牛奶脂肪对不同烘焙程度咖啡感官品质的影响

宋佳慧[1,2,3]，夏熠珣[*1,2,3,4]，徐菲菲[2,3,4]，钟 芳[1,2,3,4]

（1. 江南大学 食品学院，江苏 无锡 214122；2. 江南大学 未来食品科学中心，江苏 无锡 214122；3. 江南大学 江苏省食品安全与质量控制协同创新中心，江苏 无锡 214122；4. 嘉兴未来食品研究院，浙江 嘉兴 314015）

摘要：作者主要研究牛奶脂肪质量分数对不同烘焙程度牛奶咖啡风味的影响及全脂牛奶咖啡中脂肪质量分数的消费者差别阈值。首先，针对浅、中、深3个烘焙程度的咖啡，采用定量描述性分析法评价不同脂肪质量分数牛奶咖啡的风味；其次，采用三点选配法测量全脂牛奶咖啡中脂肪质量分数的差别阈值。结果表明，随着脂肪质量分数降低，咖啡的酸味、苦味、涩味、烟味、糊味、焦香味、生豆味和酸味（鼻前香气）逐渐增强，而甜味、醇厚感、焦糖味和奶香味减弱，这些影响在3种不同烘焙程度咖啡中的变化趋势一致，但随着烘焙程度加深，牛奶脂肪的变化对咖啡风味的影响程度也会上升。进一步通过分析阈值测试结果发现，脂肪质量分数在浅、中、深烘焙咖啡中的差别阈值分别为2.59%、2.45%和2.36%（质量分数）。女性消费者对脂肪的变化更敏感，脂肪质量分数在深焙咖啡中的差别阈值显著低于男性。研究结果可为低脂牛奶咖啡的开发提供理论依据。

关键词：咖啡；脂肪质量分数；烘焙程度；感官属性；差别阈值

中图分类号：TS 273　**文章编号：**1673-1689(2023)07-0053-09　**DOI：**10.3969/j.issn. 1673-1689.2023.07.007

Effect of Milk Fat on Sensory Quality of Coffee with Different Degrees of Roast

SONG Jiahui[1,2,3]，*XIA Yixun*[*1,2,3,4]，*XU Feifei*[2,3,4]，*ZHONG Fang*[1,2,3,4]

（1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Science Center for Future Foods, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 3. Collaborative Innovation Center of Food Safety and Quality Control in Jiangsu Province, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 4. Jiaxing Institute of Future Food, Jiaxing 314015,China）

Abstract: The current research studied the influence of milk fat mass fraction on sensory profiles of whole milk coffee with different roasting degrees. The just noticeable difference (JND) threshold of consumers in fat content of whole fat milk coffee was also investigated. Hereby, for light-, medium- and dark-roasted coffee, the flavor of the milk coffee with varied milk fat contents was evaluated by a quantitative descriptive analysis. Meanwhile, the JND threshold of fat mass fraction in whole milk coffee was determined by a three-alternative forced-choice detection. The results showed that the decrease of milk fat content could enhance the intensities of sourness, bitterness, astringency, smoky flavor, burnt flavor, roasted flavor, raw bean flavor and sour aroma, and inhibit sweetness, body,

收稿日期：2021-08-18

基金项目：国家自然科学青年基金项目（32001628）；江苏省青年基金项目（BK20200596）；江南大学自主科研计划项目（JUSRP52029A，JUSRP122043）。

* **通信作者：**夏熠珣（1987—），女，博士，副研究员，主要从事食品感知科学技术与应用研究。E-mail：yixun.xia@jiangnan.edu.cn

caramel flavor and milky flavor. A consistent trend of influence was observed in all three coffees with different degrees of roast. However, the increased degree of roast caused more significant effect of milk fat on the flavor of coffee. Further analysis of the threshold tests showed that JND thresholds of the mass fraction of fat in light-, medium- and dark-roasted coffee were 2.59%, 2.45% and 2.36% (mass fraction), respectively. Female consumers were more sensitive to changes in fat, and their JND thresholds of fat mass fraction in dark-roasted coffee were significantly lower than those of men. The results could provide a theoretical basis for the development of low-fat milk coffee.

Keywords: coffee, milk mass fraction, degree of roast, sensory attribute, just noticeable difference

咖啡是世界三大饮料之一，近年来，咖啡在中国的消费量逐年增长，过去 4 年里，咖啡市场整体增速超过 20%，而现磨咖啡增长更为迅速，比咖啡市场的总体增速高出 2%~9%[1]。至 2019 年，现磨咖啡行业占据咖啡行业的 70%[2]。而现磨咖啡的消费中，主要以加入牛奶等其他配料制得的拿铁咖啡、卡布奇诺咖啡、摩卡咖啡等花式咖啡为主，因此，深入了解牛奶对咖啡风味的影响对于咖啡行业的发展具有重要的意义。

