

梁一凡, 严定伟, 罗 菲, 等. 腐殖酸钾对植烟土壤养分及烤烟油分相关品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2025, 53(8): 233-241.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2025.08.030

# 腐殖酸钾对植烟土壤养分及烤烟油分相关品质的影响

梁一凡<sup>1</sup>, 严定伟<sup>1</sup>, 罗 菲<sup>1</sup>, 韩振华<sup>1</sup>, 刘玲玲<sup>2</sup>, 杨建新<sup>2</sup>, 杨晓朋<sup>1</sup>, 常剑波<sup>2</sup>, 杨军杰<sup>2</sup>, 姬小明<sup>1</sup>

(1. 河南农业大学烟草学院, 河南郑州 450046; 2. 河南省烟草公司三门峡市公司, 河南三门峡 472000)

**摘要:**为探究腐殖酸钾对植烟土壤养分及烤烟油分相关品质的影响,以云烟 87 为试验材料,以常规施肥为对照,设置 T1(常规施肥 + 腐殖酸钾 300 kg/hm<sup>2</sup>)、T2(常规施肥 + 腐殖酸钾 600 kg/hm<sup>2</sup>)、T3(常规施肥 + 腐殖酸钾 900 kg/hm<sup>2</sup>)共 4 个处理,开展田间试验。对烤烟土壤养分、农艺性状、常规化学成分、腺毛形态和腺毛分泌物等进行测定分析。结果表明,施用腐殖酸钾能够促进烤烟生长发育,各项农艺性状指标较 CK 均有提高;施用腐殖酸钾后提高了土壤养分含量,其中 T3 处理效果最好,土壤有机质、速效磷、速效钾含量较 CK 分别提高 29.17%、2.78%、11.51%;施用腐殖酸钾还可以促进腺毛发育,提高烟叶油分,其中 T3 处理效果最好,腺毛密度和长度明显增加,腺头饱满,石油醚提取物含量较 CK 均有提高,各处理较 CK 分别提高 4.88%、9.76%、13.41%,且可以提高中性香味物质含量;施用腐殖酸钾可以改善烟叶的物理特性,使烤后烟叶的化学成分更加协调;T2、T3 处理的产量产值较 CK 分别增加 15.07%、16.53% 和 15.73%、19.43%,二者间没有显著性差异,但相较于 T3 处理,T2 处理的产投比增加了 38.24%。综上,施用腐殖酸钾可以提高土壤养分,促进烟叶腺毛发育,提高烤烟油分含量和烟叶品质,促进烟株生长发育,其中施用腐殖酸钾 900 kg/hm<sup>2</sup> 效果最好,施用腐殖酸钾 600 kg/hm<sup>2</sup> 的经济效益较好。

**关键词:**腐殖酸钾;土壤养分;油分;烤烟;农艺性状;化学成分;经济效益;产量

**中图分类号:**S572.06 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2025)08-0233-09

烟草是我国的重要经济作物之一。烟叶品质与生态环境息息相关,其中土壤是烟草生长发育

最重要的基础。三门峡烟区是河南省较大的烤烟种植区之一,烟草种植历史悠久。目前豫西烟区肥料施用单一,有机无机肥料配施不均匀,导致土壤严重退化,土壤有机质、全氮、全磷和速效氮含量供应不足<sup>[1]</sup>。腐殖酸钾是一种高分子非均一的芳香族羧基羧酸盐,外观为黑色颗粒或粉状固体,在农业生产中主要作为高效有机钾肥应用<sup>[2]</sup>。腐殖酸钾可以促进作物根系生长发育、活化土壤养分,也具有改良土壤、促进作物生长、提高作物抗逆能力、改善作物品质、保护农业生态环境等功能。其中,腐殖酸是一种生物活性制剂,它可以改变作物

收稿日期:2024-05-05

基金项目:河南省烟草公司三门峡市公司项目(编号:2022411200200004x);国家自然科学基金(编号:32300342)。

作者简介:梁一凡(2000—),男,河南郑州人,硕士研究生,主要从事烟草栽培研究。E-mail:1301939145@qq.com。

通信作者:姬小明,教授,博士生导师,主要从事烟草化学研究, E-mail:xiaomingji@henau.edu.cn;杨军杰,硕士,农艺师,主要从事烟草栽培技术研究及科研项目管理工作, E-mail: yangjunjie890511@126.com。

[37] 彭 术, 张文钊, 侯海军, 等. 氮肥减量深施对双季稻产量和氧化亚氮排放的影响[J]. 生态学杂志, 2019, 38(1): 153-160.

[38] 姜恒鑫, 黄 恒, 汪 源, 等. 缓释尿素减量侧深施用对长江中下游水稻产量和品质的影响[J]. 河南农业科学, 2022, 51(3): 20-29.

[39] 赵 斌, 董树亭, 张吉旺, 等. 控释肥对夏玉米产量和氮素积累与分配的影响[J]. 作物学报, 2010, 36(10): 1760-1768.

[40] 谭德水, 林海涛, 朱国梁, 等. 黄淮海东部冬小麦一次性施肥的产量效应[J]. 中国农业科学, 2018, 51(20): 3887-3896.

[41] 董 燕, 王正银, 田秀英, 等. 非包膜缓释复合肥养分释放特性及小麦对养分的吸收[J]. 农业工程学报, 2007, 23(2): 36-41.

[42] 郑文魁, 李成亮, 窦兴霞, 等. 不同包膜类型控释氮肥对小麦产量及土壤生化性质的影响[J]. 水土保持学报, 2016, 30(2): 162-167, 174.

[43] 王晓琪, 朱家辉, 陈宝成, 等. 控释尿素不同比例配施对水稻生长及土壤养分的影响[J]. 水土保持学报, 2016, 30(4): 178-182.

[44] 侯慧芝, 张绪成, 尹嘉德, 等. 旱地化肥分层和深施对春小麦水肥利用及产量的影响[J]. 中国农业科学, 2022, 55(17): 3289-3302.

[45] 马 泉, 唐紫妍, 王梦尧, 等. 树脂包膜缓释肥与尿素配施对稻茬冬小麦产量、氮肥利用率与效益的影响[J]. 麦类作物学报, 2019, 39(10): 1202-1210.

