昆明学院学报　2020，42（6）：16～21　ISSN 1674－5639　CN 53－1211/G4
Journal of Kunming University

云南昆明烟区烤烟有机酸特征及影响因素初探

王育军[1]，李　强[2]，谭　涛[1]，王泽理[1]，李　山[1]，程昌新[3]，王绍坤[3]
（1. 甘肃烟草工业有限责任公司 技术研发中心，甘肃 兰州 730050；2. 湖南农业大学 烟草研究院，湖南 长沙 410128；
3. 红云红河烟草（集团）有限责任公司，云南 昆明 650022）

摘要：为探明昆明烤烟有机酸的状况，2014—2016 年共采集样品 480 个，研究有机酸特征及影响因素．结果表明：1）有机酸均值为 52.63 mg/g，变异系数为 32.37%；2）有机酸由高到低的顺序为 w（非挥发多元有机酸）＞w（不饱和脂肪酸）＞w（饱和脂肪酸）；3）有机酸总量在产地、品种和部位间差异有统计学意义；4）5 月和 8—9 月平均昼夜温差对苹果酸和柠檬酸影响显著；5）海拔对柠檬酸、月桂酸、肉豆蔻酸和硬脂酸影响显著．综合认为，昆明烟区的烤烟有机酸丰富，但易受产地、品种、部位、昼夜温差和海拔影响．

关键词：昆明市；烤烟；有机酸；影响因素
中图分类号：S572　**文献标识码：**A　**文章编号：**1674－5639（2020）06－0016－06
DOI：10.14091/j.cnki.kmxyxb.2020.06.004

Preliminary Study on Organic Acid Characteristics and Influencing Factors of Flue-cured Tobacco in Kunming City

WANG Yujun[1], LI Qiang[2], TAN Tao[1], WANG Zeli[1], LI Shan[1], CHANG Changxin[3], WANG Shaokun[3]
(1. Technical Center of Gansu Tobacco Industrial Co., Ltd., Lanzhou, Gansu, China 730050;
2. Institute of Tobacco, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan, China 410128;
3. Hongyun Honghe Tobacco (Group) Co., Ltd., Kunming, Yunnan, China 650022)

Abstract: To understand the organic acids content status of flue-cured tobacco in Kunming city, 480 samples were collected from the year 2014 to 2016 to study the characteristics and influencing factors. The result indicated that: 1) The average value of organic acids content were 52.63 mg/g and the coefficient of variation were 32.37%; 2) The order of organic acids content from high to low was non-volatile organic acids, unsaturated fatty acids and saturated fatty acids; 3) The total amount of organic acids content had statistical significance among origin, variety and part; 4) The average day-night temperature difference in May, August and September had great influence on malic acid and citric acid; 5) The influence of altitude on citric acid, lauric acid, myristic acid and stearic acid were obvious. In summary, the organic acids content of flue-cured tobacco in Kunming city were rich but susceptible to the effects of producing area, variety, part, day-night temperature difference and altitude.
Key words: Kunming city; flue-cured tobacco; organic acid; influencing factor

有机酸广泛存在于烟草中，一般为干物质量的 12%～16%．烟叶有机酸不仅是卷烟风格特征和香气质量的重要组成部分，还可以直接改变烟气的酸碱平衡，影响卷烟的劲头、刺激性和口感等[1-2]．王树会等[3]研究不同品种及海拔对烟叶有机酸的影响，结果表明，红大品种有机酸含量最高，K346 品种次之，V2 品种最低，总有机酸含量在海拔为 1 400～1 600 m 较高；许自成等[4]对烤烟钾与多酚、有机酸及评吸品

收稿日期：2020－06－15
基金项目：红云红河烟草（集团）有限责任公司资助项目“云南基地烤烟品种立体优化布局研究”（HYHH2012YL03）；红云红河烟草（集团）有限责任公司资助项目“云南基地烤烟降梗增片综合技术研究与推广”（HYHH2016YL02）．
作者简介：王育军（1988—），男，湖南岳阳人，工程师，硕士，主要从事卷烟配方和烟叶原料研究．

