

田 甜,赵德恩,梁登雲,等. 氮磷钾配施对茶叶产量及品质的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(14):131-136.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.14.032

氮磷钾配施对茶叶产量及品质的影响

田 甜¹, 赵德恩², 梁登雲², 梁伟埃², 蒋及年², 韦锦坚¹

(1. 广西南亚热带农业科学研究所, 广西龙州 532406; 2. 广西民生中检联检测有限公司, 广西南宁 530000)

摘要:以茶叶品种金牡丹为材料,按照二次饱和 D-最优设计(311)进行盆栽试验,对茶叶产量和主要品质指标进行 2 次回归拟合,建立相应数学模型。结果发现,氮磷钾配施对茶叶产量和主要品质均有显著影响,且对于产量、游离氨基酸和茶多酚含量,均为氮肥影响最大,磷肥次之,钾肥较小。氮磷钾双因素施肥效应分析表明,氮磷互作对茶叶产量和茶多酚含量均有显著影响,对于茶叶产量和品质而言,本试验适宜的氮磷互作空间为 N 0.45~0.60 g/kg、P₂O₅ 0.24~0.30 g/kg,氮、磷的边际效应均随着投入量的增加而不断减小,当氮肥、磷肥用量分别达 0.48、0.22 g/kg 时,茶叶产量边际效应值降至 0,当氮肥、磷肥用量分别达 0.53、0.20 g/kg 时,茶多酚含量边际效应值降至 0;氮钾互作和磷钾互作对游离氨基酸总量均有显著影响,适宜的氮钾互作空间为 N 0.45~0.75 g/kg、K₂O 0.09~0.24 g/kg,适宜的磷钾互作空间为 P₂O₅ 0.15~0.24 g/kg、K₂O 0.12~0.23 g/kg,氮、钾和磷、钾的边际效应均随着施用量的增加而不断减小,当氮肥、钾肥用量分别达 0.59、0.17 g/kg 时,游离氨基酸总量边际效应值降至 0,当磷肥、钾肥用量分别达 0.19、0.17 g/kg 时,游离氨基酸总量边际效应值降至 0。结果表明,本试验条件下,综合茶叶产量、游离氨基酸总量和茶多酚含量,茶叶高产优质的氮、磷、钾施肥方案为:N 0.56 g/kg、P₂O₅ 0.22 g/kg、K₂O 0.21 g/kg,适宜的氮磷钾施用比例约为 N:P₂O₅:K₂O=2.67:1.05:1,此时茶叶各指标均较高。

关键词:氮磷钾配施;茶叶;产量;品质;回归拟合;施肥效应;边际效应

中图分类号:S571.104

文献标志码:A

文章编号:1002-1302(2018)14-0131-06

茶叶作为桂西南重要的经济作物,已经成为当地经济的重要支柱和农民收入的主要来源,而茶叶产量和品质受茶树品种、土壤养分含量、肥料用量和施肥方式等因素的影响,其中施肥对茶叶产量和品质的影响较为重要^[1-4]。苏有健等研究了不同氮营养水平对茶叶产量和品质的影响,发现施用适量氮肥能明显提高茶叶产量和游离氨基酸总量,且在同一基

础肥力土壤条件下,茶叶干物质产量表现为随施氮量的加大先增加后降低,呈抛物线趋势^[5]。李静通过盆栽试验研究氮磷钾配施对茶叶产量的影响,表明氮磷钾最优组合方案是:N 0.406~0.435 g/kg、P₂O₅ 0.159~0.170 g/kg、K₂O 0.186~0.198 g/kg,即 N:P₂O₅:K₂O 为 1:0.39:0.46 时,茶叶产量最高^[6]。王旭等研究了春茶的产量与品质对氮磷钾及有机肥配施的响应,结果表明,当施用 N 187.5 kg/hm²+P₂O₅ 225 kg/hm²+K₂O 56.25 kg/hm²+有机肥 2 250 kg/hm² 时,与空白对照相比,发芽密度可提高 56.5%,百芽质量提高 85.7%,增产 190.7%,且茶叶茶多酚含量提高 68.54%,氨基酸总量提高 71.86%,可提升茶叶品质^[7]。韩文炎等研究表明,茶园土壤

收稿日期:2017-01-30

基金项目:广西公益性基金(编号:GXNYRKS201609)。

作者简介:田 甜(1989—),女,山西翼城人,硕士研究生,助理农艺师,主要从事茶树栽培与营养研究。E-mail:tt0357@foxmail.com。

[4] 陈亚鹏,陈亚宁,李卫红,等. 干旱环境下高温对胡杨光合作用的影响[J]. 中国沙漠,2009,29(3):474-479.

[5] 李志军,罗青红,伍维模,等. 干旱胁迫对胡杨和灰叶胡杨光合作用及叶绿素荧光特性的影响[J]. 干旱区研究,2009,26(1):45-52.

[6] 罗青红. 胡杨、灰叶胡杨对水分胁迫的光合生理响应[D]. 石河子:石河子大学,2006.

[7] 万红梅,李 霞,董道瑞,等. 干旱胁迫输水后胡杨测树因子特征及相关分析[J]. 北京林业大学学报,2012,34(2):34-38.

[8] 袁 月,吕光辉,徐 敏,等. 干旱胁迫下不同胸径胡杨生理特点分析[J]. 新疆农业科学,2009,46(2):299-305.