根系分泌物,进而改变土壤微生物群落结构<sup>[3]</sup>。匡岗等认为,施用腐殖酸钾可以降低土壤 pH 值,提高土壤有机质和速效钾含量,烤后烟叶常规化学成分更加协调,烤后烟叶中性物质明显增加<sup>[4]</sup>。丁嘉宁等认为,施用腐殖酸钾能够提高土壤养分且腐殖酸钾施用量与细菌 OTU 呈正相关<sup>[5]</sup>。腐殖酸钾代替硫酸钾追施,可满足烟株整个生育期土壤钾素的供应,有效维持土壤钾素平衡和提高成熟期烟叶含钾量,从而改善烟叶品质<sup>[6]</sup>。Kumar 等的研究表明,施用腐殖酸钾能够提高土壤中氮、磷、钾、硫、锌和脱氢酶活性的产量和有效性<sup>[7]</sup>。祖庆学等的研究表明,施用腐殖酸肥可以提高烟草的腺毛密度和石油醚提取物含量,促进烟草油分的产生,进而提高烟草的品质<sup>[8]</sup>。可见,腐殖酸钾可以提高土壤养分,改善土壤微生物群落结构,促进烤烟生长发育,提高烟叶品质。腐殖酸钾在土壤改良和烤烟化学成分的提高方面已经得到证实和应用推广,但有关腐殖酸钾对改善植烟土壤和提高烤烟油分相关品质的影响鲜有报道。本研究主要以腐殖酸钾对提高植烟土壤养分和烤烟油分相关品质 2 个方面的影响进行探讨,旨在为优质烤烟生产的肥料施用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概括

大田试验安排在河南省三门峡市灵宝市朱阳镇进行,属暖温带大陆性季风气候,海拔 1 500 m,年平均气温 14.2 ℃,年降水量一般在 400 ~ 700 mm,无霜期 215 d,全年日照时间约 2 051.6 h。供试土壤为壤沙土,土壤类型为褐土,成土母质为黄土状物质,土壤的基本理化性质为:有机质含量 16.1 g/kg,速效氮含量 58.2 mg/kg,速效磷含量 14.8 mg/kg,速效钾含量 150.7 mg/kg,pH 值为 7.2。

### 1.2 试验材料

供试材料为腐殖酸钾(表 1)、云烟 87。

### 1.3 试验设计

本试验于 2023 年在灵宝市进行,试验设置 4 个处理,每个处理设置 3 个小区,每个小区 66.7 m<sup>2</sup>,试验设计见表 2。育苗采用漂浮育苗,5 月 11 日移栽,株距 0.5 m,行距 1.2 m。各处理常规施肥一致:烟草专用复合肥(N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 的含量分别为 8%、8%、14%) 900 kg/hm<sup>2</sup>、硫酸钾(K<sub>2</sub>O 含量 ≥ 52%) 225 kg/hm<sup>2</sup>、商用有机肥(N + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + K<sub>2</sub>O 的含量 ≥

5%) 3 000 kg/hm<sup>2</sup>,全部用作基肥一次性条施。基肥和腐殖酸钾于起垄前条施,大田管理按照三门峡市特色优质烤烟生产技术实施。

表 1 腐殖酸钾部分成分含量

成分	含量
全氮(%)	0.83
磷(%)	0.73
钾(%)	8.84
全碳(%)	15.50
腐殖酸(%)	59.00
铁(%)	0.09
锰(%)	5.00 × 10 <sup>-3</sup>
铜(%)	9.46
锌(%)	1.00 × 10 <sup>-3</sup>
水不溶物(%)	57.77
pH 值(1:100)	10.15
pH 值(1:250)	10.22
水分(%)	14.70

表 2 试验设计

处理	施肥方案
CK	常规施肥
T1	常规施肥 + 腐殖酸钾 300 kg/hm <sup>2</sup>
T2	常规施肥 + 腐殖酸钾 600 kg/hm <sup>2</sup>
T3	常规施肥 + 腐殖酸钾 900 kg/hm <sup>2</sup>

### 1.4 测定指标

1.4.1 土壤取样和分析方法 于烟株移栽后 45、60、75、90 d 采用 5 点取样法采集各处理土样,采用抖根法采集各处理根际土,采集后混合均匀,风干后过 0.25 mm 筛。参照文献[9]的方法测定土壤速效磷、速效钾、碱解氮、有机质含量。

1.4.2 烟株农艺性状 各小区选择有代表性的 3 株烟株挂牌标记,分别于烟株移栽后 45、60、75、90 d 对烟株株高、茎围、有效叶片数、最大叶长宽等农艺性状进行调查。

1.4.3 烟叶 SPAD 值 各小区选取 3 株长势一致的烟株,从上往下取第 3 张真叶,分别于烟株移栽后 45、60、75、90 d 使用便携式叶绿素测定仪[SPAD-502 PLUS 柯尼卡美能达(中国)投资有限公司]无损测定每张烟叶的叶绿素相对含量(SPAD 值)。

1.4.4 烟叶腺毛形态观察 取移栽后 75 d 的新鲜烟叶,用 2 g/L 罗丹明 B 水溶液染色 30 min,用蒸馏水洗净烟叶表面残留溶液,使用 VHX-5000 超景深显微镜对腺毛进行观察记录。

1.4.5 烤后烟腺毛分泌物测定 参照文献[10]的

方法测定叶片腺毛分泌物。

1.4.6 烤后烟石油醚提取物测定 采用索氏提取法测定 C3F 等级烤后烟的石油醚提取物含量。

1.4.7 烤后烟物理特性 各处理选取具有代表性的烤后烟叶,参照文献[11]中的方法测定烟叶的单叶重、含梗率、叶质重、拉力和厚度,开片度(%)根据叶宽与叶长的百分比计算而得。

1.4.8 烤后烟化学成分和分析方法 取各处理烤后样 C3F 进行化验处理,并记录烟叶产量产值及上等烟比例。总糖、还原糖、烟碱、总氮、钾和氯等化学成分的含量采用连续流动分析仪测定。水溶性总糖、还原糖含量的测定采用 YC/T 159—2002《烟草及烟草制品 水溶性糖的测定 连续流动法》;总植物碱含量的测定采用 YC/T 160—2002《烟草及烟草制品 总植物碱的测定 连续流动法》;总氮含量的测定采用 YC/T 161—2002《烟草及烟草制品 总氮的测定 连续流动法》;氯含量的测定采用 YC/T 162—2002《烟草及烟草制品 氯的测定 连续流动法》;钾含量的测定采用 YC/T 173—2003《烟草及烟草制品 钾的测定 火焰光度法》。

