

# 不同香韵物质刺激下风味喜好、唾液与食欲的关联分析

程慧如<sup>1</sup>, 杨金初<sup>2</sup>, 黄珍珍<sup>2</sup>, 冯颖杰<sup>2</sup>, 刘文召<sup>2</sup>, 李丹阳<sup>1</sup>, 张璐璐<sup>1\*</sup>, 徐永明<sup>2\*</sup>

(1. 河南工业大学粮油食品学院, 河南郑州 450001) (2. 河南中烟工业有限责任公司技术中心, 河南郑州 450000)

**摘要:** 食品风味是影响消费者接受度和购买决策的关键因素, 与唾液分泌及食欲调节密切相关。为探究不同香韵物质刺激下风味喜好、唾液与食欲之间的关系, 本研究选取柑橘香、薄荷香、奶香、茶香、酒香五类典型香韵物质, 通过消费者喜好测试评估不同浓度下的感官喜好度, 测定各香韵物质刺激前后唾液理化指标(唾液流速、pH 值、粘度、 $\alpha$ -淀粉酶活性、总蛋白含量、半胱氨酸蛋白酶抑制剂 SN 与碳酸酐酶 VI 含量)及食欲的变化, 并结合相关性分析揭示风味喜好、唾液与食欲三者之间的内在关联。结果表明, 香韵物质的喜好具有明显的浓度依赖性, 高浓度普遍引发负面感官反应。香韵物质刺激能够促进唾液分泌, 改变唾液理化成分, 并提高食欲。然而, 奶香香韵物质的喜好值均低于 6 分, 且刺激后导致牛奶摄入量减少。相关性分析结果显示, 香韵物质喜好值与唾液流速及牛奶摄入量呈弱正相关, 但奶香香韵中喜好值与牛奶摄入量呈弱负相关。本研究为食品消费喜好及风味设计提供了理论和数据参考。

**关键词:** 香韵物质; 喜好; 唾液理化特性; 食欲; 相关性分析

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2027.8.0890

## Correlation Analysis of Flavor Preference, Saliva, and Appetite under Stimulation of Different Aroma Substances

CHENG Huiru<sup>1</sup>, YANG Jinchu<sup>2</sup>, HUANG Zhenzhen<sup>2</sup>, FENG Yingjie<sup>2</sup>, LIU Wenzhao<sup>2</sup>, LI Danyang<sup>1</sup>,  
ZHANG Lulu<sup>1\*</sup>, XU Yongming<sup>2\*</sup>

(1.College of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

(2.Technology Center, China Tobacco Henan Industrial Co. Ltd., Zhengzhou 450000, China)

**Abstract:** Food flavor is recognized as a key factor influencing consumer acceptance and purchase decisions, and is closely associated with salivation and appetite regulation. To investigate the relationship among flavor preference, saliva, and appetite in response to different aroma compounds, five typical aroma substances (citrus, mint, milk, tea, and wine) were selected in this study. Consumer preference tests were conducted to evaluate sensory preference at different concentrations. Changes in salivary physicochemical indicators including saliva flow rate, pH, viscosity,  $\alpha$ -amylase activity, total protein content, cystatin SN content, and carbonic anhydrase VI content, as well as changes in appetite were measured before and after stimulation with each aroma substance. Correlation analysis was performed to reveal the associations among flavor preference, saliva, and appetite. The results showed that the preference for aroma substances was concentration-dependent, with high concentrations generally inducing negative sensory responses. Stimulation with aroma substances was found to promote salivary secretion, alter the physicochemical composition of saliva, and increase appetite. However, the preference scores for the milk aroma substances were all below 6, and milk intake was reduced after stimulation. Correlation analysis revealed that preference values for aroma substances were weakly positively correlated with saliva flow rate and milk intake, whereas for the milk aroma substances, preference values were weakly negatively correlated with milk intake. This study provides theoretical and data references for food consumption preference and flavor design.

**Key words:** aroma substances; preference; physicochemical properties of saliva; appetite; correlation analysis

收稿日期: 2026-06-11; 修回日期: 2026-08-25; 接受日期: 2026-08-25

基金项目: 河南省科技研发计划联合基金(学科类)(252301420057); 中国烟草总公司科技项目(110202403006); 河南中烟工业有限责任公司科技项目(AW2024033)

作者简介: 程慧如(2000-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品风味化学, E-mail: 2904783081@qq.com

通讯作者: 张璐璐(1992-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 食品风味化学、生物催化与转化, E-mail: zhanglulu\_haut@163.com; 共同通讯作者: 徐永明(1990-),

男, 博士, 副研究员, 研究方向: 烟用香精香料和烟草生物技术, E-mail: xuyongming\_1990@126.com

风味是食品感官品质的核心要素,直接影响消费者的接受度与食物选择行为。随着消费者对食品个性化与健康化需求的不断提升,深入理解风味喜好背后的机制已成为食品科学领域的重要研究方向。风味感知并非单纯的化学刺激过程,而是涉及嗅觉、味觉、口腔加工及中枢神经系统协同作用的复杂生理事件<sup>[1]</sup>。

唾液是人体风味感知体系中不可或缺的介质。作为复杂的生物胶体体系,它由水、蛋白质及酶、电解质等组成,在润滑、缓冲、溶解与气味分子的释放过程中发挥多重作用<sup>[2,3]</sup>。唾液的稀释作用、酶活性和蛋白质-配体相互作用均可影响风味物质的释放与感知<sup>[4]</sup>。唾液可通过稀释芳香化合物并抑制其跨黏膜扩散,从而降低酯类香气的释放速度与强度。唾液黏蛋白和 $\alpha$ -淀粉酶能够延长酯类物质和酮类物质在口腔的停留时间,从而减少芳香物质的释放,该过程中疏水性结合是唾液蛋白与芳香物质结合的主要方式<sup>[5]</sup>。此外,外源性食物气味(尤其是高愉悦度香韵)不仅能够促进唾液分泌、改变唾液成分,还能激活大脑奖赏通路并调节内源食欲信号。风味物质可激活特定的嗅觉受体,相关信号传递至嗅球,进而投射到下丘脑、边缘系统及奖赏区域。这些神经通路可在进食前就调节胰岛素释放、脂质代谢、产热以及摄食行为<sup>[6]</sup>。研究人员发现暴露于食物香气后,唾液分泌率显著高于无香气或无食物对照条件,表明食物气味在预期性唾液反应中起关键作用,并可能进而影响后续的进食行为<sup>[7]</sup>。嗅闻巧克力香气可增强对甜食或高热量食物的食欲,而对咸味或低热量食物的食欲影响较小。然而,长期暴露于食物气味则可能激活嗅球-腹侧下托-腹内侧下丘脑通路,转而抑制食欲<sup>[8]</sup>。

