

炒青绿茶贮藏过程中风味物质的变化

苏小琴^{1,2}, 孔俊豪^{1,2}, 杜颖颖^{1,3}, 刁春华^{1,2}, 左小博^{1,2}, 邹新武^{1,3}, 杨秀芳^{1,2*}

¹ 中华全国供销合作总社杭州茶叶研究院 杭州 310016

² 浙江省茶资源跨界应用技术重点实验室 杭州 310016

³ 国家茶叶质量检验检测中心 杭州 310016)

摘要 采用气相离子迁移谱技术(GC-IMS)分析不同包装炒青绿茶贮藏过程中挥发性有机物(VOCs)的变化。结果表明:用GC-IMS共检出86种VOCs,其中明确定性59种,包括醛类28种,酮类7种,醇类9种,酯类9种,杂环类4种,酸类1种,含硫化合物1种。随着贮藏时间的延长,炒青绿茶的VOCs整体呈下降趋势。与单一铝箔包装相比,采用铝箔协同脱氧剂包装的炒青绿茶VOCs保留更稳定,其中带清香的(*E, E*)-2,4-庚二烯醛、庚醛,带栗香的苯甲醛、苯乙醛,带花香的壬醛、6-甲基-5-庚烯-2-酮和带奶酪香的2-庚酮等VOCs含量高。二维谱图显示,不同包装炒青绿茶贮藏中VOCs可实现较好的分离。初步建立了不同包装炒青绿茶贮藏的GC-IMS指纹图谱,为炒青绿茶贮藏中品质的快速评价提供了新思路。

关键词 炒青绿茶; 贮藏; 风味物质; 气相离子迁移谱技术(GC-IMS)

文章编号 1009-7848(2023)12-0188-08 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.12.020

茶是天然的健康饮品,绿茶因富含茶多酚、儿茶素、氨基酸等多种生物活性成分,被联合国推荐为六大健康饮品之首,深受消费者喜爱^[1-2]。我国绿茶产量占茶叶总产量的60%以上^[3]。根据加工工艺不同,绿茶可分为炒青绿茶、烘青绿茶、蒸青绿茶和晒青绿茶四大类,其中炒青绿茶是国内市场消费的主要绿茶品类^[4]。

茶叶香气是决定茶叶品质和风味的关键因素,其实质是挥发性有机物VOCs(Volatile organic compounds)以不同浓度组合对嗅觉神经综合作用所形成的特有香型^[5]。目前,鉴定出的茶叶中挥发性VOCs有700多种^[6]。不同的茶类具有明显不同的香气特征。绿茶的香气物质主要包括芳香族衍生物、萜烯类衍生物、酯类衍生物及含硫、含氮化合物等,这些物质在比例及含量上的差异形成了绿茶清香、嫩香、花香、栗香等典型香型^[7-8]。近年来,研究者采用气相色谱-质谱(Gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)联用技术、全二维气相色谱-飞行时间质谱(Comprehensive two-di-

mensional gas chromatograph-time of flight mass spectrometry, GC×GC-TOFMS)、气相色谱在线嗅闻(Gas chromatography-olfactory, GC-O)、电子鼻、电子舌等技术,开展了绿茶茶树品种^[9-10]、加工工艺^[11-12]、不同产区、季节^[13-14]等方面有关VOCs的研究,为绿茶优良茶树品种选育、品质提升提供了技术支撑。然而,针对绿茶贮藏中VOCs组成及影响因素的系统性研究鲜见报道。团队前期开展了不同类型绿茶(龙井茶、毛峰、绿宝石、晒青及三杯香)贮藏过程中香气成分组成的研究^[15]。

气相离子迁移谱(Gas Chromatography-Ion-Mobility Spectrometry, GC-IMS)是近年来新兴的挥发性风味物质分离和检测技术,具有高分辨率、高灵敏度、分析高效、操作简便等特点,已应用于食品风味分析^[16]、等级鉴别^[17]、品质检测^[18]等多个领域。已有研究者采用GC-IMS开展了绿茶^[19-20]、红茶^[21-22]、黑茶^[23]、乌龙茶^[24]等在品种、加工方面有关VOCs的研究。

本文以炒青绿茶为研究对象,采用GC-IMS技术分析不同包装的炒青绿茶贮藏过程中VOCs的变化规律,以期为炒青绿茶的科学贮藏和品质控制提供技术参考,也为基于GC-IMS技术的绿茶风味信息指纹图谱数据库建设提供参考。

收稿日期: 2022-12-25

基金项目: 浙江省“三农九方”科技协作计划项目(2022SNJF38); “十三五”国家重点研发计划项目(2017YFD0400804)

