

干燥方式对秋葵花茶及其茶汤风味的影响

Effect of drying method on the flavor of okra flower tea and its soup

纳尔布 兰兴莲 王贵武 黄开正

NA Er-bu LAN Xing-lian WANG Gui-wu HUANG Kai-zheng

李马驹 冉 伟 辛松林

LI Ma-ju RAN Wei XIN Song-lin

(四川旅游学院烹饪学院, 四川 成都 610100)

(Culinary College of Sichuan Tourism College, Chengdu, Sichuan 610100, China)

摘要:采用气相色谱高通量飞行时间质谱仪(GC-TOF-MS)对两种不同干燥方式(冷冻干燥和热风干燥)制备的秋葵花茶及其茶汤中挥发性成分进行检测、分析。结果表明:两种干燥方式制备的秋葵花茶及其茶汤中的挥发性化合物共194种,并以有机酸类、糖类和氨基酸类为主;冷冻干燥花茶茶汤中糖类、有机酸类、醇类、酰胺类、酯类、磺酸类、苷类的相对含量高于热风干燥的;其中,冷冻干燥花茶茶汤中的糖类、有机酸类、氨基酸类和醇类的相对含量分别为27.342, 14.025, 18.553, 7.157, 而热风干燥的分别为17.701, 8.774, 2.517, 4.610;冷冻干燥花茶茶汤中的热敏成分——总酚、总黄酮及维生素C的相对含量高于热风干燥的,其中总酚含量存在显著差异($P < 0.05$);热风干燥花茶茶汤中的风味物质——糖醇类、糖酸类、糖胺类、羟胺类、含磷化合物、杂环类的相对含量高于冷冻干燥的。综上,冷冻干燥有利于保留秋葵鲜花中原有的组分及生物活性物质,热风干燥有利于秋葵花茶及其茶汤中风味物质的形成。

关键词:秋葵花茶;茶汤;干燥;风味;组分

Abstract: The volatile components of okra flower tea and its soup prepared using different drying methods were tested and analyzed by high throughput time of flight mass spectrometry (GC-TOF-MS), and the components of okra flower tea and its soup were determined. The results showed that 194 volatile compounds were identified in okra flower tea and its soup prepared by using the two drying methods. Among them, organic acids, sugars and

amino acids were the main ones. The relative contents of sugars, organic acids, alcohols, amides, esters, sulfonic acids and glycosides in freeze-dried flower tea and its soup were higher than those in hot-air dried flower tea and its soup. Among them, the relative content of carbohydrates, organic acids, amino acids and alcohols in freeze-dried flower tea soup was 27.342, 14.025, 18.553 and 7.157, respectively, while that of carbohydrates, organic acids, amino acids and alcohols in hot-air dried flower tea soup was 17.701, 8.774, 2.517 and 4.610 respectively. In addition, the relative contents of total phenol, total flavone and V_C in freeze-dried flower tea soup were higher than those in hot-air dried flower tea soup. Among them, the content of total phenol was significantly different ($P < 0.05$). However, the relative contents of glycoalcohols, glycoacids, glycoamines, hydroxylamines, phosphorus compounds and heterocycles in the hot-air dried flower tea soup were higher than those in the freeze-dried flower tea soup. To sum up, the freeze-drying method was conducive to retain the original ingredients and bioactive substances in okra flowers, while hot-air drying was conducive to the flavor substances formation of okra flower tea and its soup.

Keywords: okra flower tea; tea soup; drying; flavor; components

黄秋葵(*Abelmoschus esculentus*)别名羊角豆、秋葵、咖啡黄葵等,属锦葵科秋葵属^[1]。秋葵一直被民众视为保健蔬菜,而秋葵花在数百年前就被用作保健茶和草药^[2]。

目前,对秋葵花的 research 主要集中于多糖、黄酮的提取^[3-4]、抑菌以及抗氧化能力的研究^[5-6]。比如刘春菊等^[7]采用50, 70℃热风干燥、微波干燥及真空冷冻干燥处理秋葵花,研究干燥方式对秋葵花茶外观品质、色泽及花茶和茶水中多糖、黄酮含量以及抗氧化能力和感官品

基金项目:四川旅游学院科研团队建设项目(编号:19SCTUTP05);四川省大学生创新项目(编号:S202011552111)

作者简介:纳尔布,男,四川旅游学院在读本科生。

通信作者:辛松林(1981—),男,四川旅游学院副研究员,在站博士后。E-mail:23016024@qq.com

收稿日期:2019-12-13

质的影响。王芬等^[8]对秋葵花红茶复合饮料的工艺进行了优化,并测定了茶汤的自由基清除率。而关于秋葵花茶特别是秋葵花茶茶汤风味的研究报道较为鲜见。目前,市场上销售的秋葵花茶均采用热风干燥工艺生产,而干燥方式可能对秋葵花茶及其茶汤的风味产生较大影响。试验拟采用气相色谱高通量飞行时间质谱仪(GC-TOF-MS)对热风干燥秋葵花茶及其茶汤、冷冻干燥秋葵花茶及其茶汤中挥发性成分进行检测分析,并比较分析两种不同干燥方式制备的秋葵花茶茶汤中的组分及活性成分,为提高秋葵花的开发利用率及其在软饮料行业中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

秋葵花:成都市沁彩农庄秋葵种植基地。

1.2 主要试剂与设备

甲醇:HPLC,德国 CNW Technologies 公司;

氯仿、吡啶:HPLC,阿达玛斯试剂有限公司;

甲氧胺盐:分析纯,梯希爱(上海)化成工业发展有限公司;

核糖醇:美国 SIGMA 公司;

BSTFA:含 1% TMCS,瑞吉科技有限公司;

饱和脂肪酸甲酯:德国 Dr Ehrenstorfer 公司;

气相色谱:7890B 型,美国 Agilent 公司;

质谱仪:PEGASUS HT 型,美国力可公司;

色谱柱:DB-5MS 型,30 m×250 μm×0.25 μm,美国 Agilent 公司;

离心机:Heraeus Fresco17 型,德国 Thermo Fisher Scientific 公司;

分析天平:BSA124S-CW 型,德国 Sartorius 公司;

研磨仪:JXFSTPRP-24 型,上海净信科技有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 秋葵花茶及其茶汤的制备 采摘即将闭合的秋葵花,预冷至 4℃,运至实验室后立即进行干燥处理,当秋葵花湿基含水率为 4%时停止干燥,密封,备用。热风干燥温度 70℃;冷冻干燥温度-40℃ 预冻 6 h,搁板温度 30℃、真空度 8 Pa。

