文章编号: 1001-1498(2007)01-0084-08

麻竹山地笋用林施用有机肥和生长调节剂的产量效应

邱尔发[1], 陈卓梅[2], 郑郁善[3], 洪 伟[3], 黄宝龙[4]

(1. 中国林业科学研究院林业研究所, 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091; 2 浙江省林科院, 浙江 杭州 310023;
3 福建农林大学林学院, 福建 福州 350002; 4 南京林业大学, 江苏 南京 210037)

摘要: 对山地麻竹笋用林采用回归正交试验设计, 施用有机肥和生长调节剂, 分析研究了笋林的出笋量和经济效益。结果表明: 不同处理麻竹林竹笋产量、挖笋数量、竹笋个体质量分别为 11 451~25 440 kg·hm^{-2}、7 840~15 360个·hm^{-2}、1.41~1.66 kg·个$^{-1}$; 有机肥和生长调节剂对竹笋产量和数量的影响较为显著, 竹笋产量和数量随有机肥施用量的增加而升高; 经分析, 竹笋产量、数量与施肥关系回归方程拟合良好; 麻竹最佳施肥方案为有机肥 2 484.8 kg·hm^{-2}, 生长调节剂用量为 6.006 L·hm^{-2}; 竹笋最高产量的施肥量为有机肥 2 482.35 kg·hm^{-2}, 生长调节剂用量为 6 L·hm^{-2}。各处理麻竹施肥收益的变化范围为 -5 699.5~7 310.2元·hm^{-2}, 麻竹施肥对竹林经营收益影响显著, 竹林施用有机肥和生长调节剂与竹林收益回归方程拟合良好。

关键词: 麻竹; 笋用林; 有机肥; 生长调节剂; 产量; 施肥效应
中图分类号: S795 文献标识码: A

Effect of Organic Fertilizer and Growth Regulators on Shoots Yield of *Dendrocalamus latiflorus* Munro Plantations Planted on Hills

QIU Er-fa[1], *CHEN Zhuo-mei*[2], *ZHENG Yu-shan*[3], *HONG Wei*[3], *HUANG Bao-Long*[4]

(1. Research Institute of Forestry, CAF; Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Beijing 100091; 2. Zhejiang Academy of Forestry, Hangzhou 310023, Zhejiang, China;
3. Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, Fujian, China; 4. Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

Abstract: Through fertilizing organic fertilizer and growth regulators to *Dendrocalamus latiflorus* shoot-used forest planted on hills with quadratic regression orthogonal test design, the shoots output and economic benefit were analyzed. The results showed that the range of shoots output, quantity and individual weight were 11 451~25 440 kg·hm^{-2}, 7 840-15 360 shoots·hm^{2}, and 1.41~1.66 kg·shoot^{-1}. Fertilizing organic fertilizer and growth regulators had remarkable influence on shoots output. Shoots yield and quantity increased with fertilizer increasing. The regression equation of shoots yield and quantity with fertilizer fitted very well. The best fertilizing project was that organic fertilizer and growth applied at 2 484.8 kg·hm^{-2}, 6.006 L·hm^{-2} respectively. The fertilizing project for the highest yield was that organic fertilizer and growth applied at 2 482.35 kg·hm^{-2}, 6 L·hm^{-2}. range of profit was -5 699.5~7 310.2 Yuan·hm^{2}. Fertilizing organic fertilizer had remarkable influence on profit. The regression equation between fertilizer and profit fitted very well.

收稿日期: 2005-08-09; 修回日期: 2006-10-09
基金项目: 国家"十五"科技攻关项目(2002BA516A15)
作者简介: 邱尔发(1968—), 男, 福建连城县人, 博士, 副研究员, 主要从事森林生态和森林培育学方面研究.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Key words *Dendrocalamus latiflorus*; Shoot-used bamboo forest; organic fertilizer; growth regulators; yield; effect

麻竹 (*Dendrocalamus latiflorus* Munro)作为重要的经济笋用竹种, 已由过去主要在河滩和四旁零散种植而发展到现在的山地的规模栽培, 其是否能获得高产的关键因素在于竹林发笋期养分供应。竹林施肥作为补充养分的一种有效途径虽已形成共识, 且竹子施肥开展了较多的研究, 对竹子施肥方法、施肥量、养分配比等方面进行了研究[1~5], 但大多集中在毛竹 (*Phyllostachys edulis* (Carr.)H. de Lehaie)等少数几个竹种上。目前, 麻竹已开展生态系统养分[6~8]、生理[9,10]、生物量[11~13]等方面研究, 而有关麻竹施肥方面的研究主要是生产经营的总结[14~16], 尚无人对施肥种类、数量与麻竹林产量的关系进行科学定量研究, 导致当前麻竹林施肥处于较盲目状态, 不仅浪费人力、物力和财力, 而且经常由于盲目的施肥而造成环境污染。目前, 施用有机肥已经引起世界各国普遍的关注, 有机肥不仅能提高土壤肥力、提高产品食用品质, 同时能改善土壤生态环境, 它是维持和提高土地生产率的首要措施[17]。加强对有机肥的科学研究和合理施用已引起人们的普遍关注。课题组针对当前麻竹施肥存在的问题, 从林地持续利用的角度, 试图通过回归正交试验设计, 研究麻竹施用有机肥和生长调节剂与笋产量指标、经济效益的定量关系, 为山地笋用麻竹林丰产、优质培育提供科学的指导和理论依据。