第一作者: 苏小琴,女,硕士,助理研究员

通信作者: 杨秀芳 E-mail: teatesting@sina.com

1 材料与方法

1.1 材料

供试茶样为炒青绿茶平水日铸(一级),购自绍兴市玉龙茶业有限公司。

1.2 仪器与设备

FlavourSpec®风味分析仪质量控制系统配有 CTC 自动顶空进样器, MXT-5-CB-1 色谱柱(15 mm×0.53 mm×3 μm, 德国 CS-Chromatographie Service GmbH); Laboratory Analytical Viewer (LAV) 分析软件及 Library Search 定性软件的 GC-IMS 系统, 德国 G.A.S 公司; SHH-SDT 综合药品稳定性试验箱, 重庆永生仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 样品处理 炒青绿茶采用 A (铝箔+脱氧剂)、B(铝箔)两种包装方式进行预包装, 每个包装 50 g, 在温度 15 °C、相对湿度 65% 条件下贮藏, 分别在第 0, 3, 6 和 10 个月取样, 样品编号为: ck、A3、A6、A10、B3、B6、B10。称取 2g 绿茶置于 20 mL 顶空瓶中, 80 °C 孵育 15 min 后进样, 每组样品取 3 个重复。

1.3.2 GC-IMS 分析方法

1.3.2.1 顶空进样条件 称取 2 g 绿茶置于 20 mL 顶空瓶中, 密闭封口后进行检测。顶空孵育温度 80 °C; 孵育时间 15 min; 进样量 200 μL; 分析时间 30 min。

1.3.2.2 GC 条件 色谱柱: MXT-5-CB-1 色谱柱, 温度: 60 °C; 运行时间: min; 载气(高纯 N₂, 纯度 ≥99.999%); 流速: 初始 2 mL/min, 保持 2 min 后在 10 min 内线性增至 mL/min, 之后在 20 min 内线性增至 100 mL/min。

1.3.2.3 IMS 条件 漂移管长度: 5 cm; 管内线性电压: 400 V/cm; 漂移管温度: 45 °C; 漂移气为高纯 N₂(纯度 ≥99.999%); 流速: 150 mL/min; IMS 探测器温度: 45 °C。

1.4 数据处理

采用设备自带的 LAV 分析软件及 Library Search 定性软件对炒青绿茶贮藏中的挥发性化合物进行采集和鉴定, 运用 LAV 中插件 Gallery Plot 进行 GC-IMS 指纹图谱的对比。通过比较保留时间和漂移时间, 计算每种化合物的保留指数, 通过