近年来,研究人员已经发现D-柠檬烯、柠檬醛等柑橘香韵物质可诱发预期性唾液分泌,激活大脑愉悦中枢并影响食物选择<sup>[9-13]</sup>;薄荷醇等薄荷香韵物质能激活口腔与鼻腔冷觉受体,改变唾液流速及电解质组成<sup>[14]</sup>;香兰素、2,3-丁二酮等奶香香韵物质与高热量预期及饱腹感相关<sup>[15,16]</sup>;不同的茶或者茶香香韵物质能显著影响消费者的感官接受度<sup>[17]</sup>;以酯类物质为代表的酒香香韵物质能与口腔黏膜及唾液蛋白相互作用,改变唾液pH值与酶活力<sup>[18,19]</sup>。尽管这些研究揭示了不同风味物质对唾液分泌和食欲行为的调控作用,但相关成果大多聚焦于单一风味类型或特定食物基质,且多分别考察风味喜好与唾液特性或风味喜好与食欲的两两关系<sup>[7,9,20,21]</sup>,缺乏对三者之间系统性关联的整合研究。

基于此,本研究以市面上五类典型香韵物质(柑橘香、薄荷香、奶香、茶香、酒香)为研究对象,通过消费者喜好测试评估不同浓度香韵物质的感官喜好度,并在此基础上,分析不同香韵物质刺激前后唾液理化指标和食欲的变化,探究风味喜好、唾液与食欲之间的内在关联,为食品风味的个性化设计与感官品质优化提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

D-柠檬烯(HPLC $\geq$ 90%)、柠檬醛(HPLC $\geq$ 85%)、芳樟醇(HPLC $\geq$ 85%)、香茅醇(HPLC $\geq$ 80%)、香叶醇(HPLC $\geq$ 80%)、甜橙精油(HPLC $\geq$ 90%)、薄荷醇(HPLC $\geq$ 99%)、薄荷精油(HPLC $\geq$ 50%),吉安通达香料厂;橙花醇(HPLC $\geq$ 95%)、D-香茅醛(HPLC $\geq$ 97%)、L-薄荷酮(HPLC $\geq$ 95%)、茶螺烷(HPLC $\geq$ 96%)、茶香螺烷(HPLC $\geq$ 98%)、茶香酮(HPLC $\geq$ 98%)、茶香精(HPLC $\geq$ 90%)、3-羟基-2-丁酮(HPLC $\geq$ 98%)、2-甲基丙酸乙酯(HPLC $\geq$ 98%),武汉克米克生物医药技术有限公司;香兰素(HPLC $\geq$ 99%),深圳市晨馨香精香料有限公司;乙基香兰素(HPLC $\geq$ 99%),江西兄弟医药有限公司;庚酸乙酯(HPLC $\geq$ 98%)、己酸乙酯(HPLC $\geq$ 98%)、丙酸乙酯(HPLC $\geq$ 97%)、癸酸乙酯(HPLC $\geq$ 98%)、辛酸乙酯(HPLC $\geq$ 98%)、乙酸乙酯(HPLC $\geq$ 99%)、乳酸乙酯(HPLC $\geq$ 98%)、丁酸乙酯(HPLC $\geq$ 98%)、戊酸乙酯(HPLC $\geq$ 98%)、2,3-丁二酮(HPLC $\geq$ 98%)、食用酒精(HPLC $\geq$ 95%),河南省康源香料厂有限公司;淀粉酶检测试剂盒(碘-淀粉微板法)、生理盐水,上海叶源生物科技有限公司;微量BCA蛋白定量试剂盒,北京索莱宝科技有限公司;人碳酸酐酶6酶联免疫分析试剂盒,人半胱氨酸蛋白酶抑制剂1酶联免疫分析试剂盒,上海博湖生物科技有限公司。

### 1.2 仪器与设备

H2050R离心机,湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;Multiskan FC型酶标仪,赛默飞世尔(上海)仪器有限公司;76-1A玻璃恒温水浴锅,金坛区白塔新宝仪器厂;雷磁PHS-3C pH计,上海仪电科学仪器股份有限公司;1831玻璃奥氏粘度计,凯莱宝公司;202-0电热恒温干燥箱,绍兴市苏珀仪器有限公司;MDF-U5386S医用低温箱,普和希健康医疗器械(上海)有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 样品制备

根据文献，针对柑橘香<sup>[22-24]</sup>、薄荷香<sup>[25,26]</sup>、奶香<sup>[27-29]</sup>、茶香<sup>[30,31]</sup>、酒香<sup>[32,33]</sup>五类香韵，分别选择相应的风味成分。按照表 1 所示的浓度梯度，使用景田纯净水配制不同香韵物质的溶液，当天配制，当天使用；若当天未用，应置于 4℃冰箱冷藏，并于 24 h 内使用完毕。各香韵物质的浓度范围通过文献调研<sup>[34-39]</sup>结合预实验确定：首先查阅文献以及相关资料，获取各成分在食品基质中的应用浓度及嗅觉或味觉阈值，初步拟定浓度范围；随后组织 5 名经培训的评价员（未参与正式实验）进行口含预实验（每次含漱 30 s 后吐出，纯净水清洁口腔并休息 5 min），进一步筛选适宜浓度。最低浓度（H1）以所有评价员均能明确识别目标香韵特征且能正确描述其香气属性为判定标准；最高浓度（H6）以评价员口含后未出现皱眉、排斥等负面表情，且未使用“刺鼻”“辛辣”“不适”等负面描述词为上限，中间浓度 H2~H5 按等比梯度分布，相邻浓度比值约为 3 倍。对于不溶于水的样品，先用食用酒精配制成母液（香韵物质与酒精配比约 1:4，溶解后酒精体积分数约为 80%（ $\varphi$ ）），再用纯净水逐级稀释，最终样品中酒精体积分数最高不超过 1.04%（ $\varphi$ ）（以 3-羟基-2-丁酮 H6 浓度计，其他物质更低）。该浓度低于乙醇的口腔味觉检测阈值（约 1.40%（ $\varphi$ ））<sup>[40]</sup>，不足以产生感官干扰。样品配制用水需与漱口水一致。

