

酸性土施用肽肥对烤烟烟叶养分含量的影响

陈振国¹, 李建平¹, 孙光伟¹, 孙敬国¹, 李亚东^{2*}, 杨兰芳^{2*}

¹湖北省烟草科学研究院, 湖北 武汉

²湖北大学生命科学学院, 省部共建生物催化与酶工程国家重点实验室, 湖北 武汉

收稿日期: 2022年5月21日; 录用日期: 2022年6月24日; 发布日期: 2022年6月30日

摘要

认识肽肥对烤烟烟叶养分含量的影响, 为肽肥在酸性烟区土壤中的应用提供依据, 利用烤烟田间试验设置了CK (基施烟草专用肥)、T1 (基施肽肥900 kg/ha), T2 (基施肽肥1500 kg/ha), TH (基施肽肥加磷钾肥)和TF (基施烟草专用肥加追施肽肥) 5个处理, 测定了烤烟不同生长期烟叶的氮、磷、钾、钙的含量。结果表明, 土壤施用肽肥显著影响烤烟烟叶养分含量。同对照相比, TH处理增加了成熟期烟叶氮、磷、钾和钙的含量3.2%、43.6%、12.4%和20.4%, T2处理增加钙26.7%, 但降低钾21.6%。施用肽肥的烟叶氮和钾含量均与生长时间呈显著的负指数和二次函数相关, 钙含量与生长时间呈显著的二次函数相关。成熟期烟叶氮、钾、钙含量均显著低于打顶期。由此可见, TH处理有利于增加烤烟烟叶养分尤其是钾、钙含量, 有利于改善烟叶品质; 肽肥与磷钾肥配合施用在酸性烟区土壤中具有应用前景; 烤烟打顶可调控烟叶养分含量。

关键词

酸性土壤, 多态肥, 烤烟, 养分含量

Effects of Applying Peptide Fertilizer in Acidic Soil on Nutrients Content of Flue-Cured Tobacco Leaves

Zhenguo Chen¹, Jianping Li¹, Guangwei Sun¹, Jingguo Sun¹, Yadong Li^{2*}, Lanfang Yang^{2*}

¹Hubei Tobacco Research Institute, Wuhan Hubei

²State Key Laboratory of Biocatalysis and Enzyme Engineering, School of Life Sciences, Hubei University, Wuhan Hubei

Received: May 21st, 2022; accepted: Jun. 24th, 2022; published: Jun. 30th, 2022

*通讯作者。

文章引用: 陈振国, 李建平, 孙光伟, 孙敬国, 李亚东, 杨兰芳. 酸性土施用肽肥对烤烟烟叶养分含量的影响[J]. 土壤科学, 2022, 10(3): 101-110. DOI: 10.12677/hjss.2022.103013

Abstract

Understanding the effects of soil application of peptide fertilizer on the nutrient content of flue-cured tobacco leaves was to provide evidence for applying peptide fertilizer in the area of acidic soil. Five treatments were designed CK (base dressing tobacco specialty fertilizer), T1 (base dressing peptide fertilizer at 900 kg/ha), T2 (base dressing peptide fertilizer at 1500 kg/ha), TH (base dressing peptide fertilizer and phosphorus-potassium fertilizer) and TF (base dressing tobacco specialty fertilizer and topdressing peptide fertilizer) in a field experiment of cultivating flue-cured tobacco, and the contents of N, P, K and Ca in tobacco leaves were determined at a different stage of flue-cured tobacco. The results showed that soil application peptide fertilizer had significant effects on the nutrient content of flue-cured tobacco leaves. Compared to CK, TH increased 3.2%, 43.6%, 12.4% and 20.4% of N, P, K and Ca content in flue-cured tobacco leaves at the maturing stage, respectively, and T2 increased 26.7% of Ca content but decreased 21.6% of K content in flue-cured tobacco leaves. The content of N and K in flue-cured tobacco leaves under applying peptide fertilizer was significantly negative exponentially correlated and significantly quadratically correlated to the growing days and the content of Ca in flue-cured tobacco leaves was significant quadratically correlated to the growing days. The content of N, K and Ca in flue-cured tobacco leaves at the maturing stage was significantly lower than that of at toping stage. In summary, TH can improve the quality of flue-cured tobacco leaves by increasing the nutrient content, especially the K and Ca content at the maturing stage. The cooperation of peptide fertilizers with P and K fertilizer would have application prospects in the area of acidic soil planting flue-cured tobacco. The nutrient contents in flue-cured tobacco can be regulated by taping.

