

林永锋,胡永光,李萍萍,等. 有机肥及氮磷钾肥施用量与茶叶产量的关系模型及其解析[J]. 江苏农业科学,2014,42(9):207-210.

有机肥及氮磷钾肥施用量与茶叶产量的关系模型及其解析

林永锋¹, 胡永光¹, 李萍萍^{1,2}, 沙爱国¹, 王 博³

(1. 江苏大学农业工程研究院/现代农业装备与技术省部共建教育部重点实验室/江苏省重点实验室, 江苏镇江 212013;

2. 南京林业大学森林资源与环境学院 南京 210037; 3. 甘肃省镇原县农业技术推广中心, 甘肃镇原 744500)

摘要:为了研究有机肥及氮肥、磷肥、钾肥施用量对茶叶产量的影响,以茶叶品种龙井 43 为试验材料,通过 4 因子(1/2 实施)二次回归通用旋转组合设计田间试验,建立有机肥及氮肥、磷肥、钾肥施用量与茶叶产量的回归效应模型,并对各因子及交互作用进行分析。结果表明:有机肥和氮肥、磷肥、钾肥施用量对茶叶产量均有显著影响,其影响顺序为氮肥>钾肥>有机肥>磷肥;有机肥与氮肥、磷肥、钾肥施用量存在协同作用,氮肥和磷肥、氮肥和钾肥、磷肥和钾肥施用量在一定范围内表现出协同促进作用,但是过高的施肥量则表现出拮抗作用。通过综合分析施肥模型得出茶叶高产的优化施肥方案为:有机肥 11 991.0~13 921.5 kg/hm²,纯氮肥 229.5~253.8 kg/hm²,纯磷肥 225.0~257.1 kg/hm²,纯钾肥 170.7~203.7 kg/hm²。

关键词:茶叶;有机肥;氮肥;磷肥;钾肥;产量;施肥模型;优化施肥

中图分类号: S571.106 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)09-0207-04

茶叶[*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze]是世界三大无乙醇饮料之一,也是中国重要的经济作物^[1]。随着人们生活水平的提高,茶叶产量和品质的问题逐渐受到重视。氮、磷、钾是茶树生长发育所必需的三大营养元素,对茶叶的产量和品质有重要影响^[2-6],合理配施氮肥、磷肥、钾肥是茶叶优质高产的关键。茶园管理中由于偏施氮肥、不施或少施有机肥,引

起土壤肥力退化、环境污染,也间接影响茶叶产量和品质^[7-10]。大量研究表明,有机肥与无机肥配施不仅可以提高作物产量和品质,还有利于减缓单一施用化肥对生态环境的影响^[11-14]。因此,研究茶叶需肥规律并建立施肥模型是实现茶园生产可持续发展的根本途径。有关有机肥及氮肥、磷肥、钾肥对茶叶生长发育的影响已有较多报道^[15-17],但大部分研究都局限于某一单因子或 2 因子对茶叶的影响,而有关这 4 个因子与茶叶产量的模型鲜见报道。因此,本研究通过设置这 4 因子的田间茶园试验,分析有机肥及氮肥、磷肥、钾肥施用量与茶叶产量间的关系以及 4 因素间的交互作用,建立施肥量与产量的数学模型,以期对茶叶优化施肥提供科学依据。

收稿日期:2013-11-20

基金项目:国家自然科学基金(编号:31101089);公益性行业(农业)科研专项(编号:201303012)。

作者简介:林永锋(1989—),男,福建莆田人,硕士研究生,主要从事农业生态研究。E-mail:linyongfengfujian@163.com。

通信作者:李萍萍,教授,主要从事农业生态学的研究。E-mail:lipingping@uj.s.edu.cn。

为主栽培料的培养基松软,透气性好,有利于平菇菌丝的生长。栽培种添加 63%~73% 的油樟叶渣时,平菇菌丝生长速度、长势、色泽、生物转化率均较理想,考虑菌丝生长、污染率、产量、成本等因素,以油樟叶渣为主的平菇栽培料最佳配方为油樟叶渣 68%、棉籽壳 20%、麸皮 10%、石灰 1%、石膏 1%。在常规管理模式下,使用该栽培料栽培平菇的生物转化率可达 122.5%,污染率只有 4%,菌丝日平均长速是 5.92 mm,满袋(15 cm×35 cm×0.05 cm)也只需要 20.3 d。同时,废弃油樟叶渣中有蒸馏提取樟油后的残留物,具有抑制杂菌生长作用,可以减少平菇生产过程中农药的使用。