秋葵花茶茶汤的制备:精密称取 5.000 g 干花于 200 mL 烧杯中,用 92.00 mL、90℃的(怡宝)纯净水冲泡 120.00 s,上清液即秋葵花茶茶汤样品。

1.3.2 理化指标的测定

(1) 灰分含量:按 GB/T 5009.4—2010 执行。

(2) 蛋白质含量:按 GB/T 5009.5—2010 执行。

(3) 粗纤维含量:按 GB/T 5009.10—2003 执行。

(4) 总糖含量:参照黄阿根等^[9]的方法。

(5) 总酚含量:参照 Singleton 等^[10]的方法。

(6) 总黄酮含量:参照 Wang 等^[11]的方法。

(7) 维生素 C 含量:参照张嘉嘉等^[12]的方法。

1.3.3 挥发性物质含量测定

(1) 挥发性物质提取:分别称取热风干燥秋葵花茶(FD)以及冷冻干燥秋葵花茶(HAD)(20±1) mg 于 2 mL EP 管中,加入 450 μL 提取液(甲醇与水体积比 3:1),再加入 10 μL 核糖醇,涡旋 30 s;加入瓷珠,45 Hz 研磨仪处理 4 min,超声 5 min(冰水浴),重复 3 次;4℃、12 000 r/min 离心 15 min。取热风干燥秋葵花茶茶汤(FTSD)以及冷冻干燥秋葵花茶茶汤(HADTS)100 μL 于 1.5 mL EP 管中,加入 350 μL 甲醇,再加入 10 μL 核糖醇,涡旋 30 s;超声 10 min(冰水浴);4℃、12 000 r/min 离心 15 min;移取 200 μL 上清液于 1.5 mL EP 管中。

上述提取物于真空浓缩器中干燥。向干燥后的 FD、HAD 提取物中各加入 60 μL 甲氧胺盐试剂,FDTS、HADTS 提取物中各加入 50 μL 甲氧胺盐试剂,混匀;80℃ 烘箱孵育 30 min;向 FD、HAD 提取物中各加入 80 μL BSTFA(含 1% TMCS),FDTS、HADTS 提取物中各加入 60 μL BSTFA;70℃ 烘箱孵育 1.5 h,待用。

(2) 随机上机检测:进样量 1 μL,以不分流模式进样,隔垫吹扫流速 3 mL/min,以高纯氦气(>99.999 5%)作为载气,恒流模式,1 mL/min。柱箱以 10℃/min 的速度升至 310℃,保持 8 min。前进样口温度 280℃,传输线温度 280℃,离子源温度 250℃,电离电压-70 eV,质量范围 50~500 *m/z*,扫描速率 12.5 光谱/s,溶剂延迟 6.33 min。

1.3.4 数据处理 使用 Chroma TOF 软件以及 LECO-Fiehn Rtx5 数据库对质谱数据进行处理和分析。

2 结果与分析

2.1 茶汤中相关组分及活性成分的分析

由表 1 可知,冷冻干燥、热风干燥花茶茶汤中可溶性蛋白质含量分别为 4.56、4.21 mg/g,远低于刘江伟等^[13]报道的秋葵鲜花(10.63%)中的,这是因为试验检测的是茶汤中的可溶性蛋白质而不是总蛋白,也可能与干燥过程中蛋白质参与美拉德反应以及冲泡稀释、蛋白质溶解性有关系。冷冻干燥花茶茶汤中粗脂肪、灰分含量分别为 2.73%、9.21%,热风干燥的分别为 2.20%、8.72%,均与刘江伟等^[13]报道的无显著性差异,说明秋葵鲜花的干燥、花茶的冲泡对脂肪和灰分含量的影响较小。茶汤中粗纤维、总糖、黄酮含量较高,其中冷冻干燥花茶茶汤中粗纤维含量高于热风干燥的,但差异不显著($P>0.05$),可能是秋葵鲜花在冷冻干燥过程中失水较快,酶类迅速失活,减少了粗纤维的降解。冷冻干燥花茶茶汤中总糖、总酚、黄酮、维生素 C 含量均高于热风干燥的,可能与热风干燥过程中的美拉德反应、氧化反应有关。从营养学

表 1 秋葵花茶茶汤中相关组分及活性成分的含量[†]

Table 1 Contents of related components and active components in okra flower tea soup

样品	粗脂肪/%	可溶性蛋白质/ (mg·g ⁻¹)	粗纤维/ (mg·g ⁻¹)	灰分/%	总糖/ (mg·g ⁻¹)	总酚/ (mg·g ⁻¹)	总黄酮/ (mg·g ⁻¹)	Vc/ (mg·g ⁻¹)
冻干秋葵花 茶汤	2.73±0.629 ^a	4.56±0.472 ^a	742.45±48.834 ^a	9.21±0.832 ^a	262.73±1.637 ^a	52.86±0.437 ^a	11.24±0.078 ^a	0.16±0.008 ^a
热风干燥秋 葵花茶汤	2.20±0.461 ^a	4.21±0.531 ^a	617.63±46.624 ^a	8.72±0.728 ^a	251.88±1.413 ^a	39.26±0.416 ^b	8.11±0.061 ^a	0.13±0.005 ^a

[†] 小写字母不同表示差异显著(P<0.05)。

角度考虑,高纤维、高黄酮可提高茶汤抗氧化活性以及有利于肠道健康^[14-15],而高糖可改善茶汤的风味。综上,冷冻干燥更有利于保护秋葵花茶中的热敏成分,特别是总酚。

2.2 花茶及茶汤中风味物质的分析

由图 1 可知,秋葵花茶及其茶汤中共检出 485 个峰。

由表 2 可知,秋葵花茶中共定性定量 194 种化合物,以有机酸类、糖类、氨基酸类化合物为主,分别有 48,25,30 种。冷冻干燥秋葵花茶中挥发性物质种类(166 种)与热风干燥的(153 种)相当,但其挥发性物质的总相对含量(1 298.450)远高于热风干燥的(342.332),可能与热风干燥过程中发生的美拉德反应有关。两种茶汤中的挥发性物质种类相当,而冷冻干燥花茶茶汤中挥发性物质的总相对含量(74.608)高于热风干燥的(40.512),说明花茶中的挥发性物质种类及相对含量会影响茶汤中的挥发性物质种类及相对含量,其中以糖类、醇类、有机酸类、氨基酸类的差异较大,冷冻干燥花茶茶汤中的糖类、有机酸类、氨基酸类、醇类的相对含量分别为 27.342,14.025,18.553,7.157;而热风干燥的分别为 17.701,8.774,2.517,4.610。可溶性糖类、有机酸类以及氨基酸类对茶汤的滋味起重要作用,而醇类对茶汤的气味起重要作用。

