



许春平,邢雨晴,刘远上,等.贮存方式对云南产烟叶醇化的影响研究[J].轻工学报,2024,39(3):80-89.
XU C P,XING Y Q,LIU Y S,et al. Effects of storage methods on the aging of tobacco leaves from Yunnan[J].
Journal of Light Industry,2024,39(3):80-89. DOI:10.12187/2024.03.010

贮存方式对云南产烟叶醇化的影响研究

许春平¹,邢雨晴¹,刘远上²,龚梅秋¹,杨雯静¹,黄家乐¹,张碰元²

1. 郑州轻工业大学 烟草科学与工程学院,河南 郑州 450001;

2. 河北中烟工业有限责任公司,河北 石家庄 050000

摘要:以云南宣威 BFE、XFE 和云南腾冲 BFE 烟叶为研究对象,对不同贮存库(机械库、自然库、保湿库)和不同醇化时间(3 个月、9 个月、12 个月、15 个月、18 个月)下 3 种云南产烟叶的常规化学成分和挥发性香味成分进行对比分析,并对挥发性香味成分进行主成分分析。结果表明:1)烟叶中还原糖和总糖含量整体呈下降趋势,分别下降了 9%~19%和 12%~22%;自然库中醇化烟叶的还原糖和总糖含量下降速度较慢,机械库和保湿库中醇化烟叶的还原糖和总糖含量下降速度较快,氯离子和烟碱含量基本无变化,糖碱比呈波动性变化,云南腾冲 BFE 和云南宣威 BFE 烟叶中糖碱比的波动范围为 7~11,而云南宣威 XFE 烟叶中糖碱比的波动范围为 15~20。2)随着醇化的进行,贮存库中 3 种烟叶的挥发性香味成分含量呈快速上升趋势,其中酸类、酚类、酮类等物质增加较明显,且自然库中 3 种烟叶的挥发性香味成分含量最低。3)3 种烟叶均提取两个主成分,其累计贡献率均达到 100%,且贮存库中 3 种烟叶的挥发性香味成分的主成分都呈现出明显差异。因此,云南宣威 BFE 和 XFE 这 2 种烟叶更适合在机械库中进行醇化,而云南腾冲 BFE 烟叶更适合在保湿库中进行醇化。

关键词:烟叶贮存;醇化;挥发性香味成分;常规成分;主成分分析

中图分类号:TS41⁺1 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-1553(2024)03-0080-10

0 引言

烟叶贮存库是用于烟叶贮存和醇化的重要场所。所谓醇化是指在适宜的贮存库环境中,将复烤烟叶贮存 1 至 2 年,本质上是在一定的温度和湿度条件下,通过一系列生物和化学反应,将影响烟叶品质的不利组分转换成有益组分的过程^[1-2],该过程能够有效去除烟叶中的青杂气,降低其刺激性,并改

善其余味^[3-6]。此外,醇化还能增强烟丝的填充性和弹性,提升卷烟的燃烧性能,从而实现烟叶原料的有效利用^[7]。

目前,关于不同贮存技术或方式对烟叶化学成分和感官评价影响的研究已取得了一定进展。杨欣玲等^[8]探讨了气调贮存技术对片烟醇化品质的影响,发现与自然醇化相比,经气调贮存的片烟在色度和饱满度方面表现更佳,感官品质也更优,这有利于

收稿日期:2023-05-18;修回日期:2023-07-06;出版日期:2024-06-15

基金项目:河南省重大公益科技专项项目(201300110200);河南省科技创新团队计划项目(20IRTSTHN022);河北中烟工业有限责任公司项目(2021130000340144)

作者简介:许春平(1977—),男,河南省焦作市人,郑州轻工业大学教授,博士,主要研究方向为香精香料、烟草工程。E-mail: xuchunping05@163.com

通信作者:张碰元(1966—),男,山西省晋中市人,河北中烟工业有限责任公司高级工程师,主要研究方向为烟草原料。E-mail:2160714303@qq.com

延长片烟最佳品质状态的保持期。谢喜珍^[9]研究发现,在空调仓库中进行醇化的烟叶在物理外观和内在感官品质方面均优于在常规醇化仓库(即温湿度不可调的仓库)中醇化的烟叶;此外,空调仓库的环境有助于降低片烟的含水率和包芯温度,减少片烟在醇化过程中可能出现的霉变、碳化等情况。

国内外学者对烟叶醇化过程中的环境条件控制进行了广泛研究,例如,对烟叶醇化温湿度、空气含氧量等因素的探讨^[10-11];对烟叶最佳醇化周期的研究也取得了一定成果^[12-15]。然而,有关不同贮存库对烟叶醇化效果影响的研究相对较少。鉴于此,本文拟以云南不同产地、不同部位的复烤烟叶(云南宣威 BFE、XFE 和云南腾冲 BFE)为研究对象,对不同贮存库和不同醇化时间下云南产烟叶的常规化学成分和挥发性香味成分进行对比分析,并采用主成分分析法研究不同贮存方式对云南产烟叶醇化效果的影响,以期能更好地对不同烟叶进行分类贮存,并实施精准的养护措施。

1 材料与方法

1.1 主要材料与试剂

主要材料:选取 2019 年云南宣威 BFE、XFE 复烤烟叶和云南腾冲 BFE 复烤烟叶(后文将复烤烟叶简称为烟叶),烟叶品种均为云烟系列。

主要试剂:氯化钠,天津市永大化学试剂有限公司;柠檬酸、硝酸、二氯甲烷、甲醇、冰乙酸,天津市富宇精细化工有限公司;无水硫酸钠,国药集团化学试剂有限公司;盐酸、氢氧化钠,烟台市双双化工有限公司;磷酸氢二钠、葡萄糖,天津市科密欧化学试剂有限公司。以上试剂均为分析纯。乙酸苯乙酯(色谱纯),北京百灵威科技有限公司。

1.2 主要仪器与设备

7890B-5977A 型气相色谱-质谱联用(GC-MS)仪,美国 Agilent 公司;CS-150 型高速多功能粉碎机,上海树立仪器仪表有限公司;SDE 型同时蒸馏萃取装置,郑州科技玻璃仪器厂;HH-8 型数显恒温水浴锅,金坛市华峰仪器有限公司;AA3 型连续流动仪,德国 SEAL 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 烟叶处理 将 500 g 烟叶样品撕成适当大

小的烟片,置于 45 ℃烘箱中进行干燥处理后,用高速多功能粉碎机打磨成粉末状,过 40 目筛子(孔径 0.42 mm),将筛分后的粉末装入洁净且干燥的密封袋中,密闭保存。

