

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2008.00851

不同有机酸对烤烟品质和产值的影响

刘世亮¹ 杜君¹ 化党领¹ 介晓磊^{1,2,*} 王维超³ 王雪芬³ 韩富根¹

(¹ 河南农业大学, 河南郑州 450002; ² 郑州牧业工程高等专科学校, 河南郑州 450011; ³ 河南襄城县烟草公司, 河南襄城 461700)

摘要: 采用大田试验研究了苹果酸、油酸和腐殖酸对烤烟品质指标及产值效果的影响。结果表明, 3 种有机酸能明显提高烟叶中 P 素、K 素、总糖、还原糖含量、钾氯比和糖碱比值, 以及糠醛、苯甲醛、茄酮、巨豆三烯酮和新植二烯等主要香气成分的含量, 改善烟草的香吃味。同时不同程度地降低烟叶中 N 素、淀粉、蛋白质、烟碱和氯离子的含量, 从而协调和平衡烟叶中的化学成分, 改善烟叶的品质。其中, 苹果酸的效果最佳, 腐殖酸和油酸次之。苹果酸可明显提高烤烟的均价和上中等烟的比例, 腐殖酸可明显提高烤烟的产量、产值及上中等烟的比例。

关键词: 烤烟; 有机酸; 质量; 产量

Effects of Different Organic Acids on Quality and Yield in Tobacco (*Nicotiana tabacum* L.)

LIU Shi-Liang¹, DU Jun¹, HUA Dang-Ling¹, JIE Xiao-Lei^{1,2,*}, WANG Wei-Chao³, WANG Xue-Fen³, and HAN Fu-Gen¹

(¹ Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, Henan; ² Zhengzhou College of Animal Husbandry Engineering, Zhengzhou 450011, Henan; ³ Henan Xiangcheng County Tobacco Company, Xiangcheng 461700, Henan, China)

Abstract: Reasonable combination chemical fertilizer with organic fertilizer which is applied traditional can significantly improve tobacco quality. Malic acid, oleic acid, and fulvic acid were used to study the effects of organic acids on quality and yield in tobacco in the trial. The main results showed that three organic acids could obviously increase P, K, total sugar, reducing sugar contents, K/Cl ratio and reducing sugar/nicotine ratio, as well as the contents of furfural, nenzaldehyde, solanone, megastigmatrione, and neophytadiene, the main aroma component in tobacco leaves, and these were in favor of high quality of aroma in tobacco leaves. However, the three organic acids could obviously reduce N, Cl, starch, protein and nicotine contents of flue-tobacco leaves. Those were in favor of coordinating and balancing chemical compositions of flue-cured tobacco leaves, improving quality of tobacco leaves. The effect of malic acid was better than that of fulvic acid and oleic acid. In addition, malic acid could obviously improve unit price and the proportion of the superior and secondary classes of flue-cured leaves. Fulvic acid could also improve the proportion of the superior and secondary classes, output value and yield of flue-cured leaves.

Keywords: Tobacco (*Nicotiana tabacum* L.); Organic acid; Quality; Yield

烟草是我国重要的经济作物之一, 种植面积和总产量居世界第一位^[1]。加入 WTO 之后, 国际上竞争激烈的烟草生产及吸烟与健康问题的提出, 对烟草品质提出了更高的要求, 所以发展优质烟叶不管是对烟农还是对卷烟工业都是十分重要的。河南烟叶是我国浓香型烟叶的典型代表, 但近 20 年来, 烟田长期单施化肥, 忽视有机肥的施用, 使烟田土壤板结、有机质含量下降, 且河南省广泛分布的石灰性

土壤中钙离子含量过高, Ca/K 失调, 影响了烟叶的正常生长, 使烟叶中各种营养元素比例失调、香气不足、烟碱含量过高以及化学成分不协调等, 不能满足卷烟工业的需求。

近年来, 有机肥料对提高烟叶品质的作用被重新重视。烟草工作者对不同种类有机肥与化肥配施对烤烟生长发育、抗病性及营养代谢的影响以及如何提高烟叶的品质做了大量的研究工作, 报道比较

基金项目: 河南省烟草专卖局重大项目“河南省优质烤烟营养条件与烟叶品质相互关系的研究”(HYKJ200203)

作者简介: 刘世亮(1970–), 男, 河南信阳人, 博士, 副教授, 主要从事土壤化学与植物营养研究。E-mail: shliu70@163.com; shliu@sohu.com

*通讯作者(Corresponding author): 介晓磊(1964–), 男, 河南临颖人, 博士, 教授, 主要从事土壤化学与植物营养方面的研究。

Received(收稿日期): 2007-08-10; Accepted(接受日期): 2007-10-30.

