

毛竹林施肥效应研究*

洪顺山 胡炳堂 江业根

(中国林业科学研究院亚热带林业研究所)

摘要 为探讨毛竹林的施肥效果和合理的施肥配方,在浙江省安吉县、福建省沙县和长汀县三处设置了毛竹施肥试验林。六年的试验结果表明,立竹结构较合理的毛竹密林(立竹数3000株/hm²左右),施用三要素化肥肥效显著,年均增产鲜竹材2.67~5.70 t/hm²,鲜笋0.34~0.75 t/hm²,每公斤肥料(按有效成分N、P、K计算)累计增产鲜竹材27.8~62.5 kg、鲜笋2.75~9.15 kg;最佳施肥配方为每公顷N310 kg, P83 kg, K118 kg。毛竹疏林(立竹数<1500株/hm²)施肥效果较差。施氮水平相同比较,疏林的鲜竹材年均增产量只及密林的50%,经济效益只及60%。毛竹疏林的最佳施肥配方为每公顷N138 kg, P37 kg, K79 kg。本文还讨论了有机肥的增产效果,施肥对材性的影响以及肥效持续年限问题。

关键词 毛竹林 施肥配方 肥效 材性 养分平衡

当代林业发展的重要趋势之一是由粗放经营向集约经营过渡,以提高单位面积产量作为增产木材和林副产品的重要途径,施肥是集约经营的关键措施之一。作者承担了林业部毛竹丰产技术研究合同的施肥专题,1984年实施,持续试验观察七年。毛竹施肥初期肥效曾作过报道^[1],本文重点论述施肥对毛竹林经济产量的影响,合理施肥配方的选择,也论及施肥与材性和林地养分平衡的关系。

1 试验林立地条件和林分概况

试验林设置在我国毛竹主产区,选择有代表性的林型作为试验区。其中浙江安吉县山河乡百家坪和福建沙县高砂乡毛竹场的竹林,立竹密度较合理,为较稳定的中产林分;福建长汀县楼子坝林场的竹林,立竹稀疏,代表低产林。三片试验林都以收获竹杆为主要经营目标,兼收部分早期笋和退笋。其立地条件和施肥前的林分概况列于表1和表2。

表1 试验林立地状况和土壤性质(各标地表土20 cm平均值)

地点	地形	海拔(m)	母岩	土壤类型	pH	有机质 (%)	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	代换K (ppm)	代换量 (me/100g土)	砂粒 (%)	粉粒 (%)	粘粒 (%)
浙江安吉县百家坪	丘陵	50~100	泥页岩	中层红壤	5.50	5.83	0.21	0.06	87.4	11.34	5.7	67.4	21.2
福建沙县高砂毛竹场	低山	500~550	长英岩	厚层红壤	5.22	3.64	0.15	0.06	77.6	7.84	32.5	32.7	33.5
福建长汀县楼子坝林场	低山	470~600	细沙岩	中层红壤	5.10	4.04	0.14	0.06	70.9	11.70	23.2	45.0	31.3

1991-06-13收稿。

*浙江省安吉县山河乡开发办公室、福建省竹炭公司、沙县竹制品公司、沙县高砂毛竹场、长汀县林业局、楼子坝林场给予大力支持;张隆锦、赖永昆协助试验林管理和调查,特此致谢。

表2 试验前林分概况

地点	林型	立竹密度 (株/hm ²)	平均胸围 (cm)	蓄积 (t/hm ²)	年产竹材(鲜) (t/hm ²)
百家坪	郁闭成林(密林)	2 895	25.43	41.82	8.30
高砂	郁闭成林(密林)	3 330	26.30	52.93	8.15
楼子坝	疏林	1 345	21.83	9.86	3~4 ^①

① 采伐兼竹造土纸, 年产竹材为估计值。

2 材料与方 法

2.1 试验材料

肥料为商品用肥, 氮用尿素, 含N46%; 磷用过磷酸钙, 含纯P 6.11%; 钾用氯化钾, 含K52.4%。有机肥用粉碎的菜子饼。

2.2 化肥试验设计

按正交表L₉(3⁴)设计施肥处理(配方), N、P、K各分高、中、低量三个施肥水平, 构成9个施肥配方, 即9个施肥处理, 另加设一个不施肥处理为对照。不同林型的施肥量和施肥次数略有差别。