1.3.2 醇化处理 将烟叶样品分别置于河北中烟工业有限责任公司的恒温恒湿库(保湿库)、机械调控库(机械库)、自然贮存库(自然库)3 种贮存库中进行醇化处理,其贮存方式及序列编号见表 1。保湿库中安装有加湿装置和暖气设备,温度控制在 20.0~30.4 ℃,相对湿度控制在 52.0%~61.2%;机械库内温度控制在 17.8~29.2 ℃,相对湿度控制在 54.5%~61.0%;自然库的温湿度条件与河北省石家庄市全年的温湿度条件保持一致,温度控制在 2.6~31.4 ℃,相对湿度控制在 36.5%~59.5%。在醇化处理 3 个月、9 个月、12 个月、15 个月、18 个月时,分别从每个贮存库中的同一烟包中取 1000 g 烟叶用于后续实验。

1.3.3 常规化学成分测定 参考文献[16-18],采用连续流动法对烟叶样品中的烟碱、还原糖、总糖和氯离子含量进行测定;采用公式(糖碱比=总糖含量/总植物碱含量)计算糖碱比;按照文献[19],采用烘箱法测定烟叶样品中的含水量。每个样品均重复 3 次,取其平均值。

1.3.4 挥发性香味成分含量测定 参考文献[20]所述方法,精确称取 25 g 待测样品于 500 mL 圆底烧瓶中,加入 200 mL 去离子水;量取 60 mL 二氯甲烷于 100 mL 圆底烧瓶中,加入 2 粒沸石,控制水浴温度为 60 ℃,使用同时蒸馏萃取装置萃取 2.5 h;当蒸馏萃取完成后,将烧瓶中的二氯甲烷萃取物倒入

表 1 烟叶样品贮存方式及序列编号

Table 1 Storage methods and serial numbers of tobacco leaf samples

产地	等级	贮存库	编号
云南腾冲	BFE	机械库	A
		自然库	B
		保湿库	C
云南宣威	BFE	机械库	D
		自然库	E
		保湿库	F
云南宣威	XFE	机械库	G
		自然库	H
		保湿库	I

100 mL 锥形瓶中,加入 10 g 无水硫酸钠后静置过夜,除去萃取物中的水分;加入 1 mL 制备好的乙酸苯乙酯内标液进行定量,在常压条件下将滤液浓缩至 1 mL,使用 GC-MS 仪对处理后的样品进行分析。

GC 条件:色谱柱为 HP-5 MS 毛细管柱(60 m×0.25 mm×0.25 μm);载气为高纯氢气;流速为 1 mL/min;进样口温度为 280 ℃;升温程序为 50 ℃保持 2 min,以 4 ℃/min 的速率升温至 280 ℃,保持 10 min;分流比为 5:1。

MS 条件:接口温度为 270 ℃;四级杆温度为 150 ℃;离子化方式为 EI;电子能量为 70 eV;离子源温度为 230 ℃;质量扫描范围为 35~550 amu。

1.4 数据处理

采用 NIST 20 库检索法对挥发性香味成分进行定性分析,再利用面积归一法对其进行定量分析;使用 Microsoft Excel、ORIGIN 和 SPSS^[21] 软件进行主成分分析^[22]。

2 结果与分析

2.1 贮存方式对烟叶常规化学成分的影响

表 2 为不同贮存方式下云南产烟叶中常规化学成分的含量。由表 2 可知,不同贮存库中烟叶的氯离子含量无明显差异;随着醇化时间的延长,烟碱含量和糖碱比呈波动性变化,其中烟碱含量略微下降,这与孙平等^[23] 在研究烟梗人工醇化过程中主要化学成分变化所得出的结论基本一致;云南宣威 XFE 烟叶的糖碱比普遍偏高,推测这可能与烟叶的品种特性有关;此外,还原糖和总糖含量随醇化时间的延长而逐步降低,特别是经过 15 个月的醇化后,二者含量下降速度明显减缓。这可能是因为 在醇化过程中总糖会发生水解,而还原糖含量的变化则可能与美拉德反应有关^[24]。

根据文献[25]报道,优质烟叶的化学成分含量标准为还原糖含量 18%~24%,烟碱含量 1.50%~3.50%,氯离子含量 0.30%~0.80%,总糖含量 20%~25%,糖碱比 8.00~12.00。结合表 2 可知,云南腾冲 BFE 烟叶和云南宣威 BFE 烟叶各化学成分含量均适中,但云南腾冲 BFE 烟叶的糖碱比较低。相比之下,云南宣威 XFE 烟叶除氯离子含量之外,

表 2 不同贮存方式下云南产烟叶中常规化学成分的含量

Table 2 Content of conventional chemical components in Yunnan tobacco leaves under different storage methods

编号	醇化 时间/月	氯离子 含量/%	烟碱 含量/%	还原糖 含量/%	总糖 含量/%	糖碱比
A	3	0.38	3.20	20.71	23.25	7.26
	9	0.39	3.07	20.06	22.87	7.46
	12	0.35	2.89	19.05	20.98	7.26
	15	0.40	2.82	18.43	19.78	7.01
	18	0.39	2.74	18.23	19.52	7.12
B	3	0.41	3.24	23.36	26.00	8.03
	9	0.45	3.13	22.24	25.31	8.09
	12	0.43	2.94	21.65	23.89	8.13
	15	0.42	2.63	20.90	22.54	8.57
	18	0.41	2.58	20.14	22.05	8.55
C	3	0.35	2.70	24.94	27.60	10.21
	9	0.41	2.67	24.04	26.78	10.04
	12	0.37	2.51	23.45	25.05	9.98
	15	0.38	2.31	23.16	24.99	10.82
	18	0.41	2.27	22.63	24.26	10.69
D	3	0.29	2.39	21.30	25.35	10.62
	9	0.26	2.29	20.41	23.93	10.46
	12	0.27	2.12	18.74	20.94	9.88
	15	0.30	2.07	18.32	19.97	9.65
	18	0.28	2.01	17.63	18.95	9.43
E	3	0.28	2.41	22.40	25.87	10.74
	9	0.28	2.26	21.50	24.10	10.64
	12	0.26	2.17	20.65	22.41	10.33
	15	0.27	2.11	20.06	21.69	10.28
	18	0.27	2.02	19.41	21.34	10.56
F	3	0.29	2.39	21.30	24.35	10.20
	9	0.26	2.29	20.41	22.73	9.94
	12	0.27	2.12	18.84	21.34	10.07
	15	0.28	2.03	18.53	20.96	10.33
	18	0.27	1.96	17.83	19.86	10.13
G	3	0.29	1.17	18.95	21.73	18.55
	9	0.34	1.06	17.83	20.82	19.58
	12	0.29	0.97	17.24	19.43	20.03
	15	0.32	1.01	16.56	18.50	18.32
	18	0.33	0.98	16.45	18.33	18.71
H	3	0.28	1.26	17.86	20.36	16.18
	9	0.31	1.15	16.69	19.18	17.91
	12	0.32	0.98	15.71	17.41	15.49
	15	0.34	1.04	14.91	16.28	16.49
	18	0.32	1.02	14.56	16.01	17.49
I	3	0.31	1.25	18.21	20.57	16.47
	9	0.33	1.11	17.05	19.30	17.36
	12	0.35	0.99	16.42	18.85	19.04
	15	0.32	0.97	15.58	17.35	17.89
	18	0.31	0.94	15.59	17.21	18.31