质的关系进行研究，结果显示，钾与有机酸总量变化规律相同，对香气质和香气量等评吸指标影响显著；景延秋等[5]分析了 NC89 品种烤烟不同叶位叶片有机酸的差异，认为自下往上第 10 和 12 片叶有机酸适中，具有优质原料的特质. 以上研究对品种、海拔、叶位与烤烟有机酸的关系进行了探讨，但尚缺乏系统性. 根据烤烟八大香型划分，西南高原生态区清甜香型以玉溪、昆明等地为典型产地[6-7]，而昆明市常年种植烤烟面积在 4.3×10^4 hm^2 以上，是国内外卷烟工业企业争抢的优质原料产地[8]. 鉴于此，本研究对昆明市烤烟有机酸特征及影响因素开展系统研究，以期为优化西南高原生态区烤烟种植布局以及彰显烤烟香气质、香气量提供科学依据.

1　材料与方法

1.1　烤烟样品采集

2014—2016 年，在昆明市 4 个植烟产地，以乡镇为单位，由昆明市专职烟叶分级技术人员依据《烤烟》（GB 2635—92），采集当地 5 个主栽品种的上部叶（B2F）、中部叶（C3F）、下部叶（X2F）初烤样品 480 个，每个样品取 2 kg. 取样点选择当地具有代表性，大田长相整齐，烤后叶片完整的烟叶. 此外，利用 GPS 定位，记录取样点的海拔高度，具体取样情况见表 1.

表 1　2014—2016 年昆明烟区不同品种烤烟取样统计

等级	品种				
	K326	红大	云烟 87	NC102	NC297
B2F	宜良古城镇、石林鹿阜镇	宜良竹山镇、石林石林镇	宜良狗街镇、石林长湖镇	安宁八街镇	嵩明滇源镇
C3F	宜良古城镇、石林鹿阜镇	宜良竹山镇、石林石林镇	宜良狗街镇、石林长湖镇	安宁八街镇	嵩明滇源镇
X2F	宜良古城镇、石林鹿阜镇	宜良竹山镇、石林石林镇	宜良狗街镇、石林长湖镇	安宁八街镇	嵩明滇源镇

1.2　气温数据采集与计算

2015 年在昆明市的上述 4 个植烟产地，利用 DWJ1 双金属自动记录温度仪（上海隆拓仪器设备有限公司）进行气温数据采集，其中，石林县采集点在长湖镇（海拔 1 902 m，103.41°E，24.68°N），宜良县在竹山镇（海拔 1 850 m，103.08°E，24.40°N），安宁市在八街镇（海拔 1 951 m，102.20°E，24.42°N），嵩明县在滇源镇（海拔 2 086 m，102.50°E，25.15°N）. 并采用 24 h 平均法进行日均温计算，统计 3—9 月各月平均气温，并以白天温度最高值与夜间温度最低值之差为日昼夜温差，统计 3—9 月各月平均昼夜温差，气温统计见表 2.

表 2　2015 年昆明植烟区气温统计

指标	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月
月平均气温/℃	15.88	19.94	21.48	22.53	22.56	19.65	17.46
月平均昼夜温差/℃	13.21	13.03	11.22	11.24	8.35	8.55	8.83

1.3　有机酸测定指标与方法

烟叶有机酸测定指标包括不饱和脂肪酸（油酸、亚油酸）、饱和脂肪酸（月桂酸、肉豆蔻酸、棕榈酸、硬脂酸）、非挥发有机酸（草酸、柠檬酸、丙二酸、苹果酸）. 方法采用气相色谱法[9-10]：从 2 kg 样品中随机抽取 20 片叶，去除主脉，在 60 ℃ 恒温箱中烘干，粉碎过 0.15 mm 筛，密封保存在 −15 ℃ 环境下. 准确称取处理后的样品 0.5 g，置于 100 mL 干燥三角瓶内，加入 25 mL 10% 硫酸－甲醇溶液和戊二酸－甲醇溶液，摇匀，室温条件下震荡 24 h，过滤并置于分液漏斗中，然后用二氯甲烷萃取. 将无水硫酸钠加入到萃取液中除去水分，取 1 μL 注入气相色谱仪，采用内标法定量检测. 分析仪器为美国 Finingan 公司的 GC-Trace Ultra，AI3000 自动液体进样器，FID 检测器，DB-5 石英毛细管柱（30 m × 0.32 mm，0.25 μm），载气为氮气，FID 检测器和气化室温度为 250 ℃，分流比 10∶1，程序升温：初温 40 ℃，保持 1 min，以 10 ℃/min 升温至 150 ℃，再以 15 ℃/min 升温至 280 ℃[11].

