

HS-SPME-GC/MS法分析焙火对铁观音品质及挥发性香气组分的影响

陈贤明¹, 冯林², 罗赛¹, 赵国飞¹, 龚正礼^{1*}

(1. 西南大学食品科学学院, 重庆 400716;

2. 达州市茶果技术推广站, 四川达州 635000)

摘要:以市售清香型铁观音为原料,通过控制高、中、低温组合方式及烘焙时间对其进行焙火工艺处理。处理后茶样经感官审评及SPME-GC/MS技术分析茶样品质及挥发性香气组分。结果表明:焙火铁观音茶样品质均高于对照茶样,其中c样品质最好。清香型铁观音主要挥发性香气成分:橙花叔醇、吲哚、 α -法呢烯、脱氢芳樟醇、反- β -罗勒烯、苯乙酸香叶酯、茉莉内酯、苯乙腈、柠檬烯、苯乙醛等。焙火后带花香/果香类化合物相对含量降低,同时检出一些带烘焙香/火香类物质如:2-乙基-3,5-二甲基吡嗪、2-乙酰基吡咯、1-甲基-1H-吡咯、2-正戊基咪喃等杂环类化合物。

关键词:铁观音,焙火,顶空固相微萃取,气相色谱-质谱法,香气

Analysis of volatile aroma compounds in baking Tieguanyin Oolong tea by head space-solid phase micro-extraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry

CHEN Xian-ming¹, FENG Lin², LUO Sai¹, ZHAO Guo-fei¹, GONG Zheng-li^{1*}

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400716, China;

2. Dazhou Tea and Fruit Technology Promotion Station, Dazhou 635000, China)

Abstract: In order to study the influence of different baking temperature and time for the sensory evaluations and volatile aroma compounds of Tieguanyin, the commercially available Qinxiang Tieguanyin was chosen for baking test materials. The results showed that the quality of baking tea samples were higher than the original tea samples. No. c tea sample was the best baking scheme. Nerolidol, Indole, α -Farnesene, Hotrienol, trans- β -Ocimene, Geranyl phenylacetate, Jasmine lactone, Phenylacetoneitrile, D-Limonene, Phenylacetaldehyde were the main volatiles of Qinxiang Tieguanyin Oolong tea. The relative content of floral/fruity compounds reduced. The pyran, pyrazine and furans with high-fired and honey-sweet sensory quality such as Pyrazine, 2-ethyl-3,5-dimethyl-, Methyl pyrrol-2-yl ketone, 1H-Pyrrole, 1-ethyl-and Furan, 2-pentyl were higher than original tea samples.

Key words: Tieguanyin Oolong tea; baking; head space-solid phase micro-extraction (HS-SPME); gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); aroma compounds

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)20-0053-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.20.002

铁观音是闽南乌龙茶的典型代表,以其身骨重实,形美似观音而得名^[1]。焙火则是乌龙茶加工中一道重要工序,对其特有的色、香、味、形的形成有着非常重要的作用。焙火处理可降低制品的含水量,延长保质期,去除杂味,改变香型等,从而形成烘焙乌龙茶独特的品质^[2]。目前国内对乌龙茶焙火研究主要集中在:焙火的方式,焙火前后品质的差异性,焙火温度和时间选择等。焙火中温度和时间是关键因子^[3],前者有“高火”(130~140℃)、“中火”(100~120℃)及“低火”(80~90℃)之分^[4]。“高火”茶叶叶温升高迅速,水

分蒸发快,但达到一定程度时易产生焦气和焦味;“中火”是烘焙采取的主要温度;“低火”热反应较慢。实践生成中铁观音焙火工艺多为“中火”→“高火”或采用同温一焙到底的方式,对“低温足火慢焙”研究较少。为改善焙火铁观音品质,引入单枞的“低火慢焙”,通过感官评定和香气成分测定,比较各处理之间的品质差异,为高香焙火铁观音生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