1.4.9 烤后烟中性香味物质 采取同时蒸馏萃取(SDE)对烤后烟进行萃取,GC/MS 测定 C3F 等级烟叶中性香味物质含量,NIST14 库检索定性。所用仪器为气质联用仪(7890A-5977B,安捷伦科技公司)。

1.4.10 数据分析与处理 所有试验数据均通过 Microsoft Office Excel 2021 和 DPS7.5 软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同腐殖酸钾施用量对土壤养分的影响

由表 3 可知,随着腐殖酸钾施用量的增加,土壤速效磷和速效钾含量均呈上升趋势,其中 T3 处理的土壤速效磷和速效钾含量最高。随着烟株生育期的推移,土壤养分指标呈现逐渐降低的趋势。在烟株移栽后 45 d 时,土壤养分各指标表现为 T3 > T2 > T1 > CK, T3 处理的土壤碱解氮和土壤有机质含量较 CK 分别提高 59.90%、21.38%。在移栽后 60 d 时,土壤有机质含量随着腐殖酸钾施用量的增加呈现先上升后降低的趋势,其余各指标均呈现逐渐上升的趋势。在烟株移栽后 75 d 时,不同腐殖酸钾施用量的土壤速效钾含量差异显著,其中 T2 处理和 T3 处理的土壤速效钾含量较 CK 分别提高 10.86%、13.80%。在烟株移栽后 90 d 时,土壤有机质、速效磷、速效钾含量均随腐殖酸钾施用量的增加而增加,其中 T3 处理较 CK 分别提高 29.17%、2.78%、11.51%。总体来看,施用腐殖酸钾可以提高土壤养分含量,其中以 900 kg/hm<sup>2</sup> 腐殖酸钾处理效果最好。

表 3 不同腐殖酸钾施用量处理土壤养分含量

移栽时间(d)	处理	碱解氮含量(mg/kg)	有机质含量(g/kg)	速效磷含量(mg/kg)	速效钾含量(mg/kg)
45	CK	98.0 ± 7.00c	15.9 ± 0.21b	16.3 ± 0.14c	152.6 ± 3.30c
	T1	115.7 ± 3.51b	18.8 ± 0.57a	16.3 ± 0.09c	164.4 ± 2.90b
	T2	151.0 ± 5.20a	19.0 ± 0.37a	16.9 ± 0.03b	167.4 ± 1.20b
	T3	156.7 ± 8.39a	19.3 ± 0.37a	17.1 ± 0.17a	172.6 ± 1.80a
60	CK	81.7 ± 4.04c	15.1 ± 0.57c	16.9 ± 0.11c	155.7 ± 3.24c
	T1	84.0 ± 7.00bc	18.0 ± 0.21b	16.9 ± 0.13c	164.2 ± 3.06b
	T2	98.0 ± 7.00ab	19.0 ± 0.37a	17.8 ± 0.27b	167.5 ± 1.33ab
	T3	112.0 ± 12.12a	18.7 ± 0.57ab	18.4 ± 0.06a	169.8 ± 2.11a
75	CK	81.7 ± 4.04bc	15.0 ± 0.43b	18.0 ± 0.33b	146.4 ± 1.35d
	T1	74.7 ± 10.69c	15.0 ± 0.21b	18.3 ± 0.08ab	153.8 ± 2.81c
	T2	98.0 ± 7.00a	16.1 ± 0.57ab	18.5 ± 0.27a	162.3 ± 3.18b
	T3	93.3 ± 4.04ab	16.6 ± 0.94a	18.5 ± 0.11a	166.6 ± 0.47a
90	CK	79.3 ± 4.04b	12.0 ± 0.57c	18.0 ± 0.19b	140.8 ± 0.69d
	T1	77.0 ± 0.00b	13.4 ± 0.98b	18.2 ± 0.26ab	144.6 ± 0.81c
	T2	86.3 ± 4.04a	13.6 ± 0.57b	18.5 ± 0.12a	148.5 ± 1.34b
	T3	86.3 ± 4.04a	15.5 ± 0.43a	18.5 ± 0.11a	157.0 ± 0.83a

注:同列数据后不同字母表示同一移栽时间不同处理间差异显著( $P < 0.05$ )。下表同。

### 2.2 不同腐殖酸钾施用量对烟株农艺性状的影响

由表 4 可知,烟株移栽后 45 d 时,与 CK 相比,随着腐殖酸钾施用量的增加,各处理的各项农艺性状指标均有所提高;烟株移栽后 60 d 时,T3 处理对烟株农艺性状的提高效果最好,其中株高较 CK 提高 62.29%,茎围较 CK 提高 42.11%;烟株移栽后 75 d 时,T3 处理的农艺性状参数值较 CK 显著提

高,最大叶长、叶宽较 CK 分别提高 25.33%、32.55%;烟株移栽后 90 d 时,与 CK 相比,随着腐殖酸钾施用量的增加各处理的农艺性状参数值均有所提高,其中 T3 处理各农艺性状参数值最大。可见,施加腐殖酸钾可促进烤烟生长发育,其中以腐殖酸钾(900 kg/hm<sup>2</sup>)处理效果最好。