[9] 陈亚鹏,陈亚宁,李卫红,等. 干旱胁迫下的胡杨脯氨酸累积特点分析[J]. 干旱区地理,2003,26(4):420-424.

[10] 陈亚鹏,陈亚宁,李卫红,等. 塔里木河下游干旱胁迫下的胡杨生理特点分析[J]. 西北植物学报,2004,24(10):1943-1948.

[11] 韩 路,王海珍,周正立,等. 塔里木河上、中游胡杨种群结构与

统计分析[J]. 生态学报,2007,27(4):1315-1322.

[12] 包艳丽,牛树奎,邓江宇,等. 不同水源距离对胡杨林群落特征的影响[J]. 西部林业科学,2011,40(4):54-59.

[13] 邓潮洲,李 利,吴俊侠,等. 塔里木河上游胡杨群落及种群特征分析[J]. 中国沙漠,2010,30(6):1381-1388.

[14] 彭 杰,韩 路,王海珍,等. 塔里木盆地胡杨群落结构特征研究[J]. 林业资源管理,2009(1):60-64.

[15] 张绘芳,李 霞. 塔里木河下游胡杨种群空间分布格局分析[J]. 西北植物学报,2006,26(10):2125-2130.

[16] 黄文娟,李志军,杨赵平,等. 胡杨异形叶结构型性状及其与胸径关系[J]. 生态学杂志,2010,29(12):2347-2352.

[17] 丁 伟,杨振华,张世彪,等. 青海柴达木地区野生胡杨叶的形态解剖学研究[J]. 中国沙漠,2010,30(6):1411-1415.

[18] 邓绍林. 桂西北杉木人工林伐根直径材积表编制及应用[J]. 广西林业科学,1999,28(3):138-141.

氮、磷和钾等因素与茶叶产量和品质有明显的相关性^[8-9]。国外也有很多研究表明,氮磷钾合理配施能显著提高茶叶产量及游离氨基酸、茶多酚含量^[10-12]。目前茶园不科学用肥的现象还很普遍,本试验通过盆栽方法在广西南部亚热带农业科学研究所茶科苗圃开展氮磷钾配施对茶叶产量及品质的影响研究,探求茶叶高产优质的氮磷钾施用量和配比,为茶园合理施肥提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验于 2014 年 10 月至 2015 年 10 月在广西南部亚热带农业科学研究所茶科苗圃进行。供试茶树品种为本地区习惯种植品种金牡丹;供试土壤类型为红棕壤,基本理化性状为:有机质含量 10.27 g/kg、全氮含量 1.31 g/kg、碱解氮含量 76.53 mg/kg、速效磷含量 3.59 mg/kg、速效钾含量 30.85 mg/kg、pH 值 3.87;供试肥料品种为尿素(含 N 46.00%)、过磷酸钙(含 P₂O₅ 12.00%)、硫酸钾(含 K₂O 50.00%)。

1.2 试验设计

采用盆栽方法,所用盆钵大小为 36 cm×30 cm,每盆装土 10 kg,种植茶树 2 株。试验设置 3 个因素,每个因素 4 水平,其中氮肥(以纯 N 计)的用量为 0~0.75 g/kg、磷肥(以纯 P₂O₅ 计)的用量为 0~0.3 g/kg、钾肥(以纯 K₂O 计)的用量为 0~0.3 g/kg,试验方案按照二次饱和 D-最优设计(311)进行,重复 3 次,各处理如表 1 所示。过磷酸钙和硫酸钾均作基肥一次性施入,尿素的 60% 作基肥,40% 作追肥。分别于 2015 年 4、6、9 月采集春、夏、秋茶并测产。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 土壤基本理化性状 有机质含量的测定采用 K₂Cr₂O₇ 容量法;全氮含量的测定采用 Se-K₂SO₄-CuSO₄-浓 H₂SO₄ 消煮法;碱解氮含量的测定采用扩散法;速效磷含量的测定采用 NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法;速效钾含量的测定采用 NH₄OAC-火焰光度法;pH 值的测定采用电位法(水土比 2.5:1)。

表 1 N、P₂O₅、K₂O 3 要素配施试验方案

处理	x ₁ :N 施用量		x ₂ :P ₂ O ₅ 施用量		x ₃ :K ₂ O 施用量	
	编码	施用量(g/kg)	编码	施用量(g/kg)	编码	施用量(g/kg)
1	-1	0	-1	0	-1	0
2	1	0.75	-1	0	-1	0
3	-1	0	1	0.30	-1	0
4	-1	0	-1	0	1	0.30
5	-1	0	0.192 5	0.18	0.192 5	0.18
6	0.192 5	0.45	-1	0	0.192 5	0.18
7	0.192 5	0.45	0.192 5	0.18	-1	0
8	-0.291 2	0.27	1	0.30	1	0.30
9	1	0.75	-0.291 2	0.11	1	0.30
10	1	0.75	1	0.30	-0.291 2	0.11
11	0	0.38	0	0.15	0	0.15

