

引用格式:

鲍肃都, 安勤, 陈宏宇, 刘洋, 陈国和, 黄纯勇, 胡凯玥, 陈金华, 刘仲华, 陈艳, 黄建安. 不同施肥处理对黄金茶鲜叶挥发性成分及其制成绿茶品质的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2025, 51(2): 24–35.

BAO S D, AN Q, CHEN H Y, LIU Y, CHEN G H, HUANG C Y, HU K Y, CHEN J H, LIU Z H, CHEN Y, HUANG J A. Effects of different fertilization treatments on volatile components in fresh leaves of Huangjin tea and on quality of the processed green tea[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2025, 51(2): 24–35.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



不同施肥处理对黄金茶鲜叶挥发性成分 及其制成绿茶品质的影响

鲍肃都^{1,2}, 安勤^{1,2}, 陈宏宇^{1,2}, 刘洋^{1,2}, 陈国和^{1,2}, 黄纯勇³,
胡凯玥⁴, 陈金华^{2,5}, 刘仲华^{1,2,5}, 陈艳⁶, 黄建安^{1,2,5*}

(1.茶学教育部重点实验室, 湖南 长沙 410128; 2.国家植物功能成分利用工程技术研究中心, 湖南 长沙 410128;
3.湘西国家农业科技园区管理委员会, 湖南 花垣 416400; 4.南京农业大学园艺学院, 江苏 南京 210095; 5.湖南省
省植物功能成分利用协同创新中心, 湖南 长沙 410128; 6.花垣县农业农村局, 湖南 花垣 416400)

摘要: 为探究不同施肥处理对黄金茶1号鲜叶挥发性成分及所制绿茶的感官特征的影响, 优化施肥方案, 本研究以5%通用有机肥、10%专用有机肥、松尔肥、松达生物有机肥以及40%复合肥组成7个不同的施肥处理, 以不施肥为对照, 采用顶空固相微萃取(HS-SPME)和全二维气相色谱-四极杆-飞行时间质谱分析技术(GC×GC-QTOF-MS)检测不同施肥处理下黄金茶1号鲜叶的挥发性组分, 并对鲜叶制作的绿茶进行感官审评和主要生化成分分析。结果显示: 黄金茶鲜叶中共检测出164种挥发性成分, 其中以醇类(20.99%~37.20%)、醛类(29.67%~39.81%)和碳氢类(15.69%~25.04%)为主; 施肥种类与施肥量影响挥发性成分的积累, 与5%通用有机肥相比, 10%专用有机肥有利于鲜叶挥发性成分的积累; 在10%专用有机肥处理中, 6 000 kg/hm²的施肥量相比3 000 kg/hm²的施肥量有利于碳氢类化合物和醇类化合物的积累; 施肥处理对鲜叶所制绿茶的生化成分有影响, 其中酚氨比降低有利于黄金茶醇厚鲜爽品质的形成; 施肥种类和施肥量会影响鲜叶的挥发性成分积累以及成品茶的风味, 以6 000 kg/hm²的10%专用有机肥搭配600 kg/hm²的40%复合肥效果最优。

关键词: 黄金茶; 施肥; 挥发性成分; 绿茶品质

中图分类号: S571.1; TS207.3

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2025)02-0024-12

Effects of different fertilization treatments on volatile components in fresh leaves of Huangjin tea and on quality of the processed green tea

BAO Sudu^{1,2}, AN Qin^{1,2}, CHEN Hongyu^{1,2}, LIU Yang^{1,2}, CHEN Guohe^{1,2}, HUANG Chunyong³,
HU Kaiyue⁴, CHEN Jinhua^{2,5}, LIU Zhonghua^{1,2,5}, CHEN Yan⁶, HUANG Jian'an^{1,2,5*}

(1.The Key Laboratory of Tea Science, Ministry of Education, Changsha, Hunan 410128, China; 2.National Engineering Research Center for the Utilization of Plant Functional Ingredients, Changsha, Hunan 410128, China; 3.Xiangxi National Agricultural Science and Technology Park Management Committee, Huayuan, Hunan 416400, China; 4.College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095, China; 5.Collaborative Innovation Center for the Utilization of Plant Functional Ingredients of Hunan Province, Changsha, Hunan 410128, China; 6.Huayuan County

收稿日期: 2024-05-20

修回日期: 2025-03-17

基金项目: 湘西州技术攻关“揭榜挂帅”项目(2022JBGS0007); 湖南省财政厅项目(湘财农指〔2020〕0013号); 国家茶叶产业技术体系(CARS-19)

作者简介: 鲍肃都(2000—), 男, 浙江温州人, 硕士研究生, 主要从事茶叶加工理论与新技术的研究, 19858162803@163.com; *通信作者, 黄建安, 博士, 教授, 主要从事茶叶加工与品质化学研究, jian7513@sina.com

Agriculture and Rural Bureau, Huayuan, Hunan 416400, China)

Abstract: In order to explore the impacts of different fertilization treatments on the volatile components of fresh leaves of Huangjin tea No.1 and the sensory characteristics of the green tea made from Huangjin tea, as well as to optimize the fertilization treatment plan, Huangjin tea was treated with 7 fertilization schemes, such as applying 5% general organic fertilizer, applying 10% special organic fertilizer, applying Song'er fertilizer, applying Songda biological organic fertilizer and applying 40% compound fertilizer, and with different fertilization amounts. No fertilizer was applied in the control. Headspace solid-phase microextraction(HS-SPME) and comprehensive two-dimensional gas chromatography-quadrupole-time-of-flight-mass spectrometry(GC×GC-QTOF-MS) were adopted to detect the volatile components in the fresh leaves of Huangjin tea No.1 under different fertilization treatments. Meanwhile, sensory evaluation and analysis of the main biochemical components were conducted on the green tea made from these fresh leaves. The results showed that a total of 164 volatile components were detected in the fresh leaves of Huangjin tea, mainly including alcohols (accounting for 20.99%-37.20%), aldehydes(29.67%-39.81%) and hydrocarbons(15.69%-25.04%). The types and amounts of fertilizers applied affected the accumulation of volatile components. Compared with the 5% general organic fertilizer, the 10% special organic fertilizer was more conducive to the accumulation of volatile components in fresh leaves. Among the treatments with 10% special organic fertilizer, the fertilization amount of 6 000 kg/hm² was more beneficial to the accumulation of hydrocarbon compounds and alcohol compounds compared with 3 000 kg/hm². Sensory evaluation and main biochemical components detection conducted on the prepared green tea showed the biochemical components of the green tea made from the fresh leaves with fertilization treatments had changed. Among them, the decrease in the phenol-ammonia ratio was conducive to the formation of the mellow and fresh quality of Huangjin tea. The types and amounts of fertilizers applied would affect the accumulation of volatile components in fresh leaves and the flavor of the finished tea. The combination of 6 000 kg/hm² of 10% special organic fertilizer and 600 kg/hm² of 40% compound fertilizer had the best effect.