其他成分含量均相对较低,而糖碱比则相对较高。由此可知,在保湿库中进行醇化的云南腾冲 BFE 烟叶具有较好的品质;同样地,在机械库中进行醇化的云南宣威 BFE 和 XFE 烟叶也展现出较优的品质特征。

2.2 贮存方式对烟叶挥发性香味成分的影响

重要挥发性香味成分通常包括醇类、醛类、酮类、酯类、酚类、酸类和杂环类^[26-27],根据不同贮存方式下 3 种烟叶的挥发性香味成分含量归类作图,得到的上述 7 类挥发性香味成分含量趋势图见图 1—图 3。由图 1—图 3 可知,3 种烟叶经不同贮存库醇化处理后,其挥发性香味成分总量均随着醇化时间的延长呈增加趋势,其中酸类、酯类和酮类的含量增加显著,这与李雪峰等^[28]、夏宇等^[29]人工醇化可以提高烟叶品质的研究结果较一致。为进一步分析云南产烟叶挥发性香味成分的特征,后续实验选

择醇化 18 个月的 3 种烟叶进行主成分分析。

不同贮存方式下,云南腾冲 BFE 烟叶的挥发性香味成分总量大小依次为保湿库>机械库>自然库,云南宣威 BFE 和 XFE 烟叶的挥发性香味成分总量大小依次为机械库>保湿库>自然库。

2.3 烟叶挥发性香味成分的主成分分析

2.3.1 云南腾冲 BFE 烟叶挥发性香味成分主成分分析 云南腾冲 BFE 烟叶挥发性香味成分两个主成分的贡献率见表 3。由表 3 可知,主成分 1 和主成分 2 的方差贡献率分别为 58.873%和 41.127%,且主成分 2 的累计贡献率达到 100%,根据主成分分析的一般准则,即特征值大于 1,且累计贡献率大于 80%^[30],可较好地反映烟叶挥发性香味成分的大部分信息,因此这两个主成分作为数据分析的有效成分是合理的。

云南腾冲 BFE 烟叶挥发性香味成分的主成分

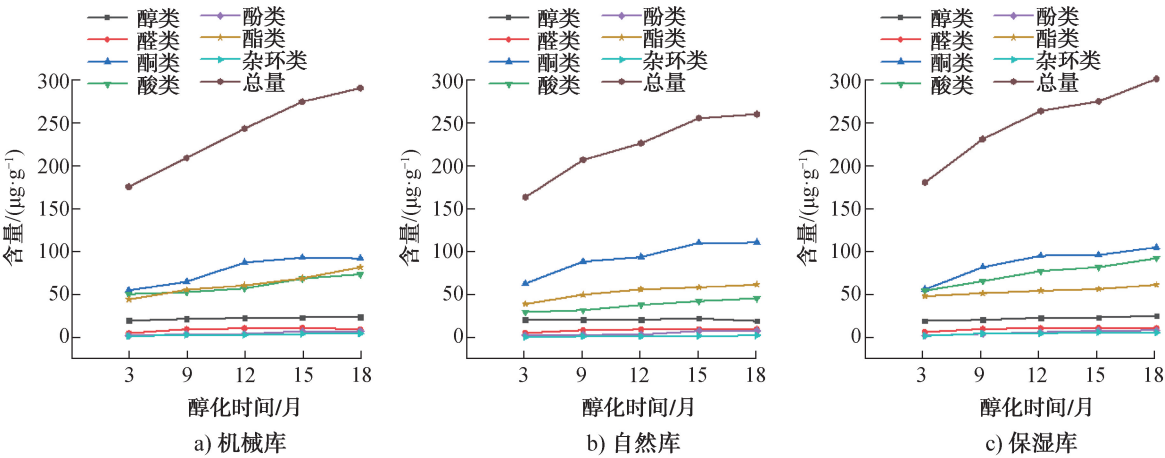


图 1 云南腾冲 BFE 烟叶挥发性香味成分含量趋势图

Fig. 1 Trend charts of volatile aroma component content in Yunnan Tengchong BFE tobacco leaves

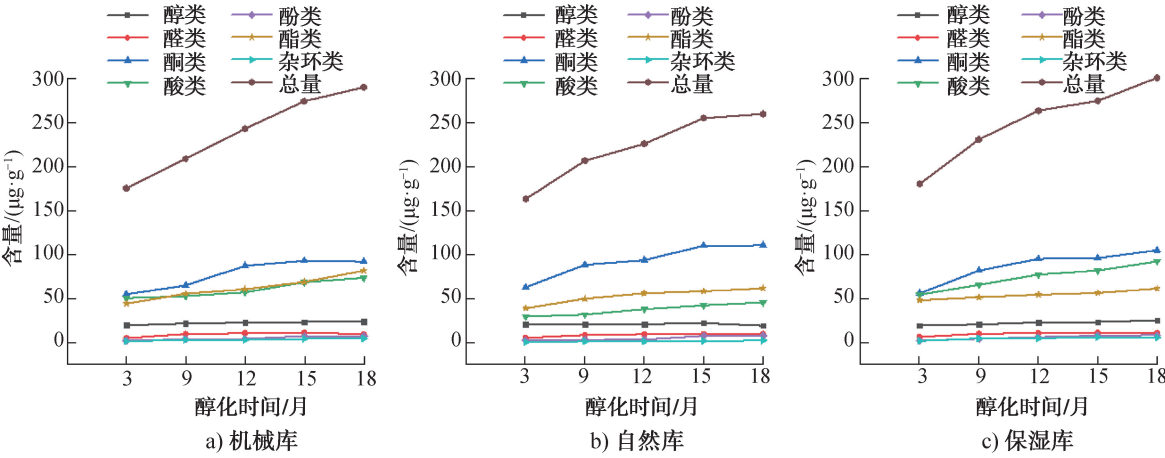


图 2 云南宣威 BFE 烟叶挥发性香味成分含量趋势图

Fig. 2 Trend charts of volatile aroma component content in Yunnan Xuanwei BFE tobacco leaves