本研究的技术如果能在生产中应用,不仅可以降低平菇生产成本,增加效益,还可以变废为宝,减少四川省宜宾地区 31 万 t 废弃油樟叶渣污染环境的压力。但本研究结果仅是对废弃油樟叶渣栽培平菇试验后得出的,对其他食用菌而言,废弃油樟叶渣是否也可取代传统栽培方法,还需要进一步研究。

参考文献:

- [1] 王振河,武模戈,董自梅,等. 不同碳氮源对平菇菌株新 831 菌丝生长的影响[J]. 湖北农业科学,2007,46(1):91-93.
- [2] 王 钊,梁瑞璋. 平菇优良菌种筛选及其营养成分研究[J]. 中国食用菌,1999,18(2):9-11.
- [3] Fui H Y, Shieh D E, Ho C T. Antioxidant and free radical scavenging activities of edible mushrooms[J]. Journal of Food Lipids, 2002, 9(1):35-46.
- [4] 罗中杰,李维一,魏 琴,等. 宜宾油樟的现状与未来[J]. 四川师范大学学报:自然科学版,2001,24(3):317-319.
- [5] 杨 勇,张凤英,陈 岑. PDA 培养基改良配方的研究[J]. 酿酒科技,2012(4):29-31.
- [6] 邸淑艳. 食用菌生产技术速查表:国内畅销品种卷[M]. 北京:化学工业出版社,2011.
- [7] 魏 琴,李 群,罗 扬,等. 油樟油对植物病原真菌活性的抑制作用[J]. 中国油料作物学报,2006,28(1):63-66.

1 材料与方法

1.1 试验时间、地点

田间试验于 2012 年 9 月至 2013 年 9 月在江苏省丹阳市“吟春碧芽”茶场进行。土壤质地为黄棕壤, pH 值 5.53, 有机质含量 10.30 g/kg, 全氮含量 1.28 g/kg, 碱解氮含量 72.6 mg/kg, 速效磷含量 4.6 mg/kg, 速效钾含量 41.5 mg/kg。

1.2 试验材料

茶树品种为龙井 43, 五年生。其中化肥采用尿素(含氮 46%)、过磷酸钙(含 P₂O₅ 12%)、硫酸钾(含 K₂O 50%)。有机肥为镇江恒欣肥料科技有限公司提供的醋糟有机肥, pH 值 5.8, EC 值 1.78 mS/cm, 容重 0.25 g/cm³, 全氮含量 2.38%, 全磷含量 0.31%, 全钾含量 1.12%。

施肥方式:全部有机肥、磷肥、钾肥及 70% 的氮肥于 2012 年 11 月底沿茶行滴水线开深 20 cm 左右, 并结合灌溉的方式施用。2013 年 2 月初追施 30% 氮肥, 作为春茶的催芽肥, 其他管理措施一致。

1.3 试验设计

试验采用 4 因子(1/2 实施)二次回归通用旋转组合设计^[18], 设置有机肥、氮肥、磷肥、钾肥 4 因素, 每个因素各设 5 水平, 共 20 个处理, 每个处理 2 个重复, 小区面积为 4.5 m × 6.0 m。茶样均取 1 芽 2 叶, 采回后杀青、烘干, 茶叶产量按春夏秋三季鲜茶平均产量计。各因素的编码和具体施肥方案见表 1 及表 2。