每份样品取 15 mL 分装于一次性品评瓶中，并随机赋予三位数编码。每个香韵组内样品的顺序随机打乱，同时设置空白对照组 H0（纯净水）。

表 1 样品制备  
Table 1 Sample preparation

| 组别   |           | 浓度/(mmol L <sup>-1</sup> ) |                      |                     |                     |                    |                    |
|------|-----------|----------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
|      |           | H1                         | H2                   | H3                  | H4                  | H5                 | H6                 |
| 柑橘香韵 | D-柠檬烯     | 0.03                       | 0.1                  | 0.3                 | 1                   | 3                  | 10                 |
|      | 柠檬醛       | 0.01                       | 0.03                 | 0.1                 | 0.3                 | 1                  | 3                  |
|      | 橙花醇       | 0.01                       | 0.03                 | 0.1                 | 0.3                 | 1                  | 3                  |
|      | 芳樟醇       | 0.01                       | 0.03                 | 0.1                 | 0.3                 | 1                  | 3                  |
|      | 香茅醇       | 0.01                       | 0.03                 | 0.1                 | 0.3                 | 1                  | 3                  |
|      | D-香茅醛     | 0.01                       | 0.03                 | 0.1                 | 0.3                 | 1                  | 3                  |
|      | 香叶醇       | 0.01                       | 0.03                 | 0.1                 | 0.3                 | 1                  | 3                  |
|      | 甜橙精油      | 0.001% ( $\varphi$ )       | 0.003% ( $\varphi$ ) | 0.01% ( $\varphi$ ) | 0.03% ( $\varphi$ ) | 0.1% ( $\varphi$ ) | 0.3% ( $\varphi$ ) |
| 薄荷香韵 | 薄荷醇       | 0.003                      | 0.01                 | 0.03                | 0.1                 | 0.3                | 1                  |
|      | L-薄荷酮     | 0.01                       | 0.03                 | 0.1                 | 0.3                 | 1                  | 3                  |
|      | 薄荷精油      | 0.001% ( $\varphi$ )       | 0.003% ( $\varphi$ ) | 0.01% ( $\varphi$ ) | 0.03% ( $\varphi$ ) | 0.1% ( $\varphi$ ) | 0.3% ( $\varphi$ ) |
| 奶香香韵 | 香兰素       | 0.03                       | 0.1                  | 0.3                 | 1                   | 3                  | 10                 |
|      | 乙基香兰素     | 0.03                       | 0.1                  | 0.3                 | 1                   | 3                  | 10                 |
|      | 3-羟基-2-丁酮 | 0.1                        | 0.3                  | 1                   | 3                   | 10                 | 30                 |
|      | 2,3-丁二酮   | 0.03                       | 0.1                  | 0.3                 | 1                   | 3                  | 10                 |
| 茶香香韵 | 茶香螺烷      | 0.03                       | 0.1                  | 0.3                 | 1                   | 3                  | 10                 |
|      | 茶螺烷       | 0.03                       | 0.1                  | 0.3                 | 1                   | 3                  | 10                 |
|      | 茶香酮       | 0.03                       | 0.1                  | 0.3                 | 1                   | 3                  | 10                 |
|      | 茶香精       | 0.003% ( $\varphi$ )       | 0.01% ( $\varphi$ )  | 0.03% ( $\varphi$ ) | 0.1% ( $\varphi$ )  | 0.3% ( $\varphi$ ) | 1% ( $\varphi$ )   |
| 酒香香韵 | 庚酸乙酯      | 0.03                       | 0.1                  | 0.3                 | 1                   | 3                  | 10                 |
|      | 己酸乙酯      | 0.03                       | 0.1                  | 0.3                 | 1                   | 3                  | 10                 |
|      | 丙酸乙酯      | 0.03                       | 0.1                  | 0.3                 | 1                   | 3                  | 10                 |
|      | 癸酸乙酯      | 0.03                       | 0.1                  | 0.3                 | 1                   | 3                  | 10                 |
|      | 辛酸乙酯      | 0.03                       | 0.1                  | 0.3                 | 1                   | 3                  | 10                 |
|      | 乳酸乙酯      | 0.3                        | 1                    | 3                   | 10                  | 30                 | 100                |

|          |      |     |     |   |    |    |
|----------|------|-----|-----|---|----|----|
| 乙酸乙酯     | 0.1  | 0.3 | 1   | 3 | 10 | 30 |
| 丁酸乙酯     | 0.03 | 0.1 | 0.3 | 1 | 3  | 10 |
| 戊酸乙酯     | 0.03 | 0.1 | 0.3 | 1 | 3  | 10 |
| 2-甲基丙酸乙酯 | 0.03 | 0.1 | 0.3 | 1 | 3  | 10 |

### 1.3.2 受试者招募

招募 25 名年龄在 20~25 岁之间的健康受试者, 男女比例约为 1:1。所有受试者均无糖尿病、龋齿、味觉或嗅觉异常, 且自述对所测香韵物质无严重厌恶或过敏反应。实验前, 已向所有受试者详细说明实验目的, 并签署知情同意书。

### 1.3.3 消费者喜好测试

喜好测试采用 9 点中文喜好标度, 9 个喜好程度描述词分别为: 极其不喜欢、很不喜欢、不喜欢、较不喜欢、谈不上喜欢不喜欢、较喜欢、喜欢、很喜欢、极其喜欢, 依次对应 1 至 9 分<sup>[41]</sup>。测试环境条件符合 GB/T 41408-2022 中的要求。实验过程中, 受试者按照柑橘香、薄荷香、奶香、茶香、酒香的顺序依次评价样品。每次受试者测试前, 先用纯净水清洁口腔, 再进行样品品尝(口含 30 s, 然后吐出)。每两个样品之间, 需用纯净水清洁口腔并休息 5 min, 待口腔中无上一个样品的风味残留后, 再品评下一个样品。每类香韵组结束后, 休息 20 min。每位受试者对每个样品仅进行一次评价, 最终以 25 位受试者的评分均值作为该样品的喜好度得分。

### 1.3.4 唾液采集

基于消费者喜好结果, 选取每种香韵物质的最优浓度, 并收集受试者刺激前后的唾液样品<sup>[42]</sup>。测试当天, 受试者于早餐后 1 h 开始禁食, 禁食期间可允许饮用纯净水。样品采集前, 每位受试者使用纯净水进行口腔清洁, 每次含漱 10 s 后吐出, 共重复 3 次。采集非刺激性唾液时, 受试者通过一根洁净的塑料吸管将唾液导入洁净的、预先称重的灭菌一次性采集杯中, 收集持续 5 min。采集香韵物质刺激性唾液时, 受试者先口含第一种风味物质 30 s 后吐出, 随后采用同样方法将唾液导入采集杯中, 收集时间为 5 min。之后休息 15 min, 再进行第二种风味物质的刺激性唾液采集。所采集的唾液样品经低温离心(4 ℃, 500 ×g, 30 min)后取上清液, 需隔夜保存的样本置于 -80 ℃超低温冰箱中冷冻保存。

### 1.3.5 唾液理化指标测定

唾液流速为每分钟唾液分泌量( $\text{mL min}^{-1}$ )。采集时, 受试者通过洁净塑料吸管将唾液导入预先称重的灭菌一次性采集杯中, 持续收集 5 min。依据室温下的唾液密度, 由采集前后的质量差换算唾液体积, 进而计算得到唾液流速<sup>[42]</sup>。

唾液 pH 值采用便携式 pH 计进行测定。

唾液粘度采用奥氏粘度计进行测定<sup>[43]</sup>。将粘度计垂直固定, 置于 36 ℃水浴中。将唾液样品注入粘度计, 在水浴锅内恒温保持 5 min。随后用注射器将唾液吸至粘度计上端球泡的刻度线以上, 释放真空, 使唾液自由下落, 记录唾液从上标记线流至下球泡标记线所需的时间。根据测得的流动时间及唾液密度, 按照公式(1)计算。

$$\eta = \eta_0 \frac{\rho \times t}{\rho_0 \times t_0} \quad (1)$$

式中:

$\eta$ ——待测唾液粘度, cP;

$\eta_0$ ——标准液纯净水的粘度, cP;

$t$ ——待测唾液流经刻度线的时间, s;

$t_0$ ——标准液纯净水流经刻度线的时间, s;

$\rho$ ——唾液的密度, g/mL;

$\rho_0$ ——标准液纯净水的密度, g/mL。

参考试剂盒说明书, 使用淀粉酶检测试剂盒(碘-淀粉微板法)测定唾液  $\alpha$ -淀粉酶活性; 使用微量 BCA 蛋白定量试剂盒测定唾液总蛋白含量; 使用人碳酸酐酶 6 酶联免疫分析试剂盒测定碳酸酐酶 VI(Carbonic Anhydrase VI, CA VI)含量; 使用人半胱氨酸蛋白酶抑制剂 1 酶联免疫分析试剂盒测定半胱氨酸蛋白酶抑制剂 SN(Cystatin-SN)含量。