2.2.1 毛竹密林施肥处理 毛竹密林的立竹结构合理, 具有肥效发挥良好的基本条件, 其试验方案列于表3。整个试验安排六个区组, 浙江安吉县百家坪设置四个区组, 福建沙县高砂毛竹场设置二个区组。小区面积0.067 hm², 边界开20 cm深沟, 并留出5 m宽的保护带, 保护带一律不施肥。施肥处理的肥料等分三份, 分别于1984、1985、1986年的9月份施下。开水平沟条施。

2.2.2 毛竹疏林施肥处理 毛竹疏林一般为低产林分, 提高生产力的重点是留笋养竹、调整立竹结构, 林分状况较复杂。本研究设置了二个区组作附带试验, 其试验方案列于表4。试验地点在福建长汀县楼子坝林场。同毛竹密林试验比较, 施肥量均减少1/3, 试验的肥料二等分于1984年和1985年施下。其他措施同毛竹密林的处理。

表3 毛竹密林施肥试验方案

水 平	因 子		
	N (kg/hm ²)	P (kg/hm ²)	K (kg/hm ²)
1	207	28	118
2	310	55	236
3	414	83	354
列 号	1	2	3

表4 毛竹疏林施肥试验方案

水 平	因 子		
	N (kg/hm ²)	P (kg/hm ²)	K (kg/hm ²)
1	138	19	79
2	207	37	157
3	276	55	236
列 号	1	2	3

2.3 有机肥试验设计

采用单因子成对对比法设计, 共四对8小区, 小区面积400 m²。8个小区在统一化肥用量为每公顷N310 kg、P 55 kg、K 236 kg的基础上, 每对随机抽取一个小区再追施菜子饼1 500 kg/hm²。

2.4 材性测定方法

为了探讨施肥对竹材某些理化性质的影响,1991年1月在各处理中选择有代表性的二个小区,各采伐三株六年生的成熟竹秆作为样品,测量实际重量和竹腔壁厚度。并按标准方法测定竹材和竹叶样品的主要矿质元素含量。

2.5 观测项目与统计分析方法

从1985年起,每年3~5月调查出笋数量、早笋及退笋产量,下半年调查新竹数量和每竹胸径。竹材产量按公式 $W_{11} = 0.1527 D^{2.1756}$ (安吉)和 $W_{111} = 0.1566 D^{2.1743}$ (沙县和长汀)计算^[2]。为消除因小区立地条件差异而造成的试验误差,新竹的实际产量用处理前的产量或单位面积立竹量进行了回归修正。

3 结果与分析

3.1 毛竹密林施用化肥对竹材产量的影响

本施肥试验林以培育竹材为主要经营目标,竹材产量为肥效的主要考核对象。表5为浙江安吉和福建沙县施肥处理的六个区组历年(1985~1990年)鲜竹材累计产量的数理统计分析结果,着重比较施肥与不施肥的产量变化,了解毛竹林施肥肥效的反应程度。 Q 检验结果表明,与不施肥比较,所有施肥处理其肥效都达到显著水平。施肥后六年统计,年均增产鲜竹材2.67~5.70 t/hm²,相当于2.40~5.13 m³/hm²竹材,产量提高38.7%~82.5%;累计每kg肥料有效成分增产竹材27.8~62.5 kg。美国在70年代末曾对森林施肥的效果作过广泛调查^[3],施后10年年均材积增长1.13 m³/hm²(低的为0.56 m³/hm²,高的为2.27 m³/hm²),相比之下,毛竹施肥的肥效比一般森林施肥高一倍以上。