目前，现磨咖啡中所添加的牛奶多为全脂牛奶，然而，随着健康需求的日渐增长，人们也不断尝试采用低脂或脱脂牛奶代替全脂牛奶制作花式咖啡，但从消费者的接受度上来看，整体并未得到广泛认可，这是因为相比全脂牛奶咖啡，低脂牛奶咖啡在感官上的表现不尽人意。那么这种差异出现的主要原因是否与低脂和全脂牛奶自身的风味差异有关？Chapman 等研究表明，牛奶脂肪质量分数在一定范围内发生改变，普通消费者感知到的差异并不显著，例如，对于脱脂牛奶和含脂肪质量分数 2% 的牛奶，在三角测试中，仅有 30%的消费者能够识别二者的差异[3]，通过阈值实验发现，直至脂肪质量分数达到 4.4%时，消费者才能确切地感知到其与脱脂牛奶之间的风味变化[4]，可见对消费者而言，不同脂肪质量分数牛奶的风味差异并不明显。因此，全脂与脱脂牛奶咖啡的差异可能主要来自牛奶脂肪对咖啡风味的影响。一些研究显示，牛奶中的脂肪对咖啡挥发性风味成分的影响大于蛋白质，并远大于碳水化合物[5]，它通过与咖啡中的亲脂性风味物质结合[6]，对咖啡香气的释放产生影响[7-8]，毫无疑问，脂肪质量分数的变化必然会导致牛奶咖啡整体风味发生改变。然而，目前的研究主要针对咖啡挥发性风味成分的变化，缺乏从感官评价角度对咖啡风味品质变化展开的相应研究。并且，相较于牛奶中脂肪质量分数差别阈值的充分研究，全脂牛奶咖啡中牛奶脂肪质量分数的降低对牛奶咖啡产生的影响能否被消费者感知到，以及感知到差异时的差别阈值目前也尚未有报道。除此之外，已有研究发现消费者的性别[9]和消费频率[10]会影响其对咖啡风味的偏好和敏感性，但这些因素是否会影响牛奶咖啡中脂肪的差别阈值尚不明确。

此外，牛奶中脂肪质量分数对咖啡风味的影响在不同烘焙程度咖啡中是否一致，目前也尚不清楚。Adhikari 研究发现牛奶的添加对不同烘焙程度咖啡所带来的影响并不相同，譬如，浅焙咖啡的平衡程度、余味持久度会升高，而中焙和深焙咖啡的咖啡味、苦味和平衡程度等则会降低[11]，这可能与不同烘焙程度咖啡本身存在较大的风味差异[12-13]有关。尽管关于咖啡烘焙程度[14-16]的研究很多，但目前鲜有关于牛奶脂肪质量分数对不同烘焙程度咖啡液的影响是否存在差异的报道。

因此，作者采用定量描述性分析方法（quantitative descriptive analysis，QDA）全面评价牛奶脂肪质量分数对咖啡感官品质的影响，并比较这一影响在不同烘焙程度咖啡间是否存在差异；采用三点选配（3-alternative forced choice，3-AFC）法测量全脂牛奶咖啡中脂肪质量分数变化的差别阈值（just noticeable difference，JND），从而确定最优脂肪质量分数，使其在保持较低脂肪质量分数的情况下，呈现与全脂牛奶咖啡相似的感官品质。在低脂消费的趋势下，该研究可以为不同烘焙程度咖啡中添加低脂奶的脂肪质量分数控制提供参考，从而提高消费者对低脂牛奶咖啡的感官接受度。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

咖啡豆品种为危地马拉-安提瓜，水洗加工，产

期为 2019 年 11 月至 2020 年 3 月:昆山熠果国际贸易有限公司产品;脱脂牛奶、全脂牛奶:内蒙古伊利实业集团股份有限公司产品;明矾、无水柠檬酸(均为食品级):河南中泰食化有限公司产品;白砂糖(食品级):广州福正东海食品有限公司产品;绿色心情雪糕:内蒙古蒙牛乳业(集团)股份有限公司产品;花生:上海塞翁福农业发展有限公司产品;烟熏香味料:金牛山食品香料厂产品;焦糖味糖浆:马来西亚好时公司产品;至臻原味速溶咖啡:上海雀巢产品服务有限公司产品。

1.2 仪器与设备

BD-01WT 烘焙机:广州市必德通用设备有限公司产品;SPER JOLLY Electronic 咖啡豆研磨机:意大利 Mazzer 公司产品;GS/3 半自动咖啡机:意大利 la marzocco 公司产品;F11 Plus-S 全自动咖啡机:咖博士咖啡系统科技有限公司产品。

1.3 方法

1.3.1 不同烘焙程度咖啡豆的制备 将同一种危地马拉咖啡豆烘焙不同时间,获得不同烘焙程度的咖啡豆,烘焙曲线见图 1。分别在一爆后 1.2 min、二爆开始、二爆后 1.8 min 出豆。浅焙、中焙、深焙咖啡豆的豆表色度分别为:#78、#60、#40。烘焙后的咖啡豆立即装入带有单向阀的咖啡包装袋储藏。为保证咖啡豆品质,养豆 1 周后才可用于实验;为保证样品的稳定性,仅使用烘焙后 2 周内的咖啡豆进行实验。

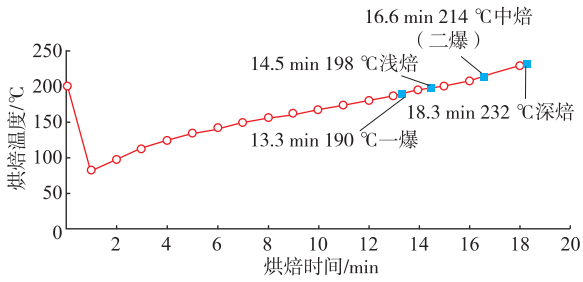


图 1 不同烘焙程度咖啡豆的烘焙曲线

Fig. 1 Roasting curve of coffee beans with different degrees of roasting

1.3.2 不同烘焙程度咖啡液的制备 首先,用研磨机将咖啡豆研磨成咖啡粉,取出 19 g 研磨好的咖啡粉装入粉碗中,置于自动压粉机中压为粉饼,再通过半自动咖啡机在 0.9 MPa、92.6 ℃下萃取咖啡,获得萃取液 25 g。通过控制研磨机的研磨程度,使 3 个烘焙程度咖啡均在 18~20 s 获得所需咖啡液。

