

烟稻轮作下烤烟的施肥及养分吸收效应

李洪斌¹, 张杨珠^{1*}, 廖超林¹, 胡日生², 朱列书², 张红¹, 黄运湘¹

(1.湖南农业大学 资源环境学院, 湖南 长沙 410128; 2.中国烟草中南农业试验站, 湖南 长沙 410128)

摘 要: 在联合国粮农组织(FAO)“3414”试验方案的基础上, 添加无肥处理(称为“3415”方案), 通过田间小区试验, 探讨当地烟稻轮作条件下烤烟施用氮、磷、钾肥的效应及最佳施肥量。结果表明: 在烟稻轮作地区, 烤烟作物的地力贡献较小, 无肥区产量仅占氮、磷、钾平衡施肥处理产量的 39.4%; 随着氮肥、磷肥和钾肥施用水平的提高, 产量先增加, 后下降; 氮、磷、钾平衡施肥处理的产量(3 315.9 kg/hm²)最高, 效益(34 371.4 元/hm²)最好, 增产效果最好; 氮的缺乏对烟叶产量的影响最大, 其次是磷和钾, 缺氮、缺磷和缺钾处理的产量, 分别占氮、磷、钾平衡施肥处理产量的 78.3%、79.4%和 89.7%; “3414”方案得到的试验数据不能用三元二次肥料效应模型拟合, 但可以用一元二次肥料效应模型拟合, 一元二次肥料效应模型拟合得到的氮、磷、钾的最佳施用量为 N 159.8 kg/hm²、P₂O₅ 86.1 kg/hm²、K₂O 152.2 kg/hm², 得到的烟叶最佳产量为 3 182.8 kg/hm², 与小区试验得到的最佳施肥量和最高烟叶产量非常接近。

关 键 词: 烟草; 肥料养分; 肥料效应; 养分吸收

中图分类号: S572.062

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2012)06-0656-06

Fertilizer applications for tobacco and nutrient absorption in tobacco under rice-tobacco rotation

LI Hong-bin¹, ZHANG Yang-zhu^{1*}, LIAO Chao-lin¹, HU Ri-sheng², ZHU Lie-shu², ZHANG Hong¹, HUANG Yun-xiang¹

(1.College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2. China Tobacco Zhongnan Agricultural Experiment Stations, Changsha 410128, China)

Abstract: FAO “3414” design plus no fertilizer treatment called “3415” design was used in field plot experiment to investigate the effect of different application of N, P and K fertilizer on flue-cured tobacco under local rice-tobacco rotation system. The results showed that in the region applying rice-tobacco rotation, soil contributed little to the yield of tobacco crops, yield in no fertilizer area only accounted for 39.4% of that in area with balanced NPK fertilization; with the increasing of N, P and K, the yield increased first, and then declined. The fertilizer treatment with the balanced NPK showed the highest tobacco yield (3 315.9 kg/hm²), the best economic yield (34 371.4 yuan/hm²) and the best yield increasing effect. The lack of N influenced the yield of tobacco most, followed by P and K. The yield in treatments with deficiency of N, P and K accounted respectively for 78.3%, 79.4% and 89.7% of that in treatment with balanced NPK fertilization. The data from “3415” experiment did not fit the ternary quadratic fertilizer response function, but fit the one-place quadratic fertilizer response function. By one-place quadratic fertilizer response function, the best application of N, P and K were 159.8 kg/hm², 86.1 kg/hm² and 152.2 kg/hm² respectively and the optimum yield was 3 182.8 kg/hm², approaching the best application amount of N, P, K and the highest tobacco yield in field plot experiment.

Key words: tobacco; fertilizer; fertilizer response; nutrient uptake

中国是世界上最大的烟草生产国, 无论种植面积, 还是烟叶产量均居世界第一^[1]。自 20 世纪 80

年代以来, 为了提高烟叶产量和品质, 广大烟草科技工作者从烟草育种和栽培技术等方面进行了大量

收稿日期: 2012-03-12

基金项目: 湖南省烟草专卖局科研项目(09-11Aa02); 湖南省研究生科研创新项目(CX2009B149)

作者简介: 李洪斌(1983—), 男, 湖南冷水江人, 博士, 研究方向为土壤肥力与作物施肥, binbin_9894@163.com; *通信作者, zhangyangzhu2006@163.com