表5 施肥后鲜竹产量统计分析

处理号	处 理 (元素 kg/hm ² ①)	1985~1990 累计产量 (t/hm ²)	年 均 增 产 量 (t/hm ²)	增 产 率 (%)	Q 检 验 ($\rho = 0.05$)	每kg肥料增 产竹材总量① (kg)
1	N207 P28 K118	57.52	2.67	38.7	b	45.5
2	N207 P55 K236	60.47	3.17	45.9	b	38.2
3	N207 P83 K354	60.56	3.18	46.1	b	29.7
4	N310 P28 K236	67.84	4.40	63.6	ab	46.0
5	N310 P55 K354	75.66	5.70	82.5	a	47.7
6	N310 P83 K118	73.42	5.31	77.1	ab	62.5
7	N414 P28 K354	63.62	3.69	53.4	ab	27.8
8	N414 P55 K118	62.24	3.47	50.1	ab	35.4
9	N414 P83 K236	66.65	4.20	60.8	ab	34.4
CK	N0 P0 K0	41.46	—	—	c	—

① 按有效成分N、P、K计算。

3.2 N、P、K肥效顺序

不同树种、不同性质的土壤,施用N、P、K肥的肥效往往有显著差别。由于本试验设计按正交表 $L_9(3^4)$ 设计施肥处理,因此可以作正交方差分析,确定N、P、K在肥效中的重要性顺序。方差分析结果列于表6。结果表明,N素 F 检验达到极显著水平($F = 11.85$),

P、K的F检验均没有达到显著水平，但方差贡献值比较，P肥的重要性居第二，K肥则居第三。其反应规律与施肥初期的效应一致^[1]。由此可见，毛竹林三要素施肥中，以氮肥最重要，氮肥促进笋芽分化，多出笋、多成竹，氮肥是扩大竹林叶面积、提高叶绿素浓度的基础物质，是提高竹林生产力最重要的肥料。从表1中可见，竹林土壤含磷量约0.06%，属缺磷土壤，故磷肥的施用也非常重要。竹林土壤含有比较丰富的有效钾(表1)，所以施肥效果较差，但从高产栽培看，为维护土壤钾素平衡和保持竹林丰产，钾肥仍是竹林丰产培育必须施用的肥料要素^[4]。

表6 N、P、K肥效方差分析

变量来源	自由度	平方和	均方	F	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
总变量	53	7543.3				
区组	5	3198.5	639.7	10.06**		3.51
处理	8	1799.0	224.9	3.54**		2.99
其中	N	1507.6	753.8	11.85**		5.18
	P	152.5	76.3	1.20 ^{ns}	3.23	
	K	47.6	23.8	0.37 ^{ns}	3.23	
误差	40	2545.8	63.6			

注：**——极显著；ns——不显著。

3.3 毛竹林优化施肥配方的选择

筛选优化的施肥配方是施肥研究的一个重要内容。合理的施肥配方应该以最高经济效益作为判断标准。而经济效益与单位肥料的产出量有关。从表7中可见，中N、高P、低K的经济效益最高，也即毛竹林合理施肥配方为每公顷N310kg、P83kg、K118kg，这个施肥配方正好是表5中第6个处理。这个处理除了经济效益最高外，其竹材产量也接近最高水平。

表7 每kg肥料竹材增产量与施肥水平的关系
(单位：kg)

施肥水平	因子		
	N	P	K
1(低)	37.8	39.8	47.8
2(中)	52.1	40.4	39.5
3(高)	32.5	42.2	35.1

3.4 毛竹密林施肥对鲜笋产量的影响

材用毛竹林的经营通常采收少量早期笋和中后笋期的退笋，这部分产值约为竹材产值的20%左右。施肥对鲜笋产量的影响同样明显，合理的施肥配方使鲜笋产量增加一倍以上(表8)。不同的施肥处理其笋的产量有较大的差别，最低为处理2，鲜笋增产54.0%，最高为处理6，鲜笋增产119%，施肥对鲜笋的增产幅度比竹材还大。

由表8可计算出各施肥水平的产笋量和每kg肥料产笋量，比较结果是，中N、高P、低K的三要素组合，产笋量最高，经济效益也最好，优化的产笋施肥配方正好与生产竹材的优化施肥配方相一致，即每公顷N310、P83、K118kg。

3.5 毛竹疏林施用化肥效应

经营粗放或采伐过量的竹林，通常林分密度稀疏，林下阳光充足，灌木杂草生长繁茂。由于受杂草灌木的干扰，施肥效果比较差。从设置的二个试验区组历年产量统计(表9)看，多数处理年均增产竹材1~2t左右，个别处理还出现负增长。与毛竹密林施肥比较，氮肥水

