

海南兴隆地区不同烘焙度咖啡豆的滋味特性研究

于淼^{1,2}, 董文江^{2,3,4}, 胡荣锁^{2,3}, 张东杰¹, 赵建平^{2,3,4}

(1. 黑龙江八一农垦大学食品学院, 黑龙江大庆 158308) (2. 中国热带农业科学院香料饮料研究所, 海南万宁 571533) (3. 国家重要热带作物工程技术研究中心, 海南万宁 571533) (4. 农业部香辛饮料作物遗传资源利用重点实验室, 海南万宁 571533)

摘要: 本文采用化学指标、电子舌技术与主成分分析 (PCA) 对海南兴隆地区不同烘焙度咖啡豆的滋味特性进行研究。结果表明: 随着烘焙度增加, 总固形物、总可溶性固形物、有机酸含量及可滴定酸度先增加后减少, pH 值先减少后增加, 葫芦巴碱含量逐渐减少, 咖啡因含量基本不变, 导致不同烘焙度的咖啡豆具有不同的滋味特性。原始电子感官数据经归一化处理后, 采用 PCA 对其进行解析, 可将样品大致分为四类: 第一类包括极浅度 (JQ); 第二类包括浅度 (Q)、浅中度 (QZ) 和中度 (Z); 第三类包括中深度 (ZS) 和深度 (S); 第四类包括极深度 (JS) 和法式重度 (FZ)。电子舌技术能有效鉴别不同烘焙度咖啡, 且各类样品对传感器响应强度差异明显, 在 PCA 的二维投影图上可区分开, 并与滋味特性化学指标具有相关性。

关键词: 兴隆咖啡; 电子舌技术; 滋味特性; 主成分分析

文章编号: 1673-9078(2017)4-215-221

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.4.033

Characterization of Taste Properties of Coffee Beans from Xinglong, Hainan Province Roasted to Different Degrees

YU Miao^{1,2}, DONG Wen-jiang^{2,3,4}, HU Rong-suo^{2,3}, ZHANG Dong-jie¹, ZHAO Jian-ping^{2,3,4}

(1.College of Food Science, Bayi Agricultural University, Daqing 158308, China) (2.Spice and Beverage Research Institute, CATAS, Wanning 571533, China) (3.National Center of Important Tropical Crops Engineering and Technology Research, Wanning 571533, China) (4.Key Laboratory of Genetic Resources Utilization of Spice and Beverage Crops, Ministry of Agriculture, Wanning 571533, China)

Abstract: Chemical indices and electronic tongue combined with principal component analysis (PCA) were used in this study to analyze the taste characteristics of coffee beans from the Xinglong region of Hainan roasted to different degrees. The results indicated that with increasing roasting degree, the contents of total solids, total soluble solids, and organic acids, as well as titratable acidity first increased and then decreased, the pH value first decreased and then increased, the trigonelline content decreased gradually, and the caffeine content remained essentially unchanged, leading to differences in the taste characteristics of coffee beans with different roasting degrees. After the raw electronic sensory data were normalized, PCA was performed and the coffee samples could be divided into four categories. The first category included extremely light (JQ) samples, the second category included light (Q), light medium (QZ), and medium (Z) samples, the third category included medium dark (ZS) and dark (S) samples, and the fourth category included extremely dark (JS) and French roast (FZ) samples. Electronic tongue combined with PCA could differentiate the coffee samples with different roasting degrees effectively. Additionally, the response intensities of different coffee samples to the sensor were significantly different; all samples could be grouped in the PCA biplot and were clearly correlated with the chemical indices of taste characteristics.

Key words: Xinglong coffee; electronic tongue; taste characteristics; principal component analysis

咖啡是我国热区的主要经济作物, 随着咖啡文化

收稿日期: 2016-03-24

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31501404); 海南省应用技术研发与示范推广专项 (ZDXM2015052)

作者简介: 于淼 (1993-), 女, 在读硕士研究生, 研究方向: 食品化学

通讯作者: 赵建平 (1965-), 男, 研究员, 研究方向: 热带特色香料饮料作物加工及新产品研发

的传播, 我国的咖啡消费量逐渐增加。我国咖啡主要分布在海南和云南地区, 海南兴隆地区主产中粒种罗布斯塔 (*Coffea robusta*) 咖啡豆, 国家质检总局于 2007 年 12 月授予万宁兴隆咖啡为国家地理标志产品保护品牌。生咖啡豆没有香味, 生豆经烘焙后发生一系列化学反应, 包括美拉德反应和焦糖化反应, 形成咖啡特有的色泽、香气和口感^[1]。依据不同焙炒时间将其

划分为极浅、浅、浅中、中、中深、深、极深和法式重度八类。目前对于烘焙咖啡豆的香气成分研究较多,而关于咖啡豆滋味特性的研究则较少。吕文佳等^[2]以云南保山铁比卡、卡蒂姆两个品种咖啡豆为原料,采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法(HS-SPME/GC-MS)测定了不同烘焙程度下的主要挥发性成分;胡荣锁等^[3]采用 SPME-GC-MS 分析海南万宁地区和澄迈地区生咖啡豆中挥发性成分,比较两类咖啡豆之间的差异性。

