

# 基于偏最小二乘回归的填充型烤烟优化施肥研究

尹鹏达<sup>1</sup>, 赵丽娜<sup>1</sup>, 朱文旭<sup>1</sup>, 张会慧<sup>1</sup>, 焦玉生<sup>2</sup>, 赵光伟<sup>2</sup>, 孙广玉<sup>1\*</sup>

(1. 东北林业大学生命科学学院, 哈尔滨 150040; 2. 中国烟草东北农业试验站, 黑龙江 牡丹江 157011)

**摘要:** 为防止过量施肥导致环境污染及烟叶品质下降, 通过大田试验, 建立了氮磷钾肥与烤烟产量及烟叶主要化学成分的偏最小二乘回归施肥模型。结果表明, 氮磷钾肥与烤烟产量及烟叶化学成分均有显著的回归关系, 一次项系数表明了氮磷钾肥对烤烟影响的主次关系; 交互项和二次项系数表明了氮磷钾肥的施用比例存在一定的临界值, 氮磷钾肥在临界值内表现为协同促进的作用, 高于临界值则表现为拮抗作用。若以获得最大经济效益为目的, 最佳氮磷钾比例为 1:1.6:2.1; 若以改善烤烟烟叶香气、燃烧性及吸烟的安全性为目的, 最佳氮磷钾比例为 1:1.3:2.9。

**关键词:** 烤烟; 肥料; 偏最小二乘回归模型

中图分类号: S572.062

文章编号: 1007-5119 (2011) 04-0061-05

DOI: 10.3969/j.issn.1007-5119.2011.04.014

## Optimization Fertilizer Application of Filling Type Flue-cured Tobacco Based on Partial Least-squares Regression

YIN Pengda<sup>1</sup>, ZHAO Lina<sup>1</sup>, ZHU Wenxu<sup>1</sup>, ZHANG Huihui<sup>1</sup>, JIAO Yusheng<sup>2</sup>, ZHAO Guangwei<sup>2</sup>,  
SUN Guangyu<sup>1\*</sup>

(1. College of Life Science, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China; 2. China Tobacco Northeast Agricultural Experimental Station, Mudanjiang, Heilongjiang 157011, China)

**Abstract:** This study was conducted to provide a quantitative fertilization model for producing high quality filling flue-cured tobacco leaves and reducing environmental pollution and the quality decline of tobacco leaf problem resulted from over-fertilization. A mathematic model for the relations of flue-cured tobacco production and principal chemical components was established by the Partial Least-squares Regression (PLSR) fertilization function model through massive field experiments. The results showed that there was significant regression relationship between N, P, K fertilizers and flue-cured tobacco production and chemical components. first order term modulus showed that the primary and secondary relationship between N, P, K fertilizers affected flue-cured tobacco; reciprocation term and quadratic term modulus showed N, P, K fertilizers reasonable combination had a critical point, when combination to achieve reasonable N, P, K fertilizers existed the synergistic effects, The antagonistic effects were shown in the higher range. To obtain the max economic returns, the optimum fertilization was N:P:K=1:1.6:2.1. To improve flue-cured tobacco aroma, inflammability and safety, the optimum fertilization was N:P:K=1:1.3:2.9.

**Keywords:** flue-cured tobacco; fertilizer; partial least-squares regression method

氮磷钾是烤烟生长所必需的三大营养元素, 对烤烟生长发育、产量和品质均有较大的影响<sup>[1]</sup>。如何合理配施氮磷钾肥以实现烤烟优质高产一直是烤烟栽培的关键。由于传统施肥多采用过量施肥以达到优质高产的目标, 不仅导致优质烟产区的烟叶产量和品质出现下降趋势, 而且还会造成水体和土

壤环境的污染及生产成本提高<sup>[2]</sup>。因此, 研究烤烟的合理施肥模型是实现烤烟精准施肥的根本途径。

目前, 对烤烟施肥研究大多集中于单一肥料或氮磷钾配施对产量和品质的单方面研究<sup>[1-3]</sup>, 而有关氮磷钾配施对填充型烤烟产量和烟叶化学成分的分析报道相对较少。偏最小二乘回归 (Partial Least-

基金项目: 国家自然科学基金 (30771746); 黑龙江省烟草专卖局项目 (2007)