表 4 不同腐殖酸钾施用量处理烟株的农艺性状

移栽时间 (d)	处理	最大叶长 (cm)	最大叶宽 (cm)	株高 (cm)	茎围 (cm)	有效叶数 (张)
45	CK	27.2 ± 5.34b	12.6 ± 0.47c	17.4 ± 0.95b	4.1 ± 0.35b	6.7 ± 1.15b
	T1	30.4 ± 3.63ab	14.2 ± 2.00bc	28.3 ± 2.75a	4.5 ± 0.15b	8.0 ± 1.00ab
	T2	34.0 ± 3.47ab	15.9 ± 0.46ab	30.1 ± 1.93a	5.9 ± 0.64a	8.3 ± 0.58ab
	T3	36.4 ± 1.82a	16.5 ± 0.75a	31.6 ± 2.09a	6.0 ± 0.50a	8.7 ± 0.58a
60	CK	40.9 ± 4.42b	16.7 ± 2.41c	41.9 ± 5.45c	5.7 ± 0.32c	10.0 ± 1.00b
	T1	44.1 ± 2.37b	18.6 ± 0.23bc	49.3 ± 5.92bc	6.4 ± 0.26bc	10.3 ± 1.53b
	T2	51.2 ± 4.91a	21.8 ± 3.00b	59.0 ± 7.56ab	6.8 ± 0.53b	12.0 ± 1.73b
	T3	54.8 ± 1.18a	26.6 ± 2.80a	68.0 ± 2.56a	8.1 ± 0.75a	15.0 ± 1.00a
75	CK	52.9 ± 1.65c	21.2 ± 1.87c	94.2 ± 7.52c	7.5 ± 0.42c	16.3 ± 0.58b
	T1	54.8 ± 2.17c	24.9 ± 1.96b	108.2 ± 7.48b	8.8 ± 0.10b	17.3 ± 0.58b
	T2	63.1 ± 0.31b	27.3 ± 1.55ab	122.0 ± 1.12a	9.8 ± 0.35a	18.3 ± 1.53ab
	T3	66.3 ± 1.30a	28.1 ± 0.70a	123.6 ± 1.42a	10.1 ± 0.72a	19.7 ± 1.53a
90	CK	56.2 ± 1.56c	23.1 ± 1.22b	108.5 ± 6.74c	8.4 ± 0.06b	18.7 ± 0.58c
	T1	56.4 ± 4.07c	25.8 ± 1.21b	115.7 ± 3.81bc	9.4 ± 0.47ab	19.7 ± 0.58bc
	T2	62.4 ± 0.71b	30.2 ± 3.91a	123.7 ± 3.84ab	9.7 ± 0.06a	20.7 ± 0.58b
	T3	68.0 ± 1.27a	30.6 ± 1.75a	125.7 ± 1.96a	10.5 ± 1.27a	22.0 ± 1.00a

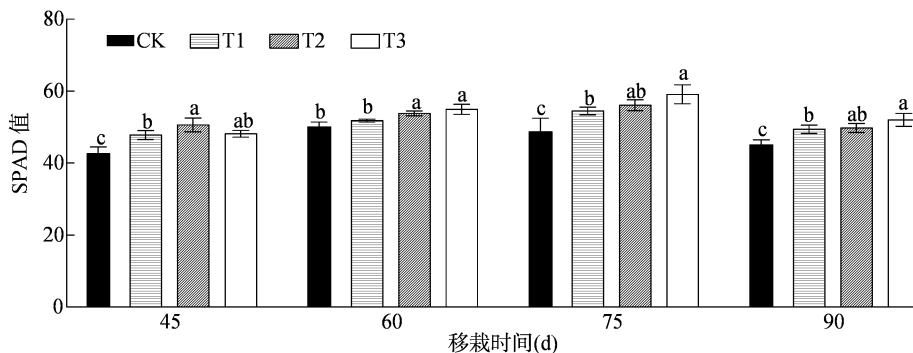
### 2.3 不同腐殖酸钾施用量对烟叶 SPAD 值的影响

由图 1 可知,烟叶 SPAD 值随着烤烟生育期的推移呈现先升后降的趋势,在移栽后 75 d 左右达到最大值;在烟株生育期内,随着腐殖酸钾施用量的增加,SPAD 值呈现逐渐增大的趋势。移栽后 45 d 时,T1、T2 处理的 SPAD 值均明显提高;移栽后 60 d 时,各个处理较 CK 的 SPAD 值均有所提高;移栽后 75 d 时,T3 处理 SPAD 值最大,且较 CK 明显提高

19.88%;移栽后 90 d 时,T3 处理的 SPAD 值最高,较 CK 提高 13.79%。可见施加腐殖酸钾可以提高烟叶的 SPAD 值,且随着腐殖酸钾施用量的增加,烟叶 SPAD 值也会逐渐增加,其中以腐殖酸钾(900 kg/hm<sup>2</sup>)处理效果最好。

### 2.4 不同腐殖酸钾施用量对烟叶腺毛形态和密度的影响

由图 2 可知,CK 的非分泌型腺毛占比较高,且



图柱上不同小写字母代表同一移栽时不同处理间差异显著(P < 0.05)。下同

图 1 不同腐殖酸钾施用量处理烟叶的 SPAD 值

腺毛长度较短,分布较稀疏。而 T2、T3 处理分泌型腺毛比例提高,且腺头饱满,腺毛密度和长度明显增加。通常认为,烟叶油分与分泌型腺毛密度及长度呈正相关关系。对烟株叶片上表皮腺毛密度进

行统计可知(图 3),腐殖酸钾处理的长柄腺毛密度、短柄腺毛密度和总腺毛密度均高于 CK,且腺毛密度随腐殖酸钾施用量的增加而增加。可见,腐殖酸钾的施用可以有效促进烟叶腺毛的生长。