1.3.2 茶叶产量及主要品质指标 茶叶产量:每盆茶叶产量按春夏秋 3 季总产量计;游离氨基酸总量的测定采用茚三酮比色法;茶多酚含量的测定采用酒石酸铁比色法。

1.4 数据处理

通过 Microsoft Excel 进行数据预处理,采用 Design-Expert 8.0 进行响应曲面分析,作图采用 Origin 8.0。

2 结果与分析

2.1 三元二次回归方程的建立与检验

本试验不同处理下产量的实际值和期望值如表 2 所示。根据表 2 中氮磷钾施用量的编码值 x₁、x₂、x₃ 和实际值 y,建立茶叶产量及品质的回归模型,设产量为 y₁、游离氨基酸总量(%)为 y₂、茶多酚含量(%)为 y₃,得出

$$y_1 = 44.65 + 3.36x_1 + 2.39x_2 + 1.48x_3 + 1.62x_1x_2 + 0.48x_1x_3 + 0.58x_2x_3 - 5.93x_1^2 - 2.45x_2^2 - 1.52x_3^2; \quad (1)$$

$$y_2 = 3.08 + 0.51x_1 + 0.19x_2 + 0.062x_3 - 0.013x_1x_2 - 0.028x_1x_3 + 0.035x_2x_3 - 0.44x_1^2 - 0.38x_2^2 - 0.27x_3^2; \quad (2)$$

$$y_3 = 26.77 + 2.87x_1 + 1.11x_2 + 0.86x_3 + 1.56x_1x_2 + 1.05x_1x_3 - 0.12x_2x_3 - 3.58x_1^2 - 1.58x_2^2 - 1.07x_3^2。 \quad (3)$$

表 2 不同施肥处理对茶叶产量及品质的影响

处理	x ₁	x ₂	x ₃	产量(g/盆)		游离氨基酸总量(%)		茶多酚含量(%)	
				实际值 y	期望值 Ŷ	实际值 y	期望值 Ŷ	实际值 y	期望值 Ŷ
1	-1	-1	-1	30.19	30.19	1.21	1.21	18.21	18.20
2	1	-1	-1	32.68	32.70	1.32	1.32	18.74	18.71
3	-1	1	-1	30.55	30.57	1.55	1.55	17.56	17.53
4	-1	-1	1	31.01	31.03	2.16	2.16	18.09	18.06
5	-1	0.192 5	0.192 5	35.64	35.58	2.32	2.32	20.02	20.10
6	0.192 5	-1	0.192 5	40.12	40.06	2.54	2.54	24.31	24.39
7	0.192 5	0.192 5	-1	42.36	42.30	2.59	2.59	25.22	25.30
8	-0.291 2	1	1	43.05	43.04	2.82	2.82	24.05	24.06
9	1	-0.291 2	1	40.98	40.97	2.85	2.85	26.01	26.02
10	1	1	-0.291 2	42.77	42.76	2.91	2.91	26.53	26.54
11	0	0	0	44.53	44.65	3.08	3.08	26.92	26.77

对以上回归模型及各偏回归系数进行 F 检验,结果如表 3 所示,各指标模型项 P 值均小于 0.05,表明这 3 个回归模型均能显著反映氮磷钾施用量编码值与各指标的关系,故各模型对相应指标均有良好的预测作用。对于茶叶产量 y₁、x₁x₃、x₂x₃、x₃² 偏回归系数不显著,因此,剔除不显著项后为

$$y_1 = 44.65 + 3.36x_1 + 2.39x_2 + 1.48x_3 + 1.62x_1x_2 - 5.93x_1^2 - 2.45x_2^2; \quad (4)$$

对于游离氨基酸总量 y₂,剔除不显著项后,模型变为

$$y_2 = 3.08 + 0.51x_1 + 0.19x_2 + 0.062x_3 - 0.028x_1x_3 + 0.035x_2x_3 - 0.44x_1^2 - 0.38x_2^2 - 0.27x_3^2; \quad (5)$$

表 3 茶叶产量和品质的回归模型及偏回归系数显著性检验

指标	变异来源	平方和	自由度	方差	<i>F</i> 值	<i>P</i> 值
产量	模型	320.940	9	35.660	1 240.76	0.022 0 *
	x_1	70.970	1	70.970	2 469.24	0.012 8 *
	x_2	36.040	1	36.040	1 253.96	0.018 0 *
	x_3	13.880	1	13.880	482.78	0.029 0 *
	$x_1 \times x_2$	11.610	1	11.610	404.09	0.031 6 *
	$x_1 \times x_3$	1.030	1	1.030	35.80	0.105 4
	$x_2 \times x_3$	1.500	1	1.500	52.23	0.087 5
	x_1^2	67.240	1	67.240	2 339.74	0.013 2 *
	x_2^2	11.490	1	11.490	399.76	0.031 8 *
	x_3^2	4.430	1	4.430	154.00	0.051 2
	残差	0.029	1	0.029	—	—
游离氨基酸总量	模型	4.430	9	0.490	59 223.12	0.003 2 *
	x_1	1.670	1	1.670	200 900.00	0.001 4 *
	x_2	0.230	1	0.230	27 936.36	0.003 8 *
	x_3	0.024	1	0.024	2 926.54	0.011 8 *
	$x_1 \times x_2$	7.267×10^{-4}	1	7.267×10^{-4}	87.52	0.067 8
	$x_1 \times x_3$	3.378×10^{-3}	1	3.378×10^{-3}	406.80	0.031 5 *
	$x_2 \times x_3$	5.294×10^{-3}	1	5.294×10^{-3}	637.51	0.025 2 *
	x_1^2	0.370	1	0.370	44 950.01	0.003 0 *
	x_2^2	0.280	1	0.280	33 287.52	0.003 5 *
	x_3^2	0.140	1	0.140	17 360.14	0.004 8 *
	残差	8.304×10^{-6}	1	8.304×10^{-6}	—	—
茶多酚含量	模型	143.370	9	15.930	367.64	0.040 5 *
	x_1	51.740	1	51.740	1 194.21	0.018 4 *
	x_2	7.700	1	7.700	177.64	0.047 7 *
	x_3	4.610	1	4.610	106.30	0.061 6
	$x_1 \times x_2$	10.830	1	10.830	249.90	0.040 2 *
	$x_1 \times x_3$	4.870	1	4.870	112.37	0.059 9
	$x_2 \times x_3$	0.070	1	0.070	1.52	0.434 0
	x_1^2	24.420	1	24.420	563.71	0.026 8 *
	x_2^2	4.780	1	4.780	110.23	0.060 5
	x_3^2	2.180	1	2.180	50.40	0.089 1
	残差	0.040	1	0.043	—	—