1.3.3 不同脂肪质量分数牛奶咖啡的制备 将咖啡液与牛奶混合制得牛奶咖啡,咖啡液与牛奶质量比为 1:9。通过控制脱脂牛奶(脂肪质量分数为 0.1%)和全脂牛奶(脂肪质量分数为 3.8%)的混合比例制得不同脂肪质量分数的牛奶。样品的配制比例见表 1。

表 1 样品制备比例及所得牛奶的脂肪质量分数

Table 1 Sample preparation ratio and the final milk fat mass fraction

实验类别	组别	黑咖啡质量/g	全脂牛奶质量/g	脱脂牛奶质量/g	总质量/g	牛奶脂肪质量分数/%
描述性分析实验	F0	10.00	90.00	0.00	100.00	3.80
	F1	10.00	60.00	30.00	100.00	2.57
	F2	10.00	30.00	60.00	100.00	1.33
	F3	10.00	0.00	90.00	100.00	0.10
差别阈值实验	R	10.00	90.00	0.00	100.00	3.80
	T1	10.00	60.00	30.00	100.00	2.57
	T2	10.00	40.00	50.00	100.00	1.74
	T3	10.00	26.67	63.33	100.00	1.20
	T4	10.00	17.78	72.22	100.00	0.83
	T5	10.00	11.85	78.15	100.00	0.59

注:F0~F3 表示描述性分析中不同脂肪质量分数的样品;R 为差别阈值实验中的参照样,T1~T5 为差别阈值实验中的待测样。

1.3.4 描述性分析 按照国标 GB/T 16291.1—2012 要求,筛选 12 名优选评价员并进行培训。

参考虞健的研究[17]和美国精品咖啡协会(SCAA)建立的咖啡风味轮,初步建立了黑咖啡的描述词,在此基础上,通过评价小组讨论确定牛奶咖啡的感官描述词。具体过程为:评价员品尝完每个牛奶咖啡样品后给出描述词,评价小组组长合并所有描述词,删除偏爱类和重复的词语,从客观描述词中挑选引用频率高的词语,经评价员讨论后确定可以保留的词汇,并在随后的培训中明确术语定义和确定参照样。

经过阶段性的培训后,从区分能力、重复性和一致性 3 个方面评估评价员,由评估合格的评价员组成 10 人评价小组,采用定量描述性分析方法、15 点(0~15 分)标度尺、量值估计法对样品进行评估[18]。

在样品评价时,将 30 mL 牛奶咖啡倒入 50 mL 一次性透明无味品尝杯中,用 3 位数随机编码,通

过保温杯垫控制样品评价温度在 45~55 ℃。通过 9 次实验,评价员完成了对所有样品的评价,每次实验评价时长约为 2 h,每个样品被重复评价一次。

1.3.5 脂肪质量分数差别阈值实验 差别阈值通常通过测量最小可察觉差异来确定,也就是能够产生可察觉差异时,脂肪质量分数的最小变化量[19]。参考文献[20-21],测量全脂牛奶咖啡中脂肪质量分数的差别阈值。差别阈值实验中的普通消费者为 60 名在校大学生(男女比例 22:38,年龄 20~21 岁),全脂牛奶的脂肪质量分数设置符合市场上全脂牛奶的普遍情况。根据预实验确定全脂牛奶咖啡的差别阈值为 2.2%~2.6%, 确定阈值实验的稀释因子为 0.67,由此确定了一系列牛奶的脂肪质量分数。

使用 3-AFC 法测量 JND,对于每个烘焙程度样品的测试分别设置 5 组实验,每组实验中包含 2 个参照样和 1 个待测样, 参照样为全脂牛奶咖啡,待测样为不同脂肪质量分数的牛奶咖啡,5 组实验中脂肪质量分数递减。消费者按照从左到右的顺序依次品尝样品, 并选出 3 个样品中最不同的那一个。只有消费者完成当前测试后,才会收到下一组测试的样品,并回收对应问卷。在品尝每组样品前,消费者要用苏打饼干清口和喝清水漱口。为了避免摄入过多的咖啡因造成潜在干扰,要求消费者不要吞咽样品。每个样品均用 3 位数随机编码,每组 3-AFC 实验中的样品出现顺序是平衡的,每位消费者的品尝顺序是随机的。实验分为 3 个环节,均在同一天完成,每个环节包含一个烘焙程度牛奶咖啡样品的测试,每完成一个环节的测试,消费者休息 20 min。消费者品尝 3 个烘焙程度样品的顺序是平衡的。

以上描述性分析实验和差别阈值实验均在江南大学食品学院感官评价实验室完成,每个消费者均在独立的评价小间完成实验,实验在红光下进行以避免颜色差异对风味差异判断的干扰。

1.4 数据分析

对于描述性分析结果,采用单因素方差分析检查样品在各感官属性间是否存在显著差异,采用双因素方差分析检查烘焙程度与脂肪质量分数之间是否存在交互作用。

使用最佳阈值估计 (BET) 法计算差别阈值。BET 的计算方法参考 GB/T22366—2008 中 BET 的计算[22],具体过程为求出不能做出正确选择的最低质量分数和下一个能做出正确选择的更低质量分数的几何平均值作为个人 BET,如果一名消费者对一系列实验均做出了正确选择,则假设该消费者在最高脂肪质量分数的下一个更高质量分数会做出错误选择并据此计算他的个人 BET;同理,如果一名消费者对一组实验均做出了错误选择,则假设该消费者在最低脂肪质量分数的下一个更低质量分数会做出正确选择并据此计算其个人 BET。以所有消费者 BET 的几何平均值作为消费者群体的 BET[23],则群体差别阈值的计算公式为:

$$J_p=w-B_p$$

式中:J_p 为群体差别阈值,也就是产生消费者可觉察差异时需要改变的牛奶脂肪质量分数;w 为参照样的脂肪质量分数,此处为全脂牛奶的脂肪质量分数(3.8%);B_p 为群体的 BET。