由表 3 可知,冷冻干燥花茶及其茶汤中相对含量最高的挥发性物质为糖类,分别达744.55,27.34;热风干燥

花茶及其茶汤中糖类的相对含量分别为 195.67,17.70,可能与糖类在热风干燥过程中发生美拉德反应和焦糖反应有关,同时也会形成许多新的化合物,从而提高茶汤风味^[16-18]。

冷冻干燥花茶及其茶汤中氨基酸的相对含量(分别为 118.656,18.553)高于热风干燥的,与氨基酸在热风干燥过程中参与美拉德反应有关。另外,亮氨酸、β-丙氨酸 1,3-羟基正缬氨酸在花茶中有检出,但其对应的茶汤中未检出,可能是因为高温冲泡导致其破坏、分解。N-乙酰-L-亮氨酸、β-丙氨酸 2、N-α-乙酰基-L-鸟氨酸及瓜氨酸 1 在茶汤中有检出,但其对应的花茶中未检出,可能与氨基酸的溶解性相关。因茶汤中氨基酸相对含量较高,且味与味之间可能产生相互作用,因此推测氨基酸对秋葵茶汤风味会产生较大影响^[19-20]。此外,花茶及茶汤中共检出 6 种人体必需氨基酸,未检出甲硫氨酸、苏氨酸;仅在花茶中检出亮氨酸,而茶汤中均未检出,可能高温冲泡破坏了花茶中的亮氨酸。

热风干燥花茶及其茶汤中乳酸的相对含量分别为 6.25,2.22,高于冷冻干燥的;亚油酸、亚麻酸、酒石酸、顺式-贡多酸等仅在花茶中检出,其对应茶汤中未检出;2-羟基戊酸、羟基肉桂酸、马来酸、糖精酸在热风干燥花茶及其茶汤中均未检出;莽草酸、N-(2-羟乙基)-亚氨基二乙酸、马来酰胺酸在冷冻干燥花茶及其茶汤中均未检出。综上,干燥工艺影响花茶中有机酸组成及相对含量,而热水冲泡以及花茶本身的有机酸组成及相对含量会影响茶汤的有机酸组成及相对含量,从而影响茶汤的风味。

苷类又称甙类,大多数苷类无气味,却具苦味,如柚皮苷,苦涩味通常被认为是影响茶汤口味的负面因素。次黄嘌呤核苷、2-脱氧尿苷、熊果苷在花茶及其茶汤中均有检出,甲基-β-D-半乳吡喃苷仅在热风干燥花茶及其茶汤中检出;马钱苷、鸟苷、苯基 β-D-吡喃葡萄糖苷、尿苷、嘌呤核苷仅在冷冻干燥花茶及其茶汤中检出;胸苷在冷冻干燥花茶茶汤中未检出。冷冻干燥花茶及其茶汤中的苷类物质种类及相对含量均高于热风干燥的,其可能影响冷冻干燥花茶茶汤的滋味。此外,熊果苷具有抗炎、镇咳、祛痰、平喘^[21-22]、美白^[21]作用,马钱苷能有效增强小鼠的抗疲劳能力和提高小鼠的记忆力等^[23-24],但其在茶

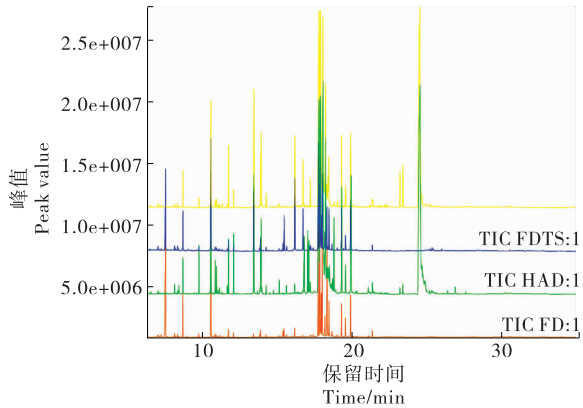


图 1 秋葵花茶及其茶汤的 GC-TOF-MS 总离子流图
Figure 1 GC-TOF-MS total ion current diagram of okra flower tea and its soup

表 2 秋葵花茶及茶汤中挥发性风味物质归类分析[†]

Table 2 Classification and analysis of volatile flavor compounds in okra flower tea and soup

类别	FD		HAD		FTSD		HADTS	
	种类	相对含量	种类	相对含量	种类	相对含量	种类	相对含量
醇类	10	144.624	10	36.021	10	7.157	11	4.610
酮类	2	0.085	4	0.100	2	0.011	4	0.010
酰胺类	7	3.230	6	1.272	7	0.229	7	0.131
维生素	1	0.157	1	0.018	0	0.006	1	—
有机酸类	48	141.491	44	21.312	43	14.025	44	8.774
酯类	5	1.710	4	0.470	5	0.200	4	0.090
杂环类	6	1.398	7	1.162	4	0.138	6	0.154
烃类	2	0.104	1	0.087	2	0.010	1	0.004
磺酸类	2	5.893	1	1.708	2	0.934	2	0.257
苷类	10	1.323	5	0.165	8	0.464	6	0.018
糖类	25	744.549	20	195.663	23	27.342	18	17.701
糖醇类	5	95.102	8	20.699	7	2.733	8	3.186
糖酸类	3	1.721	5	1.029	4	0.209	5	0.449
糖醛酸类	2	0.884	3	1.552	2	0.195	3	0.027
糖胺类	2	0.047	2	0.272	2	0.006	2	0.018
氨基酸类	30	118.656	26	23.650	30	18.553	28	2.517
酚类	1	0.546	0	—	1	0.032	0	—
含 P 化合物	3	36.154	4	36.926	4	2.327	5	2.548
羟胺类	0	—	0	—	1	0.002	1	0.004
其他	2	0.776	2	0.226	2	0.033	1	0.014
合计	166	1 298.450	153	342.332	159	74.608	157	40.512

[†] “—”表示未检出检,相对含量根据出峰面积进行换算而得。

表 3 秋葵花茶茶汤中风味物质组成及含量[†]