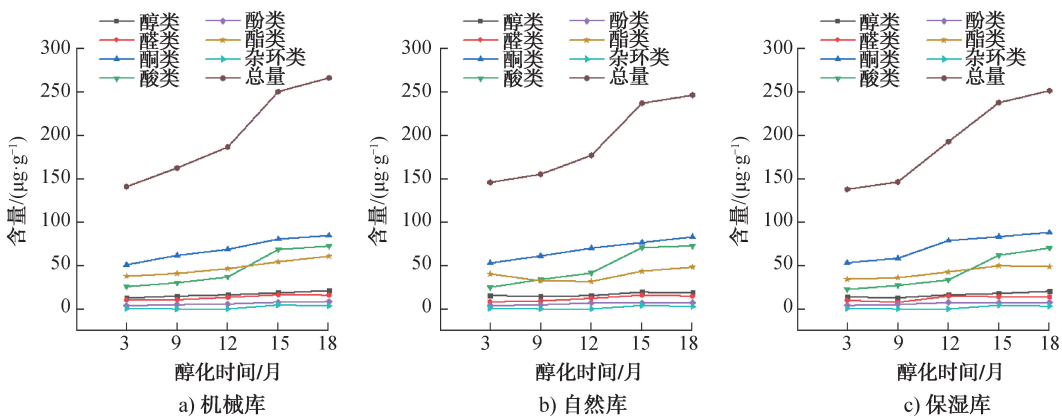


图3 云南宣威XFE烟叶挥发性香味成分含量趋势图

Fig. 3 Trend charts of volatile aroma component content in Yunnan Xuanwei XFE tobacco leaves

荷矩阵见表4。由表4可知,(1*S*,2*E*,4*R*,7*E*,11*E*)-2,7,11-西柏三烯-4-醇、5-甲基-2-呋喃甲醇、2,3-二氢-2,2,6-三甲基苯甲醛、5-甲基呋喃醛、苯甲醛、苯乙醛、4-环戊烯-1,3-二酮、大马士酮等成分在主成分1上的载荷值均大于0.8,说明主成分1基本反映了这些挥发性香味成分的特征信息;同样地,主成分2所反映的挥发性香味成分主要包括 α -松油醇、苯甲醇、苯乙醇、芳樟醇、糠醇、糠醛等。

表3 云南腾冲BFE烟叶挥发性香味成分两个主成分的贡献率

Table 3 Contribution rates of two principal components of volatile aroma components of Yunnan Tengchong BFE tobacco leaves

成分	提取载荷平方和		
	特征值	方差贡献率/%	累计贡献率/%
主成分1	24.727	58.873	58.873
主成分2	17.273	41.127	100

表4 云南腾冲BFE烟叶挥发性香味成分的主成分载荷矩阵

Table 4 Principal component load matrix of volatile aroma components of Yunnan Tengchong BFE tobacco leaves

编号	挥发性香味成分	主成分1	主成分2	编号	挥发性香味成分	主成分1	主成分2
1	(1 <i>S</i> ,2 <i>E</i> ,4 <i>R</i> ,7 <i>E</i> ,11 <i>E</i>)-2,7,11-西柏三烯-4-醇	0.980	-0.201	22	肉豆蔻酸	0.592	-0.806
2	5-甲基-2-呋喃甲醇	0.990	-0.141	23	亚麻酸	0.889	-0.458
3	α -松油醇	-0.033	0.999	24	硬脂酸	0.982	0.189
4	苯甲醇	-0.578	-0.816	25	正十五酸	0.971	-0.239
5	苯乙醇	-0.314	0.950	26	棕榈酸	0.895	-0.446
6	芳樟醇	-0.322	0.947	27	4-乙烯基-2-甲氧基苯酚	-0.999	0.053
7	糠醇	0.597	0.803	28	苯酚	-0.850	0.527
8	2,3-二氢-2,2,6-三甲基苯甲醛	-0.963	-0.270	29	邻甲酚	-0.907	-0.420
9	5-甲基呋喃醛	-0.978	-0.208	30	愈创木酚	-0.859	-0.512
10	苯甲醛	0.962	-0.275	31	7,10,13-十六碳三烯酸甲酯	-0.427	0.904
11	苯乙醛	0.840	-0.543	32	9,12,15-十八烷三烯酸甲酯	0.952	0.307
12	糠醛	0.197	0.980	33	二氢猕猴桃内酯	0.632	-0.775
13	2,6,6-三甲基-2-环己烯-1,4-二酮	0.659	0.752	34	己二酸二(2-乙基己)酯	-0.448	-0.894
14	4-环戊烯-1,3-二酮	0.978	-0.207	35	十四酸甲酯	-0.278	0.960
15	大马士酮	-0.977	-0.212	36	亚油酸甲酯	0.945	0.326
16	巨豆三烯酮	-0.840	-0.543	37	乙酸苄酯	-0.913	0.408
17	螺岩兰草酮	-0.955	-0.295	38	棕榈酸甲酯	0.107	0.994
18	茄酮	0.577	-0.817	39	2-乙酰基吡咯	0.867	-0.499
19	香叶基丙酮	-0.697	0.717	40	2,3-二氢-2-甲氧苯并呋喃	0.361	0.932
20	(<i>Z</i> , <i>Z</i> , <i>Z</i>)-7,10,13-十六碳三烯酸	-0.890	-0.455	41	2-乙酰基呋喃	-0.026	1.000
21	2,3-二甲基马来酸酐	-0.843	-0.537	42	新植二烯	-0.733	-0.681