1　试验地概况

试验地设于福建省漳州市南靖国有林场炭坑工区, 属南亚热带季风气候区。地处 117°20′ E, 24°27′ N。海拔 280 m 左右, 属闽南低山丘陵地带。年平均气温为 21 ℃, 7月平均气温 28 ℃, 极端最低气温为 -20 ℃, 极端最高气温 40.5 ℃, ≥10 ℃的活动积温 7 476 ℃, 终年无雪, 霜期短; 该地区气候温暖多雨, 年降水量 1 720 mm, 雨量分布不均, 较集中于春夏两季; 年日照时数 2 052 h, 年平均无霜期 320 d, 是麻竹生长的最适区。土壤以砂岩土质发育的山地红壤为主, 土层深厚。植被以芒萁 (*Dicranopteris pedata* (Houtt.) Nakaike)、五节芒 (*Miscanthus floridulus* (Labill.) Warb.)、桃金娘 (*Rhodomyrtus tomentosa* (Ait.) Hassk.)和蕨类 (*Pteridium* spp.)为主。

2000年 4月测定了土壤全 N、全 P、全 K的含量分别是 0.991、0.428、7.20 g·kg^{-1}; 水解 N、速效 P和速效 K含量分别为 158.05、1.75、18.00 mg·kg^{-1}。

试验林为 5年生移植母竹造林竹林, 株行距为 5 m × 5 m, 即密度为 400株·hm^{-2}。造林前期 (造林后 1~3 a)每年春季施肥、除草 1次, 4~5 a每年春除草 1次, 施肥 3次, 分别于 3月中下旬、6月上旬和 8月上旬进行。竹林每丛留 3株, 分别为 1 a竹 2株, 2 a竹 1株。

2　研究方法

2.1　试验设计

2.1.1　*回归正交试验设计*　采用二因子二次回归正交试验设计[18~21], 如表 1。每个试验处理选取生长基本一致的 5丛麻竹, 上下成一直线排列, 共 45丛。

表 1　试验设计结构矩阵

处理	X_0	X_1	X_2	X_1^2	X_2^2	X_1X_2
1	1	-1	-1	1	1	1
2	1	0	-1	-2	1	0
3	1	1	-1	1	1	-1
4	1	-1	0	1	-2	0
5	1	0	0	-2	-2	0
6	1	1	0	1	-2	0
7	1	-1	1	1	1	-1
8	1	0	1	-2	1	0
9	1	1	1	1	1	1

注: X_1—花生饼肥, X_1(-1)为 4 t·hm^{-2}, 即 10 kg·丛$^{-1}$, X_1(0)为 8 t·hm^{-2}, 即 20 kg·丛$^{-1}$, X_1(1)为 12 t·hm^{-2}, 即 30 kg·丛$^{-1}$; X_2—生长调节剂为 1 000 mg·kg^{-1}(0.5 IAA + NAA), X_2(-1)为 2.4 L·hm^{-2}, 即 6 mL·丛$^{-1}$, X_2(0) 6 L·hm^{-2}, 即 15 mL·丛$^{-1}$, X_2(1) 9.4 L·hm^{-2}, 即 24 mL·丛$^{-1}$。

有机肥为花生饼肥, 测定其元素浓度分别是 N、P(P_2O_5)、K(K_2O)分别为 63.0 g·kg^{-1}、11.7 g·kg^{-1}、13.4 g·kg^{-1}。

2.1.2　*施肥方法*　花生饼肥采用竹丛四周挖沟施肥, 并用土覆盖, 生长调节剂采用竹秆基部钻孔注射法, 后用土堵孔。

2000年 4月建立试验林, 竹林在 3月下旬施过 1次无机肥, 施肥量为 0.4 t·hm^{-2}尿素和 0.2 t·hm^{-2}氯化钾。2000年 4月按试验设计量采用注射施用生长调节剂, 6月施用花生饼肥, 三个水平的施用量分别为 2、4、6 t·hm^{-2}。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2001年 3月中旬按试验设计注射生长调节剂，同时施用花生饼肥，3个水平的施用量分别为 2、4、6 t• hm^{-2}，6月只施 1次花生饼肥，3个水平的施用量分别为 2、4、6 t• hm^{-2}。

2.1.3 出笋量观测及出笋期划分 按竹农的挖笋时间挖笋，由专人负责记录、称量每次每丛竹挖笋重量和挖笋数，按福建省漳州市麻竹笋收购标准挖笋，即高径比小于 2.5。6月中旬至 10月中旬挖笋。

2001年 7月 9日前为出笋前期，7月 10日至 8月 15日为出笋盛期，8月 16日至 10月为发笋末期。

2.2 数据处理

二次回归方程的一般式为：

$$\hat{y} = b_o + \sum_{j=1}^{p} b_j X_j + \sum_{i<j}^{p} b_{ij} X_i X_j + \sum_{j=1}^{p} b_{jj} X_i^2$$