多的是腐殖酸对烤烟生长发育及烟叶品质的研究^[2-3]。靳志丽等^[4-5]研究表明,腐殖酸能有效提高烟株体内硝酸还原酶、过氧化氢酶、抗坏血酸氧化酶、多酚氧化酶的活性,促进烤烟生理代谢,提高抗逆能力,有效控制植株感染花叶病和黑胫病,从而促进烟株的生长发育。刘国顺等^[6-7]采用盆栽和大田试验相结合的方法研究表明,腐殖酸可明显提高烤烟上等烟比例及产量和产值,使烟叶内化学成分更趋协调,各项品质指标更趋合理。此外还报道了苹果酸、柠檬酸、乳酸、丙二酸等有机酸的影响^[8-10]。刘世亮等^[11]采用水培研究了不同有机酸对烟草生长发育和生理生化特性以及养分含量和积累的影响,表明有机酸能促进烟草的生长发育,增加叶绿素含量,提高硝酸还原酶、转化酶、淀粉酶活性和根系活力,降低烟草体内的丙二醛含量,提高 N、P、K 在烟叶中的积累量。其中,苹果酸和乳酸的效果相对较好。

本文在前人研究的基础上进一步探讨苹果酸、油酸和腐殖酸对烤烟烟叶中化学成分的平衡关系,研究其对烤烟内在品质及经济性状等方面的影响,以期合理施用有机肥,提高烟叶品质提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验设计

本试验于 2006 年在河南省许昌市襄城县汾陈乡进行。土壤类型为普通褐土,质地为中壤,土壤含有机质 11.50 g kg^{-1} 、碱解氮 51.57 mg kg^{-1} 、速效磷 P_2O_5 24.42 mg kg^{-1} 、速效钾 K_2O $122.23 \text{ mg kg}^{-1}$ 。供试烟草品种为中烟 100;供试有机酸为苹果酸(malic acid)、油酸(oleic acid)和腐殖酸(为富里酸或黄腐酸 fulvic acid)。

设 4 个处理,即对照不施有机酸,施用苹果酸 37.5 kg hm^{-2} ,施用油酸 37.5 kg hm^{-2} ;施用腐殖酸 37.5 kg hm^{-2} 。这 3 种有机酸分别代表低分子量、高分子量和大分子有机酸。每个处理重复 3 次,随机排列,小区面积为 100 m^2 (0.01 hm^2),行距 1.2 m,株距 0.5 m,每小区栽烟 165 株(按每公顷 16 500 株),试验地设 2 行保护行。田间管理按当地优质烤烟规范化栽培措施进行。

氮磷钾比例(N P_2O_5 K_2O)为 1 1 3,纯 N 52.5 kg hm^{-2} ,氮肥基追比为 7 3。氮肥中硝态氮占 50%~60%。基肥、穴肥和追肥分别占 70%、10%和 20%,其中 1 kg 纯氮用 20 kg 饼肥代替。采用 25~30

cm 宽度开沟双条施基肥,然后起垄。穴施以提高肥料利用率。第一次追肥用硝酸钾,于移栽后 18~22 d 施用,追肥施于烟行两侧最大叶叶尖所指位置,约距烟株 15~20 cm。第二次追肥用硫酸钾,于移栽后 45~50 d 施用。3 种有机酸是按照试验处理要求在烟苗移栽前根据植烟密度计算每株所需量,挖大穴与土壤充分混匀后以窝肥形式施用。

试验均按当地优质烤烟生产规范栽培,彻底打顶抹杈。单株留叶数控制在 18~20 片。

1.2 调查与采样

起垄施肥前用多点采样法取基础土样,风干过筛,测定有机质、碱解氮、速效 P 和速效 K,并由此决定施肥量。

调查烟草主要生育期(团棵期、旺长期、圆顶期)的生物学特征(株高、长势、长相、叶色等);记载气候要素(降雨、气温、灾害天气等)以及田间管理情况。

将采收的烟叶分别挂牌绑杆装入同一烤房烘烤,并将其按上、中、下 3 个部分分类,挑选等级相近的烟叶粉碎后过 40 目筛供化学成分分析。对于各处理不同部位的烟叶,首先严格按照我国的烟叶分级标准进行分级^[12],再进行取样。上部叶取上桔二,中部叶取中桔三,下部叶取下桔二。

1.3 化学成分的测定

参照鲍士旦^[13]的方法测定,土壤有机质含量用浓硫酸-重铬酸钾氧化滴定法(外加热法容量法),碱解氮用碱解扩散法,速效磷用 $0.5 \text{ mol L}^{-1} \text{ NaHCO}_3$ 浸提-钼蓝比色法(Olsen 法),速效钾用 $1 \text{ mol L}^{-1} \text{ NH}_4\text{OAc}$ 浸提——火焰光度法,植株中的全氮用凯氏定氮法,全磷用钒钼黄比色法测定。参照王瑞新^[14]等的方法测定,全钾用火焰光度计法,氯离子含量用银量法测定,烟碱含量用盐酸提取活性炭脱色法测定,蛋白质含量用考马斯亮蓝法,淀粉用盐酸水解总糖残渣 3,5-二硝基水杨酸显色法。总糖、还原糖用水浸提 3,5-二硝基水杨酸显色法测定^[15]。

1.4 香气成分的测定

香气物质由国家烟草栽培生理生化研究基地采用固相微萃取顶空取样和气相色谱-质谱法(GC-MS)分析。

样品经减压蒸馏和萃取装置气蒸,用二氯甲烷萃取,一次获得香气物质。将 20 g 样品和 80 mL 水放入烧瓶,加热氮气流速为 45 mL min^{-1} ,获得馏分用 CH_2Cl_2 蒸馏萃取,萃取物用氮气辅助挥发,获取约 1 mL 用于测定。

质谱仪为 VG-70SE(英国); 气相色谱仪为 HP-5890(日本); 毛细管柱为 OV-101(25 mL × 0.25 mL, I.D.WCOT); 载气为 He, 汽化室温度 250℃, 分离器温度 250℃, 离子源温度 200℃, 电子轰击电压 70 eV。化学电离反应气体为异丁烷, 柱室温度 50℃ 保持 1 min, 以 5℃ min⁻¹ 速度升到 220℃, 保持 10 min。载气流量 0.8 mL min⁻¹, 尾吹气 25 mL min⁻¹, 直接获得分子量及质谱片段图谱, 由谱库及质谱解析规律, 获得定性结果。