Keywords

Acidic Soil, Peptide Fertilizer, Flue-Cured Tobacco, Nutrient Content

Copyright © 2022 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

酸性土分布广泛, 占全球陆地面积的 30%, 可耕地或潜在可耕地的 50% 为酸性土, 我国近 23% 的国土面积为酸性土壤[1]。酸性土由于存在酸害、铝毒、锰毒和养分缺乏等方面的不利因素[2] [3], 限制了植物生长和作物产量。如大麦产量与酸性土活性铝含量呈极显著的线性负相关[4]。土壤酸化还会促进土壤重金属的溶出[5], 从而影响农产品品质, 进而危害人类健康。土壤酸化也会改变土壤微生物群落结构, 从而影响生态系统功能[6] [7]。因此改良酸性土, 降低土壤酸性对维持植物正常生长、促进粮食产量的提升和维护生态系统安全等方面都具有重要意义。土壤酸化的防止除了控制人为排放源外, 施用土壤改良剂是见效比较快的措施[8]。常用改良剂主要有石灰类物质、工矿副产品、有机物料以及高分子材料等[9], 但有机肽肥在酸性土中利用方面的研究尚比较欠缺。烤烟是重要的经济作物, 也是香烟制造行业的主要原料。我国南方中低山或丘陵地区比较适合烤烟的种植, 因此烤烟种植对调整山区的种植结构, 促进山区经济的发展具有重要作用。烤烟经济效益的提高主要在于提升质量, 而我国南方山区或丘陵地区主要是酸性土壤。通过改善酸性土壤环境调节烤烟品质和提升烤烟的价值既具有科学意义, 也具有广泛的应用前景。本文报道酸性土壤施用有机肽肥对烤烟烟叶几种主要养分含量的影响, 为促进烤烟生产和有机肽肥在改良酸性土中运用提供依据。

2. 材料和方法

2.1. 实验材料

供试植物为烤烟, 品种为云烟 87, 烟苗由湖北省烟草研究所恩施州利川市柏杨坝镇烟草研究基地提供。

所用有机肽肥为本实验室制备, 以下简称肽肥, 其 pH 为 10.85, 全氮、全磷、全钾和全钙含量分别为 120.0、0.36、71.62 和 53.20 g/kg; 烟草专用肥来自湖北省烟草研究所利川烟草基地, 其 N、P₂O₅ 和 K₂O 含量分别为 80、120 和 240 g/kg, 以下简称专用肥。

2.2. 田间实验

本研究采用田间实验, 试验地在湖北省烟草研究所的利川烟草研究基地, 位于湖北省恩施土家族苗族自治州利川市白杨坝镇响水村六组, 地处北纬 30°28'4", 东经 108°53'55", 海拔 1180 m。实验地土壤为黄壤, 土壤 pH 为 4.20, 全氮、全磷、全钾和全钙含量分别为 0.94、0.32、25.27 和 16.86 g/kg。

本研究设置基施烟专用肥(CK)、两个水平的基肥施肽肥(T1、T2)、基肥肽肥 + 磷钾肥(TH)和基施专用肥 + 追施肽肥(TF)共 5 个处理。各处理具体内容见表 1。

Table 1. The treatment in this experiment

表 1. 实验处理

处理	编号	处理内容
基施专用肥	CK	1218.75 kg/ha, 折合纯 N 97.5 kg/ha
基施肽肥 1	T1	900 kg/ha
基施肽肥 2	T2	1500 kg/ha
基施肽肥 + 磷钾肥	TH	肽肥 750 kg/ha、磷肥 1125 kg/ha、硫酸钾 540 kg/ha
基施专用肥 + 追施肽肥	TF	专用肥 731.25 kg/ha, 肽肥 325 kg/ha

采用田间大区对比试验, 每个大区面积为 80 m², 共种植烤烟 120 株, 分析测定时随机取 3 株做重复。2020 年 3 月 15 日播种育苗, 5 月 10 日移栽烟苗。按照烤烟生产常规管理措施进行管理。

2.3. 样品采集与制备

分别在移栽后 31、41、51、61 和 109 天, 即相应于烤烟的团棵期、旺长期、现蕾期、打顶期和成熟期在每个大区内随机采取 3 株进行分析测定烤烟的叶片氮、磷、钾、钙的含量。将叶片摘下, 用毛刷去掉尘土, 剪成小段装入纸袋在鼓风干燥箱中于 70℃ 下烘干, 在用粉碎机磨细后装瓶备分析测定之用。

2.4. 烤烟叶片养分含量的测定

称取一定量的烟叶粉末样品, 利用硫酸-过氧化氢法消解后转移于 100 mL 容量瓶中定容, 利用靛酚蓝分光光度法测定氮含量、钼锑抗分光光度法测定磷含量、火焰光度法测定钾含量、原子吸收分光光度法测定钙含量[10]。

2.5. 数据处理

实验数据采用 Microsoft Excel 2010 计算平均值、标准差和作图, 采用 SPSS 23.0 进行方差分析, 多重比较用 LSD (最小显著极差)法, 显著水平用 0.05。