作者简介: 尹鹏达, 男, 硕士, 研究方向为烟草栽培生理。E-mail: enfighter006@163.com。\*通信作者, E-mail: sungu@vip.sina.com

收稿日期: 2010-09-05

修回日期: 2011-01-15

squares Regression-PLSR) 是一种多元统计分析方法, 它集多元线性回归分析、典型相关分析和主成分分析的基本功能为一体, 将建模预测类型的数据分析方法与非模型式的数据认识性方法有机地结合, 有效克服了其他回归方程在自变量间存在多重相关性时估计结果误差较大且不稳定的弊端<sup>[4-5]</sup>。解决常规最小二乘法回归难以克服自变量因子间多重相关性影响的问题。偏最小二乘统计方法在国内研究起步较晚, 发展相对缓慢, 主要集中于水利工程研究<sup>[6]</sup>, 水稻蒸发量模拟<sup>[7]</sup>, 水文相关性分析<sup>[8]</sup>等, 而在烤烟施肥上的应用未见报道。为此, 本研究通过大田试验, 综合分析氮磷钾施肥量与填充型烤烟产量和烟叶化学成分的相互关系, 探讨了氮磷钾肥对烤烟的单因素主效应和双因素交互效应, 构建氮磷钾施肥量与烤烟产量和烟叶化学成分的优化施肥模型, 为生产不同用途填充型烤烟的合理施肥提供量化依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况及试验设计

试验于 2009 年 8 月在黑龙江省宁安市的中国烟草东北农业试验站基地进行。该地区属于第二积温带, E 129°06', N 44°58', 无霜期 130~140 d, 大田生长期 (5—9 月) 年均降雨量约 450 mm。前茬为烤烟, 土壤类型为河淤土, 土壤质地为壤土, 肥力中等, 养分含量为: 碱解氮 87 mg/kg, 速效磷 36 mg/kg, 速效钾 300 mg/kg, 有机质 27.7 g/kg, 全氮 1.9 g/kg, 全磷 1.6 g/kg, 全钾 13.0 g/kg。供试品种为黑龙江省主栽品种龙江 911。5 月 12 日移栽, 地膜覆盖, 采用定株施肥和双侧施肥, 施肥深度为 10 cm。氮肥选硝酸铵 (N 34.4%), 磷肥选重过磷酸钙 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 46%), 钾肥选硫酸钾 (K<sub>2</sub>O 50%)。

试验采用“3414”回归最优设计, 即 3 个因素为氮磷钾; 4 个水平为 0 水平指不施肥, 2 水平指当地最佳施肥量, 1 水平等于 2 水平×0.5, 3 水平等于 2 水平×1.5; 14 个处理 (表 1、2)。小区面积不小于 99 m<sup>2</sup>, 重复间设走道 50 cm, 小区之间筑埂隔

离, 各小区设灌水口和排水口, 独立排灌。四周设保护行 1.8~2.2 m。

表 1 试验施肥水平及编码

Table 1 Levels and codes of the experimental factors				
肥料	施肥水平/(kg·hm <sup>-2</sup> )			
	0	1	2	3
N	0	22.50	45.00	67.50
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	33.75	67.50	101.25
K <sub>2</sub> O	0	67.50	135.00	202.50

表 2 施肥方案 kg/hm<sup>2</sup>

Table 2 Treatments						
处理 编号	处理 比例	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	产量	上等烟产量
1	N0P0K0	0	0	0	2182.60	299.27
2	N0P2K2	0	67.50	135.00	2202.06	231.13
3	N1P2K2	22.50	67.50	135.00	2728.81	219.52
4	N2P0K2	45.00	0	135.00	2767.09	422.25
5	N2P1K2	45.00	33.75	135.00	2875.79	494.78
6	N2P2K2	45.00	67.50	135.00	2790.21	277.48
7	N2P3K2	45.00	101.25	135.00	2835.31	466.41
8	N2P2K0	45.00	67.50	0	2529.62	297.85
9	N2P2K1	45.00	67.50	67.50	2708.05	332.01
10	N2P2K3	45.00	67.50	202.50	2565.93	357.55
11	N3P2K2	67.50	67.50	135.00	2881.36	395.82
12	N1P1K2	22.50	33.75	135.00	2720.69	404.97
13	N1P2K1	22.50	67.50	67.50	2719.04	371.32
14	N2P1K1	45.00	33.75	67.50	2987.12	318.10

