

填充型烤烟栽培中氮磷钾肥与产量的施肥模型^①

尹鹏达¹, 朱文旭¹, 赵丽娜¹, 焦玉生², 赵光伟², 孙广玉^{1*}

(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: 以填充型烤烟品种“龙江911”为试验材料, 通过正交回归田间试验, 建立了 N、P、K 肥与烤烟产量的回归效应模型, 并对各因子及交互作用进行了分析, 计算了土壤丰缺指标及基础肥力贡献率, 建立了东北烤烟的优化施肥方案。结果表明: 施 N 量增加, 产量提高; K 肥增加, 产量先上升后下降; P 肥对产量的影响并不明显; N 和 P、N 和 K、P 和 K 表现出协同促进作用, 但是过高的肥量则表现出拮抗作用。通过对 N、P、K 肥与产量的施肥模型综合分析得出: 在东北填充型烤烟生产区, 建议烟田的基础施肥量, 纯 N 为 40.08 ~ 52.49 kg/hm², P₂O₅ 为 36.19 ~ 62.19 kg/hm², K₂O 为 70.73 ~ 114.41 kg/hm²。

关键词: 烤烟; 产量; 肥料; 施肥模型

中图分类号: S147.21

氮磷钾 (N、P、K) 是烤烟生长发育以及产量和品质形成所必需的三大营养元素^[1], 合理施肥 N、P、K 肥是烤烟优质高产的关键。传统施肥多以高量施肥获得高产, 这不仅导致烟叶品质出现了下降, 而且还会造成水体和土壤环境的污染及生产成本的提高^[2]。有研究表明合理的施 N 量可增加烟叶产量、均价和产值^[3], 并能协调烟叶化学成分^[4], 而过量 N 肥将导致烟株生长过旺、烟叶烟碱积累增多、内在化学成分不协调、工业利用价值低^[5]。合理施用 P 肥能增强烟株对其他矿质元素的吸收, 协调多种烟叶化学成分和香气总量, 而缺 P 或过量施 P 会使烤烟生长发育缓慢, 不能正常成熟, 并影响烟叶的产量和质量^[6]。增施 K 肥能够提高烟叶含 K 量和产量, 并能改善烟叶的品质, 但过量施 K 肥会导致土壤中 K 浓度升高, 易与其他营养元素产生拮抗效应, 降低了这些营养元素的有效性, 最终降低了烟叶的产量和品质^[7]。目前, 对烤烟施肥的研究大多集中于单一肥料或 N、P、K 配施对产量或品质的单方面研究^[3-8]。黑龙江省是我国优质填充型烤烟生产基地, 其主要植烟土壤为松花江和牡丹江流域的河淤土, 面积约为 3.9 万 hm², 占烤烟面积 95% 以上。多年来, 烤烟生产上 N、P、K 肥的施用多是经验施肥, 不但施肥效果较差, 而且生产成本加大。因此, N、P、K 肥的合理搭配和施用方法已成为生产中急需解决的问题。为此, 本研究以河淤土烤烟为研究对象, 通过大田试验的方法分析了 N、P、

K 施肥量与填充型烤烟产量的关系, 对 N、P、K 肥的交互作用和基础肥力的养分贡献率进行探讨, 建立了 N、P、K 的施肥模型, 为东北填充型烤烟的栽培提供量化依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况及试验设计

试验地点位于黑龙江省宁安市的中国烟草东北农业试验站。该区属于第二积温带, 129°06'E, 44°58'N, 无霜期 130 ~ 140 天, 大田生长期 (5—9 月份) 年均降雨量约 450 mm。土壤类型为河淤土, 土壤质地为壤土, 肥力中等。土壤理化性质: 碱解 N 87 mg/kg, 速效 P 36 mg/kg, 速效 K 300 mg/kg, 有机质 27.7 g/kg, 全 N 1.9 g/kg, 全 P 1.6 g/kg, 全 K 13.0 g/kg。供试品种为龙江 911。试验于 2009 年进行, 5 月 12 日移栽烟苗, 地膜覆盖, 施肥量采用定株施肥和双侧施肥, 施肥深度为 10 cm。N 肥选 NH₄NO₃ (N 34.4%), P 肥选 Ca(H₂PO₄)₂ (P₂O₅ 46%), K 肥选 K₂SO₄ (K₂O 50%)。

