

黄泥土氮磷钾施用量对云烟87产量品质的影响及推荐配方

唐越岳¹, 陆引罡^{1*}, 张 涵¹, 李国明¹, 吴学蕤¹, 何腾兵^{1,2*}

¹贵州大学农学院, 贵州 贵阳

²贵州大学新农村发展研究院, 贵州 贵阳

收稿日期: 2023年3月20日; 录用日期: 2023年6月20日; 发布日期: 2023年6月29日

摘 要

通过研究中等肥力黄泥土条件下不同氮、磷、钾肥施用量在烤烟上的肥料效应, 为该土种烟区的合理施肥提供科学依据。以云烟87为供试材料, 采用“3414”田间试验设计, 对烤烟的农艺性状以及化学成分、经济指标进行分析, 并通过肥料效应函数方程拟合NPK施肥量。试验结果表明不同处理下的各农艺性状、化学成分之间差异较大, 综合烤烟的生长发育以及成熟期的表现状况, 和后期提高烤烟产量和经济效益分析, 处理T5效果是最好的, 根据建立的方程模型可以预测出N、P、K的最高施肥量分别为12.83 kg/666.67m²、35 kg/666.67m²、34.04 kg/666.67m²。从综合提高烤烟经济效益来看, 最佳施肥量为尿素12.5 kg/666.67m², 过磷酸钙18 kg/666.67m², 硫酸钾33.2 kg/666.67m²。

关键词

云烟87, 施肥, 经济效益, 黄泥土, “3414”试验

Effects of Application Rate of Nitrogen, Phosphorus and Potassium in Loess Soil on Yield and Quality of Yunyan 87 and Its Recommended Formula

Yueyue Tang¹, Yingang Lu^{1*}, Han Zhang¹, Guoming Li¹, Xuerui Wu¹, Tengbing He^{1,2*}

¹College of Agriculture, Guizhou University, Guiyang Guizhou

²New Rural Development Research Institute, Guizhou University, Guiyang Guizhou

*通讯作者。

文章引用: 唐越岳, 陆引罡, 张涵, 李国明, 吴学蕤, 何腾兵. 黄泥土氮磷钾施用量对云烟 87 产量品质的影响及推荐配方[J]. 有机化学研究, 2023, 11(2): 87-100. DOI: 10.12677/jocr.2023.112009

Abstract

By studying the fertilizer effects of different nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer application rates on flue-cured tobacco under the condition of medium-fertility loess soil, to provide scientific basis for rational fertilization in this soil type tobacco area. Using Yunyan 87 as the test material, the “3414” field experiment design was used to analyze the agronomic characters, chemical components and economic indicators of flue-cured tobacco, and the NPK fertilizer rate was fitted by the fertilizer effect function equation. The agronomic characters and chemical components of different treatments are quite different. Comprehensively analyzing the growth and development of flue-cured tobacco and the performance at maturity, as well as the analysis of improving the yield and economic benefits of flue-cured tobacco in the later period, the effect of treatment T5 is the best. The established equation model can predict that the maximum fertilizer rates of N, P and K are 12.83 kg/666.67m², 35 kg/666.67m² and 34.04 kg/666.67m², respectively. From the perspective of comprehensively improving the economic benefits of flue-cured tobacco, the optimal fertilization rate is 12.5 kg/666.67m² of urea, 18 kg/666.67m² of superphosphate, and 33.2 kg/666.67m² of potassium sulfate.

Keywords

Yunyan 87, Fertilization, Economic Benefits, Loess Soil, “3414” Experiment

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

氮磷钾是烤烟生长发育全过程中需求量较大的营养元素，在烤烟代谢中起到重要的作用，对烤烟的产量和品质有着直接的影响[1] [2] [3]，有相关研究表明，在一定的范围以内，施氮量的增加，烟叶产量和质量都会有所提高，但是如果施氮量超过一定的值时，烤烟植株氮代谢向碳代谢的转化时间会推迟，会使烤后烟叶的内在化学成分不协调，同时还会导致烟叶产量品质下降[4] [5] [6]；磷肥的施用量减少 50% 和 75% 会对烟叶的产量以及质量产生不良影响，主要表现在降低烟叶的产值和中上等烟叶的比率等经济性指标[7]；烤烟是一种喜钾的经济作物，施用钾肥能够有效改善烤烟的农艺性状提高其抗病性等[8]。很多研究表明不同配比氮磷钾肥施用会对烤烟的农艺性状、经济性状等造成影响[9] [10]，其中氮含量是主要的影响因素[11] [12]。

“云烟 87”的母本是国内自育品种云烟 2 号，而父本则是美国引进品种 K326，二者杂交经系谱选育而成，于 2000 年 12 月通过全国烟草品种审定委员会审定，其优点是抗性强和适应性广[13] [14] [15]。科学合理的施肥配比是获得高产优质烟叶的重点。贵州省中低产田土面积占比达到 85.6%，黄泥土是中低产田土的主要类型[16]，因此对黄泥土进行综合技术改良尤为重要。关于黄泥土地区“云烟 87”的合理施肥研究鲜见报道，为此，采用“3414”不完全试验方案设计，探索不同肥料配比所产生的肥料效应对“云烟 87”生长发育以及产量、质量等方面的影响，为进一步优化肥料配方提供科学依据。

2. 材料和方法

2.1. 试验地概况

试验区域选在开阳县楠木渡镇龙井湾,于2020年4月~9月进行田间试验。该试验地地处海拔1125 m,属于亚热带季风湿润气候,年平均气温14℃~17℃,年降雨量1179.3~1194.15 mm,全年无霜期平均276.5 d。试验地选择平坦、肥力均匀,具有代表性的中等肥力地块;避开靠近道路、堆肥场所等特殊地块。试验地块土壤类型为黄壤,土种为黄泥土,占全省旱耕地面积的46.2% [17],是贵州主要的种烟土壤,具有代表性。

供试土壤0~20 cm耕层土壤pH为6.34,有机质为25.39 g/kg,全氮含量为1.52 g/kg,碱解氮为150 mg/kg,速效磷为24 mg/kg,速效钾为191 mg/kg。

2.2. 试验材料与设计

供试肥料:尿素(N=46%)、过磷酸钙(P_2O_5 = 16%)、硫酸钾(K_2O = 52%);供试烤烟品种为云烟87。以云烟87为试验材料,田间试验采用“3414”部分实施方案设计,试验方案处理如下表。“3414”是指氮、磷、钾3个因素、4个水平、14个处理。4个水平的含义:0水平指不施肥,2水平指当地推荐施肥量,1水平 = 2水平 × 0.5,3水平 = 2水平 × 1.5(该水平为过量施肥水平)。为便于汇总,同一区域内施肥量要保持一致。设置三个重复,小区面积为以1分地计算为66.7 m²,共42个小区,采取随机区组排列,区组内土壤、地形等条件应相对一致。试验小区之间设置保护行,宽度为1 m。小区应单灌单排,避免串灌串排。试验方案处理见表1。