1.3.6 食欲分析

受试者于第一天清晨空腹到达感官评价实验室后,静坐 10 min,漱口后填写食欲 VAS 量表并记录牛奶摄入量,作为基础值(非刺激性)。随后,在每日清晨空腹状态下,受试者每次口含样品 30 s 后,再次填写食欲 VAS 量表并记录牛奶摄入量。食欲 VAS 量表参考团体标准“T/CNSS 019-2023 食物饱腹感测试规范”并进行轻微调整(表 2)。

表 2 食欲感 VAS 量表

| Table 2 VAS scale for appetite perception |                      |                          |
|-------------------------------------------|----------------------|--------------------------|
| 维度                                        | 条目                   | 评分范围(0~100 mm)           |
| 饥饿感                                       | 您当前的饥饿程度?            | 0=非常饿; 100=完全不饿          |
| 食欲强度                                      | 您当前想吃东西的欲望?          | 0=完全不想吃; 100=非常想吃        |
| 香韵影响                                      | 这种风味物质对您的食欲增强或者抑制增强? | 0=显著抑制; 50=无影响; 100=显著增强 |
| 预估摄入食物程度                                  | 现在您觉得能吃多少东西?         | 0=一点都吃不下; 100=可以吃很多      |

1.4 数据分析

使用 Excel 2021 等数据处理和作图软件进行数据处理和绘图。使用数据分析软件进行单因素方差分析和 Pearson 相关分析,并采用 Duncan's 法进行多重比较,以\* $P<0.05$  为显著性水平。

2 结果与讨论

2.1 喜好结果分析

采用 9 点中文喜好标度测定五类香韵物质不同浓度的喜好差异。如图 1 所示,五类香韵物质的整体喜好值分布范围为 1.24~7.88 分。喜好值 5 分对应谈不上喜欢不喜欢,高于 5 分表明对香韵物质趋向于喜欢,低于 5 分表明对香韵物质趋向于不喜欢<sup>[44]</sup>。在 29 种香韵物质中,除 D-柠檬烯和薄荷醇之外,其余物质在高浓度(H6)时的喜好值均低于 5 分,表明高浓度风味会引发负面的感官反应。在柑橘类香韵中,除芳樟醇和 D-香茅醛外,其余香韵物质在各自最优浓度下的喜好值均高于 6 分,其中 D-柠檬烯(H5 浓度: 6.96 分)和甜橙精油(H2 浓度: 6.72 分)表现尤为突出,表明其具有较高的感官接受度。在薄荷香韵中,薄荷醇、L-薄荷酮、薄荷精油的喜好值随浓度的升高呈先增加后下降的趋势,三者在最优浓度下的最高喜好值分别为 6.84 分(薄荷醇, H3 浓度)、6.64 分(L-薄荷酮, H2 浓度)和 6.76 分(薄荷精油, H2 浓度)。在奶香类香韵中,所有测试物质在所设浓度梯度内的喜好值均低于 6 分,提示该类香韵成分在当前浓度范围内未能有效激发正向感官响应。在茶香类香韵中,茶香螺烷与茶螺烷在全部测试浓度下的喜好值均低于 6 分,而茶香酮与茶香精则表现出更高的接受度(喜好值高于 6 分),尤其是茶香精,在 H3 与 H4 浓度下喜好值分别达到 7.88 分与 7.76 分,相比水(H0 浓度),差异显著( $P<0.05$ ),表明茶香精和茶香酮是更受受试者青睐的茶香香韵成分。在酒香类香韵中,仅庚酸乙酯、乳酸乙酯、乙酸乙酯、戊酸乙酯及 2-甲基丙酸乙酯五种酯类物质在各自最优浓度下喜好值高于 6 分;其余酒香相关成分在全部测试浓度下的喜好值均低于 6 分。基于上述喜好结果,各香韵物质的最优浓度选取情况如下: D-柠檬烯(H5 浓度, 3 mmol L<sup>-1</sup>)、柠檬醛(H2 浓度, 0.03 mmol L<sup>-1</sup>)、橙花醇(H1 浓度, 0.01 mmol L<sup>-1</sup>)、芳樟醇(H1 浓度, 0.01 mmol L<sup>-1</sup>)、香茅醇(H2 浓度, 0.03 mmol L<sup>-1</sup>)、D-香茅醛(H1 浓度, 0.01 mmol L<sup>-1</sup>)、香叶醇(H4 浓度, 0.3 mmol L<sup>-1</sup>)、甜橙精油(H2 浓度, 0.003% (φ))、薄荷醇(H3 浓度, 0.03 mmol L<sup>-1</sup>)、L-薄荷酮(H2 浓度, 0.03 mmol L<sup>-1</sup>)、薄荷精油(H2 浓度, 0.003% (φ))、香兰素(H3 浓度, 0.3 mmol L<sup>-1</sup>)、乙基香兰素(H4 浓度, 1 mmol L<sup>-1</sup>)、3-羟基-2-丁酮(H1 浓度, 0.1 mmol L<sup>-1</sup>)、2,3-丁二酮(H1 浓度, 0.03 mmol L<sup>-1</sup>)、茶香螺烷(H1 浓度, 0.03 mmol L<sup>-1</sup>)、茶螺烷(H1 浓度, 0.03 mmol L<sup>-1</sup>)、茶香酮(H3 浓度, 0.3 mmol L<sup>-1</sup>)、茶香精(H3 浓度, 0.03% (φ))、庚酸乙酯(H2 浓度, 0.1 mmol L<sup>-1</sup>)、己酸乙酯(H2 浓度, 0.1 mmol L<sup>-1</sup>)、丙酸乙酯(H2 浓度, 0.1 mmol L<sup>-1</sup>)、癸酸乙酯(H2 浓度, 0.1 mmol L<sup>-1</sup>)、辛酸乙酯(H2 浓度, 0.1 mmol L<sup>-1</sup>)、乳酸乙酯(H1 浓度, 0.3 mmol L<sup>-1</sup>)、乙酸乙酯(H2 浓度, 0.3 mmol L<sup>-1</sup>)、丁酸乙酯(H1 浓度, 0.03 mmol L<sup>-1</sup>)、戊酸乙酯(H2 浓度, 0.1 mmol L<sup>-1</sup>)、2-甲基丙酸乙酯(H2 浓度, 0.1 mmol L<sup>-1</sup>)。

在真实的食品基质中,香气物质之间普遍存在复杂的感知交互作用,包括掩蔽效应、协同效应和加成效应<sup>[45]</sup>。研究表明,具有相似香气或化学结构的混合物往往表现出协同作用,而香气或结构差异较大的混合物则易产生掩