3. 结果

3.1. 酸性土施用肽肥对烤烟烟叶氮含量的影响

表 2 可见, 不同施肥处理显著影响考研烟叶氮含量。同对照 CK (基施专用肥)相比, 在考研团棵期, T1 (基施肽肥 1)、T2 (基施肽肥 2)、TH (基施肽肥 + 磷钾肥)和 TF (基施专用肥 + 追施肽肥)均增加了烟叶的氮含量, 增加率在 5.8%~29.1%, 以 TH 的增加率最高; 在旺长期, 只有 TH 的烟叶氮含量显著高于对照, T2 与对照无显著差异, T1 和 TF 的烟叶氮含量则显著低于对照; 在现蕾期, TH 的烟叶氮含量最高, TH 和 TF 均显著高于对照, T1 与对照无显著差异, T2 则显著低于对照; 在打顶期, 而 TH 显著高于对照和其他处理, 其余处理与对照差异不显著; 在成熟期, 只有 TH 显著高于对照, 其余处理则显著低于对照。

Table 2. N content of flue-cured tobacco leaves during different growing stages

表 2. 烤烟不同生长期烟叶的氮含量

处理	团棵期	旺长期	现蕾期	打顶期	成熟期
CK	13.77 ± 0.18d	15.06 ± 0.09b	13.87 ± 0.15c	13.37 ± 0.22b	12.54 ± 0.04b
T1	15.17 ± 0.30b	12.97 ± 0.23d	13.91 ± 0.13c	13.75 ± 0.14b	11.11 ± 0.15d
T2	15.35 ± 0.16b	15.14 ± 0.14b	13.45 ± 0.15d	13.61 ± 0.16b	11.39 ± 0.11d
TH	17.78 ± 0.05a	16.50 ± 0.20a	14.94 ± 0.08a	15.01 ± 0.24a	12.94 ± 0.10a
TF	14.57 ± 0.12c	13.57 ± 0.13c	14.64 ± 0.09b	13.40 ± 0.30b	12.05 ± 0.09c

Note: The different letters after the same columns of data was significant ($P < 0.05$); the same as below.

注: 同栏数值后的不同字母表示不同处理间差异达到 0.05 的显著水平, 下同。

CK 处理的烤烟烟叶氮含量以旺长期最高, 成熟期最低, 而其余处理基本是是团棵期最高, 成熟期最低, 随生长进程总体上呈下降的趋势。相关分析(表 3)表明, 除了对照 CK 外, 其余处理的烤烟烟叶氮含量均与生长时间呈显著的负指数和二次函数相关。

Table 3. The correlativity of N content in leaves to growing time of flue-cured tobacco

表 3. 烟叶氮含量与生长时间的相关性

处理	指数		二次函数	
	回归方程	相关系数	回归方程	相关系数
CK	$y = 15.1754e^{-0.0017x}$	0.7993	$y = -0.0001x^2 - 0.0089x + 14.641$	0.7841
T1	$y = 16.2953e^{-0.0034x}$	0.8937*	$y = -0.0001x^2 - 0.0339x + 15.6456$	0.8819*
T2	$y = 17.1647e^{-0.0038x}$	0.9698**	$y = 0.0004x^2 - 0.1030x + 18.3143$	0.9715**
TH	$y = 19.1123e^{-0.0037x}$	0.9504*	$y = 0.0009x^2 - 0.1819x + 22.4695$	0.9834**
TF	$y = 15.6028e^{-0.0023x}$	0.8914*	$y = -0.0001x^2 - 0.0114x + 14.8684$	0.8842*

* after the coefficient stands for significance level of 0.05, and ** for 0.01; the same as below.

注: 相关系数后的*表示显著水平达到 0.05, **表示显著水稻达到 0.01, 下同。

与打顶期相比, 成熟期烟叶氮含量显著低于打顶期, CK、T1、T2、TH 和 TF 的降低率分别为 6.2%、19.2%、16.3%、13.8% 和 10.1%, 说明打顶显著降低成熟期烤烟烟叶氮含量。

3.2. 酸性土施用肽肥对烤烟烟叶磷含量的影响

不同施肥处理显著影响烤烟烟叶各生长期的磷含量(表 4)。在团棵期、旺长期、现蕾期和打顶期,均是 TH 的烟叶磷含量显著高于对照,其余处理是低于对照或与差异不显著,而成熟期则是 TH 显著高于对照和其余处理,T1 和 TF 显著高于对照,T2 则显著低于对照。总之,各时期均以 TH 的烟叶磷含量最高,显著高于对照和其余处理,同对照相比,TH 处理使烟叶磷含量的增加率在团棵期、旺长期、现蕾期、打顶期和成熟期分别为 10.5%、11.7%、16.3%、22.7%和 43.5%。相关分析表明,只有 T1 和 TF 的烟叶磷含量与生长时间呈显著的二次函数相关,其余处理的相关性均不显著,但是 TH 处理使各时期烟叶磷含量同对照相比的增加率(y)与生长时间(x)呈极显著的线性正相关($y = 0.442x - 4.984, R = 0.9945^{**}$)。