GC-IMS 库进行匹配从而对化合物进行定性。化合物含量为归一化后的相对含量。平行分析 3 份样品。

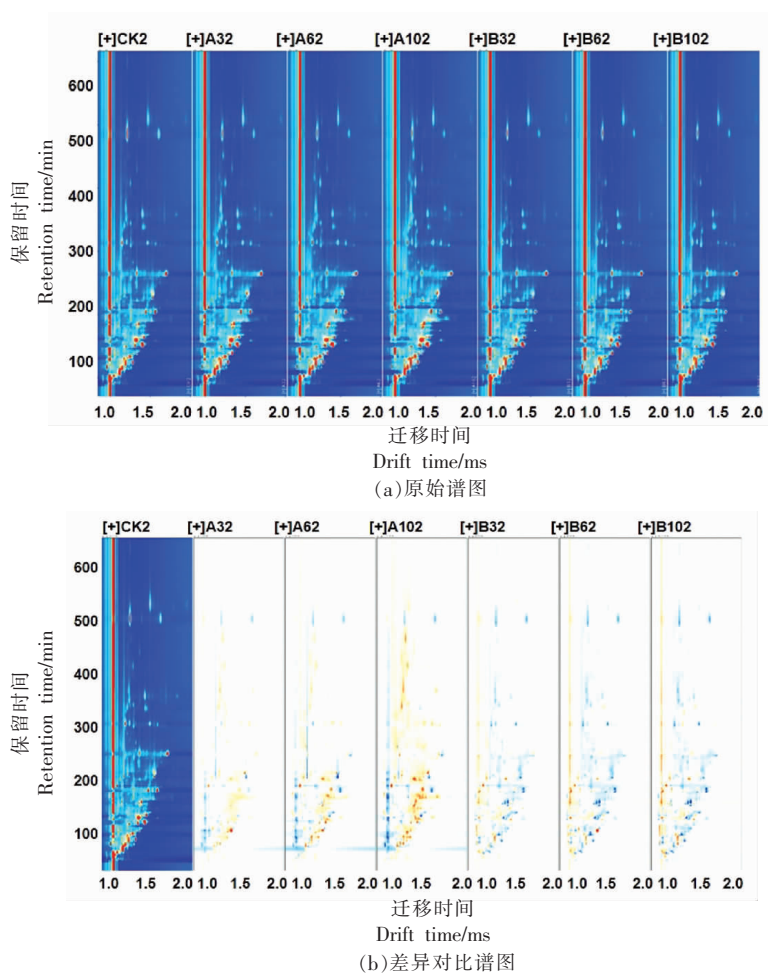
2 结果与分析

2.1 绿茶贮藏中 GC-IMS 谱图分析

利用 GC-IMS 技术得到了不同包装条件下绿茶挥发性有机化合物的二维形态图(图 1), 纵坐标表示保留时间, 横坐标表示漂移时间, 红色垂直线表示反应离子峰(reaction ion peak, RIP), 离子峰两侧的每个点代表一种挥发性有机物, 颜色的深浅表示含量的高低。图 1a 可知, 绿茶贮藏中 VOCs 可通过 GC-IMS 技术实现较好地分离, 不同贮藏期挥发性成分含量出现升高或降低, 显示出较明显的差异。图 1b 中表示浓度相同的物质颜色相抵消呈白色, 蓝色代表该物质浓度低于参比样品浓度, 蓝色越深, 表示浓度越低; 红色代表该物质浓度高于参比样品浓度, 红色越深, 表示该物质浓度越高, 由此可知, 随着贮藏时间延长, 炒青绿茶的 VOCs 浓度整体呈下降趋势。

2.2 不同包装绿茶贮藏中风味物质的定性分析

不同包装绿茶贮藏样品共检测出 86 种挥发性组分, 根据风味仪软件内置的 NIST 2014 气相保留指数数据库与 G.A.S. 的 IMS 迁移时间数据库, 可以明确性的挥发性成分共有 59 种(表 1), 主要包括醛类 28 种, 酮类 7 种, 醇类 9 种, 酯类 9 种, 杂环类 4 种, 酸类 1 种, 含硫化合物 1 种。这一结果与龙立梅等^[25]在名优绿茶中定性出的特征香气化合物一致(主要为醛类、醇类、酯类和酮类等)。被检测到的醛类物质主要有壬醛、庚醛、己醛、辛醛、苯甲醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛等。壬醛有玫瑰花香、蜜蜡花香, 庚醛、己醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛带有清香、果香, 苯甲醛具有杏仁香, 这些都是绿茶香气形成的重要醛类物质^[26]。醇类化合物是炒青绿茶重要的香气成分, 鉴定的不饱和醇有 1-辛烯-3-醇、饱和醇有正己醇、正戊醇。酯类主要有带果香、花香的己酸甲酯和苯甲酸甲酯。鉴定的酮类主要为 2-庚酮(M)、1-辛烯-3-酮与炒青绿茶甜香、栗香有关, 6-甲基-5-庚烯-2-酮呈花香特征。



注:CK2、A32、A62、A102 分别代表对照, 铝箔协同脱氧剂包装贮藏 3 个月、6 个月、10 个月; B32、B62、B102 分别代表铝箔袋包装贮藏 3 个月、6 个月、10 个月。

图 1 不同包装绿茶贮藏中挥发性有机物的 GC-IMS 二维谱图

Fig.1 Two dimensional GC-IMS spectra of VOCs of fried green tea with different package during storage

表 1 不同包装炒青绿茶贮藏中挥发性有机物定性分析

Table 1 Qualitative analysis of VOCs in fried green tea with different package during storage

编号	化合物名称	CAS 号	分子式	分子质量	保留指数	保留时间/s	漂移时间/ms
1	正壬醛(M)	124-19-6	C ₉ H ₁₈ O	142.0	1 106.4	508.01	1.48
2	正壬醛(D)	124-19-6	C ₉ H ₁₈ O	142.0	1 107.1	509.11	1.94
3	苯甲酸甲酯(M)	93-58-3	C ₈ H ₈ O ₂	136.2	1 093.8	485.94	1.21
4	苯甲酸甲酯(D)	93-58-3	C ₈ H ₈ O ₂	136.2	1 093.8	485.94	1.61
5	反-2-辛烯醛	2548-87-0	C ₈ H ₁₄ O	126.2	1 059.9	431.61	1.34
6	(E,E)-2,4-辛二烯醛	30361-28-5	C ₈ H ₁₂ O	124.2	1 104.4	504.36	1.27
7	苯乙醛	122-78-1	C ₈ H ₈ O	120.2	1 044.5	408.93	1.25
8	(E,E)-2,4-庚二烯醛(M)	4313-03-5	C ₇ H ₁₀ O	194.2	1 015.1	368.87	1.19
9	(E,E)-2,4-庚二烯醛(D)	4313-03-5	C ₇ H ₁₀ O	194.2	1 014.0	367.49	1.62
10	辛醛(M)	124-13-0	C ₈ H ₁₆ O	128.2	1 007.7	359.44	1.40
11	辛醛(D)	124-13-0	C ₈ H ₁₆ O	128.2	1 007.7	359.44	1.83
12	苯甲醛(M)	100-52-7	C ₇ H ₆ O	106.1	962.6	313.91	1.15
13	苯甲醛(D)	100-52-7	C ₇ H ₆ O	106.1	963.8	314.95	1.47