蔽效应<sup>[46]</sup>。例如, 芳樟醇与 *trans*- $\beta$ -大马酮在混合时能协同增强花香和甜香香韵, 而茨烯与 *trans*- $\beta$ -大马酮的协同作用反而会降低青香和甜香的感知强度, 同一化合物在不同配伍体系中的作用方向可能存在显著差异<sup>[47]</sup>。值得注意的是, 即使某香气化合物的浓度低于其感知阈值, 当其与阈值以上化合物共存时, 仍可能通过化合物间的竞争性结合或协作性激活影响整体香气特征<sup>[48]</sup>。这意味着, 一个在单独品评时评分很低的单体香气成分, 在与其他成分协同存在时可能产生完全不同的感官表现; 反之, 一个在单独品评时评分较高的成分, 在复杂体系中也未必能保持同样的接受度。因此, 在本研究中一些香韵物质的“全部测试浓度下喜好值均低于 6 分”反映的是这些单体成分在孤立状态下的感官表现, 并不能完全直接外推为其在复杂食品基质中的实际贡献。

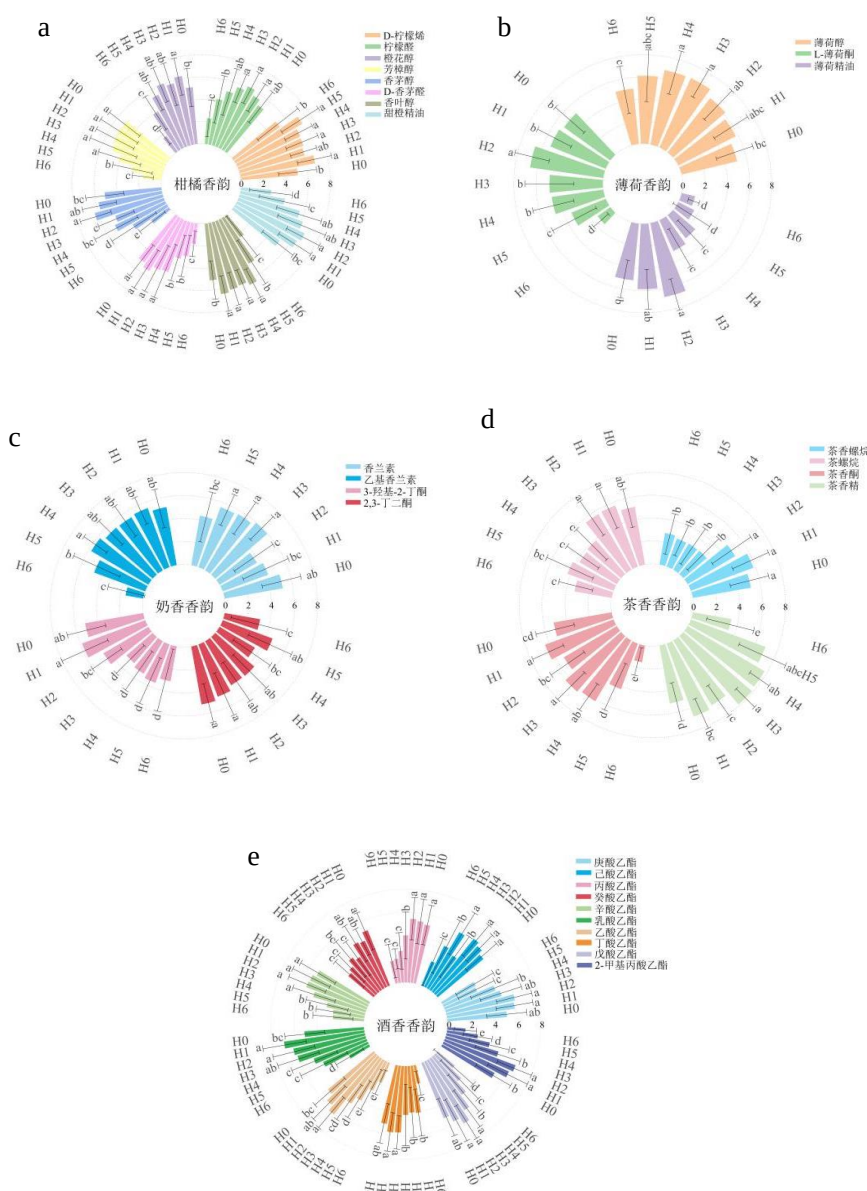


图 1 不同浓度香韵物质的喜好测试

Fig.1 Preference test for different concentrations of aroma substances

注: (a) 不同浓度柑橘香韵的喜好测试; (b) 不同浓度薄荷香韵的喜好测试; (c) 不同浓度奶香香韵的喜好测试; (d) 不同浓度茶香香韵的喜好测试; (e) 不同浓度酒香香韵的喜好测试。不同小写字母表示同一物质不同浓度之间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

## 2.2 唾液理化指标分析

唾液在风味感知过程中扮演着不可或缺的介质角色。作为一种复杂的生物胶体, 唾液主要由水、蛋白质、酶等构成, 在食品的口腔加工过程中发挥着多重作用。研究表明, 唾液流率、pH 值等参数直接影响受试者对刺激性



风味物质的感知强度,而唾液蛋白则在维持唾液胶体性质、润滑特性中发挥关键作用<sup>[49,50]</sup>。为探究风味与唾液之间的潜在关联,基于上述喜好结果分析,选取每种香韵物质的最优浓度,收集其刺激前后的唾液样品进行理化指标分析,包括唾液流速、pH 值、粘度、 $\alpha$ -淀粉酶活性、总蛋白含量、Cystatin-SN 与 CAVI 含量。

### 2.2.1 唾液流速

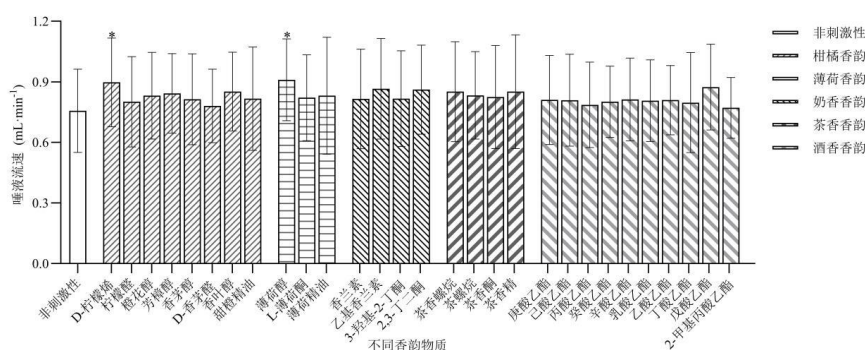


图 2 不同香韵物质刺激对唾液流速的影响

Fig.2 Effect of different aroma compound stimulations on salivary flow rate

注: \*表示与非刺激性唾液的指标相比,差异显著 ( $P < 0.05$ )。下同。

在非刺激状态下,唾液主要由腮腺、舌下腺和下颌下腺的腺泡细胞和导管细胞以昼夜节律的方式少量分泌。同时,小唾液腺也对最终的口腔唾液成分有所贡献<sup>[51]</sup>。当机体受到气味、滋味或咀嚼动作等刺激时,唾液分泌量会增加<sup>[7]</sup>,这是一种受神经调节的反射。当自主神经供应,特别是副交感神经受到干扰时,大多数腺体的分泌几乎停止。虽然一些唾液腺可能在缺乏神经介导刺激的情况下保持某种程度的“自发”分泌,但是要达到正常的分泌速率,仍然需要完整的自主神经供应<sup>[52]</sup>。如图 2 所示,与非刺激性唾液的流速 ( $0.76 \text{ mL min}^{-1}$ ) 相比,本研究中所有香韵物质刺激后的唾液流速均有所提升,表明香韵物质刺激能够促进唾液分泌。其中 D-柠檬烯和薄荷醇刺激后唾液流速显著增加 ( $P < 0.05$ ),分别达到  $0.90 \text{ mL min}^{-1}$  和  $0.91 \text{ mL min}^{-1}$ 。Houghton 等<sup>[14]</sup>指出使用薄荷醇进行漱口可显著增加唾液流速及总蛋白含量。Potocka 等<sup>[53]</sup>发现一些具有乙酰胆碱酯酶抑制活性的萜类化合物可以用于口干症的治疗。副交感神经通过乙酰胆碱与腺泡细胞上的毒蕈碱型胆碱受体结合,能够引起大量电解质、水分和少量唾液蛋白的分泌。这些萜类物质能够抑制乙酰胆碱酯分解,导致副交感信号增强,促进唾液分泌。