在肯定烤烟质谱图无根本差异之后, 用气相色谱定量。色谱仪 HP-5890, 检测器 FID, 载气 He, 毛细管柱 OV-101, FID 温度 250℃, 汽化室温度 240℃, 分流比 1 25, 柱温 50℃ 保持 2 min, 以 3℃ min⁻¹ 速度升到 170℃ 保持 30 min, 之后 3℃ min⁻¹ 升到 220℃, 因不同处理各香气成分差异较大, 进样量依实际操作调整。

2 结果与分析

2.1 不同有机酸处理对烤后烟叶中矿质元素含量和品质指标含量的影响

烟叶化学成分是烟叶内在质量的基础。只有各种化学成分含量适宜, 并且相互之间的比例协调, 烟叶才具有良好的内在质量, 香气充足, 吃味醇和^[16]。

2.1.1 不同有机酸处理对烤后烟叶中矿质元素含量的影响

2.1.1.1 对烤后烟叶 N 素含量的影响 从表 1 可以看出, 上部叶中腐殖酸处理烟的 N 素明显高于对照, 而苹果酸和油酸处理与对照无显著差异; 中部叶中各有机酸处理的 N 素含量均明显低于对照, 其中, 油酸处理和腐殖酸处理极显著低于对照; 下部叶中各有机酸处理的 N 素含量均低于对照, 其中, 苹果酸和腐殖酸处理显著低于对照, 而油酸处理与 CK 差异不显著。

表 1 不同有机酸对烟叶中 N、P、K、Cl⁻ 及 K/Cl 含量的影响
Table 1 Effect of different organic acids on contents of N, P, K, Cl⁻, and K/Cl in tobacco leaves

叶位 Leaf position	处理 Treatment	氮 N (%)	磷 P (%)	钾 K (%)	氯 Cl (%)	钾氯比 K/Cl ratio
上部叶 Upper leaves	CK	1.59 b	0.36 b	0.95 b	0.63 a	1.51
	苹果酸 Malic acid	1.55 b	0.35 b	1.18 a	0.54 b	2.19
	油酸 Oleic acid	1.55 b	0.41 a	0.99 b	0.59 b	1.68
	腐殖酸 Fulvic acid	1.73 a	0.32 b	1.02 ab	0.54 b	1.89
中部叶 Middle leaves	CK	1.48 a	0.33 ab	0.98 c	0.65 a	1.51
	苹果酸 Malic acid	1.32 b	0.34 a	1.12 ab	0.58 b	1.93
	油酸 Oleic acid	1.06 d	0.30 b	1.03 b	0.61 ab	1.69
	腐殖酸 Fulvic acid	1.18 cd	0.35 a	1.13 a	0.65 a	1.74
下部叶 Lower leaves	CK	1.30 a	0.30 b	0.79 c	0.62 a	1.27
	苹果酸 Malic acid	1.10 b	0.37 a	0.85 bc	0.51 b	1.67
	油酸 Oleic acid	1.24 a	0.29 b	0.89 b	0.55 b	1.62
	腐殖酸 Fulvic acid	1.19 b	0.32 ab	0.98 a	0.59 ab	1.66

每一列标以不同字母的值差异达 5% 显著水平。
Means followed by a different letter within a column are significantly different at 5% probability level.

综上所述, 有机酸能明显降低中部和下部叶中的 N 素含量, 其中, 苹果酸和油酸处理降低的幅度最大。N 素含量的降低有利于降低烟叶中烟碱含量和蛋白质的含量, 从而有利于提高烟叶的品质。

2.1.1.2 对烤后烟叶 P 素含量的影响 从表 1 可以看出, 上部叶中油酸处理的 P 素含量明显高于对照, 而苹果酸和腐殖酸处理与对照差异不显著; 中部叶中各有机酸处理的 P 素含量与对照无显著差异; 下部叶中苹果酸处理的 P 素含量明显高于对照, 而

油酸处理和腐殖酸处理与对照差异不显著。总之, 苹果酸明显提高下部叶 P 素的含量, 油酸能明显提高上部叶 P 素的含量, 腐殖酸能提高中部和下部烟叶中 P 素的含量。

2.1.1.3 对烤后烟叶钾素、氯离子含量及钾氯比的影响 从表 1 可以看出, 3 种有机酸均能不同程度地提高各叶位烟叶中 K 素含量并降低氯离子含量。上部叶与对照相比, 苹果酸和腐殖酸处理的 K 素含量明显提高, 氯离子含量明显降低; 其中, 苹果酸

处理的钾氯比最大。中部叶中苹果酸和腐殖酸处理的 K 素含量显著提高, 苹果酸处理的氯离子含量明显降低; 其中, 苹果酸处理的钾氯比最大。下部叶中各有机酸处理的 K 素含量和钾氯比值明显提高, 同时氯离子含量明显降低; 其中, 腐殖酸处理效果最为明显。可见, 3 种有机酸能明显提高中部和下部叶中的 K 素含量及钾氯比值, 同时明显降低各叶位烟叶的氯离子含量。