的研究，特别是对烟草作物的施肥技术进行了深入研究。从目前已有的研究资料来看，对烟草作物氮肥与钾肥施用技术的单项研究较多，而对烟草磷肥施用技术的研究甚少，对烟草作物氮(N)、磷(P)、钾(K)肥的配合施用技术更是鲜见报道^[2-7]。在生产实践中，烟农为了片面追求经济效益，大量施用 N、P、K 肥料，从而导致烟农生产成本偏高，肥料养分利用率低下，烟叶品质下降，造成植烟地区严重的养分淋失和农业面源污染^[8-10]。笔者开展了 N、P、K 不同配施水平条件下烟草作物的养分吸收规律与养分利用率的研究，以指导烟草作物生

产合理施肥，提高肥料养分的利用率，减少农业污染。

1 材料和方法

1.1 材 料

供试作物为烤烟品种 K326。供试肥料为氮肥(尿素，含 N 46%)、磷肥(过磷酸钙，含 P₂O₅ 12%)、钾肥(硫酸钾，含 K₂O 50%)、有机肥(菜枯饼肥)。供试土壤为红底河潮泥，其基本理化性质见表 1。试验地烟稻轮作。

表 1 供试土壤的基本理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of the tested soils

有机质/(g·kg ⁻¹)	全氮/(g·kg ⁻¹)	全磷/(g·kg ⁻¹)	全钾/(g·kg ⁻¹)	碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	有效磷/(mg·kg ⁻¹)	速效钾/(mg·kg ⁻¹)	缓效钾/(mg·kg ⁻¹)	pH
25.3	3.0	1.2	13.3	278.1	65.7	248.9	374.1	4.78

1.2 试验设计

试验于 2009 年 1 月初在中国烟草中南试验站湖南农业大学基地漂浮育苗。根据联合国粮农组织(FAO)提出的“3414”试验方案，在施等量有机肥(M)的基础上，无机肥的施用采取三因素(N、P、K)四水平(0 水平，不施肥；2 水平，当地最佳施肥量；1 水平为最佳施肥量的一半；3 水平为最佳施肥量的 1.5 倍，为过量施肥水平)。为探寻有机肥的增产效应，在“3414”基础上增加一个既不施有机肥也不施化肥的空白处理，各处理施肥量见表 2(以下称修改的“3414”试验方案为“3415”方案)。每个处

理为一个小区，未设重复。各小区面积均为 67.2 m²，随机排列。

3 月 24 日分小区施肥，3 月 27 日移栽，移栽密度均为 0.5 m×1.2 m。具体施肥方法：有机肥在翻耕整地时作基肥一次性施用；磷肥全部作基肥施用；氮肥和钾肥均分 2 次施用，基肥与追肥的比例分别为 6/4 和 4/6，基肥在最后一次整地时穴施，追肥在移栽后 30 d 内分 3 次施入，第 1 次提苗肥氮和钾肥均为 5%，于移栽后 1 星期内施入，第 2、第 3 次追肥分别在 4 月 15 日和 4 月 23 日施入，浇施，追肥施肥位置为烤烟根冠的边缘，即垂直于最大叶片叶尖的周围。

表 2 各处理施肥水平

Table 2 Treatments and fertilization levels kg/hm²

处理 编号	处 理	施 肥 量			
		M(菜枯)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	MN ₀ P ₀ K ₀	1 500	0.00	0.00	0.00
2	MN ₀ P ₂ K ₂	1 500	0.00	90.00	300.00
3	MN ₁ P ₂ K ₂	1 500	90.00	90.00	300.00
4	MN ₂ P ₀ K ₂	1 500	180.00	0.00	300.00
5	MN ₂ P ₁ K ₂	1 500	180.00	45.00	300.00
6	MN ₂ P ₂ K ₂	1 500	180.00	90.00	300.00
7	MN ₂ P ₃ K ₂	1 500	180.00	135.00	300.00
8	MN ₂ P ₂ K ₀	1 500	180.00	90.00	0.00
9	MN ₂ P ₂ K ₁	1 500	180.00	90.00	150.00
10	MN ₂ P ₂ K ₃	1 500	180.00	90.00	450.00
11	MN ₃ P ₂ K ₂	1 500	270.00	90.00	300.00
12	MN ₁ P ₁ K ₂	1 500	90.00	45.00	300.00
13	MN ₁ P ₂ K ₁	1 500	90.00	90.00	150.00
14	MN ₂ P ₁ K ₁	1 500	180.00	45.00	150.00
15	M ₀ N ₀ P ₀ K ₀	0	0	0	0