Table 1. “3414” test protocol
表 1. “3414” 试验方案

试验编号 Test number	处理 Treatment	N	P	K
CK	$N_0P_0K_0$	0	0	0
T1	$N_0P_2K_2$	0	2	2
T2	$N_1P_2K_2$	1	2	2
T3	$N_2P_0K_2$	2	0	2
T4	$N_2P_1K_2$	2	1	2
T5	$N_2P_2K_2$	2	2	2
T6	$N_2P_3K_2$	2	3	2
T7	$N_2P_2K_0$	2	2	0
T8	$N_2P_2K_1$	2	2	1
T9	$N_2P_2K_3$	2	2	3
T10	$N_3P_2K_2$	3	2	2
T11	$N_1P_1K_2$	1	1	2
T12	$N_1P_2K_1$	1	2	1
T13	$N_2P_1K_1$	2	1	1

2.3. 肥料施用方法

每株都要施肥, 基肥: 追肥为 6:4, 基肥施用为条状深施, 追肥浇施。在移栽后第 10、15、20 天分 3 次施完追肥, 每次施用追肥总量的 1/3。施肥方案见表 2:

Table 2. Fertilization options

表 2. 施肥方案

肥料类型(kg/666.67m ²) Fertilizer type (Kg/Mu)	1 水平 1 level	2 水平 2 level	3 水平 3 level
N	2.875	5.75	8.625
P	2.875	5.75	8.625
K	8.625	17.25	25.875

2.4. 测定内容与方法

在施肥前, 采集试验地块的基础土样, 对试验地块进行多点取样。均以“S”形取样法进行取样, 按四分法处理, 取 1 公斤左右。将取回来的土壤样品进行自然风干、磨碎、过筛后进行化学成分测定。

大田观测记载项目包括团棵期、旺长期、成熟期每个小区连续测定 5 株烟的株高、茎围、留叶数、最大叶长、最大叶宽以及最大叶面积。

分小区采收、绑竿(采收、绑竿均做好标记)、中层烘烤, 下炕时对每小区烟叶称重, 分小区堆放; 分别在烤完下、中、上部后对烟叶进行分级(请烟叶站分级技术员帮助)、各等级称重, 统计产量、产值、均价、上等率、上中等烟率。

对 14 个处理的上部叶、中部叶及下部叶的烟叶分别采集, 装入密封袋后带回实验室在 70℃烘箱中进行 24~36 小时烘干处理, 进行化学品质指标分析。分析项目包括总氮、总磷、全钾、总糖、还原糖和烟碱含量。

烤烟化学成分分析: 烟株叶片中氮、磷、钾的测定(H₂SO₄-H₂O₂ 消化法); 氯含量(硝酸银容量法); 烟碱的测定(国标法 GB/T23225); 总糖、还原糖的测定(3,5-二硝基水杨酸比色法)。

2.5. 数据处理

利用 DPS (LSD 法), Ttools [18], Origin2021 等软件进行统计分析。

3. 结果与分析

3.1. 不同肥料对比对烤烟农艺性状的影响

从图 1(a)可以看出, 在团棵期, T6 处理对提高株高、茎围、留叶数、最大叶长、最大叶宽、最大叶面积的效果最好, 其次为 T12 较好。T7、T8、T12 处理对提高最大叶长、最大叶宽、最大叶面积效果较好, 说明在烤烟团棵期适量增施 PK 肥对烟叶有益。株高、茎围、最大叶长、最大叶宽和最大叶面积处理效果最差的是 T13, 和 CK 相比差异不显著, 甚至最大叶宽相比 CK 更低。

从图 1(b)可以看出旺长期提高株高、茎围、留叶数、最大叶长、最大叶宽、最大叶面积的效果最好的是 T6, 效果最差的是 T2。

在烤烟生长成熟期(图 1(c)), 不同的施肥处理对最大叶宽影响不大, 在成熟期施肥效果最好的是 T4、T9、T10, 与 CK 相比, 除了最大叶宽外, 其余性状与 CK 均达到显著差异, 最差的是 T2、T8、T11, 与 CK 相比, 这三个处理的农艺性状均未达显著水平。