茶多酚含量模型剔除不显著项后为

$y_3 = 26.77 + 2.87x_1 + 1.11x_2 + 1.56x_1x_2 - 3.58x_1^2$ 。(6)

2.2 模型解析

2.2.1 因素主效应分析 由于茶叶产量及品质对氮磷钾肥施用量的回归方程已经过无量纲编码代换,故直接比较一次项各偏回归系数绝对值的大小,可反映各因素的重要程度。根据上述 3 个方程的一次项偏回归系数绝对值大小,可知对于茶叶产量、游离氨基酸含量和茶多酚含量,均为氮肥影响最大,磷肥次之,钾肥较小。

2.2.2 单因素施肥效应分析 为了进一步探讨各个因素的单独效应,将各指标回归模型中 3 个自变量中的任意 2 个固定在 0 码值,可以得到剩余自变量与目标函数的关系,即氮、磷、钾施用量与茶叶产量关系的单因素效应方程分别为:

$y_1 = 44.65 + 3.36x_1 - 5.93x_1^2$; (7)

$y_1 = 44.65 + 2.39x_2 - 2.45x_2^2$; (8)

$y_1 = 44.65 + 1.48x_3$ 。(9)

氮、磷、钾施用量与茶叶游离氨基酸总量关系的单因素效应方程分别为:

$y_2 = 3.08 + 0.51x_1 - 0.44x_1^2$; (10)

$y_2 = 3.08 + 0.19x_2 - 0.38x_2^2$; (11)

$y_2 = 3.08 + 0.062x_3 - 0.27x_3^2$ 。(12)

氮、磷、钾施用量与茶多酚含量关系的单因素效应方程分别为:

$y_3 = 26.77 + 2.87x_1 - 3.58x_1^2$; (13)

$y_3 = 26.77 + 1.11x_2 - 1.58x_2^2$; (14)

$y_3 = 26.77 + 0.86x_3 - 1.07x_3^2$ 。(15)

由图 1 可以直观看出,茶叶产量随氮、磷施用量的增加而增加,达到最高产量后,又随施用量的增加而降低,而茶叶产量与钾施用量呈正相关,且钾对产量正效应最大,其次为磷施用量,氮施用量最小,而氮施用量的负效应大于磷施用量。茶叶品质指标均随氮、磷、钾施用量的增加而增加,达到最高值后,又随施用量的增加而降低,钾施用量对游离氨基酸、茶多酚的形成正效应最大,其次为磷施用量,氮施用量最小,对于游离氨基酸,氮施用量的负效应低于磷和钾施用量,氮磷钾施用量对茶多酚的形成负效应相当。在本试验的施肥量范围内,对于茶叶产量和品质指标,各单因素效应方程均存在最大值,分别为:

$y_{1,max} = 45.13, x_1 = 0.283 3, N$ 施用量 0.48 g/kg; (16)

$$y_{1,\max} = 45.23, x_2 = 0.4878, P_2O_5 \text{ 施用量 } 0.22 \text{ g/kg}; \quad (17)$$

$$y_{1,\max} = 46.13, x_3 = 1, K_2O \text{ 施用量 } 0.3 \text{ g/kg}; \quad (18)$$

$$y_{2,\max} = 3.23, x_1 = 0.5819, N \text{ 施用量 } 0.59 \text{ g/kg}; \quad (19)$$

$$y_{2,\max} = 3.11, x_2 = 0.2519, P_2O_5 \text{ 施用量 } 0.19 \text{ g/kg}; \quad (20)$$

$$y_{2,\max} = 3.09, x_3 = 0.1128, K_2O \text{ 施用量 } 0.17 \text{ g/kg}; \quad (21)$$

$$y_{3,\max} = 27.34, x_1 = 0.4009, N \text{ 施用量 } 0.53 \text{ g/kg}; \quad (22)$$

$$y_{3,\max} = 26.96, x_2 = 0.3493, P_2O_5 \text{ 施用量 } 0.20 \text{ g/kg}; \quad (23)$$

$$y_{3,\max} = 26.94, x_3 = 0.4000, K_2O \text{ 施用量 } 0.21 \text{ g/kg}. \quad (24)$$