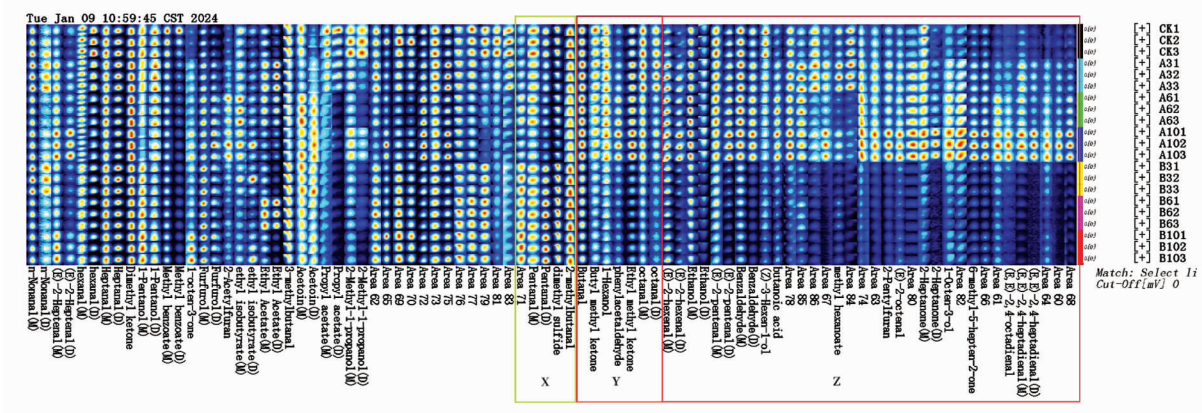
(续表 1)

编号	化合物名称	CAS 号	分子式	分子质量	保留指数	保留 时间/s	漂移 时间/ms
14	反-2-庚醛(M)	18829-55-5	C ₇ H ₁₂ O	112.2	957.6	309.50	1.26
15	反-2-庚醛(D)	18829-55-5	C ₇ H ₁₂ O	112.2	958.2	310.02	1.67
16	1-辛烯-3-酮	4312-99-6	C ₈ H ₁₄ O	126.2	983.0	332.61	1.27
17	1-辛烯-3-醇	3391-86-4	C ₈ H ₁₆ O	128.2	985.1	334.63	1.16
18	6-甲基-5-庚-2-酮	152467-26-0	C ₈ H ₁₄ O ₂	142.2	992.1	341.29	1.18
19	(2-戊基呋喃)	3777-69-3	C ₉ H ₁₄ O	138.2	996.4	345.49	1.25
20	庚醛(M)	111-71-7	C ₇ H ₁₄ O	114.2	904.7	266.37	1.33
21	庚醛(D)	111-71-7	C ₇ H ₁₄ O	114.2	902.6	264.79	1.70
22	反-2-己烯醛(M)	505-57-7	C ₆ H ₁₀ O	98.1	852.4	234.47	1.18
23	反-2-己烯醛(D)	505-57-7	C ₆ H ₁₀ O	98.1	852.4	234.47	1.52
24	糠醛(M)	98-01--1	C ₅ H ₄ O ₂	96.1	832.7	224.05	1.09
25	糠醛(D)	98-01--1	C ₅ H ₄ O ₂	96.1	832.1	223.74	1.34
26	己酸甲酯	106-70-7	C ₇ H ₁₄ O ₂	130.2	926.1	283.05	1.29
27	2-乙酰呋喃	1192-62-7	C ₆ H ₆ O ₂	110.1	918.6	277.05	1.11
28	2-庚酮(M)	110-43-0	C ₇ H ₁₄ O	114.2	893.7	258.22	1.26
29	3-庚酮(D)	110-43-0	C ₇ H ₁₄ O	114.2	891.5	256.65	1.63
30	正己醇	111-27-3	C ₆ H ₁₄ O	102.2	870.5	244.52	1.33
31	顺-3-己烯-1-醇	928-96-1	C ₆ H ₁₂ O	100.2	857.7	237.39	1.23
32	己醛(M)	66-25-1	C ₆ H ₁₂ O	100.2	793.1	204.43	1.26
33	己醛(D)	66-25-1	C ₆ H ₁₂ O	100.2	793.7	204.71	1.57
34	1-戊醇(M)	71-41-0	C ₅ H ₁₂ O	88.2	768.3	193.16	1.26
35	1-戊醇(D)	71-41-1	C ₅ H ₁₃ O	89.2	762.8	190.73	1.52
36	丁酸	1977-33-9	C ₁₀ H ₁₉ NO ₅	233.3	826.5	220.84	1.16
37	反-2-戊烯醛(M)	1576-87-0	C ₅ H ₈ O	84.1	752.5	186.34	1.11
38	反-2-戊烯醛(D)	1576-87-0	C ₅ H ₈ O	84.1	751.5	185.90	1.36
39	丁基甲基酮	591-78-6	C ₆ H ₁₂ O	100.2	781.6	199.09	1.19
40	二甲基硫醚	75-18-3	C ₂ H ₆ S	62.1	526.5	118.01	0.96
41	异丁酸乙酯(M)	97-62-1	C ₆ H ₁₂ O ₂	116.2	726.7	175.69	1.19
42	异丁酸乙酯(D)	97-62-2	C ₆ H ₁₂ O ₃	117.2	725.6	175.26	1.56
43	戊醛(M)	110-62-3	C ₅ H ₁₀ O	86.1	703	166.47	1.19
44	戊醛(D)	110-62-3	C ₅ H ₁₀ O	86.1	698.1	164.63	1.43
45	乙酸乙酯(M)	141-78-6	C ₄ H ₈ O ₂	88.1	615.8	140.11	1.10
46	乙酸乙酯(D)	141-78-6	C ₄ H ₈ O ₂	88.1	612.2	139.12	1.34
47	3-甲基丁醛	590-86-3	C ₅ H ₁₀ O	86.1	654.4	150.88	1.41
48	乙基甲基酮	78-93-3	C ₄ H ₈ O	72.1	593.3	134.16	1.25
49	二甲基酮	67-64-1	CH ₃ COCH ₃	58.1	483.4	108.65	1.12
50	乙醇(M)	64-17-5	C ₂ H ₆ O	46.1	454.8	102.84	1.05
51	乙醇(D)	64-17-6	C ₂ H ₇ O	47.1	459.1	103.69	1.13
52	丁醛	123-72-8	C ₄ H ₈ O	72.1	556.2	124.95	1.28
53	2-甲基丁醛	96-17-3	C ₅ H ₁₀ O	86.1	669.4	155.28	1.40
54	乙偶姻(M)	513-86-0	C ₄ H ₈ O ₂	88.1	714.4	170.87	1.05
55	乙偶姻(D)	513-86-1	C ₄ H ₈ O ₃	89.1	711.5	169.73	1.33
56	乙酸丙酯(M)	109-60-4	C ₅ H ₁₀ O ₂	102.1	710.8	169.45	1.16
57	乙酸丙酯(D)	109-60-4	C ₅ H ₁₀ O ₂	102.1	709.3	168.88	1.48
58	2-甲基丙醇(M)	78-83-1	CH ₃ CH(CH ₃)CH ₂ OH	74.0	628.3	143.51	1.17
59	2-甲基丙醇(D)	78-83-1	CH ₃ CH(CH ₃)CH ₂ OH	74.0	626.3	142.95	1.36