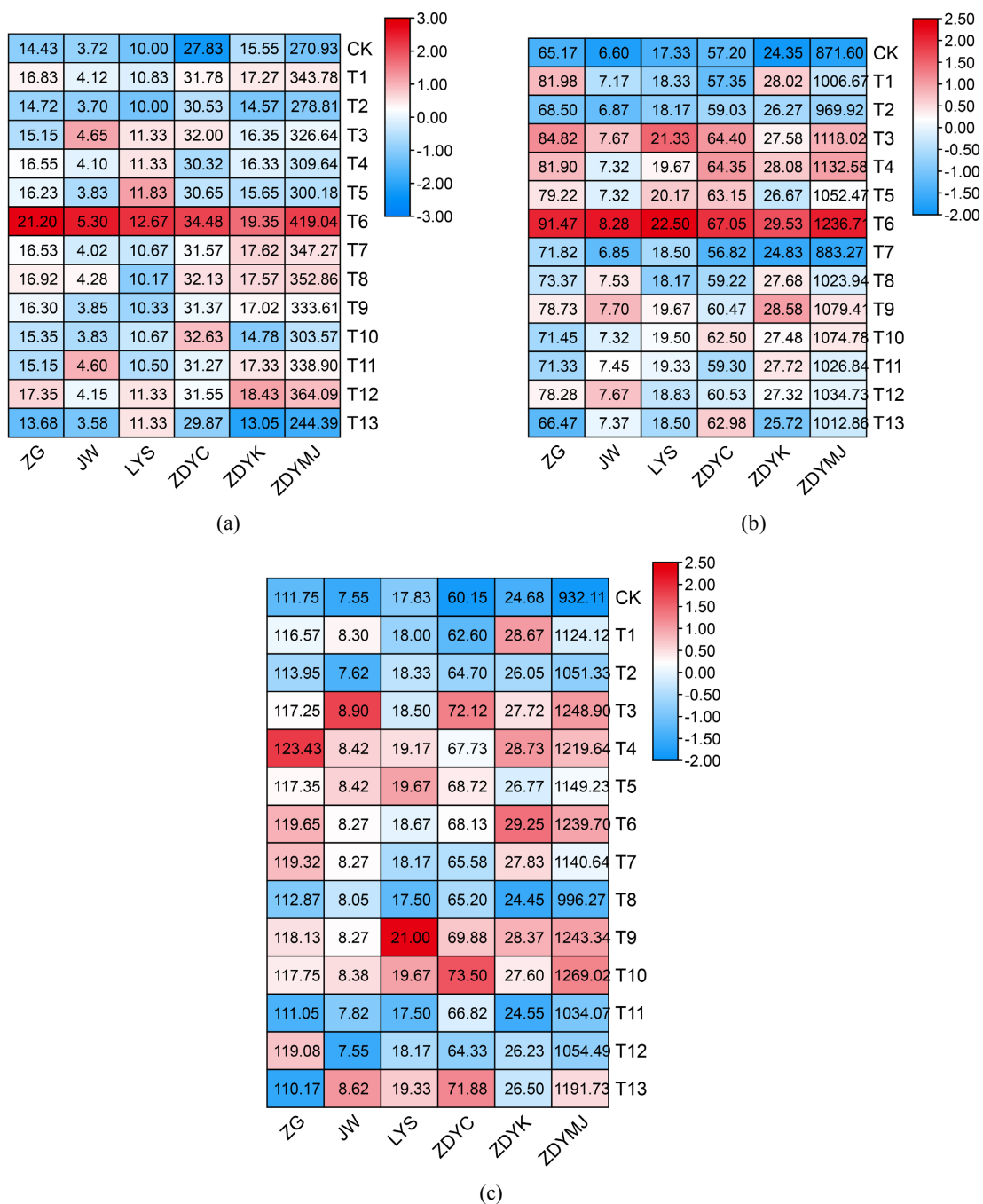


Figure 1. Agronomic traits of flue-cured tobacco in different periods. The period corresponding to (a) in the figure is the clustering period, (b) corresponds to the prosperous period, and (c) corresponds to the maturity period; the letters correspond to ZG—plant height (cm), JW—stem circumference (cm), LYS—Number of remaining leaves (pieces), ZDYC—maximum leaf length (cm), ZDYK—maximum leaf width (cm), ZDYMJ—maximum leaf area (cm²)

图 1. 不同时期烤烟的农艺性状。图中(a)对应的时期为团棵期, (b)对应旺长期, (c)对应成熟期; 字母分别对应 ZG—株高(cm)、JW—茎围(cm)、LYS—留叶数(片)、ZDYC—最大叶长(cm)、ZDYK—最大叶宽(cm)、ZDYMJ—最大叶面积(cm²)

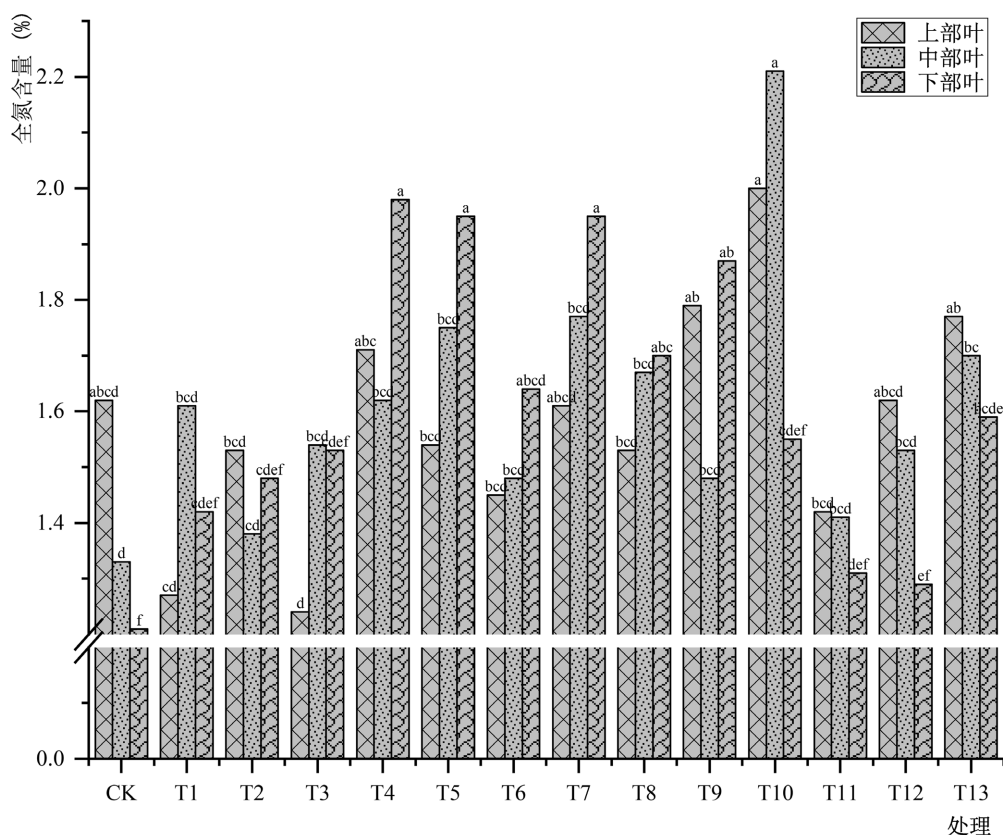
烤烟农艺性状是烟株生长发育状况的直观表征指标[19][20], 不同的肥料对比对烤烟的农艺性状有很大的影响, 综上所述, 在烤烟的团棵期和旺长期, T6 所表现出来的农艺性状是最好的, 都与 CK 达到了

显著差异, 旺长期除了 T6 外, 还有 T3、T4 与 CK 差异显著, 成熟期则有 T4、T9、T10 与 CK 差异均不大, 综合烤烟的生长发育以及成熟期的表现状况, 较次为 T9 和 T10, 处理 T4 效果是最好的, T4 为 N2P1K2, 即尿素施用量 12.5 kg/666.67m², 过磷酸钙施用量 18 kg/666.67m², 硫酸钾施用量 33.2 kg/666.67m²。

3.2. 不同肥料配比对烤烟不同部位化学成分的影响

3.2.1. 不同肥料配比对烤烟不同部位全氮含量的影响

由图 2 可以看出, 不同的肥料配比对烤烟不同部位的全氮含量影响不同。增加上中部叶全氮含量效果最好的是 T10, 下部叶是 T4, 综合来说最差的是 T10, 对上部叶来说增加全氮含量效果差异不明显, 氮肥施用量低于当地推荐用量的对增加中部叶全氮含量的效果都不显著, 氮肥为推荐用量或稍微高于推荐用量对中部叶的全氮含量效果最好的, 下部叶全氮含量的最佳氮肥施用量是当地推荐用量, 高于或低于当地推荐用量效果都不明显。