清香型铁观音 2014年产(市售);氯化钠 分

收稿日期:2015-03-16

作者简介:陈贤明(1989-),男,硕士研究生,研究方向:制茶工程与贸易,E-mail:qwchenxianming@163.com。

*通讯作者:龚正礼(1957-),男,博士,教授,研究方向:茶叶加工,E-mail:gzhengl@126.com。

析纯,重庆滴水实验仪器有限公司。

QP2010气相色谱-质谱联用仪 日本岛津公司;非结合型PDMS(聚二甲基硅氧烷)萃取头 美国Supelco公司;电子分析天平 沈阳龙腾电子称量仪器有限公司;电热恒温鼓风干燥箱 上海齐欣科学仪器有限公司;HH-2数显恒温水浴锅 常州滇华仪器有限公司;57330-U手动固相微萃取进样器 美国Supelco公司;20 mL固相微萃取瓶 天津奥特赛斯公司;DB-5MS毛细管柱 美国安捷伦有限公司。

1.2 铁观音焙火工艺

铁观音茶样分装500 g/份,编号a~d号,烘焙→冷却→烘焙交替式多温段烘焙处理。

a:铁观音原茶样;b:铁观音原茶样→100℃(烘焙90 min)→冷却→120℃(烘焙60 min)→冷却→130℃(烘焙30 min)→冷却;c:铁观音原茶样→100℃(烘焙90 min)→冷却→120℃(烘焙60 min)→冷却→80℃(烘焙6 h)→冷却→130℃(烘焙30 min)→冷却;d:铁观音原茶样→100℃(烘焙90 min)→冷却→120℃(烘焙60 min)→冷却→90℃(烘焙6 h)→冷却→130℃(烘焙30 min)→冷却。

b为传统乌龙茶焙火处理,其特点为焙火时间短,先“中火”100℃处理90 min控制焙火茶样含水量;后“中火”120℃处理60 min,挥发原茶样中香型较差的高沸点香气组分;最后高火130℃进行30 min短时提香,增加茶样高香部分生成特有的“火功香、火香”^[5]。c和d处理为新工艺,在b样的基础上增加一个“低火”长时处理,即80℃或90℃烘焙6 h,进一步控制水分,促进热作用,发展低香^[6]。

1.3 感官品质评价方法

对焙火茶样进行密码感官审评,b~d铁观音均由原茶经不同焙火工艺处理后茶样,故对外形和叶底不做审评,只审评汤色(10分)、香气(35分)和滋味(35分)^[7],每个茶样平行审评三次。

1.4 GC-MS检测

1.4.1 SPME萃取条件 准确称取0.6 g研磨茶样置于盛有1.5 g NaCl的固相微萃取瓶中,加入10 mL沸超纯水加盖密封,平衡5 min,60℃恒温水浴锅中静置萃取60 min后于GC-MS进样口(230℃)解析5 min后进行香气组分分析。

1.4.2 GC-MS条件

1.4.2.1 色谱柱条件 DB-5MS弹性石英毛细管柱(30 m×0.25 mm,0.25 μm);升温程序:40℃,保持2 min;以5℃/min升至85℃,保持2 min;以7℃/min升至130℃,保持2 min;以5℃/min升至135℃,保持

2 min;以1℃/min升至140℃保持2 min;以5℃/min升至180℃保持3 min;以4℃/min升至230℃保持2 min;总程序时间为67.86 min。载气(N₂)流速1.0 mL/min;进样方式:不分流进样。

1.4.2.2 质谱条件 检测器:FID;离子源温度:230℃;接口温度:230℃;EI源;电子能量:70 eV;扫描模式:SCAN;m/z 35~400 u。

1.5 数据处理及质谱检索

铁观音各茶试样经气相色谱-质谱分析后,所得各总离子色谱图(Total Ion Chromatogram, TIC)经质谱库NIST 08. LIB和NIST 08s. LIB匹配并参考文献辅助定性(相似度SI为85%以上),采用峰面积归一法确定各香气组分的相对含量。采用Excel 2013和SPSS Statistics 18.0软件对解析数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 铁观音焙火感官品质的分析

铁观音茶样感官审评结果如表1所示。铁观音的香气、滋味和汤色等感官品质随不同的焙火温度和时间处理表现出一定的差异性。通过感官审评发现3种处理工艺中c茶各项得分都最高,汤色橙黄、亮,香气火香、浓郁持久,滋味醇厚、滑爽;a茶汤色浅绿但不亮,带清香和花香,滋味清醇。经焙火后汤色由浅绿向浅黄/橙黄亮转变;香气都有转变,由清香、花香向火香转变。处理b、c、d的品质均等同或高于对照茶样,说明焙火工艺对供试铁观音品质的改善有显著作用,且“低火”温度宜低不宜过高。