1.4　数据处理与分析

利用 SPSS 19.0 软件对数据进行方差分析和典型相关分析.

2 结果与分析

2.1 烤烟有机酸总体特征

由表 3 可知，昆明烤烟有机酸平均值为 52.63 mg/g，变化幅度为 35.31 ~ 121.78 mg/g，变异系数为 32.37%．其中：饱和脂肪酸含量变异较大，变异系数在 68.75% ~ 100.40% 之间，说明饱和脂肪酸含量的稳定性较差；非挥发多元有机酸和不饱和脂肪酸变异系数均在 50% 以内，稳定性相对较好．不同种类有机酸以非挥发多元有机酸含量最高，不饱和脂肪酸次之，饱和脂肪酸最低．其中：非挥发多元有机酸以苹果酸和草酸的含量较高，柠檬酸和丙二酸较低；不饱和脂肪酸以油酸为主，含量为 13.04 mg/g，而亚油酸含量仅为 1.58 mg/g；饱和脂肪酸以肉豆蔻酸含量最高，棕榈酸含量次之，月桂酸和硬脂酸的含量较低．

表 3 昆明烟区烤烟有机酸描述统计分析

指标	非挥发多元有机酸				饱和脂肪酸				不饱和脂肪酸		总量
	草酸	丙二酸	苹果酸	柠檬酸	月桂酸	肉豆蔻酸	棕榈酸	硬脂酸	亚油酸	油酸	
均值/（mg·g^{-1}）	11.61	1.38	13.27	5.27	0.78	3.08	2.48	0.32	1.58	13.04	52.63
标准差/（mg·g^{-1}）	3.21	0.37	4.55	2.57	0.69	2.86	2.49	0.22	0.68	5.55	17.04
变异系数/%	27.65	26.81	34.28	48.76	88.46	92.85	100.40	68.75	43.03	42.56	32.37
最小值/（mg·g^{-1}）	8.23	0.86	9.95	1.19	0.11	0.94	0.59	0.09	0.58	8.62	35.31
最大值/（mg·g^{-1}）	26.39	2.58	37.82	13.04	2.57	19.31	17.35	1.15	4.96	38.22	121.78

2.2 不同产地间烤烟有机酸特征

从表 4 可以看出，昆明部分烟区不同产地间烤烟棕榈酸、月桂酸含量和有机酸总量差异有统计学意义（$P < 0.01$），丙二酸、柠檬酸、肉豆蔻酸、亚油酸含量差异有统计学意义（$P < 0.05$），草酸、苹果酸、硬脂酸、油酸含量差异无统计学意义．而月桂酸含量以安宁市最高，宜良县次之，嵩明县最低；棕榈酸含量以石林县最低，极显著低于其他产地；有机酸总量以宜良县和安宁市较高，这两地间差异无统计学意义，但均极显著高于嵩明县和石林县．丙二酸含量由高到低依次为 w（宜良县）> w（石林县）> w（安宁市）> w（嵩明县），柠檬酸含量表现为 w（安宁市）> w（宜良县）> w（嵩明县）> w（石林县），肉豆蔻酸和亚油酸的含量表现为 w（宜良县）> w（嵩明县）> w（安宁市）> w（石林县）．

表 4 不同产地间烤烟有机酸差异分析 mg/g

产地	非挥发多元有机酸				饱和脂肪酸				不饱和脂肪酸		总量
	草酸	丙二酸	苹果酸	柠檬酸	月桂酸	肉豆蔻酸	棕榈酸	硬脂酸	亚油酸	油酸	
宜良县	11.80 a	1.42 a	13.60 a	5.77 a	1.01 B	3.70 a	2.92 A	0.30 a	1.88 a	13.09 a	55.43 A
石林县	11.59 a	1.40 a	13.17 a	4.53 b	0.59 C	2.55 b	2.00 B	0.35 a	1.26 c	12.33 a	49.51 B
嵩明县	11.32 a	1.18 b	13.03 a	4.92 b	0.54 C	2.95 b	2.37 A	0.28 a	1.59 b	12.38 a	50.47 B
安宁市	11.20 a	1.34 a	12.54 a	6.03 a	1.92 A	2.58 b	2.51 A	0.28 a	1.47 b	15.48 a	54.16 A