不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$), 相同小写字母表示处理间差异不显著。

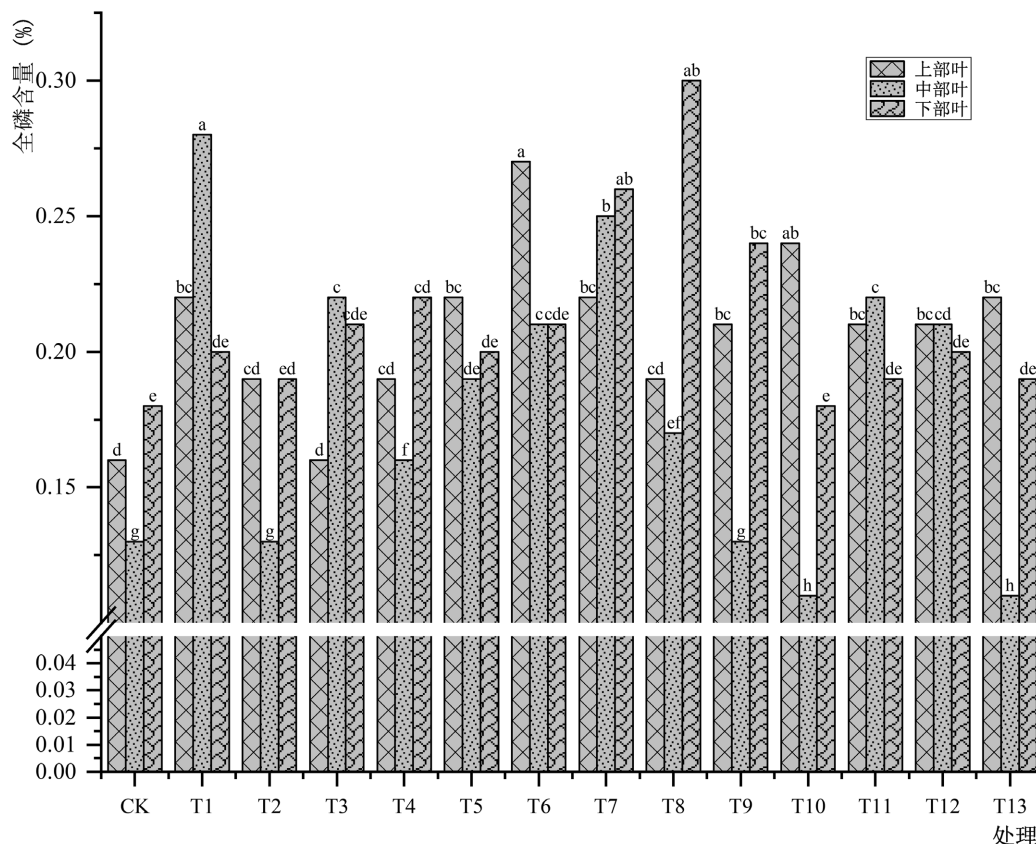
Figure 2. Total nitrogen content in different parts

图 2. 不同部位的全氮含量

3.2.2. 不同肥料配比对烤烟不同部位全磷含量的影响

磷是必需营养元素之一, 对烤烟来说, 磷可以促进烤烟早发, 使烤烟提前成熟[21] [22], 因此, 尽管磷是烤烟的必需营养元素, 但烤烟对磷肥的需求量不大, 除了磷含量特别低的土壤外, 施用磷肥对烤烟产量影响较小[23]。因此需要探索适宜的磷肥施用量, 图 3 为不同处理下烤烟不同部位的全磷含量, 由表可以看出对上部叶全磷含量效果最好的是 T6, T7 虽没 T6 好, 但效果也很显著, 中部叶全磷含量最高的

是 T1, 下部叶是 T8, 综合来说提高烟叶全磷含量效果最好的是 T7, 与 CK 均达到显著水平, 即提高烟叶全磷的最佳施用量为: 尿素施用量 $12.5 \text{ kg}/666.67\text{m}^2$, 过磷酸钙施用量 $54 \text{ kg}/666.67\text{m}^2$, 硫酸钾施用量 $33.2 \text{ kg}/666.67\text{m}^2$ 。



不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$), 相同小写字母表示处理间差异不显著。

Figure 3. Total phosphorus content in different parts

图 3. 不同部位的全磷含量

3.2.3. 不同肥料比对烤烟不同部位全钾含量的影响

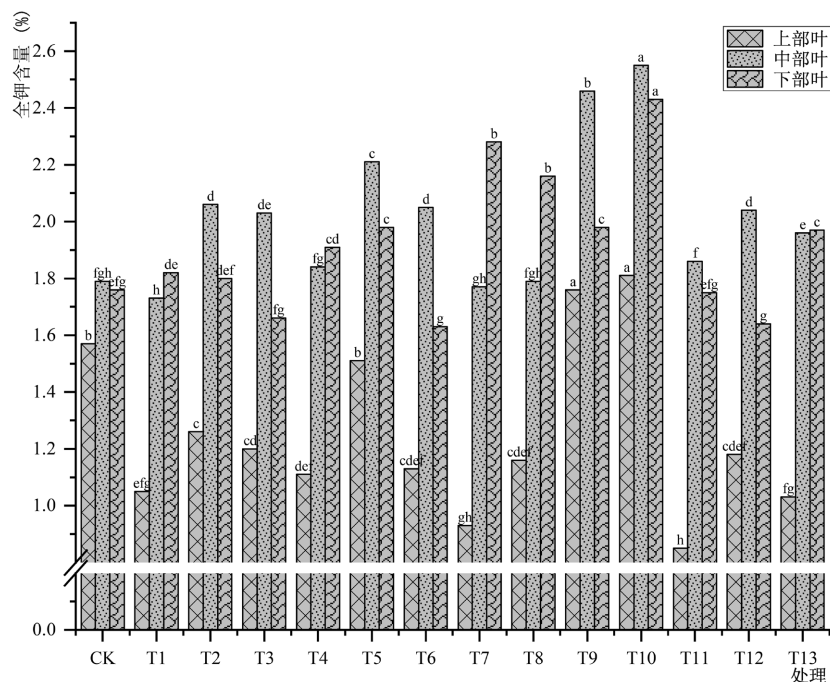
烤烟是喜钾作物, 钾肥的施用是烟叶吸收钾元素的重要来源, 我国烟叶含钾量普遍不高, 但是烟叶钾的含量对烟叶香气、燃烧性和阴燃持火能力有着重要影响[24]。

如图 4 可以看出不同肥料比对烤烟不同部位的全钾含量的影响差别较大, 14 个处理中, 中部叶全钾含量有 8 个处理全钾含量与 CK 相比差异显著, 下部叶有 7 个处理与 CK 相比差异显著, 上部叶的全钾含量仅有 2 个效果较好, 综合来说, T9、T10 对增加全钾含量的效果十分显著, 为最佳施肥用量, 即尿素施用量 $12.5 \text{ kg}/666.67\text{m}^2$ 、过磷酸钙施用量 $36 \text{ kg}/666.67\text{m}^2$ 、硫酸钾施用量 $16.6 \text{ kg}/666.67\text{m}^2$ 或者尿素施用量 $12.5 \text{ kg}/666.67\text{m}^2$ 、过磷酸钙施用量 $36 \text{ kg}/666.67\text{m}^2$ 、硫酸钾施用量 $49.8 \text{ kg}/666.67\text{m}^2$ 。

3.2.4. 不同肥料比对烤烟不同部位双糖含量的影响

烟叶中的总糖和还原糖可以消除烟叶中蛋白质燃烧时产生的不良气味, 它们与烟碱共同决定烤烟的吸味和刺激性, 起到平衡烟叶质量的作用[25]。此外, 还原糖在烟叶燃烧时通过热解形成多种有香气的物质, 影响烟气的醇和性[26]。图 5 可以看出不同处理下的不同部位还原糖含量差别较大, 14 个处理中,