各处理的烤烟烟叶磷含量与生长时间的关系中(表 5),所有处理的指数相关性均不显著,除了 T1 和 TF 呈显著的二次函数相关外,其余处理的二次函数相关性也不显著。

与打顶期相比,只有成熟期烟叶磷含量 CK 显著低于打顶期,T2 处理比打顶期高,其余处理与打顶期差异不显著,表明肽肥的施用可以避免打顶对成熟期烟叶磷含量的降低。

Table 4. P content of flue-cured tobacco leaves during different growing stages

表 4. 烤烟不同生长期烟叶的磷含量

处理	团棵期	旺长期	现蕾期	打顶期	成熟期
CK	4.43 ± 0.20b	2.94 ± 0.06b	3.21 ± 0.06b	3.04 ± 0.02b	2.64 ± 0.03c
T1	1.30 ± 0.09e	2.32 ± 0.09c	2.92 ± 0.04d	2.76 ± 0.05c	2.80 ± 0.05b
T2	1.94 ± 0.04d	2.94 ± 0.03b	2.45 ± 0.05e	1.96 ± 0.08d	2.32 ± 0.09d
TH	4.90 ± 0.18a	3.28 ± 0.05a	3.73 ± 0.12a	3.73 ± 0.11a	3.79 ± 0.10a
TF	3.78 ± 0.14c	2.96 ± 0.05b	3.09 ± 0.07c	2.85 ± 0.04c	2.80 ± 0.06b

Table 5. The correlativity of P content in leaves to growing time of flue-cured tobacco

表 5. 烟叶磷含量与生长时间的相关分析

处理	指数		二次函数	
	回归方程	相关系数	回归方程	相关系数
CK	$y = 4.2170e^{-0.0047x}$	0.7300	$y = 0.0005x^2 - 0.0901x + 6.3920$	0.8404
T1	$y = 1.5812e^{0.0066x}$	0.5912	$y = -0.0008x^2 + 0.1120x - 1.5977$	0.9413*
T2	$y = 2.2941e^{0.00001x}$	0.0071	$y = -0.00002x^2 + 0.0023x + 2.2706$	0.0548
TH	$y = 4.1371e^{-0.0012x}$	0.2520	$y = 0.0006x^2 - 0.0867x + 6.6385$	0.6645
TF	$y = 3.6057e^{-0.0027x}$	0.6803	$y = 0.0004x^2 - 0.0616x + 5.1810$	0.8896*

3.3. 酸性土施用肽肥对烤烟烟叶钾含量的影响

表 6 表明,不同施肥处理显著影响烤烟烟叶钾含量。同对照相比,团棵期 T1 和 T2 处理的烟叶钾含量显著低于对照,其余出里与对照无显著差异;旺长期 T2、TH、TF 的钾含量显著高于对照和 T1,而三者之间无显著差异;现蕾期除了 T2 显著低于其余处理,其余处理之间无显著差异;打顶期则是 TH 和对照显著高于其余处理,但二者之间无显著差异;成熟期烟叶钾含量以 TH 最高,显著高于对照和其它处理,比对照高 12.4%,而 T2 处理的烟叶钾含量最低,显著低于对照和其它处理,比对照地 21.6%。

烤烟烟叶钾含量随生长时间进程增加而呈降低的趋势, 相关分析表明(表 7), 所有处理的烤烟烟叶钾含量与生长均呈显著的负指数和二次函数相关。对照的指数和二次函数相关系数均达到极显著水平, T1 的二次函数相关系数也达到极显著的水平。

各处理成熟期烟叶钾显著低于打顶期, CK、T1、T2、TH 和 TF 的降低率分别为 26.1%、25.2%、34.1%、18.3% 和 15.6%。

Table 6. K content of flue-cured tobacco leaves during different growing stages
表 6. 烤烟不同生长期烟叶的钾含量

处理	团棵期	旺长期	现蕾期	打顶期	成熟期
CK	44.21 ± 0.35a	42.71 ± 1.20b	43.75 ± 0.69a	41.58 ± 1.88a	30.71 ± 0.79c
T1	41.77 ± 0.38b	40.12 ± 1.43b	43.35 ± 1.04a	38.63 ± 1.64b	28.89 ± 2.39bc
T2	40.94 ± 0.71b	46.65 ± 0.22a	40.03 ± 1.02b	36.50 ± 1.20b	24.06 ± 1.55d
TH	43.52 ± 0.41a	47.35 ± 0.76a	44.69 ± 0.81a	42.22 ± 0.91a	34.51 ± 1.15a
TF	43.82 ± 0.26a	45.69 ± 0.89a	44.32 ± 0.43a	37.43 ± 1.43b	31.57 ± 1.31b