试验采用“3414”回归最优设计, 即 3 个因素为 N、P、K; 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 个处理试验设计 (表 1、2)。小区面积不小于 99 m², 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。

①基金项目: 国家自然科学基金项目 (30771746, 31070307) 和黑龙江省烟草专卖局项目 (2007) 资助。

* 通讯作者 (sungy@vip.sina.com)

作者简介: 尹鹏达 (1984—), 男, 辽宁鞍山人, 硕士研究生, 主要研究方向为烟草栽培生理。E-mail: enfighter006@163.com

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 ²)			
	0	1	2	3
N	0	22.50	45.00	67.50
P ₂ O ₅	0	33.75	67.50	101.25
K ₂ O	0	67.50	135.00	202.5

表 2 施肥方案

Table 2 Fertilizer application program

处理号	处理名	N (kg/hm ²)	P ₂ O ₅ (kg/hm ²)	K ₂ O (kg/hm ²)	产量 (kg/hm ²)
1	N ₀ P ₀ K ₀	0	0	0	2 182.60
2	N ₀ P ₂ K ₂	0	67.50	135.00	2 202.06
3	N ₁ P ₂ K ₂	22.50	67.50	135.00	2 728.81
4	N ₂ P ₀ K ₂	45.00	0	135.00	2 767.09
5	N ₂ P ₁ K ₂	45.00	33.75	135.00	2 875.79
6	N ₂ P ₂ K ₂	45.00	67.50	135.00	2 790.21
7	N ₂ P ₃ K ₂	45.00	101.25	135.00	2 835.31
8	N ₂ P ₂ K ₀	45.00	67.50	0	2 529.62
9	N ₂ P ₂ K ₁	45.00	67.50	67.50	2 708.05
10	N ₂ P ₂ K ₃	45.00	67.50	202.50	2 565.93
11	N ₃ P ₂ K ₂	67.50	67.50	135.00	2 881.36
12	N ₁ P ₁ K ₂	22.50	33.75	135.00	2 720.69
13	N ₁ P ₂ K ₁	22.50	67.50	67.50	2 719.04
14	N ₂ P ₁ K ₁	45.00	33.75	67.50	2 987.12

1.2 测定项目和方法

试验中每个处理单独采收，采收时选取各处理中成熟一致的叶片。烘烤后对各小区的烟叶分等定级，并计算产量。烟叶化验样本在每个小区测产后选取下部叶（第 4~6 片），中部叶（第 9~11 片），上部叶（第 13~15 片），进行化学成分分析。烤烟叶片和土壤主要化学成分的测定采用 H₂SO₄-H₂O₂ 联合消煮后靛酚蓝比色法测全 N 含量，钒钼黄比色法测全 P 含量，火焰分光光度法测全 K 含量^[9]；碱解扩散法测定水解性 N，0.5 mol/L NaHCO₃ 法测定速效 P，乙酸铵提取法测定速效 K，重铬酸钾容量法-稀释热法测定有机质^[10]。

1.3 统计分析方法

试验数据采用 Excel、Origin 和 DPS 软件进行统计与分析。

2 结果与分析

2.1 产量与肥料效应模型的建立

根据各处理的实际产量结果（表 2），建立 N、P、K（X₁、X₂、X₃）施用量与产量（Y）的回归效应模型： $Y = 2\ 195.030 + 23.759\ 4X_1 - 1.552\ 4X_2 + 4.339\ 2X_3 - 0.238\ 8X_1^2 - 0.034\ 7X_2^2 - 0.035\ 3X_3^2 - 0.004\ 9X_1X_2 + 0.010\ 8X_1X_3 + 0.040\ 0X_2X_3$ 。