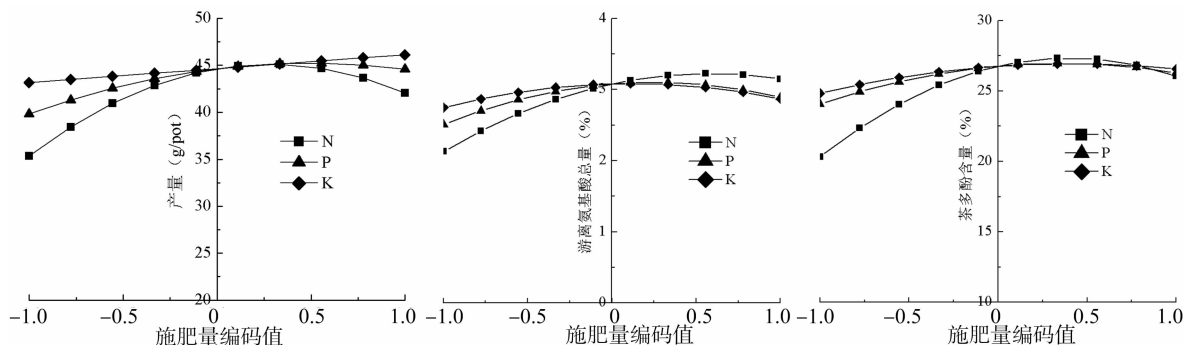


图1 单因素施肥对茶叶产量和品质的影响

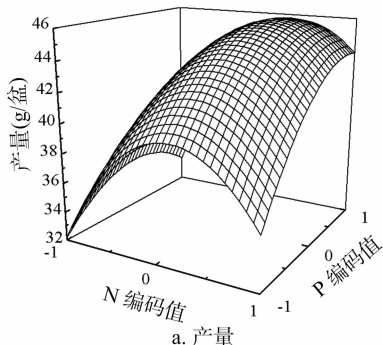
2.2.3 双因素施肥效应分析

2.2.3.1 氮磷施用量交互对茶叶产量和品质的影响 本试验确定的茶叶产量和茶多酚含量回归模型均存在氮磷施用量的交互项,且其偏回归系数达显著水平,说明氮磷施用量的交互效应对产量和茶多酚含量产生了显著影响,即在综合施肥条件下,产量和茶多酚含量的变化不单纯是各因素效应的线性累加,还存在配合效应,即因素间的交互效应。将产量回归模型中的钾施用量(x_3)固定在0码值,可以得到其交互效应方程为:

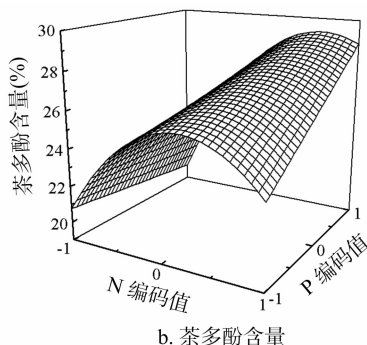
$$y_1 = 44.65 + 3.36x_1 + 2.39x_2 + 1.62x_1x_2 - 5.93x_1^2 - 2.45x_2^2. \quad (25)$$

将茶多酚回归模型中的钾施用量(x_3)固定在0码值,可以得到其交互效应方程为:

$$y_3 = 26.77 + 2.87x_1 + 1.11x_2 + 1.56x_1x_2 - 3.58x_1^2. \quad (26)$$



a. 产量



b. 茶多酚含量

图2 N、P 配施对茶叶产量和茶多酚含量的影响响应曲面

2.2.3.2 氮钾施用量交互对茶叶产量和品质的影响 对于游离氨基酸总量回归模型,氮钾施用量交互效应显著。将游离氨基酸总量回归模型中的磷施用量(x_2)固定在0码值,可以得到其交互效应方程为:

$$y_2 = 3.08 + 0.51x_1 + 0.062x_3 - 0.028x_1x_3 - 0.44x_1^2 - 0.27x_3^2. \quad (27)$$

研究发现,在编码值范围内,氮、钾对茶叶游离氨基酸总量的效应呈抛物线型,高氮水平对茶叶游离氨基酸形成有促进作用,高钾和低钾对游离氨基酸形成不利,所以对于游离氨

基酸总量交互效应方程绘图,结果(图2)发现,在编码值范围内,氮施用量对茶叶产量和茶多酚含量的效应均呈抛物线型,二者均先升高后降低,符合报酬递减定律,而磷施用量对产量的效应呈抛物线型,对茶多酚含量的效应却呈线性,高氮施用量和低氮水平对茶叶产量和茶多酚含量形成均不利,但高磷施用量对二者形成均有较强促进作用,所以对于茶叶产量和茶多酚含量,中等氮水平配合高水平磷为较理想的交互区间。在本试验条件下,茶叶产量在44.26 g/盆以上的氮磷施用量交互空间为: x_1 取0~0.6, x_2 取0~1.0,即N 0.375~0.60 g/kg, P_2O_5 0.15~0.30 g/kg(图3-a);茶多酚含量在28.12%以上的氮磷施用量交互空间为: x_1 取0.2~0.8, x_2 取0.6~1.0,即N 0.45~0.675 g/kg, P_2O_5 0.24~0.30 g/kg(图3-b)。综合各指标,氮磷施用量适宜的交互空间为:N 0.45~0.60 g/kg, P_2O_5 0.24~0.30 g/kg。

