

陇东烤烟“3414”施肥效果及推荐施肥量研究

张文明^{1,2}, 邱慧珍^{1,2}, 张春红^{1,2}, 海 龙^{1,2}

(1. 甘肃省干旱生境作物学重点实验室 甘肃农业大学, 甘肃 兰州 730070;

2. 甘肃农业大学资源与环境学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 为了探讨“3414”方案在烤烟施肥中的应用和正宁县烤烟的合理施肥量, 通过田间试验研究了正宁县烤烟“3414”方案的施肥效果和推荐用量。结果表明, 当三元二次肥效模型不能对“3414”试验结果进行拟合时, 采用一元二次肥效模型拟合, 可以较好地反映产量与施肥量之间的关系; 氮、磷肥效应函数属典型模型, 钾肥效应函数属非典型模型; 结合经济效益分析, 可以看出本试验条件下当地烤烟种植的经济最佳氮、磷和钾施用量分别为 $56 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $78 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $270 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$

关键词: 烤烟; “3414”肥料试验; 肥料效应函数; 施肥参数

中图分类号: S572 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)05-0191-05

Effects of “3414” fertilization program and fertilizer recommendation for flue-cured tobacco in east Gansu Province

ZHANG Wen-ming^{1,2}, QIU Hui-zhen^{1,2}, ZHANG Chun-hong^{1,2}, HAI Long^{1,2}

(1. Gansu Provincial Key Lab of Aridland Crop Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. College of Resources and Environmental Sciences, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: The experiment was conducted in Zhengning County, Gansu Province to study the effects of “3414” fertilization program and fertilizer recommendation for flue-cured tobacco. The results showed that the one-factor quadratic models could reflect well the relationship between yield and fertilization rate. The effect functions of N and P were typical models, while the effect function of K was a typical model. According to the economic analysis, the optimal application rate of N, P and K for flue-cured tobacco was $56 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, $78 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ and $270 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, respectively.

Keywords: flue-cured tobacco; “3414” fertilization program; fertilizer effect function; fertilization parameter

氮、磷、钾素营养对烤烟生长发育、代谢过程、产量和品质等均有较大的影响^[1-6]。制定优化配方施肥方案, 可使土壤养分供应与烟草生长发育规律相吻合, 进而促进烟叶适产、优质^[7]。

“3414”方案是二次回归 D 最优设计的一种, 该方案设计吸收了回归最优设计处理少、效率高的优点, 是目前国内外应用较为广泛的肥料效应田间试验方案, 也是国家测土配方施肥各项目县统一采用的田间试验方案^[8]。自从国家测土配方施肥项目实施以来, 有关“3414”试验方案在大田作物上的应用已经进行了大量研究, 但在经济作物上的研究还不多, 特别是正宁县烤烟测土配方施肥尚未见报道, 为此, 2007 年在庆阳市正宁县布置了烤烟“3414”肥料

试验, 旨在探求氮、磷、钾素与烤烟产量、产值之间的关系, 通过配置三元二次、二元二次和一元二次肥料效应模型^[9], 结合经济效益分析, 确定烤烟最高产量施肥量和经济最佳施肥量, 寻找正宁县烤烟适产、优质、高效的田间优化施肥方案, 为当地烤烟的科学施肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤为黑垆土, 土壤基本理化性状为: 全氮 $0.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 碱解氮 $50.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效磷 P_2O_5 $14.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效钾 K_2O $160.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 有机质 $12.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, pH 8.3。

收稿日期: 2013-04-09

基金项目: 农业部公益性行业(农业)科技专项(200803031); 庆阳市科技局科技专项(GK071-1)

作者简介: 张文明(1980—), 男, 甘肃会宁人, 讲师, 在读博士, 主要从事养分资源管理和高效利用的研究。E-mail: zhangwm@gsau.edu.cn。