Table 7. The correlativity of K content in leaves to growing time of flue-cured tobacco
表 7. 烟叶钾含量与生长时间的关系

处理	指数		二次函数	
	回归方程	相关系数	回归方程	相关系数
CK	$y = 53.4646e^{-0.0048x}$	0.9614**	$y = -0.0021x^2 + 0.1222x + 42.1003$	0.9934**
T1	$y = 51.1457e^{-0.0050x}$	0.9358*	$y = -0.0023x^2 + 0.1536x + 38.9901$	0.9629**
T2	$y = 58.5401e^{-0.0079x}$	0.9529*	$y = -0.0017x^2 - 0.0163x + 45.6031$	0.9443*
TH	$y = 53.3167e^{-0.0037x}$	0.9214*	$y = -0.0019x^2 + 0.1237x + 42.9521$	0.9440*
TF	$y = 53.3158e^{-0.0048x}$	0.9396*	$y = -0.0001x^2 - 0.1683x + 50.8271$	0.9278*

3.4. 酸性土施用肽肥对烤烟烟叶钙含量的影响

表 8 可见, 相同生长期, 不同施肥处理的烤烟烟叶钙含量不同, 相同施肥处理中, 不同生长时期的烤烟烟叶钙含量也不相同。团棵期以 T2 的钙含量最高, T2 和 TH 处理显著高于对照, 其余处理与对照无显著差异; 旺长期以 T2 最高, 显著高于对照和其余处理, 其它处理与对照无显著差异; 现蕾期以 T2 最高, 但 T2 和 TH 显著高于对照, 但二者这件无显著差异, TF 与对照差异不显著, 而 T1 则显著低于对照; 打顶期 T2 和 TH 显著高于对照和其余处理, 二者之间无显著差异, T1 则显著低于对照; 成熟期烤烟烟叶钙含量以 T2 最高, 显著高于其余处理, TH 的钙含量也显著高于对照, TF、T1 则和对照无显著差异。

随生长进程增加, 对照、TH 和 TF 的钙含量均以现蕾期最高, T1 和 T2 则以旺长期最高, 所有处理烤烟烟叶钙含量均以成熟期最低。相关分析表明(表 9), 所有处理的烟叶钙含量与生长之间均呈显著的二次函数相关, 且 T2 和 TH 的相关系数达到了极显著水平, 但指数相关中, 只有 T2 处理的钙含量与生长时间呈极显著呈负指数相关, 其余处理的指数相关性均不显著。

成熟期烤烟烟叶钙含量也显著低于打顶期, CK、T1、T2、TH、TF 的降低率分别为 33.0%、31.5%、31.0%、32.3% 和 34.4%, 各处的降低率的差异不大。

Table 8. Ca content of flue-cured tobacco leaves during different growing stages
表 8. 烤烟不同生长期烟叶的钙含量

处理	团棵期	旺长期	现蕾期	打顶期	成熟期
CK	34.87 ± 0.92c	44.13 ± 2.20b	46.55 ± 1.25b	42.07 ± 1.91b	28.17 ± 2.43cd
T1	35.06 ± 1.96c	43.90 ± 3.06b	41.37 ± 1.17c	39.07 ± 0.82c	26.76 ± 1.02d
T2	55.26 ± 3.28a	58.39 ± 3.07a	52.34 ± 2.95a	51.71 ± 1.33a	35.70 ± 0.73a
TH	42.19 ± 3.08b	47.17 ± 2.99b	49.95 ± 1.11a	50.10 ± 1.74a	33.92 ± 0.85b
TF	33.22 ± 2.05c	45.31 ± 1.47b	48.74 ± 1.04ab	45.67 ± 1.12b	29.95 ± 1.47c

Table 9. The correlativity of Ca content in leaves to growing time of flue-cured tobacco
表 9. 烟叶钙含量与生长时间的相关分析

处理	指数		二次函数	
	回归方程	相关系数	回归过程	相关系数
CK	$y = 50.2324e^{-0.0045x}$	0.6659	$y = -0.0082x^2 + 1.0254x + 13.0917$	0.9360*
T1	$y = 49.3482e^{-0.0051x}$	0.7853	$y = -0.0055x^2 + 0.6313x + 23.2249$	0.9210*
T2	$y = 71.8098e^{-0.0062x}$	0.9658**	$y = -0.0023x^2 + 0.0554x + 57.0802$	0.9792**
TH	$y = 55.1202e^{-0.0038x}$	0.6970	$y = -0.0079x^2 + 1.0014x + 19.1006$	0.9981**
TF	$y = 48.8877e^{-0.0035x}$	0.4854	$y = -0.0108x^2 + 1.4383x + 1.3806$	0.9446*