表 1 茶园施肥水平及编码

水平 编码	各因素施用量(kg/hm ²)			
	X ₁ :有机肥	X ₂ :氮肥	X ₃ :磷肥	X ₄ :钾肥
1.628	15 000	300	300	300
1	12 000	225	225	225
0	7 500	150	150	150
-1	3 000	75	75	75
-1.628	0	0	0	0
Δ _j	4 500	75	75	75

1.4 数据处理与分析

试验数据采用 SPSS 20.0、DPS 7.05、Matlab 及 Lingo 进行统计分析 with 制图。

2 结果与分析

2.1 数学模型的建立与检验

根据各个处理的平均产量结果(表 2), 得到茶叶产量与 4 因素有机肥、氮肥、磷肥、钾肥施用量之间的回归模型:

$$Y = 61.796 + 1.198X_1 + 3.799X_2 + 1.181X_3 + 1.218X_4 + 0.557X_1^2 - 1.59X_2^2 - 0.661X_3^2 - 1.554X_4^2 - 0.370X_1X_2 + 0.403X_1X_3 - 0.292X_1X_4。$$
 (1)

式中: X₁、X₂、X₃、X₄ 分别为有机肥、氮肥、磷肥、钾肥的水平编码值。对公式(1)进行显著性检验: F₁ = 3.17 < F_{0.1}(2, 3) = 5.46, F₂ = 11.87 > F_{0.05}(14, 5) = 4.64, 所建方程达到显著水平, R² = 0.942, 说明该模型拟合性较好, 试验所选 4 因子对茶叶产量有显著影响。另外, 方程中常数项与空白产量非常接近, 说明模型模拟与实际产量非常吻合, 该模型可用于预测龙井 43 在生产上的高产及筛选优化栽培方案。

表 2 茶园施肥二次回归通用旋转组合设计方案

处理号	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	产量 Y (kg/hm ²)
1	1	1	1	1	998.10
2	1	1	-1	-1	936.60
3	1	-1	1	-1	859.50
4	1	-1	-1	1	842.25
5	-1	1	1	-1	922.80
6	-1	1	-1	1	947.25
7	-1	-1	1	1	823.65
8	-1	-1	-1	-1	768.90
9	-1.681 8	0	0	0	916.35
10	1.681 8	0	0	0	958.95
11	0	-1.681 8	0	0	766.95
12	0	1.681 8	0	0	926.10
13	0	0	-1.681 8	0	846.45
14	0	0	1.681 8	0	925.50
15	0	0	0	-1.681 8	810.60
16	0	0	0	1.681 8	885.60
17	0	0	0	0	931.35
18	0	0	0	0	925.50
19	0	0	0	0	923.55
20	0	0	0	0	957.45

2.2 主因素效应分析

由于设计中各因素均经无量纲线性编码处理, 且各一次项系数之间, 一次项系数与交互性、平方项的系数间均不相关, 因此可以由回归系数绝对值的大小来直接比较各因素一次项对茶叶产量的影响。从公式(1)可以看出, X₂ > X₄ > X₁ > X₃, 且有机肥及氮肥、磷肥、钾肥施用量均为正效应, 由此可知氮肥和钾肥的施用量是影响茶叶产量的主要因素, 其次是有机肥和磷肥的施用量。

2.3 单因素效应及边际产量效应分析

对回归方程(1)进行降维处理(其他因子固定在 0 水平), 以 4 因素不同水平作单因素效应, 作图 1-a。从图 1-a 可以看出, 氮肥、磷肥、钾肥施用量都呈先升后降的抛物线趋势, 说明茶叶在施肥时不仅应注意氮肥施用不可过量, 磷肥和钾肥的施用也不可过量。而有机肥施用量呈上升趋势, 这可能是由于施肥量的上限不够大, 尚未达到茶叶产量的拐点。