对不同烘焙程度咖啡,分别计算个人 BET 和群体差别阈值。

根据咖啡消费频率是否高于每周 1~2 次将消费者分为高消费频率组和低消费频率组[24]。通过对个人 BET 的常用对数值进行单因素方差分析[25],比较不同烘焙程度咖啡间 JND 的差异和不同人群间(性别、消费频率)的差异。

采用 Excel 2016、Origin 9.1 绘制图表。采用 XLSTAT 2018 进行方差分析和主成分分析。

2 结果与分析

2.1 牛奶脂肪质量分数对咖啡感官品质的影响

经过讨论,描述词及其定义和参照样见表 2。共包含 3 个味觉属性、7 个鼻前香气属性、6 个鼻后香气属性和 2 个口感属性。

首先, 根据建立的属性对黑咖啡样品进行评价,以确定所制备的咖啡是否存在感官差异。如图 2 所示,在黑咖啡中共有 11 个属性,其中 2 个味觉属性、2 个口感属性、4 个鼻前香气属性和 3 个鼻后香气属性,随烘焙程度增加,对于味觉属性,酸味(t:8.3~6.0 分)显著减弱、苦味(t:4.2~9.8 分)显著增加;对于口感属性,涩味和醇厚感不变;而对于香气属性,烟味(f:6.1~9.1 分;a:6.5~8.8 分)和焖味(f:6.3~10.1 分;a:6.3~9.2 分)显著增强,酸味(a:13.0~8.0 分)显著减弱,这一结果与 Bhumiratana 等的研究相符[13]。此外,在浅焙咖啡中存在轻微的生豆味,而中焙和深焙咖啡中不存在。整体而言,制备的不同烘焙程度黑咖啡液中存在明显的感官差异。

表 2　牛奶咖啡的感官描述词、定义、参照样及标度

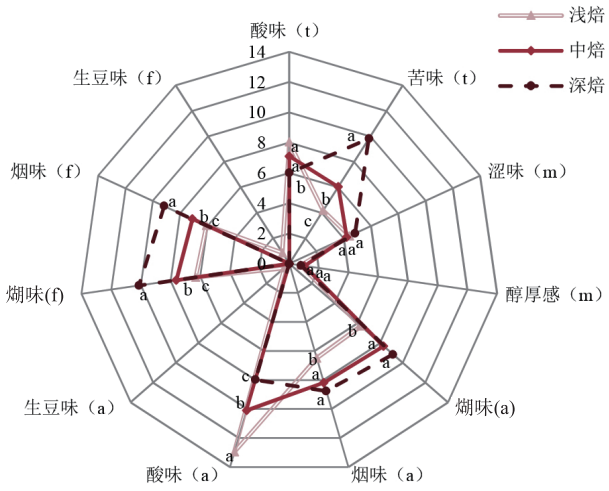
Table 2　Sensory descriptors, definition and reference of white coffee

描述词	定义	参照样(0~15 分标度)
酸味(t)	酸味强度的最大值	2、4、6、8、10、12 分对应柠檬酸溶液 0.05、0.10、0.15、0.20、0.25、0.30 g/L
苦味(t)	舌根处苦味强度的最大值	1、2、4、8、10、12 分对应速溶黑咖啡溶液 6、9、12、15、18、24 g/L
甜味(t)	入口后甜味强度的最大值	2、3、4、6、8 分对应白砂糖水溶液 4、6、8、12、16 g/L
奶香味(f)	牛奶的香味,不包含奶腥味	脱脂牛奶(2 分)
		全脂牛奶与脱脂牛奶质量比 1:1(6 分)
		全脂牛奶(8 分)
奶香味(a)	牛奶的香味,不包含奶腥味	全脂牛奶与脱脂牛奶质量比 1:1(4 分)
		全脂牛奶(6 分)
焦糖味(a/f)	包含焦香、甜香和奶香的香甜味,类似太妃糖的香气	将好时焦糖味糖浆、水按质量比 1:4 混合均匀(6 分)
烟味(a/f)	烧焦的烟味,厚重的苦味	花生 230 ℃烘焙 15 min(6 分)
烟味(a/f)	呛人的烟味	0.25 g/L 烟熏液水溶液(8 分)
焦香味(a/f)	谷物烘焙后的香气	花生 230 ℃烘焙 10 min(6 分)
酸味(a)	具有刺激感的酸味香气	在 1 L 速溶咖啡水溶液(9 g/L)中加入 1 mL 白醋(4 分)
生豆味(a/f)	生豆的香气,绿色植物的感觉	将融化的绿色心情雪糕与水按质量比 1:5 混合均匀(8 分)
涩味(m)	入口后舌头和口腔内侧收敛或麻的感觉	2、4、6、8 分对应明矾水溶液 0.20、0.25、0.30、0.40 g/L
醇厚感(m)	舌头上厚重的感觉	脱脂牛奶(4 分)
		全脂牛奶与脱脂牛奶质量比 1:1(7 分)
		全脂牛奶(8 分)