注：表中同一列数据后的大、小写字母不同，则分别表示在 0.01 和 0.05 水平差异有统计学意义．表 5、表 6、表 9 同．

2.3 不同品种间烤烟有机酸特征

从表 5 看出，月桂酸含量和有机酸总量在不同品种间差异有统计学意义（$P < 0.01$），草酸、丙二酸、苹果酸含量在不同品种间差异有统计学意义（$P < 0.05$），而柠檬酸、棕榈酸、肉豆蔻酸、硬脂酸、亚油酸、油酸含量在品种间差异无统计学意义．不同品种烤烟有机酸总量以 K326 最高，极显著高于其他品种，表现为 w（K326）> w（NC102）> w（红大）> w（NC297）> w（云烟 87）．月桂酸含量以 NC102 最高，K326 次之，NC297 最低；草酸含

量以 K326 最高，NC102 次之，红大最低；丙二酸含量以 K326 最高，红大次之，NC297 最低；苹果酸含量以 K326 最高，NC297 次之，云烟 87 最低.

2.4　不同部位间烤烟有机酸特征

由表6 可知，不同部位间烤烟苹果酸、硬脂酸、亚油酸含量和有机酸总量差异有统计学意义（$P < 0.05$），而其他有机酸含量差异无统计学意义. 且苹果酸、硬脂酸、亚油酸含量和有机酸总量均以上部叶（B2F）为最高，在不同部位间有机酸总量由高到低顺序依次为 w(上部叶) > w(中部叶) > w(下部叶).

表 5　不同品种间烤烟有机酸差异分析　　mg/g

品种	非挥发多元有机酸				饱和脂肪酸				不饱和脂肪酸		总量
	草酸	丙二酸	苹果酸	柠檬酸	月桂酸	肉豆蔻酸	棕榈酸	硬脂酸	亚油酸	油酸	
K326	13.95 a	1.65 a	15.96 a	6.02 a	0.99 B	3.47 a	2.65 a	0.31 a	1.69 a	13.57 a	60.15 A
红大	10.51 b	1.34 b	12.24 b	5.15 a	0.67 C	3.64 a	2.98 a	0.34 a	1.70 a	13.01 a	51.50 B
云烟 87	10.70 b	1.29 b	12.21 b	4.81 a	0.67 C	2.21 a	1.86 a	0.34 a	1.38 a	11.81 a	46.98 B
NC102	11.45 b	1.29 b	12.62 b	5.27 a	1.92 A	2.91 a	2.37 a	0.27 a	1.49 a	14.60 a	52.85 B
NC297	11.32 b	1.18 b	13.03 b	4.92 a	0.54 C	2.95 a	2.36 a	0.28 a	1.59 a	12.38 a	50.47 B

表 6　不同部位间烤烟有机酸差异分析　　mg/g

部位	非挥发多元有机酸				饱和脂肪酸				不饱和脂肪酸		总量
	草酸	丙二酸	苹果酸	柠檬酸	月桂酸	肉豆蔻酸	棕榈酸	硬脂酸	亚油酸	油酸	
上部叶（B2F）	12.13 a	1.36 a	14.05 a	5.31 a	0.82 a	3.09 a	2.80 a	0.36 a	1.65 a	13.69 a	54.82 a
中部叶（C3F）	11.08 a	1.41 a	12.48 b	5.24 a	0.91 a	3.06 a	2.16 a	0.27 b	1.50 a	12.39 a	50.37 b
下部叶（X2F）	11.01 a	1.39 a	12.12 b	5.03 a	0.93 a	3.03 a	2.02 a	0.25 b	1.32 b	12.33 a	49.43 b

2.5　气温对烤烟有机酸的影响

将气温作为一组变量，并分成月平均气温和月平均昼夜温差 2 个变量组，而将有机酸作为另一组变量，两组变量进行典型相关分析[12]. 由表 7 可知，月平均气温与烟叶有机酸的 1 ~ 4 对典型变量均无统计学意义. 月平均昼夜温差与有机酸的第 1 对典型变量有统计学意义，而与第 2 ~ 4 对典型变量无统计学意义，因此，对月平均昼夜温差与有机酸的关系进一步分析.