2.2 不同焙火处理铁观音挥发性香气组分鉴定结果

采用HS-SPM-GC/MS分析方法,对4个铁观音茶样进行香气分析,所得香气组分总离子流图和香气成分如图1(b和d略)和表2所示。供试样共检出69种挥发性香气化合物,包括12种碳氢类化合物、13种醇类、9种醛类、7种酮类、20种酯类、3种杂氧类以及5种含氮类化合物,共同的物质有26种。

a茶样中共检出46种挥发性香气化合物,包括醇类9种,醛类8种,酮类5种,酯类12种,碳氢类9种,含氮类2种杂氧类1种;其中橙花叔醇(19.43%)、吡啶(9.02%)、α-法呢烯(7.28%)、脱氢芳樟醇(6.11%)、反-β-罗勒烯(4.79%)、苯乙酸香叶酯(4.62%)、茉莉内酯(4.00%)、苯乙腈(3.7%)、柠檬烯(3.67%)、苯乙醛(3.07%)等相对含量较大,占总量的65.69%,与张雪波等研究的铁观音主要特征性香气成分一致^[8]。b茶样中共检出43种挥发性香气化合物,其中醇类7种,醛类6种,酮类4种,酯类14种,碳氢类8种,含氮

表1 铁观音原样及焙火茶样感官审评结果($\bar{x}\pm s, n=3$)

Table 1 Sensory evaluation results of Tieguanyin Oolong teas samples($\bar{x}\pm s, n=3$)

样品编号	汤色(10分)		香气(35分)		滋味(35分)		总分(80分)
	评语	得分	评语	得分	评语	得分	
a	浅绿	8.0±0.2	清香、花香	30.2±1.6	清醇	27.5±1.0	65.5±1.7
b	浅黄、较亮	8.5±0.1*	火香显、馥郁	32.0±1.0*	醇和、淡	29.0±0.5*	69.5±1.2*
c	橙黄、亮	9.0±0.4*	火香、浓郁持久	33.5±0.5*	醇厚、滑爽	31.0±1.0**	73.5±1.6**
d	橙黄、亮	9.0±0.1*	火香、略闷	29.0±1.0	平和、闷	28.0±0.0	66±1.0

注:*与a组比较差异显著($p<0.05$);**与a组比较差异极显著($p<0.01$)。

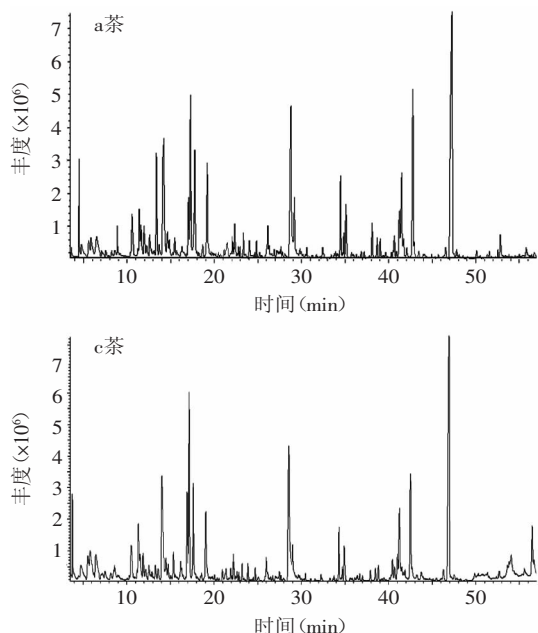


图1 铁观音的香气组分总离子流色谱图
Fig.1 Total ion current chromatogram of a and c Tieguanyin Oolong tea samples

类2种, 杂氧类2种, 主要挥发性物质有橙花叔醇(18.65%)、脱氢芳樟醇(9.17%)、吡啶(7.81%)、(E)-[(3,7-二甲基-2,6-辛二烯基)氧基]甲基-苯(5.24%)等。c茶样中共检出43种挥发性香气化合物, 其中醇类8种, 醛类8种, 酮类5种, 酯类10种, 碳氢类7种, 含氮类3种, 杂氧类2种, 主要挥发性物质有橙花叔醇(16.62%)、吡啶(9.58%)、脱氢芳樟醇(8.01%)等。d茶样中共检出48种挥发性香气化合物, 其中醇类7种, 醛类7种, 酮类6种, 酯类15种, 碳氢类7种, 含氮类4种, 杂氧类2种, 主要挥发性物质有橙花叔醇(13.35%)、脱氢芳樟醇(6.94%)、吡啶(6.68%)、苯乙醇(5.69%)、苯乙腈(5.07%)等。橙花叔醇、吡啶、 α -法呢烯、脱氢芳樟醇、顺- β -罗勒烯、苯乙腈等在各个茶样中均有大量检出。