### 1.2 测定项目和方法

田间随机选取各处理中长势一致的 3 株进行取样, 中部烟叶取第 8~10 片, 上部烟叶取第 13~15 片。迅速置于 105 °C 条件下鼓风杀青 15 min, 再于 80 °C 下烘干, 粉碎过筛, 置塑料袋密封保存。烤烟烟叶主要化学成分的测定, 样本采用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 联合消煮法, 钒钼黄比色法测定全磷含量, 火焰分光光度法测定全钾含量<sup>[9]</sup>; 蒽酮比色法测定烟叶可溶性糖和淀粉含量, 3, 5-二硝基水杨酸比色法测定还原糖含量, 茚三酮试剂显色法测定游离氨基酸含量<sup>[10]</sup>。烘烤后对各小区的烟叶分等定级, 并计算产量与上等烟产量的比例。

### 1.3 统计分析方法

试验数据采用 Excel 2003 和 DPS 软件进行统计与分析。

## 2 结 果

### 2.1 氮磷钾肥与烤烟产量偏最小二乘回归模型的建立

由表2可知,烤烟总产量提高并不代表上等烟产量一定提高。结合表2中的实际产量结果,建立了氮、磷、钾( $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ )肥料与产量( $y_1$ )上等烟产量( $y_2$ )的偏最小二乘回归模型,其基本原理细节请参见参考文献[6]。

$$y_1 = 2266.519 + 15.395x_1 - 0.178x_2 + 3.711x_3 - 0.197x_{12} - 0.025x_{22} - 0.026x_{32} + 0.055x_1x_2 + 0.026x_1x_3 + 0.005x_2x_3 \quad (1)$$

$$y_2 = 298.937 + 3.055x_1 - 2.885x_2 + 0.766x_3 - 0.045x_{12} + 0.026x_{22} - 0.003x_{32} + 0.009x_1x_2 + 0.013x_1x_3 - 0.005x_2x_3 \quad (2)$$

方程(1)和(2)复相关系数 $R^2$ 分别为0.8942、0.5049,表明烤烟产量和上等烟产量与氮、磷、钾肥之间有显著的回归关系。方程中常数项分别为2266.519和298.937,与处理1产量2182.60 kg/hm<sup>2</sup>和上等烟产量299.27 kg/hm<sup>2</sup>非常接近,表明模型模拟值与实际产量非常吻合。方程(1)和(2)中一次项系数 $x_1$ 和 $x_3$ 为正值, $x_2$ 为负值,说明氮肥和钾肥对烤烟产量和上等烟产量是正相关,磷肥呈负相关。通过方程(1)二次项系数均为负值,表明烤烟产量随施肥量的增加而递减,方程(2)中二次项系数只有 $x_2$ 为正值,表明本试验中上等烟产量随磷肥的增加而递增。方程(1)中交互效应系数都为正值,方程(2)中磷和钾肥的交互效应系数为负值,两个方程中交互效应系数都很小,表明交互作用对产量影响较弱。氮磷钾肥的主效应系数大于二次项和交互项系数,这表明主效应系数氮肥效应>钾肥效应,磷肥效应呈负相关。

## 2.2 氮磷钾肥与烤烟烟叶主要化学成分偏最小二乘回归模型的建立

选取最具有代表意义的中部叶片化学成分为研究对象。氮、磷和钾肥分别为 $y_1$ 、 $y_2$ 和 $y_3$ ,含磷量、含钾量、总糖含量、还原糖含量、淀粉含量和游离氨基酸含量分别为 $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ 、 $x_4$ 、 $x_5$ 、 $x_6$ 。由表3得出氮磷钾配施对烤烟化学成分的偏最小二乘回归模型:

$$y_1 = -96.284 + 19.067x_1 + 10.179x_2 + 14.616x_3 - 17.946x_4 - 3.446x_5 - 0.229x_6 + 0.572x_{12} + 0.104x_{22} - 0.298x_{32} + 0.620x_{42} + 0.075x_{52} + 0.000031x_{62} - 1.770x_1x_2 - 0.291x_1x_3 + 0.011x_1x_4 - 0.143x_1x_5 + 0.003x_1x_6 + 0.220x_2x_3 + 0.022x_2x_4 - 0.246$$

$$x_2x_5 + 0.014x_2x_6 - 0.068x_3x_4 + 0.135x_3x_5 - 0.007x_3x_6 + 0.078x_4x_5 + 0.010x_4x_6 + 0.001x_5x_6$$