F 检验表明，所建方程达到显著水平（p=0.0387），其中 Durbin-Watson 统计量 d=1.941，复相关系数 R²=0.9695，说明该模型拟合性较好。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。模拟方程中一次项系数 N 肥（X₁）和 K 肥（X₂）为正值，P 肥（X₃）为负值，表明 N 肥和 K 肥与产量呈正相关关系，P 肥与产量呈负相关关系；模拟方程中二次项系数均为负值，表明 N、P、K 施用量均有一个适宜的范围，高于这个范围会导致烤烟产量下降。交互项系数（X₁X₂；X₁X₃；X₂X₃）同一次和二次项系数比较均较小，表明交互作用对产量影响较弱，同时说明主效应明显。从主效应系数的大小看出 N 肥效应>K 肥效应>P 肥效应。

2.2 单因素效应的分析

由图 1 可知，随着 N 肥施用量的增加烤烟产量呈上升趋势，这可能是由于施肥量的上限不够大，未出现过量施肥导致产量下降的效应。P 肥对产量的影响较平稳，究其原因可能是 P 肥对烤烟的效应大多表现在生长早期，而不全是表现在最终产量^[11]。K 肥施用量的增加，产量呈先上升后下降的趋势，K 肥施用量在 135 kg/hm² 时，所取得的产量是最大的。因此，N 肥和 K 肥是提高产量的主要因子，N、P、K 肥的合理配施是提高产量的有效措施。

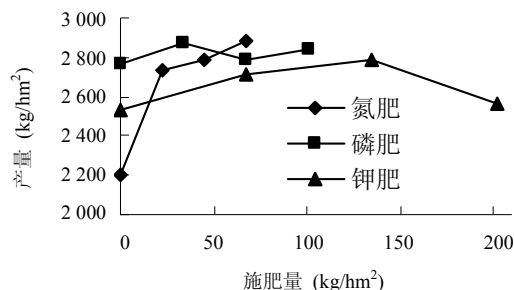


图 1 单因素肥料效应曲线

Fig. 1 Effect curves of single-factor fertilizer

2.3 因素间交互效应的分析

与单一的肥料效应相比，N、P、K 肥 3 因素并不

简单地表现出加和效应，同时还存在协同促进作用和拮抗作用。图 2 为大田试验中 N、P、K 肥的两因素交互效应的曲面图。K 肥处于 2 水平时（图 2A），N 肥小于 36 kg/hm² 时，N 肥和 P 肥增加，产量增加，N、P 之间表现为协同促进作用；N 肥大于 36 kg/hm² 时，P 肥的增加产量下降，N、P 之间表现为拮抗作用。P 肥处于 2 水平时（图 2B），K 肥小于 130 kg/hm² 时，N 肥和 K 肥增加，产量增加，N、K 之间表现为协同促进作用；K 肥大于 130

kg/hm² 时，N 肥增加产量下降，N、K 之间表现为拮抗作用。N 肥处于 2 水平时（图 2C），P 肥小于 40 kg/hm² 时，K 肥增加产量增加，P、K 之间表现为协同促进作用；但当 P 肥大于 40 kg/hm²，随着 K 肥的增加，产量下降，P、K 之间表现为拮抗作用。N、P、N、K、P、K 在适量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，N、P、K 肥的合理配施能够有效发挥三者的协同促进作用。