通信作者: 邱慧珍(1961—), 女, 上海市人, 教授, 博导, 主要从事植物营养和营养生态的教学与科研工作。E-mail: hzqiu@gsau.edu.cn。

供试作物:烤烟品种为当地当家品种 CV₇₀,由正宁县烟草生产管理局提供。

供试肥料:氮肥用硝铵磷(N 含量 32%, P₂O₅ 含量 4.4%),磷肥用过磷酸钙(P₂O₅ 含量 16%),钾肥用硫酸钾(K₂O 含量 50%)。

1.2 试验设计与方法

1.2.1 试验设计 试验于 2007 年在正宁县进行,采用“3414”完全实施方案,即试验设三个因素:氮(N)、磷(P)和钾(K),每因素 4 个水平,共 14 个处理(表 1),4 个水平分别为:

- 1) 0 水平:不施肥;
- 2) 2 水平:当地最佳施肥量;
- 3) 1 水平:2 水平 × 0.5;
- 4) 3 水平:2 水平 × 1.5(该水平为过量施肥水平)。

氮的四个水平分别为:0、30、60 kg·hm⁻²和 90 kg·hm⁻²,N:P₂O₅:K₂O 比例为 1:1.5:3,则磷的四个水平为 0、45、90 kg·hm⁻²和 135 kg·hm⁻²,钾的四个水平为 0、90、180 kg·hm⁻²和 270 kg·hm⁻²。

表 1 “3414”试验方案处理及施肥量/(kg·hm⁻²)

Table 1 “3414” experimental design and the fertilizer application rates

编号 No	处理 Treatment	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
T ₁	N ₀ P ₀ K ₀	0	0	0
T ₂	N ₀ P ₂ K ₂	0	90	180
T ₃	N ₁ P ₂ K ₂	30	90	180
T ₄	N ₂ P ₀ K ₂	60	0	180
T ₅	N ₂ P ₁ K ₂	60	45	180
T ₆	N ₂ P ₂ K ₂	60	90	180
T ₇	N ₂ P ₃ K ₂	60	135	180
T ₈	N ₂ P ₂ K ₀	60	90	0
T ₉	N ₂ P ₂ K ₁	60	90	90
T ₁₀	N ₂ P ₂ K ₃	60	90	270
T ₁₁	N ₃ P ₂ K ₂	90	90	180
T ₁₂	N ₁ P ₁ K ₂	30	45	180
T ₁₃	N ₁ P ₂ K ₁	30	90	90
T ₁₄	N ₂ P ₁ K ₁	60	45	90

1.2.2 试验方法 试验共设 14 个处理,每处理重复三次,随机区组排列,小区面积为 66 m²(15 m × 4.4 m),试验地四周设有 1 m 保护行。

烤烟种植采用窄膜单行,行距为 1.1 m,垄距 1.1 m,垄高 0.1 m,垄宽 0.55 m,株距为 0.6 m。施肥和起垄同步进行,采用双层施肥技术。烟田施肥按方案要求,起垄时施入氮肥用量的 85%,磷肥用

量的 70%和钾肥用量的 70%,剩余 15%的氮肥和 30%的磷肥于移栽时穴施,而 30%的钾肥在现蕾期根外喷施,所有小区不施有机肥。

4 月 1 日起开始起垄,5 月 1 日起开始移栽(苗龄 60 d 左右,六叶一心),从 8 月下旬起开始采收,根据“生不采,熟不漏”的原则,成熟一片采收一片,分小区记产。

1.2.3 试验数据处理 实验数据采用 EXCEL2003 和 SPSS11.5 数据处理软件进行统计分析。

1.2.4 推荐施肥量的确定方法 设定烤烟产量为 y ,施肥量为 x ,拟合三元二次、二元二次和一元二次肥料效应模型,计算最高产量时的氮、磷、钾肥施用量,再根据烟叶价格及肥料价格,计算经济最佳施肥量。对三种模型进行分析,综合考虑其典型性、 F 值检验、 R_2 值检验及其施肥量的合理性选择合适的肥效模型,最终确定正宁县烤烟的推荐施肥量。