$$R^2 = 0.5126$$

$$y_2 = -518.264 + 26.260x_1 - 2.583x_2 - 8.571x_3 + 12.928x_4 + 16.702x_5 + 0.483x_6 + 0.157x_{12} + 0.718x_{22} + 0.178x_{32} + 0.080x_{42} - 0.215x_{52} + 0.00002x_{62} - 0.511x_1x_2 + 0.496x_1x_3 - 1.011x_1x_4 - 0.172x_1x_5 - 0.024x_1x_6 - 0.346x_2x_3 + 0.302x_2x_4 - 0.063x_2x_5 - 0.006x_2x_6 - 0.205x_3x_4 + 0.101x_3x_5 - 0.001x_3x_6 - 0.030x_4x_5 + 0.001x_4x_6 - 0.004x_5x_6$$

$$R^2 = 0.6252$$

$$y_3 = 581.857 + 44.542x_1 - 116.952x_2 + 15.134x_3 + 61.247x_4 - 13.704x_5 - 0.309x_6 - 0.881x_{12} + 2.467x_{22} + 0.050x_{32} - 1.838x_{42} + 0.079x_{52} + 0.00005x_{62} + 1.125x_1x_2 - 0.855x_1x_3 - 3.405x_1x_4 + 0.192x_1x_5 - 0.010x_1x_6 - 0.020x_2x_3 + 1.243x_2x_4 + 0.798x_2x_5 + 0.006x_2x_6 - 0.307x_3x_4 - 0.369x_3x_5 + 0.011x_3x_6 - 0.151x_4x_5 + 0.004x_4x_6 + 0.002x_5x_6$$

$$R^2 = 0.6733$$

通过偏最小二乘回归方程的复相关系数表明,氮磷钾肥对烟叶化学成分有显著回归关系。从一次项系数表明,与氮肥具有正相关的是烟叶含磷量>可溶糖含量>含钾量,负相关的是还原糖含量>淀粉含量>游离氨基酸含量;与磷肥具有正相关的是烟叶含磷量>淀粉含量>还原糖含量>游离氨基酸含量,负相关的是可溶糖含量>含钾量;与钾肥具有正相关的是还原糖含量>含磷量>可溶糖含量,负相关的是含钾量>淀粉含量>游离氨基酸含量。二次项系数和交互作用项系数均较小,这表明烟叶化学成分的交互作用与氮磷钾肥的相关性较弱。游离氨基酸含量的一次项系数较小,表明氮磷钾肥对游离氨基酸含量的影响较小。

表3 不同处理对烤烟烟叶化学成分的影响

Table 3 Effect of fertilizer rates on chemical components of flue-cured tobacco leaves

处理	含磷量/ (g·kg <sup>-1</sup> )	含钾量/ (g·kg <sup>-1</sup> )	总糖/ %	还原糖/ %	淀粉/ %	游离氨基酸/ (μg·g <sup>-1</sup> )
1	12.17	12.39	13.43	4.57	28.75	663.81
2	12.55	17.17	14.38	8.46	32.95	639.75
3	10.45	13.48	22.37	9.59	23.53	779.86
4	10.31	13.37	20.94	7.07	20.16	664.80
5	9.87	17.08	22.68	6.99	21.74	779.28
6	10.93	14.01	20.42	10.38	24.69	1185.93
7	10.74	18.10	14.13	10.60	27.52	824.05
8	13.70	13.73	20.55	11.33	32.90	753.59
9	11.78	13.73	14.65	5.43	29.89	726.57
10	12.26	18.29	26.22	11.05	30.43	851.08
11	13.92	12.51	16.74	5.31	27.81	681.25
12	12.90	14.21	20.86	5.98	33.50	749.06
13	15.09	13.80	25.06	7.27	33.51	642.30
14	11.06	15.40	20.43	4.66	35.95	587.15