2.1.2 不同有机酸处理对烤后烟叶中品质指标含量的影响

2.1.2.1 对烤后烟叶总糖和还原糖含量的影响

从表 2 可以看出, 上部叶中各有机酸处理的总糖含量均高于对照, 苹果酸和油酸处理显著高于对照, 腐殖酸处理与对照差异不显著; 中部叶中只有油酸处理的总糖含量明显高于对照处理; 下部叶中腐殖酸处理的总糖含量明显高于对照, 而在中、下部叶中苹果酸处理烟叶总糖含量显著地低于对照、油酸处理和腐殖酸处理。各有机酸处理烟叶中还原糖含量的变化趋势与水溶性总糖基本一致。综上所述, 有机酸对上部和中部烟叶中总糖和还原糖含量影响不大, 腐殖酸处理则能明显提高下部叶中总糖和还原糖含量。

表 2 不同有机酸对烟叶中总糖、还原糖、淀粉、烟碱和蛋白质含量的影响
Table 2 Effect of different organic acids on contents of total sugar, reducing sugar, starch, nicotine, and protein in tobacco leaves

叶位 Leaf position	处理 Treatment	总糖 Total sugar (%)	还原糖 Reducing sugar (%)	淀粉 Starch (%)	烟碱 Nicotine (%)	蛋白质 Protein (%)	糖碱比 Reducing sugar/ nicotine ratio
上部叶 Upper leaves	CK	17.25 b	16.46 b	7.69 a	2.51 a	7.58 b	6.56
	苹果酸 Malic acid	18.73 a	16.85 b	6.97 b	2.20 b	7.33 b	7.66
	油酸 Oleic acid	18.13 a	18.02 a	7.24 a	2.65 a	6.81 c	6.80
	腐殖酸 Fulvic acid	17.94 b	16.86 b	6.48 b	2.45 ab	8.16 a	6.88
中部叶 Middle leaves	CK	22.34 b	20.77 c	6.96 a	1.89 a	7.50 a	10.99
	苹果酸 Malic acid	20.56 c	19.73 c	5.38 b	1.73 b	7.27 a	11.40
	油酸 Oleic acid	23.23 a	22.51 a	6.53 a	1.62 b	5.86 b	13.90
	腐殖酸 Fulvic acid	22.12 b	21.19 b	5.94 b	1.86 a	6.48 b	11.39
下部叶 Lower leaves	CK	17.96 b	16.08 b	6.23 a	2.01 a	6.51 a	8.00
	苹果酸 Malic acid	16.43 c	14.49 c	5.23 c	1.62 c	5.00 c	8.94
	油酸 Oleic acid	17.52 b	15.88 b	5.77 bc	1.88 b	5.60 bc	8.45
	腐殖酸 Fulvic acid	19.95 a	17.59 a	5.86 b	1.65 bc	5.67 b	10.66

每一列标以不同字母的值差异达 5%显著水平
Means followed by a different letter within a column are significantly different at 5% probability level.

2.1.2.2 对烤后烟叶淀粉含量的影响 烤烟中的淀粉含量是衡量烟叶成熟度和烘烤质量的重要指标之一, 淀粉代谢是影响烟叶质量尤其是香气吸味的关键因素之一。但烟叶中淀粉含量较多时, 会影响燃烧速度和燃烧的完全性及烟叶的内在质量, 从而降低烟叶品质。从表 2 可以看出, 各有机酸均能明显降低烟叶中淀粉的含量, 从而改善烟叶的品质, 其中苹果酸处理效果最显著, 其次为腐殖酸处理和油酸处理。

2.1.2.3 对烤后烟叶烟碱含量及糖碱比的影响

从表 2 可以看出, 上部叶中苹果酸处理的烟碱含量明显低于对照和油酸处理。中部叶中苹果酸和油酸处理的烟碱含量明显低于对照, 而腐殖酸处理与对照无明显差异。下部叶中各有机酸处理的烟碱

均明显低于对照, 其中, 苹果酸和腐殖酸处理与对照差异最显著。各有机酸处理不同叶位烟叶糖碱比都显著高于对照。综上所述, 有机酸能明显降低中部和下部叶中的烟碱含量, 并提高烟叶的糖碱比, 有利于改善烟叶的吃香味, 其中, 苹果酸的效果最好。

2.1.2.4 对烤后烟叶蛋白质含量的影响 从表 2 可以看出, 上部叶与对照相比, 油酸处理的蛋白质含量明显降低, 而腐殖酸处理的蛋白质含量有所提高, 苹果酸处理则无明显变化; 中部叶中油酸和腐殖酸处理的蛋白质含量明显低于对照; 下部叶中各有机酸处理的蛋白质含量也均明显低于对照处理。综上所述, 油酸处理能明显降低各部位烟叶中蛋白质含量。腐殖酸处理能降低中部和下部烟叶中蛋白质含量, 苹果酸能明显降低下部烟叶中蛋白质含

量。蛋白质是烟草体内重要的生物活性物质，含量过高影响香气和吸味，从而使烟叶品质下降。所以，不同有机酸处理在改善烟叶品质方面都有良好的作用。

2.1.3 不同有机酸处理对烤后烟叶部烟叶香气物质含量的影响 从表 3 可以看出，在 30 种香气物质中，苹果酸处理有 20 种成分的含量，油酸处理有 15 种，而腐殖酸处理则有 13 种明显超过对照处理。此 3 种有机酸处理含量均明显超过对照处理的香气物质有 9 种，包括 2, 4-庚二烯醛、苯甲醇、3,4-二甲基