要获得上式中 p 个变量的二次回归方程式，试验次数应不小于回归系数，即 q 次，其中：$q = 1 + p + c_p^2 + p = c_{p+2}^2$；且为计算出二次回归方程式中的系数，每个变量所取的水平数应不小于 3。

根据二次回归正交设计结构的正交性，只有对角线上各项的值，其它各项均为 0，即：

$$\begin{cases} N b'_o + 0 + 0 + \cdots + 0 = \Sigma y \\ 0 + (\Sigma X_j^2) b_1 + 0 + \cdots + 0 = \Sigma X_{1j} y \\ 0 + 0 + (\Sigma X_{1j}^2) b_2 + \cdots + 0 = \Sigma X_{1j} Y \\ \vdots \qquad\qquad \vdots \\ 0 + \cdots + (\Sigma X_{pj}^2) b_p + \cdots + 0 = \Sigma X_{pj} y \\ 0 + \cdots + [\Sigma (X_{1j} X_{2j})^2] b_{12} + \cdots + 0 = \Sigma X_{1j} X_{2j} y \\ \vdots \qquad\qquad \vdots \\ 0 + \cdots\cdots + (\Sigma X'_{ij})^2 b_{ij} = \Sigma X_{ij} y \end{cases}$$

解以上方程得：

$$b'_o = \frac{1}{N} \Sigma y = \Sigma \bar{Y};\ b_j = \frac{\Sigma X_{aj} Y}{\Sigma (X_{aj})^2}$$

$$b_{ij} = \frac{\Sigma (X_{ai} X_{aj} y)}{\Sigma (X_{aj} X_{ai})^2}\ \ i \neq j;\ b_{jj} = \frac{\Sigma X'_{aj} y}{\Sigma (X'_{aj})^2}$$

从而可得方程式：

$$\hat{y} = b'_o + \Sigma b_j X_j + \Sigma b_{ij} X_i X_j + \Sigma b_{jj} X'_j$$

将 $x'_{a1} = X_{aj}^2 - \frac{1}{N} \Sigma X_{aj}^2$ 代入方程后整理得：

$$\hat{y} = b_0 + \Sigma b_j X_j + \Sigma b_{ij} X_i X_j + \Sigma b_{jj} X_j^2$$

式中：$b_0 = \bar{y} - \frac{\Sigma X_{aj}^2}{N} \Sigma b_{jj}$

3 结果与分析

3.1 竹笋产量因子分析

3.1.1 竹笋产量 从 9个试验处理看，平均总产量为 15 859 kg• hm^{-2}，以处理 6为最高，达 25 440 kg• hm^{-2}，处理 7最低，产量为 11 451 kg• hm^{-2}（表 2）。各时期产量与施肥量的回归方程如下：

初期笋产量回归方程为：

$$Y = 2\,301.00 + 204.17X_1 - 27.83X_2 - 278.25X_1X_2 - 321.50X_1^2 - 479.50X_2^2$$

盛期笋产量的回归方程：

$$Y = 12\,018.33 + 2\,722.83X_1 - 27.50X_2 + 95.75X_1X_2 + 2\,553.50X_1^2 - 4\,208.50X_2^2$$

末期笋产量的回归方程：

$$Y = 3\,168.33 + 825.00X_1 - 17.67X_2 + 49.75X_1X_2 - 872.00X_1^2 - 770.00X_2^2$$

笋总产量的回归方程：

$$Y = 18\,591.00 + 3\,752.00X_1 - 73.00X_2 - 132.75X_1X_2 + 1\,360.00X_1^2 - 5\,458.00X_2^2$$

由方差分析显示：盛期出笋量回归达 0.1水平显著，总产量回归显著（表 3）。

表 2 不同处理不同出笋时期的竹笋产量

处理	初期		盛期		末期		总产量 /(kg• hm^{-2})
	产量 /(kg• hm^{-2})	%	产量 /(kg• hm^{-2})	%	产量 /(kg• hm^{-2})	%	
1	617	5.38	9 880	86.18	968	8.44	11 465
2	1 976	14.94	8 448	63.88	2 800	21.17	13 224
3	2 312	13.10	13 601	77.06	1 736	9.84	17 649
4	2 724	18.45	10 952	74.18	1 089	7.38	14 765
5	1 864	10.19	14 056	76.86	2 368	12.95	18 288
6	1 672	6.57	19 464	76.51	4 304	16.92	25 440
7	1 026	8.96	9 608	83.91	817	7.13	11 451
8	2 104	15.77	8 444	63.27	2 797	20.96	13 345
9	1 608	9.40	13 712	80.17	1 784	10.43	17 104
平均	1 767	11.14	12 018	75.78	2 074	13.08	15 859

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

从方差分析表 3中各项回归检验看, 盛期笋产量的 X_1和 X_2^2项回归显著; 从总产量的回归方程看, 回归显著; 从各回归项看, X_1和 X_2^2项回归显著, 这说明施用有机肥和生长调节剂对竹笋盛期笋产量及总产量有显著影响, 从各施肥处理笋产量看, 麻竹笋产量随有机肥施用量的增加而升高, 生长调节剂浓度为 1 000 mg• kg^{-1}、施用量为 6 L• hm^{-2}的平均产量较高。