表8 不同施肥处理与鲜笋产量的关系

处理号	处理			1985~1990年累计产量	年 均	年均增产	增产率	每kg肥料增产总量 ^①
	(元素 kg/hm ²)			(t/hm ²)	(t/hm ²)	(t/hm ²)	(%)	(kg)
1	N207	P28	K118	7.01	1.17	0.54	85.7	9.15
2	N207	P55	K236	5.81	0.97	0.34	54.0	4.08
3	N207	P83	K354	6.90	1.15	0.52	82.5	4.84
4	N310	P28	K236	6.35	1.06	0.43	68.3	4.48
5	N310	P55	K354	7.43	1.24	0.61	96.8	5.08
6	N310	P83	K118	8.28	1.38	0.75	119.0	8.81
7	N414	P28	K354	5.97	1.00	0.37	58.7	2.75
8	N414	P55	K118	6.74	1.12	0.49	77.8	5.04
9	N414	P83	K236	7.43	1.24	0.61	96.8	4.98
CK	N0	P0	K0	3.78	0.63	—	—	—

①按有效成分N、P、K计算。

平相同的处理(N207),毛竹密林年均增产竹材3.0 t/hm²,每kg肥料有效成分平均增产竹材37.8 kg;而毛竹疏林则年均增产竹材1.5 t/hm²,每kg肥料有效成分平均增产竹材22.5 kg,毛竹疏林年均竹材增产量只及毛竹密林的50%,经济效益只及毛竹密林的60%。因此,毛竹疏林应注意留笋养竹,提高林分密度,控制灌木杂草的生长,以使施肥的肥效提高到正常水平。

表9 毛竹疏林施肥鲜竹材产量统计分析

(长汀)

处理号	处理			底竹数 (株/hm ²)	1985~1988年		年均修正产量 ^① (t/hm ²)	年均增产 (t/hm ²)	每公斤有效成分 总增产量 (kg)
	(元素 kg/hm ²)				累计产量 (t/hm ²)	年均实测产量 (t/hm ²)			
1	N138	P19	K79	1342	41.21	10.30	10.31	0.31	7.9
2	N138	P37	K157	1493	51.06	12.77	12.40	2.40	43.4
3	N138	P55	K236	1253	45.98	11.49	11.72	1.72	24.1
4	N207	P19	K157	1103	36.58	9.14	9.75	-0.25	-3.9
5	N207	P37	K236	1530	50.76	12.69	12.23	2.23	27.9
6	N207	P55	K79	1170	48.11	12.03	12.47	2.47	43.5
7	N276	P19	K236	1455	46.62	11.66	11.39	1.39	15.7
8	N276	P37	K79	1245	43.68	10.92	11.17	1.17	17.9
9	N276	P55	K157	1163	44.40	11.10	11.56	1.56	19.2
CK	N0	P0	K0	1695	43.49	10.87	10.00	—	—

①回归系数 $b=0.0025$ 。

从表10可见,毛竹疏林优化的三要素施肥配方为N₁、P₂、K₁,即三要素的合理用量为每公顷N138 kg、P37 kg、K79 kg。

3.6 有机肥的效应

有机肥养分全面、比例协调,并有改土作用。饼肥试验结果表明(表11),施肥后六年年均增产竹材5.87 t/hm²,每kg菜饼增产竹材总量23.48 kg,肥料投入与产出之比为1:7.5,经济效益相当高。由此可见,应充分利用林区丰富的有机肥源培育竹林,提高毛竹林的生产力。

表10 毛竹林竹材产量和每kg肥料增产量与施肥水平的关系

施肥水平	年均竹材增量 (t/hm ²)			每kg肥料有效成分增产量(kg)		
	N	P	K	N	P	K
1(低)	1.48	0.48	1.32	25.1	6.57	23.1
2(中)	1.48	1.93	1.24	22.5	29.7	19.6
3(高)	1.37	1.92	1.78	17.6	28.9	22.7