基酸总量,中高氮水平配合中等钾水平为较理想的交互区间(图4)。在本试验条件下,氮钾理想的交互空间为: x_1 取0.2~1.0, x_3 取-0.4~0.6,即N 0.45~0.75 g/kg, K_2O 0.09~0.24 g/kg,此时游离氨基酸总量达到3.05%以上(图5)。综合茶叶各指标,氮钾适宜的交互空间为:N 0.45~0.75 g/kg, K_2O 0.09~0.24 g/kg。

2.2.3.3 磷钾施用量交互对茶叶产量和品质的影响 对于游离氨基酸总量回归模型,磷钾施用量的交互效应显著,将游离氨基酸总量回归模型中的氮施用量(x_1)固定在0码值,可

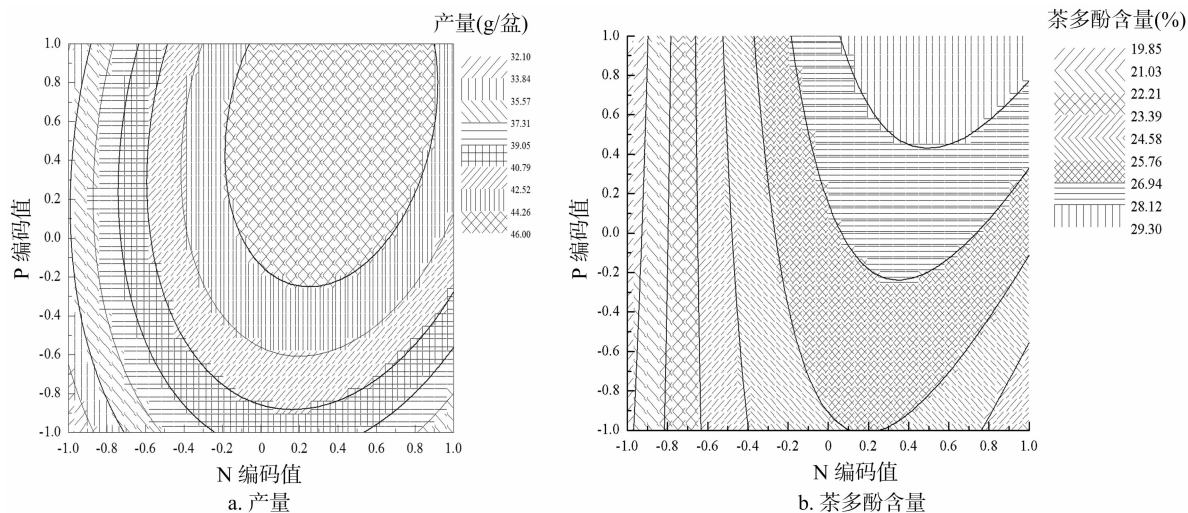


图3 N、P 配施对茶叶产量和茶多酚含量的影响等高线

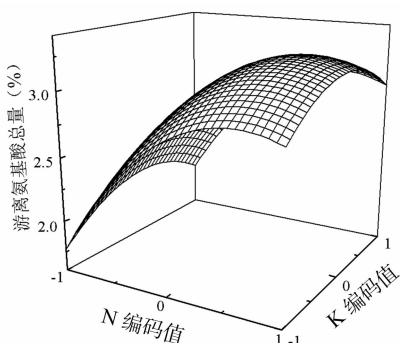


图4 N、K 配施对茶叶游离氨基酸总量的影响响应曲面

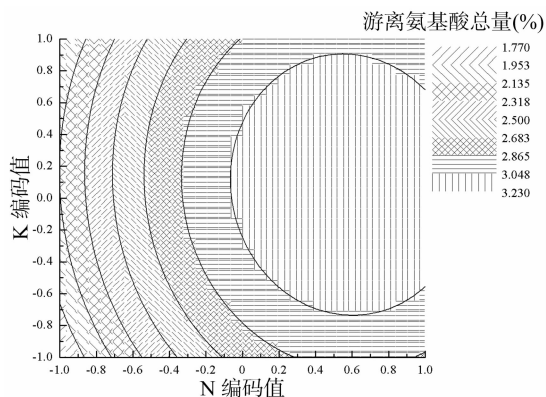


图5 N、K 配施对茶叶游离氨基酸总量的影响等高线

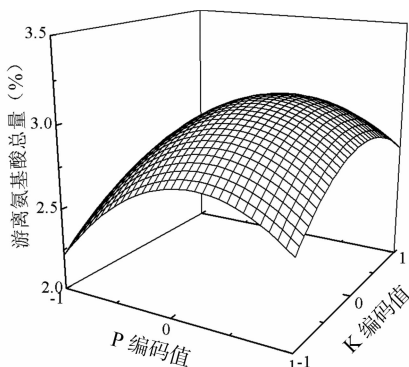


图6 P、K 配施对茶叶游离氨基酸总量的影响响应曲面

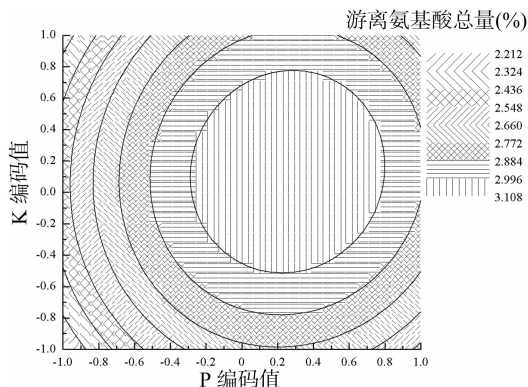


图7 P、K 配施对茶叶游离氨基酸总量的影响等高线

以得到其交互效应方程为:

$$y_2 = 3.08 + 0.19x_2 + 0.062x_3 + 0.035x_2x_3 - 0.38x_2^2 - 0.27x_3^2 \quad (28)$$