Table 3 Components and contents of flavor substances in okra flower tea soup

类别	名称	平均相似度	平均保留时间/min	检出次数	定量离子	相对含量			
						FD	HAD	FTSD	HADTS
糖类	1-蔗果三糖	898.5	30.302 7	2	204	0.323 49	—	0.005 92	—
	2-脱氧-D-半乳糖	631.0	17.058 0	2	73	58.199 44	—	0.162 77	—
	3,6-脱水-D-半乳糖	792.5	16.518 7	2	231	0.194 20	—	0.038 60	—
	D-葡萄糖庚糖	675.0	20.281 7	4	319	0.168 84	0.047 76	0.005 89	0.005 64
	阿洛糖	601.0	15.348 3	4	204	0.086 06	0.073 38	0.015 15	0.016 41
	纤维二糖	858.5	25.162 0	2	160	0.014 85	—	0.001 86	—
	毛地黄毒素糖	575.0	14.765 0	4	117	0.672 15	0.063 47	0.029 77	0.011 80
	D-滑石糖	626.8	18.179 0	4	159	0.043 22	0.024 73	0.005 79	0.001 79
	赤藓糖	512.5	12.988 7	4	147	0.096 73	0.055 88	0.009 22	0.008 49
	果糖	885.0	17.804 7	4	73	309.468 43	104.036 91	0.789 47	8.873 65
	岩藻糖	756.5	16.103 3	2	117	0.160 77	0.195 86	—	—
	异麦芽糖	625.0	26.135 8	3	73	0.081 28	0.051 67	—	0.015 11
	乳果糖 1	631.5	24.896 0	2	216	0.030 24	—	0.000 31	—
	麦芽糖	381.5	25.387 3	2	259	—	0.035 04	—	0.002 39
	来苏糖	474.7	15.222 9	3	117	0.027 80	0.011 05	0.005 09	—

续表 3

类别	名称	平均相似 度	平均保留 时间/min	检出 次数	定量 离子	相对含量			
						FD	HAD	FTSD	HADTS
糖类	甘露糖 1	836.0	17.932 0	4	160	0.888 40	0.386 11	0.180 64	0.02740
	甘露糖 1	853.8	17.992 0	4	205	2.188 08	4.332 10	0.026 07	0.79223
	甘露糖 2	919.8	18.062 3	4	73	322.494 75	79.389 11	24.968 41	6.471 91
	甘露糖 2	500.3	26.176 7	4	204	0.226 12	0.017 93	0.012 19	0.005 24
	苦参糖	631.0	25.736 7	2	103	0.125 71	—	0.021 26	—
	核糖	847.7	15.652 7	3	103	—	0.696 97	0.006 76	0.146 66
	蔗糖	862.0	24.461 1	3	361	37.954 94	0.014 93	0.089 46	—
	塔格糖	740.7	17.540 2	3	103	0.182 24	—	0.027 98	0.005 53
	海藻糖	861.3	25.231 3	4	73	1.859 79	0.333 17	0.170 21	0.059 04
	木糖 1	942.3	15.484 0	4	103	0.669 69	4.635 53	0.046 07	1.120 48
	木糖 2	804.7	15.312 7	3	103	0.183 76	0.310 62	—	0.043 20
	葡萄糖	951.8	18.237 3	4	319	8.208 36	0.952 64	0.723 41	0.093 64
糖醛酸	D-半乳糖醛酸	819.7	18.728 3	4	333	0.605 28	0.050 44	0.061 31	0.001 30
	二半乳糖醛酸	687.3	26.048 0	4	73	0.278 96	1.023 39	0.13352	0.011 39
	葡萄糖醛酸	306.0	18.549 3	2	203	—	0.447 72	—	0.014 32
糖酸类	2-酮基-L-古洛糖酸	696.7	17.887 3	3	275	—	0.342 18	0.001 69	0.022 57
	6-磷酸葡萄糖酸	488.0	22.728 7	2	103	—	0.014 52	—	0.000 74
	葡萄糖酸	899.0	19.042 0	4	73	1.599 42	0.283 69	0.192 69	0.409 55
	半乳糖酸	646.0	18.997 0	4	292	0.009 26	0.012 24	0.001 19	0.002 23
	葡萄糖庚酸	674.5	20.338 0	4	103	0.112 05	0.375 88	0.013 52	0.013 94
糖胺类	N-乙酰-β-D-甘露糖胺	702.3	20.070 0	4	205	0.022 86	0.114 71	0.003 25	0.011 28
	N-乙酰-D-半乳糖胺	788.8	19.810 0	4	87	0.024 41	0.157 43	0.002 89	0.006 45
糖醇类	D-阿拉伯糖醇	824.5	16.187 3	2	125	—	—	0.009 24	0.007 39
	半乳糖醇	601.0	26.971 3	4	204	0.022 58	2.479 20	0.002 48	0.001 86
	异麦芽酮糖醇	558.0	26.481 3	2	179	—	0.013 13	—	0.001 69
	2-脱氧赤藓糖醇	554.3	10.803 8	3	117	—	0.012 28	0.001 92	0.001 78
	1,5-脱水葡萄糖醇	529.3	17.503 3	3	75	0.053 87	0.083 07	0.003 14	—
	山梨醇	911.5	18.393 3	4	73	94.821 23	17.352 90	2.683 18	3.099 01
	三糖醇	746.0	13.551 0	4	103	0.008 61	0.055 12	0.001 32	0.004 84
	木糖醇	839.8	15.926 3	4	73	0.195 21	0.683 37	0.031 98	0.068 58
	甘露醇	615.5	18.398 7	2	304	—	0.019 77	—	0.000 41
	2-羟基-3-异丙基丁二酸	472.8	14.505 0	4	129	0.151 13	0.045 07	0.006 66	0.004 65
	2-羟基戊酸	754.5	9.708 0	2	131	0.048 28	—	0.001 93	—
	2-酮己二酸	293.0	10.232 7	3	96	0.033 73	0.013 24	—	0.000 57
有机酸类	2-酮丁酸	310.0	7.656 3	4	71	0.227 67	0.245 32	0.033 82	0.035 80
	4-氨基丁酸 1	942.0	13.990 7	4	174	1.617 53	0.136 95	0.103 39	0.042 66
	4-羟基-3-甲氧基苯甲酸	545.3	16.714 9	3	297	0.014 50	—	0.001 02	0.000 57
	4-羟基苯甲酸	528.3	15.191 8	3	223	0.029 02	0.008 32	—	0.001 37
	3,4-二羟基苯甲酸	910.8	17.284 7	4	193	0.246 10	0.414 53	0.041 83	0.108 71
	3,4-二羟基肉桂酸	630.8	20.405 7	4	219	0.054 87	0.017 27	0.003 18	0.002 32
	3-羟基丙酸	882.8	8.761 7	4	177	0.025 43	0.009 95	0.006 78	0.001 23
	3-氨基异丁酸	509.0	13.094 0	4	174	0.022 90	0.017 02	0.004 33	0.003 76