4. 讨论

虽然矿质元素只占植物干物质的 5%~10%，但是必需营养元素是植物生长必不可少的，缺乏或过量都影响植物生长代谢。矿质营养是植物生长发育的基础，不仅影响作物的生长和产量，也影响作物组成和营养品质[11]。烟草生产和加工中，最看重的是烟叶的品质，而不是烟叶产量。氮、磷、钾三种元素烟株需要量大，常被称为植物营养和肥料三要素[12]，土壤中往往不足，通过施肥补充调节土壤氮、磷、钾的供应水平以提升改善烟叶的品质显得尤为重要。烟草的化学组成和吸食品质与矿质元素有关，通过土壤或叶面施肥，可以改善烤烟香气质量[13]。

氮是蛋白质、核酸、核蛋白的主要成分，他们是原生质、细胞核和生物膜的成分，在生命中具有特殊作用，氮被称为生命元素，氮也是很多酶、激素、叶绿素的成分，对生命活动起调节作用，与光合作用密切相关，氮更是烟碱的主要成分，所以氮是影响烟株生长发育和烟叶品质的最重要元素[12] [14]。本实验结果表明，同对照的烟草专用肥相比，多肽肥的施用显著影响烤烟烟叶氮含量，而多肽肥与磷酸钾配合施用能够显著促进烟叶氮素的提高。单独施用多肽肥，只能增加烤烟团棵期的烟叶含量，却不利于此后各其烟叶氮含量的提升。当然氮素含量过高或过低都不利用烟叶的品质，一般认为我国烟叶的最佳含氮量范围 15~25 g/kg，正常生长与生理代谢情况下的最适氮含量为 20 g/kg [15]。在供试土壤条件下，烤烟烟叶氮含量在 11.1~17.8 之间，成熟期各处理的烟叶氮含量在 11.1~13.0 之间，说明烟叶氮含量偏低，适当提升烟叶氮含量是必须的。研究认为土壤全氮含量在 0.76%~1.68 g/kg 时，种植的烟草品质更优[16]。供试土壤全氮含量为 0.94 g/kg，虽然在此范围内，但更靠近最低值。在土壤全氮分级标准中的缺乏级别为 0.75~1.0 g/kg [17]，故供试土壤全氮含量属于缺乏水平。因此，从土壤角度看，供试土壤施氮也是必须的。从本实验各处理的效果看，基施肽肥 + 磷酸钾肥的处理效果最好，其烟叶氮含量在各个时间均显著高于对照和其它处理。单独基施肽肥虽然有利于团棵期烟叶氮含量的增加，但不利于成熟期烟叶氮含量的提高，其主要原因是与养分平衡有关。供试肽肥以氮素最高，磷很低，说明养分不平衡也不利于提升成熟期烟叶的氮水平。

一般认为当土壤全磷含量在 0.60~1.83 g/kg 之间更加适宜种植出高品质烟草[18]。供试土壤全磷含量为 0.32 g/kg, 低于 0.60 g/kg, 在土壤全磷分级中, 把 0.2~0.4 g/kg 定为很缺乏的级别[17], 故供试土壤缺磷是肯定的, 这也与酸性土壤磷缺乏相一致[19] [20], 由此可见, 为了满足作物生长的需要, 供试土壤施磷是必须的。烟叶的最适磷含量在 2~3 g/kg 之间, 低于 1.5 或高于 3.5 g/kg 对烟叶品质不利, 容易造成糖/碱比和氮/碱比的失调[18]。本试验的烤烟成熟期烟叶磷含量以 TH 处理的略偏高, 其余处理在合适范围内。因此就磷含量来看, 在 TH 处理中, 还可以适当减少磷肥的用量。适当使用磷不仅改善烟草的磷营养, 也可提高烟叶的总糖和钾含量, 降低总氮、烟碱和淀粉的含量[21], 云南产烟区的土壤施肥试验表明低磷土壤施磷可提高烟叶质量, 富磷土壤过量施磷则会降低烟叶质量[22]。