注:t 表示味觉属性,f 表示通过品尝感受到的鼻后香气属性,a 表示通过嗅闻感受到的鼻前香气属性,m 表示口感属性,a/f 表示鼻前和鼻后香气属性均被评价,且具有相同的定义和参照样。

如图 3 所示,在黑咖啡的基础上,牛奶咖啡样品中增加了 7 个感官属性,包括 1 个味觉属性(甜味),3 个鼻前香气属性(焦糖味、奶香味、生豆味)和 3 个鼻后香气属性(焦糖味、奶香味、生豆味),其中生豆味(a/f)仅在浅焙牛奶咖啡中被感知到。随着脂肪质量分数的降低,3 个烘焙程度牛奶咖啡感官属性的变化规律基本一致, 黑咖啡中原有的感官属性,包括酸味(t)、苦味(t)、涩味(m)、烟味(a/f)、烟味(a/f)等逐渐增强,而牛奶咖啡中新具有的属性,包括甜味(t)、醇厚感(m)、焦糖味(a/f)、奶香味(a/f)等减弱。此外,浅焙牛奶咖啡独有的生豆味(a/f)随着脂肪质量分数的增加而逐渐减弱。

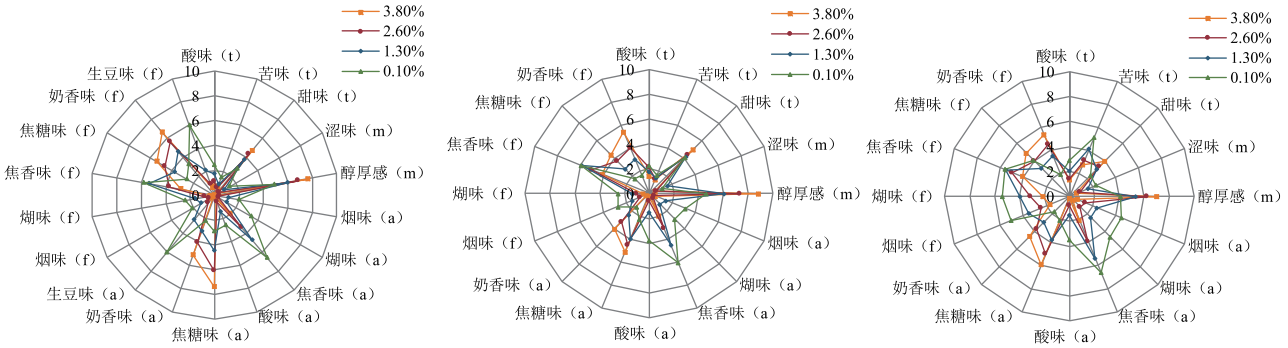
对烘焙程度和脂肪质量分数进行单因素方差分析。如表 3 所示,脂肪质量分数对所有感官属性均会产生显著影响,但烘焙程度对酸味(t)、焦香味(a/f)和酸味(a)等属性不存在显著影响。进一步对烘焙程度和脂肪质量分数进行双因素方差分析,如果二者存在交互作用,则证明脂肪质量分数对不同



t 表示味觉属性,f 表示通过品尝感受到的鼻后香气属性,a 表示通过嗅闻感受到的鼻前香气属性,m 表示口感属性。

图 2　不同烘焙程度黑咖啡液的感官差异

Fig. 2　Sensory differences of liquid black coffee with different degrees of roast



（a）浅焙牛奶咖啡　（b）中焙牛奶咖啡　（c）深焙牛奶咖啡

t 表示味觉属性，f 表示通过品尝感受到的鼻后香气属性，a 表示通过嗅闻感受到的鼻前香气属性，m 表示口感属性。

图 3　牛奶脂肪质量分数对不同烘焙程度牛奶咖啡感官属性的影响

Fig. 3　Influence of milk fat mass fraction on sensory attributes of white coffee with different degrees of roast

烘焙程度牛奶咖啡的影响程度不同，结果表明，烟味(a)和烟味(a)在烘焙程度和脂肪质量分数间存在显著交互作用，说明脂肪质量分数对不同烘焙程度咖啡的烟味和烟味的影响程度存在差异。结合具体结果可知(见图 3)，浅焙、中焙和深焙咖啡中烟味(a)的变化范围分别为 0.2~2.0、0.5~3.1、0.7~4.5，烟味(a)的变化范围分别为 0.0~2.9、0.3~3.4、0.4~4.6，随着烘焙程度加深，烟味(a)和烟味(a)受牛奶脂肪质量分数的影响增大。

为进一步了解牛奶脂肪质量分数对不同烘焙程度牛奶咖啡感官属性影响的差异，进行主成分分析。主成分分析能够将多个彼此相关的指标转化为少数几个彼此独立或相关性较小的综合指标，从而避免重复信息的干扰[26]。如表 4 所示，前两个主成分方差贡献率依次为 70.137%、15.000%，累计贡献率为85.137%，表明主成分分析能够反映原始数据的

表 3　烘焙程度、脂肪质量分数及两者交互作用对咖啡感官属性的影响

Table 3　Effect of roasting degree, fat content and their interaction on sensory attributes of coffee