续表 3

类别	名称	平均相似度	平均保留时间/min	检出次数	定量离子	相对含量			
						FD	HAD	FTSD	HADTS
有机酸类	3-羟基-3-甲基戊二酸	547.5	14.834 3	4	147	0.057 43	0.034 67	0.004 90	0.004 28
	3-羟基丁酸	725.0	8.983 3	4	147	0.115 94	0.013 56	0.007 89	0.002 06
	羟基肉桂酸	579.0	18.580 7	2	293	0.070 04	—	0.000 71	—
	5-羟基吡啶-2-羧酸	257.5	21.049 7	4	202	0.142 42	0.037 86	0.004 55	0.004 17
	甲酮醇酸	238.0	9.604 2	3	114	—	0.000 74	0.001 02	0.000 42
	氨基丙二酸	650.0	13.217 0	4	73	0.248 05	0.048 46	0.019 40	0.011 86
	苯甲酸	528.3	10.321 7	4	179	0.016 05	0.011 13	0.002 00	0.001 18
	柠檬酸 degra1	223.5	10.226 3	4	57	0.068 54	0.068 41	0.006 91	0.006 87
	柠檬酸	350.7	13.229 6	3	247	0.014 92	—	0.001 20	0.000 74
	柠檬酸	931.8	17.232 3	4	273	1.011 22	0.160 75	0.300 42	0.066 79
	绿原酸	553.7	27.885 6	3	73	0.540 05	—	0.090 45	0.012 20
	顺式-贡多酸	298.5	22.837 3	2	55	0.021 59	0.013 46	—	—
	异丙酸	243.0	14.020 7	4	447	0.018 46	0.013 45	0.001 85	0.001 36
	D-甘油酸	834.0	11.350 3	4	73	0.858 43	0.192 71	0.166 92	0.049 99
	酒石酸	857.5	21.154 0	2	117	0.296 47	0.162 40	—	—
	富马酸	944.0	11.678 7	4	245	2.188 35	0.172 73	0.103 29	0.067 83
	戊酸	318.5	12.941 3	4	73	0.536 82	0.059 57	0.039 20	0.010 08
	戊酸	617.8	12.286 0	4	147	0.212 90	0.083 16	0.016 32	0.011 88
	乙醇酸	862.8	7.767 7	4	147	0.094 20	0.030 71	0.023 64	0.006 73
	乳酸	946.8	7.533 7	4	117	0.070 89	6.257 73	0.028 79	2.225 24
	乳酸 1	715.0	25.453 7	4	73	2.112 66	0.389 28	0.025 50	0.138 91
	乳糖 1	805.0	24.959 7	4	204	0.526 24	0.065 49	0.001 23	0.006 17
	亚油酸	683.5	21.101 3	2	67	0.129 19	0.107 59	—	—
	亚麻酸	693.0	21.159 3	2	79	0.204 01	0.194 99	—	—
	L-苹果酸	933.5	13.456 0	4	73	115.324 17	3.073 28	11.696 88	5.102 71
	马来酰胺酸	517.5	13.930 0	2	217	—	0.015 12	—	0.002 85
	马来酸	858.0	11.030 7	2	245	0.011 17	—	0.000 38	—
	丙二酸	797.8	9.617 3	4	147	0.333 94	0.208 29	0.054 30	0.024 08
	N-(2-羟乙基)-亚氨基二乙酸	279.0	17.167 3	2	144	—	0.027 76	—	0.002 87
	粘液酸	839.5	19.460 7	4	73	0.406 89	0.324 97	0.134 28	0.129 26
	N-乙基马来酸	351.0	13.290 7	4	155	0.300 87	0.019 89	0.004 36	0.002 02
	酒石酸	505.0	15.152 7	4	103	0.214 73	0.048 49	0.008 36	0.006 50
	硬脂酸	948.3	21.382 3	4	117	2.858 58	2.045 68	0.276 77	0.163 23
	琥珀酸	963.8	11.179 7	4	147	2.561 32	1.245 37	0.185 86	0.099 61
	硫酸	439.5	9.050 7	4	281	0.133 89	0.286 70	0.014 69	0.035 72
	恶烷酸	525.5	10.415 7	4	171	0.161 30	0.018 91	0.003 66	0.001 80
	棕榈酸	964.0	19.590 7	4	117	6.913 18	4.951 95	0.582 93	0.368 09
	丙酮酸	918.5	7.393 0	4	174	0.030 66	0.008 38	0.000 83	0.002 64
	糖精酸	424.0	19.344 0	2	66	0.213 97	—	0.012 58	—
	莽草酸	631.5	17.124 7	2	204	—	0.010 67	—	0.002 28