Keywords: Huangjin tea; fertilization; volatile components; quality of green tea

保靖黄金茶产于湘西土家族苗族自治州，是氨基酸茶树资源品种，具有“香、绿、鲜、浓”的特点，不仅产量高、持嫩性强，而且其氨基酸含量达同期一般绿茶品种的2倍以上^[1]。保靖县独特的生态条件使得保靖黄金茶具有独特的品质^[2]。

茶树的生长受温度、光照、地形、水肥等因素的影响，其中水肥直接影响茶树的生长以及茶叶的产量和品质^[3]。有研究^[4]表明，施用不同比例的有机肥或适当减少化肥量对提升茶叶产量与品质均有显著效果。也有研究^[5-6]表明土壤中氮素养分的空间异质性会显著影响茶叶中氨基酸含量，且土壤的养分指标与绿茶品质及化学成分间存在一定的线性关系。前人^[7-8]研究认为施用有机肥能提高茶叶产量和茶叶品质，其中以茶树专用肥效果最佳。目前关于黄金茶的研究多数集中在品种^[9]、季节^[10]、加工条件^[11]的研究，很少涉及施肥处理对茶树鲜叶的挥发性化合物及茶叶品质的影响。本研究以湘西土家族苗族自治州花垣县石栏镇花垣十八洞黄金

茶农业科技有限公司茶园栽植6年的黄金茶1号为试验材料，制订不同的施肥方案，采用顶空固相微萃取(HS-SPME)和全二维气相色谱-四极杆-飞行时间质谱分析技术(GC×GC-QTOF-MS)以及感官审评等方法，对不同施肥方案的黄金茶鲜叶挥发性化合物及绿茶品质进行分析，以期为黄金茶的栽培管理优化提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试茶园及处理

试验地位于湘西土家族苗族自治州花垣县石栏镇花垣十八洞黄金茶农业科技有限公司茶园，海拔高度580 m，土质为黄壤。试验共设置8个不同施肥处理(表1)，处理1(PF1)至处理7(PF7)为试验组，处理8为对照组(CK)。每个处理均占地0.067 hm²。于2021年11月中旬对树龄6年的保靖黄金茶1号品种茶树施用不同组合与含量的有机、无机肥作为基肥，浅沟施肥。

表 1 8 个施肥方案

Table 1 Eight fertilization plans

处理	施肥方案
PF1	德润和5%有机肥(N、P、K的施用比例为12:9:29) 3 000 kg/hm ² 、40%复合肥(N、P ₂ O ₅ 、K ₂ O的施用比例为22:8:10) 450 kg/hm ²
PF2	德润和5%有机肥(N、P、K的施用比例为12:9:29) 6 000 kg/hm ² 、40%复合肥(N、P ₂ O ₅ 、K ₂ O的施用比例为22:8:10) 600 kg/hm ²
PF3	德润和10%有机肥(N、P、K的施用比例为17:17:15) 3 000 kg/hm ² 、40%复合肥(N、P ₂ O ₅ 、K ₂ O的施用比例为22:8:10) 450 kg/hm ²
PF4	德润和10%有机肥(N、P、K的施用比例为17:17:15) 6 000 kg/hm ² 、40%复合肥(N、P ₂ O ₅ 、K ₂ O的施用比例为22:8:10) 600 kg/hm ²
PF5	松尔肥(N、P、K的施用比例为25:5:15)375.0 kg/hm ² 、松达生物有机肥(有效菌2亿/g)1 500 kg/hm ²
PF6	松尔肥(N、P、K的施用比例为25:5:15)562.5 kg/hm ² 、松达生物有机肥(有效菌2亿/g)3 000 kg/hm ²
PF7	德润和10%有机肥(N、P、K的施用比例为17:17:15)6 000 kg/hm ² 、40%复合肥(N、P ₂ O ₅ 、K ₂ O的施用比例为22:8:10)600 kg/hm ² 、多元素矿物肥料450 kg/hm ²
CK	不施肥

1.2 材料与试剂

于2022年3月中旬对不同施肥处理的黄金茶鲜叶进行单采单制并以相同工艺参数加工成绿茶。

癸酸乙酯购自美国Sigma-Aldrich试剂公司；C5, C6, …, C25正构烷烃标准品购自美国Organic Standards Solutions International公司。

1.3 仪器与设备

数显型磁力加热搅拌器购自美国Talboys公司；8890 气相色谱仪和 7250 QTOF-MS 仪(配备 GC×GC-QTOF-MS 系统)均购自美国 Agilent 公司；SSM1800调制器购自雪景电子科技(上海)有限公司；SPME 固相微萃取手动进样器和 65 μm PDMS/DVB 萃取头购自美国 Supelco 公司；UV-2250 紫外分光光度计购自日本岛津公司；MS204TS/00 型电子分析天平购自美国 Mettler Toledo 公司；DSY-2-8 水浴锅购自常州国华有限公司；低速离心机购自北京雷勃尔离心机有限公司。

1.4 试验方法

1.4.1 挥发性成分测定

参考安勤等^[12]的方法进行 HS-SPME 和 GC×GC-QTOF-MS 分析。GC 条件：第1根色谱柱为 HP-5 MS(30 m×0.25 mm, 0.25 μm)；第2根色谱柱为 DB-17MS(2.89 m×0.18 mm, 0.18 μm)；调制柱为 C5~C30 的 HV 系列。升温程序：初温 40 °C 保持 1 min, 以 4 °C/min 升至 180 °C, 以 20 °C/min 升至 250 °C, 保持 1 min, 再以 20 °C/min 升至 350 °C, 保持 0.5 min;

载气(He, 99.999%)流速 3.0 mL/min, 分流比 10:1。MS 条件：电子轰击(EI)离子源；电子能量 70 eV；传输线温度 280 °C；离子源温度 200 °C；质量扫描范围 m/z 45~450。香气物质的定性：根据文献[13]中的方法和 C5 至 C25 正构烷烃混合物的定位时间，计算各色谱峰在 DB-5MS 色谱柱上的保留指数(RI)，结合 NIST08 标准谱库进行检索，对比基峰、质荷比和 RI 值，并结合文献[14]对挥发性成分进行定性。香气物质的定量：以质量浓度为 10 mg/L 的癸酸乙酯溶液为内标，在萃取香气时加入 10 μL 的癸酸乙酯，采用癸酸乙酯内标法定量^[15]，通过各组分的峰面积和癸酸乙酯的峰面积之比进行定量。

1.4.2 感官审评方法

感官审评小组由具有茶叶审评经验的 3 男 3 女组成，参照 GB/T 23776—2018《茶叶感官审评方法》中绿茶的审评方法及评分标准进行评审。

1.4.3 主要滋味成分测定

参照 GB/T 8305—2013《茶 水浸出物测定》测定水浸出物含量；参照 GB/T 8313—2018《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法》测定茶多酚含量；参照 GB/T 8314—2013《茶 游离氨基酸总量的测定》测定游离氨基酸含量；采用三氯化铝比色法测定黄酮苷含量；采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量。

1.5 数据分析方法

采用 Excel 2010、IBM SPSS Statistics 22、SIMCA 14.1、Origin 2021 等软件进行数据统计分

析及绘图。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理黄金茶1号鲜叶挥发性成分含量分析

采用HS-SPME和GC×GC-QTOF-MS对不同施肥处理黄金茶1号鲜叶中挥发性成分进行检测，结果如表2所示。不同施肥处理的黄金茶1号中共检测

出164种挥发性化合物，包括醇类化合物25种、酯类化合物17种、醛类化合物22种、酮类化合物15种、碳氢类化合物71种、杂环及芳香族化合物10种、吡咯类及其衍生物3种和酚类化合物1种。其中，PF1至PF7分别检测出120、144、138、154、147、138和145种挥发性化合物，CK检测出133种挥发性化合物。由表3可知，鲜叶的挥发性成分以醇类、醛类和碳氢类化合物为主，这些化合物多表现为花香、清香，构成了黄金茶香气的物质基础。