咖啡风味是香气和滋味的组合,具有水果般酸度和咖啡苦味通常被认为是一种优质的咖啡风味。咖啡液的酸度是影响咖啡好坏的重要评价依据, Maier H G 等^[4]采用 pH 计检测咖啡液的 pH 值,以咖啡液在口腔中 pH 值为 8.0 时为滴定酸度;咖啡烘焙过程中会使有机酸(如甲酸、柠檬酸和苹果酸等)含量发生变化,对 pH 值和可滴定酸度产生影响,使咖啡液产生酸味。口感也是描述咖啡风味的重要指标,常与总固形物和可溶性固形物含量相关,也与脂肪或脂肪酸含量组成有关^[5]。咖啡因是一种生物碱化合物,呈典型的苦味,是咖啡中较为重要的风味物质。葫芦巴碱在焙炒过程中会热解生成吡啶类和吡咯类化合物, Janzen O S 等^[6]研究发现葫芦巴碱及其衍生物对烘焙豆和咖啡饮料的风味特性有贡献。

电子舌技术现已被广泛应用于食品质量控制中,如酒、茶、菌类、橄榄油及蜂蜜等食品^[7]。Lopetcharat K 等^[8]采用电子舌技术对麝香猫和非麝香猫咖啡样品进行分析,通过主成分分析(PCA)和广义普鲁克分析(GPA)可有效识别不同来源的咖啡样品;王凯丽等^[9]用电子舌技术结合多元数据分析对三种不同焙炒度的咖啡豆进行区分,采用 PCA 进行解析,结果表明不同焙炒度的咖啡样品基本上能够按各自特性聚为一类。

目前还未见对海南兴隆地区不同烘焙度咖啡豆的滋味特性研究,且通过化学指标测定与电子舌技术结合鉴别八种不同烘焙度样品的报道。因此,本文通过研究烘焙度对咖啡豆滋味和口感的影响,利用电子舌技术结合 PCA 鉴别不同烘焙度样品,明晰不同烘焙度咖啡豆的滋味特性差异及对分类贡献较大的相应传感器,为咖啡豆烘焙加工及消费者选择提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

咖啡鲜果采摘于中国热带农业科学院香料饮料研究所咖啡试验基地,选择成熟、红色、无病虫害的果

实采摘,分别采用热风恒温干燥($t=40\text{ }^{\circ}\text{C}$)至水分含量为 12%左右,机械脱壳得到生咖啡豆,贮存于通风、干燥且避光的环境中保存用于下一步分析。实验用水全部为超纯水。

1.1.2 仪器与设备

PRE 1 Z 型咖啡豆烘焙机,德国 Probat 仪器公司; VTA-6S3 型咖啡豆研磨机,德国 Mahlkonig 仪器公司; AL204 型电子分析天平,梅特勒-托利多仪器有限公司; Master-s-plus UVF 型全自动超纯水系统,上海和泰仪器有限公司; Xrite-SP62 型色差分析仪,美国 Xrite 测色公司; MB45 型快速水分测定仪,瑞士奥豪斯仪器公司; Alpha M.O.S 电子舌分析系统,法国 Alpha M.O.S 公司; pH 计,梅特勒-托利多仪器有限公司; EOS 70D (W)数码相机,日本 Canon 公司。

1.2 试验方法

1.2.1 烘焙豆及提取液的制备

使用 Probat 烘焙机制备样品,准确称量 100.00 g 生咖啡豆倒入烘焙机中,设定火力为 7,风门为 2,入锅温度为 180 $^{\circ}\text{C}$,持续到二爆结束后熄火,提前一分钟打开冷却装置,快速冷却至室温。将样品划分为由浅至深 8 个不同烘焙度,如下:极浅度(一爆密集爆至尾爆结束出豆);浅度(一爆尾爆结束出豆);浅中度(一爆结束约 30 s 出豆);中度(二爆开始前出豆);中深度(二爆初爆约 30 s 出豆);深度(二爆密集爆 80 s 出豆);极深度(二爆尾爆期间出豆);法式重度(二爆尾爆结束出豆)。每个烘焙度平行制备 5 个样品,密封在阴凉通风处保存。将烘焙好的咖啡豆粉碎,过 80 目筛,盛放于咖啡包装袋中,封口备用,样品信息如表 1 所示。

表 1 不同烘焙度咖啡豆的样品信息表

Table 1 Information on coffee samples with different roasting

degrees			
类别	烘焙度	数量	英文缩写
1	极浅度	5	JQ
2	浅度	5	Q
3	浅中度	5	QZ
4	中度	5	Z
5	中深度	5	ZS
6	深度	5	S
7	极深度	5	JS
8	法式重度	5	FZ

参照美国精品咖啡协会(SCAA)的咖啡杯测体系^[10]方法进行定量,准确称取 8.25 g 粉末样品加入 250 mL 不锈钢杯中,加入 150 mL 的 95 $^{\circ}\text{C}$ 去离子水,恒

温加热磁力搅拌器加热 5 min。待温度降至 83 °C~84 °C 时过滤, 将滤液保存至 4 °C 冰箱内备用 (24 h 内测定)。

1.2.2 色差分析

准确称量 2.50 g 咖啡粉末于样品槽中, 石英玻璃片压紧, 置于色差分析仪中测定样品的色度值, 包括 L^* 、 a^* 、 b^* 、 c^* 和 h° , 每个样品平行测定 5 次, 取平均值用于后续分析。使用数码照相机对八种烘焙度的咖啡豆拍照, 以照片形式记录样品的色泽信息, 并与色差计测定结果进行对比。

1.2.3 总固形物和可溶性固形物测定^[11]

总固形物: 准确移取 4 mL 咖啡提取液于快速水分测定仪中, 在 105 °C 下烘干至恒重, 以百分含量(%) 来表示样品的总固形物含量。可溶性固形物: 准确移取 0.3 mL 咖啡提取液滴于折光计镜面上读数, 测定其可溶性固形物含量, 读数以 °Brix 形式表示。