表 3　竹笋产量回归关系方差分析结果

回归项	自由度	F值				临界值
		初期	盛期	末期	总产量	
X_1	1	0.37	14.80*	3.74	32.48*	$F_{0.1}(1,3)=5.5$
X_2	1	0.01	0.00	0.00	0.01	$F_{0.05}(1,3)=10.1$
X_1X_2	1	0.45	0.01	0.01	0.03	$F_{0.01}(1,3)=34.1$
X_1^2	1	0.30	4.34	1.39	1.42	$F_{0.1}(5,3)=5.3$
X_2^2	1	0.67	11.78*	1.08	22.91*	$F_{0.05}(5,3)=9.0$
回归	5	0.36	6.19	1.24	11.37*	$F_{0.01}(5,3)=28.2$

为进一步简化方程, 对作用不显著的回归项从回归方程中除去, 将平方和及自由度并入剩余项, 而把 F 值大于 1的项保留在回归方程中, 进行二次方差分析。

表 4　回归关系的二次方差分析结果

回归项	自由度	F值		临界值
		盛期产量	总产量	
X_1	1	24.55**	53.43**	$F_{0.05}(1,5)=6.6$
X_1^2	1	7.20*	2.34	$F_{0.01}(1,5)=16.3$
X_2^2	1	19.55**	37.69**	$F_{0.05}(3,5)=5.4$
回归	3	17.10**	31.15**	$F_{0.01}(3,5)=12.1$

第 2次方差分析结果显示 (表 4): 盛期笋产量和总产量回归达极显著。这表明 X_1 (有机肥)、X_2 (生长调节剂)与竹笋产量存在显著的回归关系, 其中, 对盛期而言, X_1、X_2^2项回归达极显著, X_1^2项达显著; 对总产量而言, X_1、X_2^2项回归达极显著。故盛期和总产量的回归方程优化为:

盛期笋产量回归方程优化为:

$$Y=12\,018.33+2\,722.83X_1+2\,553.50X_1^2-4\,208.50X_2^2$$

笋总产量回归方程优化为:

$$Y=18\,591.00+3\,752.00X_1+1\,360.00X_1^2-5\,458.00X_2^2$$

以上各式中: X_1、X_2分别表示有机肥和生长调节剂的编码值。

将上述方程编码值换算成施肥量得出如下施用有机肥和生长调节剂的回归方程。

盛期竹笋产量的回归方程:

$$Y=6\,199.72-1\,872.79X_1+3\,896.76X_2+159.59X_1^2-324.73X_2^2$$

总产量的回归方程:

$$Y=4\,097.89-422.00X_1+5\,053.70X_2+85.00X_1^2-421.14X_2^2$$

式中: X_1、X_2分别表示有机肥 (t• hm^{-2})和 1 000 mg• kg^{-1}生长调节剂 (L• hm^{-2})的量。

3.1.2　麻竹有机肥和生长调节剂最佳施用方案的确定

竹笋总产量的回归方程:

$$Y=18\,591.00+3\,752.00X_1+1\,360.00X_1^2-5\,458.00X_2^2$$

求一阶偏导数:

Y对 X_1求一阶偏导数

$$(\partial y/\partial x_1)=3\,752.00+2\,720.00x_1$$

Y对 X_2求一阶偏导数

$$(\partial y/\partial x_2)=-10\,916.00x_2$$

最佳施肥方案是边际产量等于边际成本时的施肥量, 它受边际产量、产品价格、肥料价格的制约, 因此, 有关系式:

$$(\partial y/\partial x_1)=Px_1/Py=1.80/1.10=1.636$$

$$(\partial y/\partial x_2)=Px_2/Py=18.4/1.10=16.73$$

式中 $\partial y/\partial x_1$和 $\partial y/\partial x_2$是有机肥和生长调节剂的边际产量, Px_1、Px_2为有机肥和生长调节剂的价格, 分别为 1.80元• kg^{-1}和 18.4元• L^{-1}, Py为竹笋价格, 为 1.10元• kg^{-1}, 建立方程求解得: $x_1=-1.378\,8$, $x_2=-0.001\,533$, 将这些编码值换算成施肥量可求得有机肥的最佳施肥量为 2 484.8 kg• hm^{-2}, 生长调节剂为 6.006 L• hm^{-2}。

3.1.3　最高产量施肥方案的确定　同样对所建立的回归方程求 y 对 x 的一阶导数, 当产量最高时, 有:

$$(\partial y/\partial x_1)=0\quad(\partial y/\partial x_2)=0$$

求解得: $x_1=-1.379\,4$, $x_2=0$, 将这些编码值换算成施肥量可得有机肥施肥量为 2 482.35 kg• hm^{-2}, 生长调节剂量为 6 L• hm^{-2}。在这一施肥水平下, 鲜笋产量为 18 735.22 kg• hm^{-2}。