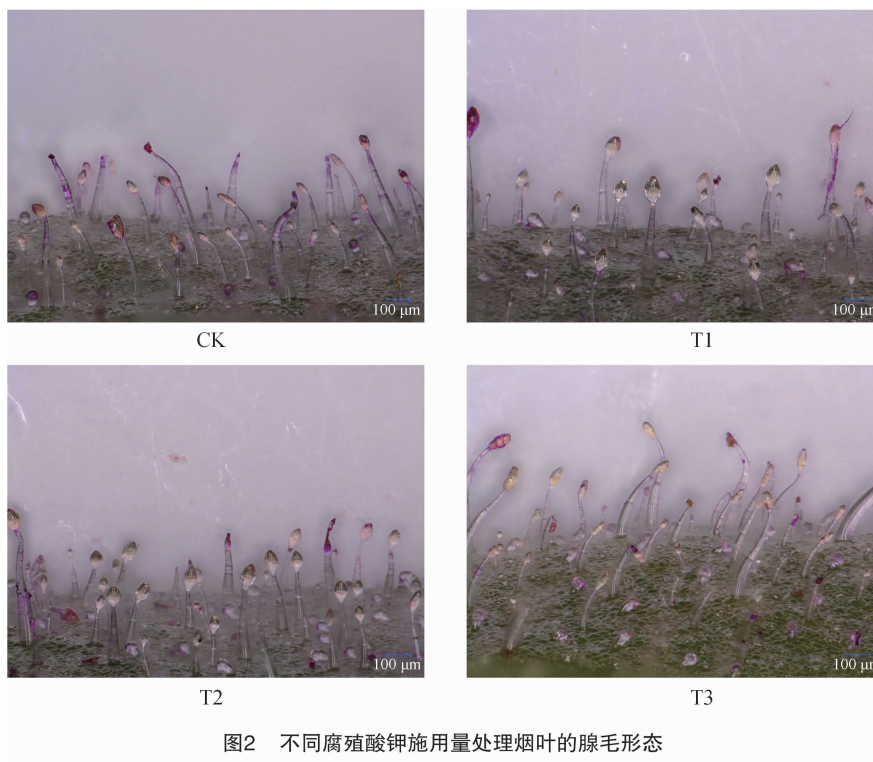


图2 不同腐殖酸钾施用量处理烟叶的腺毛形态

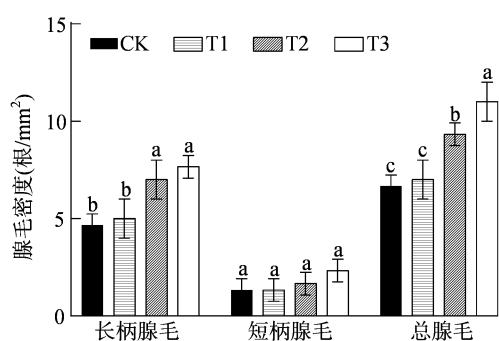


图3 不同腐殖酸钾施用量处理烟叶的腺毛密度

### 2.5 不同腐殖酸钾施用量对烤后烟腺毛分泌物的影响

由图 4 可知,施用腐殖酸钾后各处理的  $\alpha$ -1,8,13 西柏三烯-1,3-二醇含量较 CK 均显著提高,分别提高 11.45%、21.31%、31.61%。T3 处理的  $\beta$ -1,8,13 西柏三烯-1,3-二醇含量最高,较 CK 提高 42.11%。T1、T2 处理  $\beta$ -1,8,13 西柏三烯-1,3-二醇含量较 CK 均有提高,但 T1、T2 处理之间差异不显著。

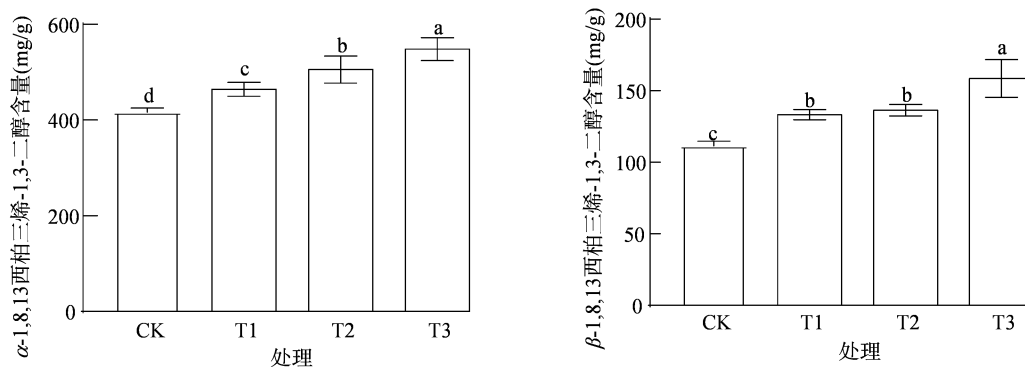


图4 不同腐殖酸钾施用量处理对烟叶腺毛分泌物的影响

### 2.6 不同腐殖酸钾施用量对烤后烟石油醚提取物含量的影响

由图 5 可知,施用腐殖酸钾后各处理的石油醚提取物含量较 CK 均有提高,各个处理较 CK 分别提高 4.88%、9.76%、13.41%。说明施用腐殖酸钾能够提高石油醚提取物的含量,其中以腐殖酸钾(900 kg/hm<sup>2</sup>)处理效果最好。

### 2.7 不同腐殖酸钾施用量对烤后烟物理特性的影响

由表 5 可知,随着腐殖酸钾施用量的增加,烤后烟叶的单叶重、开片度、叶质重、拉力和厚度均高于 CK;T2、T3 处理的烟叶含梗率低于 CK。T3 处理的烟叶物理性状最优,与 CK 相比,单叶重提高 7.22%,

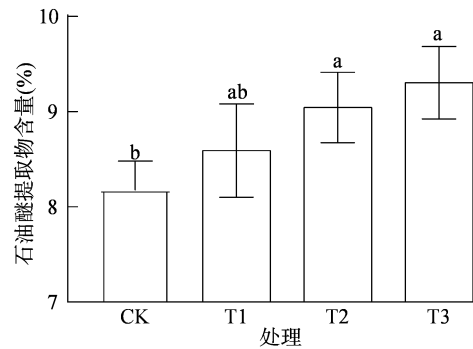


图 5 不同腐殖酸钾施用量处理对石油醚提取物含量的影响

叶质重提高 11.67%,厚度提高 24.46%。说明施用腐殖酸钾可以提高烟叶的物理特性,降低含梗率。

表 5 不同腐殖酸钾施用量处理烟叶的物理性状

处理	单叶重 (g)	含梗率 (%)	开片度 (%)	叶质重 (mg/cm <sup>2</sup> )	拉力 (N)	厚度 (μm)
CK	9.7 ± 0.03c	29.31 ± 2.31a	33.47 ± 1.85b	6.0 ± 0.06d	1.8 ± 0.08d	78.1 ± 3.56b
T1	9.8 ± 0.03c	27.23 ± 1.90ab	36.51 ± 2.40b	6.2 ± 0.08c	2.4 ± 0.12c	85.6 ± 5.65ab
T2	10.0 ± 0.17b	23.40 ± 1.15c	38.65 ± 1.93ab	6.4 ± 0.03b	2.6 ± 0.05b	96.9 ± 9.71a
T3	10.4 ± 0.10a	24.07 ± 1.37bc	43.65 ± 5.36a	6.7 ± 0.04a	3.4 ± 0.13a	97.2 ± 7.50a

### 2.8 不同腐殖酸钾施用量对烤后烟化学成分的影响

由表 6 可知,与 CK 相比,腐殖酸钾施用量越大,烟叶烟碱含量越小;施用腐殖酸钾处理的总糖和还原糖较 CK 有不同程度的增加,其中 T3 处理显著增加,总糖和还原糖较 CK 分别增加 28.74%、16.94%;总氮含量有所升高,T2、T3 处理总氮含量

较 CK 分别增加 28.57%、23.04%;随着腐殖酸钾施用量的增加,烤后烟叶的钾含量也在逐渐增加,T3 处理烟叶钾含量较 CK 增加 42.16%;两糖比有所降低,钾氯比有所增加。可见,施用腐殖酸钾可以改善烟叶的化学成分,提高烤后烟叶总糖、还原糖和钾含量,使烟叶化学成分适宜性增加,进而提高烟叶品质。