1.2.4 pH 值和可滴定酸度测定^[11]

pH 值: 准确移取 80 mL 样液, 用 pH 计测定其 pH 值。可滴定酸度: 准确移取 25 mL 样液于烧杯中, 加入等体积的去二氧化碳水, 用 0.1 M NaOH 溶液滴定至 pH 值为 8.00 左右, 记录氢氧化钠溶液的消耗体积数。每个样品平行测定 3 次, 样品的可滴定酸度以消耗 0.1 M NaOH 的毫升数来表示。

1.2.5 有机酸测定^[12]

标准品溶液的配制: 精密称取一定量的草酸、柠檬酸、甲酸、酒石酸、苹果酸、奎宁酸、丁二酸, 用超纯水分别溶解后定容至 10 mL 容量瓶中摇匀。分别取 1 mL 溶液加入至 1.5 mL 棕色小瓶中, 过 0.22 μm 微孔滤膜, 置于 4 °C 冰箱中冷藏备用。

色谱条件: 色谱柱为 Zorbax SB-Aq 分析柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm), 流动相 A 为 0.01 mol/L NaH_2PO_4 溶液 (用磷酸调 pH 值为 2.0), C 为甲醇, 两者比例为 95:5, 等梯度洗脱, 流速为 0.2 mL/min, 柱温为 30 °C, DAD 检测器波长为 210 nm, 进样量为 10 μL。

样品溶液的制备: 准确称取 5.00 g 咖啡粉末样品于 100 mL 圆底烧瓶中, 加入 70 mL 去离子水, 置于恒温水浴锅中 75 °C 水浴回流提取 1.5 h, 3000 r/min 离心 10 min, 取上清液置于 100 mL 的容量瓶中, 用超纯水定容, 取 1 mL 溶液加至 1.5 mL 液相用棕色小瓶中, 过 0.22 μm 微孔滤膜, 进 HPLC 分析。

1.2.6 咖啡因和葫芦巴碱测定^[13]

标准品溶液的配制: 分别准确称取 20 mg 咖啡因和葫芦巴碱标准品至棕色瓶, 定量加入 20 mL、50% 甲醇, 浓度为 1 mg/mL。取 5 支 10 mL 比色管, 分别加入 5 mL 无水乙醇, 再分别取 1 mL、2 mL、3 mL、

4 mL 和 5 mL 标准液至比色管中, 50% 甲醇定容至 10 mL。取 0.2 μL 溶液上 HPLC 分析。

色谱条件: 色谱柱为 C_{18} 分析柱(4.6 mm×150 mm, 5 μm) 流动相 A 为 0.1% 冰醋酸水溶液, C 为甲醇, 两者比例为 95:5, 等梯度洗脱, 流速为 0.2 mL/min, 柱温为 30 °C, 咖啡因和葫芦巴碱的 DAD 检测器波长分别为 272 nm 和 268 nm, 进样量为 1.5 μL。

样品溶液的制备: 准确称取 0.20 g 咖啡粉于 100 mL 圆底烧瓶中, 加入 60 mL 去离子水, 在 95 °C 回流提取 1 h, 过滤定容至 100 mL, 过 0.22 μm 微孔滤膜, 进 HPLC 分析。

1.2.7 电子舌分析

准确移取 80 mL 咖啡提取液加入电子舌专用的样品杯中, 每个样品检测时间为 120 s, 以保证七个传感器 (ZZ、JE、BB、CA、GA、HA 和 JB) 的检测信号能够达到稳定值, 样品间采用去离子水清洗传感器 10 s, 以消除传感器的基线漂移 (采用 1 个样品间隔 1 杯去离子水清洗, 以保证电极能够充分清洗干净, 减少系统误差和交叉污染)。实验温度为 25±2 °C, 每个样品平行 4 次, 取平均值用于后续分析。备注: 由于传感器 BB 出现故障, 仅前六个传感器的响应数据用于统计学分析。

1.2.8 数据统计与分析

数据采用 SPSS 20.0 软件分析处理, 采用 Origin 8.5 软件作图。

2 结果与讨论

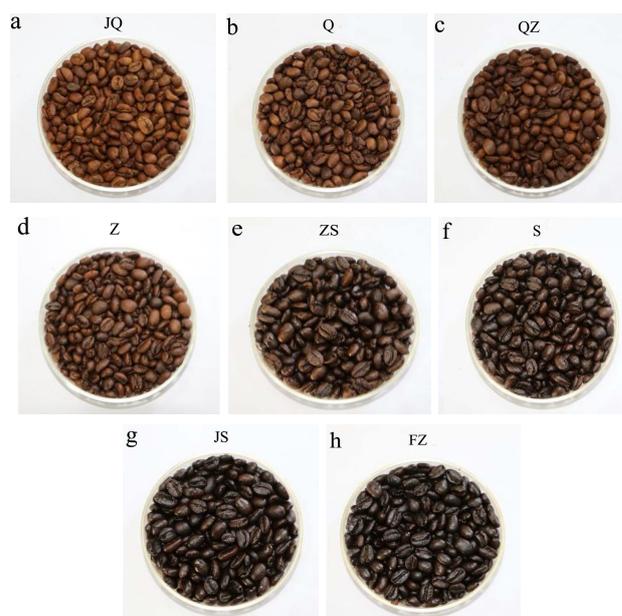


图 1 八种不同烘焙度咖啡豆样品图片

Fig.1 Images of eight coffee samples with different roasting degrees

2.1 不同烘焙度咖啡豆的色泽分析

图 1 为八个不同烘焙度的咖啡样品, a~h 依次为 JQ、Q、QZ、Z、ZS、S、JS 和 FZ 八个烘焙度咖啡豆, 从 a~h 表示咖啡豆色泽由浅至深、由浅棕色到深棕色再到深褐色变化; 表 2 所示为样品的色度值 (L*、a*、