1.3 样品采集

施肥前采集试验区耕层土壤混合样品(原始土样)，风干，先过 2.00 mm 孔径筛，后用 0.15 mm 孔径筛人工手动过筛，用于测定土壤的有机质、全氮、全磷、全钾、有效氮、有效磷、有效钾的含量和 pH。

各小区定株 10 蔸采集样品，烟叶采摘前先收集烟株的脚叶作为茎秆一部分，从 6 月 6 日起，分 6 批次自下而上采集新鲜烟叶，烟叶采收完成后，选取 5 蔸收集烟株的地上部茎秆，每次采集完后及时杀青后烘干，所有植物样品均测定其 N、P、K 含量。

1.4 测定方法

项目测定采用文献[11]的方法,其中土壤有机质含量采用重铬酸钾滴定法测定;土壤全氮用半微量开氏法测定;土壤全磷用氢氧化钠熔融,钼锑抗比色法测定;土壤有效磷用 Olsen 法测定;土壤速效氮用流动分析仪测定;土壤全钾用氢氧化钠熔融,火焰光度法测定;速效钾用 1 mol/L 中性醋酸铵提取,提取液用火焰光度法测定。烟株全氮、全磷、全钾用 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮,开氏定氮法测氮,钒钼黄比色法测磷,火焰光度法测钾。

所有植物样品在采集后,准确测定每次每小区新鲜烟叶的生物产量,然后准确称取 1 kg 鲜样及时杀青后烘干,准确称量其干重,通过分取比例计算各小区产量(干重)。

1.5 数据分析

“3415”试验数据分别用三元二次和一元二次的模型模拟。采用三元二次肥料效应模型进行拟合时,所采用的方程为: $y = b_0 + b_1x_N + b_2x_P + b_3x_K + b_4x_N^2 + b_5x_P^2 + b_6x_K^2 + b_7x_Nx_P + b_8x_Nx_K + b_9x_Px_K$ 。式中, y 表示产量; x_N 表示氮肥施用量; x_P 表示磷肥施用量; x_K 表示钾肥施用量。根据边际收益等于边际成本,计算经济最佳施肥量。

采用一元肥料效应模型进行拟合时,以处理 2、3、6、11(不同 N 水平, P、K 均为 2 水平)进行 N 肥效应拟合;以处理 4、5、6、7(不同 P 水平, N、K 均为 2 水平)进行 P 肥效应拟合;以处理 8、9、6、10(不同 K 水平, N、P 均为 2 水平)进行 K 肥效应的拟合。采用的单因素肥料效应模型为一元二次模型: $y = a + bx + cx^2$ 。式中, y 为烟叶产量(kg/hm^2); x 为肥料用量(kg/hm^2); a 为截距; b 为一次回归系数; c 为二次回归系数,最佳肥料用量通过边际分析求得。

N、P、K 肥分别以 N、 P_2O_5 、 K_2O 计,计算所用的肥料单价分别为 N 5.14 元/kg P_2O_5 6.17 元/kg, K_2O 8.17 元/kg, 烤烟平均单价 12 元/kg, 应用测土配方施肥软件对方程进行模拟。采用 Excel 2003 处理其他数据,应用 DPS 软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对烤烟产量及经济效益的影响

各处理烟叶、烟杆产量及地上部生物总产量列于表 3。由表 3 可知,各处理中以当地氮、磷、钾最佳施肥量处理(处理 6)的烟叶产量最高,无肥处理(处理 15)的产量最低,仅为处理 6 产量的 39.4%,这说明烤烟生产的地力贡献较小,远不如蔬菜和水