表 6 不同腐殖酸钾施用量处理烤后烟叶的化学成分

处理	烟碱含量 (%)	还原糖含量 (%)	总糖含量 (%)	总氮含量 (%)	氯含量 (%)	钾含量 (%)	两糖比	钾氯比
CK	3.13 ± 0.06ab	17.53 ± 0.15c	23.17 ± 0.72c	2.17 ± 0.10c	0.41 ± 0.01a	1.02 ± 0.04d	0.76 ± 0.03a	2.50 ± 0.16c
T1	2.99 ± 0.10bc	19.70 ± 0.53b	27.47 ± 0.93b	2.22 ± 0.01c	0.36 ± 0.03a	1.18 ± 0.02c	0.72 ± 0.04ab	3.33 ± 0.18c
T2	3.24 ± 0.13a	17.90 ± 0.36c	24.60 ± 1.40c	2.79 ± 0.02a	0.27 ± 0.02b	1.30 ± 0.01b	0.73 ± 0.04ab	4.84 ± 0.36b
T3	2.85 ± 0.13c	20.50 ± 0.20a	29.83 ± 0.42a	2.67 ± 0.01b	0.21 ± 0.05c	1.45 ± 0.02a	0.69 ± 0.02b	7.14 ± 1.51a

### 2.9 不同腐殖酸钾施用量对烤后烟中性香味物质的影响

由表 7 可知,各处理苯丙氨酸类降解产物总量表现为 T3 > T2 > T1 > CK,T3 处理的苯甲醇、苯乙醛和苯乙醇的含量都为最高,与 CK 相比,增施腐殖酸钾可以提高苯丙氨酸类降解产物含量。T3 处理的棕色化反应产物含量最高,T2 次之。各处理类西柏

烷类降解产物总量表现为 T3 > T2 > CK > T1,且 T2、T3 处理较 CK 分别提高 25.60%、52.15%。类胡萝卜素类降解产物总量表现为 T3 最高,较 CK 提高 9.58%。中性香味物质总量表现为 T3 > T2 > T1 > CK,其中 T3 处理中性香味物质总量较 CK 提高 26.19%。说明施用腐殖酸钾对苯丙氨酸类降解产物和西柏烷类降解产物的影响较大,且能够提高中

表 7 不同腐殖酸钾施用量处理烤烟的中性香味物质

类型	致香成分	含量(g/g)			
		CK	T1	T2	T3
苯丙氨酸类	苯甲醇	8.668 8	8.928 7	11.721 6	11.066 2
	苯乙醛	4.023 3	4.212 9	4.250 5	5.135 7
	苯乙醇	1.857 8	2.644 6	2.436 7	2.834 8
	总计	14.549 9	15.786 2	18.408 8	19.036 7
棕色化反应产物	糠醛	11.124 1	10.945 6	10.798 1	13.289 6
	糠醇	1.380 1	1.679 6	1.973 4	1.937 5
	2,6-壬二烯醛	0.238 2	0.237 4	0.442 6	0.407 3
	藏花醛	0.144 4	0.140 7	0.206 8	0.291 3
	5-甲基糠醛	0.489 1	0.373 6	0.333 7	0.554 8
	3,4-二甲基-2,5-呋喃二酮	0.309 7	0.296 6	0.462 9	0.332 2
	总计	13.685 6	13.673 5	14.217 5	16.812 7
类西柏烷类	茄酮	140.868 4	121.509 2	152.614 1	184.874 5
	总计	140.868 4	121.509 2	152.614 1	184.874 5
类胡萝卜素类	$\beta$ -大马酮	27.553 0	32.217 2	32.325 3	33.220 9
	二氢猕猴桃内酯	2.741 8	3.165 6	3.841 5	3.573 1
	3-羟基- $\beta$ -二氢大马酮	2.503 2	1.899 6	2.029 6	1.676 6
	巨豆三烯酮 1	2.141 4	2.112 4	2.367 9	2.111 2
	巨豆三烯酮 2	7.776 5	8.577 8	7.691 8	7.448 1
	巨豆三烯酮 3	1.365 3	2.088 2	2.025 0	1.793 9
	巨豆三烯酮 4	9.476 6	9.560 6	10.350 4	13.633 7
	法尼基丙酮	7.524 0	9.081 8	9.236 6	8.265 6
	6-甲基-5-庚烯-2-酮	1.164 3	1.434 4	1.642 2	2.317 1
	6-甲基-5-庚烯-2-醇	1.437 6	0.568 9	1.491 5	1.279 4
	香叶基丙酮	1.684 8	1.640 9	1.792 3	1.731 1
	螺岩兰草酮	0.235 6	0.590 2	0.517 6	0.829 5
	愈创木酚	2.053 6	1.477 2	1.805 9	2.109 1
	$\beta$ -二氢大马酮	17.120 4	16.789 6	21.648 7	19.949 2
	总计	84.778 1	91.204 4	98.766 3	99.938 5
	芳樟醇	0.372 2	0.415 6	0.485 9	0.411 7
	除新植二烯总量	254.254 2	242.588 9	284.492 6	321.074 1
	新植二烯总量	706.794 9	776.851 2	884.878 4	965.323 2
	中性香味物质总量	961.049 1	1019.440 1	1169.371 0	1286.397 3

表 8 不同腐殖酸钾施用量处理烤烟的经济性状的影响

处理	产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	产值 (元/hm <sup>2</sup> )	上等烟比例 (%)	中上等烟比例 (%)	均价 (元/kg)	投入产出比
CK	1 875.00 ± 15.00c	47 439.30 ± 796.53d	46.80 ± 1.59b	89.74 ± 1.91b	25.30 ± 0.56b	
T1	1 960.00 ± 24.11b	52 278.80 ± 137.70c	47.58 ± 1.58ab	92.03 ± 0.98ab	25.70 ± 0.29ab	0.28 ± 0.08b
T2	2 157.50 ± 41.31a	54 899.30 ± 698.86b	48.14 ± 0.55ab	91.36 ± 0.22ab	25.60 ± 0.08ab	0.47 ± 0.07a
T3	2 185.00 ± 22.91a	56 655.30 ± 610.38a	51.01 ± 3.35a	92.34 ± 1.40a	26.30 ± 0.62a	0.34 ± 0.03b