表11 有机肥肥效分析

处 理 (kg/hm ²)	处理前产量		处 理 后 产 量 (1985~1990)				
	大 年 年 均	平 均	累 计 产 量	处 理 平 均	年 均	年 增 量	每kg饼总 增产量(kg)
	(t/hm ²)		(t/hm ²)				
N310 P55 K236	13.05		75.63				
	6.56	12.07	61.41	74.18			
	14.36		81.90				
	14.30		77.78				
9.00	96.51						
N310 P55 K236 + 饼肥1500	11.60	12.10	99.14	109.35*	18.23	5.87	23.48
	10.98		104.90				
	16.80		136.85				

注: *示 $t_{0.05}$ 显著水平($t=3.997$, $t_{0.05}=3.182$)。

3.7 施肥对成熟竹杆某些理化性质的影响

施肥对材性的影响至今研究仍少,但却是受到普遍关注的问题。从典型取样测定结果看(表12),施化肥和施有机肥后,6年生的成熟竹杆单株重量都略有增加,然而施化肥的竹腔壁比不施肥的薄,而施有机肥的竹腔壁则加厚。

表12 施肥对成熟竹杆(6年生)物理特性的影响

处 理	测量株数	平均胸径 (cm)	单株实测平均重量 (kg)	单株重量理论值 (kg)	实测重/理论值	竹 壁 厚 (mm)
N ₂ P ₃ K ₁	6	10.63	29.28	26.87	1.09	7.83±0.60
有 机 肥	6	11.61	34.82	32.45	1.07	9.70±0.57
CK	6	10.49	27.15	26.07	1.04	8.75±0.75

施肥对成熟竹杆某些矿质元素含量也有影响(见表13),施肥后仍保持稳定的元素有N、S、Na、Zn、B等5种;Ca、Mg、Fe、Mn、Mo 5种重要矿质元素含量在化肥处理中有较明显下降;与制纸浆关系密切的Si素含量,施肥的影响不大;而P、K含量则增加,P素含量增加尤为显著,施肥的成熟竹杆含P量比不施肥增加2倍多。这里涉及一个重要问题,即林地的养分平衡。如按施肥处理N₂、P₃、K₁所产竹材计算,每年收获竹杆从林地运出的养分为每公顷N8.80 kg、P1.42 kg、K19.06 kg,如果采伐时连枝叶也运出林地,则采伐时从林地带走的养分量还要高得多。由此可见,毛竹丰产林需肥量较大,养分消耗也较多。

表13 成熟竹秆(6年生)矿质元素含量

处 理	N	K	Si	P	Ca	Mg	S	Al	Na	Fe	Mn	Zn	B	Mo
	(%)			(ppm)										
N ₂ P ₃ K ₁	0.24	0.52	1.82	386	331	244	342	343	83	112	38	26.5	7.8	2.0
有机肥	0.22	0.45	1.91	330	418	321	326	409	83	104	42	15.5	8.0	2.6
CK	0.23	0.42	1.77	132	391	304	350	521	86	143	46	22.0	7.7	2.6

3.8 肥效持续年限问题

从不同施氮水平竹材产量的年变化(图1)看,两地竹林都有明显的大小年。从决定产量的大年比较,沙县高砂竹林肥效反应非常迅速,施肥后第一个大年产量大幅度提高,施肥后第二个大年,产量达到高峰;至第三个大年产量开始下降。低氮施肥水平的竹材产量已接近对照,但中氮施肥水平仍然显著高于对照。安吉百家坪则肥效平稳,施肥后竹材产量年增幅较小,但至施肥后第三个大年(1989年),肥效未见下降,究竟肥效能持续多久,仍需继续观察。上述结果说明,毛竹林施肥肥效持续的年限与土壤性质有关,疏松而缺肥的土壤,肥效反应迅速而持续年限较短;板结和含氮较丰富土壤,肥效发挥较慢,但持续的年限较长。本试验研究表明,中氮施肥量,即每公顷施N310 kg,肥效将明显地持续6年以上。