2.3 各铁观音茶样挥发性香气组分变化情况

比较分析4个铁观音茶样挥发性香气组分发现: 焙火前后茶样在香气组分上存在高度相似的特点, 但组分含量和种类也存在一些差异。表现为化合物种类不变, 相对含量呈减少或增加趋势; 某些挥发性组分消失或生成; 化合物构型变化等。焙火处理后醇类、酮类、杂氧类呈上升趋势, 碳氢类、酯类呈下降趋

表2 铁观音原茶样及焙火茶样主要挥发性香气组分

Table 2 Main volatile aroma compounds from the Tieguanyin Oolong tea sample and baking tea samples

	序号	保留时间(min)	化合物名称	相对含量(%)			
				a	b	c	d
碳氢类	1	12.958	4,6-二甲基十一烷	-	-	-	0.47
	2	13.36	D-柠檬烯	3.67	-	0.69	3.55
	3	13.673	顺- β -罗勒烯	0.25	4.08	4.12	4.78
	4	14.191	反- β -罗勒烯	4.79	-	-	-
	5	22.183	1,3,5,8-十一碳四烯	0.25	0.2	-	-
	6	22.967	十二烷	0.25	0.14	0.22	0.36
	7	39.021	(Z)- β -法呢烯	0.52	0.81	0.46	0.45
	8	39.345	α -姜黄烯	-	0.63	0.43	-
	9	41.438	雪松烯	-	0.57	-	-
	10	41.727	反- α -香柠檬烯	0.79	0.78	0.36	-
	11	42.773	α -法呢烯	7.28	4.71	4.74	3.12
	12	55.773	1,3,3,-三甲基苯	0.08	-	-	1.39
		合计	17.88	11.92	11.02	14.12	
醇类	1	11.242	1-辛烯-3-醇	0.18	-	0.31	-
	2	14.836	2-己基-1-癸醇	0.48	-	-	-
	3	15.454	α -甲基- α -(4-甲基-3-戊烯基)环氧甲醇	0.55	2.01	1.54	1.43
	4	17.038	芳樟醇	2.15	2.74	3.71	1.56
	5	17.268	脱氢芳樟醇	6.11	9.17	8.01	6.94
	6	18.676	L-香芹醇	0.28	-	-	-
	7	19.067	苯乙醇	-	-	-	5.69
	8	21.496	3,7-二甲基-1,7-辛二烯-3-醇	0.38	-	0.2	-
	9	23.134	环氧芳樟醇	-	0.64	0.38	-
	10	23.462	3-氨基-4-甲基苯醇	-	0.25	-	1.02
	11	25.998	橙花醇	-	-	0.73	-
	12	42.091	韦得醇	0.25	0.5	-	0.84
	13	47.284	橙花叔醇	19.43	18.65	16.62	13.35
		合计	29.81	33.96	31.5	30.83	