### 3 讨论

建立施肥模型是实现烤烟精准施肥的核心内容之一。目前建立施肥模型主要有3种方法。第一种是回归模型,如已研究的小麦施肥模型<sup>[11]</sup>。第二种是综合施肥模型,如已研究的不同地理尺度下综合施肥模型<sup>[12]</sup>。第三种是人工神经网络模型,如已研究的玉米变量施肥模型<sup>[13]</sup>。以上3种方法各有优点和特点,但也有不足之处。回归模型是建立施肥模型中的常用方法,但是只能建立施肥与产量或品质中某个指标的效应模型,通常无法综合研究问题,因此其应用范围和效果受到了限制。综合施肥模型是采用正交设计和正交趋势来分析肥料效应,试验工作量大,数据量庞大,误差不宜控制。人工神经网络的建立也需要大量的数据,建模成本较高。本研究采用的偏最小二乘回归模型不但能有效克服自变量因子间的多重相关性问题,而且适用多种试验设计,样本需求较少,与一般回归模型相比模型的精度、稳健性和实用性都得到了提高。本研究应用偏最小二乘回归法建立了氮磷钾肥与烤烟产量及烟叶化学成分的关系模型,综合分析了氮磷钾肥对烤烟产量和烟叶化学成分的影响,以此为基础得出氮磷钾最佳施肥量。

氮磷钾肥是烤烟栽培中最为关键的三大影响因素,是形成优质烟叶最基础、最重要的条件。Rideout<sup>[14]</sup>等研究表明,在适宜的施氮范围内,随着施氮量的增加烟叶的产量和品质也相应增加。Luis Lo'pez- Bellido<sup>[15]</sup>等研究表明,氮肥的分配比例可能比优化施氮量更重要。郭丽琢<sup>[16]</sup>等研究表明,钾肥施用次数和比例对成熟期提高烟叶含钾量至关重要。符云鹏<sup>[17]</sup>等研究表明,适宜的磷肥用量能使烟株生长健壮,根系发达,促进烟株对氮、钾营养的吸收和利用,从而提高烟叶的产量和品质。于建军<sup>[18]</sup>等研究表明,烟叶含钾量,还原糖含量及含氮量是烤烟烟叶的重要品质指标,主要功能是改善香气,燃烧性及吸烟的安全性等。本研究结果表明,氮磷钾肥对烤烟产量和烟叶化学成分有显著的影响。不施肥和过量施肥都将导致烤烟产量和品质的

下降,单独施用一种肥料只能改善某个指标,不能提高烟叶整体的品质。从一次项系数看出,氮肥和钾肥对烤烟产量和上等烟产量呈正相关,磷肥呈负相关,这可能与磷肥对烤烟的效应大多表现在生长早期,而不全表现在最终产量和质量上有关<sup>[19]</sup>。在二次项系数中磷肥为正值,这可能是由于田间钾肥用量经常超过实际需求,而钾元素能够抑制烤烟对磷元素的吸收<sup>[19]</sup>。氮磷钾交互作用分析表明,对于产量而言氮磷钾肥间都表现为协同促进的交互作用,对于上等烟产量而言除了磷钾肥表现出拮抗作用,氮磷和氮钾肥间的互作则一直表现为协同促进作用;究其原因可能是磷肥和钾肥的实际作用效果受到土壤中磷和钾含量的影响,烤烟烟叶成熟期需要大量积累钾元素,不能适当提供钾元素将导致烤烟产量和品质的降低,尤其是上等烟产量。从偏最小二乘回归方程的一次项系数可知,磷肥与可溶糖和含钾量呈负相关,其原因可能是磷肥促进了烟叶的生长,使烤烟生物产量增加而造成稀释效应<sup>[20]</sup>。钾肥与烟叶含钾量呈负相关,这说明钾肥施用量已经形成“奢侈消耗”现象<sup>[21]</sup>,究其原因可能与土壤速效钾含量及氮磷肥的比例有关。过量施用磷钾肥导致土壤中富含大量的磷、钾元素,使其不能正常吸收营养元素最终导致烤烟产量和品质下降,适宜的磷肥能促进烟株对氮和钾营养的吸收与利用<sup>[22]</sup>。以上说明了氮磷钾肥的施用比例存在一个临界值,氮磷钾肥达到这个临界值表现出协同促进的作用,临界值则出现拮抗作用。

### 4 结论

本研究结果看出,生产不同用途的烤烟烟叶其施肥用量并不一致,在生产上应根据不同的用途采取相应的氮磷钾配施比例。若以获得最大经济效益为目的,产量和上等烟产量达到3 099 kg/hm<sup>2</sup>和426 kg/hm<sup>2</sup>时,最佳施肥量是氮肥为63 kg/hm<sup>2</sup>、磷肥为101 kg/hm<sup>2</sup>、钾肥为129 kg/hm<sup>2</sup>,即 $m(\text{N}):m(\text{P}_2\text{O}_5):m(\text{K}_2\text{O})=1:1.6:2.1$ ;若以改善烤烟烟叶香气、燃烧性及吸烟的安全性为目的,模型优化计算得出烟叶化学成分含磷量为10 g/kg,含钾量为