b*、c*和 h°), 在焙炒过程中由于发生焦糖化反应和美拉德反应, 咖啡豆的颜色随烘焙时间增加逐渐加深。从 JQ 到 FZ 的亮度(L*)逐渐减小, a*值、b 值*和 c*值均逐渐减小, 分别表示颜色由绿到红、由蓝到黄的色彩变化, 色彩角 (h°) 逐渐减小, 表示颜色由红-橙区域到深褐色区域的变化。

表 2 烘焙咖啡豆的颜色指标参数

Table 2 Average color index values of roasted coffee samples

	L*	a*	b*	c*	h°
JQ#	42.17±1.21 ^a	6.98±0.67 ^a	10.40±0.92 ^a	12.53±1.12 ^a	56.35±0.17 ^a
Q	40.17±1.21 ^b	5.96±0.60 ^b	8.08±0.29 ^b	9.64±1.14 ^b	55.62±0.11 ^b
QZ	39.23±0.83 ^{bc}	5.38±0.51 ^b	7.35±1.16 ^{bc}	9.23±1.23 ^b	55.44±0.21 ^b
Z	38.53±0.29 ^c	4.78±0.13 ^c	6.53±0.70 ^c	8.74±0.96 ^b	55.26±0.17 ^b
ZS	36.42±0.11 ^d	2.80±0.23 ^d	2.40±0.25 ^d	3.69±0.33 ^c	54.47±0.07 ^c
S	35.61±0.37 ^{de}	2.05±0.29 ^e	1.41±0.25 ^e	2.33±0.38 ^d	36.30±0.61 ^d
JS	35.02±0.55 ^e	1.44±0.11 ^f	0.91±0.13 ^e	1.71±0.16 ^d	35.83±0.09 ^e
FZ	34.76±0.81 ^e	1.00±0.34 ^f	0.53±0.35 ^e	1.15±0.45 ^d	35.67±0.22 ^e

注: 不同类型样品列内数据不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著 (数据为平均值±标准偏差, 重复数 n=3)。

2.2 烘焙豆的总固形物和可溶性固形物含量

分析

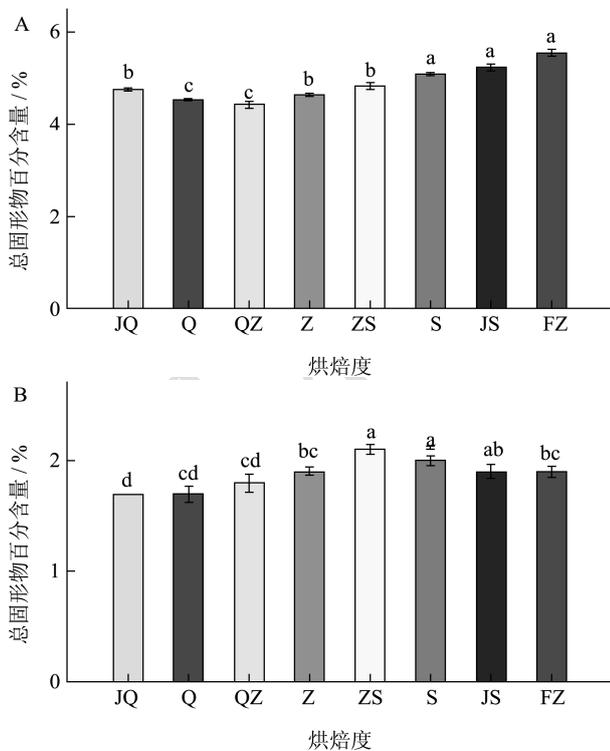


图 2 不同烘焙度咖啡样品的 (A) 总固形物百分含量及 (B) 可溶性固形物含量

Fig.2 Percentage of total solids (A) and soluble solid content of coffee samples with different roasting degrees (B)

注: 不同柱间具有不同小写字母表示在 0.05 水平上差异

显著。烘焙豆中的总固形物和可溶性固形物含量与咖啡液的口感质地呈现正相关性, 总固形物和可溶性固形物是影响咖啡滋味的重要指标。图 2A 和 B 表示不同烘焙度咖啡样品的总固形物百分含量和可溶性固形物含量, 其中图 2A 为总固形物百分含量, 所有样品均高于 4%, 随烘焙程度增加, 总固形物含量先降低后增加, QZ 时总固形物含量最低 (4.22±0.26%), 总固形物含量从 Z 时开始增加至 FZ (5.21±0.27%), 在 FZ 时达到最高; 因可溶性固形物含量与折光率在特定条件下成正比, 所以在图 2B 中以折光率转换为可溶性固形物含量进行比较。对比可发现两者之间变化趋势具有相似之处, 此结果也与文献报道相吻合^[11]。