续表

序号	保留时间(min)	化合物名称	相对含量(%)				
			a	b	c	d	
醛类	1	5.583	正己醛	0.43	1.07	1.37	0.56
	2	8.492	庚醛	-	-	0.23	-
	3	10.568	苯甲醛	2	1.85	2.16	3.47
	4	11.938	(E,E)-2,4-庚二烯醛	1.93	-	1.26	2.97
	5	14.117	苯乙醛	3.07	2.89	4.62	2.13
	6	22.787	藏红花醛	0.19	0.3	0.18	0.24
	7	23.35	葵醛	0.59	0.7	0.49	0.73
	8	24.025	β -环柠檬醛	0.55	0.67	0.58	0.7
	9	26.87	(E)-2-癸烯醛	0.17	-	-	-
		合计	8.93	7.48	10.89	10.8	
酮类	1	11.405	6-甲基-5-庚烯-2-酮	1.61	2.38	2.63	2.32
	2	27.811	α -紫罗酮	0.12	-	-	0.24
	3	35.1	顺-茉莉酮	2.09	2.49	1.51	2.4
	4	37.685	法尼基丙酮	-	0.62	-	-
	5	38.679	香叶基丙酮	0.5	-	0.36	0.77
	6	40.642	β -紫罗兰酮	0.54	0.92	0.64	1.44
	7	46.291	5-甲基-2-(1-甲基)-2-环己烯-1-酮	-	-	0.45	0.39
		合计	4.86	6.41	6.59	7.56	
酯类	1	17.133	γ -己内酯	-	0.16	-	-
	2	17.746	苯乙酸香叶酯	4.62	-	-	-
	3	22.041	丁酸-4-己烯酯	0.37	0.68	0.29	0.48
	4	22.348	水杨酸甲酯	1.25	0.24	1.17	0.64
	5	24.227	丁酸己酯	-	0.49	-	0.43
	6	24.856	顺-3-己烯戊酸酯	0.42	0.63	0.38	0.53
	7	26.141	己酸异戊酯	0.62	1.44	-	0.53
	8	26.38	异戊酸己酯	-	0.41	-	-
	9	28.021	乙酸苯乙酯	-	-	-	0.36
	10	29.183	苯甲酸苯乙酯	2.16	1.8	1.35	1.65
	11	34.1	顺-己酸-3-己烯酯	-	2.91	1.79	-
	12	34.491	(Z)-己酸-3-己烯酯	2.39	-	-	2.51
	13	34.856	己酸己酯	0.56	0.97	0.38	0.79
	14	38.097	丁酸苯乙酯	1.04	0.86	0.34	0.88
	15	41.227	2-甲基丁酸-2-苯乙酯	1.75	1.49	1.01	1.46
	16	41.503	茉莉内酯	4	3.45	3.91	3.98
	17	45.592	丁位葵内酯	-	-	-	0.37
	18	52.806	己酸-2-苯乙酯	0.8	0.69	-	0.57
	19	53.057	乙二醇月桂酸酯	-	-	-	0.38
	20	56.478	棕榈酸甲酯	-	-	3.37	-
		合计	19.98	16.22	13.99	15.53	
杂氧类	1	11.593	2-正戊基呋喃	1.18	1.3	1.28	1.84
	2	20.226	(E)-[(3,7-二甲基-2,6-辛二烯基)氧基]甲基-苯	-	5.24	4.07	-
	3	44.784	β -紫罗酮-5,6-环氧化物	-	-	-	0.31
		合计	1.18	6.54	5.35	2.15	
含氮类	1	5.798	1-甲基-1-H-吡咯	-	-	2.14	-
	2	16.292	2-乙酰基吡咯	-	-	-	0.14
	3	16.893	2-乙基-3,5-二甲基吡嗪	-	-	-	0.51
	4	19.194	苯乙腈	3.7	4.49	2.95	5.07
	5	28.785	吡啶	9.02	7.81	9.58	6.68
		合计	12.72	12.3	14.67	12.4	
		总计	95.36	94.83	93.01	93.42	

注：“-”未检出。

势,醛类、含氮类化合物变化不明显。

醇类中的橙花叔醇(木香、花香和水果百合香韵)、脱氢芳樟醇(花果香)是乌龙茶香气的成分^[9],前者随着焙火时间的增加及焙火温度的升高呈下降趋势,在d茶样中相对含量最少(13.35%),说明在“低火”处理下,温度越高橙花叔醇保留越少;后者在焙火样中检出都较原茶高,可由芳樟醇在110℃以上高温条件下通过分子内脱水形成。这两者对茶叶香气品质贡献率高,对铁观音焙火工艺的选取具有一定的指导作用。此外芳樟醇呈先上升后下降的趋势,c茶较b茶和d茶都高,但d茶低于b茶。 α -甲基- α -(4-甲基-3-戊烯基)环氧甲醇在焙火茶样中有较多检出,2-己基-1-癸醇、L-香芹醇只在原茶样中有检出,橙花醇在c茶样中有少量检出,d茶中苯乙醇(5.69%)有大量检出。酮类中以6-甲基-5-庚烯-2-酮、顺-茉莉酮为代表,前者经焙火处理后呈上升趋势,后者变化不明显。杂氧化合物(E)-[(3,7-二甲基-2,6-辛二烯基)氧基]甲基-苯在a茶中并未检出,但经焙火处理后b茶(5.24%)和c茶(4.07%)中有较大量检出。