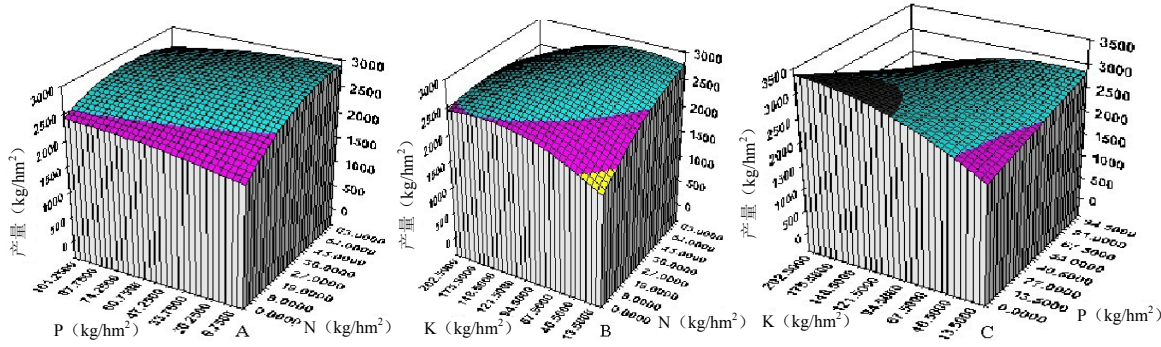


图 2 双因素交互效应曲面

Fig. 2 Response surface of interaction effects between two factors

2.4 土壤丰缺指标和基础肥力贡献率

以农业部测土配方施肥的方法来计算土壤养分的丰缺，即用缺素区产量占全肥区产量的百分数。处理 6 为全肥区（NPK），处理 2、4、8 为缺素区（即 PK、NK 和 NP）。相对产量低于 50% 的土壤养分为极低；相对产量 50%~60%（不含）为低，60%~70%（不含）为较低，70%~80%（不含）为中，80%~90%（不含）为较高，90%（含）以上为高，从而确定了适用于黑龙江省烟田土壤养分丰缺指标及对应的肥料施用数量（表 3）。由表 3 结果显示，土壤中 N 素含量适中，P 和 K 元素含量较高，这可能与长期过量施用 P、K 肥，以及土壤中 P 素不易流失和当季利用率较低有关^[12]。

以往的土壤基础肥力贡献率是以无肥区所取得的产量或产值除以施肥区所取得的产量或产值来表示。

表 3 土壤丰缺指标和基础肥力贡献率

Table 3 Abundance/deficiency index and fertility contribution ratios of soil

因素	处理	相对产量 (%)	烟叶养分含量 (%)	适宜值 (%)	贡献率 (%)
N	N ₀ P ₂ K ₂	78.92	1.544	2.5	61.76
P	N ₂ P ₀ K ₂	99.17	0.429	0.265	161.89
K	N ₂ P ₂ K ₀	90.66	1.28	1.81	70.72

但由于各烟区的烟叶用途不同导致收购价格不一致，以及各烟区的施肥量不同，使得传统计算的土壤基础肥力贡献率不具有可比性，但烟叶生产中某种养分的适宜含量是一致的，所以具有可比较性^[13]。因此，本研究分别以处理 2、4 和 8 的烤后烟叶 N、P、K 含量除以烤烟叶片适宜的 N、P、K 含量^[14]得到土壤基础肥力的贡献率（表 3），N 和 K 的贡献率分别为 61.76% 和 70.72%，而 P 的贡献率达到 161.89%。因此，土壤中富含的大量 P 元素可能导致烤烟不能正常吸收其他营养元素，从而影响了烤烟产量和品质。

2.5 氮磷钾施肥优化方案的选择

根据烤烟产量与肥料效应的回归模型，为了获得当地生态条件下较高的烤烟产量，采用频次分析法进行综合解析。在试验约束条件范围内（0≤r≤3），经计算机模拟寻优得到了试验中 4³=64 套组合方案，将这 64 个理论值按一定的区域统计其频率，其中产量 >2 500 kg/hm² 的有 35 个方案，其频次分布见表 4。由表 4 可知，试验中产量 >2 500 kg/hm² 的 N 肥处理水平主要分布在 2 水平至 3 水平，即施 N 量（N）为 45~67.5 kg/hm²；P 肥处理水平分布比较均衡；K 肥处理水平主要分布在 1 水平至 2 水平，即施 K 量（K₂O）为 67.5~135 kg/hm²。