2 结果与分析

2.1 土壤养分贡献率分析

土壤自身肥力的高低是影响作物产量的重要因素之一,也是确定合理施肥量的重要依据之一。不同施肥处理下烤烟产量见表 2。

表 2 不同施肥处理对烤烟产量的影响

Table 2 Effects of different fertilizer application rates on yields of flue-cured tobacco

编号 No	处理 Treatment	产量 Yield /(kg·hm ⁻²)	编号 No	处理 Treatment	产量 Yield /(kg·hm ⁻²)
T ₁₀	N ₂ P ₂ K ₃	2705.6a	T ₁₃	N ₁ P ₂ K ₁	2329.2def
T ₆	N ₂ P ₂ K ₂	2566.9b	T ₉	N ₂ P ₂ K ₁	2320.5ef
T ₅	N ₂ P ₁ K ₂	2482.1bc	T ₁₄	N ₂ P ₁ K ₁	2294.2f
T ₇	N ₂ P ₃ K ₂	2461.2bc	T ₄	N ₂ P ₀ K ₂	2282.7f
T ₃	N ₁ P ₂ K ₂	2449.1bcd	T ₈	N ₂ P ₂ K ₀	2270.6f
T ₁₁	N ₃ P ₂ K ₂	2420.1cde	T ₂	N ₀ P ₂ K ₂	2030.9g
T ₁₂	N ₁ P ₁ K ₂	2383.1cdef	T ₁	N ₀ P ₀ K ₀	1946.1g

注:同列不同小写字母分别表示在 5% 水平差异显著,下同。

Note: The different small letters stand for significance at 0.05 levels, the same below.

根据表 2 数据计算得出烤烟产量对土壤肥力的依存率为 75.8%,因此本试验条件下烤烟产量更依赖于土壤的基础肥力;氮、磷、钾缺素区与全肥区处理 T₆ 的产量进行比较,相对产量分别为 79.12%、88.93%、88.46%。由此可以看出,试验区土壤 N、P、K 处于中等含量水平^[10-12]。

2.2 肥料效应函数的配置和效应分析

2.2.1 三元二次肥料效应函数的配置与施肥参数

的计算 利用 Excel 数据分析工具建立产量与施肥量之间的回归关系,得三元二次肥料效应方程:

$$Y = 1944.399 + 8.179N + 4.594P - 0.37K - 0.137N^2 - 0.033P^2 + 0.002K^2 + 0.029NP + 0.031NK - 0.003PK$$

$$(F = 32.16, F_{0.05} = 0.0022, R^2 = 0.9864)。$$

利用当年的肥料和烟叶价格: N 4.00 元·kg⁻¹, P₂O₅ 6.88 元·kg⁻¹, K₂O 7.20 元·kg⁻¹, 烟叶 7.23 元·kg⁻¹, 求解该方程得最高产量氮、磷和钾施用量分别为 30.26、86.41 kg·hm⁻²和 -77.21 kg·hm⁻²; 经济最佳氮、磷和钾施用量分别为 42.44、76.73 kg·hm⁻²和 70.14 kg·hm⁻²。所得结果最高产量施钾量为负,且方程中 K 系数为负, K² 系数为正,不符合“报酬递减率”,因此可判定该“3414”试验不能拟合出典型的三元肥效模型,其结果的可靠程度不高,不能用来指导农民施肥,这与孔义祥^[10]、王圣瑞^[13]等研究结果一致。在“3414”试验中,三元二次模型拟合成功率不高时,可以考虑一元施肥模型和二元施肥模型,作为一种很好的补充和优化手段。