### 2.2.2 唾液 pH 值

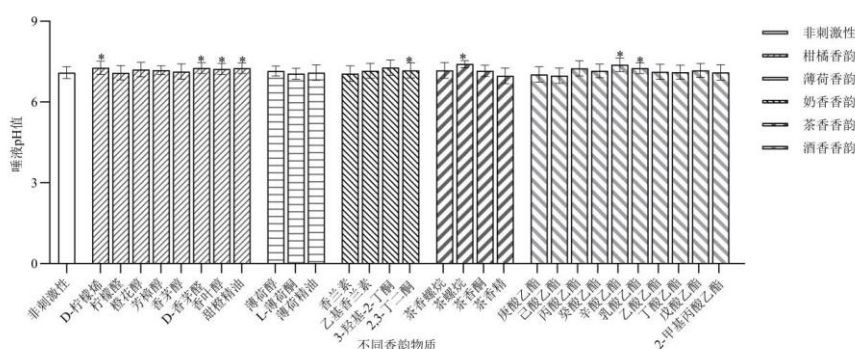


图 3 不同香韵物质刺激对唾液 pH 值的影响

Fig.3 Effect of different aroma compound stimulations on salivary pH

唾液 pH 值一般在 6.2~7.4 之间,呈弱酸性或弱碱性,是一种高度粘弹性的液体,具有独特的性质,有助于咀嚼、消化、维持体内平衡和味觉感知等众多功能<sup>[54]</sup>。不同香韵物质对唾液 pH 值的影响如图 3 所示,所有物质刺激后唾液 pH 值均在 6.9~7.4 之间,其中 D-柠檬烯、D-香茅醛、香叶醇、甜橙精油、2,3-丁二酮、茶螺烷、辛酸乙酯、乳酸乙酯刺激后,唾液 pH 值显著高于非刺激性唾液 pH 值 ( $P < 0.05$ )。已有研究指出,唾液 pH 值与流速密切相关。Kreusser 等<sup>[55]</sup>在对正常人腮腺唾液的研究中发现毛果芸香碱刺激后,唾液流速增加, pH 值、碳酸氢盐浓

度及多种电解质含量上升。刺激后唾液流速增加,富含碳酸氢盐的液体大量涌入,碳酸氢盐系统在中性 pH 值附近缓冲能力最强。即使刺激物本身偏酸性,强劲的唾液流也会迅速冲抵并中和酸,使整体 pH 值更接近并维持在碱性的生理水平<sup>[56]</sup>。

### 2.2.3 唾液粘度

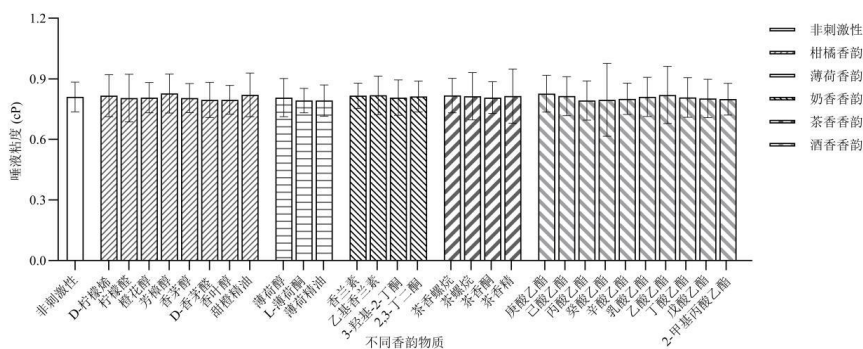


图4 不同香韵物质刺激对唾液粘度的影响

Fig.4 Effect of different aroma compound stimulations on salivary viscosity

不同香韵物质对唾液粘度的影响如图4所示。从整体上看,不同香韵物质刺激前后,唾液粘度无明显影响( $P>0.05$ )。一般来说,香韵物质刺激后,能够促进唾液分泌,新分泌的、富含水分的唾液会稀释原有的唾液,降低粘度<sup>[57]</sup>。同时,刺激也会影响唾液中的蛋白质含量,从而改变其粘度<sup>[21]</sup>。然而,唾液流速、蛋白组成等指标会存在明显的个体间差异。这些固有的生理差异可能导致本研究中香韵物质刺激前后粘度的变化被个体变异所掩盖,进而无法观测到明显的改变。

### 2.2.4 唾液 $\alpha$ -淀粉酶活性

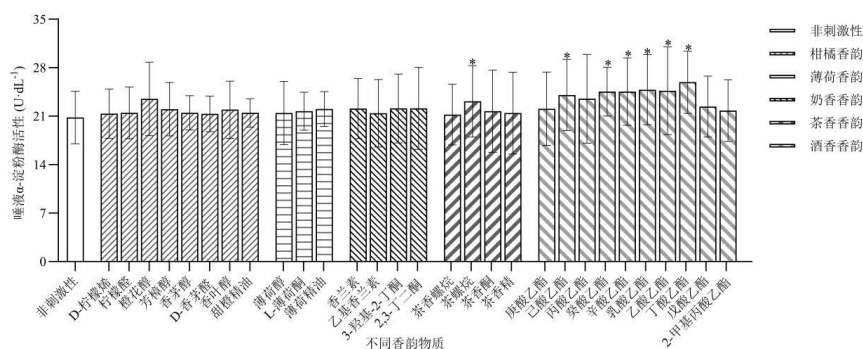


图5 不同香韵物质刺激对唾液  $\alpha$ -淀粉酶活性的影响

Fig.5 Effect of different aroma compound stimulations on salivary  $\alpha$ -amylase activity