表 2 不同施肥处理的黄金茶鲜叶的挥发性化合物组分

Table 2 Volatile compound fractions in fresh leaves of Huangjin tea with different fertilization treatments												
类别	序号	挥发性成分	CAS号	保留 时间/min	质量分数/(ng·g ⁻¹)							
					PF1	PF2	PF3	PF4	PF5	PF6	PF7	CK
碳氢类	1	3,4-环氧-己烷	4468-66-0	4.85	—	265.39	215.89	221.86	148.50	160.43	162.59	149.04
	2	4,4-二甲基环戊烯	19037-72-0	4.92	96.00	126.35	—	8.22	18.55	17.34	12.17	17.04
	3	庚三烯	544-25-2	6.38	265.97	—	192.72	252.53	109.56	56.60	115.28	69.76
	4	正辛烷	111-65-9	7.18	18.78	—	3.83	5.16	4.68	2.36	—	—
	5	乙苯	100-41-4	9.18	56.80	38.20	—	37.44	6.34	7.38	—	—
	6	对二甲苯	106-42-3	9.45	88.21	70.34	84.92	72.80	21.36	24.75	36.33	44.15
	7	苯乙烯	100-42-5	10.18	82.27	83.76	76.52	58.12	15.65	21.30	32.28	26.50
	8	邻二甲苯	95-47-6	10.25	68.79	22.70	17.63	53.61	13.21	11.29	10.56	13.98
	9	正壬烷	111-84-2	10.45	2.98	1.87	—	2.10	0.82	—	1.30	1.60
	10	四氯乙烷	79-34-5	10.92	3.56	2.64	2.94	2.65	1.18	—	1.42	1.13
	11	α-蒎烯	80-56-8	11.72	5.80	4.71	3.04	3.88	1.83	2.26	4.08	4.92
	12	邻乙基甲苯	611-14-3	12.79	10.33	11.90	5.40	4.94	2.03	1.99	2.04	1.54
	13	(2E)-3,5,5-三甲基-2-己烯	26456-76-8	13.18	223.02	417.88	99.11	213.67	71.69	19.26	40.98	35.71
	14	2,2,4,6,6-五甲基庚烷	13475-82-6	13.78	—	4.30	2.27	1.83	2.37	1.63	—	—
	15	月桂烯	123-35-3	13.85	25.06	30.23	35.13	28.64	8.03	12.87	11.66	—
	16	1,2,3-三甲苯	526-73-8	13.92	24.43	3.91	—	3.30	1.59	—	—	2.66
	17	1,2,4-三甲苯	95-63-6	13.92	29.94	18.46	23.06	21.65	7.41	6.90	9.82	—
	18	正癸烷	124-18-5	14.12	—	—	2.31	5.12	2.17	2.38	3.26	—
	19	α-松油烯	99-86-5	14.78	11.98	3.44	4.98	2.21	1.83	1.82	3.02	—
	20	1,3-环戊二烯,5-(1-甲基亚丙基)	105451-85-2	15.05	5.22	—	3.84	—	—	1.34	1.74	—
	21	4-异丙基甲苯	99-87-6	15.12	—	9.85	—	10.14	3.26	3.69	—	—
	22	1,3-己二烯,3-乙基-2-甲基	61142-36-7	15.38	5.73	5.27	4.40	4.62	—	2.42	—	2.40
	23	2,2,6-三甲基环庚烷	2408-37-9	15.52	41.87	55.17	35.37	41.56	13.82	11.56	13.20	14.06
	24	(E)-β-罗勒烯	3779-61-1	15.98	55.33	85.94	53.68	32.20	10.45	16.44	3.28	16.10
	25	γ-松油烯	99-85-4	16.38	5.63	4.30	5.22	5.04	2.24	2.10	3.87	3.00
	26	蒎品油烯	586-62-9	17.52	3.48	—	—	—	0.92	1.03	—	1.71
	27	正十一烷	1120-21-4	17.85	—	—	—	—	1.41	—	7.03	4.33
	28	3-甲基十一烷	1002-43-3	20.45	—	1.67	—	2.27	0.84	1.30	1.81	1.10
	29	2,3-二甲氧基甲苯	4463-33-6	20.65	7.74	6.75	7.68	9.14	2.54	4.01	4.27	3.94
	30	萘	91-20-3	21.05	213.86	177.65	196.49	194.19	64.42	93.31	102.13	90.01
	31	顺式-3-十二碳烯	7239-23-8	21.18	—	—	4.57	11.04	1.69	5.59	5.21	2.43
	32	正十二烷	112-40-3	21.52	5.95	7.66	—	20.54	5.03	7.77	14.01	6.21
	33	2,6,11-三甲基十二烷	31295-56-4	24.32	—	3.86	2.42	6.75	1.08	3.27	5.03	—
	34	1-十三烯	2437-56-1	24.72	—	1.78	1.38	—	—	—	3.83	1.35
	35	2-甲基萘	91-57-6	24.92	9.05	10.22	11.82	12.78	3.52	3.90	5.73	5.02

表 2(续)

类别	序号	挥发性成分	CAS号	保留 时间/min	质量分数/(ng·g ⁻¹)							
					PF1	PF2	PF3	PF4	PF5	PF6	PF7	CK
碳氢类	36	正十三烷	629-50-5	24.98	4.73	3.67	3.03	14.52	3.22	10.34	7.63	3.71
	37	1-乙烯基-1H-茛	2471-83-2	25.52	5.18	4.62	6.05	6.64	—	2.69	3.83	0.00
	38	4,6-二甲基十二烷	61141-72-8	25.85	—	2.80	—	5.13	1.18	—	2.90	—
	39	6-甲基十三烷	13287-21-3	26.18	—	1.61	—	6.90	0.69	5.88	7.81	1.86
	40	庚基环己烷	5617-41-4	26.45	1.84	1.60	1.53	3.20	1.10	1.88	2.49	1.53
	41	α -萜澄茄油烯	17699-14-8	26.78	6.79	7.00	11.57	8.49	3.46	5.42	5.88	4.32
	42	3-甲基十三烷	6418-41-3	27.32	4.57	5.11	4.45	16.04	4.76	9.52	11.94	5.35
	43	2,6,10-三甲基十二烷	3891-98-3	27.52	—	1.01	0.52	2.00	0.69	2.21	5.12	1.48
	44	A-古巴烯	3856-25-5	27.72	—	—	1.62	1.85	—	0.92	1.35	1.29
	45	3-十四烯	41446-67-7	27.78	7.46	—	3.22	—	1.26	4.63	—	2.14
	46	1-十四烯	1120-36-1	27.98	3.04	6.47	6.00	16.27	4.03	11.64	11.12	4.30
	47	正十四烷	629-59-4	28.25	11.43	19.29	12.96	35.54	14.37	16.90	44.84	13.01
	48	1,7-二甲基萘	575-37-1	28.58	4.96	2.35	2.18	4.87	0.90	—	3.18	—
	49	雪松烯	11028-42-5	28.98	6.14	4.83	4.59	5.94	1.18	—	7.70	—
	50	1,6-二甲基萘	575-43-9	29.05	3.38	3.02	6.07	2.81	3.01	—	2.78	—
	51	反式石竹烯	87-44-5	29.12	5.53	3.42	1.63	1.52	—	—	1.58	—
	52	壬基环戊烷	2882-98-6	29.85	2.64	6.23	4.51	6.01	2.22	—	10.24	—
	53	(1S,4S,4aS)-1-异丙基-4,7-二甲基-1,2,3,4,4a,5-六氢萘	267665-20-3	30.12	4.97	2.92	5.92	2.95	1.48	1.81	2.23	1.22
	54	1-异丙基-4,7-二甲基-1,2,3,4,5,6-六氢萘	16729-00-3	30.79	6.01	—	4.83	4.64	1.22	—	—	—
	55	1-十五烯	13360-61-7	31.12	2.67	4.05	1.69	4.49	1.13	—	8.46	1.78
	56	十五烷	629-62-9	31.25	19.64	12.64	7.84	23.04	8.67	59.01	85.89	7.42
	57	α -衣兰油烯	10208-80-7	31.58	3.90	—	5.78	4.41	—	—	4.90	2.99
	58	1,2,4a,5,6,8a-六氢-4,7-二甲基-1-(1-甲基乙基)萘	31983-22-9	31.58	6.12	3.84	4.35	4.41	1.60	2.61	3.35	—
	59	Δ -杜松烯	483-76-1	32.25	19.07	24.43	30.41	28.50	12.13	19.39	22.58	17.58
	60	顺-莧蒲烯	72937-55-4	32.32	15.02	15.73	19.49	17.68	7.06	10.00	13.64	11.52
	61	7-甲基十五烷	6165-40-8	32.32	—	6.22	1.84	—	2.76	30.27	26.35	2.24
	62	4-乙基十四烷	55045-14-2	32.45	—	6.76	3.90	20.29	2.84	15.35	19.24	2.60
	63	萘,1,2,3,4,4a,7-六氢-1,6-二甲基-4-(1-甲基乙基)	16728-99-7	32.58	—	3.32	4.22	3.83	1.84	2.69	3.43	2.39
	64	5-甲基十五烷	25117-33-3	32.58	—	5.09	—	5.60	—	—	11.40	2.56
	65	壬基环己烷	2883-02-5	32.98	—	4.70	4.72	11.33	5.86	7.52	17.40	6.28
	66	3-甲基十五烷	2882-96-4	33.45	—	6.43	6.93	27.19	4.36	12.90	29.84	8.22
	67	1,1'-联(环庚烷)	23183-11-1	33.92	—	—	—	3.10	—	1.72	3.62	3.68
	68	正十六烷	544-76-3	34.32	9.85	6.29	6.91	19.36	4.18	16.17	33.52	7.02
	69	十一烷基环戊烷	6785-23-5	35.92	2.74	2.97	2.86	6.48	1.47	4.02	8.11	2.76
	70	正十七烷	629-78-7	36.92	—	18.19	—	24.95	1.48	100.51	44.47	—
	71	十一烷基环己烷	54105-66-7	37.98	—	2.74	2.40	5.96	1.22	—	11.62	1.67
醇类	72	正戊醇	71-41-0	6.32	228.78	206.14	189.29	221.18	86.84	165.60	97.83	204.31
	73	青叶醇	928-96-1	8.98	72.32	63.28	87.75	41.68	28.69	34.77	14.43	32.54
	74	正己醇	111-27-3	9.38	76.92	62.06	86.24	67.66	19.27	26.64	26.28	28.22
	75	正庚醇	111-70-6	12.98	26.65	28.23	27.61	27.35	4.60	5.23	3.55	11.05
	76	蘑菇醇	3391-86-4	13.38	424.11	674.73	232.16	410.38	138.10	49.98	85.58	73.56
	77	2-乙基己醇	104-76-7	15.18	284.54	297.95	293.54	338.82	76.29	111.64	81.04	49.98
	78	桉叶油醇	470-82-6	15.38	17.42	10.48	8.41	9.90	3.16	6.01	8.54	4.37
	79	反-2-辛烯-1-醇	18409-17-1	16.65	48.35	93.61	—	47.33	15.85	—	13.56	10.42