-2,5-呋喃二酮、4-乙烯基-2-甲氧基苯酚、香叶基丙酮、二氢猕猴桃内酯、巨豆三烯酮 1、巨豆三烯酮 2 和巨豆三烯酮-3，这些物质对烟叶香气产生有很大影响。而此 3 种有机酸处理的含量均低于对照处理的香气物质有 5 种，包括 2-乙酰基吡咯、苯乙醇、β-环柠檬醛、β-紫罗兰酮和 β-二氢紫罗兰酮。

烟草羰基化合物(包括醛和酮)是烟叶精油主要的成分之一，许多是重要的致香物质。从表 3 可以看出，有 10 种香气成分苹果酸处理最高，其中，醛和酮类化合物占 8 种；有 9 种香气成分油酸处理最

表 3 不同有机酸对中部烟叶香气成分的影响
Table 3 Effect of different organic acids on aroma component contents in tobacco leaves (μg g⁻¹)

香气成分 Aroma component	CK	苹果酸 Mmalic acid	油酸 Oleic acid	腐殖酸 Fulvic acid
糠醛 Furaldehyde	19.857	22.943	19.538	18.799
糠醇 Furfuryl alcohol	3.312	5.560	2.835	3.243
乙酰基呋喃 2-Acetyl furan	0.898	0.878	0.986	0.811
苯甲醛 Benzaldehyde	0.842	1.054	0.740	0.811
5-甲基-2-糠醛 5-Methyl-2-furaldehyde	2.526	2.926	2.280	2.534
6-甲基-5-庚烯-2-酮 6-Methyl-5-Hepten-2-ketone	1.010	1.288	0.925	1.165
2,4-庚二烯醛 2,4-Heptadienal	3.256	5.911	3.575	6.233
苯甲醇 Benzyl alcohol	7.017	9.774	9.307	8.563
3,4-二甲基-2,5-呋喃二酮 3,4-Dimethyl-2,5-furanone	2.245	2.868	2.280	2.280
苯乙醛 Phenylacetaldehyde	7.747	8.721	7.396	6.739
2-乙酰基吡咯 2-Acetyl pyrrole	1.123	0.878	0.616	0.709
芳樟醇 Linalool	2.919	2.809	2.527	3.192
苯乙醇 Phenylethanol	2.470	2.283	2.157	2.331
氧化异佛尔酮 Isophorone oxide	0.449	0.585	2.157	0.405
β-环柠檬醛 β-Cyclocitral	1.010	0.878	0.925	0.912
吲哚 Indole	1.123	0.819	0.801	1.419
4-乙烯基-2-甲氧基苯酚 4-Ethenyl-2-methoxy-Phenol	1.179	2.517	2.157	5.929
茄酮 Solanone	52.654	54.313	43.882	49.050
β-大马酮 β-Damascenone	26.271	21.538	27.673	25.184
香叶基丙酮 Geranyl acetone	5.782	6.028	6.102	5.878
β-紫罗兰酮 β-Ionone	1.067	0.995	0.925	0.861
β-二氢紫罗兰酮 Dihydro-beta-ionone	2.358	2.048	1.972	2.128
二氢猕猴桃内酯 Dihydroactinidiolide	4.154	4.682	4.622	4.814
巨豆三烯酮 1 Megastigmatrienone 1	1.028	1.288	1.602	1.216
巨豆三烯酮 2 Megastigmatrienone 2	4.389	4.565	4.992	4.408
巨豆三烯酮 3 Megastigmatrienone 3	1.047	1.171	1.109	1.064
三羟基-β-二氢大马酮 3-Hydroxy-β-damascene	1.684	1.697	1.541	2.230
巨豆三烯酮 4 Megastigmatrienone 4	7.532	8.018	8.320	7.195
新植二烯 Neoplytadiene	561.338	585.271	616.327	506.711
法尼基丙酮 Farnesylacetone	18.861	18.846	20.955	17.380
总和 Total	747.148	783.152	801.224	694.194

高,其中,醛和酮类化合物占7种;而有6种香气成分腐殖酸处理最高,其中醛和酮类化合物只占2种。

糠醛、糠醇、苯甲醛、5-甲基-2-糠醛、6-甲基-5-庚烯-2-酮、苯甲醇、3,4-二甲基-2,5-呋喃二酮和苯乙醛等含量最高的是苹果酸处理。其中,糠醇等化合物是糖-氨基酸复合物通过美拉德反应形成的^[18];茄酮是西柏二三烯二醇的降解产物,是烟草中含量最丰富的中性香味物质之一^[18],茄酮含量最高的是苹果酸处理;新植二烯是烟草香气物质中含量最高的成分,也是烟叶重要的香味成分,它可通过降解转化成致香成分^[18]。苹果酸处理和油酸处理烟叶中新植二烯含量明显高于对照处理,其中,以油酸处理的最高,苹果酸处理次之;巨豆三烯酮是叶黄素和胡萝卜素的降解产物,也是比较重要的致香成分^[18]。3种有机酸处理中巨豆三烯酮1、2、3的含量均明显高于对照,其中,巨豆三烯酮1、2是油酸处理的含量最高,巨豆三烯酮3是苹果酸处理的含

量最高; β -大马酮具有较浓的玫瑰和水果的香气味,并带有一种显著的烟叶气味,可使烟草烟气质量得到明显提高和改善^[18], β -大马酮含量最高的是油酸处理。所定量的香味成分的总含量苹果酸处理和油酸处理明显高于对照处理,其中以油酸处理总含量最高。