表 4 产量大于 2 500 kg/hm² 的 35 个方案中
各变量取值的频率分布

Table 4 Frequency distribution of variable values in 35 schemes
and output values higher than 2 500 kg/hm²

水平	N 肥		P 肥		K 肥	
	次数	频率 (%)	次数	频率 (%)	次数	频率 (%)
0	0	0	9	25.71	7	20
1	10	28.57	9	25.71	12	34.29
2	13	37.14	9	25.71	12	34.29
3	12	34.29	8	22.87	4	11.42

计算试验中产量>2 500 kg/hm² 的 35 个方案中各个因子的加权均数及标准误, 并进行参数的区间估计, 结果列于表 5。从表 5 可知, 大田试验适宜的施 N 量为 40.08 ~ 52.49 kg/hm², 施 P 量为 36.19 ~ 62.19 kg/hm², 施 K 量为 70.73 ~ 114.41 kg/hm²。可见, N、P、K 肥的施用比例并非是固定不变的, 而应根据土壤的基础肥力进行适当调整。

表 5 施肥优化方案

Table 5 Optimal fertilizer application scheme

因素	加权均数	标准误	95% 的分布区间	
			下限	上限
N 肥	46.29	3.05	40.08	52.49
P 肥	49.19	6.39	36.19	62.19
K 肥	92.56	10.75	70.73	114.41

2.6 适宜的总氮磷钾供应量的计算

因为土壤基础肥力和施肥量的量纲不同, 难以直接换算, 所以本研究以土壤基础肥力的贡献率来计算总 N、P、K 供应量。根据所建模型的优化施肥量计算当地烤烟生长适宜的总 N、P、K 供应量 (包括土壤基础肥力的供肥量和施肥量), 即某种养分适宜的总供应量 = 优化施肥量 / (1 - 土壤基础肥力中该养分的贡献率) [13]。由此得出, 龙江 911 烤烟品种的总 N、P、K 肥供应量分别为: 104.81 ~ 137.27、58.48 ~ 100.49、241.56 ~ 390.75 kg/hm²。

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: ①回归效应模型。如已研究的小麦施肥模型^[15]、早稻推荐施肥模型^[16]、茶叶优化施肥模型^[17]; ②综合施肥模型, 如已研究的不同地理尺度下综合施肥模型^[18]、增施 CO₂ 气肥对温室结球莴苣光合作用影响的综合模型研究^[19]; ③人工神经网络模型。如已研究的玉米变量施肥模型

^[20]、土壤平衡施肥模型^[21]。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。因为栽培某一烤烟品种时的施肥量主要与各生态区域土壤基础肥力的供肥能力有关, 并且当地主要栽培品种的养分总需求量和土壤基础肥力贡献率是研究烤烟精准施肥的依据之一。因此, 本研究综合应用了回归效应模型^[2,13]、养分平衡法^[22-23]及频次分析法^[24], 通过测定供试土壤的养分含量及烤烟的产量和养分含量, 得出供试土壤的基础肥力贡献率, 使得土壤基础肥力与施肥量具有统一的量纲, 并且根据所建肥料效应模型计算得出最佳施肥方案及适宜的总 N、P、K 供应量 (包括土壤基础肥力的供肥量和施肥量)。