碳氢类化合物在焙火铁观音茶样中的总相对含量11.02%~14.12%,呈下降趋势。原茶样中D-柠檬烯(3.67%)、反- β -罗勒烯(4.79%)与 α -法呢烯(7.28%)含量较高,焙火茶样中D-柠檬烯(0%~3.55%)与 α -法呢烯(3.12%~4.74%)都呈下降趋势。具草香、花香并伴橙花香的 β -罗勒烯具顺反异构体,陈常颂等研究发现铁观音中 β -罗勒烯以反式为主,与原茶a分析结果一直,但经烘焙处理后只检出顺- β -罗勒烯(4.08%~4.78%)^[10]。酯类化合物相对含量呈下降趋势,但检出酯类种类增多,随焙火时间的增长而下降,c茶中下降最明显。原茶样中检出的12种酯类挥发性香气物质在焙火茶样中均有检出,焙火后新检出 γ -己内酯、丁酸己酯、异戊酸己酯、乙酸苯乙酯、顺-己酸-3-己烯酯、丁位葵内酯、乙二醇月桂酸酯,c茶样检出大量的棕榈酸甲酯(3.37%)。苯乙醛在c茶中呈明显上升趋势,在一定条件下可由苯丙氨酸在热和有氧条件下脱羧和氧化脱氢生成^[11]。在a、c、d茶中检出的(E,E)-2,4-庚二烯醛(青臭气)属低档茶及贮藏茶粗老气味和陈茶陈味的重要参考物质^[12-13]在b茶中未检出,焙火后d茶最高,说明焙火程序中“低火”温度不宜过高,这与感官品质审评中香气低闷一致。苯乙腈(3.7%)和吡啶(9.02%)是原茶的主要含氮化合物,结合工艺发现前者在c茶中保留较少,后者呈增加趋势。吡啶在低浓度下呈柑橘花香及茉莉花香,具固香作用^[14]。此外焙火处理后除检出上述两种含氮组分外还检出一些吡咯(1-甲基-1-H-吡咯、2-乙酰基吡咯)、吡嗪(2-乙基-3,5-二甲基吡嗪)等物质。

2.4 香气组分变化原因及与香气品质关系

铁观音烘焙技术以热物理化学作用为基础,通过控制烘焙温度和时间达到控制香气组分组成改变香气品质特征^[15],主要通过以下几方面实现:烘焙加热中部分香气物质挥发,如具花香、果香型的酯类(茉莉内酯、苯甲酸苯乙酯等)、醇类(2-己基-1-癸醇、橙花叔醇等)等化合物,导致清香、花香降低;同时在热

化学的作用下导致一些芳香类物质的改变或新生成,如加热过程中美拉德反应,生成的一些醛类(苯乙醛)、酯类、吡嗪、吡咯、呋喃等化合物,其香型多为烘焙香、“火香”;此外在热作用下部分挥发性香气化合物可发生氧化、还原、分解、分子异构化等,如脱氢芳樟醇生成,顺反结构的 β -罗勒烯的转变等,可导致香型的改变。正是由于表现为花香、果香的化合物的减少或降低,“火香”类香气化合物的增加,导致铁观音由清香型向浓香型转变,形成特有的“火香”、高香品质。

3 结论

本实验采用组合式焙火工艺,将“低火慢焙”引入铁观音焙火工艺,焙火后铁观音品质可得到明显提高,工艺中“低火”宜低不宜过高。铁观音焙火后汤色橙黄、金黄,香气火香、蜜香浓郁持久,滋味醇厚、滑爽。具花果香类的酯类、及醇类(芳樟醇、脱氢芳樟醇、橙花叔醇等)与焙火过程中由美拉德反应新生成的“火香”类物质其变化情况对焙火工艺选择具指导作用。“中火”→“中火”→“低火”→“高火”为高香铁观音焙火主线工艺,生产中依铁观音档次、类型、含水量、嫩度等确定具体烘焙温度与时间。香气组分存在阈值^[16],有待结合GC-O进一步研究香气组分之间的组成情况对铁观音香气品质的影响^[17]。并结合同位素标记分子法^[18]等手段建立模拟单反应底物的焙火处理^[19],探究铁观音焙火中相关化合物的形成机理。