续表 3

类别	名称	平均相似 度	平均保留 时间/min	检出 次数	定量 离子	相对含量			
						FD	HAD	FTSD	HADTS
氨基酸类	异亮氨酸	947.3	10.881 0	4	158	7.440 87	1.237 15	0.249 40	0.127 84
	L-异苏氨酸	952.0	12.106 7	4	73	25.681 68	2.887 07	0.863 93	0.317 18
	亮氨酸	834.0	10.583 3	2	158	6.847 06	3.691 94	—	—
	L-谷氨酸	343.0	13.899 3	2	69	—	0.061 88	—	0.007 99
	L-高丝氨酸	928.0	12.950 0	2	218	0.165 35	—	0.012 14	—
	赖氨酸	744.3	18.336 0	4	174	1.503 29	0.115 82	0.113 31	0.038 58
	缬氨酸	975.0	9.785 7	4	144	13.743 77	1.735 74	0.429 16	0.168 92
	色氨酸	854.8	21.105 0	4	202	2.842 46	0.105 74	0.029 03	0.013 79
	酪氨酸	857.3	18.512 0	4	218	7.019 40	0.773 45	0.157 05	0.126 17
	蛋氨酸	799.7	13.862 0	3	176	0.456 26	0.129 41	—	0.016 74
	N-乙酰-L-天冬氨酸	232.5	15.556 7	2	128	0.020 69	—	0.001 47	—
	N-乙酰-L-亮氨酸	350.0	13.713 1	3	186	0.012 11	—	0.002 52	0.000 58
	N-α-乙酰基-L-鸟氨酸	330.3	18.966 9	3	143	0.003 60	—	9.058 84	0.000 11
	N-ε-乙酰-L-赖氨酸	237.0	18.142 0	2	327	0.018 12	—	0.001 33	—
	N-甲基-L-丙氨酸	708.7	9.156 2	3	130	0.151 39	0.016 86	0.007.70	—
	邻甲基苏氨酸	325.7	10.874 9	3	85	—	0.034 89	0.004 93	0.002 96
	羟脯氨酸	958.8	13.919 0	4	156	15.551 64	5.489 83	5.838 38	0.844 34
	苯丙氨酸	860.5	15.160 0	4	218	2.728 28	0.375 42	0.093 18	0.052 50
	脯氨酸	966.3	10.966 0	4	142	11.177 37	1.498 80	0.514 02	0.177 14
	S-羧甲基半胱氨酸 2	338.7	17.523 8	3	85	—	0.010 60	0.000 70	0.000 46
	丝氨酸	936.5	11.774 7	4	204	11.114 80	1.696 88	0.727 96	0.206 63
	3-羟基-L-脯氨酸	245.5	13.300 2	3	73	—	0.056 24	0.008 53	0.005 61
	3-羟基正缬氨酸	203.0	11.791 3	2	293	0.010 62	—	—	0.000 83
	丙氨酸	969.3	8.159 0	4	116	4.859 27	2.268 17	0.164 98	0.254 75
	苄氧基-L-亮氨酸 DEGR1	233.0	10.307 3	4	57	0.108 75	0.112 58	0.011 23	0.011 47
	天冬氨酸	949.0	13.849 7	4	232	0.778 12	0.385 27	0.059 16	0.058 32
	β-丙氨酸 1	859.0	9.457 5	3	102	0.445 23	0.013 13	0.009 55	—
	β-丙氨酸 2	908.7	12.692 7	3	174	0.063 91	—	0.010 55	0.001 64
	瓜氨酸 1	669.7	17.324 7	3	157	0.045 28	—	0.002 81	0.002 25
	环亮氨酸	552.0	11.873 3	4	156	0.133 53	0.017 47	0.009 97	0.002 87
	谷氨酸	895.8	15.043 0	4	246	0.121 43	0.064 56	0.015 08	0.006 52
	甘氨酸	816.0	8.443 7	4	102	4.439 19	0.589 01	0.070 80	0.078 25
	甘氨酸	936.3	11.065 7	4	174	1.094 20	0.196 19	0.075 75	0.053 27
	甘氨酸-d5	250.7	11.073 3	4	69	0.078 24	0.085 72	0.009 62	0.009 23
醇类	胆甾烷-3,5,6-三醇	392.3	30.582 7	4	57	1.274 25	1.143 78	0.157 96	0.119 78
	2-丁炔-1,4-二醇	546.0	10.056 2	3	57	0.013 26	—	0.001 45	0.001 46
	顺植醇	275.0	20.315 0	4	71	0.136 35	0.098 96	0.013 91	0.010 98
	3-甲氨基-1,2-丙二醇	450.3	11.994 0	4	147	0.053 36	0.016 13	0.006 36	0.003 24
	环己烯四醇环氧化物	589.3	18.726 7	4	217	1.860 32	0.365 16	0.006 13	0.006 79
	十二醇	235.0	14.344 0	4	71	0.033 82	0.034 27	0.005 13	0.004 17
	乙醇胺	907.8	10.507 7	4	174	0.717 91	0.146 15	0.050 69	0.030 95
	甘油	897.3	10.596 0	4	205	1.750 15	3.030 56	0.448 65	0.540 61
	肌醇	947.8	19.942 3	4	73	136.960 33	30.601 34	6.257 47	3.789 76

续表 3

类别	名称	平均相似度	平均保留时间/min	检出次数	定量离子	相对含量			
						FD	HAD	FTSD	HADTS
醇类	植物醇	314.5	20.697 3	4	71	0.109 99	0.085 51	0.010 81	0.009 17
	植物鞘氨醇 2	230.0	24.376 7	2	171	—	0.028 07	—	0.002 99
	4-羟基丁酸酯	338.0	10.050 7	2	103	0.001 95	0.015 29	—	—
	β -甘露糖基甘油酸酯	628.5	20.974 0	2	217	0.106 85	—	0.010 65	—
	甘油三酯	625.0	16.608 7	4	73	1.477 20	0.413 56	0.102 46	0.059 76
	葡萄糖内酯	919.0	17.944 7	2	220	—	—	0.078 37	0.026 45
	磷酸甲酯	458.3	9.232 7	4	241	0.059 09	0.027 02	0.001 74	0.001 65
	核糖酸 γ 内酯	559.8	15.895 7	4	231	0.069 21	0.015 27	0.005 23	0.002 31
	甲基- β -D-半乳吡喃苷	800.5	17.568 7	2	204	—	0.065 48	—	0.005 56
	马钱苷	361.0	26.423 3	2	56	0.008 91	—	0.000 14	—
苷类	次黄嘌呤核苷	489.5	23.992 3	4	259	0.024 09	0.007 53	0.001 37	0.001 27
	2-脱氧尿苷	235.8	10.529 0	4	85	0.052 11	0.050 22	0.006 44	0.005 78
	熊果苷	221.0	23.845 0	4	57	0.052 58	0.031 54	0.006 04	0.003 89
	鸟苷	760.0	25.465 3	2	324	0.049 73	—	0.002 12	—
	苯基 β -D-吡喃葡萄糖苷	550.0	21.912 7	2	98	0.124 90	—	0.020 11	—
	尿苷	541.0	23.224 0	2	103	0.920 53	—	0.419 99	—
	胸苷	638.0	10.658 4	3	170	0.015 17	0.010 58	—	0.001 19
	嘌呤核苷	505.0	22.458 7	2	246	0.069 19	—	0.007 63	—
	柚皮素	403.0	26.805 3	2	368	0.005 70	—	—	0.000 21
	蒽	644.5	15.257 3	2	264	0.005 60	—	0.000 51	—
烃类	十六烷	482.3	14.906 7	4	57	0.098 02	0.087 15	0.011 92	0.003 96
	α -D-葡萄糖胺 1-磷酸	656.0	17.142 7	2	217	—	11.505 50	—	0.020 10
	果糖-6-磷酸	531.0	21.697 3	2	160	—	0.037 46	—	0.004 81
	葡萄糖-1-磷酸	894.5	16.676 0	4	217	0.061 31	0.331 99	0.011 45	0.018 41
	葡萄糖-6-磷酸	332.0	22.127 3	2	73	0.024 92	—	0.002 95	—
	磷酸盐	899.8	10.594 7	4	299	36.067 41	25.050 62	2.303 11	2.504 33
	海藻糖-6-磷酸	483.5	28.438 0	2	361	—	—	0.009 88	0.000 61
	维生素 B ₇	394.3	23.390 4	3	73	0.157 17	0.017 55	0.006 05	—
	酚类	827.0	11.226 7	2	73	0.546 36	—	0.032 10	—
	烟碱	287.5	24.096 0	2	71	0.012 97	0.005 84	—	—
含 P 化合物	N-乙酰脒红	303.0	17.008 0	2	144	—	0.059 91	—	0.007 57
	胞嘧啶	654.5	13.938 0	2	254	—	0.026 30	—	0.003 00
	5-羟基吡咯-3-乙酸	644.5	21.239 3	2	218	0.324 51	—	0.010 33	—
	5,6-二甲基苯并咪唑	374.5	17.394 0	2	203	0.046 79	—	0.003 01	—
	2-羟基吡啶	909.3	7.266 0	4	152	0.915 81	0.796 99	0.120 50	0.113 89
	鸟嘌呤	708.0	20.292 2	3	352	0.036 16	0.046 31	—	0.007 36
	尿嘧啶	847.5	11.494 7	4	99	0.062 20	0.218 05	0.004 44	0.021 42
	胸腺嘧啶	387.5	12.327 3	2	255	—	0.008 80	—	0.000 85
	四氢皮质酮	387.0	27.351 3	2	205	—	0.003 26	—	0.000 15
	9-芴酮	406.5	17.004 0	2	57	—	0.007 27	—	0.000 24
酮类	二羟基丙酮	244.0	10.336 7	4	192	0.052 47	0.048 13	0.005 91	0.005 31
	1,4-环己二酮	282.5	11.152 7	4	71	0.032 24	0.040 97	0.004 66	0.004 51