图 4 为云南腾冲 BFE 烟叶挥发性香味成分的主成分载荷图。由图 4 可知,不同贮存库所代表的点相距较远,说明醇化 18 个月后,不同贮存库中云南腾冲 BFE 烟叶的重要挥发性香味成分的主成分分析差异明显。其中,在保湿库中醇化的云南腾冲 BFE 烟叶的重要挥发性香味成分主要集中在主成分 1 的正半轴和主成分 2 的负半轴,包括茄酮、肉豆蔻酸、二氢猕猴桃内酯、苯乙醛等;在机械库中醇化的云南腾冲 BFE 烟叶的重要挥发性香味成分主要集中在主成分 1 的正半轴和主成分 2 的正半轴,包括糠醇、2,6,6-三甲基-2-环己烯-1,4-二酮、2,3-二氢-2-甲氧苯并呋喃等;在自然库中醇化的云南腾冲 BFE 烟叶的重要挥发性香味成分主要集中在主成分 1 的负半轴和主成分 2 的正半轴,包括 4-乙烯基-2-甲氧基苯酚、大马士酮、5-甲基呋喃醛等。对于保湿库中醇化处理的烟叶,茄酮是其香气的重要组成成分,能显著增强烟香、改善吸味、调和烟气并减少刺激性^[31];二氢猕猴桃内酯等成分则有助于消除烟叶的刺激性,增添果香、花香、木香等香气,是反映烟叶香气品质的关键成分;苯乙醛作为烟叶在调制和陈化期间形成的重要代谢产物,对烟叶的特征香气具有重要贡献,能够释放出焦香味和皂花味,显著增强卷烟的花香味^[32]。对于机械库中醇化处理的烟叶,糠醇是其重要的挥发性香味成分,不仅能改善烟叶的香气质,降低刺激性和杂气,还能加深烟叶的颜色。对于自然库中醇化处理的烟叶,4-乙烯

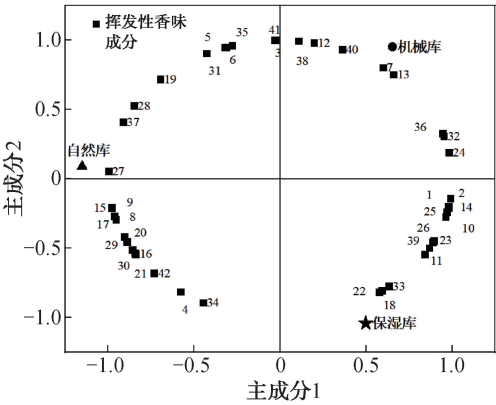


图 4 云南腾冲 BFE 烟叶挥发性香味成分的主成分载荷图

Fig. 4 Principal component loading maps of volatile aroma components in Yunnan Tengchong BFE tobacco leaves

基-2-甲氧基苯酚作为其关键成分,是形成木香、焦香和烟熏味的主要贡献物质^[33]。

2.3.2 云南宣威 BFE 烟叶挥发性香味成分主成分分析 云南宣威 BFE 烟叶挥发性香味成分两个主成分的贡献率见表 5。由表 5 可知,主成分 1 和主成分 2 的方差贡献率分别为 65.653% 和 34.347%,特征值均大于 1,且主成分 2 的累计贡献率达到 100%,说明两个主成分可以代表醇化 18 个月后不同贮存库中云南宣威 BFE 烟叶的挥发性香味成分的全部信息。云南宣威 BFE 烟叶挥发性香味成分的主成分载荷矩阵见表 6。由表 6 可知,主成分 1 反映的挥发性香味成分主要包括芳樟醇、糠醇、5-甲基-2-呋喃甲醇、 α -松油醇、苯甲醛、2,3-二氢-2,2,6-三甲基苯甲醛、5-甲基呋喃醛等;主成分 2 反映的挥发性香味成分主要包括(1*S*,2*E*,4*R*,7*E*,11*E*)-2,7,11-西柏三烯-4-醇、糠醛、茄酮、己二酸二(2-乙基己)酯、2,6,6-三甲基-2-环己烯-1,4-二酮等。

图 5 为云南宣威 BFE 烟叶挥发性香味成分的主成分载荷图。结合表 6 和图 5 可知,不同贮存库所代表的点相距较远,说明醇化 18 个月后,不同贮存库中云南宣威 BFE 烟叶的重要挥发性香味成分的主成分分析差异明显。其中,在保湿库中醇化的云南宣威 BFE 烟叶的重要挥发性香味成分主要集中在主成分 1 的正半轴和主成分 2 的负半轴,包括糠醛、亚麻酸、己二酸二(2-乙基己)酯等;在机械库中醇化的云南宣威 BFE 烟叶的重要挥发性香味成分主要集中在主成分 1 的正半轴和主成分 2 的正半轴,包括巨豆三烯酮、2,3,6-三甲基-1,4-萘二酮、棕榈酸甲酯、2,4-二叔丁基苯酚等;在自然库中醇化的云南宣威 BFE 烟叶的重要挥发性香味成分主

表 5 云南宣威 BFE 烟叶挥发性香味成分两个主成分的贡献率

Table 5 Contribution rates of two principal components of volatile aroma components of Yunnan Xuanwei BFE tobacco leaves

成分	提取载荷平方和		
	特征值	方差贡献率/%	累计贡献率/%
主成分 1	26.261	65.653	65.653
主成分 2	13.739	34.347	100

表6 云南宣威 BFE 烟叶挥发性香味成分的主成分载荷矩阵

Table 6 Principal component load matrix of volatile aromatic components of Yunnan Xuanwei BFE tobacco leaves

编号	挥发性香味成分	主成分 1	主成分 2	编号	挥发性香味成分	主成分 1	主成分 2
1	苯乙醇	-0.789	0.615	21	愈创木酚	-0.967	-0.256
2	芳樟醇	0.982	-0.189	22	己二酸二(2-乙基己)酯	-0.375	-0.927
3	糠醇	0.987	-0.16	23	棕榈酸甲酯	0.898	0.439
4	苯甲醇	0.648	0.761	24	螺岩兰草酮	-0.997	-0.084
5	(1S,2E,4R,7E,11E)-2,7,11-西柏三烯-4-醇	-0.214	0.977	25	2,6,6-三甲基-2-环己烯-1,4-二酮	-0.329	0.944
6	5-甲基-2-呋喃甲醇	0.948	-0.319	26	β -紫罗酮	0.959	-0.284
7	α -松油醇	-0.957	0.288	27	7,10,13-十六碳三烯酸甲酯	0.986	0.164
8	糠醛	-0.126	-0.992	28	肉豆蔻酸	0.147	0.989
9	苯甲醛	0.982	0.190	29	棕榈酸	0.960	0.281
10	2,3-二氢-2,2,6-三甲基苯甲醛	0.944	-0.331	30	硬脂酸	-0.934	0.357
11	苯乙醛	0.613	0.790	31	惕格酸	0.987	-0.159
12	5-甲基呋喃醛	0.946	0.324	32	亚麻酸	0.362	-0.932
13	2-甲基四氢呋喃-3-酮	0.894	-0.449	33	二氢猕猴桃内酯	0.014	1.000
14	香叶基丙酮	-0.922	0.388	34	9,12,15-十八烷三烯酸甲酯	0.943	0.334
15	2,3,6-三甲基-1,4-萘二酮	0.882	0.471	35	亚油酸甲酯	0.980	-0.199
16	大马士酮	-0.938	-0.346	36	乙酸苏合香酯	0.790	-0.614
17	巨豆三烯酮	0.810	0.586	37	2-乙酰基吡咯	0.817	-0.577
18	茄酮	0.510	0.860	38	2-乙酰基呋喃	0.996	-0.089
19	2,4-二叔丁基苯酚	0.915	0.404	39	2-正戊基呋喃	0.940	0.341
20	4-乙烯基-2-甲氧基苯酚	-0.631	0.776	40	新植二烯	-0.094	0.996