表 2(续)

类别	序号	挥发性成分	CAS号	保留 时间/min	质量分数/(ng·g ⁻¹)							
					PF1	PF2	PF3	PF4	PF5	PF6	PF7	CK
醇类	80	正辛醇	111-87-5	16.78	58.52	106.20	56.08	68.89	16.86	34.18	26.14	22.25
	81	2,7-辛二烯醇	23578-51-0	16.79	31.54	68.61	18.69	40.12	14.48	—	7.96	6.77
	82	芳樟醇	78-70-6	17.92	1374.78	1377.84	1534.70	1547.39	435.10	596.71	453.38	788.67
	83	苯乙醇	60-12-8	18.38	4.52	3.91	7.57	12.50	1.97	—	—	—
	84	反-2-壬烯-1-醇	31502-14-4	20.45	—	15.47	—	—	6.56	15.28	—	9.29
	85	(-)-薄荷醇	2216-51-5	20.65	15.60	23.65	27.38	23.62	8.24	11.85	22.44	12.54
	86	2,2,6-三甲基-6-乙烯基四氢吡喃-3-醇	14049-11-7	20.65	9.97	10.94	15.24	13.30	3.36	5.46	—	5.53
	87	α -松油醇	98-55-5	21.32	12.19	30.86	49.74	42.27	9.73	12.81	14.07	16.12
	88	橙花醇	106-25-2	22.52	—	11.16	18.99	16.44	1.65	3.36	2.10	5.16
	89	香叶醇	106-24-1	23.45	90.10	144.04	325.53	287.30	35.88	48.92	28.83	81.07
	90	2,4-癸二烯-1-醇	14507-02-9	23.72	—	4.16	2.98	1.38	2.70	—	4.09	1.63
	91	2-甲基-十一烷醇	10522-26-6	28.85	2.27	—	—	2.29	1.26	—	2.80	—
	92	(3S,3aR,3bR,4S,7R,7aR)-4-异丙基-3,7-二甲基八氢-1H-环戊二烯[1,3]环丙基[1,2]苯-3-醇	23445-02-5	31.45	11.00	7.77	8.55	24.01	10.35	16.94	10.60	11.30
	93	反式橙花叔醇	7212-44-4	33.32	—	5.44	9.61	5.01	1.81	3.70	5.19	2.57
	94	雪松醇	77-53-2	34.72	27.62	15.83	31.97	22.91	10.06	14.24	12.12	9.16
	95	α -兰油醇	19435-97-3	35.78	3.93	2.70	3.30	3.50	—	2.60	—	1.11
	96	库贝醇	21284-22-0	35.38	6.62	3.09	4.33	3.24	1.25	2.07	3.99	1.72
醛类	97	正戊醛	110-62-3	4.32	342.88	245.97	246.05	167.17	81.92	115.97	54.95	115.36
	98	反式-2-戊烯醛	1576-87-0	6.12	—	24.37	8.95	15.25	3.38	—	—	—
	99	正己醛	66-25-1	7.18	1025.21	897.02	889.31	682.16	372.19	494.80	450.76	525.96
	100	2-甲基-2-戊烯醛	623-36-9	8.25	4.19	4.58	10.07	3.65	1.00	2.08	0.81	2.15
	101	反-2-己烯醛	6728-26-3	8.92	11.26	9.47	11.54	7.65	9.28	5.88	4.01	6.97
	102	庚醛	111-71-7	10.52	295.69	228.43	290.48	301.39	118.10	166.00	186.76	160.54
	103	2-庚烯醛	57266-86-1	12.52	28.74	74.87	12.67	25.75	21.36	10.51	15.69	11.19
	104	苯甲醛	100-52-7	12.72	270.18	291.65	328.26	333.97	103.18	143.92	145.11	127.43
	105	反,反-2,4-庚二烯醛	4313-03-5	14.05	85.55	115.09	77.60	89.81	50.52	50.84	64.21	44.01
	106	正辛醛	124-13-0	14.25	95.29	68.65	74.29	99.54	48.37	46.00	62.19	28.00
	107	2-苯基乙醛	122-78-1	15.85	9.71	16.82	12.58	10.06	6.68	7.27	4.27	7.77
	108	甜瓜醛	106-72-9	16.18	81.18	68.38	58.89	50.77	16.60	20.14	30.91	24.26
	109	E-2-辛烯醛	2548-87-0	16.38	17.07	29.06	10.40	17.62	15.46	1.58	13.20	12.86
	110	正壬醛	124-19-6	18.32	560.46	580.95	491.89	639.61	202.71	307.96	467.18	307.82
	111	反-2-壬醛	18829-56-6	20.12	—	—	—	—	1.12	2.59	3.84	1.41
	112	2,3-二氢-2,2,6-三甲基苯甲醛	116-26-7	21.65	—	—	—	43.70	—	—	7.49	6.57
	113	癸醛	112-31-2	21.72	145.87	69.02	59.42	100.37	29.72	96.38	192.39	60.56
	114	β -环柠檬醛	432-25-7	22.38	50.47	52.74	57.84	58.96	19.58	25.23	23.06	27.44
	115	2,6,6-三甲基-1-环己烯基乙醛	472-66-2	23.65	—	11.44	14.26	13.76	2.43	5.12	2.50	7.36
	116	柠檬醛	5392-40-5	24.05	—	3.09	4.13	3.71	1.07	1.44	1.96	1.66
酚类	117	十一醛	112-44-7	25.25	—	4.27	—	7.62	1.84	5.55	8.49	2.95
	118	十二醛	112-54-9	28.58	4.82	2.62	2.21	3.08	—	5.96	6.20	—
酯类	119	2,4-二叔丁基酚	96-76-4	31.78	—	59.70	19.79	26.47	4.70	8.21	9.47	—
	120	己酸甲酯	106-70-7	11.38	6.81	2.60	3.93	3.67	0.96	—	1.84	0.64
	121	己酸乙酯	123-66-0	14.12	9.00	5.18	6.61	7.91	1.59	3.15	3.08	—
	122	乙酸叶醇酯	3681-71-8	14.38	123.01	98.91	105.98	—	—	24.21	—	—
	123	乙酸苜酯	140-11-4	20.32	—	29.80	—	1.46	2.13	2.66	—	2.39