注:产投比=(施肥区烟叶产量-不施肥区烟叶产量)/腐殖酸钾肥料总施入量。

性香味物质总量。

## 2.10 不同腐殖酸钾施用量对烤后烟经济性状的影响

由表 8 可知, T1、T2、T3 处理的上等烟比例均大于 CK, 其中 T3 处理最大, 为 51.01%。各处理的产量、产值和均价都大于 CK, 各处理的均价表现为 T3 > T1 > T2 > CK, T3 处理的产量、产值和均价最高。T2、T3 处理的产量较 CK 分别增加 15.07%、16.53%, 二者间没有显著性差异。但相较于 T3, T2 的产投比增加了 38.24%。说明施用腐殖酸钾 600 kg/hm<sup>2</sup>, 有利于提高烤烟的经济效益。

## 3 讨论与结论

### 3.1 腐殖酸钾对植烟土壤养分的影响

良好的土壤条件是优质烟叶生长发育的前提, 土壤养分影响烟叶的品质, 更是影响烟叶香吃味的重要因素之一<sup>[12]</sup>。腐殖酸钾作为有机肥料, 可以改善土壤结构, 增加土壤养分水平, 预防植物病害<sup>[13]</sup>。丁嘉宁等认为, 施用腐殖酸钾不仅可以提高土壤养分含量, 还可以改善土壤根际微环境<sup>[5]</sup>。杨军伟等认为, 追施腐殖酸钾可以提高土壤速效钾含量, 维持土壤钾素平衡, 提高成熟期烟叶钾含量, 进而改善烟叶品质<sup>[6]</sup>。本研究结果与其相似, 随着腐殖酸钾施用量的增加, 土壤速效钾含量和烤后烟叶钾含量也在逐渐提高。在烟株移栽后 90 d 时, 土壤有机质、速效磷、速效钾含量均随腐殖酸钾施用量的增加而增加, 其中 T3 处理较 CK 分别提高 29.17%、2.78%、11.51%。这可能是因为腐殖酸钾中含有腐殖酸, 腐殖酸能和土壤中的无机胶体形成一种有机-无机复合体, 并形成团粒结构, 可以提升土壤的保肥供肥能力, 增加土壤有机质和无机质含量, 提高肥料利用率和土壤养分含量, 同时腐殖酸钾还能通过增氮、解磷、促钾作用提高土壤肥力<sup>[14-15]</sup>。

### 3.2 腐殖酸钾对烤后烟油分的影响

烟叶腺毛密度越大, 产生的腺毛分泌物越多, 烤烟烟叶的致香物质越丰富<sup>[16]</sup>。李鹏飞等认为, 缺 K 不仅会影响烟株的生长发育, 还会导致烟叶腺毛密度降低<sup>[17]</sup>。本研究结果表明, 施用腐殖酸钾会促进烟叶腺毛发育, 使腺头更加饱满, 且随着腐殖酸钾施用量的增加效果更明显。史宏志等认为, 油分是烟叶在生长发育过程中在叶绿体内膜形成的嗜锶颗粒, 且与石油醚提取物有关<sup>[18]</sup>。烤烟烟叶油分是衡量烟叶等级和质量的重要因素之一, 油分好的

烟叶香气质好, 香气量足, 油分高的烟叶其化学成分更协调, 感官品质更好<sup>[19-20]</sup>。闫克玉等认为, 烟叶油分越多, 石油醚提取物含量越高, 因此可以用石油醚提取物含量代表油分多少<sup>[21]</sup>。本研究结果表明, 施用腐殖酸钾可以显著提高烤后烟石油醚提取物含量。这可能是因为腐殖酸钾肥中含有腐殖酸和钾元素。施用腐殖酸可以促进腺毛生长, 提高腺毛分泌物含量, 进而提高烟叶油分, K 能够促进腺毛发育, 提高腺毛密度<sup>[8,17]</sup>。施用腐殖酸钾后可以为土壤提供腐殖酸, 并提高烟叶钾含量, 从而提高烟叶油分, 其中施加腐殖酸钾 900 kg/hm<sup>2</sup> 效果最佳。

### 3.3 腐殖酸钾对烤烟生长发育和品质质量的影响

烟株的农艺性状是判断烤烟生长发育状况的指标之一, 经济性状是评价烤烟质量最直观的方式<sup>[22-23]</sup>。雷竹光等认为, 施用腐殖酸钾可以促进作物生长发育, 提高烤烟的经济性状<sup>[24-25]</sup>。本研究结果表明, 施用腐殖酸钾可以促进烟株生长发育, 增加烟叶叶长、叶宽、株高等农艺性状指标。烟株移栽后 75 d 时, T3 处理的最大叶长、叶宽、株高较 CK 分别提高 25.33%、32.55%、20.86%。施用腐殖酸钾还可以增加烟叶的 SPAD 值, 提高烟株的光合效率。李丽等认为, 增施腐殖酸钾能够改善烟叶物理特性, 使烤后烟叶化学成分更加协调<sup>[26]</sup>, 与本研究结果相似。T3 处理的烟叶物理性状均最优, 烤后烟叶钾含量较 CK 增加 42.16%。香气物质含量与烟叶香气紧密相关。张文静等认为, 在一定用量范围内, 施用腐殖酸钾有利于中性致香物质生成<sup>[27]</sup>。本研究结果表明, 各处理较 CK 的中性致香物质总量均有所提高, 其中 T3 处理中性致香物质总量最高, 较 CK 提高 26.19%。周杰文等认为, 施用腐殖酸钾可以提高烟叶产量、产值和均价, 但中上等烟比例表现差异不明显<sup>[25]</sup>。本研究结果表明, 施用腐殖酸钾处理的产量、产值和均价均大于 CK, 各处理的均价表现为 T3 > T1 > T2 > CK, T3 处理的产量、产值和均价最高。施用腐殖酸钾能够促进烤烟生长, 提高烤烟品质。这是因为腐殖酸钾中含有腐殖质, 腐殖质已被证明可以提高膜的通透性、光合作用、吸收效率和一些重要元素的利用。此外, 腐殖质物质除了对植物代谢产生间接影响外, 还对细胞分裂素和生长素物质有积极影响, 进而能够促进植物的生长发育<sup>[28]</sup>。烟草为喜钾作物, 钾几乎可以参与烟株体内所有的生理代谢过程<sup>[29]</sup>。腐殖酸钾中含有大量