2.3 不同包装绿茶贮藏中风味物质变化的指纹图谱分析

图2 指纹图谱表明,不同包装绿茶随着贮藏时间延长,VOCs 呈现较大差异。红色框 Z 中的物质含量在 A 包装(铝箔+脱氧剂)下远高于 B(铝箔)包装,具体包括(*E,E*)-2,4-庚二烯醛、(*E,E*)-2,4-辛二烯醛、(*E*)-2-辛烯醛、(*E*)-2-己烯醛(*E*)-2-戊烯醛、6-甲基-5-庚烯-2-酮、2-正戊基呋喃、己酸甲酯、1-辛烯-3-醇、2-庚酮、丁酸、苯甲醛、顺-3-己烯醇等。红色框 Y 中的风味物质含量在 A 包装下略高于 B 包装,主要有辛醛、2-己酮、苯乙醛、1-己醇、2-丁酮和丁醛等。而 2-甲基丁醛、二甲基硫醚和戊醛等风味物质含量在 A 包装茶叶中含量略低于 B 包装。王梦琪等^[27]研究报道,2-正戊基呋喃绿茶“清香”香气品质的形成具有重要贡献。(*E,E*)-2,4-庚二烯醛是炒青绿茶关键成

分^[28],苯甲醛、苯乙醛是栗香型绿茶的关键香气成分^[29]。6-甲基-5-庚烯-2-酮主要呈现出花香特征^[30],2-庚酮带有奶酪香,可能与绿茶的甜香形成有关。1-辛烯-3-醇带有青气、蘑菇味,可能与其它化合物共同作用形成茶叶特征性香气^[31]。己酸甲酯是新龙井茶特有的成分^[32]。1-己醇具有草本香,是区分不同季节绿茶的关键差异性化合物^[33]。甲基硫醚是绿茶的特征性成分,是甲基丙醛氧化后经一系列反应分解生成的^[34]。综上表明,炒青绿茶在温度 15 ℃、相对湿度 65%条件下贮藏 12 个月未出现陈味物质,但 A 包装更有利于绿茶贮藏期 VOCs 的保留,这是因为脱氧包装延缓或抑制了内含成分的氧化缩合或氧化降解,进一步说明绿茶贮藏中包装条件是影响其风味物质保留的重要影响因素。



注:每一行代表一个样品所选择的所有区域,每一列是不同样品间同一区域的对比;部分物质后面有 M、D,是同一个物质的单体(Monomer)与二聚体(Dimer);数字编号 60-86 代表未鉴定出的峰。