表 2(续)

类别	序号	挥发性成分	CAS号	保留 时间/min	质量分数/(ng·g ⁻¹)							
					PF1	PF2	PF3	PF4	PF5	PF6	PF7	CK
酯类	124	顺-3-己烯基丁酯	16491-36-4	21.05	—	—	6.21	—	—	2.78	0.70	2.92
	125	辛酸乙酯	106-32-1	21.45	62.42	31.08	12.85	26.78	4.91	3.90	5.76	4.89
	126	水杨酸甲酯	119-36-8	21.45	184.93	172.98	192.98	232.26	54.00	81.51	92.47	75.30
	127	(Z)-3,7-二甲基辛-2,6-二烯酸甲酯	1862-61-9	24.38	—	4.69	—	4.65	—	1.02	1.84	1.17
	128	甲基(2E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯酸酯	2349-14-6	25.78	27.77	—	29.29	30.18	7.78	11.31	16.70	11.87
	129	二乙二醇丁醚醋酸酯	124-17-4	27.18	—	2.88	2.98	3.10	1.38	2.67	4.06	3.15
	130	2-甲基-丙酸3-羟基-2,2,4-三甲基戊基酯	77-68-9	27.52	1.98	3.10	3.13	2.66	1.38	7.57	7.37	2.63
	131	苯甲酸丁酯	136-60-7	27.52	1.91	1.78	1.97	2.13	0.93	1.44	1.29	1.15
	132	己酸叶醇酯	31501-11-8	27.65	47.93	49.34	42.55	51.42	12.08	18.71	34.38	18.70
	133	酸己酯	6378-65-0	27.85	55.97	92.24	65.61	120.16	25.61	35.62	85.35	28.24
	134	甲酸叶醇酯	25152-85-6	33.58	—	5.68	7.68	12.63	1.19	2.50	4.45	—
	135	苯甲酸己酯	6789-88-4	33.78	—	11.26	11.58	20.44	2.39	4.50	10.42	1.47
	136	水杨酸异辛酯	118-60-5	38.65	—	9.52	11.94	24.13	3.52	8.26	9.95	3.49
酮类	137	2-庚酮	110-43-0	10.18	20.58	16.66	14.93	12.95	4.03	4.35	5.31	4.61
	138	6-甲基-2庚酮	928-68-7	12.52	5.16	9.01	5.91	2.36	1.32	1.53	1.33	1.11
	139	2,3-辛二酮	585-25-1	13.52	44.63	—	33.23	46.60	—	13.14	10.57	—
	140	甲基庚烯酮	110-93-0	13.65	184.82	199.54	135.74	173.67	50.09	50.72	76.48	35.03
	141	3-辛烯-2-酮	1669-44-9	15.65	10.92	14.85	12.60	9.34	3.84	4.20	3.92	4.38
	142	3-甲基-2-环己烯-1-酮	1193-18-6	16.45	14.79	17.16	—	14.72	6.01	4.65	6.34	5.97
	143	苯乙酮	98-86-2	16.72	21.94	12.47	16.10	22.71	6.96	9.63	12.74	10.19
	144	3,5-辛二烯-2-酮	30086-02-3	16.85	68.83	74.50	71.71	69.44	23.74	25.97	20.89	23.35
	145	6-甲基-5-乙基-3-庚烯-2-酮	57283-79-1	19.65	—	8.97	8.43	7.09	2.62	3.41	—	2.88
	146	(+)-异薄荷酮	1196-31-2	19.98	4.54	2.43	3.68	3.49	1.29	4.39	—	1.87
	147	2-乙基环己酮	4423-94-3	20.05	—	—	11.09	11.54	3.06	3.08	—	4.11
	148	顺茉莉酮	488-10-8	28.38	10.90	20.35	19.37	29.16	5.39	11.52	9.16	5.72
	149	α -紫罗兰酮	127-41-3	29.25	4.01	—	6.95	7.32	1.53	—	2.66	—
	150	丙酮	3796-70-1	29.99	34.11	29.93	41.92	57.65	19.11	24.81	33.23	17.16
	151	β -紫罗兰酮	14901-07-6	31.12	26.41	27.12	36.92	34.50	9.35	15.59	17.56	14.71
吡咯类及其衍生物	152	1-乙基吡咯	617-92-5	7.65	65.60	60.11	47.20	52.95	20.86	21.07	25.33	20.27
	153	1-乙基-1H-吡咯-2-甲醛	2167-14-8	16.05	17.99	19.67	16.47	24.40	6.24	9.03	11.10	10.57
	154	吡咯	120-72-9	24.92	10.04	25.44	16.90	29.44	7.11	14.41	9.43	6.10
杂环及芳香族化合物	155	3-甲基-4,5-二氢呋喃	34314-83-5	6.12	7.75	24.37	—	15.25	13.64	17.00	9.02	13.10
	156	2-丁基呋喃	4466-24-4	10.18	4.70	4.26	3.87	3.49	1.32	1.84	1.86	1.63
	157	2,7-二甲基氧杂卓	1487-99-6	11.72	10.42	8.01	3.18	4.32	1.08	1.32	1.49	1.42
	158	2-戊基呋喃	3777-69-3	13.85	135.55	120.44	100.49	88.09	29.09	34.10	31.71	—
	159	2-乙基-2-甲基-5-(1-甲基乙烯基)四氢呋喃	54750-69-5	14.45	—	15.59	13.93	24.08	—	10.89	15.96	—
	160	顺- α,α -5-三甲基-5-乙烯基四氢呋喃-2-甲醇	5989-33-3	16.92	22.06	25.44	26.22	24.06	6.22	8.18	4.70	11.21
	161	1-乙基-4-异丙基苯	4218-48-8	17.65	—	4.75	—	1.87	5.72	—	6.39	6.80
	162	2,6-二叔丁基苯醌	719-22-2	30.52	7.57	3.08	2.89	3.82	1.45	2.39	2.75	1.51
	163	1,4-二乙酰苯	1009-61-6	30.92	7.54	7.01	3.66	9.42	1.28	5.70	4.96	4.72
	164	3,4-二乙基联苯	61141-66-0	36.65	7.48	1.25	—	3.72	2.73	2.45	3.40	1.77

注：“—”表示未检出。

表 3 不同施肥处理下黄金茶鲜叶的挥发性化合物的质量分数与占比

处理	质量分数/(ng·g ⁻¹)						占比/%					
	碳氢类	醇类	醛类	酯类	酮类	其他	碳氢类	醇类	醛类	酯类	酮类	其他
PF1	1 525.45	2 827.74	3 028.57	521.73	451.64	296.69	17.63	32.68	35.00	6.03	5.22	3.43
PF2	1 675.52	3 265.07	2 798.51	521.04	432.98	379.14	18.46	35.98	30.84	5.74	4.77	4.18
PF3	1 280.64	3 035.34	2 660.84	505.30	418.58	254.59	15.69	37.20	32.61	6.19	5.13	3.12
PF4	1 705.96	3 275.25	2 675.60	543.58	502.54	311.41	18.92	36.32	29.67	6.03	5.57	3.45
PF5	651.41	932.80	1 106.52	119.86	138.34	101.43	21.35	30.57	36.26	3.93	4.53	3.32
PF6	864.29	1 165.91	1 515.23	211.81	176.98	136.59	21.22	28.63	37.20	5.20	4.35	3.35
PF7	1 098.37	920.52	1 745.97	279.66	200.19	137.57	25.04	20.99	39.81	6.38	4.56	3.14
CK	640.58	1 387.63	1 482.28	158.01	131.09	79.10	16.51	35.76	38.20	4.07	3.38	2.04

在黄金茶1号鲜叶中醇类化合物占挥发性成分总量的20.99%~37.20%，其中，相对含量较高的醇类化合物为芳樟醇(花香、果香)、蘑菇醇(清香带甜)、正戊醇(果香、清香)、2-乙基己醇(玫瑰香、草木香)、香叶醇(甜花香)和青叶醇(青草气)。除了PF5、PF6、PF7，其他施肥处理样品中醇类化合物含量均高于CK的，与CK相比，PF1、PF2、PF3、PF4中萜烯醇类物质含量增加较为明显。

