

冲积土区域绿竹氮磷钾施肥反应及其最优施肥参数的研究*

洪 伟 陈 辉 吴承祯** 林勇明
(福建农林大学森林生态研究所 福州 350002)

摘 要 以 N、P、K 肥为原料,并辅以微量元素和生长调节剂,应用混料试验设计方法研究建立了冲积土区域绿竹施肥 N、P、K 配方与经济收益之间数学反应模型,并以计算机模拟优化筛选出适用于冲积土绿竹种植最优施肥参数即专用复合肥最佳配方,预期可提高经济收益 30%左右。
关键词 绿竹 冲积土 单形格子法 平衡施肥 模拟

Effects of N,P,K application and their optimum fertilization parameters for *Sinocalamue oldhami* in alluvion soil area .
HONG Wei,CHEN Hui,WU Cheng-Zhen,LIN Yong-Ming(Institute of Forest Ecology,Fujian Agricultural and Forestry University,Fuzhou 350002,China), *CJEA*,2006,14(2):88~91
Abstract According to mixed design method,assisted by minor element and growth regulator,the fertilizer experiments of N,P and K are conducted for *Sinocalamue oldhami* planted in alluvion soil area,the mathematical reflecting models of prescription of fertilization for *Sinocalamue oldhami* planted in alluvion soil area and economic benefit are established ,and the optimum fertilization parameters for *Sinocalamue oldhami* planted in alluvion soil area are formed by computer simulation and optimization .After applying this compound fertilizer,the economic benefit of *Sinocalamue oldhami* forest planted in alluvion soil area will increase about 30% .
Key words *Sinocalamue oldhami*, Alluvion soil, Simplex check,Balance fertilizing,Simulating
(Received Dec .11,2004;revised Feb .7,2005)

绿竹是南亚热带优良的笋用丛生竹种,属禾本科慈竹属,喜温好湿,适种范围很广,江畔溪畔、丘陵山脚、田边地块、园边路旁和房前屋后均可种植^[1]。绿竹笋产量高,甘甜可口、清凉解暑、降压降脂,是上等美味佳肴,加工成的笋丝、笋干、罐头均为市场紧俏商品。绿竹叶可入药,竹材可加工成竹串、竹香芯和竹工艺品等,同时亦是造纸上等原料。目前国内外对绿竹的丰产栽培技术研究已见诸报道^[2~6],而有关绿竹专用肥的研究开发目前尚未见报道。本研究建立了适用于冲积土区域绿竹 N、P、K 施肥反应数学模型,并通过计算机仿真技术^[7]确定其最优施肥参数,为研制开发绿竹专用复合肥提供理论依据。

1 研究区域概况与研究方法

试验地位于闽东沿海的福建省福安市,地处东经 119°23'~119°52',北纬 26°41'~27°24',属中亚热带季风气候,光照充足,雨量充沛,年降雨量 1350~2050mm(主要集中在 3~9 月份,占全年降水的 80%),年均相对湿度 78%~83%,年均气温 15~20℃,1 月平均气温 8~10℃,7 月平均气温 24~30℃,极端最高温度 43.2℃,极端最低温度 -5.2℃,年日照时数达 1905.82h,年均无霜期 285d。福安市上规模连片种植的绿竹林面积达 3000 多 hm²(其中市内赛江两岸和 104 国道两侧基本形成 1 条百里绿竹长廊),绿竹种植面积和产量均居全国县市之首,为我国县级最大的绿竹生产基地。供试冲积土有机质含量为 16.561g/kg,全 N 0.899g/kg,全 P 0.299g/kg,全 K 14.402g/kg,速效氮 113.769mg/kg,速效磷 0.482mg/kg,速效钾 37.221mg/kg,pH 值为 5.37。

表 1 绿竹施肥 {3,2} 设计表

Tab.1 Design table of fertilization for *Sinocalamue oldhami* forest

试验号 No. of experiment	X ₁ (N)	X ₂ (P)	X ₃ (K)	观察值 Observed value
1	1	0	0	Y ₁
2	0	1	0	Y ₂
3	0	0	1	Y ₃
4	1/2	1/2	0	Y ₄
5	1/2	0	1/2	Y ₅
6	0	1/2	1/2	Y ₆

* 福建省教育厅重大项目(JA99191、K99064)、福建省科技厅重大项目(2001F007、2001Z025)和中国博士后科研基金项目资助
** 通讯作者
收稿日期:2004-12-11 改回日期:2005-02-07