将各月平均昼夜温差与各样品有机酸数据标准化，进行典型相关分析，求出典型变量系数（mi）及原始变量与典型变量的相关系数（rui），结果列于表8. 由表8 可知，月平均昼夜温差与有机酸的第 1 对典型变量构成（1）和（2）式.

$$U_1 = -0.853\,7X_1 - 0.102\,6X_2 - 1.802\,1X_3 + 0.561\,2X_4 + 1.066\,2X_5 - 1.489\,6X_6 + 0.165\,1X_7; \quad (1)$$

$$V_1 = -0.825\,8Y_1 + 1.265\,9Y_2 - 0.290\,2Y_3 - 0.206\,9Y_4 + 0.876\,8Y_5 + 0.920\,6Y_6 + 1.324\,9Y_7 - 0.810\,2Y_8 + 1.374\,8Y_9 - 0.210\,5Y_{10} + 0.786\,3Y_{11}. \quad (2)$$

表 7　气温与烤烟有机酸的典型相关系数

变量组 1	变量组 2	典型相关系数	P 值	变量组 1	变量组 2	典型相关系数	P 值
月平均气温	有机酸	0.664 5	0.201 4	月平均昼夜温差	有机酸	0.898 4**	0.008 6
		0.424 3	0.507 0			0.621 5	0.213 4
		0.386 0	0.537 4			0.328 7	0.558 5
		0.257 3	0.901 5			0.221 8	0.972 6

表 8 平均昼夜温差与烤烟有机酸的显著典型变量构成

变量	指标	典型变量 1		变量	指标	典型变量 1	
		$\lambda_1 = 0.898\ 4^{**}$				$\lambda_1 = 0.898\ 4^{**}$	
		mi	*rui*			*lj*	*rvj*
X_1	3 月平均昼夜温差	−0.853 7	−0.208	Y_1	草酸	−0.825 8	0.208
X_2	4 月平均昼夜温差	−0.102 6	−0.224	Y_2	丙二酸	1.265 9	0.323
X_3	5 月平均昼夜温差	−1.802 1	−0.689**	Y_3	苹果酸	−0.290 2	0.886**
X_4	6 月平均昼夜温差	0.561 2	−0.347	Y_4	柠檬酸	−0.206 9	0.795**
X_5	7 月平均昼夜温差	1.066 2	−0.317	Y_5	月桂酸	0.876 8	0.302
X_6	8 月平均昼夜温差	−1.489 6	−0.823**	Y_6	肉豆蔻酸	0.920 6	0.145
X_7	9 月平均昼夜温差	0.165 1	−0.483*	Y_7	棕榈酸	1.324 9	0.302
				Y_8	硬脂酸	−0.810 2	0.214
				Y_9	亚油酸	1.374 8	0.334
				Y_{10}	油酸	−0.210 5	0.389
				Y_{11}	有机酸总量	0.786 3	0.682**

注：表中 λ 为典型变量的相关系数；*mi* 为自变量的标准化典型系数，*rui* 为自变量的典型负载系数；*lj* 为因变量的标准化典型系数，*rvj* 为因变量的典型负载系数.

（1）和（2）式中 U_1 和 V_1 分别表示昼夜温差与有机酸的典型变量. 由 U_1 与昼夜温差原始数据相关系数可知，它与 5 月、8 月和 9 月平均昼夜温差均呈极显著或显著负相关，相关系数分别为 -0.689^{**}、-0.823^{**} 和 -0.483^{*}，表明 5 月、8 月和 9 月昼夜温差对烟叶有机酸积累起决定性作用. V_1 与苹果酸、柠檬酸和有机酸总量的原始数据均呈极显著正相关，相关系数分别为 0.886^{**}、0.795^{**} 和 0.682^{**}. 因此，U_1 描述了 5 月、8 月、9 月平均昼夜温差的综合性状，V_1 描述了烟叶苹果酸、柠檬酸和有机酸总量的综合性状. 由上述分析可知，昆明部分烟区 5 月、8 月和 9 月平均昼夜温差与烤后烟叶苹果酸、柠檬酸和有机酸总量密切相关，平均昼夜温差的影响由大到小分别为 8 月、5 月、9 月，平均昼夜温差对烟叶有机酸的影响大小依次为苹果酸、柠檬酸、有机酸总量. 随着烤烟大田期 5 月、8 月和 9 月平均昼夜温差增加，会显著或极显著引起烟叶苹果酸、柠檬酸和有机酸总量的降低.