2.3 烘焙豆的 pH 值、可滴定酸度和有机酸含量分析

有机酸含量的变化会引起咖啡酸度的变化, 进而造成咖啡的口感不同。有机酸在烘焙时经历降解与聚合反应, 产生复杂的酸味, 对咖啡滋味起重要作用。表 3 中所示为从 JQ 到 FZ 变化时咖啡样液的有机酸含量, 包括草酸、酒石酸、奎宁酸、甲酸、苹果酸、柠檬酸和丁二酸。这七种有机酸含量基本都在 Q 或 QZ 烘焙时达到最高, 随着烘焙度的增加, 有机酸含量开始逐渐减少, 如草酸含量从 JQ 时 [(2.53±0.12)×10⁻² μg/g DW] 逐渐增加至 QZ 时达到最大值 [(2.80±0.10)×10⁻² μg/g DW], 草酸含量从 Z 时逐渐下降, FZ 时草

酸含量达到最低 $[(1.07\pm 0.07)\times 10^{-2} \mu\text{g/g DW}]$ 。由表 3 性。
可看出有机酸含量受烘焙程度的影响较大且具有规律

表 3 不同烘焙度咖啡样品的有机酸含量

Table 3 Organic acid content of coffee samples with different roasting degrees

烘焙度	草酸/ ($\times 10^{-2} \mu\text{g/g DW}$)	酒石酸/ ($\times 10^{-2} \mu\text{g/g DW}$)	奎宁酸/ ($\times 10^{-2} \mu\text{g/g DW}$)	甲酸/ ($\times 10^{-2} \mu\text{g/g DW}$)	苹果酸/ ($\times 10^{-2} \mu\text{g/g DW}$)	柠檬酸/ ($\times 10^{-2} \mu\text{g/g DW}$)	丁二酸/ ($\times 10^{-2} \mu\text{g/g DW}$)
JQ	2.53±0.12 ^c	55.93±4.35 ^c	111.39±3.94 ^e	243.14±9.87 ^d	503.02±48.03 ^e	52.92±5.31 ^b	127.18±6.15 ^e
Q	2.61±0.17 ^b	56.31±2.07 ^c	132.61±6.56 ^d	271.38±5.66 ^b	675.10±54.67 ^a	54.92±7.01 ^b	147.62±3.81 ^b
QZ	2.80±0.10 ^a	61.71±1.76 ^a	198.33±7.34 ^a	286.46±7.03 ^a	661.61±51.13 ^a	59.92±3.07 ^a	153.15±4.32 ^a
Z	1.53±0.15 ^d	59.43±1.86 ^b	170.96±13.87 ^b	277.21±6.11 ^a	655.23±49.02 ^b	57.87±3.73 ^a	155.50±19.30 ^a
ZS	1.16±0.05 ^e	57.43±3.28 ^b	163.99±7.68 ^c	269.03±12.31 ^b	640.20±54.54 ^c	50.53±1.50 ^c	142.93±1.27 ^b
S	1.16±0.16 ^e	54.97±5.17 ^d	146.70±4.68 ^d	262.98±5.88 ^c	638.48±64.89 ^c	45.26±2.78 ^d	138.74±3.11 ^c
JS	1.08±0.09 ^f	51.71±5.77 ^d	142.39±3.58 ^d	255.96±7.81 ^c	619.93±45.92 ^d	39.07±2.61 ^e	133.64±3.75 ^d
FZ	1.07±0.07 ^f	51.39±3.18 ^d	140.40±6.59 ^d	247.53±4.37 ^d	617.73±34.01 ^d	35.94±1.60 ^f	132.58±3.14 ^d

注：不同类型样品列内数据不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著（数据为平均值±标准偏差，重复数 n=3）。

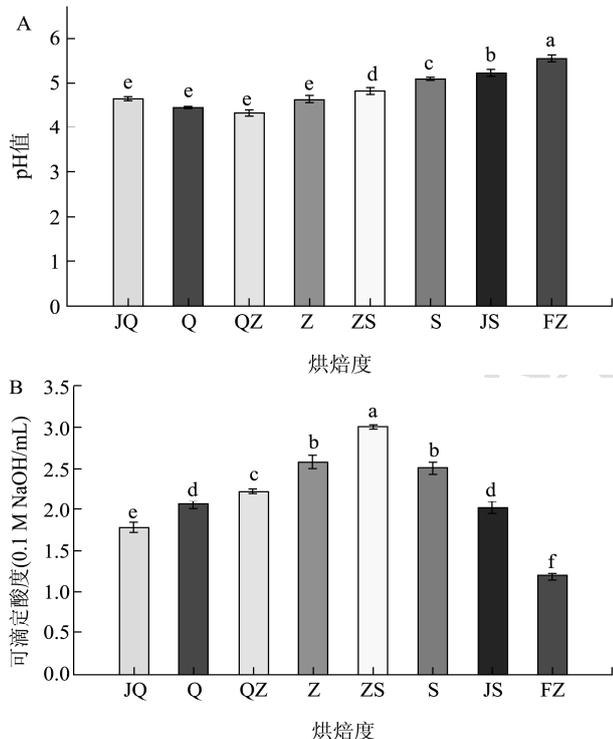


图 3 不同烘焙度咖啡样品的 (A) pH 值及 (B) 可滴定酸度
Fig.3 pH value (A) and titratable acidity of coffee samples with different roasting degrees (B)

注：不同柱间具有不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

以 pH 值和可滴定酸度达到 pH=8.00 作为指标相较于咖啡液在口腔中的最大 pH 值。图 3A 和 B 为不同烘焙度咖啡样液的 pH 值和可滴定酸度，从 JQ 到 QZ 时咖啡样液的 pH 值下降，pH 值从 4.76 下降至 4.43，达到最小值；从 Z 到 FZ 咖啡样液的 pH 值逐渐上升，pH 值从 4.64 上升至 5.55，达到最大值。从 JQ 到 FZ 咖啡样液的可滴定酸度先增加后减少，在 ZS 时达到最大值 $(3.01\pm 0.01 \text{ 0.1 M NaOH/mL})$ ，在 FZ 时达