如图 1-b 所示, 边际产量是增加 1 个单位的肥料投入所带来的产量的增加量, 斜率反映单位施肥量对产量的影响程度。只有有机肥施用量的斜率向上且变化最平缓, 说明随着有机肥施用量增加, 边际产量也增加, 而氮肥、磷肥、钾肥则都是施用量越高, 边际产量越低, 其中氮肥的边际产量变化最快, 其次是钾肥和磷肥。当曲线与 x 轴相交时, 即边际产量为 0, 此时产量最高, 其中当氮肥、磷肥、钾肥施用水平分别为 1.19、0.89、0.39, 即施用量为 239.55、217.05、179.40 kg/hm² 时, 所取得的茶叶产量最大, 分别为 960.15、958.80、932.40 kg/hm², 再增加肥料施用量, 则茶叶产量开始下降, 这符合米采利希提出的肥料效应报酬递减定律^[19]。

2.4 2 因素交互效应分析

与单因素的肥料处理相比, 肥料多因素处理并不仅仅表现出简单的加和作用, 同时还存在不同程度的协同作用和拮

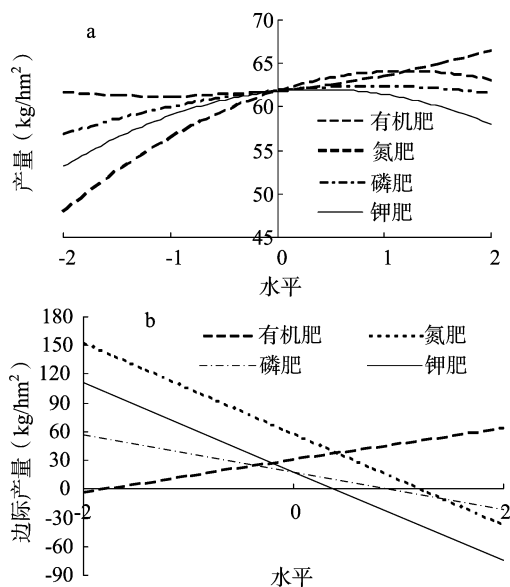


图1 茶叶各单因素效应和边际产量效应

抗作用。图2为试验中有机肥、氮肥、磷肥、钾肥施用量间的2因素交互效应的曲面图。

2.4.1 有机肥与氮肥、磷肥、钾肥施用量的交互效应 图2-a至图2-c分别为有机肥与氮肥、磷肥、钾肥施用量之间的交互效应曲面。根据多元函数极值理论^[18],计算出响应曲面中茶叶产量达最高值时各因素水平。图2-a中,有机肥与氮肥响应曲面极值点为 $(-0.6527, 1.2704)$,对应施肥量为 $(4562.85 \text{ kg/hm}^2, 207.15 \text{ kg/hm}^2)$ 。在氮肥施用水平固定的条件下,随着有机肥施用量的增加,产量增加;在有机肥施用水平固定时,随着氮肥施用量的增加,产量先增加后降低。

图2-b、图2-c中曲面变化趋势与上述一致,有机肥与磷肥、有机肥与钾肥响应曲面极值点分别为 $(-1.2594, 0.5103)$ 、 $(-0.9491, 0.4808)$ 。说明在施用适量的氮肥、磷肥、钾肥下,增施有机肥有助于增产,增施一定量的氮肥、磷肥、钾肥也有助于增产,但氮肥、磷肥、钾肥施用过量后,茶叶产量不再增加反而减少。