参考文献

- [1] 谢萍娟,李旭云. 清香型铁观音的制作技术[J]. 中国茶叶, 2006(4):32-33.
- [2] 曾国渊. 精制乌龙茶烘焙作用的原理与要求[J]. 福建茶叶, 2004(1):33-34.
- [3] 张燕忠,张凌云,王登良. 烘焙技术在乌龙茶精制中的应用研究现状与探讨[J]. 茶叶, 2008(2):75-77.
- [4] 李宗垣. 铁观音茶叶的烘箱烘焙技术[J]. 福建茶叶, 2009, 32(4):29-30.
- [5] 江山,宁井铭,方世辉,等. 焙火温度对条形乌龙茶品质的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2012, 39(2):221-224.
- [6] 江用文,陈栋,龚淑英,等. 中国茶产品加工[M]. 上海:上海科学技术出版社, 2011:152-171.
- [7] 施兆鹏. 茶叶审评与检验[M]. 北京:中国农业出版社, 2010:142-146.
- [8] 张雪波,肖世青,杜先锋,等. 基于主成分分析法的安溪铁观音香气质量评价模型的构建[J]. 食品科学, 2012(22):225-230.
- [9] 陈林,张应根,陈键,等. 清香型乌龙茶品质形成过程中香气组成化学模式的动态变化规律[J]. 茶叶科学, 2013(1):53-59.
- [10] 陈常颂,钟秋生,林郑和,等. 新选308与铁观音乌龙茶香气成分比较分析[J]. 食品工业科技, 2013(21):97-102.
- [11] 郭雯飞. 茶叶香气生成机理的研究[J]. 中国茶叶加工, 1996(4):34-37.
- [12] 原利男,久保田悦郎. 绿茶贮藏中の香气成分的变化[J]. 日本農芸化学会誌, 1982, 56(8):625-630.
- [13] 堀田博,原利男. 光照射によって生成する緑茶の香气成分について[J]. 茶業技術研究, 1986, 69:58-67.

- [14] 陈宗懋. 中国茶叶大辞典[M]. 中国轻工业出版社, 2000: 358.
- [15] 韩媛媛, 袁杰, 翁连进, 等. 茶叶香气的影响因素[J]. 氨基酸和生物资源, 2014(1): 14-18.
- [16] 王令云, 刘军, 刘娅. 食品香味物质分子连结性指数与其理化性质的相关性[J]. 新疆工学院学报, 1998(3): 173-177.
- [17] 张青, 王锡昌, 刘源. GC-O法在食品风味分析中的应用[J].

食品科学, 2009(3): 284-287.

- [18] 薛向东. 基于电喷雾质谱(ESI-MS)的稳定同位素标记对糖类物质进行相对定量和定性分析方法的研究[D]. 西安: 西北大学, 2011.
- [19] 李伶俐, 曾茂茂, 陈洁, 等. 葡萄糖/L-半胱氨酸美拉德反应动力学研究[J]. 食品工业科技, 2011(10): 73-75.

(上接第52页)

康产生危害。

实验条件下各重金属的总浸出量均随着浸泡次数、浸泡温度和浸泡时间的增加而增大。三次浸泡后, 五种重金属浸出总量Mn最高, Zn次之, Pb、Cd和Cu浸出总量较低, 弃除浸泡1 min的茶汤可洗去茶叶中1.75%~28.28%的重金属, 温水泡茶亦可降低重金属浸出量。

经三次浸泡后, 五种茶汤中各重金属通过食入途径产生的健康风险水平大小顺序为Cd>Mn>Cu>Zn>Pb, 非致癌物质(Mn、Cu、Zn、Pb)所引起的健康危险甚微, 暂不会对暴露人群构成明显的危害, 致癌物质(Cd)的健康风险值接近限值, 存在潜在的污染。