3.2　不同施肥处理挖笋数量分析

挖笋数量是竹林产量的一个基本指标, 也是竹林经营效益的一个重要因子。另外, 竹林各时期挖

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

笋数量可以反映不同处理的竹笋利用动态。经测定,各时期挖笋数量见表 5。

表 5 不同处理不同出笋期挖笋数量

处理	初期		盛期		末期		总数/个
	笋数/个	%	笋数/个	%	笋数/个	%	
1	320	3.92	6 800	83.33	1 040	12.75	8 160
2	1 280	15.38	5 440	65.38	2 400	26.32	9 120
3	1 520	12.10	9 600	76.43	1 440	11.46	12 560
4	1 600	16.95	6 880	72.88	960	10.17	9 440
5	960	8.22	8 400	71.92	2 320	19.86	11 680
6	720	4.69	11 440	74.48	3 200	20.83	15 360
7	880	11.22	6 320	80.61	640	8.16	7 840
8	1 360	15.74	5 360	62.04	1 920	22.22	8 640
9	1 040	8.61	9 360	77.48	1 680	13.91	12 080
平均	1 076	10.29	7 733	73.98	1 733	16.44	10 542

经回归分析,麻竹各时期挖笋数量的回归方程如下:

初期挖笋数量的回归方程:

$$Y = 1\ 217.78 + 80.00X_1 + 26.67X_2 - 260.00X_1X_2 - 186.67X_1^2 - 26.67X_2^2$$

盛期挖笋数量的回归方程:

$$Y = 7\ 573.33 + 1\ 733.33X_1 - 133.33X_2 + 60.00X_1X_2 + 2\ 000.00X_1^2 - 1\ 760.00X_2^2$$

末期挖笋数量的回归方程:

$$Y = 2\ 640.00 + 613.33X_1 - 106.67X_2 + 160.00X_1X_2 - 720.00X_1^2 - 640.00X_2^2$$

挖笋总量的回归方程:

$$Y = 11\ 431.11 + 2\ 426.67X_1 - 213.33X_2 - 40.00X_1X_2 + 1\ 093.33X_1^2 - 2\ 426.67X_2^2$$

式中: X_1、X_2分别表示有机肥和生长调节剂的编码值。

对各时期出笋数的回归方程进行方差分析,结果表明:盛期出笋数回归达 0.1水平显著,总数量回归显著。

从方差分析表(表 6)中各项回归检验看,盛期笋数量的 X_1项回归显著;竹笋总数量回归方程的各回归项看,X_1和 X_2^2项回归显著,这说明施用有机肥和生长调节剂对竹笋产笋数有显著影响,从各处理笋数量看,麻竹产笋数随有机肥施用量的增加而升高,生长调节剂浓度为 1 000 mg·kg^{-1}、施用量为 6 L·hm^{-2}的平均数量较高。

表 6 回归分析的方差分析

回归项	自由度	F值				临界值
		初期	盛期	末期	总数	
X_1	1	0.12	21.98*	6.43	106.55**	$F_{0.1}(1,3)=5.5$
X_2	1	0.01	0.13	0.19	0.82	$F_{0.05}(1,3)=10.1$
X_1X_2	1	0.84	0.02	0.29	0.02	$F_{0.01}(1,3)=34.1$
X_1^2	1	0.22	9.76	2.95	7.21	$F_{0.1}(5,3)=5.3$
X_2^2	1	0.00	7.55	2.33	35.52**	$F_{0.05}(5,3)=9.0$
回归	5	0.24	7.89	2.44	30.02**	$F_{0.01}(5,3)=28.2$

为进一步简化方程,将回归方程达 0.1水平显著的盛期笋数量回归方程和总数量回归方程各回归项简化,从回归方程中除去作用不显著的回归项,将平方和及自由度并入剩余项,而把 F 值大于 1的项保留在回归方程中,进行二次方差分析。

表 7 回归关系的二次方差分析

回归项	自由度	F值		临界值
		盛期	总数	
X_1	1	34.92**	138.63**	$F_{0.05}(1,5)=6.6$
X_1^2	1	15.50*	9.38*	$F_{0.01}(1,5)=16.3$
X_2^2	1	12.00*	46.21**	$F_{0.05}(3,5)=5.4$
回归	3	20.80**	64.74**	$F_{0.01}(3,5)=12.1$

从二次方差分析的结果可看出,盛期和 3个时期的总数量方程回归达极显著,这说明 X_1、X_2对挖笋数量的影响显著,回归方程中各回归项达显著水平。

盛期挖笋数量的优化回归方程为:

$$Y = 7\ 573.33 + 1\ 733.33X_1 + 2\ 000.00X_1^2 - 1\ 760.00X_2^2$$

挖笋总量的优化回归方程:

$$Y = 11\ 431.11 + 2\ 426.67X_1 + 1\ 093.33X_1^2 - 2\ 426.67X_2^2$$

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

式中: X_1、X_2分别表示有机肥和生长调节剂的编码值。

将上述方程编码值换算成实际施肥量得出如下施用有机肥和生长调节剂的回归方程。

盛期数量优化回归方程:

$$Y = 7\ 057.78 - 1\ 566.67X_1 + 1\ 629.63X_2 + 125.00X_1^2 - 135.80X_2^2$$

总数优化回归方程:

$$Y = 5\ 099.26 - 486.67X_1 + 2\ 246.91X_2 + 68.33X_1^2 - 187.24X_2^2$$

式中: X_1、X_2分别表示有机肥 ($t \cdot hm^{-2}$)和 1 000 $mg \cdot kg^{-1}$生长调节剂 ($L \cdot hm^{-2}$)的量。