钾是影响烟叶品质的重要元素之一[13], 提高烟叶钾含量可以改善烟叶外观和燃烧性能[23]。当烟叶含钾量达到 40 g/kg 左右, 其化学成分比较协调, 香气质较佳, 香气量较足, 当烟叶含钾量小于 30 g/kg 时, 其化学成分不协调, 内在质量也不理想[18]。本实验表明, TH 处理的烟叶钾含量最高, 尤其是成熟期烟叶的钾含量显著高于其它处理。同时, 烟叶钾含量与生长时间呈极显著的负指数相关, 到现蕾期为止, 所有处理烟叶的钾含量均在 40 g/kg 以上, 从打顶开始, 烟叶钾含量明显下降, 而在成熟期除了 TH 处理的烟叶钾含量接近 35 g/kg 以外, 其余处理仅在 24~32 g/kg。有研究认为打顶导致烟叶钾含量降低是由于打顶后干物质增加速率高于钾的吸收速率, 以及土壤钾含量的降低和烟叶的钾向茎秆和根系转移[24]。由此可见, 供试土壤在烤烟生长后期供钾能力显著不足, 所有处理的施钾量尚不能使成熟烟叶含钾量达到优质烟叶的要求, 因此供试土壤增加钾的施用, 尤其是打顶之后适当追施钾肥, 有利于提升成熟期烤烟烟叶的钾含量, 从而提升烤烟的质量。相比于世界其他地方, 我国烟叶钾含量普遍偏低[25], 烤烟钾含量低也严重限制了我国优质卷烟工业的发展[26]。本实验的 TH 处理成熟期烟叶钾含量可达到 34.5 g/kg, 显著高于其余处理, 这对于提升烟叶钾含量具有实践价值。

酸性土壤除了酸害以外, 钙、镁、磷等养分也是植物生长的限制因子[20] [27], 酸性土适当施用施肥不仅可以改良酸性和增加烤烟烟叶钙、磷含量, 也可以改善烟叶品质[27]。但是石灰肥料施用不好控制, 施用过量会降低钾、镁、磷的有效性[28], 降低烟叶钾含量[13] [27], 不利于烟叶的香味提升[13]。本试验施用肽肥富含钙, T2 和 TH 处理可显著增加各个时期的烤烟烟叶钙含量。相关分析表明, 烤烟成熟期烟叶钙含量与氮、磷、钾之间也没有明显的拮抗作用, 相同处理不同时期的烤烟钙含量与钾含量的相关分析表明, 二者却有一定程度的正相关, 说明本实验的肽肥既有利于提高烟叶钙含量, 又不会对烟叶钾含量造成不利影响, 这对于改良烟区土壤的酸性具有重要意义。

5. 结论

同对照 CK (基施烟草专用肥)相比, TH (基施肽肥加磷钾肥)处理能显著增加烤烟烟叶的氮和磷含量, TH 和 TF (基施肽肥加追施烟草专用肥)处理能显著增加烤烟烟叶的钾含量, TH 和 T2 (基施肽肥 100 kg/亩)处理能显著增加烤烟烟叶烟叶的钙含量。TH 使成熟期烤烟烟叶氮、磷、钾和钙的含量分别增加了 3.2%、43.6%、12.4%和 20.4%, TF 处理使烟叶磷、钾和钙含量分别增加了 6.1%、2.8%和 6.3%, T2 处理虽使烟叶钙含量增加了 26.7%, 却使钾含量降低了 21.6%。除了 CK 外, 所有处理烟叶氮含量均与生长时间呈显著的负指数和二次函数相关, 所有处理烟叶磷含量与生长时间的指数相关性均不显著, 二次函数相关性也只有 T1 (基施肽肥 60 kg/亩)和 TF 显著, 所有处理的烟叶钾含量均与生长时间呈显著的负指数和二次函数相关, 所有处理的烟叶钙含量均与生长时间呈显著的二次函数相关, 指数相关性只有 T2 显著。成熟期烟叶氮、钾、钙含量均显著低于打顶期, 说明打顶能显著影响烤烟烟叶养分含量。总的来说, TH 处理有利于增加烤烟烟叶养分含量, 尤其是增加成熟期烟叶钾和钙含量, 对于提升烟叶品质具有重要意义, 也证明肽肥与磷钾配合施用在酸性烟区土壤中具有应用前景。