参考文献

- [1] Chung F L, Schwartz J, Herzog C R, et al. Tea and cancer prevention: Studies in animals and humans[J]. The Journal of Nutrition, 2003, 133(S): 3268-3274.
- [2] Cabrera C, Gimenez R, Lopez M C. Determination of tea components with antioxidant activity[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(15): 4427-4435.
- [3] Tanmoy K, Bhagat R M. Trace elements in tea leaves, made tea and tea infusion: A review[J]. Food Research International, 2010, 43: 2234-2252.
- [4] Ferna'ndez P L, Pablos F, Martin M J, et al. Multi-element analysis of tea beverages by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry[J]. Food Chemistry, 2002, 76: 483-489.
- [5] Lv H P, Lin Z, Tan J F, et al. Contents of uoride, lead, copper, chromium, arsenic and cadmium in Chinese Puerh tea[J]. Food Research International, 2013, 53: 938-944.
- [6] Matsuura H, Hokura A, Katsuki F, et al. Multielement determination and speciation of major-to-trace elements in black tea leaves by ICP-AES and ICP-MS with the aid of size exclusion chromatography[J]. Analytical Sciences, 2001, 17: 391-398.
- [7] 周玉婵, 李明顺. 广西两茶园土壤-茶叶-茶汤系统重金属污染及其转移特征[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(6): 2151-2157.
- [8] Shen F M, Chen H W. Element Composition of Tea Leaves and Tea Infusions and Its Impact on Health[J]. Bull Environ Contam Toxicol, 2008, 80: 300-304.
- [9] Seenivasan S, Manikandan N, Muraleedharan N N, et al. Heavy metal content of black teas from south India[J]. Food Control, 2008, 19: 746-749.
- [10] Zhang H Q, Ni B F, Tian W Z, et al. Study on essential and toxic elements intake from drinking of Chinese tea[J]. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 2011, 287: 887-892.
- [11] 李云, 张进忠, 童华荣. 重庆市某茶园土壤和茶叶中重金属的检测与污染评价[J]. 中国农学通报, 2007, 23(7): 519-524.
- [12] Sakine S, Mahboobeh G, Azita M, et al. Determination of lead, cadmium and arsenic in infusion tea cultivated in north of Iran[J]. Iranian Journal of Environmental Health Sciences & Engineering, 2012, 9: 37-42.
- [13] Aditi J, Chanchal M, Shrey K, et al. Tea and human health: The dark shadows[J]. Toxicology Letters, 2013, 220: 82-87.
- [14] Cao H B, Li Q, Zhang H, et al. Exposure and risk assessment for aluminum and heavy metals in Puerh tea[J]. Science of the Total Environment, 2010, 408: 2777-2784.
- [15] 戴骥, 鲍晓霞, 裘慧, 等. 微波消解-端视ICP-AES测定茶叶中微量重金属元素[J]. 分析实验室, 2008, 27(6): 24-26.
- [16] 石元值, 马立峰, 韩文炎, 等. 茶叶中重金属元素的原子吸收光谱测定法[J]. 中国茶叶, 2008, 2: 17-19.
- [17] US EPA. Guidelines for Carcinogen Risk Assessment[R]. Risk Assessment Forum, Washington, DC. 2005.
- [18] US EPA. Guidance for Performing Aggregate Exposure and Risk Assessments[R]. Office of Pesticide Programs, Washington, DC. 2003.
- [19] Sait C S, Pinar K. An exposure and risk assessment for fluoride and trace metals in black tea[J]. Journal of Hazardous Materials, 2008, 158: 392-400.
- [20] 王铁军, 查学芳, 熊威娜, 等. 贵州遵义高坪水源地岩溶地下水重金属污染健康风险初步评价[J]. 环境科学研究, 2008, 21(1): 46-50.
- [21] IRIS, Integrated Risk Information System, US Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH. <http://www.epa.gov/iris>, 2007 (accessed 2007).
- [22] 管后春, 李运怀, 彭苗枝. 黄山市城市表层土壤重金属环境质量及人为污染评价[J]. 土壤通报, 2013, 44(3): 737-743.
- [23] Brooke E T, Amber M B, Kathryn D D, et al. Screening level health risk assessment of selected metals in apple juice sold in the United States Monnot[J]. Food and Chemical Toxicology, 2014, 71: 42-50.
- [24] Stephan C. Zn and Fe biofortification: The right chemical environment for human bioavailability[J]. Plant Science, 2014, 225: 52-57.
- [25] 周亘, 蒋东云, 崔林影. 茶叶水中重金属铅、铜、锌、锰的浸出率实验研究[J]. 食品科技, 2010, 35(1): 285-288.
- [26] Malinowska E, Inkielewicz I, Czarnowski W, et al. Assessment of fluoride concentration and daily intake by human from tea and herbal infusions[J]. Food and Chemical Toxicology, 2008, 46: 1055-1061.
- [27] 蒋建明. 也说“洗茶”[J]. 茶业通报, 2005, 27(3): 124.