图2 不同包装条件下绿茶贮藏期挥发性有机物的指纹图谱

Fig.2 The gallery plots of VOCs in fried green tea with different package during storage

3 结论

本研究采用 GC-IMS 技术对炒青绿茶贮藏过程中的挥发性风味物质进行分析,绿茶贮藏中 VOCs 可实现较好地分离,初步建立了不同包装炒青绿茶贮藏的 GC-IMS 指纹图谱,为鉴别和评价绿茶贮藏品质提供了一种快速可靠的技术手段。定性分析了 59 种挥发性成分,明确了不同包装条件炒青绿茶贮藏中主要香气化合物为醛类、醇类、酯类和酮类。醛类物质主要有带玫瑰花香壬醛,带清香、果香的庚醛、己醛、(*E,E*)-2,4-庚二烯醛和

杏仁香的苯甲醛。醇类主要有带青气、蘑菇味的 1-辛烯-3-醇,正己醇、正戊醇。酯类主要有带果香、花香的己酸甲酯、苯甲酸甲酯。酮类主要为带甜香、栗香的 2-庚酮(M)、1-辛烯-3-酮,带花香的 6-甲基-5-庚烯-2-酮。通过不同包装绿茶贮藏中风味物质变化的指纹图谱对比分析,炒青绿茶在温度 15 ℃、相对湿度 65%条件下贮藏 12 个月未出现陈味物质,采用铝箔协同脱氧剂包装的炒青绿茶 VOCs 保留更稳定,其中带清香(*E,E*)-2,4-庚二烯醛、庚醛、带栗香苯甲醛、苯乙醛,带花香壬

醛、6-甲基-5-庚烯-2-酮和带奶酪香 2-庚酮等 VOCs 含量也更高。然而,随着贮藏时间延长,绿茶 VOCs 浓度整体呈下降趋势。说明通过单一的包装条件来保障绿茶贮藏过程中 VOCs 的效果有限。在后期研究中,一方面开展温度、湿度、氧气等不同贮藏条件下绿茶风味物质的变化,为绿茶贮藏多因子协同调控提供理论依据;另一方面增加不同类型绿茶贮藏中 GC-IMS 指纹图谱,进一步对现有图谱库进行补充,以期对生产中不同类型绿茶贮藏品质评价和质量控制提供理论依据、数据和技术支持。

参 考 文 献

- [1] FALLAH S, MUSA -VELOSO K, CAO J, et al. Liver biomarkers in adults: Evaluation of associations with reported green tea consumption and use of green tea supplements in U.S. NHANES[J]. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 2021, 129(3): 105087.
- [2] XU C H, LU L, YANG T M, et al. *In-vitro* bioactivity evaluation and non-targeted metabolomic analysis of green tea processed from different tea shoot maturity [J]. Lebensmittel -Wissenschaft und -Technologie, 2021, 152(9): 112234.
- [3] ABE S K, INOUE M. Green tea and cancer and cardiometabolic diseases: a review of the current epidemiological evidence [J]. European Journal of Clinical Nutrition, 2020, 75(Suppl 4): 1-12.
- [4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 绿茶第 1 部分: 基本要求: GB/T14456.1-2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Green Tea-Part 1: Basic requirement: GB/T14456.1-2017[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [5] ZHU Y, LV H P, DAI W D, et al. Separation of aroma components in Xihu Longjing tea using simultaneous distillation extraction with comprehensive two-dimensional gas chromatography-time-of-flight mass spectrometry [J]. Separation and Purification Technology, 2016, 164(5): 146-154.
- [6] 宛晓春. 茶叶生物化学[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- WAN X C. Tea biochemistry[M]. Third Edition. Beijing: China Agriculture Press, 2003.
- [7] 倪娟贞. 绿茶挥发性物质及其香型的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2016.
NI J Z. Study on volatiles and scent of green tea [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2016.
- [8] ZHU Y, LV H P, SHAO C Y, et al. Identification of key odorants responsible for chestnut-like aroma quality of green teas[J]. Food Research International, 2018, 108(6): 74-82.
- [9] LIAO X L, YAN J N, WANG B, et al. Identification of key odorants responsible for cooked corn-like aroma of green teas made by tea cultivar 'Zhonghuang 1'[J]. Food Research International, 2020, 136(10): 109355.
- [10] 马林龙, 刘艳丽, 曹丹, 等. 湖北优良茶树品系绿茶香气成分分析[J]. 食品科学, 2019, 40(10): 251-256.
MA L L, LIU Y L, CAO D, et al. Analysis of aroma components of green teas made from leaves of high-quality tea strains in Hubei Province[J]. Food Science, 2019, 40(10): 251-256.
- [11] ZHU Y, YAN H, ZHANG Z F, et al. Assessment of the contribution of chiral odorants to aroma property of baked green teas using an efficient sequential stir bar sorptive extraction approach [J]. Food Chemistry, 2021, 365(1/2): 130615.
- [12] QIAO D H, MI X Z, AN Y L, et al. Integrated metabolic phenotypes and gene expression profiles revealed the effect of spreading on aroma volatiles formation in postharvest leaves of green tea[J]. Food Research International, 2021, 149(2): 110680.
- [13] GUO X Y, HO C T, SCHWAB W, et al. Aroma profiles of green tea madewith fresh tea leaves plucked in summer[J]. Food Chemistry, 2021, 363(14): 130328.
- [14] 田甜, 韦锦坚, 文金华, 等. 不同季节凌云白毫绿茶的香气成分差异分析[J]. 食品科学, 2020, 41(22): 252-259.
TIAN T, WEI J J, WEN J H, et al. Seasonal variability of aroma components of Lingyun Pekoe green tea[J]. Food Science, 2020, 41(22): 252-259.
- [15] 王静, 刘相真, 王瑾, 等. 五种绿茶在贮藏期间的香气变化[J]. 中国茶叶加工, 2020(4): 29-33.