综上所述,苹果酸处理和油酸处理最能明显提高烟叶中主要香气成分的含量,改善烟草的香吃味,并能提高烟草的烟气质量。从效果上看,苹果酸>油酸。

2.2 不同有机酸处理对烤后烟主要经济性状的影响

从表4可以看出,3种有机酸处理的烟叶产量、上中等烟比例、均价均比对照有不同程度的提高,因而也获得了高于对照的产值,其中,苹果酸优于腐殖酸,腐殖酸优于油酸。说明3种有机酸的施用不仅可以改善烟叶的内在品质,而且还可以提高烟叶产量和产值,增加烟农收入。

表4 不同有机酸处理对烤烟产值及产量的影响
Table 4 Effects of different organic acids on value and output of tobacco

处理 Treatment	产量 Yield (kg hm ⁻²)	产值 Output value (Yuan hm ⁻²)	均价 Average price (Yuan kg ⁻¹)	上中等烟比例 Proportion of the superior and secondary classes of tobacco leaves (%)
CK	1 814.10 b	17 763.15 c	9.79 b	84.26 c
苹果酸 Malic acid	1 884.45 b	18 957.60 b	10.06 a	87.16 a
油酸 Oleic acid	1 923.75 a	19 175.10 a	9.97 b	85.09 b
腐殖酸 Fulvic acid	1 974.45 a	19 342.20 a	9.80 b	87.33 a

每一列标以不同字母的值差异达5%显著水平。

Means followed by a different letter within a column are significantly different at 5% probability level.

3 讨论

3.1 有机酸对烟叶中化学成分的影响

土壤中普遍存在多种有机酸,研究表明,土壤中有有机酸由于种类、浓度、土壤、气候及作物品种和生长发育阶段等的不同而对作物产生不同程度的有利或有害影响,但大量研究都集中在土壤有机酸形成积累对作物的毒害作用上,关于有机酸对作物的有利影响远比毒害研究得少^[19]。

但近年来关于施用有机酸对作物的影响有很多报道。周春菊等^[20]用20 $\mu\text{mol L}^{-1}$ 的阿魏酸、水杨酸、香草酸、苯甲酸单独及混合浸种或叶面喷施,可刺激小麦的出苗和分蘖,延缓叶片衰老,提高了小麦产量。张秀英等^[10]研究打顶后用25~50 mmol L⁻¹丙二酸喷施烟叶可抑制硝酸还原酶活性,减少烟叶中硝酸盐的还原,其结果可能使烟叶中烟碱含量降

低,喷施丙二酸可望成为烟叶生长期降低烟碱含量的有效措施。武雪萍等^[9]选用饼肥发酵产生的4种有机酸进行烟草灌根,研究了施用有机酸对烟草生理特性和烟叶化学成分的影响。结果表明,用有机酸灌根促进了烟叶的碳氮代谢过程;其中苹果酸处理和乳酸处理显著提高了根系活力和根系ATPase活性,促进根系的发育;4种有机酸处理都可以提高烤后烟叶有机酸和还原糖的含量,其中苹果酸处理和乳酸处理较有利于烟叶化学成分协调,有利于烟叶品质的改善。刘国顺等^[8]对比了氨基酸和低分子量有机酸对烤烟生长及品质的影响,结果表明有机酸不但能够促进硝态氮的利用,更重要的是其对烤烟生长的刺激性,影响烟株内的激素水平,从而改善烟叶的质量。

不同于有机酸喷施、浸种或水培,本试验利用有机酸作为窝肥很可能通过对根际环境的影响而产生效果。其一,有机酸可以为土壤微生物提供碳源,

提高根际土壤微生物的活性,有利于土壤中物质的转化。据刘义新研究报道^[21]苹果酸结晶有机肥使土壤细菌数量比复肥处理多数十倍,持续1月有余;其二,有机酸可以提高植物养分的有效性。有机酸通过提供酸解矿物的质子,与矿物中金属离子形成金属有机复合物或与某些变价金属(如Fe、Mn等)发生还原反应等机制参与土壤矿物风化和形成,增加矿物表面比和表面电荷,使矿物表面化学性质发生改变^[19]。有机酸不但能起酸溶或络合溶解作用,还能通过其阴离子的代换和竞争吸附减少土壤对磷的吸附固定或将其解吸,或通过促进解磷微生物增殖而活化土壤磷从而提高其对植物的有效性。很多有机酸可与微量元素(Zn、Cu、Fe、Mn)形成水溶性络合物或螯合物,从而提高微量元素的有效性。其三,有机酸改善根际土壤环境,刺激根系的生长,提高烟草根系活力,从而促进对矿质营养的吸收利用,并促进地上部分的生长发育,提高烟叶酶活性,加强碳氮代谢,因而明显降低各叶位烟叶中蛋白质的含量;明显提高中部和下部叶中P素的含量及下部叶中总糖和还原糖的含量,但是由于不同分子量有机酸所起的作用不同,对烟株内化学成分的合成表现不同。

从本文可以看出,施用有机酸能够提高钾、糖含量和香气质量,降低氯、淀粉和烟碱等,但其对烤烟各品质指标的影响各不相同,至于3种有机酸营养两两配合施用对烤烟内在品质等方面的影响有待进一步研究。