3.3 不同处理竹笋个体质量分析

麻竹笋个体质量是竹笋质量的一个重要形态指标, 它直接影响竹林经营经济效益, 各时期竹笋的个体质量如表 8。

表 8　竹笋个体质量　　kg/个$^{-1}$

处理	初期	盛期	末期	平均
1	1.93	1.45	0.93	1.41
2	1.54	1.55	1.17	1.45
3	1.52	1.42	1.21	1.41
4	1.70	1.59	1.13	1.56
5	1.94	1.67	1.02	1.57
6	2.32	1.70	1.35	1.66
7	1.17	1.52	1.28	1.46
8	1.55	1.58	1.46	1.54
9	1.55	1.46	1.06	1.42
平均	1.64	1.55	1.18	1.50

为进一步分析施用有机肥和生长调节剂对麻竹各时期竹笋个体质量的影响, 进行了回归分析。

麻竹初期笋个体质量回归方程:

$$Y = 1.975\ 4 + 0.098\ 8X_1 - 0.122\ 3X_2 + 0.1968X_1X_2 + 0.020\ 2X_1^2 - 0.446\ 8X_2^2$$

麻竹盛期笋个体质量回归方程:

$$Y = 1.706\ 1 + 0.003\ 0X_1 + 0.023\ 0X_2 - 0.004\ 8X_1X_2 - 0.075\ 9X_1^2 - 0.158\ 3X_2^2$$

麻竹末期笋个体质量回归方程:

$$Y = 1.2045 + 0.045\ 1X_1 + 0.081\ 5X_2 - 0.122\ 4X_1X_2 - 0.056\ 8X_1^2 + 0.016\ 9X_2^2$$

麻竹发笋期笋个体平均质量的回归方程:

$$Y = 1.616\ 91 + 0.007\ 9X_1 + 0.026\ 8X_2 - 0.011\ 2X_1X_2 - 0.035\ 6X_1^2 - 0.148\ 5X_2^2$$

式中: X_1、X_2分别表示有机肥和生长调节剂的编码值。

从各时期出笋数回归关系的方差分析看, 各时期个体质量回归方程都未达显著水平, 从方差分析表 (表 9)中各项回归检验看, 盛期笋个体质量 X_2^2 项回归显著, 其它各项回归都未达显著水平。

从麻竹有机肥及生长调节剂的施用效应上看, 施肥主要对麻竹出笋数量和产量有较大的促进作用, 但对竹笋个体的质量改良效果不显著, 这与李睿等[22]对毛竹施肥的研究结果相似。

表 9　竹笋个体质量回归关系的方差分析

回归项	自由度	F 值				临界值
		初期	盛期	末期	平均	
X_1	1	0.96	0.02	0.37	0.09	$F_{0.1}(1, 3) = 5.54$
X_2	1	1.48	0.88	1.21	1.08	$F_{0.05}(1, 3) = 10.1$
X_1X_2	1	2.55	0.03	1.83	0.13	$F_{0.01}(1, 3) = 34.1$
X_1^2	1	0.01	3.18	0.20	0.63	$F_{0.1}(5, 3) = 5.3$
X_2^2	1	6.57	13.84*	0.02	11.00*	$F_{0.05}(5, 3) = 9.0$
回归	5	2.32	3.59	0.73	2.59	$F_{0.01}(5, 3) = 28.2$

3.4 经济效益分析

9个处理收益的变化范围为 - 5 699 ~ 7 310 元 · hm^{-2} (表 10、11), 这说明有机肥和生长调节剂

表 10　麻竹笋用林不同处理的经济投入　　元 · hm^{-2}

处理	有机肥	施用调节剂	调节剂费用	除草、翻土	地租	造林	小计
1	7 760	44.2	375	200	450	900	9 729.2
2	15 520	44.2	375	200	450	900	17 489.2
3	23 280	44.2	375	200	450	900	25 249.2
4	7 760	110.4	375	200	450	900	9 795.4
5	15 520	110.4	375	200	450	900	17 555.4
6	23 280	110.4	375	200	450	900	25 315.4
7	7 760	173.0	375	200	450	900	9 858.0
8	15 520	173.0	375	200	450	900	17 618.0
9	23 280	173.0	375	200	450	900	25 378.0
平均	15 520	109.2	375	200	450	900	17 554.2

注: 花生饼肥按 1.94元 · kg^{-1}计算 (已包含运输费 0.08元 · kg^{-1}, 施肥 0.06元 · kg^{-1}); IAA为 16元 · g^{-1}、NAA: 12元 · g^{-1}; 除草、翻土 200元 · hm^{-2}, 地租按林场 450元 · hm^{-2}。造林按造价 9 000元 · hm^{-2}, 每年按 10% 计算。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 11 不同处理的收益计算 元. hm^{-2}

处理	笋收益	竹材收益	总计	纯收益
1	12 611.5	864.1	13 475.6	3 746.4
2	14 546.4	864.1	15 410.5	-2 078.7
3	19 413.9	864.1	20 278.0	-4 971.2
4	16 241.5	864.1	17 105.6	7 310.2
5	20 116.8	864.1	20 980.9	3 425.5
6	27 984.0	864.1	28 848.1	3 532.7
7	12 596.1	864.1	13 460.2	3 602.2
8	14 679.5	864.1	15 543.6	-2 074.4
9	18 814.4	864.1	19 678.5	-5 699.5
平均	17 444.9	864.1	18 309	754.8