- WANG J, LIU X Z, WANG J, et al. Changes of five green tea aroma during storage[J]. *China Tea Proc Essing*, 2020(4): 29-33.
- [16] LI S Y, YANG H F, TIAN H H, et al. Correlation analysis of the age of brandy and volatiles in brandy by gas chromatography-mass spectrometry and gas chromatography-ion mobility spectrometry[J]. *Microchemical Journal*, 2020, 157(9): 104948.
- [17] LV W S, LIN T, REN Z Y, et al. Rapid discrimination of *Citrus reticulata* 'Chachi' by headspace-gas chromatography-ion mobility spectrometry fingerprints combined with principal component analysis[J]. *Food Research International*, 2020, 131(13): 108985.
- [18] 谷航, 陈通, 陈明杰, 等. 气相-离子迁移谱联用技术评定大米霉变程度的应用研究[J]. *中国粮油学报*, 2019, 34(9): 118-124.
- GU H, CHEN T, CHEN M J, et al. Application of Gas Phase-Ion Migration Spectroscopy (GC-IMS) to evaluate the degree of mildew in rice[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2019, 34(9): 118-124.
- [19] 刘亚芹, 王辉, 黄建琴, 等. GC-IMS在绿茶挥发性物质定性分析中的应用[J]. *中国茶叶加工*, 2020(1): 55-59.
- LIU Y Q, WANG H, HUANG J Q, et al. Application of GC-IMS in qualitative analysis of volatile compounds in green tea[J]. *China Tea Processing*, 2020(1): 55-59.
- [20] 刘学艳, 王娟, 彭云, 等. 基于GC-IMS对勐海县晒青毛茶的挥发性组分分析[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(14): 233-240.
- LIU X Y, WANG J, PENG Y, et al. Volatile Component Analysis of Sun-dried Green Tea in Menghai county based on GC-IMS[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(14): 233-240.
- [21] LIU H C, XU Y J, WU J, et al. GC-IMS and olfactometry analysis on the tea aroma of Yingde black teas harvested in different seasons[J]. *Food Research International*, 2021, 150(1): 110784.
- [22] 刘学艳, 王娟, 彭云, 等. 基于电子鼻与GC-IMS技术云南昌宁红茶香气研究[J]. *茶叶通讯*, 2021, 48(1): 80-89.
- LIU X Y, WANG J, PENG Y, et al. Study on the aroma of Yunnan Changning Black Tea based on electronic nose and gas chromatography-ion mobility spectroscopy[J]. *Tea Communication*, 2021, 48(1): 80-89.
- [23] 李俊杰, 徐元昊, 陈梦娟, 等. 手筑茯砖茶加工过程中挥发性组分变化分析[J]. *食品科学*, 2020, 41(24): 144-154.
- LI J J, XU Y H, CHEN M J, et al. Analysis of Changes in volatile components during processing of handmade Fuzhuan Tea[J]. *Food Science*, 2020, 41(24): 144-154.
- [24] GUO X Y, SCHWAB W, HO C T, et al. Characterization of the aroma profiles of oolong tea made from three tea cultivars by both GC-MS and GC-IMS[J]. *Food Chemistry*, 2021, 376(4): 131933.
- [25] 龙立梅, 宋沙沙, 李柰, 等. 3种名优绿茶特征香气成分的比较及种类判别分析[J]. *食品科学*, 2015, 36(2): 114-119.
- LONG L M, SONG S S, LI N, et al. Comparisons of characteristic aroma components and cultivar discriminant analysis of three varieties of famous green tea[J]. *Food Science*, 2015, 36(2): 114-119.
- [26] ZHU J C, NIU Y W, XIAO Z B. Characterization of the key aroma compounds in Laoshan green teas by application of odour activity value (OAV), gas chromatography-mass spectrometry-olfactometry (GC-MS-O) and comprehensive two-dimensional gas chromatography mass spectrometry (GC×GC-qMS)[J]. *Food Chemistry*, 2021, 339(3): 128136.
- [27] 王梦琪, 朱荫, 张悦, 等. “清香”绿茶的挥发性成分及其关键香气成分分析[J]. *食品科学*, 2019, 40(22): 219-228.
- WANG M Q, ZHU Y, ZHANG Y, et al. Analysis of volatile composition and key aroma compounds of green teas with fresh scent flavor[J]. *Food Science*, 2019, 40(22): 219-228.
- [28] WANG M Q, MA W J, SHI J, et al. Characterization of the key aroma compounds in Longjing tea using stir bar sorptive extraction (SBSE) combined with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), gas chromatography-olfactometry (GC-O), odour activity value (OAV), and aroma recombination[J]. *Food Research International*, 2020, 130(14): 108908.
- [29] 尹鹏, 肖智中, 于飞, 等. 栗香型绿茶研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(3): 219-224.
- YIN P, XIAO Z Z, YU F, et al. Research progress of chestnut-like aroma quality of green tea[J]. *Food Research and Development*, 2020, 41(3): 219-224.