研究发现,在编码值范围内,磷、钾对游离氨基酸总量的效应均呈抛物线型,二者均先升高后降低,符合报酬递减定律,即磷和钾偏高或偏低均不利于茶叶游离氨基酸的形成,而由于交互效应,两者配施则对游离氨基酸形成有较强的促进作用,所以对于游离氨基酸,中等磷水平配合中等水平钾较理想(图6)。本试验条件下磷钾理想的互作空间为: x_2 取 0 ~ 0.6, x_3 取 -0.2 ~ 0.5,即 P_2O_5 0.15 ~ 0.24 g/kg, K_2O 0.12 ~ 0.225 g/kg,此时茶叶游离氨基酸总量达到3.0%以上(图

7)。综合各指标,磷钾适宜的互作空间为: P_2O_5 0.15 ~ 0.24 g/kg, K_2O 0.12 ~ 0.23 g/kg。

2.3 茶叶高产优质的氮、磷、钾施用量和配比的确定

通过 Design - Expert 8.0 进行分析,本试验条件下,综合茶叶产量、游离氨基酸总量和茶多酚含量,茶叶高产优质的氮、磷、钾施肥方案为:N 0.56 g/kg 土, P_2O_5 0.22 g/kg 土, K_2O 0.21 g/kg 土,适宜的氮磷钾施用比例 N : P_2O_5 : K_2O 约为 2.67 : 1.05 : 1,此时茶叶各指标均较高,茶叶产量达到 46.42 g/盆,游离氨基酸总量达到 3.21%,茶多酚含量达到 28.21%。

3 结论与讨论

根据氮磷钾施用量的编码值 x_1 、 x_2 、 x_3 和实际值 y , 建立茶叶各品质指标的回归模型, 本试验结果表明, 氮磷钾配施对茶叶产量和品质均有显著影响, 且对于产量、游离氨基酸和茶多酚含量的影响均为: 氮肥最大, 磷肥次之, 钾肥较小。氮磷钾双因素施肥效应分析表明, 氮磷施用量互作对茶叶产量和茶多酚含量均有显著影响, 对于茶叶产量和品质, 本试验适宜的氮磷施用量互作空间为: N 0.45 ~ 0.60 g/kg, P_2O_5 0.24 ~ 0.30 g/kg, 氮、磷的边际效应均随着施用量的增加而不断减小, 当氮、磷施用量分别达 0.48、0.22 g/kg 时, 茶叶产量边际效应值降至 0, 当氮、磷肥用量分别达 0.53、0.20 g/kg 时, 茶多酚含量边际效应值降至 0; 氮钾施用量互作和磷钾施用量互作对游离氨基酸总量均有显著影响, 本试验适宜的氮钾施用量互作空间为: N 0.45 ~ 0.75 g/kg, K_2O 0.09 ~ 0.24 g/kg, 适宜的磷钾施用量互作空间为 P_2O_5 0.15 ~ 0.24 g/kg, K_2O 0.12 ~ 0.23 g/kg, 氮、钾和磷、钾的边际效应均随着投入量的增加而不断减小, 当氮、钾肥用量分别达 0.59、0.17 g/kg 时, 游离氨基酸总量边际效应值降至 0, 当磷、钾肥用量分别达 0.19、0.17 g/kg 时, 游离氨基酸总量边际效应值降至 0; 本试验条件下, 综合茶叶产量、游离氨基酸总量和茶多酚含量, 茶叶高产优质的氮、磷、钾施肥方案为: N 0.56 g/kg, P_2O_5 0.22 g/kg, K_2O 0.21 g/kg, 适宜的氮磷钾施用比例 N : P_2O_5 : K_2O 约为 2.67 : 1.05 : 1, 此时茶叶各指标均较高。