基金项目

湖北省烟草公司科技项目(2020420000240151)和(027Y2021-024); 湖北省中央引导地方科技发展专项项目(2020ZYD031)。

参考文献

- [1] 沈仁芳, 赵学强. 酸性土壤可持续利用[J]. 农学学报, 2019, 9(3): 16-20.
- [2] Zhao, X.Q., Chen, R.F. and Shen, R.F. (2014) Coadaptation of Plants to Multiple Stresses in Acidic Soils. *Soil Science*, **179**, 503-513. <https://doi.org/10.1097/SS.0000000000000086>
- [3] 肖厚军, 王正银. 酸性土壤铝毒与植物营养研究进展[J]. 西南农业学报, 2007, 19(6): 1180-1188.
- [4] Hoyt, P.B. and Nyborg, M. (1971) Toxic Metals in Acid Soil: I. Estimation of Plant-Available Aluminum. *Soil Science Society of American Proceeding*, **35**, 236-240. <https://doi.org/10.2136/sssaj1971.03615995003500020020x>
- [5] Taylor, M.D. and Theng, B.K.G. (1995) Sorption of Cadmium by Complexes of Kaolinite with Humic Acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, **26**, 765-776. <https://doi.org/10.1080/00103629509369333>
- [6] Zhou, X., Rahman, M.K.U., Liu, J. and Wu, F. (2021) Soil Acidification Mediated Changes in Soil Bacterial Community Assembly Processes in Response to Agricultural Intensification. *Environmental Microbiology*, **23**, 4741-4755. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.15675>
- [7] 张玲玉, 赵学强, 沈仁芳. 土壤酸化及其生态效应[J]. 生态学杂志, 2019, 38(6): 1900-1908.
- [8] 黄武, 牟海燕, 梁焯, 陈文清. 土壤酸化的防护与治理研究进展[J]. 四川化工, 2019, 22(5): 9-13.
- [9] 魏贤, 赵梦霖. 土壤酸化及酸性土壤改良措施[J]. 土壤肥料, 2016(35): 88-89.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2018: 364-375.
- [11] Huang, L.P., Zhang, Q.R., Zhang, Z., et al. (2017) Overview of Relation between Mineral Nutrient Elements and Growth and Development of Fruit Trees. *Asian Agricultural Research*, **9**, 75-76, 81.
- [12] 刘国顺. 烟草栽培学(第二版) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2017.
- [13] Xu, X., Li, X., Jia, H. and Chen, Z. (2015) Correlation between Mineral Elements in Soil with Chemical Composition and Smoking Quality of Tobacco. *Research on Crops*, **16**, 772-779. <https://doi.org/10.5958/2348-7542.2015.00110.2>
- [14] 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.
- [15] 胡国松, 王志彬, 傅建政. 烟草施肥新技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [16] 孙丽蓉, 王旭刚, 李友军, 等. 烟草种植对土壤养分特征的影响[J]. 河南农业科学, 2011, 40(5): 91-95.
- [17] 席承藩. 中国土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [18] 刘玉, 孟刚. 烟草品质与土壤营养之间的关系探讨[J]. 南方农业, 2014(33): 47-49.
- [19] Pan, X., Baquy, M.A., Guan, P., et al. (2020) Effect of Soil Acidification on the Growth and Nitrogen Use Efficiency of Maize in Ultisols. *Journal of Soils and Sediments*, **20**, 1435-1445. <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02515-z>
- [20] Von Uexkull, H.P. and Mutert, E. (1995) Global Extent, Development and Economic Impact of Acid Soils. *Plant and Soil*, **171**, 1-15. <https://doi.org/10.1007/BF00009558>
- [21] 杨燕, 王景, 甄焕菊, 等. 磷用量对晒红烟磷素吸收积累及烟叶化学成分的影响[J]. 江西农业学报, 2015, 27(4): 44-48.
- [22] 章新, 李明, 杨硕媛, 等. 磷素水平对烟叶化学成分和感官评吸质量的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(10): 5091-5093+5109.
- [23] Zörb, C., Senbayram, M. and Peiter, E. (2014) Potassium in Agriculture—Status and Perspectives. *Journal of Plant Physiology*, **171**, 656-669. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.08.008>
- [24] Zhao, Z., Li, C., Yang, Y. and Zhang, F. (2010) Why Does Potassium Concentration in Flue-Cured Tobacco Leaves Decrease after Apex Excision? *Field Crops Research*, **116**, 86-91. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.11.017>
- [25] Lu, D., Huan, W., Yan, T., et al. (2017) A Heterogeneous Potassium Supply Enhances the Leaf Potassium Concentration of Ridge-Cultivated Tobacco Grown in Calcareous Soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, **180**, 659-666. <https://doi.org/10.1002/jpln.201700023>
- [26] Hu, W., Wei, J., Di, Q., et al. (2021) Flue-Cured Tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) Leaf Quality Can Be Improved by Grafting with Potassium-Efficient Rootstock. *Field Crops Research*, **274**, Article ID: 108305.

- <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108305>
- [27] Karaivazoglou, N.A., Tsotsolis, N.C. and Tsadilas, C.D. (2007) Influence of Liming and Form of Nitrogen Fertilizer on Nutrient Uptake, Growth, Yield, and Quality of Virginia (Flue-Cured) Tobacco. *Field Crops Research*, **100**, 52-60. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.05.006>
- [28] 徐仁扣, 李九玉, 周世伟, 等. 我国农田土壤酸化调控的科学问题与技术措施[J]. 中国科学院院刊, 2018, 33(2): 160-167.