结合绿竹经营施肥经验及绿竹生长所必需的营养元素,本试验选用尿素、过磷酸钙、硫酸钾、硫酸亚铁、硫酸铜、硫酸锌、硫酸锰等 N、P、K 肥和微肥及生长调节剂,并采用混料试验设计中单形格子设计($\{P, 2\}$ 设计)。由于主要对 N、P、K 3 种肥料配方进行优化,其他微肥和生长调节剂仅作辅助原料,故选用 $\{3, 2\}$ 设计^[8],对 $\{3, 2\}$ 设计包含 $\{3, 1\}$ 的 P 个点设计和 $(1/2, 1/2, 0)$ 排列表示的 C_P^2 个点设计见表 1。 $\{3, 2\}$ 单形格子的正则多项式模型为:

$$y = E(y) = \sum_1^3 \beta_i x_i + \sum_j^p \beta_{ij} x_i x_j = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 \quad (1)$$

其成分取值 $x_i = 0, 1/2, 1$ 。单形格子设计方案中所安排的试验成分取值多为 0 或 1,但混料设计中并非如此,因此必须进行编码交换,将编码值变换成试验真正成分^[9]。编码交换中因子成分的最小值 α_1 、 α_2 、 α_3 定为 $\alpha_1 = 0.25$ 、 $\alpha_2 = 0.10$ 和 $\alpha_3 = 0.35$,据此求出 $\{3, 2\}$ 设计表中不同 x_i 所对应实际成分,并以未施肥作对照(CK,见表 2)。按尿素含 N46%、过磷酸钙含 P_2O_5 14%和 K_2SO_4 含 K_2O 54%计,并经 1kg 有效成分计算,假设试验 1 ~ 6 号方案每丛每株绿竹年施肥 0.3333kg,对照(CK)未施肥(见表 2),每方案重复 2 次。冲积土区域绿竹为 4 ~ 5 年生(即已开始正式投产),每丛保留绿竹 6 株,其余株数割去,施肥小区随机区组设计,施肥分 3 次进行,分别占施肥总量的 40%、30% 和 30%。田间施肥试验为 1999 ~ 2002 年,每年施肥前对试地进行 1 次全面翻土松土,消除杂草灌木,施肥时在竹丛四周开沟(距竹蔸 40cm 开环状沟,沟深 15cm)将化肥撒入沟内后覆土(应注意肥料不直接与嫩笋接触,以防嫩笋萎缩死亡)。施肥 1 年分 3 次(2 月 25 日 ~ 3 月 5 日、4 月 10 ~ 20 日、6 月 10 ~ 20 日)进行,每次施肥种类及其用量必须严格按表 2 设计进行。

自出笋开始至发笋结束详细调查每处理出笋量,记录挖笋情况并逐个称重以统计每处理样竹出笋量;年末调查新竹数量及每竹大小,并用郑郁善等^[11]建立的绿竹单株生物量模型估算新竹生物量。调查绿笋、竹材市场价格(绿竹笋平均市价为 3.0 元/kg,竹材为 0.12 元/kg),每配方施肥经济收益按笋重(kg) $\times$ 3.0 元/kg + 新竹重(kg) $\times$ 0.12 元/kg 计,以 4 年绿竹经济收益平均值作为配方施肥 4 年平均收益值(见表 3),并以此为基础数据建立配方施肥与经济收益之间数学模型。

表 3 施肥效果

Tab.3 The effect of fertilization

指 标	配方施肥 Fertilizer in each prescription						对 照
	1	2	3	4	5	6	
Indexes							Control
笋 重/ kg·丛 ⁻¹	重复	6.05	4.30	10.45	9.15	9.65	6.70
	重复	6.50	9.05	9.40	7.75	8.80	4.90
	平 均	6.28	6.68	9.93	8.45	9.23	5.80
新竹重/ kg·丛 ⁻¹	重复	24.53	32.66	32.84	32.84	57.47	41.35
	重复	24.73	33.02	65.68	16.42	16.42	40.75
	平 均	24.63	32.84	49.26	24.63	36.95	41.05
价 值/ 元·丛 ⁻¹	重复	21.11	16.84	35.29	31.39	35.85	25.03
	重复	22.46	31.09	36.08	25.22	28.37	19.63
	平 均	21.79	23.97	35.69	28.31	32.11	22.33

表 4 施肥效果比较

Tab.4 Comparison among fertilization effects

效 果	配方施肥		对 照(CK)	比 较值/ %	
Results	Fertilizer in each prescription		Control	Compared value	
	平均值 (珞)	最高值(x_m)		珞 CK	x_m/ CK
	Mean value	Maximal value			
笋 重/ kg·丛 ⁻¹	8.24	9.93	5.80	142.07	171.21
新竹重/ kg·丛 ⁻¹	31.47	49.26	41.05	76.66	120.00
价 值/ 元·丛 ⁻¹	28.49	35.69	22.33	127.59	159.83