表 3 各处理的产量效应

Table 3 Yield response in different treatments

编号	处理	烟叶产量/ ($kg \cdot hm^{-2}$)	茎秆产量/ ($kg \cdot hm^{-2}$)	总生物产量/ ($kg \cdot hm^{-2}$)	经济 系数	较处理 6 产量/%	比无肥区增 产/($kg \cdot hm^{-2}$)	肥料成本/ ($元 \cdot hm^{-2}$)	净收入/ ($元 \cdot hm^{-2}$)	比无肥区增收/ ($元 \cdot hm^{-2}$)
1	$MN_0P_0K_0$	1 828.6	1 025.3	2 853.9	0.64	55.1	520.6	2 249.7	19 693.5	3 997.5
2	$MN_0P_2K_2$	2 596.3	1 177.1	3 773.4	0.69	78.3	1 288.3	4 789.7	26 365.9	10 669.9
3	$MN_1P_2K_2$	2 815.8	1 085.4	3 901.2	0.72	84.9	1 507.8	4 956.8	28 832.8	13 136.8
4	$MN_2P_0K_2$	2 631.8	1 177.9	3 809.7	0.69	79.4	1 323.8	5 000.3	26 581.3	10 885.3
5	$MN_2P_1K_2$	3 041.1	1 334.1	4 375.2	0.70	91.7	1 733.1	5 141.7	31 351.5	15 655.5
6	$MN_2P_2K_2$	3 315.9	996.3	4 312.2	0.77	100.0	2 007.9	5 419.4	34 371.4	18 675.4
7	$MN_2P_3K_2$	3 069.5	1 389.0	4 458.5	0.69	92.6	1 761.5	5 697.0	31 137.0	15 441.0
8	$MN_2P_2K_0$	2 974.4	1 090.2	4 064.6	0.73	89.7	1 666.4	3 298.6	32 394.2	16 698.2
9	$MN_2P_2K_1$	2 965.0	1 212.8	4 177.8	0.71	89.4	1 657.0	4 193.9	31 386.1	15 690.1
10	$MN_2P_2K_3$	2 737.6	1 121.9	3 859.5	0.71	82.6	1 429.6	6 645.0	26 206.2	10 510.2
11	$MN_3P_2K_2$	2 866.5	1 420.7	4 287.2	0.67	86.4	1 558.5	5 882.0	28 516.0	12 820.0
12	$MN_1P_1K_2$	2 460.4	1 353.6	3 814.0	0.65	74.2	1 152.4	4 679.1	24 845.7	9 149.7
13	$MN_1P_2K_1$	2 357.5	1 174.3	3 531.8	0.67	71.1	1 049.5	3 731.3	24 558.7	8 862.7
14	$MN_2P_1K_1$	2 309.8	971.6	3 281.4	0.70	69.7	1 001.8	3 916.2	23 801.4	8 105.4
15	$M_0N_0P_0K_0$	1 308.0	609.7	1 917.7	0.68	39.4			15 696.0	

稻等其他农作物的地力贡献大^[12-13]，而其施肥效应较大，也是烟农为什么大量施肥的原因之一。缺氮(处理 2)、缺磷(处理 4)、缺钾(处理 8)的烟叶产量分别为处理 6 的 78.3%、79.4%和 89.7%，表明在供试土壤条件下，氮的缺乏对烟叶产量的影响最大，缺钾影响最小。处理 6 的经济系数最高，为 0.77，这说明处理 6 的施肥效果最好，生物量主要以叶的形式存在。与无肥处理比较，施有机肥处理(处理 1)增产 520.6 kg/hm²，说明施用有机肥对烤烟有较明显的增产效果，在实际生产中一定要配合施用有机肥。

对不同施氮水平处理(处理 15、1、2、3、6、11)的产量和效益进行分析，低、中等施氮水平，产量和净收益随施氮水平的提高而递增，以处理 6(施 N 量 180.0 kg/hm²)的产量(3 315.9 kg/hm²)最高，效益(34 371.4 元/hm²)最好，施氮(N)水平增至高氮(270 kg/hm²)时，产量和净收益均明显下降。不同施磷水平处理(处理 15、1、4、5、6、7)的产量和效益，在施 P₂O₅ 0~90.0 kg/hm² 内随着施磷水平增加而增加，增产、增收效果好，其中以施 90.0 kg/hm² 最佳(处理 6)；施 P₂O₅ 达 135.0 kg/hm²(处理 7)时，增产、增收效果反而下降。对不同施钾水平处理(处理 15、1、8、9、6、10)的产量和效益进行分析，在低、中钾水平内，随施钾水平的提高，生物量递增，但处

理 8 的产量和收益略高于处理 9，以处理 6(施 K₂O 300.0 kg/hm²)的产量最高，效益最好，当施 K₂O 水平为 450 kg/hm²(处理 10)时，烟叶产量与效益均下降。