2.6 海拔对烤烟有机酸的影响

将海拔以 200 m 组距分为 4 组，由表 9 可知，各海拔组间有机酸总量差异有统计学意义，有机酸总量随海拔上升表现为先升高后降低，其含量在 1 800 ~ 2 000 m 海拔段达到最高，而以 1 400 ~ 1 600 m 海拔段为最低. 柠檬酸和月桂酸含量在不同海拔段间差异有统计学意义，柠檬酸含量的变化规律与有机酸总量一致；月桂酸含量随海拔升高而逐渐升高，其含量以 2 000 ~ 2 200 m 海拔段最高. 肉豆蔻酸、硬脂酸和油酸含量在不同海拔段差异有统计学意义，肉蔻豆酸和油酸含量变化规律与有机酸总量一样；硬脂酸含量在 1 400 ~ 1 600 m 海拔段时最高，显著高于其他海拔段，而以 1 600 ~ 1 800 m 海拔段为最低.

表 9 不同海拔高度间烤烟有机酸差异分析 mg/g

海拔/m	非挥发多元有机酸				饱和脂肪酸				不饱和脂肪酸		总量
	草酸	丙二酸	苹果酸	柠檬酸	月桂酸	肉豆蔻酸	棕榈酸	硬脂酸	亚油酸	油酸	
1 400 ~ 1 600	11.84 a	1.50 a	12.68 a	2.71 B	0.20 C	2.05 b	1.70 a	0.90 a	2.02 a	9.18 b	44.79 b
1 600 ~ 1 800	11.46 a	1.37 a	14.27 a	4.79 A	0.35 B	2.43 a	1.82 a	0.26 b	1.42 a	12.44 a	50.78 a
1 800 ~ 2 000	11.39 a	1.43 a	13.01 a	5.62 A	0.54 B	3.72 a	2.98 a	0.35 b	1.70 a	13.48 a	54.20 a
2 000 ~ 2 200	12.17 a	1.28 a	12.60 a	5.48 A	0.73 A	2.88 a	2.52 a	0.30 b	1.55 a	13.39 a	52.68 a

3 讨论与结论

烟草中有机酸大多是碳水化合物代谢的中间产物，同时又是氨基酸和其他有机化合物合成的前体物. 此外，许多有机酸及其衍生物还是烟草香味的主要成分. 有机酸不仅对烟草新陈代谢有重要作用，还能改善抽吸质量. 而生态条件、品种和栽培技术都是影响烟叶有机酸的重要因素[13].

本研究表明，昆明部分烤烟有机酸平均值为 52.63 mg/g，有机酸含量丰富，不同种类有机酸表现为 w(非挥发多元有机酸) > w(不饱和脂肪酸) > w(饱和脂肪酸)；非挥发多元有机酸表现为 w(苹果酸) > w(草酸) > w(柠檬酸) > w(丙二酸)，不饱和脂肪酸为 w(油酸) > w(亚油酸)，饱和脂肪酸为 w(肉豆蔻酸) > w(棕榈酸) > w(月桂酸) > w(硬脂酸)；不同产地有机酸总量表现为 w(宜良县) > w(安宁市) > w(嵩明县) > w(石林县)，产地间差异有统计学意义，这可能是不同产地生态条件综合作用的结果；不同品种有机酸总量差异有统计学意义，有机酸总量为 w(K326) > w(NC102) > w(红大) > w(NC297) > w(云烟 87)，结果与西南高原生态区 K326 和红大品种香气物质含量高、致香效果好一致[8,14]；不同部位间烤烟有机酸总量差异有统计学意义，有机酸总量表现为 w(上部叶) > w(中部叶) > w(下部叶).