要集中在主成分 1 的负半轴和主成分 2 的正半轴,包括香叶基丙酮、硬脂酸、 α -松油醇、苯乙醇等。对于保湿库中醇化处理的烟叶,糠醛为其赋予了独特的果香和面包香^[34],而棕榈酸甲酯等化合物则为其增添了坚果、烟熏等香气^[35];对于保湿库和自然库中醇化处理的烟叶,巨豆三烯酮和香叶基丙酮这两种类胡萝卜素裂解后形成的烟叶香气前体物,在增

强烟香和注入清新香气方面起着关键作用^[36]。

2.3.3 云南宣威 XFE 烟叶挥发性香味成分主成分分析 云南宣威 XFE 烟叶挥发性香味成分的两个主成分的贡献率见表 7。由表 7 可知,主成分 1 和主成分 2 的方差贡献率分别为 62.388% 和 37.612%,特征值均大于 1,且主成分 2 的累计贡献率达到 100%,说明这两个主成分可代表醇化 18 个月不同贮存库中云南宣威 XFE 烟叶的挥发性香味成分的全部信息。云南宣威 XFE 烟叶挥发性香味成分的主成分载荷矩阵见表 8。由表 8 可知,主成分 1 反映的挥发性香味成分主要包括苯乙醇、芳樟醇、苯甲醇、5-甲基-2-呋喃甲醇、(1S,2E,4R,7E,11E)-2,7,11-西柏三烯-4-醇、糠醛、苯甲醛、

表7 云南宣威 XFE 烟叶挥发性香味成分两个主成分的贡献率
Table 7 Contribution rates of two main components of volatile aroma components of Yunnan Xuanwei XFE tobacco leaves

成分	提取载荷平方和		
	特征值	方差贡献率/%	累计贡献率/%
主成分 1	24.955	62.388	62.388
主成分 2	15.045	37.612	100

图5 云南宣威 BFE 烟叶挥发性香味成分的主成分载荷图
Fig. 5 Principal component loading maps of volatile aroma components in Yunnan Xuanwei BFE tobacco leaves

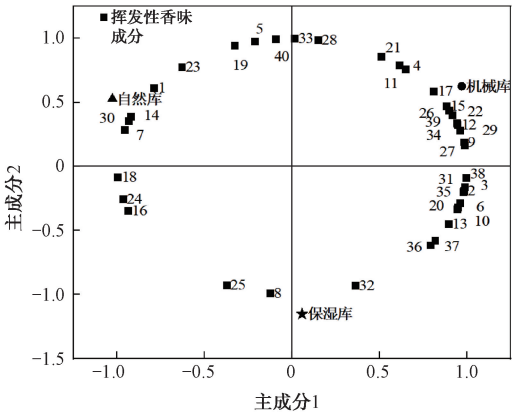


表 8 云南宣威 XFE 烟叶挥发性香味成分的主成分载荷矩阵

Table 8 Principal component load matrix of volatile aroma components of Yunnan Xuanwei XFE tobacco leaves							
编号	挥发性香味成分	主成分 1	主成分 2	编号	挥发性香味成分	主成分 1	主成分 2
1	苯乙醇	-0.83	0.558	21	愈创木酚	0.288	0.958
2	芳樟醇	-0.962	0.272	22	棕榈酸	0.772	0.636
3	糠醇	0.476	0.879	23	肉豆蔻酸	0.997	0.071
4	苯甲醇	0.951	-0.309	24	亚麻酸	0.801	-0.599
5	5-甲基-2-呋喃甲醇	0.954	0.299	25	硬脂酸	-0.890	-0.456
6	(1 <i>S</i> ,2 <i>E</i> ,4 <i>R</i> ,7 <i>E</i> ,11 <i>E</i>)-2,7,11-西柏三烯-4-醇	0.948	-0.317	26	己二酸二(2-乙基己)酯	0.514	0.858
7	糠醛	0.976	-0.218	27	棕榈酸甲酯	0.928	0.372
8	苯甲醛	0.997	0.071	28	邻苯二甲酸二(2-乙基己)酯	-0.794	0.608
9	2,3-二氢-2,2,6-三甲基苯甲醛	0.978	0.211	29	9,12,15-十八烷三烯酸甲酯	0.338	0.941
10	苯乙醛	0.026	1.000	30	二氢猕猴桃内酯	-0.898	0.439
11	香叶基丙酮	-0.794	0.608	31	7,10,13-十六碳三烯酸甲酯	0.974	-0.225
12	大马士酮	0.685	-0.729	32	亚油酸甲酯	0.720	0.694
13	巨豆三烯酮	-0.483	-0.875	33	酞酸二乙酯	0.687	-0.726
14	螺岩兰草酮	0.808	0.589	34	十四酸甲酯	0.464	-0.886
15	4-环戊烯-1,3-二酮	0.866	-0.500	35	乙酸苄酯	1.000	-0.003
16	茄酮	-0.261	-0.965	36	8,11,14-十七碳三烯酸甲酯	-0.398	-0.917
17	β -紫罗酮	0.929	0.370	37	2-乙酰基吡咯	0.943	-0.332
18	法尼基丙酮	1.000	-0.032	38	2-乙酰基呋喃	0.936	-0.353
19	2,6,6-三甲基-2-环己烯-1,4-二酮	0.178	0.984	39	2-正戊基呋喃	0.271	0.963
20	4-乙烯基-2-甲氧基苯酚	0.971	0.239	40	新植二烯	0.959	-0.282