鲜叶中醛类化合物占挥发性成分总量的29.67%~39.81%，在鲜叶中以戊醛(杏仁味、青草气)、己醛(青草气、果香)、壬醛(花香)、苯甲醛(苦杏仁香)、庚醛(青草气)为主，除PF5，其余处理样品中醛类化合物含量均高于CK的，且在PF1、PF2、PF3、PF4中含量较高。苯甲醛属于芳香族醛类，在PF3和PF4中含量较高；戊醛、己醛、青叶醛等属于青草气类挥发性成分，在PF1、PF2、PF3中含量较高，其中PF1中的含量最高。

鲜叶中碳氢类化合物占挥发性成分总量的15.69%~25.04%，大部分碳氢类化合物无芳香气味。所有施肥处理组的碳氢类化合物含量均高于CK的，且PF1、PF2、PF4的含量较高。

酮类化合物是一类具有花果香的化合物，占鲜叶中挥发性成分总量的3.38%~5.57%，以甲基庚烯酮(青草气、水果香)、3,5-辛二烯-2-酮(陈香)、丙酮(青草气、木兰香)、2,3-辛二酮(奶香)、β-紫罗兰酮(紫罗兰香、木香)和顺茉莉酮(花香)为主。所有施肥处理组的酮类化合物含量均高于CK的，在PF1、PF2、PF3、PF4中含量较高。

鲜叶中，酯类化合物占挥发性成分总量的3.93%~6.38%。鲜叶中酯类化合物以水杨酸甲酯

(冬青油味、薄荷香)、乙酸叶醇酯(青草气)和己酸乙酯(果香)等芳香族酯类为主。除了PF5，其余施肥处理中酯类化合物含量均高于CK的，其中PF4中的水杨酸甲酯含量较高。鲜叶中吡咯类及其衍生物占挥发性成分总量的0.9%~1.2%，杂环及芳香族化合物占挥发性成分总量的1.1%~2.4%，以呋喃类为主。在PF1、PF2和PF4中杂环及芳香族化合物和吡咯类及其衍生物含量较为丰富。

2.2 不同施肥处理下黄金茶1号鲜叶挥发性成分差异分析

为探究不同施肥处理方式下鲜叶的挥发性成分之间的差异，对8个样品检测出的挥发性成分进行PCA分析，结果如图1所示。PCA结果显示，PF5、PF6与CK较为接近，主要分布在第二、三象限，PF1、PF2、PF3分布在第一象限，PF4分布在第四象限，PF7分布在第三象限。

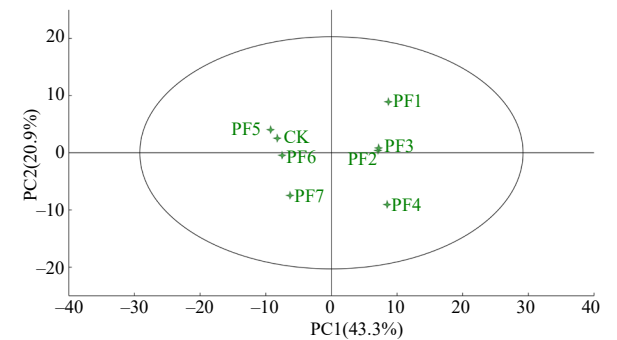
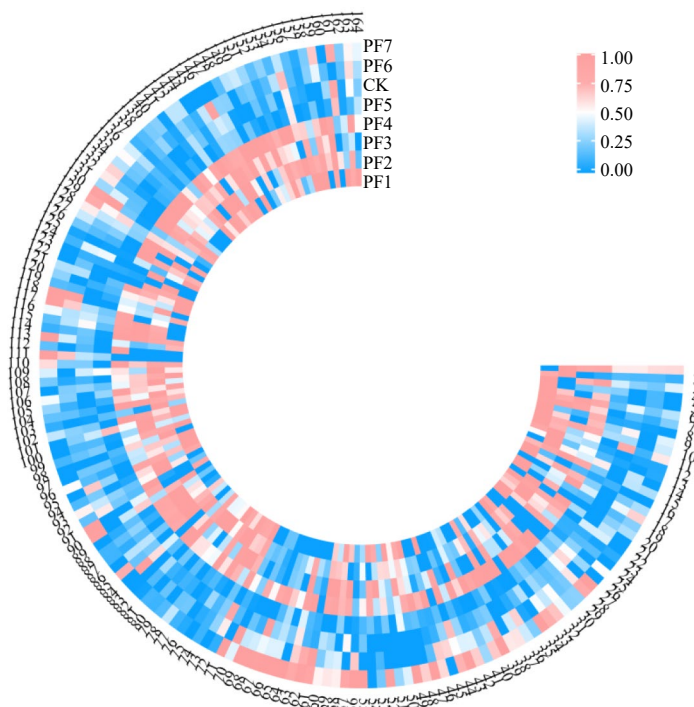


图 1 不同施肥处理下黄金茶鲜叶挥发性化合物 PCA 分析结果
Fig.1 Principal component analysis of volatile components in fresh leaves of Huangjin tea with different fertilization treatments

为了能更加直观地展示各鲜叶挥发性香气化合物含量的差异，通过热图表征不同施肥处理的鲜叶挥发性成分含量的相似性，结果如图2所示。结

合不同处理间差异倍数(FC)比较施肥对鲜叶挥发性成分含量的影响。PF1、PF2、PF3、PF4的化合物含量大部分高于其他组别的,对比5%通用有机肥和10%专用有机肥,10%专用有机肥丰富了化合物种类和含量,PF1与PF3中含量差异较大($FC < 0.5$ 或 $FC > 2$)的化合物有55种,其中,PF1中有27种挥发性化合物的含量高于PF3的,PF3中有28种挥发性化合物的含量高于PF1的,25种化合物在PF1中未检测出。PF2与PF4中含量差异较大($FC < 0.5$ 或 $FC > 2$)的化合物有46种,其中,PF4中有32种挥发性化合物的含量高于PF2的,以碳氢化合物为主(21种)。PF7与CK比较含量差异较大($FC < 0.5$ 或 $FC > 2$)的化合物有72种,其中,PF7中有53种挥发性化合物的含量高于CK的。与PF4相比,PF7中挥发性成分的含量有所减少,含量差异较大($FC < 0.5$ 或 $FC > 2$)的化合物有78种,PF4中有54种挥发性化合物的含量高于PF7的,其中,香叶醇、(E)- β -罗勒烯、橙花醇的含量

较高;PF7中含量高于PF4的化合物有7-甲基十五烷、正十一烷、十五烷。与CK相比,PF7的挥发性化合物含量有所增加,但效果不如缺少多元素矿物肥料的PF4。对比相同施肥种类下不同的施肥量处理,发现施肥量的增加有利于大部分挥发性化合物的积累。PF1与PF2比较含量差异较大($FC < 0.5$ 或 $FC > 2$)的化合物有59个,其中PF2中有38种化合物的含量高于PF1的。PF3相较于PF4含量差异较大($FC < 0.5$ 或 $FC > 2$)的化合物有58个,其中PF4中有46种挥发性化合物的含量高于PF3的,以碳氢化合物为主(32种)。PF5相较于PF6含量差异较大($FC < 0.5$ 或 $FC > 2$)的化合物有89种,PF6中有55种挥发性化合物的含量高于PF5的,其中己醛、芳樟醇、壬醛的含量较高,说明施肥量的增加有利于挥发性化合物的积累。总的来说,施肥种类与施肥量的改变在一定程度上能改善茶树代谢,影响挥发性成分的含量。



化合物序号同表2。

图2 不同施肥处理黄金茶鲜叶挥发性化合物的热图

Fig.2 Heat map analysis of volatile components in fresh leaves of Huangjin tea with different fertilization treatments