唾液主要由腮腺、颌下腺和舌下腺3个唾液腺分泌,但是这3个腺体对唾液成分和唾液量的贡献存在明显差异。当人处于静息状态时,唾液的产生主要由下颌下腺负责,而腮腺和舌下腺分别仅产生20%和8%的唾液。相反,当通过刺激来刺激唾液分泌时,产生的唾液主要来自腮腺<sup>[58]</sup>。其中腮腺分泌80%的唾液淀粉酶,因此,在各种外界刺激的情况下,机体唾液淀粉酶会随腮腺分泌增强而增加<sup>[59]</sup>。如图5所示,与非刺激性唾液的 $\alpha$ -淀粉酶活性( $20.80 \text{ U} \cdot \text{dL}^{-1}$ )相比,本研究中所有风味物质刺激后的唾液 $\alpha$ -淀粉酶活性均有所提升,表明香韵物质刺激能够提高唾液 $\alpha$ -淀粉酶活性。其中茶螺烷以及己酸乙酯、癸酸乙酯、辛酸乙酯、乳酸乙酯、乙酸乙酯、丁酸乙酯等酒香香韵刺激后,唾液 $\alpha$ -淀粉酶活性显著提高( $P<0.05$ )。酯类香气化合物可被口腔中的酯酶水解,尤其是对长链酯(如辛酸乙酯、癸酸乙酯)的降解作用最为明显,释放出游离脂肪酸,这些脂肪酸是香气感知的重要贡献者<sup>[60]</sup>。此外, $\alpha$ -淀粉酶、黏蛋白等唾液蛋白能够通过疏水结合、非共价作用,选择性抑制或释放酮类、酯类、酚类等香气化合物<sup>[18,19]</sup>。

### 2.2.5 唾液总蛋白含量



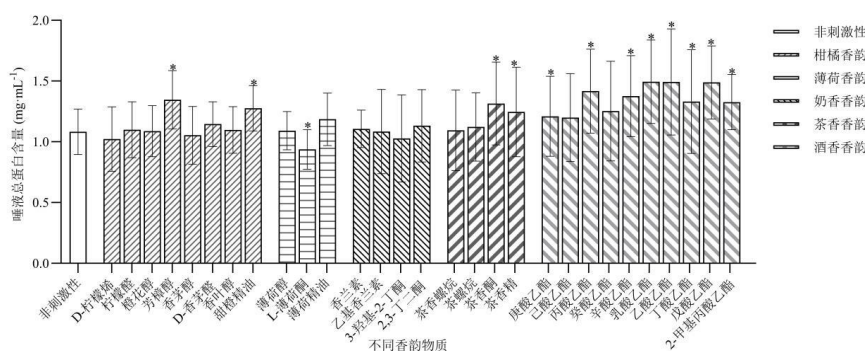


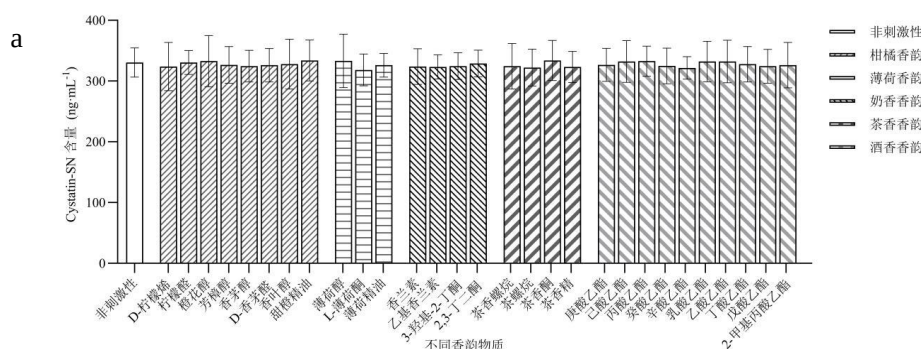
图6 不同香韵物质刺激对唾液总蛋白含量的影响

**Fig.6 Effect of different aroma compound stimulations on salivary total protein content**

唾液的分泌主要受包括交感神经和副交感神经的自主神经调控,其中副交感神经通过乙酰胆碱与腺泡细胞上的毒蕈碱型胆碱受体结合调控唾液流率,而交感神经通过去甲肾上腺素与腺泡细胞膜上的 $\alpha$ 和 $\beta$ 受体结合,适量增加唾液中液体分泌,并促进大量唾液蛋白的分泌<sup>[58]</sup>。如图6所示,奶香、茶香和酒香香韵物质刺激后,唾液总蛋白含量增加,尤其是茶香和酒香香韵。与非刺激性唾液的总蛋白含量相比,经茶香酮、茶香精、庚酸乙酯、丙酸乙酯、辛酸乙酯、乳酸乙酯、乙酸乙酯、丁酸乙酯、戊酸乙酯、2-甲基丙酸乙酯刺激后,唾液总蛋白含量显著上升( $P<0.05$ )。对于柑橘香韵来说,除芳樟醇和甜橙精油外,其余香韵物质刺激后唾液总蛋白含量变化不明显。值得注意的是,L-薄荷酮刺激后,唾液总蛋白含量显著下降( $P<0.05$ )。薄荷酮是薄荷油的活性成分之一,与薄荷醇同属清凉感香气物质。作为TRPM8冷觉受体的经典激动剂,当薄荷醇激活TRPM8时,会产生清凉感,并通过神经反射刺激唾液腺分泌,增加唾液流速及总蛋白含量。L-薄荷酮与薄荷醇的化学结构虽相似但存在差异,其与苦味受体和清凉受体的结合模式可能有所不同,进而导致不同的唾液蛋白响应模式<sup>[14]</sup>。此外,Carreira等<sup>[21]</sup>也指出,蒙眼闻面包时,唾液流速增加,总蛋白含量下降,并认为这种总蛋白含量的下降可能是由于唾液分泌量增加导致的稀释效应。而在咀嚼面包时,唾液流速和总蛋白含量均增加,认为咀嚼带来的机械刺激与味觉刺激共同作用,会促使蛋白质含量增加。

### 2.2.6 唾液 Cystatin-SN 和 CA VI 含量

唾液中的 Cystatin（尤其是 Cystatin-SN 亚型）和 CA VI 在味觉感知过程中发挥关键的调控作用。多项研究表明，味觉障碍患者的唾液 Cystatin-SN 与 CA VI 含量显著低于健康对照组<sup>[61,62]</sup>；苦味高敏感个体的唾液 Cystatin-SN 表达水平更高<sup>[63]</sup>；咸味感知不敏感者的唾液 Cystatin-SN 含量较高<sup>[64]</sup>。鉴于本研究采用口含刺激模式，可能会对上述两种蛋白产生影响，因此进一步探究了不同香韵物质对唾液中 Cystatin-SN 和 CA VI 含量的影响。结果如图 7 所示，经不同香韵物质刺激后，唾液中 Cystatin-SN 与 CA VI 含量无显著变化。这可能与刺激形式、刺激物种类、或受试者个体差异等因素相关。Carreira 等<sup>[21]</sup>发现，受试者咀嚼或吞咽面包可诱导唾液 Cystatin 蛋白含量增加，但单纯嗅闻面包气味并不会引发该变化，表明嗅觉与咀嚼/吞咽所产生的效应不同。此外，也有研究发现唾液 Cystatins 含量仅在酸奶摄入后增加，面包、苹果、核桃摄入后均无显著变化，表明 Cystatins 含量受刺激物种类的影响<sup>[65]</sup>。