还原糖积累效果最差的是 T13，效果最好的是 T3，其次是 T11、T2、T12。总糖积累效果最差的是 T13，最佳的处理是 T3，其次是 T11、T12、T2、T6。



不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)，相同小写字母表示处理间差异不显著。

Figure 4. Total potassium content in different parts

图 4. 不同部位全钾含量

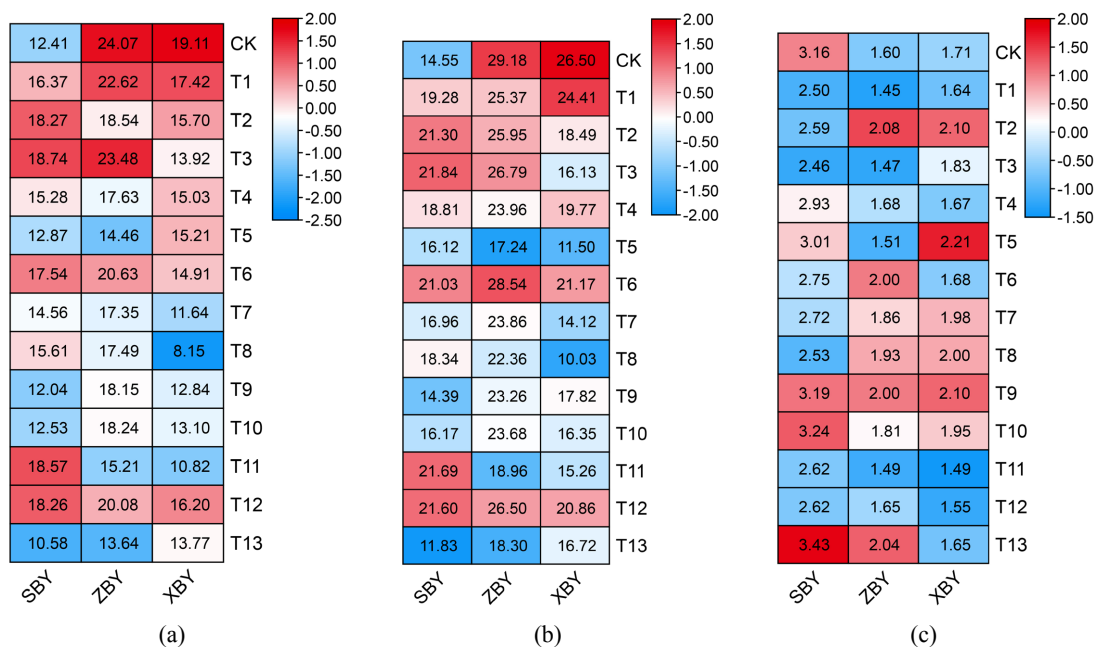


Figure 5. Contents of disaccharide and nicotine in different parts of flue-cured tobacco. (a) reducing sugar; (b) total sugar; (c) Nicotine

图 5. 烤烟不同部位双糖及烟碱含量。(a) 还原糖; (b) 总糖; (c) 烟碱

3.2.5. 不同肥料配比对烤烟不同部位烟碱含量的影响

烤烟中的烟碱含量也是影响烤烟品质的一项重要指标[27],肖明礼等通过试验指出烟碱与烤烟香气质、香气量、刺激性以及余味等评吸质量呈明显负相关,与劲头和浓度呈正相关[28] [29]。程传玲等的研究指出,烟碱含量与烤烟湿润程度、透发性得分均呈显著负相关[29]。通过图 5 可以得出综合各部位来说对烟碱积累效果最好的是 T9、T10,上部叶片积累烟碱最差的是 T3,最好的是 T13,其次是 T10、T9、CK,因此针对烟碱的积累来说,T9、T10 为最佳施肥量。

3.3. 不同肥料配比对烤烟经济性状的影响

研究烤烟的经济性状是烤烟配方施肥的最终目的,通过田间试验得出亩产量,对烤烟的上等、中等、中上等烟率进行统计,最终得出均价与产值,从而获得最佳的施肥量,以获得最佳的经济效益。

Table 3. Economic characters of flue-cured tobacco under different treatments

表 3. 不同处理下烤烟经济性状

处理 Treatment	亩产量 (kg/666.67m ²) Yield per mu (Kg/mu)	均价 (元/kg) Average price (RMB/Kg)	产值 (元/666.67m ²) Output Value (Yuan/mu)	上等烟率(%) Superior smoke rate (%)	中等烟率(%) Medium smoke rate (%)	中上等烟率(%) Medium to high smoke rate (%)
CK	109.36	2171.36	19.86	35.92	45.91	81.83
T1	128.15	2624.00	20.48	35.34	49.11	84.45
T2	139.96	2920.30	20.87	37.19	49.31	86.50
T3	128.53	2696.36	20.98	39.91	42.27	82.19
T4	138.46	3035.87	21.93	41.23	45.84	87.07
T5	151.78	3460.60	22.80	48.26	41.92	90.18
T6	139.92	3201.38	22.88	50.75	36.33	87.08
T7	127.62	2597.51	20.35	39.48	43.07	82.56
T8	139.74	3014.71	21.57	40.03	48.51	88.54
T9	142.98	3233.23	22.61	46.84	43.30	90.14
T10	145.48	2948.96	20.27	44.25	38.52	82.77
T11	127.22	2860.20	22.48	53.49	34.11	87.60
T12	126.71	2758.50	21.77	44.34	41.92	86.26
T13	127.40	2732.52	21.45	42.12	43.84	85.97

根据表 3 可以得出 14 个处理下的烤烟不同的经济性状差异较大,14 个处理下的烤烟亩产量最高的 T5 为 151.78 kg/666.67m²,其次是 T10 和 T9,与 CK 相比增加了 38.79%、33.03%、30.74%,T12 是除 CK 外 13 个处理中亩产量最低的,但相比 CK 提高了 15.86%,说明各施肥处理下的亩产量增加效果都较为明显;14 个处理均价差异也十分的明显,最大的 T5 高达 3460.6 元/kg,相比最低的 CK 的 2171.36 元/kg 增加了 59.37%,施肥的十三个处理中,最低的 T7 为 2597.51 元/kg,相比 CK 也提高了 19.62%,相对来说效果也较为明显;产值之间的差异不是那么的明显,但相比 CK 都有一定程度的提高,最高的是 T6,为 22.88,比 CK 提高了 15.21%,最低的是 T10,相比 CK 增加了 2.06%;上等烟率各处理间均有一定差别,除 T1 外,与 CK 相比都有一定提高,最高的是 T11,为 53.49%,相比 CK 提高了 50.53%;

中等烟率最高的为 T2, 其次是 T1、T8, 分别是 49.31%、49.11%、48.51%, 相比 CK (45.91%) 有一定提高, 其余处理均小于 CK; 中上等烟率最高的为 T5, 其次是 T9, 分别是 90.18%、90.14%, 最低的为 CK, 为 81.83%, 14 个处理之间差异不大, 但相比 CK 都有一定提高。