2.2 不同施肥处理烤烟对养分的吸收与分配

烟草作物主要收获烟叶，所以，烟草作物地上部分吸收的养分被转移到烟叶的数量多少可以反映烟草对吸收养分的利用效率。为此，笔者用收获期烟叶和茎秆的氮、磷、钾含量之比来表征烟草吸收的养分向烟叶运输和转化多少的一个相对指标，并称为烟草对养分的转移系数。由表 4 可知，烟株吸收的氮、磷、钾养分中，氮的转移系数最高，不同处理烟株氮的转移系数为 2.2~4.1，其次是磷，为 1.0~2.8，钾的转移系数最低，约为 1.0。这说明要提高烟叶的含钾量，除了适当增施钾肥外，还可以采取措施提高烟草作物对钾的转移。

随着施氮水平的提高(处理 2、3、6 和 11)，烟叶吸氮量和烟株的总吸氮量亦增加，但以处理 6 氮的转移系数最大，为 4.1。随着施磷水平的提高(处理 4、5、6 和 7)，烟叶的吸磷量先减少，再升高，最后下降，其中处理 4 的烟叶吸磷量略高于处理 5 和处理 7，这可能是土壤中有效磷含量过高，导致在最佳氮、钾水平下，不施磷肥的烟叶对磷的吸收效率高于施低磷和高磷处理的烟叶；处理 15 的磷

表 4 各处理烟叶的养分吸收量及养分转移系数

编号	处理	吸 N 量	总吸 N 量	N 的转移系数	吸 P 量	总吸 P 量	P 的转移系数	吸 K 量	总吸 K 量	K 的转移系数
1	MN ₀ P ₀ K ₀	43.0	58.3	2.8	10.2	14.7	2.2	58.3	122.5	0.9
2	MN ₀ P ₂ K ₂	56.9	79.0	2.6	13.4	21.6	1.6	85.3	173.2	1.0
3	MN ₁ P ₂ K ₂	64.7	84.5	3.3	14.0	20.2	2.3	106.9	184.6	1.4
4	MN ₂ P ₀ K ₂	80.8	110.5	2.7	15.4	23.2	2.0	136.1	208.5	1.9
5	MN ₂ P ₁ K ₂	75.4	96.0	3.7	14.7	20.9	2.4	121.9	210.1	1.4
6	MN ₂ P ₂ K ₂	85.8	106.9	4.1	17.5	24.1	2.7	149.2	226.5	1.9
7	MN ₂ P ₃ K ₂	74.4	94.9	3.6	15.3	20.7	2.8	133.6	220.0	1.5
8	MN ₂ P ₂ K ₀	73.8	95.8	3.3	15.3	22.2	2.2	113.1	186.3	1.5
9	MN ₂ P ₂ K ₁	81.9	112.3	2.7	12.8	25.8	1.0	125.1	228.1	1.2
10	MN ₂ P ₂ K ₃	73.8	97.3	3.1	13.8	20.8	2.0	119.4	207.7	1.4
11	MN ₃ P ₂ K ₂	87.6	113.7	3.4	15.1	21.0	2.5	145.3	235.2	1.6
12	MN ₁ P ₁ K ₂	54.8	80.2	2.2	12.6	22.2	1.3	98.4	206.7	0.9
13	MN ₁ P ₂ K ₁	55.9	72.9	3.3	13.4	19.0	2.4	107.2	189.7	1.3
14	MN ₂ P ₁ K ₁	65.8	83.8	3.6	11.0	15.3	2.6	88.9	151.1	1.4
15	M ₀ N ₀ P ₀ K ₀	21.5	29.7	2.6	10.4	14.2	2.7	46.2	95.9	0.9

转移吸收略低于处理 7, 这说明在不施肥情况下烟草对磷的吸收效率大于烟草的生长效率, 而烟叶吸磷量以处理 6 的最大, 为 17.5 kg/hm^2 , 这说明该处理的施肥比例能促进烟叶对磷的吸收。随着施钾水平增加(处理 8、9、6), 烟叶的吸钾量亦增加, 施钾最高(处理 10)时烟叶吸钾量显著降低, 但钾的转移系数和烟叶吸钾量均以处理 6 最大, 分别为 1.9 和 149.1 kg/hm^2 , 这说明该处理的施肥比例能促进烟叶对钾的吸收。