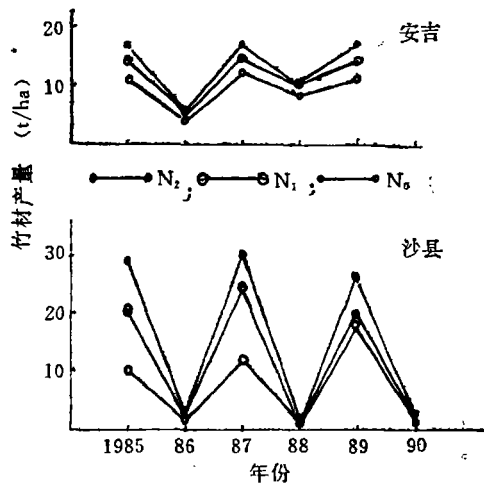


图1 不同施氮水平竹材产量年变化

4 结论

(1) 立竹密度较合理的毛竹林(立竹3 000株/hm²左右),施用三要素化肥有显著增产效果。施肥后六年产量统计,年均增产鲜竹材2.67~5.70 t/hm²、鲜笋0.34~0.75 t/hm²。六年累计每公斤肥料(按有效成分N、P、K计算)增产鲜竹材27.8~62.5 kg、鲜笋2.75~9.15 kg。三要素中以氮最重要,磷居第二,钾居第三。最优施肥配方为每公顷N310 kg、P83 kg、K118 kg,此配方的经济效益最好,鲜竹、鲜笋产量达到或接近最高水平。

(2) 低产的毛竹疏林,施化肥的肥效较差,年均增产竹材只及毛竹密林的50%,经济效益只及毛竹密林的60%。与毛竹密林比较,毛竹疏林的适宜施肥量需减少,最优施肥配方为每公顷N138 kg、P37 kg、K79 kg。

(3) 毛竹林施有机肥效益显著。施菜饼1 500 kg/hm²,六年统计年均增产竹材5.87 t/hm²,每公斤饼肥累计增产竹材23.48 kg,肥料投入与产出之比为1:7.5。

(4) 施肥影响材性,施化肥使竹腔壁变薄,施有机肥使竹腔壁加厚。施肥后成熟竹秆磷、钾含量增加,氮、硅含量变化不大;但施化肥有使钙、镁、铁、锰、钼等五个重要矿质营养元素含量有下降的趋势。

参 考 文 献

- 1 洪顺山. 毛竹配方施肥研究初报. 竹子研究汇刊, 1987, 6 (1).
- 2 南京林产工学院竹类研究室编著. 竹林培育. 北京, 中国林业出版社, 1981, 178~179.
- 3 George W Bengtson. Forest fertilization in the United States: Progress and Outlook. *Journal of Forestry*, 1979, (4), 222~229.
- 4 Koichiro Ueda. Studies on the physiology of bamboo. Resources Bureau Reference Data (Japan), 1960, (34), 136.

*The Responses of Fertilization on the Plantations
of Phyllostachys pubescens*

Hong Shunshan Hu Bingtang Jiang Yegen

(The Research Institute of Subtropical Forestry CAF)

Abstract In order to find out the responses of fertilization on the bamboo plantations and the rational rates of N, P, K fertilizer applied, three experiments of fertilization were conducted in Anji County of Zhejiang Province, Shaxian County and Changtin County of Fujiang Province. Trials lasted for 6 years. Final results showed that the responses of fertilization on rational density of bamboo stands (about 3 000 standing plants per ha) were more significant than that of sparse bamboo stands (<1500 standing plants per ha). Fertilizing treatments in rational density stands yielded 2.67~5.70 t/ha of fresh culms and 0.34~0.75 t/ha·a of fresh bamboo shoots more than that of the check from 1985~1990. Each kg of available N, P, K produced 27.8~62.5 kg of fresh culms and 2.75~9.15 kg of fresh shoots. The optimum rate of application on dense bamboo stand for producing both timber and shoot was N310, P83, K118 kg per ha.

For the sparse bamboo stands, yearly increment of bamboo culms reduced 50%, compared with the dense stands in equal level of N application. The optimum rate of application was N138, P37, K79 kg per ha. This paper also discussed the response of organic manure, the effects of fertilization on the properties of bamboo timber as well as the long-term effect of fertilization.

Key words bamboo forest rate of fertilizer application response of fertilization property of timber balance of nutrient