2.2.2 二元二次肥料效应函数的配置与施肥参数的计算 分别以 K₂、P₂ 和 N₂ 水平为基础,建立氮磷二元二次肥料效应方程: $Y = 1791.50 + 17.22N + 6.24P - 0.15N^2 - 0.039P^2 + 0.0078NP$ ($F = 126.78, F_{0.05} = 0.0078, R^2 = 0.9969$); 氮钾二元二次肥料效应方程: $Y = 2036.99 + 11.97N - 0.29K - 0.14N^2 + 0.0017K^2 + 0.026NK$ ($F = 17.27, F_{0.05} = 0.056, R^2 = 0.9774$); 磷钾二元二次肥料效应方程: $Y = 2054.24 + 5.04P + 0.86K - 0.03P^2 + 0.002K^2 + 0.0026PK$ ($F = 14.05, F_{0.05} = 0.068, R^2 = 0.9723$), 求解三个二元二次方程得施肥参数及产量范围,见表 3。

表 3 二元二次方程下施肥量及产量

Table 3 Fertilizer application rates and yields based on duality quadratic equation

因素 Factor	最高产量 施肥量 Highest-yield application rate /(kg·hm ⁻²)	经济最佳 施肥量 Economic optimum fertilization /(kg·hm ⁻²)	最高产量 Highest yield /(kg·hm ⁻²)	经济最佳 产量 Economic optimum yield /(kg·hm ⁻²)
N	58.85	55.53	2566.15	2562.67
P ₂ O ₅	85.88	78.75		
N	30.93	43.10	2234.93	2328.89
K ₂ O	-128.12	43.00		
P ₂ O ₅	70.62	73.74	2148.23	2234.58
K ₂ O	-267.91	-22.81		

分析对比各方程及表 3 中相应的施肥参数,氮

磷二元二次方程中一次项系数为正,二次项系数为负,属于典型的肥料效应模型,能够较好地反映氮磷交互作用对烤烟产量的影响,其推荐施肥量可以作为施肥参考;氮钾二元二次方程中 K 系数为负, K² 系数为正,不符合“报酬递减率”,所得结果最高产量施钾量为负,可以判定该肥料效应模型不典型,不能反映氮钾交互作用对烤烟产量的影响,其结果的可靠程度不高,不能用来指导农民施肥;同理,磷钾肥料效应模型也不典型,方程中 K² 系数为正,最高产量和经济最佳施钾量均为负,且经济最佳产量大于最高产量,结果不切合生产实践。

2.2.3 一元二次肥料效应函数的配置与施肥参数的计算 分别以 P₂K₂、N₂K₂ 和 N₂P₂ 为基础对氮、磷和钾进行一元二次肥料效应分析,如图 1、2 和 3 所示。