2.3 氮、磷、钾肥施肥效应的数学模拟与最佳施用量分析

2.3.1 氮、磷、钾肥施肥效应的一元二次方程模拟

依据所得试验产量结果, 经统计分析拟合, 分别得到氮、磷、钾的一元二次回归方程(表 5)。通过回归方程求解得到: 纯氮最大施用量为 170.2 kg/hm^2 , 最高产量为 3133.4 kg/hm^2 , 最佳产量为 3131.2 kg/hm^2 , 其拟合的理论产量与实际产量比较接近, 占实际最高

产量(处理 6, 为 3315.9 kg/hm^2) 的 94.4%; P_2O_5 最大施用量为 89.3 kg/hm^2 , 最高产量为 3257.9 kg/hm^2 , 最佳施用量为 86.1 kg/hm^2 , 最佳产量为 3257.1 kg/hm^2 , 其拟合的理论产量与实际产量比较接近, 占实际最高产量的 98.2%, 而且拟合得到的最佳施磷量也与设计的最佳施磷量非常接近; K_2O 最大施用量为 206.0 kg/hm^2 , 最高产量为 3178.3 kg/hm^2 ; 最佳施用量为 152.2 kg/hm^2 , 最佳产量为 3160.0 kg/hm^2 , 其拟合的理论产量与实际产量比较接近, 占实际最高产量的 95.3%。

根据一元二次方程模型得出最佳施用量为 N 159.8 kg/hm^2 , P_2O_5 86.1 kg/hm^2 , K_2O 152.2 kg/hm^2 , 平均最佳产量为 3182.8 kg/hm^2 。在此施肥水平下的经济收益为 34109.5 元/hm^2 , 而处理 6 的经济收益为 34371.4 元/hm^2 , 两者非常接近, 这也充分说明了一元二次肥料效应函数在供试土壤和供试作物上的高度适用性。

表 5 一元二次肥料效应模型拟合“3415”资料得到的最大与最佳施用量及产量

Table 5 The biggest and best amount of fertilizer and the biggest and best yields by one-place quadratic fertilizer models using data from “3415” experiment

因素	拟合方程	最大施用量	最高产量	最佳施用量	最佳产量	最佳施用量比 处理 6 增减	最佳产量比 处理 6 增减
N	$y=169.07+7.04x_N-0.31x_N^2$	170.2	3133.4	159.8	3131.2	-20.2	-184.70
P	$y=174.25+14.47x_P-1.22x_P^2$	89.3	3257.9	86.1	3257.1	-3.9	-58.83
K	$y=194.09+2.61x_K-0.09x_K^2$	206.0	3178.3	152.2	3160.0	-147.8	-155.90

2.3.2 氮、磷、钾肥施肥效应的三元二次方程模拟

依据所得试验产量结果, 经统计分析拟合, 对 N、P、K 肥三因素的施肥效应进行三元二次回归分析, 求得其三元二次肥料效应模型为: $y=117.69+1.81x_N+1.46x_P+3.74x_K-0.04x_N^2+0.27x_P^2-0.002x_K^2+0.57x_Nx_P-0.13x_Nx_P-0.35x_Px_K(R^2=0.84, n=14)$ 。计算其最高产量和最高产量施用量以及最佳产量和最佳经济施用量。结果表明: 在供试土壤条件下, 最高产量施用量, N 为 171.9 kg/hm^2 , P_2O_5 为 89.5 kg/hm^2 , K_2O 为 479.7 kg/hm^2 , 最高产量为 2882.6 kg/hm^2 ; 最佳经济施用量, N 为 140.5 kg/hm^2 , P_2O_5 为 73.4 kg/hm^2 , K_2O 为 381.9 kg/hm^2 , 最佳产量为 2838.5 kg/hm^2 。从所得的肥料效应模型可知:

从一次项系数大小可以看出, 施用钾肥的起始增产效果最好, 每增施 $1 \text{ kg K}_2\text{O}$, 产量将增加 3.74 kg , 其次是 N, 增施 1 kg 纯氮, 增产 1.81 kg , P_2O_5 仅增产 1.46 kg 。从交互项来看, 氮、磷的交互项系数为正值(0.57), 说明氮、磷肥配合施用对产量的促进作用较大。从二次项看, 氮肥施用量对产量的衰减速度影响最大, 其次是钾肥。由试验结果可以看出, 最佳施用量中氮和磷的施用量略低于处理 6, 而钾的施用量远远高于处理 6, 但其最佳施用量对应的产量却明显低于本试验最佳施肥处理(处理 6)的实际水平, 说明本试验资料对三元二次回归方程的拟合度不高, 三元二次回归方程不适合作为供试土壤条件下烟草作物的肥料效应函数模型。