综上, 对提高亩产量和均价效果最好的是 T5, 提高产值效果最好的是 T6, 提高上等烟率效果最好的是 T11, 其次是 T6、T5, 提高中等烟率效果最好的是 T2, 其次是 T1、T8, 中上等烟率效果最好的是 T5, 其次是 T9、T8。烤烟产量和中上等烟比例是评定烤烟产值和经济效益的决定因子, 因此, 综合来说, 对提高烤烟经济性状效果最好的是 T5, 其次是 T9, 即提高烤烟经济效益最佳施肥量为尿素施用量 $12.5 \text{ kg}/666.67\text{m}^2$, 过磷酸钙施用量 $18 \text{ kg}/666.67\text{m}^2$, 硫酸钾施用量 $33.2 \text{ kg}/666.67\text{m}^2$ 。

3.3.1. 隶属函数综合评价

从图 6 可以看出, 不同用量的氮磷钾肥处理的隶属函数均值都大于 CK, 所以, 氮磷钾肥施用量对烤烟的产量产值等经济性状有重要的影响。其中, 综合评价得出 T6 为最佳处理。

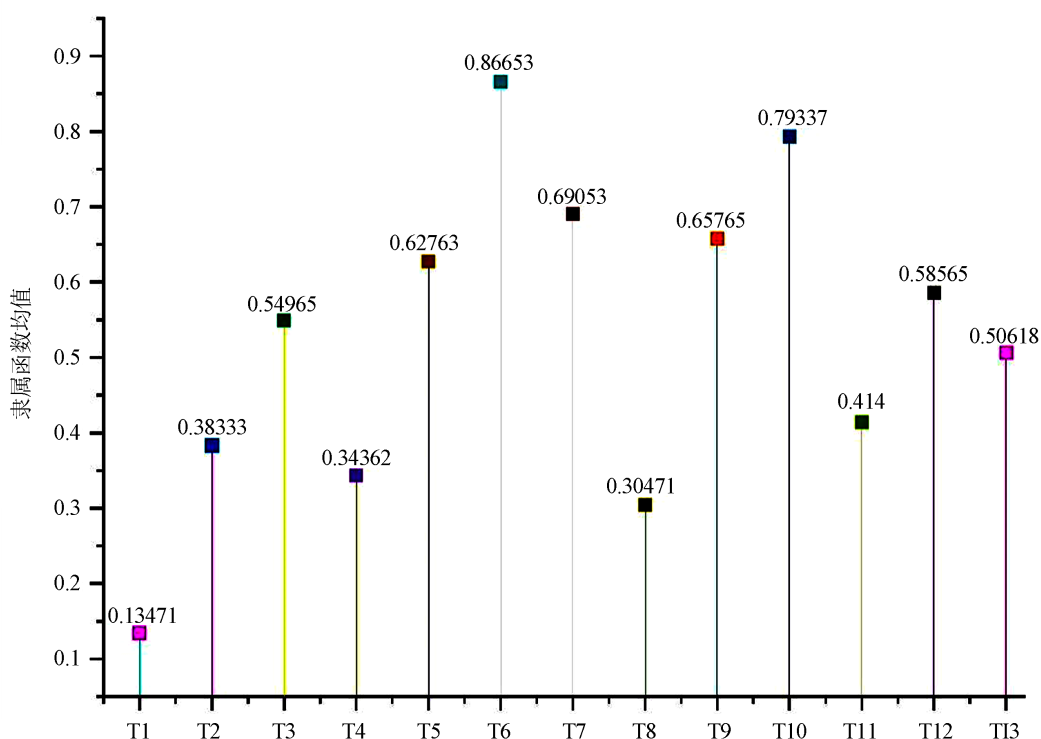


Figure 6. Membership function comprehensive evaluation diagram

图 6. 隶属函数综合评价图

3.3.2. 一元二次肥料效应

以处理 2、3、6、11 进行子函数拟合, 得氮肥肥料效应函数方程和抛物线型的肥效效应曲线图 7 所示, 可知当氮肥施用量为 $12.83 \text{ kg}/666.67\text{m}^2$ 时, 可获得最大产量为 $149.14 \text{ kg}/666.67\text{m}^2$ 。

选择 4、5、6、7 进行子函数拟合, 得磷肥肥料效应函数方程和抛物线型的肥效效应曲线图 7 所示, 得磷肥施肥量为 $35 \text{ kg}/666.67\text{m}^2$ 时, 获得的最大产量为 $147.51 \text{ kg}/666.67\text{m}^2$ 。

将处理 8、9、6、10 进行函数拟合, 得钾肥肥料效应函数方程和抛物线型的肥效效应曲线图 7 所示, 发现当钾肥施用量为 $34.04 \text{ kg}/666.67\text{m}^2$ 时, 可获得最大产量为 $148.68 \text{ kg}/666.67\text{m}^2$ 。

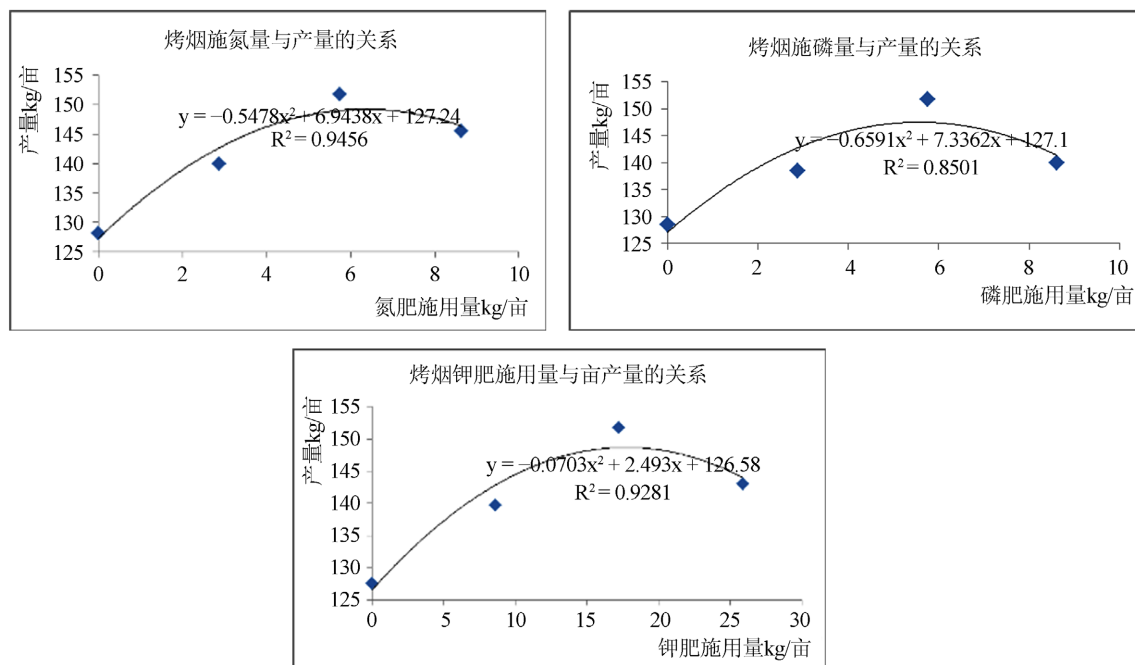


Figure 7. Parabolic response curve of nitrogen fertilizer/phosphate fertilizer/potassium fertilizer
图 7. 抛物线型的氮肥/磷肥/钾肥肥效反应曲线