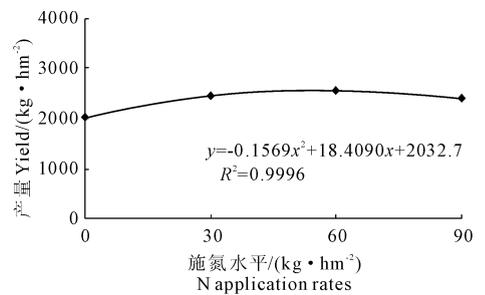


图 1 施氮量与产量效应曲线

Fig. 1 The effect curve of yields to N application rates

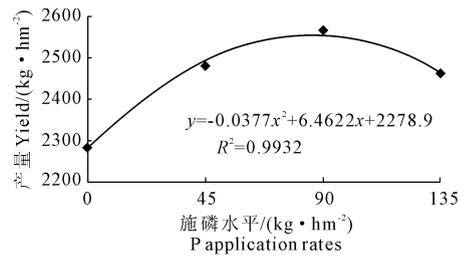


图 2 施磷量与产量效应曲线

Fig. 2 The effect curve of yields to P application rates

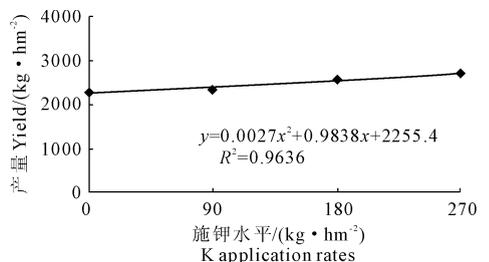


图 3 施钾量与产量效应曲线

Fig. 3 The effect curve of yields to K application rates

从方程和图 1 可以看出,施氮量与烤烟产量之间的关系为典型的一元二次肥料效应。对方程进行计算得知:最高产量施氮量为 58.63 kg·hm⁻²,最高

产量为 $2\ 572.74\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$; 经济最佳施氮量为 $55.61\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 相应的经济最佳产量为 $2\ 571.27\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。这一产量与 $T_6(N_2P_2K_2)$ 处理的产量 ($2\ 566.9\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) 十分相近, 说明四个氮水平中, $60\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 为最佳施氮水平。

从方程和图 2 可以看出, 施磷量与烤烟产量之间的关系也为典型的一元二次肥料效应。对方程进行计算得知: 最高产量施磷量为 $85.69\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 最高产量为 $2\ 555.83\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$; 经济最佳施磷量为 $78.39\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 对应其经济最佳产量为 $2\ 553.82\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。这一产量与 $T_6(N_2P_2K_2)$ 处理的产量 ($2\ 566.9\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) 十分相近, 说明四个磷水平中, $90\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 为最佳施磷水平。

由图 3 看出, 产量随钾肥用量的增加而增加, 施钾水平和产量之间的关系无法用经典的一元二次肥料效应模型模拟, 因此, 在本试验条件下, 施钾水平与烤烟产量之间的关系属非典型模型。经济最佳施钾量与最高产量施钾量一定在 K_3 水平以上, 至于曲线外延到哪一点有待于进一步的试验。出现这一结果的原因之一是供试土壤速效钾含量较低 ($160\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), 在我国植烟土壤钾素分级指标中属于缺钾^[6], 在这样缺钾的土壤上, 本试验的最高施钾水平偏低。同时也说明, 供试品种 CV_{70} 需钾量较大, 当施钾量为 $270\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时, 产量没有达到最高。如果推荐施肥量高于试验的最高施肥量, 则以试验的最高施肥量为推荐施肥量^[6]。因此, 本试验条件下推荐施钾量为 $270\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

2.3 氮、磷、钾肥的互作效应分析

2.3.1 不同磷钾肥用量对氮肥效果的影响

氮、磷、钾肥彼此间存在一定的相互作用, 互相影响施肥效果的发挥^[9]。不同磷钾肥用量明显影响氮肥效果的发挥。施用等量钾肥时 ($180\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$), 氮用量从 $30\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 增加到 $60\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时, 施磷量为 45 、 $90\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $135\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 水平的烟叶产量增量分别为 84.8 、 $183.8\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $105.7\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$; 施用等量磷肥时 ($90\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$), 氮用量从 $30\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 增加到 $60\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时, 施钾量为 90 、 $180\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $270\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 水平的产量增量分别为 -8.7 、 $237.7\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $376.4\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。结果说明, 烤烟在施磷量为 $90\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、施钾量为 $270\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时, 最有利于氮肥效果的发挥。

2.3.2 不同氮钾肥用量对磷肥效果的影响

不同氮钾肥用量明显影响磷肥效果的发挥。施用等量钾肥时 ($180\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$), 磷用量从 $45\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 增加到 $90\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时, 施氮量为 30 、 $60\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $90\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$

水平的烟叶产量增量分别为 66 、 $183.8\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $37\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$; 施用等量氮肥时 ($60\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$), 磷用量从 $45\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 增加到 $90\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时, 施钾量为 90 、 $180\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $270\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 水平的产量增量分别为 26.3 、 $272.7\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $411.4\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。结果说明, 烤烟在施氮量为 $60\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、施钾量为 $270\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 水平时, 最有利于磷肥效果的发挥。