的钾元素,能够提高土壤钾含量,保证烟株生长过程中的钾素供应。因此,施用腐殖酸钾能够促进烤烟生长发育,提高烤烟质量。产投比与烟农的经济收入直接相关,产投比越高,说明相同肥料投入下产量越高、相同产量下需求的肥料越少,这也是节本增效的重要表现之一。本研究结果表明,T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>处理二者间没有显著性差异。但相较于 T<sub>3</sub>,T<sub>2</sub>的产投比增加 38.24%,因此,施用腐殖酸钾 600 kg/hm<sup>2</sup> 有利于提高烤烟的经济效益。

腐殖酸钾施用量不同,对土壤养分和烤后烟叶油分相关品质的影响效果也不同。从烤烟的整个生长发育过程来看,施用腐殖酸钾处理能够促进烤烟生长发育,促进腺毛发育,提高烟叶油分。施用腐殖酸钾能够调节土壤中的养分含量,为烤烟生长发育提供充足的养分供应,以利于烤烟的生长发育,使烤烟化学成分更加协调,同时还可以提高烟叶的中性致香成分含量及烤烟经济效益,其中腐殖酸钾施用量为 900 kg/hm<sup>2</sup> 效果最佳,腐殖酸钾施用量为 600 kg/hm<sup>2</sup> 经济效益最优。

#### 参考文献:

- [1] 邵惠芳,郑 聪,许自成,等. 三门峡烟区土壤养分状况的综合评价[J]. 西南农业学报,2009,22(4):1011-1015.
- [2] 张 俊,石伟琦,马海洋,等. 腐殖酸钾促进凤梨苗生长应用研究[J]. 腐植酸,2023(2):22-28.
- [3] Puglisi E, Pascazio S, Suci N, et al. Rhizosphere microbial diversity as influenced by humic substance amendments and chemical composition of rhizodeposits[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2013,129:82-94.
- [4] 匡 岗,王欢欢,刘德育,等. 腐殖酸钾对豫西地区烤烟品质及土壤环境的影响[J]. 中国农学通报,2017,33(33):60-66.
- [5] 丁嘉宁,梁利宝,王曰鑫. 腐殖酸钾肥料对土壤细菌多样性和养分的影响[J]. 腐植酸,2020(2):43-50.
- [6] 杨军伟,康 博,曾庆宾,等. 腐殖酸钾不同追施时期对土壤钾素与烤烟含钾量的影响[J]. 贵州农业科学,2023,51(9):1-9.
- [7] Kumar D, Singh A P. Efficacy of potassium humate and chemical fertilizers on yield and nutrient availability patterns in soil at different growth stages of rice[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis,2017,48(3):245-261.
- [8] 祖庆学,曹本福,廖 恒,等. 腐殖酸肥对烟叶相关油分品质的影响[J]. 中国热带农业,2019(2):66-71.
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [10] 魏跃伟. 烤烟腺毛分泌物的气质联用分析[D]. 郑州:郑州大学,2012.
- [11] 杨丽丽,邓小华,邓井青,等. 湘南稻田浓香型烤烟适宜采收成熟度研究[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2014,40(3):236-240.
- [12] 鞠红霞. 土壤条件对烤烟生长、养分累积和品质的影响[D]. 北京:中国农业科学院,2006.
- [13] Jin Q, Zhang Y Y, Wang Q X, et al. Effects of potassium fulvic acid and potassium humate on microbial biodiversity in bulk soil and rhizosphere soil of Panax ginseng[J]. Microbiological Research, 2022,254:126914.
- [14] 刘 茜,马飞跃,于建军,等. 腐殖酸对植烟土壤和烟草影响的研究进展[J]. 中国农学通报,2010,26(4):132-136.
- [15] 孙焕硕,苏长青. 腐殖酸钾对黄冠梨土壤肥力的影响[J]. 北方园艺,2009(7):100-101.
- [16] 查宏波,蔡忠山,黄 犇,等. 不同烤烟品种烟叶腺毛密度的差异性[J]. 烟草科技,2003,36(10):43-44.
- [17] 李鹏飞,周冀衡,张建平,等. 氮、磷、钾、镁亏缺对烤烟生长和叶片腺毛发育的影响[J]. 烟草科技,2009,42(12):49-54.
- [18] 史宏志,刘国顺,杨惠娟,等. 烟草香味学[M]. 北京:中国农业出版社,2011.
- [19] 李章海,刘登乾,韩忠明,等. 烤烟油分与烟叶理化特性关系的初步研究[J]. 安徽农业科学,2008,36(3):1088-1089,1105.
- [20] 付光明,高子婷,贾保顺,等. 基于综合赋权法的河南不同油分档次烤烟烟叶质量评价[J]. 南方农业学报,2023,54(8):2289-2298.
- [21] 闫克玉,闫洪洋,闫洪喜. 不同产区烤烟石油醚提取物含量对比分析[J]. 河南农业大学学报,2007,41(5):498-501.
- [22] 熊佳诚,沈子奇,高 旭,等. 喷施外源物质复配剂对烤烟生长和烟叶质量的影响[J]. 江苏农业科学,2024,52(3):84-90.
- [23] 张纪利,魏荭越,王 景,等. 高碳基有机肥对烤烟生长发育、病害、化学成分及经济性状的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(20):117-124.
- [24] 雷竹光,罗国提,梁权发,等. “墨翠”腐殖酸钾复合肥在水稻上的应用效果研究[J]. 现代农业科技,2023(5):9-12.
- [25] 周杰文,李海平,肖志新,等. 木本泥炭基腐殖酸钾与矿物钾肥配施对酸化植烟土壤养分与烟叶品质的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(8):112-116.
- [26] 李 丽,兰春茶,董树超,等. 降低基肥施用比例及增施腐殖酸钾对烤烟品质的影响[J]. 浙江农业科学,2023,64(10):2380-2384.
- [27] 张文静,黄 建,王 迅,等. 腐殖酸钾对土壤氮磷钾及烟叶中性致香物质的影响[J]. 湖南农业科学,2015(4):60-62.
- [28] Mahdi A H A, Badawy S A, Abdel H A L A, et al. Integrated effects of potassium humate and planting density on growth, physiological traits and yield of *Vicia faba* L. grown in newly reclaimed soil[J]. Agronomy,2021,11(3):461.
- [29] 代晓燕,张 芊,王建安,等. 不同钾肥施用量及基追施比对烤烟中性致香物质含量的影响[J]. 中国烟草科学,2014,35(1):26-31.