2 结果与分析

2.1 绿竹 N、P、K 施肥反应模式建立与检验

对单形格子设计方案与对照方案效果比较(见表 4)表明,配方施肥平均笋重比对照提高 42.1%,但新竹重低于对照,这与挖笋数量有关,经济收益增值 27.6%。最佳

方案笋重最高值比对照提高 71.2%, 新竹重则提高 20%, 故绿竹施肥可显著提高其产量和经济效益。按照单形格子设计建模方法建立各评价指标冲积土区域绿竹 N、P、K 施肥 {3, 2} 反应模式为:

$$Y_1 = 6.28 x_1 + 6.68 x_2 + 9.93 x_3 + 7.88 x_1 x_2 + 4.50 x_1 x_3 + 2.20 x_2 x_3 \tag{2}$$

$$Y_2 = 24.63 x_1 + 32.84 x_2 + 49.26 x_3 - 16.42 x_1 x_2 + 0 x_1 x_3 - 82.10 x_2 x_3 \tag{3}$$

$$Y_3 = 21.79 x_1 + 23.97 x_2 + 35.69 x_3 + 21.72 x_1 x_2 + 13.48 x_1 x_3 - 2.96 x_2 x_3 \tag{4}$$

式中, Y_1 为笋重模型(kg/ 丛), Y_2 为新竹重模型(kg/ 丛), Y_3 为绿竹林经济价值模型(元/ 丛)。由于单形格子设计中成分取值分散在几个点上, 所得回归方程是否能描述整个混料系统还必须进行适合度检验^[10]。为此选择 6 个控制点进行验证性检验, 经检验 $\Delta Y_i < 3 S_{\text{残}_i}$, 故可认为所建立的单形格子设计模型适合。

2.2 最优施肥参数模拟优化

对所建立的数学模型进行方案模拟优化, 并仅对以经济收益价值为目标函数的模型 Y_3 进行模拟优化。模型 3 的最优解, 在步长为“ 0.001 ”的 $0 \leq x_i \leq 1$ 区间内进行优化模式微机处理, 得出本试验条件下高效配方方案中价值的最大值 $Y_{\text{max}} = 35.69$ (元), 最大经济效益对应各因素编码值 $x_1 = 0$ 、 $x_2 = 0$ 、 $x_3 = 1$, 即组合方案为(0, 0, 1), 折算为尿素 0.0736kg/ 株、过磷酸钙 0.0967kg/ 株和硫酸钾 0.1630kg/ 株, 为理想最优配方即理论最优方案, 表明低水平 N 肥和 P 肥及高水平 K 肥下可望得到较大的竹林收益。施肥参数的优化, 对所建立的数学模型进行模拟检验, 共得 501501 个配套组合配方的经济收益理论值, 且其分布在 21.79 ~ 35.69 元/ 丛中, 其中经济收益为 21 ~ 22 元组合配方有 42 套, 22 ~ 23 元组合配方 1211 套, 23 ~ 24 元组合配方 3140 套, 24 ~ 25 元组合配方 8805 套, 25 ~ 26 元组合配方 18436 套, 26 ~ 27 元组合配方 30622 套, 27 ~ 28 元组合配方 49053 套, 28 ~ 29 元组合配方 85735 套, 29 ~ 30 元组合配方 79172 套, 30 ~ 31 元组合配方 65668 套, 31 ~ 32 元组合配方 54008 套, 32 ~ 33 元组合配方 43382 套, 33 ~ 34 元组合配方 33049 套, 34 ~ 35 元组合配方 22161 套, 35 ~ 36 元组合配方 7017 套, 而 28 ~ 29 元/ 丛频率分布最大, 且经济收益较大亦稳定, 符合实际。因而本研究在频率较高经济收益 28 ~ 29 元/ 丛选出 x_1 、 x_2 、 x_3 编码平均值(见表 5)作为冲积土区域绿竹最优施肥参数即 0.387、0.460 和 0.153, 其真实值为尿素 0.0636kg/ 株、过磷酸钙 0.2483kg/ 株和硫酸钾 0.0214kg/ 株, 28 ~ 29 元/ 丛经济效益方案中经济效益最大值为 29 元/ 丛, 对应方案为 (0.393, 0.506, 0.101), 每株施肥 0.333kg 的真实值为尿素 0.0612kg/ 株、过磷酸钙 0.2587kg/ 株和硫酸钾 0.0134kg/ 株, 经济收益频率最大的最优施肥参数优化区域水平的 95% 置信区间为 N 0.384 ~ 0.390、P 0.443 ~ 0.477 和 K 0.115 ~ 0.191, 其相应的 1kg 有效成分配方区间, 丰产措施为尿素 0.834 ~ 0.849、过磷酸钙 3.162 ~ 3.410 和硫酸钾 0.213 ~ 0.353, 预期推广应用该专用复合肥最佳配方, 冲积土区域绿竹可提高经济收益 30% 左右。