感官属性	烘焙程度		脂肪质量分数		烘焙程度与脂肪质量分数交互作用	
	F	*P*	*F*	*P*	*F*	*P*
酸味(t)	2.734	0.068 0	12.156	< 0.000 1	0.936	0.471 0
苦味(t)	80.387	< 0.000 1	7.048	0	1.985	0.070 0
甜味(t)	24.538	< 0.000 1	19.932	< 0.000 1	1.165	0.327 0
涩味(m)	7.667	0.001 0	15.147	< 0.000 1	1.466	0.193 0
醇厚感(m)	19.373	< 0.000 1	100.300	< 0.000 1	1.806	0.099 0
烟味(a)	55.326	< 0.000 1	166.419	< 0.000 1	8.243	< 0.000 1
烟味(a)	51.550	< 0.000 1	127.506	< 0.000 1	5.322	< 0.000 1
焦香味(a)	1.783	0.171 0	47.376	< 0.000 1	0.198	0.977 0
焦糖味(a)	17.242	< 0.000 1	65.889	< 0.000 1	1.464	0.193 0
奶香味(a)	17.120	< 0.000 1	85.231	< 0.000 1	0.392	0.884 0
酸味(a)	2.164	0.118 0	114.760	< 0.000 1	2.066	0.059 0
生豆味(a)	—	—	154.459	< 0.000 1	—	—
烟味(f)	141.414	< 0.000 1	62.658	< 0.000 1	2.051	0.060 0
烟味(f)	76.194	< 0.000 1	47.157	< 0.000 1	2.056	0.060 0
焦香味(f)	2.945	0.055 0	12.285	< 0.000 1	0.714	0.638 0
焦糖味(f)	16.556	< 0.000 1	82.944	< 0.000 1	0.064	0.999 0
奶香味(f)	43.464	< 0.000 1	111.507	< 0.000 1	0.428	0.860 0
生豆味(f)	—	—	100.084	< 0.000 1	—	—

注：生豆味(a/f)仅在浅焙咖啡中存在，未分析烘焙程度的影响和烘焙程度与脂肪质量分数交互作用的影响。

大部分信息。

表 4　主成分的特征值及贡献率

Table 4　Eigenvalues and variability of principal components

主成分	特征值	方差贡献率%	累计贡献率%
PC1	12.625	70.137	70.137
PC2	2.700	15.000	85.137
PC3	1.639	9.104	94.241
PC4	0.425	2.362	96.602

变量的余弦平方值越大，在两轴上的和越大，该变量越能用于区分样品。如表 5 所示,大多数属性在第一主成分上的余弦平方值最大,其中前 3 位为烟味(a)、焦香味(a)和烟味(a),这是区分样品的关键属性。而苦味(t)和生豆味(a/f)则主要在第二主成分上具有较高的余弦平方值,表明这些属性有利于区分在第二主成分上存在差异的样品。

表 5　感官属性变量的余弦平方值

Table 5　Cosine square of the variables of sensory attributes

感官属性	余弦平方值	
	PC1	PC2
酸味(t)	0.857	0.005
苦味(t)	0.405	0.464
甜味(t)	0.685	0.008
涩味(m)	0.829	0.038
醇厚感(m)	0.867	0.003
烟味(a)	0.893	0.055
烟味(a)	0.924	0
焦香味(a)	0.905	0.050
酸味(a)	0.835	0.021
焦糖味(a)	0.892	0.017
奶香味(a)	0.858	0.040
生豆味(a)	0.054	0.696
烟味(f)	0.773	0.177
烟味(f)	0.710	0.191
焦香味(f)	0.740	0.049
焦糖味(f)	0.492	0.197
奶香味(f)	0.867	0
生豆味(f)	0.041	0.688

在主成分分析图中，样品与属性位置越接近，则该属性在该样品中的强度越高;位置越接近的样品,整体感官特征越接近。如图 4 所示,不同脂肪质量分数牛奶咖啡主要由第一主成分区分,随脂肪质量分数降低,不同烘焙程度牛奶咖啡主要由第二主成分区分。相比烘焙程度不同的样品,不同脂肪质量分数的样品在主成分图上的距离更远,表明相比烘焙程度的影响，牛奶脂肪质量分数的影响更大。随着脂肪质量分数的增加,不同烘焙程度样品在主成分分析图上位置的变化情况基本一致,但在第二主成分上投影的距离减小,这一结果表明虽然牛奶脂肪质量分数变化对不同烘焙程度咖啡感官属性的影响相似,但脂肪掩盖了由烘焙程度差异带来的苦味(t)和生豆味(a/f)的差异。