2.4.2 氮肥、磷肥、钾肥之间交互效应分析 图2-d至图2-f为氮肥、磷肥、钾肥之间的交互效应曲面。其中,图2-d中氮肥和磷肥响应曲面的极值点为 $(1.1944, 0.8942)$,对应具体施肥量为 $(203.70 \text{ kg/hm}^2, 190.20 \text{ kg/hm}^2)$ 。根据此极值,响应曲面被分为4个区,即在氮肥施用量 $< 203.70 \text{ kg/hm}^2$ 、磷肥施用量 $< 190.20 \text{ kg/hm}^2$ 的区域内,增施氮肥和磷肥,产量均能增加,此时氮肥、磷肥表现为协同作用。在氮肥施用量 $> 203.70 \text{ kg/hm}^2$ 、磷肥施用量 $< 190.20 \text{ kg/hm}^2$ 区域内,磷肥施用水平固定,产量随着氮肥施用量的增加而降低;而氮肥施用水平固定,产量则随着磷肥施用量的增加而增加。在氮肥施用量 $< 203.70 \text{ kg/hm}^2$ 、磷肥施用量 $> 190.20 \text{ kg/hm}^2$ 区域内,固定磷肥产量,产量随着氮肥施用量的增加而增加;固定氮肥施用水平,产量则随着磷肥施用量的增加而降低。在氮肥施用量 $> 203.70 \text{ kg/hm}^2$ 、磷肥施用量 $> 190.20 \text{ kg/hm}^2$ 的区域内,茶叶产量随着任意一个肥料施用量的增加而降低,此时氮肥、磷肥表现为拮抗作用。图2-e、图2-f中氮肥和钾肥、磷肥和钾肥响应曲面极值点分别为 $(1.1944, 0.3917)$ 、 $(0.8942, 0.3917)$,其产量随因素变化趋势与上述一致。说明氮肥和磷肥、氮肥和钾肥、磷肥和钾肥在适量配施的范围内存在着明显的协同促进作用,但是过量时则表现出拮抗作用。因此,氮肥、磷肥、钾肥的合理配施对发挥三者的协同作用具有重要意义。