2.3.3 不同氮磷肥用量对钾肥效果的影响

不同氮磷肥用量明显影响钾肥效果的发挥。施用等量磷肥时 ($90\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$), 钾用量从 $90\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 增加到 $180\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时, 施氮量为 30 、 $60\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $90\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 水平的烟叶产量增量分别为 119.8 、 $237.7\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $90.9\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$; 施用等量氮肥时 ($60\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$), 钾用量从 $90\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 增加到 $180\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时, 施磷量为 45 、 $90\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $135\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 水平的产量增量分别为 $187.9\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $272.7\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $167\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。结果说明, 烤烟在施氮量为 $60\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、施磷量为 $90\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 水平时, 最有利于钾肥效果的发挥。

综合两两交互作用对第三种肥料肥效的影响, 本试验中 $T_{10}(N_2P_2K_3)$ 为最佳肥效配比。

2.4 氮磷钾不同水平的烤烟经济效益分析。

从表 4 中可以看出, 在氮、磷和钾的各施肥水平中, 与不施肥相比, 其它各处理产值均明显提高。施氮量和施磷量与产值之间呈单峰曲线, 而施钾量与产值之间呈线性关系, 在施氮 $60\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、施磷 $90\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和施钾 $270\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时产值最大, 分别比不施肥时增加 54.8% 、 38.3% 和 50.9% 。因此, 本试验条件下, $T_{10}(N_2P_2K_3)$ 为最佳施肥配比, 这与前面互作效应分析结果一致。

2.5 推荐施肥量的确定

该试验建立的三元二次肥效模型模拟不成功, 其推荐施肥量不能用于施肥实践。二元二次方程中, 氮磷肥效模型拟合较好, 其结果能够反映试验实际情况, 氮钾和磷钾肥效模型拟合不成功。一元二次方程中, 氮、磷的肥效模型属于典型的肥料效应函数, 其推荐施肥量可用于生产实践, 钾肥肥效方程为非典型模型, 其推荐施用量有待于进一步研究。对比分析 3 种肥料效应函数得到的最佳施肥量和产量, 结合经济效益分析可以得出, 一元二次方程所得产量略高, 经济效益也最高。所以推荐用一元二次效应函数所得结果作为当地烤烟种植的施肥参考。因此, 本试验条件下确定烤烟氮 (N)、磷 (P_2O_5)、钾 (K) 肥的最高产量施肥量分别为 58.63 、 $85.69\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $270\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 经济最佳施肥量分别为 55.61 、 $78.39\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $270\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

表4 氮磷钾配施对烤烟经济效益的影响

Table 4 Effect of nitrogen, phosphorus and potassium on economic benefit of flue-cured tobacco

肥料 Fertilizer	处理 Treatment	施肥量 Fertilizer application rate /(kg·hm ⁻²)	平均产值 Average output value /(元·hm ⁻²)	增产值 Increased output value /(元·hm ⁻²)	肥料成本 Fertilizer input /(元·hm ⁻²)	增加的纯收入 Increased net income /(元·hm ⁻²)
氮 (N)	T ₂	0	13573.7d		1656	
	T ₃	30	18619.5b	5045.8	1863	4838.90
	T ₆	60	21008.0a	7434.3	2070	7020.31
	T ₁₁	90	16376.2c	2802.5	2277	2181.50
磷 (P)	T ₄	0	15187.8c		1710	
	T ₅	45	18906.5b	3718.7	1890	3538.69
	T ₆	90	21008.0a	5820.2	2070	5460.20
	T ₇	135	18856.7b	3668.9	2250	3128.91
钾 (K)	T ₈	0	15215.0d		508	
	T ₉	90	17324.8c	2109.8	1422	1195.75
	T ₆	180	21008.0b	5793.0	2070	4230.99
	T ₁₀	270	22958.2a	7743.2	2718	5533.16