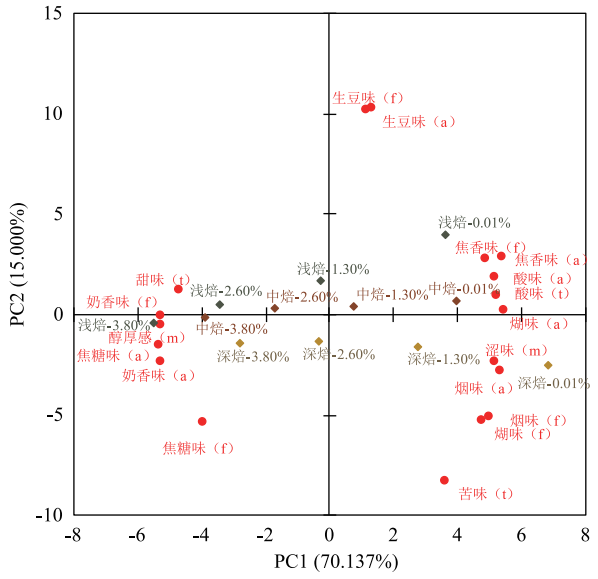


图 4　描述样本间关系的 PCA 图

Fig. 4　PCA chart depicting relationships among the samples

2.2　全脂牛奶咖啡中牛奶脂肪质量分数的差别阈值

JND 越小表明产生消费者可察觉差异时需要改变的脂肪质量分数越小,也就是说,牛奶脂肪对咖啡风味产生的影响越大。如图 5 所示,3 个烘焙程度下,JND 分别为 2.59%、2.45%和 2.36%。随着烘焙程度加深,JND 减小,说明随烘焙程度加深,牛奶中脂肪质量分数对咖啡感官属性的影响程度可能会增加,但这一结果不存在显著差异。根据描述性分析结果，造成差异的原因可能是随烘焙程度加深,牛奶脂肪对烟味的影响更大。根据 JND 结果,如果要在不产生消费者可明显感知的感官差异的前提下降低牛奶咖啡中的脂肪质量分数,浅焙、中焙和深焙咖啡分别需要将牛奶脂肪质量分数控制在 1.21%、1.35%、1.44%以上。

对于不同消费人群而言,JND 越小，表明消费者对全脂牛奶咖啡中脂肪质量分数的变化越敏感。如图 6 所示，对不同性别消费者的 JND 进行比较,女性的 JND 小于男性,女性在浅、中、深 3 个烘焙程

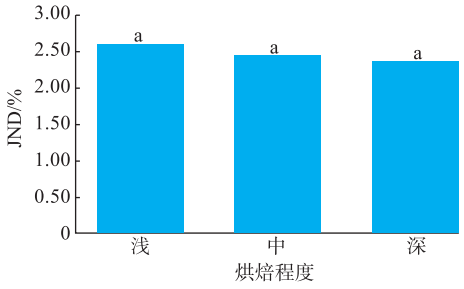


图 5　烘焙程度对全脂牛奶咖啡差别阈值的影响

Fig. 5　Influence of roasting degress on JND threshold of whole fat milk coffee

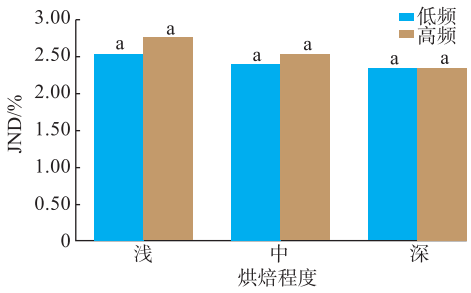


图 7　消费频率对全脂牛奶咖啡差别阈值的影响

Fig. 7　Influence of consumption frequency on JND threshold of whole fat milk coffee

度咖啡中的 JND 分别为 2.55%、2.26%和 2.15%，而男性分别为 2.67%、2.72%、2.67%。在深焙样品中的 JND 存在显著差异，表明女性消费者对脂肪质量分数降低造成的牛奶咖啡感官特性的变化更加敏感。

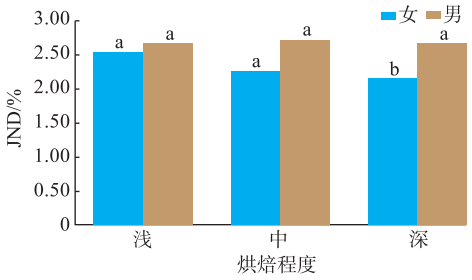


图 6　性别对全脂牛奶咖啡差别阈值的影响

Fig. 6　Influence of gender on JND threshold of whole fat milk coffee

消费频率对 JND 的影响见图 7，低频消费者的 JND 略低于高频消费者，说明低频消费者对脂肪质量分数降低造成的感官差异可能更加敏感，但没有明显差异。尽管 Gotow 等发现消费频率低的消费者对咖啡的后味更加敏感[10]，但在一些实验中也发现差别阈值与消费频率无关[25]，这与本研究的结果相符。

3　结　语

描述性分析结果表明，牛奶脂肪质量分数的降低会对咖啡风味产生显著影响，这一影响大于不同烘焙程度带来的差异。对于不同烘焙程度牛奶咖啡而言，牛奶脂肪质量分数变化对其感官品质的影响趋势一致。整体上，随牛奶脂肪质量分数降低，牛奶咖啡的酸味(t)、苦味(t)、涩味(m)、烟味(a/f)、糊味(a/f)、焦香味(a/f)、酸味(a)和生豆味(a/f)逐渐增强，甜味(t)、醇厚感(m)、焦糖味(a/f)和奶香味(a/f)减弱，但随烘焙程度加深，烟味(a)和糊味(a)属性受到的影响增强。此外，由烘焙程度差异造成咖啡苦味的差异会被脂肪掩盖，因此随着牛奶脂肪质量分数降低，不同烘焙程度样品间的苦味差异增大。

对浅、中、深 3 个烘焙程度全脂牛奶咖啡而言，牛奶脂肪质量分数的消费者差别阈值分别为 2.59%、2.45%和 2.36%，随烘焙程度加深，脂肪质量分数对咖啡风味影响有增强的趋势。此外，女性消费者对全脂牛奶咖啡中脂肪质量分数的变化更加敏感，在深焙咖啡中，男女存在显著差异。与高频消费者相比，低频消费者对脂肪质量分数的变化略敏感，但未发现明显差异。

综上所述，牛奶中脂肪质量分数的降低对牛奶咖啡感官风味品质的影响是多方面的，并且在不同烘焙程度咖啡中存在一定差异。为了在降低脂肪质量分数的同时，不产生消费者可以明显感知到的感官差异，浅焙、中焙和深焙咖啡分别需要将牛奶脂肪质量分数控制在 1.21%、1.35%、1.44%以上，随着咖啡豆烘焙程度的加深，可适当将脂肪质量分数提高，女性消费者会对这一变化更加敏感，为了获得女性消费者青睐，可以将脂肪质量分数控制在 1.65%以上。

参考文献：

[1] 咖啡文化. 2020 年中国咖啡市场发展现状与分析[EB/OL].(2020-10-28)[2021-8-18]. https://www.sohu.com/a/427784005_135494.