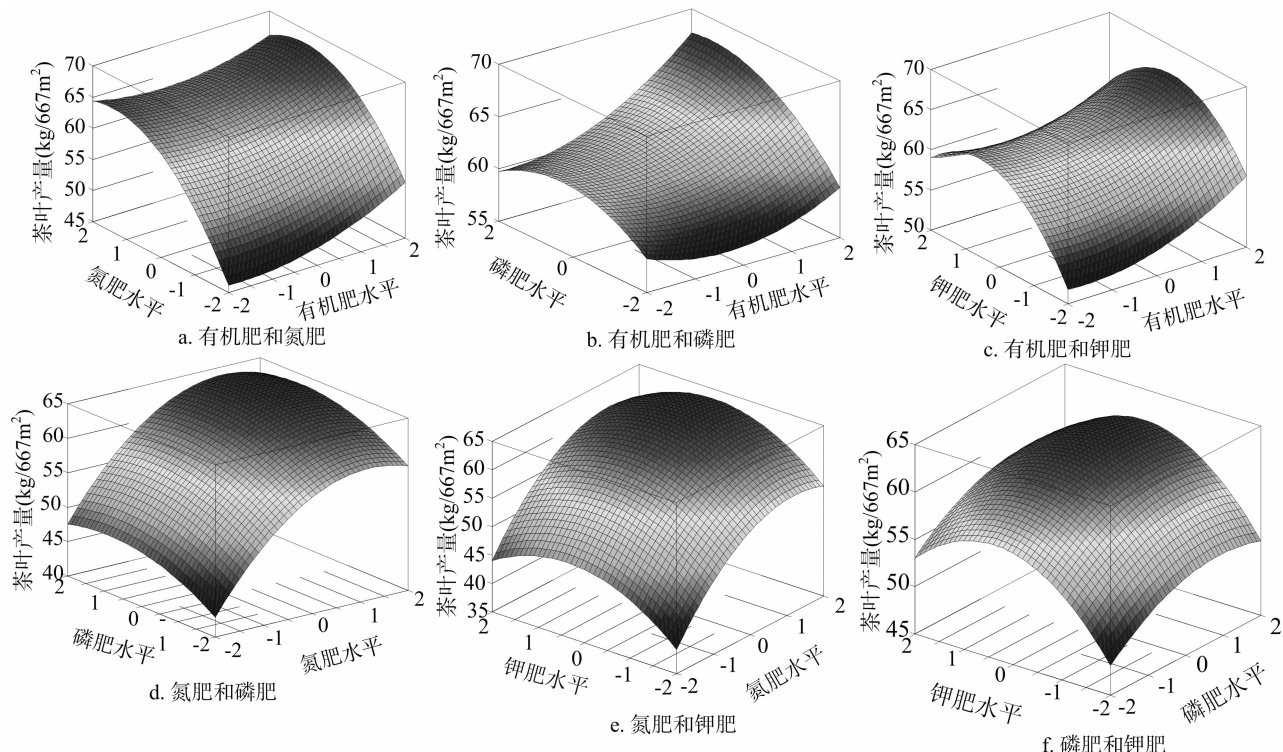


图2 茶叶产量的2因素交互效应曲面

2.5 模型的优化方案

对所建立的有机肥、氮肥、磷肥、钾肥与产量(Y)的数学模型进行优化。在 $-1.682 \sim 1.682$ 水平范围内,用求最大值的方法来优化模型,用 Lingo 软件求得,当机肥、氮肥、磷肥、钾肥施用水平分别为 $1.682, 0.999, 1.407, 0.234$,即施肥量分别为 $15\ 000, 225.00, 255.60, 167.55\text{ kg/hm}^2$ 时,茶叶产量达到最高,为 $1\ 025.55\text{ kg/hm}^2$ 。

表 3 茶叶产量大于 975 kg/hm^2 的 31 个方案中各变量取值的频率分布

水平	有机肥		氮肥		磷肥		钾肥	
	方案个数	频率(%)	方案个数	频率(%)	方案个数	频率(%)	方案个数	频率(%)
-1.681 8	0	0	0	0	0	0	0	0
-1	0	0	0	0	0	0	1	0.032 3
0	5	0.161 3	2	0.064 5	5	0.161 3	15	0.483 9
1	9	0.290 3	16	0.516 1	9	0.290 3	13	0.419 4
1.681 8	17	0.548 4	13	0.419 4	17	0.548 4	2	0.064 5

对茶叶产量大于 975 kg/hm^2 的 31 个方案中各因子的加权均数及标准差进行计算,并进行参数的区间估计,结果列于表 4。从表 4 可以看出,当有机肥施肥量为 $11\ 991.0 \sim 13\ 921.50\text{ kg/hm}^2$,氮肥施肥量为 $229.5 \sim 253.8\text{ kg/hm}^2$,磷肥施肥量为 $225.0 \sim 257.1\text{ kg/hm}^2$,钾肥施肥量为 $170.7 \sim 203.7\text{ kg/hm}^2$,茶叶产量有 95% 的概率高于 975 kg/hm^2 。

表 4 茶园施肥优化方案

因素	加权均数	标准差	95% 的置信区间	
			上限	下限
X_1	1.213	0.109	0.998	1.427
X_2	1.221	0.082	1.060	1.383
X_3	1.213	0.109	0.998	1.427
X_4	0.496	0.112	0.276	0.715

3 结论

在本试验条件下,4 因素对茶叶产量的影响从大到小依次为氮肥、钾肥、有机肥和磷肥的施用量,且均表现为正效应。由边际产量效应分析得出,氮肥、磷肥、钾肥的施用量分别为 $239.55, 217.05, 179.4\text{ kg/hm}^2$ 时可达最高产量。

2 因素互作效应分析结果表明,当氮肥、磷肥、钾肥施用水平固定时,有机肥施用量在 $0 \sim 15\ 000\text{ kg/hm}^2$ 范围内,增加有机肥施用量可以提高茶叶产量;而氮肥和磷肥、氮肥和钾肥、磷肥和钾肥配施都存在 1 个值域,即施用量分别为 $239.55, 217.05, 179.4\text{ kg/hm}^2$,在这个值域内,三者之间表现为协同作用,超过这个值域则都表现为拮抗作用。

通过频数分析和寻优得出,当有机肥、氮肥、磷肥、钾肥施用量分别为 $11\ 991.0 \sim 13\ 921.5\text{ kg/hm}^2, 229.5 \sim 253.8\text{ kg/hm}^2, 225.0 \sim 257.1\text{ kg/hm}^2, 170.7 \sim 203.7\text{ kg/hm}^2$ 时,茶叶产量有 95% 的概率高于 975 kg/hm^2 。

参考文献:

[1] 杨亚军. 中国茶树栽培学[M]. 上海:上海科学技术出版社,2004.