续表 3

类别	名称	平均相似 度	平均保留 时间/min	检出 次数	定量 离子	相对含量			
						FD	HAD	FTSD	HADTS
酰胺类	马来酰亚胺	216.0	8.121 3	4	71	0.077 15	0.082 45	0.010 99	0.010 62
	缩二脲	277.0	16.044 7	4	71	0.178 82	0.169 90	0.019 12	0.018 05
	5-氨基戊酸内酰胺	272.8	8.825 3	4	142	0.768 79	0.157 96	0.015 75	0.015 52
	天冬酰胺	887.5	15.630 3	4	116	1.410 87	0.062 66	0.037 40	0.011 50
	谷氨酰胺	815.8	16.797 3	4	156	0.211 35	0.051 13	0.069 59	0.009 55
	内酰胺	309.0	9.059 3	3	128	0.065 45	—	0.004 02	0.004 27
	N-环己基甲酰胺 1	333.5	10.713 3	4	57	0.517 16	0.748 36	0.071 63	0.061 19
磺酸	三磺酸	914.5	14.286 0	4	73	5.721 09	1.707 88	0.925 64	0.252 52
	甲苯磺酸	491.0	15.179 8	3	229	0.172 17	—	0.008 13	0.004 37
羟胺类	羟胺	257.0	8.472 7	2	100	—	—	0.001 67	0.003 67
其他	龙胆菌代谢产物	837.3	25.736 7	3	204	0.363 28	0.114 69	0.012 13	—
	黄素腺嘌呤降解产物	602.3	16.420 7	4	217	0.413 10	0.111 68	0.020 48	0.014 42

† “—”表示未检出。

汤中的相对含量均极低,对茶汤的生物学活性影响不大。

酚类化合物主要呈苦味和涩味^[21-23],是苦味的重要来源^[24],然而,仅冷冻干燥花茶及其茶汤中检出儿茶酚,热风干燥花茶及其茶汤中未检出,可能与干燥过程中的氧化反应有关,儿茶酚是一种强还原剂,易被氧化成邻苯醌。

酮类一般由氨基酸 Strecker 降解或脂肪降解、氧化及微生物分解代谢产生,具有花香、果实香味、油味、脂肪味或奶酪味,碳链越长风味越浓郁,酮类物质阈值较低,赋香能力较强^[25]。秋葵花茶及其茶汤中共检出 4 种酮类物质,其中,四氢皮质酮、9-芴酮仅在热风干燥花茶及其茶汤中检出。

3 结论

采用气相色谱与高通量飞行时间质谱联用的方法对热风干燥和冷冻干燥秋葵花茶及其茶汤进行检测分析,共检出 485 个峰,定性得到 194 种挥发性物质,其中冷冻干燥、热风干燥花茶中挥发性物质种类分别为 166,153 种,挥发性物质的总相对含量分别为 1 298.450,342.332。冷冻干燥花茶茶汤中挥发性物质的总相对含量为 74.608,高于热风干燥的,其中相对含量较高的糖类、有机酸类、氨基酸类、醇类、儿茶酚以及一些苷类物质,主要贡献茶汤的滋味。冷冻干燥花茶茶汤中的糖类、有机酸类、氨基酸类、醇类的相对含量分别为 27.342,14.025,18.553,7.157,而热风干燥的分别为 17.701,8.774,2.517,4.610。综上,冷冻干燥制备秋葵花茶有利于保留鲜花中原有的挥发性成分及组分,而热风干燥则有利于新的气味物质形成。

参考文献

[1] 朱杰,黄阿根,杨振泉,等. 黄秋葵热风干燥工艺研究[J].

食品与机械,2016,32(10): 189-193.

[2] CHEN Hui-cha, JIAO Han-wei, CHENG Ying, et al. In vitro and in vivo immuno- modulatory activity of okra (*Abelmoschus esculentus* L.) polysac-charides[J]. Journal of Medicinal Food, 2016, 19(3): 253-265.

[3] 胡帅,张骋,李强,等. 不同黄秋葵茶中总黄酮的提取和含量测定[J]. 激光生物学报,2013,22(4): 375-378.

[4] 刘晓霞. 黄秋葵花果胶类多糖的提取工艺及其性质的研究[D]. 杭州: 浙江大学,2014: 22-60.

[5] 詹歌,李凯凯,吴许凭,等. 不同干燥方式对黄秋葵花抑菌及抗氧化性能的影响[J]. 安徽农业大学学报,2018,45(3): 395-399.

[6] 苏平,宋思圆,吴秋敏,等. 黄秋葵花黄酮的酵母微胶囊制备及其对油脂的抗氧化能力[J]. 中国食品学报,2016,16(4): 153-158.

[7] 刘春菊,王海鸥,李大婧,等. 干燥方式对黄秋葵花茶品质及体外抗氧化能力的影响[J]. 江苏农业学报,2018,34(4): 913-920.

[8] 王芬,乔冬,成少宁. 黄秋葵花红茶复合饮料的工艺优化及自由基清除率测定[J]. 饮料工业,2019,22(4): 42-46.

[9] 黄阿根,董瑞建,韦红. 茶树花活性成分的分析与鉴定[J]. 食品科学,2007,28(7): 401-402.