2,3-二氢-2,2,6-三甲基苯甲醛、螺岩兰草酮等;主成分 2 反映的挥发性香味成分主要包括糠醇、苯乙醛、巨豆三烯酮、愈创木酚、己二酸二(2-乙基己)酯、9,12,15-十八烷三烯酸甲酯等。

图 6 为云南宣威 XFE 烟叶挥发性香味成分的主成分载荷图。结合表 8 和图 6 可知,不同贮存库所代表的点相距较远,说明醇化 18 个月后,不同贮存库中云南宣威 XFE 烟叶的重要挥发性香味成分的主成分分析差异明显。在保湿库中醇化的云南宣威 XFE 烟叶的重要挥发性香味成分主要集中在主成分 1 的正半轴和主成分 2 的负半轴,包括酞酸二乙酯、十四酸甲酯、大马士酮等;在机械库中醇化的云南宣威 XFE 烟叶的重要挥发性香味成分主要集中在主成分 1 的正半轴和主成分 2 的正半轴,包括螺岩兰草酮、棕榈酸、亚油酸甲酯、 β -紫罗酮等;在自然库中醇化的云南宣威 XFE 烟叶的重要挥发性香味成分主要集中在主成分 1 的负半轴和主成分 2 的正半轴,包括二氢猕猴桃内酯、苯乙醇、芳樟醇等。对于保湿库中醇化处理的烟叶,大马士酮以其浓郁的玫瑰和水果香味,明显提升了烟叶的香气品质。

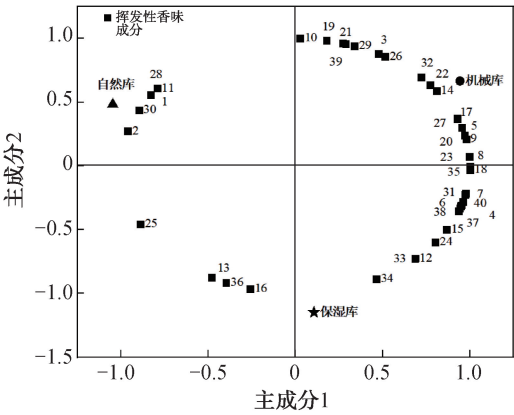


图 6 云南宣威 XFE 烟叶挥发性香味成分的主成分载荷图

Fig. 6 Principal component loading maps of volatile aroma components in Yunnan Xuanwei XFE tobacco leaves

对于机械库中醇化处理的烟叶, β -紫罗酮作为重要的挥发性香味成分,为烟叶赋予了花果香和甜味;棕榈酸具有中和烟气的特性,使烟气更柔和,余味更舒适^[37];亚油酸甲酯具有独特的油脂香气,能够提升烟香的醇厚度^[38]。对于自然库中醇化处理的烟叶,其重要挥发性香味成分芳樟醇赋予了烟叶清甜的香韵。

3 结论

本文采用连续流动法对云南产烟叶在不同贮存库(机械库、自然库、保湿库)和不同醇化时间(3个月、9个月、12个月、15个月和18个月)下的常规化学成分含量进行了测定,结果表明,在3种贮存方式下,随着醇化时间的延长,烟叶中还原糖和总糖含量总体呈下降趋势,而糖碱比和烟碱含量则呈波动性变化。通过GC-MS联用技术对3种不同贮存库中烟叶的挥发性香味成分进行分析发现,在相同醇化时间下,机械库和保湿库中烟叶的挥发性香味成分含量均有较大幅度的增加,而自然库中烟叶的挥发性香味成分含量增加幅度相对较小。结合比较各类挥发性香味成分含量的增加幅度及醇化后香味成分含量可知,云南宣威BFE和XFE烟叶的醇化效果为机械库>保湿库>自然库,云南腾冲BFE烟叶的醇化效果为保湿库>机械库>自然库。主成分分析结果显示,3种烟叶均提取到两个主成分,且其累计贡献率均达100%;经过18个月的醇化处理,不同贮存库中烟叶的重要挥发性香味成分均表现出明显的差异性,云南宣威BXF和XFE烟叶更适合在机械库中进行醇化,而云南腾冲BFE烟叶更适合在保湿库中进行醇化。在实际醇化过程中,需根据烟叶的产地和等级,选择适宜的贮存库进行烟叶的分类贮存和精准养护,以更好地提升烟叶的品质和风味。

参考文献:

- [1] 卓思楚,郑湖南,齐凌峰,等.国内烤烟烟叶醇化机理及技术研究进展[J].中国农学通报,2012,28(10):91-94.
- [2] 杨金奎,段焰青,陈春梅,等.醇化烟叶表面可培养微生物的鉴定和系统发育分析[J].烟草科技,2008(11):51-55.
- [3] 刘磊,王涛,史绍新,等.复烤片烟自然醇化过程中品质变化研究进展[J].河南农业科学,2015,44(8):7-12.
- [4] 王卫峰,章友爱,陈子枫,等.自然醇化对烟叶化学组分及致香物质的影响[J].广西农学报,2016,31(2):8-13.
- [5] 黎洪利,戴亚,张燕,等.重庆与云南醇化复烤片烟致香成分的差异[J].贵州农业科学,2020,48(3):126-130.
- [6] 管恩森,孔芳芳,王大海,等.烤烟自然醇化和人工醇化过程中感官质量的变化[J].中国烟草科学,2020,41(2):54-58.
- [7] 李晓,刘凤珠,姚光明,等.酶解法改善烟叶吸味品质的试验[J].烟草科技,2002(3):14-17.
- [8] 杨欣玲,杨永锋,张俊岭,等.气调贮存技术对片烟醇化质量的影响[J].河南农业科学,2017,46(10):153-159.
- [9] 谢喜珍.不同温湿度环境下片烟醇化试验研究[J].福建农业科技,2012(1):20-22.
- [10] 刘仕民,程传玲,宋辉,等.烟草中水溶性总糖与还原糖的分析研究进展[J].广东化工,2013,40(21):87-88.
- [11] 闫克玉.烟草化学[M].郑州:郑州大学出版社,2002.
- [12] 齐凌峰,卓思楚,宋纪真,等.不同产地片烟的最佳醇化期及适宜贮存时间研究[J].安徽农业科学,2010,38(1):155-157.
- [13] 陈万年,宋纪真,范坚强,等.福建和云南烤烟烟片的最佳醇化期及适宜贮存时间[J].烟草科技,2003(7):9-12.
- [14] 黄静文,段焰青,杨金奎,等.烟叶主要致香成分和烟叶等级以及醇化时间的对比分析[J].江西农业大学学报,2010,32(3):440-445.
- [15] 宋鹏飞,王萝萍,钱颖颖,等.不同产地、品种、仓储地点烤烟片烟陈化中化学成分的变化[J].西南农业学报,2018,31(3):488-493.
- [16] 国家烟草专卖局.烟草及烟草制品氯的测定连续流动法:YC/T 162—2011[S].北京:中国标准出版社,2011.
- [17] 国家烟草专卖局.烟草及烟草制品总植物碱的测定连续流动法:YC/T 160—2002[S].北京:中国标准出版社,2002.
- [18] 国家烟草专卖局.烟草及烟草制品水溶性糖的测定连续流动法:YC/T 159—2019[S].北京:中国标准出版社,2019.
- [19] 国家烟草专卖局.烟草及烟草制品 试样的制备和水分测定 烘箱法:YC/T 31—1996[S].北京:中国标准出版社,1996.
- [20] ISLAM M A, RYU K Y, KHAN N, et al. Determination of the volatile compounds in five varieties of *Piper betle* L. from Bangladesh using simultaneous distillation extraction and gas chromatography/mass spectrometry (SDE-GC/MS)[J]. Analytical Letters, 2020, 53(15):2413-2430.
- [21] 张卫丽.基于SPSS的试剂中氯元素含量的单因素方差分析[J].工业控制计算机,2017,30(6):34-35.
- [22] 张辉,赵秋红.基于主成分分析基本原理的经济指标的筛选方法[J].山东财政学院学报,2013(2):52-61.
- [23] 孙平,汤朝起,王军,等.烟梗人工醇化过程中主要化学成分的变化[J].烟草科技,2014(4):50-54.
- [24] 黄磊,赵磊,黄宙凯,等.三种氧浓度气调下清香型烟叶化学成分的变化[J].湖北农业科学,2022,61(4):145-150.
- [25] 王彦亭,谢剑平,李志宏.中国烟草种植区划[M].北京:科学出版社,2010.
- [26] 景延秋,官长荣,张月华,等.烟草香味物质分析研究