本试验结论与前人对茶园最优施肥量和施肥配比的研究结果不尽相同, 这与气候、土壤基础肥力和试验品种等不同有密切关系^[13]。李相楹等发现, 茶园按氮磷比 2 : 1 或 3 : 1 配施, 增产效果显著, 且能够提高茶多酚和水浸出物含量^[14]。董水平等使用不同氮、磷、钾配比对茶树进行试验处理, 发现氮磷钾配比为 4 : 1 : 1 与 3 : 1 : 1 时, 茶叶产量和品质均较高^[15]。唐劲驰等研究发现, 初投产茶园的最优氮磷钾施用量为年均施用纯氮 150 kg/hm²、磷肥 150 kg/hm²、钾肥 75 kg/hm² (氮 : 磷 : 钾 = 2 : 2 : 1)^[16]。张亚莲等针对湖南省茶园土壤 4 种土类提出了氮、磷、钾施肥比例, 花岗岩红壤与石灰岩红壤土类为 1 : 1 : 1, 板页岩红壤与第四纪红壤土类为 2 : 1 : 1^[17]。吴利荣等研究表明, 红壤茶园中配施氮磷钾肥 2 : 2 : 1 的比例时, 茶树生长良好, 树冠宽阔, 芽多叶重, 茶叶内含物质成分含量较高且相对协调, 成茶鲜爽, 品质优良^[18]。吴建繁等研究表明, 不同土壤肥力条件下番茄的最佳施肥量不同^[19], 程季珍等也证实菜田土壤养分状况不同, 不同蔬菜的平衡施肥方案也不同^[20]。本试验土壤基础肥力较低, 碱解氮、速效磷、速效钾含量偏低, 所以本试验土壤中氮、磷、钾施用量已经成为茶叶产量和品质的限制因素, 对茶叶产量和品质的影响效应较大, 所以中高氮水平配合中高磷水平和高钾水平为适宜的施肥配比。另外, 本试验结论均是通过盆栽试验得出的, 在田间实际生产中应用前应通过大田试验验证, 因此该试验研究结果仅提供理论上的参考; 本试验仅对春茶品质做了研究, 且仅有 1 次试验, 所以在今后研究中须要重复试验; 该试验仅选取了桂西南地区 1 个茶叶主推品种, 因此所提出的施肥方案有一定局限性, 还应再选取几个主推

品种进行对比试验; 在茶叶品质的评定中, 仅以茶叶中几个主要化学成分作为茶叶品质的衡量标准, 在今后的研究中应再测定一些品质指标, 为进一步探讨茶园最优施肥方案提供理论依据。

参考文献:

- [1] 倪德江, 陈玉琼, 姜 昊. 加工工艺对名优绿茶主要品质化学成分的影响[J]. 华中农业大学学报, 1998, 17(1): 88 - 92.
- [2] 黄建琴, 赵和涛. 有机肥增进红茶品质生化机理研究[J]. 土壤通报, 1998, 29(5): 41 - 42.
- [3] 黎星辉, 黄启为, 唐和平. 土壤地球物理化学特征对名优茶品质的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 1996, 22(6): 542 - 546.
- [4] 罗淑华. 茶叶品质与施肥[J]. 福建茶叶, 1994(2): 24 - 27.
- [5] 苏有健, 廖万有, 丁 勇, 等. 不同氮营养水平对茶叶产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(6): 1430 - 1436.
- [6] 李 静. 不同肥料品种及其用量对茶叶产量和品质的影响研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2005: 30 - 30.
- [7] 王 旭, 张崇玉, 丁 钊. 春茶的产量与品质对氮磷钾及有机肥配施的响应[J]. 贵州农业科学, 2015, 43(11): 64 - 66, 70.
- [8] 韩文炎, 阮建云, 林 智, 等. 茶园土壤主要营养障碍因子及系列茶树专用肥的研制[J]. 茶叶科学, 2002, 22(1): 70 - 74, 65.
- [9] 李萍萍, 林永锋, 胡永光. 有机肥与化肥配施对茶叶生长和土壤养分的影响[J]. 农业机械学报, 2015, 46(2): 64 - 69.
- [10] Yuan L, Wang S, Wang Z H, et al. Tea - grown soils and tea quality in Sichuan and Chongqing, China[J]. Pedosphere, 2000, 10(1): 45 - 52.
- [11] Sharma D K, Sharma K L. Effect of nitrogen and potash application on yield and quality of China hybrid tea (*Camellia sinensis*) grown in Kangra valley of Himachal Pradesh[J]. Indian Journal of Agricultural Sciences, 1998, 68(6): 307 - 309.
- [12] Ruan J Y, Wu X, Ye Y, et al. Effect of potassium, magnesium and sulphur applied in different forms of fertilizers on free amino acid content in leaves of tea (*Camellia sinensis* L.)[J]. Science of Food and Agriculture, 1998, 76(3): 389 - 396.
- [13] 杜少平, 马忠明, 薛 亮. 氮磷钾配施对砂田西瓜产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(2): 468 - 475.
- [14] 李相楹, 张珍明, 张清海, 等. 茶园土壤氮磷钾与茶叶品质关系研究进展[J]. 广东农业科学, 2014, 41(23): 56 - 60.
- [15] 董水平, 蒋玉根, 马国瑞. 不同氮、磷、钾配比对茶树产量及品质的影响[J]. 茶叶, 2004, 30(3): 148 - 149.
- [16] 唐劲驰, 吴利荣, 吴家尧, 等. 初投产茶园氮磷钾配比施用与产量、品质的关系研究[J]. 茶叶科学, 2011, 31(1): 11 - 16.
- [17] 张亚莲, 罗淑华, 曾跃辉, 等. 湖南省茶园土壤养分丰缺指标及配方施肥[J]. 茶叶科学, 1997, 17(2): 3 - 12.
- [18] 吴利荣, 吴家尧, 庞 式. 红壤茶园氮磷钾配比施肥研究总结[J]. 广东茶业, 2000(1): 27 - 34.
- [19] 吴建繁, 王运华, 贺建德. 京郊保护地番茄氮磷钾肥料效应及其吸收分配规律研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(4): 409.
- [20] 程季珍, 亢青选, 张春霞, 等. 山西省菜田土壤养分状况及主要蔬菜的平衡施肥[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(1): 117 - 122.