[10] SINGLETON V L, ROSSI J A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolyb dic-phosphotungstic acid reagents[J]. Am J Roentgenol, 1965, 16(3): 144-158.

[11] WANG Hong, WANG Jun-hong, GUO Xin-bo, et al. Effect of germination on lignan biosynthesis, and antioxidant and antiproliferative activities in flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) [J]. Food Chem, 2016, 205(17): 1-7.

[12] 张嘉嘉,孙鹏,周道顺,等. 高效测定柿叶中维生素 C 的反

- 相液相色谱法[J]. 计算机与应用化学, 2013, 33(11): 1 379-1 382.
- [13] 刘江伟, 于蒙蒙, 范双杰, 等. 黄秋葵花的成分分析[J]. 食品科技, 2016, 41(7): 280-283.
- [14] 王万方, 张怀令, 陈丽, 等. 不同加工形式茶叶茶多酚含量及抗氧化活性比较研究[J]. 大理学院学报, 2014, 13(10): 18-21.
- [15] 徐玮, 王利华, 聂宁. 不同温度和时间处理对茶多酚损失率的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25(2): 15-17.
- [16] CHEN Ying-Jie, KUO Ping-Chung, YANG Mei-Lin, et al. Effects of baking and aging on the changes of phenolic and volatile compounds in the preparation of old Tieguanyin oolong teas[J]. Food Research International, 2013, 53(2): 732-743.
- [17] WAN Li-fei, KIM Dong-man, LEE Chang-yong. Effects of heat processing and storage on flavanols and sensory qualities of green tea beverage[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48(9): 4 227-4 232.
- [18] WANG Chen, LV Shi-dong, WU Yuan-shuang, et al. Oolong tea made from tea plants different from locations in Yunnan and Fujian China showed similar aroma but different taste characteristics[J]. Springer Plus, 2016, 5(5): 1-15.
- [19] 程启坤, 阮宇成, 王月根, 等. 绿茶滋味化学鉴定法[J]. 茶叶科学, 1985, 5(1): 7-17.
- [20] 武彦文, 欧阳杰. 氨基酸和肽在食品中的呈味作用[J]. 中国调味品, 2001(1): 19-22.
- [21] 王慧琛, 王丽琴. 熊果苷的应用及检测研究进展[J]. 天津药学, 2012, 24(4): 71-74.
- [22] 王亚芳, 周宇辉, 张建军. 熊果苷镇咳、祛痰及平喘的药效学研究[J]. 中草药, 2003, 34(8): 739-741.
- [23] 臧晓霞, 章文超, 林英秀. 知柏地黄丸联合坤泰胶囊治疗更年期综合征的疗效观察[J]. 现代药物与临床, 2016, 31(12): 2 029-2 032.
- [24] 方伟进, 李艳, 曹珊珊, 等. 山茱萸果核提取物耐疲劳和耐缺氧作用研究[J]. 河南科技大学学报(医学版), 2011, 29(3): 167-169.
- [25] WOLF I V, PEROTTI M C, ZALAZAR C A. Composition and volatile profiles of commercial Argentinean blue cheeses[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2011, 91(2): 385-393.

(上接第 176 页)

- [13] 高蔓, 刘欣悦, 刘静静, 等. 青萝卜护绿与热泵干燥动力学研究[J]. 农产品加工, 2019(3): 25-29.
- [14] ZHANG Zi-xun, FENG Gui-feng, LI Yun. Development of okra sports drink[J]. Beverage industry, 2019, 22(2): 47-51.
- [15] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准 食品营养强化剂使用标准: GB 14880—2012[S]. 北京: 中国标准出版, 2012: 8-9.
- [16] 文星. 苦苣菜护色工艺及叶绿素铁钠盐制备的研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2013: 11.
- [17] KOCA N, KARADENIZ F, BURDURLU H S. Effect of pH on chlorophyll degradation and colour loss in blanched green peas[J]. Food Chemistry, 2006, 100(2): 609-615.
- [18] 刘扬. 养心菜护绿及贮藏工艺研究[D]. 长春: 吉林大学, 2015: 33.
- [19] WAN Qian-guo, ZHAO Hui-meng, ZHEN Peng-zhang, et al. Optimization of key variables for the enhanced production of hydrogen by *Ethanoligenens harbinense* W1 using response surface methodology[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2011, 36(10): 5 843-5 848.
- [20] ATTAPOL S, PAIROTE W, PATTAVARA P, et al. Application of a plackett-burman design for screening raw materials mainly affecting the properties of mum (Thai Fermented Sausage)[J]. Chiang Mai University Journal of Natural Sciences, 2020, 19(1): 122-138.
- [21] 肖润林, 王久荣, 单武雄, 等. 不同遮荫水平对茶树光合环境及茶叶品质的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(6): 6-11.
- [22] IKEDA G, NAGAI H, SAGARA Y. Development of food kansei model and its application for designing tastes and flavors of green tea beverage[J]. Food Science and Technology Research, 2004, 10(4): 396-404.
- [23] 刘东娜, 聂坤伦, 杜晓, 等. 抹茶品质的感官审评与成分分析[J]. 食品科学, 2014, 35(2): 168-172.

(上接第 195 页)

- [7] 张辉. 大数据技术在烘丝出口水分预测与控制中的应用[J]. 通讯世界, 2017(6): 249-250.
- [8] 王艳, 陈静, 王志山, 等. 基于模糊神经网络 PID 控制的粉体包装计量控制系统[J]. 食品与机械, 2020, 36(1): 136-139.
- [9] 杨正伟, 张鑫, 李庆盛, 等. 基于电子舌及一维深度 CNN-ELM 模型的普洱茶贮藏年限快速检测[J]. 食品与机械, 2020, 36(7): 45-52.
- [10] 钟文焱, 陈晓杜, 马庆文, 等. 基于多因素分析的烘丝机入口含水率预测模型的建立与应用[J]. 烟草科技, 2015, 48(5): 67-73.
- [11] 刘炳军, 李江, 邱琳, 等. 制丝烘丝工序关键工艺参数批间稳定性控制分析[J]. 大众科技, 2017, 19(12): 16-19.
- [12] 董高峰, 殷沛沛, 和智君, 等. 微波膨胀梗制丝关键工艺参数的优化[J]. 中国农学通报, 2014, 30(30): 302-309.
- [13] 王宏铝, 王筑临, 许小双, 等. 基于在线烟碱预测模型的烟叶复烤均质化加工[J]. 烟草科技, 2015, 48(6): 79-83.
- [14] 何晓群. 多元统计分析[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2012: 143-154.
- [15] 李洪成, 姜宏华. SPSS 数据分析教程[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2012: 24-27.