3.2 有机酸对烟叶香气成分的影响

关于有机酸对烟叶香气物质含量及差异的研究也很多。一般来说,烟叶致香成分大多由香气前体物转化而形成,特别是一些重要的香气成分。根据一种香气前体物在降解转化后可以形成在结构和性质上相似的特定的香气成分的性质,主要的香气前体物可分为烃类、醇类、脂类和酯类、糖-氨基酸缩合物。根据各类香气物含量的多少,本文主要讨论了烃类中与烟叶香气密切相关的萜烯类、醇类、氮杂环类中的棕色化产物以及苯丙氨酸类。萜烯类主要有类胡萝卜素及新植二烯等非色素类物质。类胡萝卜素降解可形成许多重要的香气物质,新植二烯本身能增进烟的吃味和香气,有一种令人愉悦的气味;醇类中高分子萜醇类物质主要有类西柏烷类萜醇和赖百当类萜醇,是叶片胶状腺毛分泌物的主要成分,是烟叶香气和香味成分的重要前体物,西柏

烷类通过降解可形成多种醛、酮等致香成分,如茄酮在烟叶中数量较多,赋予一种醇和的烟味。氮杂环类中的棕色化产物是烟叶中主要的致香成分,主要包括吡咯、吡嗪、吡啶等,可赋予烟叶浓郁的烤香,烟叶醇化后的坚果香、甜香、爆米花香等优质香气与这些化合物又有很大关系。苯丙氨酸是烟叶中重要香气物质苯甲醇、苯乙醇等的前体物。另外,香味物质按所含化学元素不同可分为含氮化合物和碳氢化合物^[22]。罗毅等^[23]研究表明,烤烟施用苹果酸后,烟叶的碳水化合物有降低趋势,氮含量有增加趋势;叶中非挥发性有机酸总量变化不大,但增加了多元羧酸的含量和比例;降低了不饱和脂肪酸和饱和脂肪酸的含量和比例;增加了苹果酸的含量,提高了上、下部叶中柠檬酸的含量,而对草酸和其他多元羧酸含量影响较小;增加了致香物质总量,类西柏烷类、苯丙氨酸类含量以及中部叶棕色化产物含量。因此,施用苹果酸对改善烟叶品质有积极的作用。朱凯^[24]研究表明,施用苹果酸等有机酸增加了致香物质总量,且以中部叶增加最大。对不同致香组分的影响表现在增加了各部位类西柏烷类和苯丙氨酸类含量以及中部叶棕色化产物含量;增加了下部叶类胡萝卜素类,而降低了上部叶和中部叶的含量;增加了上、中部叶中新植二烯含量。从而说明,施用有机酸对增加香气量,改善香气质有明显的作用。本研究结果表明,施用有机酸促进了烟株生长,提高叶氮含量,表现在苯丙氨酸、棕色化产物类含氮香味物质含量增加;同时有机酸处理对不同叶位的烟叶表现不同,其中,苹果酸处理和油酸处理最能明显提高烟叶中主要香气成分的含量,改善烟草的香吃味,并能提高烟草的烟气质量,这一结果与朱凯的研究非常一致,但需要进一步研究对不同叶位差异的原因。

4 结论

不同有机酸处理对不同部位烟叶矿质元素含量的影响不同。其中苹果酸处理能明显提高下部叶中P素的含量及中部和下部叶中K素的含量;苹果酸处理同时能明显降低中部和下部叶中N素及各叶位烟叶中氯离子和淀粉的含量;油酸处理能明显提高上部P素的含量,而对其他叶位矿质元素含量影响不显著;腐殖酸处理能明显提高中部和下部叶中P素的含量。

不同有机酸处理对不同部位烟叶有机品质指标

的影响不同。其中苹果酸处理同时能明显降低下部叶中蛋白质的含量、中部和下部叶中烟碱的含量及各叶位烟叶中淀粉的含量；油酸处理明显降低各叶位烟叶中蛋白质的含量；腐殖酸处理明显提高下部叶中总糖和还原糖的含量，同时也明显降低中部和下部叶中蛋白质的含量。

不同有机酸处理对不同部位烟叶香气物质含量的影响不同。苹果酸处理和油酸处理最能明显提高中部烟叶中主要香气成分的含量，改善烟草的香吃味，并能提高烟草的烟气质量。从效果上看，苹果酸>油酸。