通常情况下, 在一定范围内, 随着 N、P、K 施肥量的提高烟叶产量都会增加^[25]。Rideout 等^[26]研究表明在适宜的施 N 范围内, 随着施 N 量的增加烟叶的产量和品质也相应增加。钟晓兰等^[7]研究表明合理施用 K 肥能够有效提高烤烟产量和品质。符云鹏等^[27]研究表明, 适宜的 P 肥用量, 能使烟株生长健壮, 根系发达, 促进烟株对 N、K 营养的吸收和利用, 从而提高烟叶的产量和品质。本研究通过分析土壤丰缺指标和基础肥力贡献率表明供试土壤 N 元素含量为中, K 元素含量为高, 基础肥力提供了大部分养分供应, 而土壤中 P 元素含量过高; 当土壤含速效 K 越高时, 烤烟对施 K 肥的响应和肥料利用率越低^[28]; NO₃⁻ 和 H₂PO₄⁻ 离子与阳离子平衡体系中能够促进 K⁺ 离子的吸收, 尤其是 NO₃⁻ 离子; H₂PO₄⁻ 离子不宜过多, 究其原因可能与 P 肥促进了叶片的生长, 使烤烟生物产量增加而造成稀释效应有关^[11]。本研究通过单因素和双因素交互作用分析表明适宜 N 肥和 K 肥能够有效提高产量, 但是过量施肥会导致产量下降; 虽然 P 肥对产量的影响并不明显, 但过量施 P 肥可能会使得烤烟无法正常吸收其他营养元素, 从而使得烤烟产量和品质下降; N、P、K 在适宜的范围内表现出协同促进的作用, 高于这个范围会表现出拮抗作用。在研究烤烟的 N、P、K 施肥量时应该结合其土壤状况, 适当地调整 N、P、K 施肥比例, 使其能够发挥最大的效用。

4 结论

以建立的 N、P、K 肥与烤烟产量的回归效应模型为基础,采用养分平衡法和频次分析法优化了施肥方案,结果表明,烟田适宜的基础施肥量: N 肥为 40.08~52.49 kg/hm², P 肥为 36.19~62.19 kg/hm², K 肥为 70.73~114.41 kg/hm²。

参考文献:

- [1] 汪健,王松峰,毕庆文,俞世康,杨云高,孙福山,王爱华,闫启峰,王鹏. 氮磷钾用量对烤烟红花大金元产质量的影响. 中国烟草科学, 2009, 30(5): 19-23
- [2] 陈义强,刘国顺,习红昂. 烟草栽培中氮、磷、钾肥及水分因子与产值的经验模型. 中国农业科学, 2008, 41(2): 480-487
- [3] 苑举民,张忠锋,石屹,荣凡番,元建,马兴华,吴元华,王文杰,陈文军,李淑英,丁健. 低肥力土壤施氮对烤烟干物质积累、氮素吸收及产质量的影响. 中国烟草科学, 2009, 30(4): 47-51
- [4] 张延春,陈治锋,龙怀玉,罗春燕. 不同氮素形态及比例对烤烟长势、产量及部分品质因素的影响. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(6): 787-792
- [5] 许自成,郭燕,邵惠芳,毕庆文,汪健,王海明,黎根. 恩施烟区土壤氮素和烤烟烟碱含量的分布特点及关系分析. 中国生态农业学报, 2009, 17(5): 880-884
- [6] 左天觉. 烟草生产的生理和生物化学. 上海: 上海远东出版社, 1993: 272-273
- [7] 钟晓兰,张德远,何宽信,李立新,程小强. 红壤性水稻土上钾肥运筹对烤烟产量和品质的影响. 土壤, 2006, 38(3): 315-321
- [8] 尹鹏达,赵丽娜,贺国强,焦玉生,郭永新,孙广玉. 不同氮磷钾配施对东北烤烟叶片叶绿素含量的影响. 安徽农业科学, 2010, 38(11): 5 590-5 591
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2005: 257-271
- [10] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978
- [11] Davis DL, Nielsen MT. 国家烟草专卖局科技教育司, 中国烟草科技信息中心译. 烟草—生产, 化学和技术. 北京: 化学工业出版社, 2003: 76-80
- [12] 唐年鑫,孙清祯,宋少堂. 应用³²P示踪研究烟草对磷肥的吸收与分配. 中国烟草科学, 1992(2): 25-27
- [13] 陈义强,刘国顺,习红昂,张彩霞. 烟草栽培中土壤适宜含水率及施肥模型. 农业工程学报, 2009, 25(2): 42-49
- [14] 王瑞新. 烟草化学. 北京: 中国农业出版社, 2003: 146-147
- [15] Kastens TL, Schmidt JP, Dhuyvetter KC. Yield models implied by traditional fertilizer recommendations and a framework for including nontraditional information. Soil Sci. Soc. Am. J., 2003, 67: 351-364
- [16] 施建平,鲁如坤,时正元,孙波. Logistic 回归模型在红壤地区早稻推荐施肥中的应用. 土壤学报, 2002, 39(6): 853-862
- [17] 夏建国,李静,巩发永,吴德勇. 茶叶高产优化施肥的模拟研究. 茶叶科学, 2005, 25(3): 165-171
- [18] 危常州,候振安,雷味雯,朱和明,张福锁,鲍柏杨,郭深,王桂花. 不同地理尺度下综合施肥模型的建模与验证. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(1): 13-20
- [19] 李萍萍,胡永光,赵玉国,尹学举,毛罕平. 增施 CO₂ 气肥对温室结球莴苣光合作用影响的综合模型研究. 农业工程学报, 2001, 17(3): 75-79
- [20] 马成林,吴才聪,张书慧,杨印生,李洪伟,韩云霞. 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. 农业工程学报, 2004, 20(2): 152-155
- [21] 杨宇姝,王福林,许晓强. 基于神经网络的模糊土壤平衡施肥模型系统的研究. 农机化研究, 2007(10): 49-50
- [22] 阮云泽,孙桂芳,唐树梅. 土壤养分状况系统研究法在菠菜平衡施肥上的应用. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(4): 530-535
- [23] 孙波,严浩,施建平,张月平,张炳宁. 基于组件式 GIS 的施肥专家决策支持系统开发和应用. 农业工程学报, 2006, 22(4): 75-79
- [24] 董坤,刘意秋,李华,鲁耀,董艳,龚文,董霞,和绍禹. 氮磷钾硼配施对油菜泌蜜量的影响. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(2): 435-440
- [25] 中国农业科学院烟草研究所. 中国烟草栽培学. 上海: 科学技术出版社, 2005
- [26] Rideout JW, Gooden DT, Fortnum BA. Influence of nitrogen application rate and tobacco method on yields and leaf chemistry of tobacco grown with drip irrigation and plastic mulch. Tobacco Science, 1998, 42(2/3): 46-51
- [27] 符云鹏,刘国顺,韩富根,赵献章,刘清华,郝伟宏. 磷肥种类及用量对烤烟生长及产量、质量效应的研究. 河南农业大学学报, 1998, 32(增刊): 21-24
- [28] 陈江华,刘建利,李志宏. 中国植烟土壤及烟草养分综合管理. 北京: 科学出版社, 2008: 80-176

Fertilization Model of N, P, K Fertilizers and Production in Filled Flue-cured Tobacco

YIN Peng-da¹, ZHU Wen-xu¹, ZHAO Li-na¹, JIAO Yu-sheng², ZHAO Guang-wei², SUN Guang-yu¹

(1College 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 through orthogonal regression of field experiment by taking filled flue-cured tobacco variety "Longjiang 911" as the test materials, the regression effect of model was established between Nitrogen, Phosphorus and Potassium (NPK) fertilizers and flue-cured tobacco production. The various factors and interactions were analyzed, the contribution ratios and abundance/deficiency index of soil fertility were calculated and the Northeast Flue-cured Tobacco optimal fertilization program was established. The results showed that: production increased with the increase of nitrogen; production increased and then decreased with the increase of potassium; but phosphorus effect on tobacco production was not obvious; the synergistic and antagonistic effects between nitrogen and phosphorus, nitrogen and potassium, phosphorus and potassium were shown in the lower and higher range, respectively. The optimal fertilization model for the basis of the proposed tobacco fertilizer was: pure N 40.08 - 52.49 kg/hm², P₂O₅ 36.19 - 62.19 kg/hm², K₂O 70.73 - 114.41 kg/hm².

Key words: Flue-cured tobacco, Production, Fertilizers, Fertilization model