2.3 不同施肥处理鲜叶所制绿茶感官特征及生化成分分析

将不同施肥处理的鲜叶分别按照黄金茶绿茶加工方式加工,进一步对所得绿茶进行感官审评,结果如表4所示。经过不同施肥处理后制成的黄金

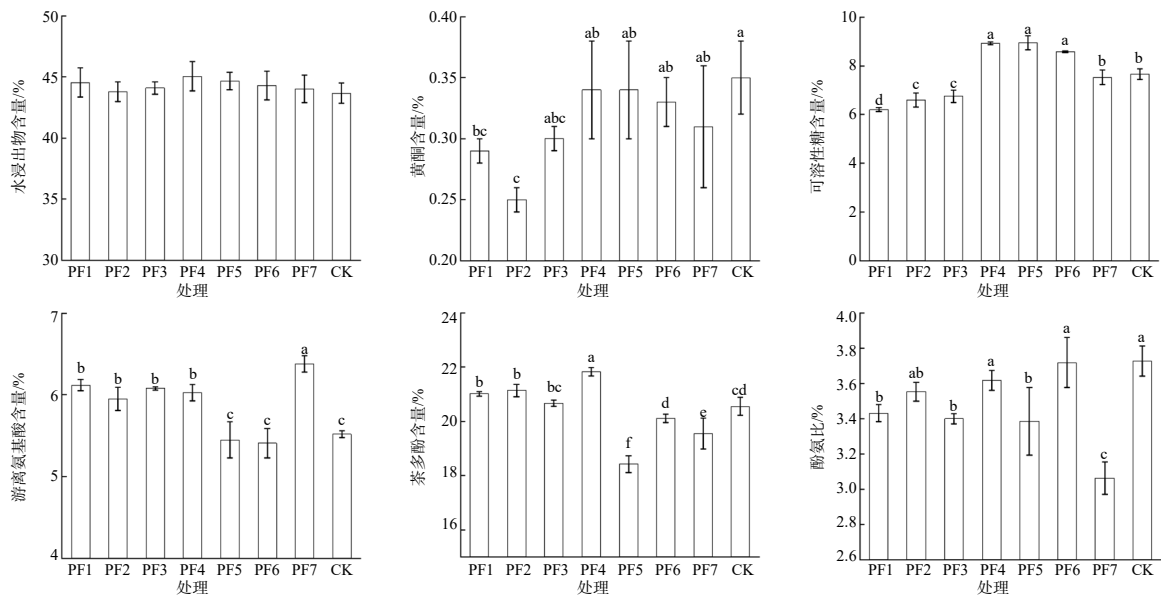
茶外形锋毫显露,香气以嫩栗香为主且持久,滋味鲜爽醇厚,符合湘西州区域内黄金茶绿茶“香、绿、鲜、浓”的特征品质^[1]。施肥处理后的黄金茶绿茶感官品质优于CK的,综合香气与滋味评分可知PF3、PF4和PF7感官品质表现较好。

表 4 不同施肥处理的黄金茶鲜叶所制绿茶感官审评结果

Table 4 Sensory evaluation result for green tea made from fresh leaves of Huangjin tea treated with different fertilization treatments

处理	香气	香气评分	滋味	滋味评分
PF1	清香带嫩香, 高长	92.5	较醇厚鲜爽	92
PF2	嫩香, 高长	93.0	较醇厚鲜爽	92
PF3	嫩栗香, 高长	94.0	醇厚较鲜爽	93
PF4	嫩栗香, 高长	94.0	醇厚鲜爽	95
PF5	嫩栗香, 较高长	92.0	较醇厚鲜爽	92
PF6	嫩栗香, 较高长	92.0	醇厚较鲜爽	93
PF7	嫩香, 高长	93.0	醇厚较鲜爽	93
CK	嫩香, 较高长	91.0	醇和尚鲜爽	90

为进一步分析黄金茶绿茶的内含物质, 对比分



同一指标不同字母示处理间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

图 3 不同施肥处理绿茶的主要品质指标差异性分析结果

Fig.3 Analysis of the differences in main quality indicators of green tea with different fertilization treatments

从图3可以看出, PF1和PF3的可溶性糖含量具有显著差异, PF3的可溶性糖含量更高; PF4的茶多酚、可溶性糖含量显著高于PF2的。在施用同样浓度的有机肥和复合肥的情况下改变施肥量, PF2可溶性糖含量显著高于PF1的; PF3的可溶性糖含量和酚氨比均显著低于PF4的。PF5和PF6施用了生物有机肥, PF5的酚氨比显著低于PF6的。

综合感官审评结果, 发现PF3处理和PF4处理的效果较好, 它们的感官审评综合得分较高, 具有嫩香、高长的香气和醇厚鲜爽的滋味特征。

析了不同施肥处理后黄金茶绿茶主要品质指标的差异, 结果如图3所示。所有组别的水浸出物含量均无显著差异($P>0.05$)。所有施肥处理的黄酮含量均较CK的下降, 其中PF1和PF2的显著下降。除了PF5和PF6, 其余处理的游离氨基酸含量均显著高于CK的。PF1、PF2、PF4的茶多酚含量显著高于CK的。PF4、PF5、PF6的可溶性糖含量显著高于CK的, PF1、PF2、PF3的可溶性糖含量显著低于CK的。施肥处理的黄金茶的酚氨比相较于CK均有不同程度的下降, 其中PF1、PF3、PF5、PF7的显著下降, PF7的酚氨比最低; 同一肥料种类下施肥量的增加提高了黄金茶的酚氨比, 即PF2的高于PF1的, PF4的高于PF3的, PF6的高于PF5的。

3 讨论

茶树生长所需要的矿质营养主要来自土壤, 且茶园土壤养分供应对茶叶品质有重要影响^[16]。丁方军等^[17]研究表明, 改变施肥量和施肥种类可提高茶叶产量与品质, 同时也优化了生产成本和经济效益, 改善了土壤环境。

本研究结果表明, 不同的肥料组合影响挥发性化合物的含量。与PF1和PF2相比, PF3和PF4鲜叶中萜烯醇类物质含量较多, 其中含量最高的化合物为芳樟醇, 其次为香叶醇, 它们被认为与栗香、清

香的形成有关^[18-19]。结合主要生化成分和感官审评综合对比, PF3和PF4处理效果更好, 可能是10%专用有机肥(N、P、K的施用比例为17:17:15)中N、P、K比例协调, 更有利于茶树生长, 这与HUANG等^[20]的研究结果类似。PF5、PF6和PF7的青草气类挥发性成分较少, 部分参与绿茶的香气和滋味形成^[21], 青草气类挥发性成分的减少有利于黄金茶品质的形成。本研究结果表明, 多元素矿物肥的增加对绿茶品质具有改善作用, PF7中游离氨基酸含量显著提高, 酚氨比显著降低, 氨基酸类物质在茶叶中不仅参与呈香呈味, 也是茶叶鲜味的主要来源^[22], 有利于黄金茶醇厚鲜爽滋味的形成, 这与赵梓堃^[23]的研究结果类似, 但感官审评结果显示, PF7的香气和滋味评分低于PF4的, 可能与施肥量过多有关, 在以后的研究中可对施肥量进行研究。

本研究结果表明, 施肥量也会影响黄金茶鲜叶挥发性成分和品质形成。同一施肥种类下施肥量的增加促进大部分挥发性化合物含量的增加, 相较于PF1, PF2中有38种化合物含量较高, PF4相较于PF3有46种化合物含量较高。傅晨野等^[24]研究发现复合微生物肥的施用量会对作物的品质和产量有影响。本研究中PF5与PF6施用了松尔肥和松达生物有机肥, PF6中有55种挥发性化合物含量高于PF5的, 其中包括己醛、芳樟醇、壬醛等有利于黄金茶香气品质形成的挥发性化合物。主要生化成分和感官审评结果表明, 施肥量增加提高了黄金茶的酚氨比, 在一定程度上增加黄金茶滋味的醇厚度。目前, 有关有机肥对鲜叶的挥发性成分影响的研究较少。郭豪^[25]研究发现不同量的生物炭和镁肥配施可提高茶叶芳樟醇和水杨酸甲酯等重要香气化合物的相对含量。不同肥料处理下土壤养分的变化可能是引起茶叶品质改变的重要原因, 推断施肥量的改变影响了茶园的土壤环境、土壤微生物的多样性、茶树的光合速率等, 从而影响鲜叶的挥发性成分含量。下一步可调整施肥方案进行探究, 以确定适合黄金茶1号生长和生产的最佳施肥方案, 生产高品质的黄金茶。