到最小值 $(1.20\pm 0.02 \text{ 0.1 M NaOH/mL})$ 。有机酸含量与 pH 值成反比，与可滴定酸度呈正相关。

2.4 不同烘焙度咖啡豆的葫芦巴碱和咖啡因

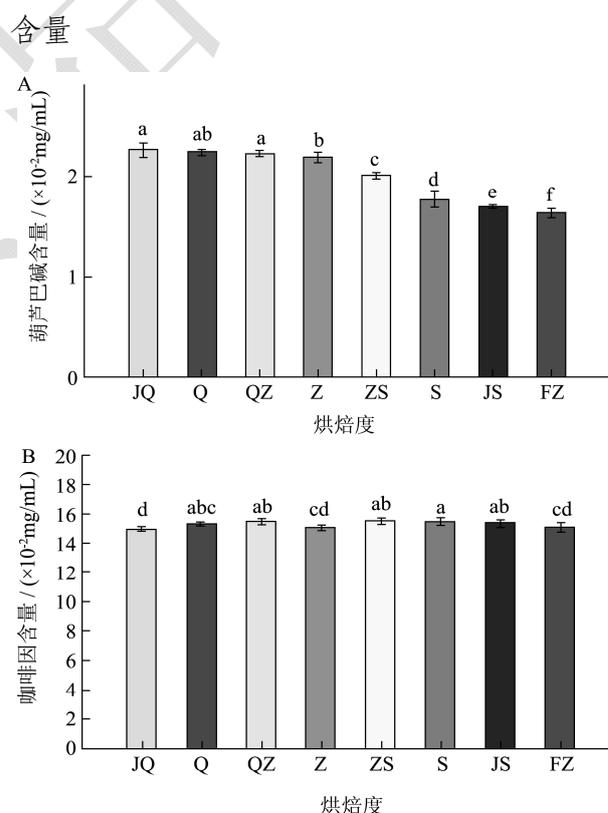


图 4 不同烘焙度咖啡样品的葫芦巴碱 (A) 及咖啡因 (B) 含量
Fig.4 Contents of trigonelline (A) and caffeine in coffee samples with different roasting degrees (B)

注：不同柱间具有不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

葫芦巴碱和咖啡因是影响咖啡口味的重要物质，

其含量变化也会影响咖啡的品质。葫芦巴碱带有苦涩味，烘焙时降解越多，咖啡的口感特性变化越大。咖啡因无香味略带苦味，但不是咖啡苦味的主要来源。图 4A 和 B 为不同烘焙度咖啡豆的葫芦巴碱和咖啡因含量，随着烘焙程度加深，葫芦巴碱开始热解生成吡啶类和吡咯类物质，其含量在开始时下降缓慢，到 Z 时开始快速下降，FZ 时葫芦巴碱含量比 JQ 时减少近 30%；咖啡因含量在 $(14.95\sim 15.52)\times 10^{-2}$ mg/g 之间，变化幅度较小。Bhumiratana N 等^[14]研究报道咖啡因含量与差的风味品质呈负相关，但与较好的风味品质没有相关性。

2.5 烘焙豆的电子舌感官分析

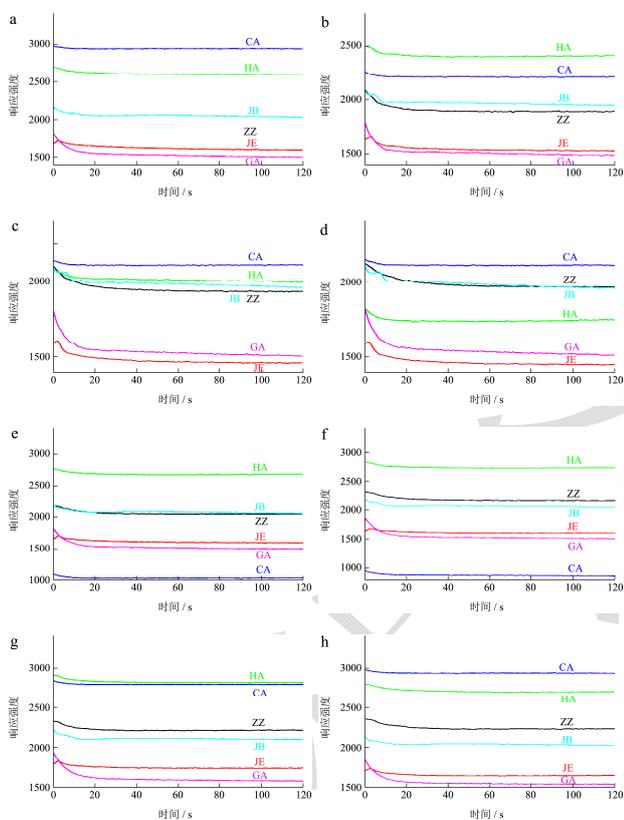


图 5 不同烘焙度咖啡样品的电子舌传感器时间-强度动态响应

图

Fig.5 Electronic tongue sensor time/intensity dynamic response plots for coffee samples with different roasting degrees