4. 结论与讨论

很多研究表明不同的肥料施用量会对烤烟生长发育产生影响[30] [31] [32], 熊承飞的研究发现在一定水平之内, 增加氮素用量, 测得代表烟株生长速率的农艺性状(株高, 茎围, 叶面积, 有效叶片数)有明显的增加[33]; 不同的磷钾施用量处理下的烤烟农艺性状没有显著差异[34], 这均与本试验结论相符。这可能与所选试验地磷肥与钾肥的肥力水平有关。其中在烤烟的团棵期和旺长期, T6 处理的农艺性状均显著高于 CK 处理, 成熟期则有 T4、T9、T10 与 CK 差异均达到显著差异, 但综合烤烟的生长发育以及成熟期的表现状况, 处理 T4 效果是最好的, 即当施肥量为: 尿素 12.5 kg/666.67m², 过磷酸钙 18 kg/666.67m², 硫酸钾 33.2 kg/666.67m² 时, 农艺性状是最好的。

高林[35]和钟秋瓚等[36]的试验发现处在磷肥和钾肥施用量相同的情况下, 在施氮水平最高的处理下烟叶总糖和还原糖含量是最低的, 但是总氮含量较高; 实验表明, 烤烟体内的全氮和烟碱含量随着施氮量的增加而增加, 这与前面学者的研究结果一致, 且 14 个处理各部位化学成分含量通过分析得出增加上中部叶全氮含量效果最好的是 T10, 下部叶是 T4; 提高烟叶全磷含量效果最好的是 T7, 与 CK 达到显著水平; 烤烟化学成分含量比较适宜的范围通常是总氮 1.5%~3%, 还原糖 16%~18%, 烟碱 1.5%~3.5%, 钾 3%以上[37], 14 个处理各部位的全钾含量均未达优质烟叶的钾含量要求, 而烟叶的全钾含量对烟叶品质有很重要的影响, 因此需要对提高烟叶内全钾含量还需要进一步深入探究, 但总体来说, T9、T10 对增加全钾含量的效果十分显著。14 个处理还原糖和总糖含量不同处理间差别较大, 且上部叶片还原糖含量大部分处理都略低于最适宜的还原糖含量, 少部分略高于最适宜值, 只有 T1、T4、T6、T8 达到最适宜的还原糖含量要求; 中部叶大部分都比最适宜的还原糖含量高, 积累效果最好的是 T3, 综合品质最好的是 T4 和 T8。综合各部位来说对烟碱积累效果最好的是 T9、T10, 各处理的烟碱含量值都比较适宜, 结合肖明礼、程传玲等的试验结论[28] [29], 得知 T9、T10 处理的烟叶香气质、香气量、刺激性以及余味等评吸质量、劲头和浓度都比较适宜。

但是另一方面, 虽然施肥对于增产有着很好的效果, 却也不能盲目为了追求高产过多施肥, 极易造成种植烤烟的养分收支不平衡、烤烟品质下降, 不但浪费肥料, 又使农业投入不合理[38] [39] [40], 还可能对环境造成污染。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, 反而下降。郑传刚[31] [41]的试验指出烤烟适量施用氮肥可促进烟株发棵生长, 但过量施用, 不仅会造成叶片徒长、变青, 病虫害加剧, 而且导致烤青、挂灰烟叶增多, 影响烤烟质量, 所以在烤烟生长发育过程中要注意控制氮肥用量。采用隶属函数综合评价发现施肥和不施肥相比能够增加经济效益, 但并不是施肥最多, 经济效益越好, 与前人研究结果相符合[40] [42], 通过试验发现提高亩产量和均价效果最好的是 T5, 提高产值效果最好的是 T6, 提高上等烟率效果最好的是 T11, 其次是 T6、T5, 提高中等烟率效果最好的是 T2, 其次是 T1、T8, 中上等烟率效果最好的是 T5, 其次是 T9、T8。而根据所建立的一元二次肥料效应函数得知当 NPK 肥料施用量分别为 12.83 kg/666.67m²、35 kg/666.67m²、34.04 kg/666.67m²时, 可获得最大产量分别为 149.14 Kg/666.67m²、147.51 Kg/666.67m²、148.68 Kg/666.67m²。

综合来说, 对提高烤烟经济性状效果最好的是 T5, 其次是 T9, 即提高烤烟经济效益最佳施肥量为尿素施用量 12.5 kg/666.67m², 过磷酸钙施用量 18 kg/666.67m², 硫酸钾施用量 33.2 kg/666.67m²。结合产量统计分析, 可知 N、P、K 三个因素对产量的一元二次方程, 根据建立的方程模型可以预测出 N、P、K 的最高施肥量分别为 12.83 kg/666.67m²、35 kg/666.67m²、34.04 kg/666.67m²。

基金项目

贵州省烟草公司贵阳市公司科技项目(编号: 筑烟科技[2019] 2 号); 贵州省科学技术协会项目: 贵州遵义辣椒科技小院建设; 贵州省科技厅基础条件平台建设项目: 贵州省山地畜禽养殖污染控制与资源化检测基础条件平台, 黔科合平台人才[2019] 5701 号。

参考文献

- [1] 汪耀富, 高华军, 刘国顺, 等. 氮、磷、钾肥配施对烤烟化学成分和致香物质含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(1): 76-81.
- [2] 李春俭, 张福锁, 李文卿, 等. 我国烤烟生产中的氮素管理及其与烟叶品质的关系[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(2): 331-337.
- [3] Fan, T.F., He, M.J., Li, C.J., *et al.* (2018) Physiological Dissection Revealed That Both Uptake and Assimilation Are the Major Components Regulating Different Growth Responses of Two Tobacco Cultivars to Nitrogen Nutrition. *Plant Biology*, **20**, 39-49. <https://doi.org/10.1111/plb.12642>
- [4] 崔保伟, 陆引罡, 张振中, 等. 不同施氮量对烤烟生理特性及化学品质的影响[J]. 山地农业生物学报, 2008, 27(5): 377-381.
- [5] 周柳强, 黄美福, 周兴华, 等. 不同氮肥用量对田烤烟生长、养分吸收及产质量的影响[J]. 西南农业学报, 2010, 23(4): 1166-1172.
- [6] 陶文广, 陆引罡, 王星舒. 不同配比氮磷钾肥一次性施入对烤烟产量及化学成分的影响[J]. 贵州农业科学, 2017, 45(4): 67-70.
- [7] 高旭, 罗维, 沈子奇, 等. 减施磷肥对烤烟产质量的影响研究[J]. 耕作与栽培, 2021, 41(2): 19-23.
- [8] 董华芳, 王馨宇, 王勇, 等. 不同新型缓释钾肥在烤烟上的应用效果研究[J]. 现代农业科技, 2021(19): 6-9, 12.
- [9] 赵锦超, 顾勇, 张永辉, 等. 不同氮磷钾配比施肥对云烟 87 烤烟农艺性状及经济性状的影响[J]. 现代农业科技, 2017(11): 9-11.
- [10] 程廷明, 李晨, 徐海清, 等. 不同氮磷钾比例的有机无机复混肥对烤烟产质量的影响[J]. 安徽农学通报, 2021, 27(21): 57-59, 81.
- [11] Budimir, A., Svitlica, B., Ki, D., *et al.* (2019) Effect of Nitrogen Fertilization Rate and Type of Nitrogen Fertilizer on Agronomic and Morphological Traits of Flue-Cured Tobacco. *Poljoprivreda Agriculture*, **25**, 11-17.