3种有机酸可不同程度地协调和平衡烟叶中的化学成分，改善烟叶的品质，从效果来看，苹果酸>腐殖酸>油酸。

References

- [1] Zuo T-J(左天觉). Production, Physiology and Biochemistry of Tobacco (烟草的生产、生理和生物化学). Shanghai: Yuandong Press, 1993 (in Chinese)
- [2] Li G-C(李广才), Li F-X(李富欣), Wang L-H(王留河). The effects of humic acid and cake on soil nutrition and growth of flue-cured tobacco. *Tob Sci Technol* (烟草科技), 1999, (3): 39–41 (in Chinese with English abstract)
- [3] Lu L-G(陆力光), Yang Z-S(杨正申). Applied research of fulvic acid for flue-cured tobacco in arid areas. *Chin Tob Sci* (中国烟草科学), 1994, (4): 12–20 (in Chinese with English abstract)
- [4] Jin Z-L(靳志丽), Li X-L(李雪利), Liu G-S(刘国顺), Han Y(韩延), Wang T-Y(王太运). Effect of humic acid on the metabolism of tobacco. *J Henan Agric Univ* (河南农业大学学报), 2000, 34 (1): 43–46 (in Chinese with English abstract)
- [5] Jin Z-L(靳志丽), Liu G-S(刘国顺), Liang W-X(梁文旭). Effect of humic acid on the growth and physiological activity of flue-cured tobacco root system. *Tob Sci Technol* (烟草科技), 2002, (7): 36–38 (in Chinese with English abstract)
- [6] Nie X-B(聂新柏), Liu G-S(刘国顺), Jin Z-L(靳志丽). The study on effect of humic acid on soil environment and absorbing ability to mineral material of flue-cured tobacco. *Chin Tob Sci* (中国烟草科学), 2002, (3): 15–18 (in Chinese with English abstract)
- [7] Fu Y-P(符云鹏), Zhen H-J(甄焕菊), Wang X-J(王新敬). The study on effect of humic acid and biological potassium on flue-cured tobacco. *J Henan Agric Sci* (河南农业科学), 1999, (8): 14–15 (in Chinese)
- [8] Liu G-S(刘国顺), Zhu K(朱凯), Wu X-P(武雪萍), Guo Q-Y(郭桥燕), Peng S(彭飒). Effects of using organic acids and amino acids on flue-cured tobacco growth and nitrogen absorption. *Acta Agric Boreali-Sin* (华北农学报), 2004, 19 (4): 51–54 (in Chinese with English abstract)
- [9] Wu X-P(武雪萍), Liu G-S(刘国顺), Zhu K(朱凯), Yang C(杨超), Jing S-F(荆水锋). Effect of applying organic acids on tobacco physiology and the leaf chemical components. *Acta Tab Sin* (中国烟草学报), 2003, 9(2): 23–27 (in Chinese with English abstract)
- [10] Zhang X-Y(张秀英), Han J-F(韩锦峰), Yue C-P(岳彩鹏), Liu H-S(刘华山), Yang S-Q(杨素勤), Lü Q-L(吕巧灵). Effect of malonate on nicotine content in flue-cured tobacco leaves. *Chin Tob Sci* (中国烟草科学), 2002, (3): 23–24 (in Chinese with English abstract)
- [11] Liu S-L(刘世亮), Yang Z-M(杨振民), Hua D-L(化党领), Jie X-L(介晓磊), Li Y-T(李有田). Effect of different organic acids on growth, physiological and biochemical characteristics of flue-cured tobacco. *Chin Agric Sci Bull* (中国农学通报), 2005, 21(5): 248–252 (in Chinese with English abstract)
- [12] Yan K-Y(闫克玉), Zhao X-Z(赵献章). Tobacco Grading (烟叶分级). Beijing: China Agriculture Press, 2003 (in Chinese)
- [13] Bao S-D(鲍士旦). Soil Agriculture Chemistry Analysis (土壤农化分析). Beijing: China Agriculture Press, 2000 (in Chinese)
- [14] Wang R-X(王瑞新), Han F-G(韩富根), Yang S-Q(杨素勤), Hou W-H(侯文华). Tobacco Chemical Character Analytical Method (烟草化学品质分析法). Zhengzhou: Henan Science & Technology Press, 1998 (in Chinese)
- [15] He Z-P(何仲佩). Crop Chemistry Control Experiment Instruction (农作物化学控制实验指导). Beijing: Beijing Agriculture University Press, 1998 (in Chinese)
- [16] Liu G-S(刘国顺). Tobacco Cultivation Science (烟草栽培学). Beijing: China Agriculture Press, 2003 (in Chinese)
- [17] Ding H(丁辉), Hu G-W(胡干文), Gong Y-G(龚玉刚). Effect of applying potassium oxalate on burning, tar and smoking of cigarette leaves. *Tob Sci Technol* (烟草科技), 1998, (4): 14 (in Chinese)
- [18] Wang R-X(王瑞新). Tobacco Chemistry (烟草化学). Beijing: China Agriculture Press, 2003 (in Chinese)
- [19] Shen A-L(沈阿林), Li X-Y(李学垣), Wu S-R(吴受容). The composition characteristics of low-molecular-weight organic acids in soil and their roles on soil material cycling. *Plant Nutr Fert Sci* (植物营养与肥料学报), 1997, 3(4): 363–370 (in Chinese)
- [20] Zhou C-J(周春菊), Wang L-Q(王林权), Li S-X(李生秀), Zhao B-S(赵伯善). Effect of organic acids and vitamin on some physiological and biochemical characteristics of wheat. *Acta Bot Boreal-Occident Sin* (西北植物学报), 1999, 19(4): 623–628 (in Chinese with English abstract)
- [21] Liu Y-X(刘义新), Jiang Y-P(江玉平), Han Y-W(韩移旺), Yu L-S(于黎莎), Liu W-D(刘武定). Effects of applying crystal organic fertilizer in the tobacco production and its dynamical release in the soil. *Plant Nutr Fert Sci* (植物营养与肥料学报), 2000, 6(3): 306–311 (in Chinese with English abstract)
- [22] Shi H-Z(史宏志), Han J-F(韩锦峰), Liu G-S(刘国顺), Wang Y-T(王彦亭). Studies on the relationship of carbon and nitrogen metabolism to leaf flavor quality in flue-cured tobacco. *Acta Tab Sin* (中国烟草学报), 1998, 12(4): 56–63 (in Chinese with English abstract)
- [23] Luo Y(罗毅), Li J-C(李金才), Jiang Y-M(姜玉梅), Wei F-Z(魏凤珍), Wang C-Y(王成雨), Guo H-L(郭化丽), Li Q(李琴). Effect of malic acid on the flue-cured tobacco quality. *J Anhui Agric Sci* (安徽农业科学), 2006, 34(19): 4963–4964 (in Chinese with English abstract)
- [24] Zhu K(朱凯). Effects of Applying Organic Acids on Flue-Cured Tobacco Nitrogen Metabolism and Leaf Quality. PhD Dissertation of Henan Agriculture University, 2004 (in Chinese with English abstract)