种植海拔对柠檬酸、月桂酸、肉豆蔻酸、硬脂酸和油酸影响极显著或显著，有机酸总量随海拔升高表现为先增加后降低，不同海拔段有机酸总量由高到低顺序依次为 1 800 ~ 2 000 m、2 000 ~ 2 200 m、1 600 ~ 1 800 m、1 400 ~ 1 600 m. 3—9 月的月平均气温对有机酸影响不显著，而 5 月、8 月和 9 月的月平均昼夜温差对苹果酸、柠檬酸和有机酸总量影响显著，随着 5 月、8 月和 9 月平均昼夜温差增加，烟叶苹果酸、柠檬酸和有机酸总量极显著降低，这可能是由于昆明 3—9 月白天整体温度较高，夜间温度虽然较低，但整体月平均气温能够满足烤烟生长对温度的需求，而 5 月正处于烤烟移栽期，5 月夜间低温会影响烤烟的生根还苗，8—9 月正处于烤烟旺长成熟期，夜间低温通过影响烤烟新陈代谢来影响有机酸的合成积累. 因此，5 月、8 月、9 月平均昼夜温差对烟叶苹果酸、柠檬酸和有机酸总量影响极显著，这与杨虹琦等[15]认为烤烟中对生态因素反应最敏感的是草酸、柠檬酸和苹果酸的结论基本一致.

[参考文献]

[1] 余晶晶，王冰，蔡君兰，等. 烟叶中游离态和结合态有机酸含量分析 [J]. 中国烟草学报，2019，25 (6)：7 – 17.

[2] 王瑞新. 烟草化学 [M]. 北京：中国农业出版社，2003.

[3] 王树会，李天福，胡华艳. 云南烤烟不同品种和海拔烟叶有机酸分析 [C] //中国烟草学会. 2004 年学术年会论文集. 2004：11.

[4] 许自成，秦璐，邵惠芳，等. 烤烟钾含量与多酚、有机酸含量及评吸品质的关系 [J]. 河南农业大学学报，2010，44 (4)：383 – 389.

[5] 景延秋，张欣华，刘剑君，等. 烤烟不同叶位叶片有机酸含量的差异分析 [J]. 华北农学报，2011，26 (4)：111 – 114.

[6] 乔学义，王兵，熊斌，等. 全国烤烟烟叶特征香韵地理分布及变化 [J]. 烟草科技，2017 (5)：66 – 72.

[7] 乔学义，王兵，吴殿信，等. 典型产地烤烟烟叶香气风格特征 [J]. 烟草科技，2016，49 (9)：70 – 75.

[8] 王育军，周冀衡，李强，等. 昆明烟区烤烟主栽品种海拔适应性研究 [J]. 中国生态农业学报，2015，23 (1)：52 – 60.

[9] 李鹏飞，李大肥，兰富和，等. 不同新品种烤烟非挥发性有机酸含量的差异 [J]. 云南农业大学学报 (自然科学版)，2015，30 (1)：154 – 158.

[10] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品多元酸 (草酸、苹果酸和柠檬酸) 的测定气相色谱法：YC/T 288—2009 [S]. 北京：中国标准出版社，2009.

[11] 杨虹琦，周冀衡，郭紫明，等. 湖南不同烤烟中非挥发性有机酸含量的差异 [J]. 中国烟草学报，2006，12 (4)：44 – 46，57.

[12] 李天福，王彪，杨焕文，等. 气象因子与烟叶化学成分及香吃味间的典型相关分析 [J]. 中国烟草学报，2005 (1)：30 – 34.

[13] 韩锦峰. 烟草栽培生理 [M]. 北京：中国农业出版社，2003：197 – 221.

[14] 杨正权，徐兴阳，欧阳进，等. 西南区烟草新品系分类及适应性研究 [J]. 昆明学院学报，2012，34 (6)：36 – 40.

[15] 杨虹琦，周冀衡，杨述元，等. 不同纬度烟区烤烟叶中主要非挥发性有机酸的研究 [J]. 湖南农业大学学报 (自然科学版)，2005，31 (3)：281 – 284.