18 g/kg, 总糖含量为 22%, 还原糖含量为 11%, 淀粉含量为 28%, 游离氨基酸含量为 782  $\mu\text{g/g}$  时, 最佳施肥量是氮肥为 64  $\text{kg/hm}^2$ 、磷肥为 81  $\text{kg/hm}^2$ 、钾肥为 187  $\text{kg/hm}^2$ , 即  $m(\text{N}) : m(\text{P}_2\text{O}_5) : m(\text{K}_2\text{O}) = 1:1.3:2.9$ 。

### 参考文献

- [1] 汪健, 王松峰, 毕庆文, 等. 氮磷钾用量对烤烟红花大金元产质量的影响[J]. 中国烟草科学, 2009, 30(5): 19-23.
- [2] 陈义强, 刘国顺, 习红昂, 等. 烟草栽培中土壤适宜含水率及施肥模型[J]. 农业工程学报, 2009, 25(2): 42-49.
- [3] 李东亮, 许自成. 基于下部叶化学成分指标的烤烟产区灰色等权聚类[J]. 系统工程理论与实践, 2008(1): 170-176.
- [4] 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: 597-602.
- [5] 王惠文. 偏最小二乘回归方法及其应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999.
- [6] 杨杰, 方俊, 胡德秀, 等. 偏最小二乘法回归在水利工程安全监测中的应用[J]. 农业工程学报, 2007, 23(3): 136-140.
- [7] 付强, 王志良, 梁川. 基于偏最小二乘回归的水稻腾发量建模[J]. 农业工程学报, 2002, 18(6): 9-12.
- [8] 秦蓓蕾, 王文圣, 丁晶. 偏最小二乘回归模型在水文相关分析中的应用[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2003, 35(4): 115-118.
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 257-271.
- [10] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 高等教育出版社, 2006: 199-204.
- [11] Terry L Kastens, John P Schmidt, Kevin C Dhuyvetter. Yield models implied by traditional fertilizer recommendations and a framework for including nontraditional information[J]. Soil Sci Soc Am J, 2003, 67: 351-364.
- [12] 危常州, 侯振安, 雷味雯, 等. 不同地理尺度下综合施肥模型的建模与验证[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(1): 13-20.
- [13] 马成林, 吴才聪, 张书慧, 等. 基于数据包络分析和人工神经网络的变量施肥决策方法研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(2): 152-155.
- [14] Rideout J W, Gooden D T, Fortnum B A. Influence of nitrogen application rate and tobacco method on yields and leaf chemistry of tobacco grown with drip irrigation and plastic mulch[J]. Tobacco Science, 1998, 42(2/3): 46-51.
- [15] Lo'pez- Bellido L, Rafael J, Lo'pez- Bellido, et al. Nitrogen efficiency in wheat under rainfed Mediterranean conditions as affected by split nitrogen application[J]. Field Crops Res, 2005, 94: 86-97.
- [16] 郭丽琢, 张福锁. 不同时期的钾素营养对烤烟含钾量及其他品质指标的影响[J]. 农业现代化研究, 2003, 24(4): 293-295.
- [17] 符云鹏, 刘国顺, 韩富根, 等. 磷肥种类及用量对烤烟生长及产量、质量效应的研究[J]. 河南农业大学学报, 1998, 32(增刊): 21-24.
- [18] 于建军, 代惠娟, 李爱军, 等. 金攀西烤烟主要化学成分与评吸质量的灰色关联度分析[J]. 河南农业大学学报, 2007, 41(6): 605-610.
- [19] Davis D, Layten, Mark T, et al. 烟草—生产、化学和技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 76-80.
- [20] 胡国松, 郑伟, 王震东, 等. 烤烟营养原理[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 101-148.
- [21] Tisdale S L, Nelson W L, Beaton J D. 土壤肥力与肥料[M]. 北京: 科学出版社, 1984: 146-167.
- [22] 韩锦峰. 烟草栽培生理[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 114-145, 148-208.