注：a 表示极浅度；b 表示浅度；c 表示浅中度；d 表示中度；e 表示中深度；f 表示深度；g 表示极深度；h 表示法式重度。

图 5a~h 为不同烘焙度咖啡豆样品的电子舌传感器时间-强度动态响应图，从图中可看出，所有传感器响应值在 0~10 s 发生显著变化，在 10~120 s 内达到动态平衡。因此，传感器在 120 s 处的响应强度值被选

为电子舌的特征响应原始数据用于统计学分析。

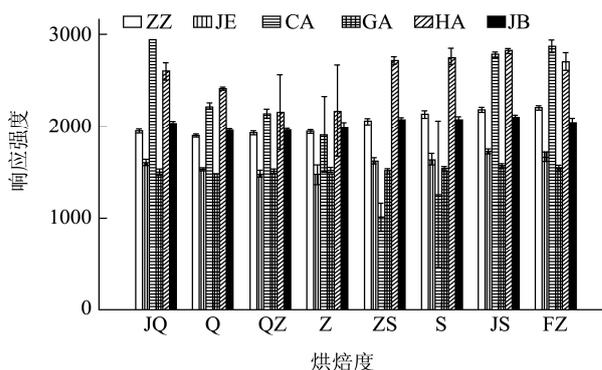


图 6 不同烘焙度咖啡样品的电子舌传感器响应强度图

Fig.6 Intensity graph of electronic tongue sensor responses for coffee samples with different roasting degrees

图 6 为不同烘焙度下电子舌的六个传感器 (ZZ、JE、CA、GA、HA 和 JB) 特征响应强度值对比柱状图。从图中可看出传感器 CA 和 HA 的响应值在 JQ、JS 和 FZ 时较大，但在 Q、Z 和 S 时响应值有所下降且变化幅度非常大，前者的顺序为：JQ>FZ>JS>Q>QZ>Z>S>ZS；后者的顺序为：JS>S>ZS>FZ>JQ>Q>Z>QZ；其次是传感器 ZZ 和 JB 的响应值，两者变化较小，呈现缓慢的上升趋势；传感器 JE 和 GA 的响应值较小，几乎没有什么变化。从总体来看，这六个传感器对于不同烘焙度咖啡的响应值基本遵循于从 JQ 到 FZ 先下降后上升再下降的趋势，只有传感器 ZZ 和 CA 在 FZ 时的响应值比 JS 时下降，在强度和变化幅度上有所不同，需进一步分析挖掘其内在信息。

PCA 是一种无监督模式识别方法，通过原始变量的线性组合来进行降维处理，将原始变量信息压缩至前几个主成分 (PCs) 的多元统计方法，样品的空间分布可由得分和载荷组成的二维或三维投影图来定义，表示各类样品间及样品与变量间的关系。图 7a~b 分别为不同烘焙度咖啡样品电子舌数据矩阵 (40 个样品×6 个变量) 的二维得分投影和载荷图。由图 a 可知，第一主成分和第二主成分的累积贡献率为 90.28%，其中第一主成分为 72.30%，第二主成分为 17.98%，前两个主成分的总贡献率大于 85%即可解释原始数据。从图 7a 中可看出样品大致分为 4 类，JQ 为第一类 (A)，Q、QZ 和 Z 聚为第二类 (B)，ZS 和 S 为第三类 (C)，JS 和 FZ 为第四类 (D)。在第一主成分方向上，(B) 的得分全部为负，(A) 的得分在 0 附近，(C) 和 (D) 的得分全部为正；这四类样品呈现出三角形分别位于不同象限内；在第二主成分方向上，(A)、(B) 和 (D) 的得分均为正值，而 (C) 的得分为负值。

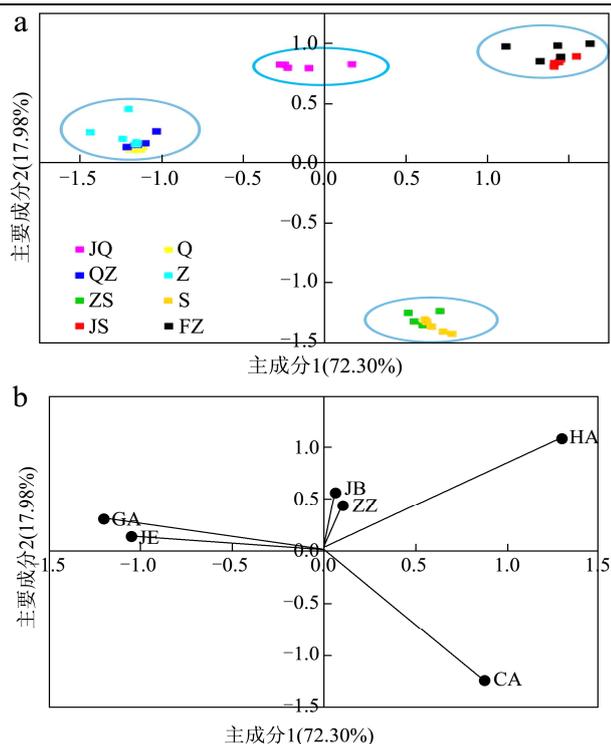


图7 不同烘焙度咖啡样品的PCA二维得分投影图(a)和载荷图(b)

Fig.7 Two-dimensional PCA score (a) and loading plot (b) of coffee samples with different roasting degrees