注: 竹笋价格按 1.10元· kg^{-1}计算 (已扣除挖工和运输费用共 0.20元· kg^{-1}); 竹材按每丛年砍竹 2株, 扣除砍竹和运费后按 0.08元· kg^{-1}计算。

的配合施用应慎重, 否则将会出现亏损。从各处理收益与有机肥和生长调节剂的施用量看, 有机肥施用量低的处理具有较好的经济效益, 生长调节剂的施肥量以 6 L· hm^{-2}的为好。麻竹林施用有机肥和生长调节剂经济效益较差的主要原因是有机肥的成本较高, 而有机肥分解被竹林吸收的速率较慢, 所以在短期内竹笋产量不高, 效益不好, 但从林地的长期利用看, 有机肥对林地土壤的理化性质具有一定的改善作用, 有利于林地永续利用。

为进一步分析施用有机肥和生长调节剂对竹林经济效益的影响, 对竹林收益进行回归分析, 方程为:

$$Y = 3\ 758.80 - 3\ 632.80X_1 - 144.70X_2 - 146.03X_1X_2 + 1\ 496.00X_1^2 - 6\ 001.96X_2^2$$

式中: X_1、X_2分别表示有机肥和生长调节剂的编码值。

从方差分析结果 (表 12)看, 回归显著, 说明施用 X_1(有机肥)、X_2(生长调节剂)对竹林经济效益的影响显著; 其中, 回归方程的 X_1和 X_2^2 项回归显著。

表 12 回归关系的方差分析

回归项	偏差平方	自由度	均方	F值	临界值
X_1	79 183 415	1	79 183 415	25.16*	$F_{0.1}(1,3)=5.5$
X_2	125 629	1	125 629	0.04	$F_{0.05}(1,3)=10.1$
X_1X_2	85 293	1	85 293	0.03	$F_{0.01}(1,3)=34.1$
X_1^2	4 476 032	1	4 476 032	1.42	$F_{0.1}(5,3)=5.3$
X_2^2	72 047 048	1	72 047 048	22.90*	$F_{0.05}(5,3)=9.0$
回归	155 917 416	5	31 183 483	9.91*	$F_{0.01}(5,3)=28.2$
剩	9 439 776	3	3 146 592		

为进一步简化方程, 对作用不显著的回归项从回归方程中除去, 将平方和及自由度并入剩余项, 而把 F 值大于 1的项保留在回归方程中, 进行二次方差分析。

从二次方差分析结果 (表 13)可看出, 竹林经济效益的回归达极显著, 这说明 X_1(有机肥)、X_2(生长调节剂)对麻竹林经营收益的影响显著, 回归方程中 X_1、X_2^2 项达极显著水平。

表 13 回归关系的二次方差分析

回归项	偏差平方	自由度	均方	F值	临界值
X_1	79 183 415.0	1	79 183 415.0	41.02**	$F_{0.05}(1,5)=6.6$
X_1^2	4 476 032.0	1	44 760 32.0	2.32	$F_{0.01}(1,5)=16.3$
X_2^2	72 047 047.7	1	72 047 047.7	37.33**	$F_{0.05}(3,5)=5.4$
回归	155 706 494.7	3	51 902 164.9	26.89**	$F_{0.01}(3,5)=12.1$
剩余	9 650 697.7	5	1 930 139.5		

优化后的回归方程为:

$$Y = 3\ 758.80 - 3\ 632.80X_1 + 1\ 496.00X_1^2 - 6\ 001.96X_2^2$$

式中: X_1、X_2分别表示有机肥和生长调节剂的编码值。

将上述方程编码值换算成实际施肥量得出如下施用有机肥和生长调节剂的回归方程:

$$Y = 3\ 340.26 - 2\ 404.20X_1 + 16\ 672.11X_2 + 93.50X_1^2 - 4168.03X_2^2$$

式中: X_1、X_2分别表示有机肥 (t· hm^{-2})和 1 000 mg· kg^{-1}生长调节剂 (L· hm^{-2})的量。

4 小结

不同处理的麻竹林竹笋产量、挖笋数量、竹笋个体质量变化范围分别为 11 451~25 440 kg· hm^{-2}、7 840~15 360个· hm^{-2}、1.41~1.66 kg· 个$^{-1}$; 有机肥和生长调节剂对竹笋产量和数量的影响较为显著, 竹笋产量和数量随有机肥施用量的增加而升高; 经分析, 竹笋产量、数量与施肥回归方程拟合良好; 竹笋产量回归方程为:

$$Y = 18\ 591.00 + 3\ 752.00X_{有机肥} - 73.00X_{调节剂} - 132.75X_{有机肥}X_{调节剂} + 1\ 360.00X_{有机肥}^2 - 5\ 458.00X_{调节剂}^2;$$

竹笋数量的回归方程为:

$$Y = 5\ 099.26 - 486.67X_{有机肥} + 2\ 246.91X_{调节剂} + 68.33X_{有机肥}^2 - 187.24X_{调节剂}^2$$