[2] 叶秋萍. 肥料对茶树生长和茶叶品质的影响[J]. 茶叶科学技术,2007(1):26-28.

[3] 张婉婷,曹潘荣. 施肥对茶叶高产优质的影响研究[J]. 福建茶叶,2010(9):2-8.

由于该数学模型计算出来的最大值仅仅是个理论值,在实际生产中出现的可能性非常低,因此本研究采用频次分析对模型进行优化^[19-20]。试验中产量大于 975 kg/hm^2 的方案有 31 个方案,其频次分布情况见表 3。从表 3 可以看出,茶叶产量大于 975 kg/hm^2 的有机肥、氮肥、磷肥施用水平主要分布在 $1 \sim 1.682$ 之间,钾肥施用水平主要分布在 $0 \sim 1$ 之间。

[4] Lin Z H, Qi Y P, Chen R B, et al. Effects of phosphorus supply on the quality of green tea[J]. Food Chemistry, 2012, 130(4):908-914.

[5] Sharma D K, Sharma K L. Effect of nitrogen and pot ash application on yield and quality of China hybrid tea[J]. India Journal of Agricultural Science, 1998, 68:307-309.

[6] Ames B N. Assay of inorganic phosphate, total phosphate and phosphatase[J]. Methods in Enzymology, 1966, 8:115-118.

[7] 宗良纲,周俊,罗敏,等. 江苏茶园土壤环境质量现状分析[J]. 中国生态农业学报,2006,14(4):61-64.

[8] 李军,黄敬峰,程家安. 我国化肥施用量及其可能污染的时空分布特征[J]. 生态环境,2003,12(2):145-149.

[9] 马立锋,石元值,阮建云. 苏、浙、皖茶区茶园土壤 pH 状况及近十年来的变化[J]. 土壤通报,2000,31(5):205-207.

[10] 邹原东,范继红. 有机肥施用对土壤肥力影响的研究进展[J]. 中国农学通报,2013,29(3):12-16.

[11] 陈永兴. 有机无机肥配施对茶叶产量及经济效益的影响[J]. 福建农业科技,2007(5):71-72.

[12] 林新坚,黄东风,李卫华,等. 施肥模式对茶叶产量、营养累积及土壤肥力的影响[J]. 中国生态农业学报,2012,20(2):151-157.

[13] Bandyopadhyay K K, Misra A K, Ghosh P K, et al. Effect of integrated use of farmyard manure and chemical fertilizers on soil physical properties and productivity of soybean[J]. Soil and Tillage Research, 2010, 110(1):115-125.

[14] Siddiqui Y, Islam T M, Naidu Y, et al. The conjunctive use of compost tea and inorganic fertiliser on the growth, yield and terpenoid content of *Centella asiatica* (L.) urban[J]. Scientia Horticulturae, 2011, 130(1):289-295.

[15] 宇万太,姜子绍,马强,等. 施用有机肥对土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2009,15(5):1057-1064.

[16] 尤雪琴,杨亚军,阮建云. 田间条件下不同园龄茶树氮、磷、钾养分需求规律的研究[J]. 茶叶科学,2008,28(3):207-213.

[17] 李静,夏建国. 氮磷钾与茶叶品质关系的研究综述[J]. 中国农学通报,2005,21(1):62-65,75.

[18] 徐中儒. 农业试验最优回归设计[M]. 哈尔滨:黑龙江科学技术出版社,1988.

[19] 侯彦林,刘兆荣. 生态平衡施肥模型理论与应用[J]. 土壤通报,2000,31(1):33-35.

[20] 唐启义,冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M]. 北京:科学出版社,2002:100-105.