3 结论与讨论

本研究结果表明,在氮、钾均为 2 水平的条件下,不施磷肥的烟叶对磷的吸收效率高于施磷处理的烟叶,烟叶吸磷量以处理 6 的最大,为 17.3 kg/hm^2 ,这说明氮、磷施用比为 2:1 时更能促进烟叶对磷的吸收,因此,在本试验烟叶生产条件下可以适当减少磷肥施用量。

烟草为嗜钾作物,钾肥的施用尤其重要。罗建新等^[14]认为,钾肥的合理追施时期是在烟苗移栽后 60 d 内分 4 次施用,钾肥的施用量以 270 kg/hm^2 为佳。本研究结果表明,烟叶施钾量超过 300 kg/hm^2 后烟叶的吸钾量明显下降,同时肥料效应函数推荐的施肥量只需 150 kg/hm^2 即可,这说明在本试验条件下亦可以适当降低钾肥施用量。

在本试验条件下,三元二次方程对烟草作物的氮、磷、钾肥的施肥效应资料的拟合度不高,由其拟合得到的理论产量明显低于实际最佳施肥的产量,说明所得三元二次回归方程不适用,而一元二次方程适用性好,无论从所得最佳施肥量与实际最佳施肥量、最佳经济产量和实际产量的接近程度,还是氮、磷、钾肥三者之间所得结果的接近程度来看,都完全能够反映实际情况;因此,当三元二次回归方程拟合不成功时,可以应用一元二次回归方程来拟合试验结果^[15-16]。但本试验结果仅局限于本试验土壤条件,如何利用已有研究结果为不同地块完成施肥配方工作,并推广利用,还需进一步开展多点、多年的试验,以获得更多的试验数据来建立适用性更广的施肥效应函数模型。

参考文献:

- [1] 肖汉乾,李德清,徐双红,等.不同生物活性肥对烤烟生长影响的初步研究[J].中国烟草科学,2003(1):28-30.
- [2] Yan J Q ,Wang J ,Tissue D ,et al .Photosynthesis and seed production under war-deficit conditions in thrangenic tobacco plants that over express an *Arabidopsis ascorbate peroxidase* gene [J] . Crop Science , 2007 , 43(4) : 1477-1483 .
- [3] 刘中阳,刘芳,化党领,等.不同植物生长调节剂和钾素水平对烟草生长发育的影响[J].中国农学通报,2006,22(10):195-199.
- [4] 冯文强,涂仕华,成本喜.氮、钾肥类型对烟草产量及吸钾量差异的研究[J].土壤学报,2008,21(1):117-120.
- [5] 聂荣邦,曹胜利.肥料种类与配比对烤烟生长发育及产量品质的影响[J].土壤学报,2008,23(5):435-439.
- [6] Weybrew J A. The cultural management of flue-cured tobacco quality[J]. Tobacco International ,2007 ,185(10):82-87.
- [7] 周兴华,李顺鹏,黄正才.烤烟对施氮量和氮磷钾比例的效应[J].现代农业科技,2007(4):172-174.
- [8] 胡秀芝,程稼科.烟草施肥技术[J].吉林农业,2008(6):33-34.
- [9] 徐温新,刘扬,刘海轮,等.六种烟草专用复合肥肥效对比试验[J].干旱地区农业研究,2007,25(6):163-166.
- [10] 邓接楼,涂晓虹,王爱斌.生物有机肥在烟草上的应用研究[J].安徽农业科学,2007,35(29):9289-9290.
- [11] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科学技术出版社,2000.
- [12] 高志红,陈晓远,林昌华,等.不同施肥水平对木薯氮磷钾养分积累、分配及其产量的影响[J].中国农业科学,2011,44(8):1637-1645.
- [13] 朱小梅,刘芳,吴家旺,等.不同施肥处理对莴笋营养效应的研究[J].水土保持学报,2011,22(6):94-98.
- [14] 罗建新,萧汉乾,方红,等.钾肥施用量与施用期对烤烟产量和品质的影响[J].湖南农业大学学报:自然科学版,1997,23(2):133-137.
- [15] 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.
- [16] 孙义祥,郭跃升,于舜章,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.

责任编辑: 罗 维
英文编辑: 罗 维