4 结论

本试验以黄金茶1号为材料, 采用HS-SPME结合GC×GC-QTOF-MS分析8种施肥处理样品中的挥

发性成分。从8个鲜叶样品中共鉴定出了164种挥发性物质, 以醇类、醛类和碳氢类化合物为主。经过施肥处理后的鲜叶挥发性化合物含量均有不同程度的增加, 酚氨比均有所降低, 有利于鲜爽滋味的形成。通过对比, 发现德润和10%的有机肥(N、P、K的施用比例为17:17:15)比5%的有机肥(N、P、K的施用比例为12:9:29)效果更好, 相同施肥种类下增加施肥量有利于黄金茶品质的提升。

参考文献:

- [1] 张湘生, 彭继光, 龙承先, 等. 特早生高氨基酸优质绿茶茶树新品种保靖黄金茶1号选育研究[J]. 茶叶通讯, 2012, 39(3): 11-16.
- [2] 李维, 刘淑娟, 张帆, 等. 长沙和保靖生态条件对保靖黄金茶1号品质的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2014, 40(4): 445-448.
- [3] 宛晓春. 茶叶生物化学[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [4] 马立锋, 霍克坤, 申瑞寒, 等. 化肥减施下的安吉茶园施肥变化及施肥策略[J]. 浙江农业科学, 2022, 63(11): 2522-2526.
- [5] 李倩, 王玉, 侯君合, 等. 崂山绿茶品质及其与土壤肥力关系的研究[J]. 土壤通报, 2010, 41(5): 1101-1104.
- [6] 田润泉, 吕闰强. 配方施肥对茶园土壤养分状况及茶鲜叶产量品质的影响[J]. 茶叶学报, 2016, 57(3): 149-152.
- [7] 疏再发, 吉庆勇, 邵静娜, 等. 茶园有机肥替代化肥对土壤养分和茶叶产量与品质的影响[J]. 园艺学报, 2023, 50(10): 2207-2219.
- [8] 赵晨光, 牛司耘, 陈勋, 等. 复合肥料对茶叶产量、品质及茶园土壤肥力的影响[J]. 中国农业科技导报, 2022, 24(6): 206-217.
- [9] 李赛君, 雷雨, 段继华, 等. 保靖黄金茶1号杂交创新利用研究[J]. 植物遗传资源学报, 2020, 21(3): 753-759.
- [10] 何加兴, 欧伊伶, 宋加艳, 等. 黄金茶1号夏秋乌龙茶加工过程化学成分变化与品质形成分析[J]. 食品工业科技, 2020, 41(18): 223-230.
- [11] 谢念祠, 周浩, 周品谦, 等. 变温发酵对保靖黄金茶1号夏季鲜叶制成工夫红茶品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(8): 220-226.
- [12] 安勤, 鲍肃都, 陈宏宇, 等. 基于GC×GC-QTOF-MS分析不同品种汝城白毛茶白茶的香气特征[J]. 食品科学, 2025, 46(4): 163-171.
- [13] VAN DEN DOOL H, KRATZ P D. A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas: liquid partition chromatography[J]. Journal of Chromatography A, 1963, 11: 463-471.
- [14] CHEN H Y, ZHANG X M, JIANG R G, et al.

- Characterization of aroma differences on three drying treatments in Rucheng Baimao(*Camellia pubescens*) white tea[J]. LWT-Food Science and Technology, 2023, 179: 114659.
- [15] SHIMODA M, SHIGEMATSU H, SHIRATSUCHI H, et al. Comparison of the odor concentrates by SDE and adsorptive column method from green tea infusion[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1995, 43(6): 1616–1620.
- [16] 张群峰, 倪康, 伊晓云, 等. 中国茶树镁营养研究进展与展望[J]. 茶叶科学, 2021, 41(1): 19–27.
- [17] 丁方军, 马学文, 付乃峰, 等. 不同控释肥对茶园土壤碱解氮和有机质含量的影响[J]. 山东农业科学, 2013, 45(6): 63–65.
- [18] 尹鹏, 王晶晶, 王子浩, 等. 绿茶特征性香气研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(18): 7324–7332.
- [19] 秦廷发, 杨雪华, 易强, 等. 湘西州“黄金茶”品质特征及生化成分比较分析[J]. 茶叶通讯, 2023, 50(2): 201–208.
- [20] HUANG D J, WANG Y P, CHEN X, et al. Application of tea-specific fertilizer combined with organic fertilizer improves aroma of green tea[J]. Horticulturae, 2022, 8(10): 950.
- [21] MAO S H, LU C Q, LI M F, et al. Identification of key aromatic compounds in Congou black tea by partial least-square regression with variable importance of projection scores and gas chromatography-mass spectrometry/gas chromatography-olfactometry[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2018, 98(14): 5278–5286.
- [22] 童慧霖, 范方媛, 田宇倩, 等. 白茶感官滋味特征属性及相关贡献组分研究[J]. 食品工业科技, 2022, 43(7): 286–293.
- [23] 赵梓筌. 微量元素肥料对茶叶产量、品质和元素积累的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2022.
- [24] 傅晨野, 李多, 滕思远, 等. 化肥配施复合微生物肥对大豆养分积累及产量和品质的影响[J]. 大豆科学, 2024, 43(1): 54–63.
- [25] 郭豪. 优化施肥和银叶金合欢间作对强酸性茶园土壤质量及茶叶品质的影响[D]. 福州: 福建农林大学, 2023.
- 责任编辑: 毛友纯
英文编辑: 罗 维

(上接第5页)

- [19] YUAN Z Y, FAN K, XIA L F, et al. Genetic dissection of seed storability and validation of candidate gene associated with antioxidant capability in rice(*Oryza sativa* L.)[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2019, 20(18): 4442.
- [20] JIANG W Z, LEE J, JIN Y M, et al. Identification of QTLs for seed germination capability after various storage periods using two RIL populations in rice[J]. Molecules and Cells, 2011, 31(4): 385–392.
- [21] HANG N T, LIN Q Y, LIU L L, et al. Mapping QTLs related to rice seed storability under natural and artificial aging storage conditions[J]. Euphytica, 2015, 203(3): 673–681.
- [22] WU F X, LUO X, WANG L Q, et al. Genome-wide association study reveals the QTLs for seed storability in world rice core collections[J]. Plants, 2021, 10(4): 812.
- [23] MA L, ZHU F G, LI Z W, et al. TALEN-based mutagenesis of lipoxygenase LOX3 enhances the storage tolerance of rice(*Oryza sativa*) seeds[J]. PLoS One, 2015, 10(12): e0143877.
- [24] KAUR H, PETLA B P, KAMBLE N U, et al. Differentially expressed seed aging responsive heat shock protein OsHSP18.2 implicates in seed vigor, longevity and improves germination and seedling establishment under abiotic stress[J]. Frontiers in Plant Science, 2015, 6: 713.
- [25] SHIN J H, KIM S R, AN G. Rice aldehyde dehydrogenase7 is needed for seed maturation and viability[J]. Plant Physiology, 2009, 149(2): 905–915.
- [26] 周小龙, 林晋军, 姚威, 等. 利用水稻重组自交系群体定位分蘖数性状的QTL[J]. 分子植物育种, 2019, 17(23): 7770–7777.
- [27] 朱丽伟. 杂交水稻种子成熟过程活力、生理生化和耐藏力的变化及脱水剂应用效果的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2015.
- [28] SUN P Y, LIU J L, WANG Y, et al. Molecular mapping of the blast resistance gene *Pi49* in the durably resistant rice cultivar Mowanggu[J]. Euphytica, 2013, 192(1): 45–54.
- [29] 董国军, 胡兴明, 曾大力, 等. 水稻种子人工老化和自然老化的比较研究[J]. 浙江农业科学, 2004, 45(1): 27–29.
- 责任编辑: 毛友纯
英文编辑: 罗 维