麻竹最佳施肥方案为有机肥施 2 484.8 kg· hm^{-2}, 生长调节剂 6 006 L· hm^{-2}; 竹笋最高产量的施肥量为有机肥 2 482.35 kg· hm^{-2}, 生长调节剂量为 6 L· hm^{-2}。

各处理麻竹施肥纯收益的变化范围为 -5 699.5~7 310.2元· hm^{-2}, 麻竹施肥对竹林经营收益影响显著, 竹林施用有机肥和生长调节剂与

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

竹林纯收益的回归关系方程拟合良好。施用有机肥和生长调节剂与竹林经济效益的方程为:

$$Y = 3\ 758.80 - 3\ 632.80X_{有机肥} - 144.70X_{调节剂} - 146.03X_{有机肥}X_{调节剂} + 1\ 496.00X^2_{有机肥} - 6\ 001.96X^2_{调节剂}$$

竹林施肥的主要目的是为了竹林持续丰产、优质的竹笋, 以获得最大经济效益, 而经济效益受竹笋价格、肥料价格、经营成本等影响。本试验由于施用商品有机肥, 其价格较高, 部分施肥的经济效益出现负值。因此, 在生产实践中, 有机肥的施用一方面可通过改变有机肥施用种类, 如厩肥, 以降低有机肥成本, 同时, 还可通过控制施用量, 科学施用, 以获得较高的经济效益, 促进山地麻竹笋用林规模化的健康发展。

参考文献:

[1] 裘福庚, 马力林, 孙爱素. 用示踪原子法研究毛竹伐桩内腔施肥的初步结果 [J]. 竹子研究汇刊, 1986, 5(2): 53~58

[2] 陈金林, 张献义, 叶长青, 等. 毛竹林高产施肥技术探讨 [J]. 林业科学研究, 1996, 9(3): 323~327

[3] 楼一平, 美良如, 刘耀荣. 微肥、激素对竹鞭笋芽萌发的影响 [J]. 林业科学研究, 1997, 10(5): 541~545

[4] 汪奎宏, 高小辉, 潘金贵, 等. 毛竹施肥技术经济效果研究 [J]. 竹子研究汇刊, 1996, 15(1): 21~29

[5] 邱尔发, 郑郁善, 洪伟. 竹林施肥研究现状及探讨 [J]. 江西农业大学学报, 2001, 23(4): 551~556

[6] 邱尔发, 陈卓梅, 洪伟, 等. 山地麻竹林生态系统养分分配格局 [J]. 生态学报, 2004, 24(12): 2693~2699

[7] 邱尔发, 陈卓梅, 郑郁善, 等. 麻竹山地笋用林凋落物发生、分解及养分归还动态 [J]. 应用生态学报, 2005, 16(5): 811~814

[8] 邱尔发, 陈卓梅, 郑郁善, 等. 土壤垦复对山地麻竹林地表养分流失动态的影响 [J]. 应用生态学报, 2005, 16(6): 1017~1021

[9] 邱尔发, 洪伟, 郑郁善, 等. 麻竹山地笋用林笋期叶片光合及呼吸性状研究 [J]. 林业科学, 2001, 37(专刊 1): 148~153

[10] 邱尔发, 郑郁善, 洪伟, 等. 开花和未开花山地麻竹叶片性状比较 [J]. 福建林学院学报, 2002, 22(2): 105~108

[11] 邱尔发, 陈卓梅, 郑郁善, 等. 不同林龄山地麻竹笋用林生态系统生物量、生产力及能量结构 [J]. 林业科学研究, 2004, 17(6): 726~730

[12] 周本智, 吴良如, 邹跃国. 闽南麻竹人工林地上部分现存生物量的研究 [J]. 林业科学研究, 1999, 12(1): 47~52

[13] 梁鸿　, 陈学魁. 麻竹单株生物量模型研究 [J]. 福建林学院学报, 1998, 18(3): 260~262

[14] 肖贤坦, 马占兴, 朱培琨. 麻竹丰产林培育技术与应用 [J]. 竹类研究, 1996(1): 57~60

[15] 王存录. 麻竹的生物学特性及丰产栽培措施 [J]. 华东森林经理, 2000, 14(3): 13~15

[16] 林明添, 叶德淮, 杨生健, 等. 坡耕地麻竹高产栽培措施与效益研究 [J]. 水土保持研究, 2001, 8(2): 130~132

[17] 黄东迈. 有机肥养分循环与利用研究的回顾 [J]. 土壤通报, 1994, 25(7): 2~3

[18] 丁希泉. 农业应用回归设计 [M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1986: 74~85

[19] 杨义群, 肖俊章, 白厚义. 回归设计及多元分析——在农业中的应用 [M]. 陕西: 天则出版社, 1990: 31~61

[20] 洪伟. 林业试验设计技术与方法 [M]. 北京: 科学技术出版社, 1993

[21] 茆诗松, 丁元, 周芗, 等. 回归分析及其试验设计 [M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1983: 162~188

[22] 李睿, M J A 维尔格, 钟章成. 施肥对毛竹 (*Phyllostachys pubescens*) 竹笋生长的影响 [J]. 植物生态学报, 1997, 21(1): 19~26

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net