进展[J]. 中国烟草科学,2005(02):44-48.

[27] 叶荣飞,赵瑞峰.烟草香气物质来源[J]. 广东农业科学,2011,38(5):51-53.

[28] 李雪峰,康超,宾俊.烟叶醇化过程潜香物降解规律研究进展[J]. 安徽农业科学,2022,50(13):21-26.

[29] 夏宇,陈刚,刘秀丽,等.温湿度对烤烟醇化过程中各化学成分的影响[J]. 北京农业,2011(33):17-18.

[30] 张文彤,董伟.SPSS 统计分析高级教程[M]. 北京:高等教育出版社,2013.

[31] 黄申,刘丹阳,张增辉,等.肠杆菌和不动杆菌混菌发酵提升山东烟叶品质机制研究[J]. 轻工学报,2023,38(1):45-53.

[32] 韩晓哲,丁永乐,何澎,等.湖南与河南烤烟烟叶中挥发性致香物质的对比分析[J]. 中国农学通报,2008(10):137-140.

[33] 李官丽,伍淑婕,罗秀娟,等.基于 SPME-GC-MS 萃取荸荠挥发性风味物质研究[J]. 食品研究与开发,2022,43(14):70-78.

[34] 黄贺敏,吴丽香,邓梅忠,等.不同品质烟叶微生物群落与其挥发性成分的关联研究[J]. 食品与生物技术学报,2022,41(12):85-95.

[35] 廖鹏飞,王松,王哲,等.同时蒸馏萃取结合 GC-MS 分析酿酒五粮原料蒸煮香气成分[J]. 食品科学,2023,44(06):235-243.

[36] 魏涛,陈顺心,黄申,等. β -胡萝卜素降解菌 HC-3 发酵条件优化及其对再造烟叶浓缩液增香效果研究[J]. 轻工学报,2020,35(2):24-32.

[37] 许春平,周鹏飞,刘远上,等.膜分离精制薄片叶膏挥发性成分分析及卷烟纸加香应用研究[J]. 轻工学报,2022,37(5):61-68.

[38] 杨鹏飞,张增辉,何春雨,等.基于分子感官科学的烟用香精关键香气活性成分分析[J]. 轻工学报,2021,36(2):34-42.

Effects of storage methods on the aging of tobacco leaves from Yunnan

XU Chunping¹, XING Yuqing¹, LIU Yuanshang², GONG Meiqiu¹,
YANG Wenjing¹, HUANG Jiale¹, Zhang Pengyuan²

1. College of Tobacco Science and Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, China;
2. China Tobacco Hebei Industrial Co., Ltd., Shijiazhuang 050000, China

Abstract: Taking Xuanwei BFE, XFE and Tengchong BFE tobacco leaves in Yunnan province as the research object, the conventional chemical components and volatile aroma components of the above three kinds of tobacco leaves under different storage warehouses (mechanical warehouse, natural warehouse, moisturizing warehouse) and different storage time (3 months, 9 months, 12 months, 15 months, 18 months) were compared and analyzed, and the volatile aroma components were analyzed by principal component analysis. The results showed the following: 1) the contents of reducing sugar and total sugar in tobacco leaves decreased by 9%~19% and 12%~22%, respectively. In natural warehouse, the reducing sugar and total sugar content of tobacco leaves decreased slowly, while in mechanical warehouse and moisturizing warehouse, the reducing sugar and total sugar contents decreased rapidly, but the contents of chloride ion and nicotine did not change basically. Furthermore, the sugar-nicotine ratio fluctuated in mechanical warehouse and moisturizing warehouse. The fluctuation range of Yunnan Tengchong BFE and Yunnan Xuanwei BFE tobacco leaves was 7~11, while the fluctuation range of Yunnan Xuanwei XFE tobacco leaves was 15~20. 2) With the proceeding of aging, the content of volatile aroma components of three kinds of tobacco leaves in different warehouse showed a rapid upward trend, among which acids, phenols and ketones increased significantly. In the natural warehouse, the content of volatile aroma components of three kinds of tobacco leaves was the lowest. 3) The two principal components extracted from the same type of tobacco leaves in different warehouses had a cumulative contribution rate of 100%, and the principal components of volatile aroma components in the same type of tobacco leaves in different warehouses showed significant differences. Accordingly, mechanical warehouse was more suitable for Yunnan Xuanwei BFE and XFE tobacco leaves aging, while moisturizing warehouse was more suitable for Yunnan Tengchong BFE tobacco leaves aging.

Key words: storage of tobacco leaves; aging; volatile aroma component; conventional component; principal component analysis