<https://doi.org/10.18047/poljo.25.2.2>

- [12] 李伟, 江智敏, 肖汉乾, 等. 基追氮肥比例对郴州稻茬烤烟生长和产量及质量的影响[J]. 作物研究, 2021, 35(6): 576-580.
- [13] 李永平, 王颖宽, 马文广, 等. 烤烟新品种云烟 87 的选育及特征特性[J]. 中国烟草科学, 2001, 22(4): 38-42.
- [14] 委亚庆, 陈益银, 张世浩, 等. 重庆优质烤烟关键栽培措施与内在品质的调研初探[J]. 农业与技术, 2022, 42(5): 5-9.
- [15] 王仁刚, 王自力, 林世锋, 等. 烤烟新品种贵烟 5 号的选育及特征特性[J]. 中国烟草科学, 2022, 43(1): 1-5.
- [16] 李剑, 孙锐锋, 肖厚军, 等. 不同调理剂改良黄泥土的效应研究[J]. 贵州农业科学, 2007, 35(3): 67-69.
- [17] 钱晓刚. 土壤改良与培肥技术[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 1999: 6.
- [18] Chen, C., Chen, H., Zhang, Y., et al. (2020) TBtools: An Integrative Toolkit Developed for Interactive Analyses of Big Biological Data. *Molecular Plant*, **13**, 1194-1202. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2020.06.009>
- [19] 陈德凤, 郭映秀. 探析不同移栽方式对烤烟田间长势和品质的影响[J]. 种子科技, 2020, 38(11): 126, 128.
- [20] 何余勇, 韩利红, 何志华, 等. 不同肥料配方对德昌烤烟的农艺和经济性状影响[J]. 四川农业科技, 2019(11): 46-47.
- [21] 肖如武, 黄楚龙, 宗钊辉, 等. 低磷胁迫对烤烟根系有机酸含量及土壤磷酸酶活性的影响[J]. 广东农业科学, 2021, 48(8): 74-82.
- [22] 杨成翠, 朱宣全, 史普酉, 等. 不同磷肥施用量对烤烟产质量的影响[J]. 江西农业学报, 2019, 31(3): 97-101.
- [23] 沈晗, 石俊雄, 杨凯, 等. 化肥减量条件下水溶性追肥比例对烤烟产质量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2021(5): 89-94.
- [24] 王一柳, 李冬雪, 郇威威, 等. 新型钾肥配施硫酸钾对烤烟生长及钾素吸收的影响[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(6): 72-76.
- [25] 黎妍妍, 许自成, 王金平, 等. 湖南烤烟总糖、还原糖含量与几种土壤养分的关系分析[J]. 土壤通报, 2007, 38(5): 911-914.
- [26] 许自成, 李丹丹, 毕庆文, 等. 烤烟氯含量与挥发性香气物质及感官质量的关系研究[J]. 中国烟草学报, 2008, 14(5): 27-32.
- [27] 鲁黎明, 刘燕, 雷强, 等. 四川主产区烤烟致香前体物质含量差异分析[J]. 河南农业科学, 2012, 41(8): 52-56.
- [28] 肖明礼, 尹智华, 战磊. 3 种香型风格烟叶化学成分与其感官质量的关系[J]. 西南农业学报, 2015, 28(6): 2750-2755.
- [29] 程传玲, 唐琦, 汪文良, 等. 烤烟常规化学成分与感官质量的典型相关分析[J]. 贵州农业科学, 2011, 39(1): 59-61.
- [30] 罗蔓. 氮磷钾施肥对烤烟品种 NC102 产量、叶绿素含量及净光合速率的影响[J]. 广东农业科学, 2015, 42(2): 11-16.
- [31] 杜彩艳, 吴迪, 周文兵, 等. 施氮水平对抚仙湖流域植烟区烤烟产质量及氮素吸收利用的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2021(6): 197-205.
- [32] 原政, 欧阳铨人, 杨德海, 等. 不同用量有机肥替代化肥对洱海流域氮磷养分流失和烟叶产质量的影响[J]. 江西农业学报, 2022, 34(1): 94-99.
- [33] 熊承飞, 陈军桥, 杨莉, 等. 不同施氮量对铜仁烟区烤烟生长发育及品质的影响[J]. 种子科技, 2021(22): 21-24.
- [34] 赵文军, 薛开政, 刘魁, 等. 抚仙湖径流区不同氮磷钾肥运筹对烤烟产量和质量的影响[J]. 湖南农业科学, 2021(8): 43-47.
- [35] 高林, 董建新, 李世博, 等. 烤烟“3414”肥料效应[J]. 安徽农业科学, 2012(18): 9690-9692.
- [36] 钟秋瓚, 申昌优, 肖先仪, 等. 烤烟“3414”肥料效应研究[J]. 江西农业学报, 2013(12): 82-85.
- [37] 张崇范. 对烟叶质量的再认识[J]. 中国烟草, 1993(4): 12-14.
- [38] Li, J.Y., Wang, J., Peng, M., et al. (2021) Development of Customized Production Machine for Flue-Cured Tobacco Formula Nutritional Soil. *Asian Agricultural Research*, **13**, 43-47.
- [39] 陈亚茹, 王均宜, 赵正雄, 等. 基肥施用方式对烤烟钾素累积及产质量的影响[J]. 土壤与作物, 2021, 10(4): 422-429.
- [40] 张力, 史久长, 李秋剑. 不同施氮量和施用方法对烤烟生长发育和产质量的影响[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(8):

163-166.

- [41] 郑传刚. 烤烟新品种 NC102 的“3414”肥料效应研究[J]. 江苏农业科学, 2013(11): 101-103.
- [42] 康博, 李冰, 王昌全, 等. 烤烟肥料养分投入及产出效益分析——以攀枝花烟区为例[J]. 中国土壤与肥料, 2022(2): 189-196.