- [30] GONG X W, HAN Y, ZHU J C, et al. Identification of the aroma-active compounds in Longjing tea characterized by odor activity value (OAV), gas chromatography-olfactometry (GC-O) and aroma recombination[J]. *International Journal of Food Properties*, 2017, 20(suppl 1): S1107-S1121.
- [31] 张铭铭, 尹洪旭, 邓余良, 等. 基于 HS-SPME/GC×GC-TOFMS/OAV 不同栗香特征绿茶关键香气组分分析[J]. *食品科学*, 2020, 41(2): 244-252.
- ZHANG M M, YIN H X, DENG Y L, et al. Analysis of key odorants responsible for different chestnut-like aromas of green teas based on headspace[J]. *Food Science*, 2020, 41(2): 244-252.
- [32] 舒畅, 余远斌, 肖作兵, 等. 新、陈龙井茶关键香气成分的 SPME-GC-MS-GC-O-OAV 研究[J]. *食品工业*, 2016, 37(9): 279-285.
- SHU C, SHE Y B, XIAO Z B, et al. Investigations on the aroma active compounds in fresh and aged Longjing tea by SPME/GC-MS/GC-O/OAV[J]. *The Food Industry*, 2016, 37(9): 279-285.
- [33] KANG S Y, 朱荫, 郑新强, 等. 不同季节绿茶香气成分的判别与聚类分析[J]. *食品科学*, 2018, 39(14): 268-275.
- KANG S Y, ZHU Y, ZHENG X Q, et al. Multivariate statistical analysis of volatiles compounds in green teas from different harvesting seasons[J]. *Food Science*, 2018, 39(14): 268-275.
- [34] HO C T, ZHENG X, LI S M. Tea aroma formation[J]. *Food Science and Human Wellness*, 2015, 4(1): 9-27.

Analysis of Flavor Compounds Changes during Storage of Fried Green Tea

Su Xiaoqin^{1,2}, Kong Junhao^{1,2}, Du Yingying^{1,3}, Diao Chunhua^{1,2}, Zuo Xiaobo^{1,2}, Zou Xinwu^{1,3}, Yang Xiufang^{1,2*}

¹Hangzhou Tea Research Institute, CHINA COOP, Hangzhou 310016

²Zhejiang Key Laboratory of Transboundary Applied Technology for Tea Resource, Hangzhou 310016

³National Center for Tea Quality Inspection and Testing, Hangzhou 310016

Abstract Gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS) was performed to investigate the changes of volatile organic compounds (VOCs) in fried green tea with different packaging during storage. The results showed that a total of 86 VOCs were detected by GC-IMS, of which 59 VOCs were identified, including 28 aldehydes, 7 ketones, 9 alcohols, 9 esters, 4 heterocyclic compounds, 1 acids and 1 sulfur. With the extension of storage time, the content of fried green tea VOCs decreased. More importantly, the VOCs of green tea were more stable in packaging of aluminum with deoxidizer than packaging of aluminum. And the content of (*E, E*)-2,4-heptadienal and heptanal with clean and refreshing, benzaldehyde and phenylacetaldehyde with chestnut, nonanal and 6-methyl-5-hepten-2-one with flowery, 2-heptanone with cheese flavor and etc were higher in packaging of aluminum with deoxidizer. These study supply a theoretical basis for the flavor quality control of fried green tea during storage. The two-dimensional spectrogram showed that VOCs of fried green tea with different packaging during storage could be well separated. The GC-IMS fingerprints of fried green tea with different packaging were preliminarily established, which provided a novel idea for the rapid evaluation of the fried green tea quality during storage.

Keywords fried green tea; storage; flavor compounds; gas chromatography-ion mobility spectrometry