[2] 前瞻产业研究院. 2020 年中国现磨咖啡行业市场分析[EB/OL].(2020-4-3)[2021-8-18]. https://bg.qianzhan.com/trends/detail/506/200403-2c57b5fe.html.

[3] CHAPMAN K W, LAWLESS H T. Sources of error and the no-preference option in dairy product testing[J]. **Journal of Sensory Studies**, 2005, 20(5): 454-468.
[4] MCCARTHY K S, LOPETCHARAT K, DRAKE M A. Milk fat threshold determination and the effect of milk fat content on consumer preference for fluid milk[J]. **Journal of Dairy Science**, 2017, 100(3): 1702-1711.
[5] BUCKING M, STEINHART H. Headspace GC and sensory analysis characterization of the influence of different milk additives on the flavor release of coffee beverages[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2002, 50(6): 1529-1534.
[6] AKIYAMA M, WATANABE R, OHATA M, et al. Effect of milk components on release of retronasal-aroma compounds from coffee with milk[J]. **Food Science and Technology Research**, 2016, 22(4): 545-555.
[7] SCHIRLE-KELLER J P, REINECCIUS G A, HATCHWELL L C. Flavor interactions with fat replacers: effect of oil level[J]. **Journal of Food Science**, 1994, 59(4): 813-815.
[8] PARAT-WILHELMS M, DENKER M, BORCHERDING K, et al. Influence of defined milk products on the flavour of white coffee beverages using static headspace gas chromatography-mass spectrometry/olfactometry and sensory analysis[J]. **European Food Research and Technology**, 2005, 221(3): 265-273.
[9] CRISTOVAM E, RUSSELL C, PATERSON A, et al. Gender preference in hedonic ratings for espresso and espresso-milk coffees [J]. **Food Quality and Preference**, 2000, 11(6): 437-444.
[10] GOTOW N, MORITANI A, HAYAKAWA Y, et al. High consumption increases sensitivity to after-flavor of canned coffee beverages[J]. **Food Quality and Preference**, 2015, 44: 162-171.
[11] ADHIKARI J. Impact of consumption temperature and additions (milk and/or sugar) on sensory properties of hot brewed coffee [D]. Manhattan: Kansas State University, 2017.
[12] BICHO N C, LEITÃO A E, RAMALHO J C, et al. Impact of roasting time on the sensory profile of Arabica and Robusta coffee [J]. **Ecology of Food and Nutrition**, 2013, 52(2): 163-177.
[13] BHUMIRATANA N, ADHIKARI K, CHAMBERS E. Evolution of sensory aroma attributes from coffee beans to brewed coffee [J]. **LWT–Food Science and Technology**, 2011, 44(10): 2185-2192.
[14] CZERNY M, MAYER F, GROSCH W. Sensory study on the character impact odorants of roasted Arabica coffee[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 1999, 47(2): 695-699.
[15] GARCIA A O, TELES C R A, ORMENESE R, et al. Evaluation of coffee sensory quality submitted to different degrees of roasting: medium and dark[C] // Proceedings of the 22nd International Conference on Coffee Science, Campinas: Association Scientifique Internationale du Café(ASIC), 2009: 386-389.
[16] GIACALONE D, DEGN T K, YANG N, et al. Common roasting defects in coffee: aroma composition, sensory characterization and consumer perception[J]. **Food Quality and Preference**, 2019, 71: 463-474.
[17] 虞健. 不同烘焙程度咖啡感官特征及主要化学成分分析[D]. 无锡:江南大学,2014.
[18] 常玉梅, 钟芳. 豆腐干质构感官分析及评价小组能力评估[J]. 食品与生物技术学报, 2013(1):37-42.
[19] ALLEN G A. The X^2 statistic and Weber's law[J]. **Teaching of Psychology**, 1981, 8(3): 179-180.
[20] ORELLANA-ESCOBEDO L, ORNELAS-PAZ J J, OLIVAS G I, et al. Determination of absolute threshold and just noticeable difference in the sensory perception of pungency[J]. **Journal of Food Science**, 2012, 77(3): 135-139.
[21] CAMACHO S, DOP M, DE GRAAF C, et al. Just noticeable differences and Weber fraction of oral thickness perception of model beverages[J]. **Journal of Food Science**, 2015, 80(7): 1583-1588.
[22] 中国标准化研究院. 感官分析 方法学 采用三点选配法(3-AFC)测定嗅觉、味觉和风味觉察阈值的一般导则: GB/T22366—2008[S]. 北京: 中国标准出版社,2008.
[23] LAWLESS H T, HEYMANN H. Sensory evaluation of food: principles and practices[M]. New York: Springer Science and Business Media, 2010: 131-132.
[24] XIA Y, SONG J, LEE P Y, et al. Impact of consumption frequency on generations of sensory product profiles using CATA questions: case studies with two drink categories[J]. **Food Research International**, 2020, 137: 1-9.
[25] GUTTMAN G A, SOLDAVINI A M, SIMONS C T. Ethanol thresholds in water and beer[J]. **Journal of Sensory Studies**, 2020, 35(1): 1-9.
[26] 张振文,姚庆群. 主成分分析法在芒果贮藏特性分析中的应用[J]. 亚热带植物科学,2005(2):25-28.