72	1.35	
8	2.12	2.92	2.96*	2.29	2.46	3.62*	3.18	1.41	
9	1.91	2.52	3.29*	1.28	2.26	3.09*	2.88	1.40	
10	1.80	2.64	3.30*	1.61	1.81	3.51*	2.88	1.45	
11	2.11	2.48	3.32*	1.93	2.39	3.11*	2.93	1.61	
12	2.08	2.67	3.39*	1.47	2.42	3.31*	2.94	1.16	
13	1.89	2.78	3.46*	2.99	2.28	3.52*	3.40	1.98	
14	1.96	2.79	3.50*	1.64	2.20	3.56*	2.99	1.45	
15	1.97	2.98*	2.44	1.98	2.34	3.55*	2.79	1.50	
16	1.64	2.98*	2.38	2.56	1.81	3.64*	3.98	2.05	

4 结论

(1) 研究表明,在粉煤灰复田立地上, N、P、K 与绿肥对欧美杨人工幼林生长均有显著效应。相对比较而言, N 肥与绿肥肥效高于 P 肥和 K 肥。

(2) 林木对施肥肥效反应有其时效性。具体可由肥效反应初始时间、最大肥效反应时间、肥效结束时间三个时间指标来表达。结果表明,粉煤灰复田立地上欧美杨对施肥反应非常敏感。最大肥效反应时间和初始反应时间都出现在造林当年。

(3) 15 个施肥处理对欧美杨生长均有显著效应。在第 4 年时,树高比对照提高 47.7% ~ 71.7%,胸径提高 37.3% ~ 71.7%。

(4) 研究表明,粉煤灰复田立地欧美杨人工幼林最优施肥方案为: N (150 g/株) + P (32.775 g/株) + K (62.25 g/株) + 绿肥(20 kg/株)。

(5) 施肥处理对林木连年生长量规律有影响。在 15 个施肥处理中, 15 和 16 处理的树高连年生长量最大值出现在造林后的第 2 年, 比对照和其它处理提前 1 年。关于胸径连年生长量,除了 1 处理与对照相同外, 其它处理胸径连年生长量最大值出现在造林后第 2 年, 比对照提前 1 年。

参 考 文 献

- 1 王世绩, 刘雅荣, 刘建伟, 等. 粉煤灰覆田立地的基本特征. 土壤通报, 1995, 26(1): 31 ~ 33.
- 2 王文全, 王世绩, 刘雅荣, 等. 粉煤灰覆田立地上杨、柳、榆、刺槐根系的分布和生长特点. 林业科学, 1993, 30(1): 26 ~ 30.
- 3 刘雅荣, 刘建伟, 王世绩, 等. 粉煤灰复垦区杨、柳、榆、刺槐的生物量. 林业科学研究, 1994, 7(4): 453 ~ 455.
- 4 王世绩, 刘雅荣, 刘建伟, 等. 杨、柳、榆、刺槐对淮北粉煤灰“土壤”中矿质积累的影响. 林业科学研究, 1994, 7(6): 612 ~ 617.

- 5 刘寿坡, 南健德. 意大利 214 杨施肥效应研究. 见: 刘寿坡, 徐孝庆主编. 黄泛区平原林地资源利用研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1992.
- 6 王廷敞, 刘艳清. 煤矿塌陷区粉煤灰覆田刺槐造林和生长规律的研究. 安徽林业科技. 1990, (1): 26 ~ 28.
- 7 周树理. 煤矿塌陷区覆土造田育苗研究. 林业科技通讯, 1988, (4): 13 ~ 16.

Study on the Effect of Fertilization on the Growth of *P. × euramericana* in Reclaimed Area by Coal Ash

Wang Shiji Liu Yarong Liu Jianwei
Zhang Jianguo Leng Guoyou Zhou Shuli

Abstract Study on the effect of fertilization on the growth of juvenile plantation of *P. × euramericana* in reclaimed area by coal ash was conducted. The results show: (1) Both the effect of applying N、P、K and green manure are significant, comparatively speaking, the effect of application of N and green manure is better than that of applying P、K, the reason why the effect of fertilization is good is that the nutritional elements in this kind of soil is very poor. (2) If the fertilization continued in 4 successive years, the best effect appeared in the current year of cultivation. If a comparison was made with control, in the 15 treatments, the tree height and *DBH* of the plantation in the 4th year were higher than those of the control by 47.7% ~ 71.7% and 37.3% ~ 71.7% respectively, which showed the effect of fertilization was significant. (3) The best scheme for fertilization is N(150 g/tree) + P(32.775 g/tree) + K(62.25 g/tree) + green manure(20 kg/tree).

Key words coal ash, reclamation, poplar plantation, fertilization

Wang Shiji, Professor, Liu Yarong, Liu Jianwei, Zhang Jianguo(The Research Institute of Forestry, CAF Beijing 100091); Leng Guoyou, Zhou Shuli (Department of Forstry, Bureau of Huaibei Coalmine).