从载荷图7b中可见传感器JB、ZZ和HA位于第一象限，GA和JE位于第二象限，CA位于第四象限，即样品的空间分布在第一主成分正方向上与传感器JB、ZZ、HA和CA相关，负方向上与传感器GA、JE相关，而在第二主成分正方向上与传感器JB、ZZ、HA、GA、JE相关，负方向上与传感器CA相关；载荷JB、ZZ与JQ样品相关性较大，载荷GA、JE与Q、QZ、Z样品相关性较大，载荷CA与ZS、S样品相关性较大，载荷HA与JS、FZ样品相关性较大，由此可将这四大类样品区分开，但烘焙度较为接近的样品通过电子舌数据较难区分开。

3 结论

本文研究了海南兴隆地区八种不同烘焙度咖啡豆的滋味特性，通过检测其化学指标并结合电子舌技术区分不同烘焙度咖啡样品。

3.1 在ZS时可溶性固形物含量最高，咖啡提取液浓度最高，口感质地最浓厚；随着烘焙程度加深，有机酸含量基本呈先上升后下降趋势，pH值先下降后上升，在QZ时pH值最小，在ZS时可滴定酸度最大；葫芦巴碱含量随着烘焙程度加深越来越低，咖啡的苦涩味也越来越淡；咖啡因含量较为稳定，随烘焙程度变化不大。

3.2 利用电子舌技术结合PCA可将八种烘焙度样品区分为四大类，第一类(A)：JQ与载荷JB、ZZ相关性较大，总固形物和可溶性固形物含量最低，口感浓度最低，葫芦巴碱含量最高，苦涩味最重；第二类(B)：Q、QZ和Z与载荷GA、JE相关性较大，有机酸含量最高，pH值最低；第三类(C)：ZS和S与载荷CA相关性较大，总固形物和可溶性固形物含量最高，质地最浓厚，可滴定酸度值最高；第四类(D)：JS和FZ与载荷HA相关性较大，有机酸含量最低，pH值最高，葫芦巴碱含量最低，苦涩味最轻。结果表明通过电子舌传感器的响应值结合PCA分析，可从定性的角度上区分不同烘焙度的咖啡。

3.3 本文的研究结果为明晰兴隆地区不同烘焙度咖啡豆的滋味特性差异性，寻找对分类贡献较大的相应传感器组合，咖啡豆的烘焙工艺改进及消费者选择提供理论参考。

参考文献

- [1] Vignoli J A, Viegas M C, Bassoli D G, et al. Roasting process affects differently the bioactive compounds and the antioxidant activity of Arabica and Robusta coffee [J]. Food Research International, 2014, 61(7): 279-285
- [2] 吕文佳, 翟晓娜, 杨凯舟, 等. 不同烘焙强度对云南咖啡主要挥发香气成分的影响[J]. 食品科学技术学报, 2015, 33(3): 13-21
LV Wen-jia, ZHAI Xiao-na, YANG Kai-zhou, et al. Effect of different roasting strength on main volatile aroma compounds in Yunnan coffee beans [J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 33(3): 13-21
- [3] 胡荣锁, 初众, 谷凤林, 等. 海南主要地域生咖啡豆挥发性化学成分对比研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2013, 33(2): 548-553
HU Rong-suo, CHU Zhong, GU Feng-lin, et al. Comparison of green coffee beans volatile chemical composition of Hainan main area [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2013, 33(2): 548-553
- [4] Maier H G, Balcke C, Thies F C. Die sauren kaffees VI abhangigkeit des sauren geschmacks von pH-wert und sauregrad [J]. Lebensmittelchem Gericht Chem., 1983, 37: 81-83
- [5] Crozier T W M, Stalmach A, Lean M E J, et al. Espresso coffees, caffeine and chlorogenic acid intake: potential health implications [J]. Food Function, 2012, 3(1): 30-33
- [6] Janzen O S. Chemistry of coffee [J]. Comprehensive Natural Products II, 2010, 3: 1085-1117
- [7] Veloso A C A, Dias L G, Rodrigues N, et al. Sensory intensity

- assessment of olive oils using an electronic tongue [J]. *Talanta*, 2016, 146: 585-593
- [8] Lopetcharat K, Kulapichitr F, Suppavorasatit I, et al. Relationship between overall difference decision and electronic tongue: discrimination of civet coffee [J]. *Journal of Food Engineering*, 2016, 16: 82-84
- [9] 王凯丽,董文江,谷凤林,等.基于电子舌和多元数据分析的咖啡焙炒度检测方法研究[J].*热带作物学报*,2015,36(2): 396-403
WANG Kai-li, DONG Wen-jiang, GU Feng-lin, et al. Method of determination on roasting degree of coffee samples combined with electronic tongue and multivariate data analysis [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2015, 36(2): 396-403
- [10] Tolessa K, Rademaker M, Baets B D. Prediction of specialty coffee cup quality based on near infrared spectra of green coffee beans [J]. *Talanta*, 2016, 150: 367-374
- [11] Gloess A N, Schonbachler B, Klopprogge B, et al. Comparison of nine common coffee extraction methods: instrumental and sensory analysis [J]. *European Food Research and Technology*, 2013, 236(4): 607-627
- [12] Hui-wen Z, Qiu-yun Z, Jun-ping Q, et al. Determination of sugars, organic acids, aroma components, and carotenoids in grapefruit pulps [J]. *Food Chemistry*, 2016, 205: 112-121
- [13] James F C, Hans S A Y, Tinggi U. Isotopic and elemental composition of roasted coffee as a guide to authenticity and origin [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2015, 63(24): 5771-5779
- [14] Bhumiratana N, Adhikari K, Chambers I V E. Evolution of sensory aroma attributes from coffee beans to brewed coffee [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2011, 44(10): 2185-2192