3 结论与讨论

1) 本研究表明,烤烟合理施肥具有显著的增产增收效果,但施肥量(特别是氮、磷肥)超过一定范围后,烤烟产量以及经济效益不但不能提高,反而呈下降趋势,例如,氮、磷肥的3水平(过量施肥水平)处理的产量和纯增收都低于相应的2水平处理。这种现象反映了客观存在的肥料经济效益问题,即“肥料报酬递减律”^[14]。

2) 通过计算缺素区相对产量得出,试验区土壤N、P、K处于中等含量水平。

3) 氮磷钾互作效应分析后可知,试验中P₂K₃最有利于氮肥肥效发挥;N₂K₃最有利于磷肥肥效发挥;N₂P₂最有利于钾肥肥效发挥,由此可得,本试验中T₁₀(N₂P₂K₃)为最佳肥效配比。

4) 本试验研究表明,当三元二次肥效模型不能对“3414”试验结果进行拟和时,采用一元二次肥效模型拟合,可以较好地反映产量与施肥量之间的关系,计算出最高产量施肥量和最佳经济施肥量,这与王圣瑞等人的研究结果一致^[13]。因此推荐适合当地烤烟种植的最佳施氮量为56 kg·hm⁻²左右,施磷量为78 kg·hm⁻²左右,氮磷比例为1:1.4。而钾肥效应方程为非典型模型,无法得出最佳施钾量,推测在270 kg·hm⁻²以上,至于多少,有待于进一步试验。

5) 通过分别对氮、磷、钾肥进行经济效益分析可得,氮、磷、钾用量分别为60、90 kg·hm⁻²和270 kg·hm⁻²时经济效益最好。

参考文献:

- [1] 陈江华,刘建利,李志宏,等.中国植烟土壤及烟草养分综合管理[M].北京:科学出版社,2008.
- [2] 谭金芳.作物施肥原理与技术[M].北京:中国农业大学出版社,2003.
- [3] 施卫省,王亚明,戈振扬,等.营养元素对烟草产量和品质的影响与对策[J].农业系统科学与综合研究,2003,19(4):310-312.
- [4] 江朝静,周众,朱勇.不同施磷水平对烤烟生长和品质的影响[J].耕作与栽培,2004,(2):27-29.
- [5] 刘齐元,刘小林,张德远,等.品种与施肥量对烤烟生长发育及产质量的影响[J].江西农业大学学报,2000,22(2):185-191.
- [6] 赵兴,刘卫群,张维理,等.中国烟草平衡施肥技术研究现状与展望[J].中国烟草学报,2003,9(增刊):30-35.
- [7] 党军政,赵鹏,丁明石.安康烟区氮、磷、钾营养对烤烟产量、均价和产值的影响[J].中国烟草学报,2008,14(增刊):36-40.
- [8] 张文杰,何丽霞,尚云峰.浅论“3414”肥效试验之缺陷[J].安徽农学通报,2008,14(10):55-57.
- [9] 王伟妮,王亚艺,姚忠清,等.早稻“3414”施肥效果及推荐用量研究[J].湖北农业科学,2008,47(11):1268-1271.
- [10] 孔义祥,程琳琳,崔振玲,等.应用“3414”试验建立冬小麦测土配方施肥指标体系[J].植物营养与肥料学报,2009,15(1):197-203.
- [11] 陈新平,张福锁.通过“3414”试验建立测土配方施肥技术指标体系[J].中国农技推广,2006,22(4):36-39.
- [12] 农业部种植业管理司,全国农业技术推广服务中心.测土配方施肥技术问答[M].北京:中国农业出版社,2005:39-41.
- [13] 王圣瑞,陈新平,高祥照,等.“3414”肥料试验模型拟合的探讨[J].植物营养与肥料学报,2002,8(4):409-413.
- [14] 董素钦.应用“3414”设计研究氮磷钾肥料不同配比对水稻产量的效应[J].中国农村小康科技,2006,12:60-62.