表 5 28 ~ 29 元/ 丛经济效益方案各因素水平频率分布

Tab.5 Frequency distribution of levels of various factors in a program for value of 28 ~ 29 yuan/ cluster						
各因子水平	x_1		x_2		x_3	
Level of factors	次数	频数	次数	频数	次数	频数
	Times	Frequency	Times	Frequency	Times	Frequency
0.0 ~ 0.1	9532	0.1112	5287	0.0617	35520	0.4143
0.1 ~ 0.2	10652	0.1242	6047	0.0705	24693	0.2880
0.2 ~ 0.3	12334	0.1439	7178	0.0837	15960	0.1862
0.3 ~ 0.4	11786	0.1375	8361	0.0975	6556	0.0765
0.4 ~ 0.5	9746	0.1137	9811	0.1144	3006	0.0351
0.5 ~ 0.6	13280	0.1549	27683	0.3229	0	0
0.6 ~ 0.7	15775	0.1840	21368	0.2492	0	0
0.7 ~ 0.8	2630	0.0307	0	0	0	0
0.8 ~ 0.9	0	0	0	0	0	0
0.9 ~ 1.0	0	0	0	0	0	0
合 计	85735	1	85735	1	85735	1
95%置信区间	0.384 ~ 0.390		0.443 ~ 0.477		0.115 ~ 0.191	
平 均 值	0.387		0.460		0.153	
丰产措施	0.834 ~ 0.849		3.162 ~ 3.410		0.213 ~ 0.353	

3 小结与讨论

一些学者在农作物施肥方面进行了大量研究工作, 并提出有关经济施肥建模方法与专用肥研制方

法^[12~16]。本研究根据单形格子混料设计理论, 试验研究建立了冲积土区域绿竹林 N、P、K 施肥与产量(出笋量、新竹重、经济价值)关系反应模式, 以计算机模拟优化选出可行性良好、理想的适用于冲积土区域绿竹最优施肥参数——即专用复合肥配方, 在类似肥力条件下实施相应方案施肥, 其经济收益可望达到 28~29 元/ 丛, N、P、K 配比合理, 有利于冲积土区域绿竹生长发育, 促进发笋量, 提高成竹率, 增加经济收益, 从而达到高产。但不同立地条件绿竹最优施肥具体剂量应因地制宜视具体情况而定, 这尚待进一步研究确定。

参 考 文 献

1 缪妙青, 高瑞龙 . 福安市绿竹资源现状及发展对策 . 福建林业科技, 1996, 23(4): 73~76

2 董建文, 高瑞龙 . 不同地类绿竹栽培效果研究 . 山西农业大学学报, 2000, 20(3): 253~256

3 董建文 . 绿竹林丰产结构研究 . 福建林学院学报, 2000, 20(2): 101~104

4 缪妙青, 林忠平等 . 绿竹山地栽培技术研究 . 竹子研究汇刊, 2002, 21(1): 61~64

5 缪妙青 . 绿竹丰产栽培技术 . 林业科技开发, 1998 (6): 50~52

6 潘永春 . 绿竹笋用林丰产技术研究 . 福建林学院学报, 1997, 17(1): 92~96

7 洪 伟 . 毛竹产量新模型研究 . 竹子研究汇刊, 1988, 7(1): 1~12

8 洪 伟, 郑郁善 . 毛竹营养液开发与应用效果研究 . 林业科学, 1998, 34(专刊): 82~86

9 洪 伟 . 林业试验设计技术与方法 . 北京: 北京科学技术出版社, 1993 .153~167

10 何东进, 洪 伟, 吴承祯 . 毛竹林各组分能量估算模型的研究 . 应用与环境生物学报, 2000, 6(5): 412~418

11 郑郁善, 陈 辉, 张炜银 . 绿竹生物量优化模型建立研究 . 经济林研究, 1998, 16(3): 4~7

12 洪 伟, 陈 辉, 吴承祯 . 毛竹专用复合肥研究 . 林业科学, 2003, 39(1): 81~85

13 毛达如, 张承东 . 推荐施肥技术中施肥模型与试验设计的研究 . 土壤通报, 1991, 22(5): 216~218

14 申建波, 李仁岗 . 利用正交趋势分析进行大面积经济施肥建模 . 植物营养与肥料学报, 1999, 5(3): 258~262

15 杨文致, 程传策 . 西瓜高产素生物效应研究 . 河南农业大学学报, 1993, 27(4): 350~355

16 陈建生, 刘国坚, 徐培智等 . 水稻专用 BB 肥研究 . 植物营养与肥料学报, 1999, 5(3): 249~257