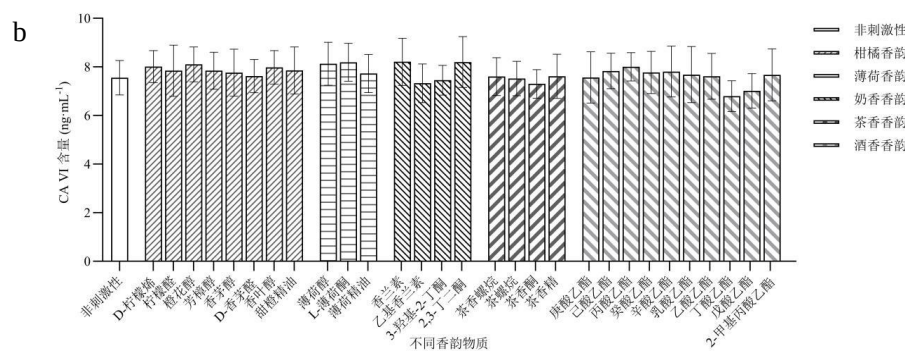


图 7 不同香韵物质刺激对 Cystatin-SN 含量和 CA VI 含量的影响

Fig.7 Effect of different aroma compound stimulations on the content of Cystatin-SN and CA VI

注：（a）不同香韵物质刺激对 Cystatin-SN 含量的影响；（b）不同香韵物质刺激对 CA VI 含量的影响。

2.3 食欲结果分析

研究表明，食物气味的暴露会引发唾液分泌增加，提示气味对摄食行为有影响。喜欢的味道或者风味可能会促进食欲并增加食物摄入量<sup>[9]</sup>。此外，食物气味还能影响胃肠道的活动，如胃酸分泌和胃排空速度。这些反应有助于提高食物的消化效率，从而影响食物的摄入量和偏好<sup>[66]</sup>。如表 3 和图 8 所示，不同香韵物质对食欲的调节作用存在差异。柑橘香韵物质（D-柠檬烯、柠檬醛、香茅醇、香叶醇、甜橙精油）及薄荷香韵物质刺激后，饥饿感增强（饥饿感得分越低，饥饿感越强），食欲强度和预估摄入食物程度等主观食欲评分增加，牛奶摄入量增加。已有研究证实，柑橘类香气能对人体产生积极的生理和心理效应，增加身体活动水平、缩短反应时间、降低负面情绪并影响食物选择<sup>[11]</sup>。在奶香、茶香和酒香香韵物质中，仅茶香精与乳酸乙酯增强饥饿感，提升食欲强度、预估摄入食物程度，并增加牛奶摄入量；其余物质刺激后牛奶摄入量无明显变化。值得注意的是，本研究所测试的所有奶香香韵物质刺激后，主观食欲评分（如食欲强度、预估摄入食物程度）均呈下降趋势，且牛奶摄入量减少。反复暴露于某种食物的香气后，大脑会逐渐降低对该食物的愉悦感和进食动机，且这种效应在香气与食物本身高度一致时尤为明显。因此，奶香香韵刺激后牛奶摄入量的下降可能源于特异性饱腹感的提前触发，即嗅觉系统对奶香信号产生快速适应与脱敏，从而抑制了后续的牛奶进食行为<sup>[15,16]</sup>。

表 3 食欲 VAS 量表结果

Table 3 Appetite VAS scale results

| 组别    | 饥饿感         | 食欲强度         | 香韵影响         | 预估摄入食物程      |             |
|-------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| 非刺激性  | 44.00±21.43 | 59.65±22.47  | -            | 60.78±20.1   |             |
| 柑橘香韵  | D-柠檬烯       | 41.59±20.55  | 66.20±15.88* | 60.80±11.71  | 63.36±16.03 |
|       | 柠檬醛         | 43.55±17.81* | 60.39±18.39  | 64.44±12.29  | 63.28±17.68 |
|       | 橙花醇         | 45.91±15.61  | 55.00±19.16  | 59.57±8.30   | 58.96±20.14 |
|       | 芳樟醇         | 45.60±19.8   | 54.12±16.91  | 51.00±13.75  | 59.12±12.3  |
|       | 香茅醇         | 42.62±20.42  | 63.56±19.26  | 56.52±14.5   | 61.24±17.75 |
|       | D-香茅醛       | 46.84±20.08  | 53.84±18.01  | 52.32±17.26  | 55.36±17.22 |
|       | 香叶醇         | 41.39±21.21  | 61.54±15.38  | 50.44±17.09  | 62.12±18.28 |
|       | 甜橙精油        | 42.45±17.26* | 60.68±17.59  | 61.83±13.16  | 65.40±15.41 |
|       | 薄荷香韵        | 薄荷醇          | 36.67±25.83  | 67.62±19.22* | 60.53±13.45 |
| L-薄荷酮 |             | 42.57±18.35  | 61.68±17.64  | 65.95±11.22  | 66.16±15.78 |
| 薄荷精油  |             | 42.8±16.36   | 60.83±16.57  | 61.27±18.79  | 61.68±18.69 |
| 奶香香韵  | 香兰素         | 48.00±22.33  | 56.89±22.30  | 51.84±20.66  | 58.00±20.16 |
|       | 乙基香兰素       | 45.64±20.93  | 51.41±21.24  | 52.95±18.73  | 48.91±19.22 |
|       | 3-羟基-2-丁酮   | 46.09±19.12  | 52.14±20.84  | 48.23±15.16  | 48.91±17.39 |
|       | 2,3-丁二酮     | 44.47±16.71  | 53.64±20.38  | 45.77±20.81  | 50.14±18.07 |
| 茶香香韵  | 茶香螺烷        | 45.95±18.54  | 53.78±20.16  | 48.17±16.95  | 52.61±20.03 |

|      |          |              |              |             |              |
|------|----------|--------------|--------------|-------------|--------------|
| 酒香香韵 | 茶螺烷      | 46.32±17.04  | 56.32±24.31  | 49.55±17.72 | 48.91±20.62  |
|      | 茶香酮      | 48.46±17.98  | 57.75±18.60  | 54.33±17.65 | 57.83±17.63  |
|      | 茶香精      | 41.74±15.26  | 61.14±17.71  | 63.40±12.75 | 61.18±19.94  |
|      | 庚酸乙酯     | 46.87±19.13  | 53.13±23.29  | 41.83±16.85 | 52.52±23.82  |
|      | 己酸乙酯     | 44.55±19.25  | 48.76±21.35  | 47.85±14.53 | 51.33±21.63  |
|      | 丙酸乙酯     | 44.94±19.85  | 52.17±17.64  | 48.00±17.64 | 52.61±16.07  |
|      | 癸酸乙酯     | 45.36±19.98  | 55.59±23.25  | 46.36±16.86 | 55.41±21.0   |
|      | 辛酸乙酯     | 48.54±20.57  | 52.38±21.50  | 45.46±14.39 | 49.75±19.31  |
|      | 乳酸乙酯     | 40.22±21.61  | 60.79±16.35  | 60.67±13.02 | 61.38±21.47  |
|      | 乙酸乙酯     | 46.74±15.61  | 57.35±18.45  | 51.61±10.45 | 57.57±19.23  |
|      | 丁酸乙酯     | 56.52±13.50* | 44.09±16.31* | 38.39±7.58  | 40.48±11.93* |
|      | 戊酸乙酯     | 45.35±18.98  | 53.06±22.38  | 46.59±17.77 | 53.59±21.57  |
|      | 2-甲基丙酸乙酯 | 45.75±20.26  | 57.56±16.79  | 50.05±16.26 | 59.25±19.25  |

注: \*表示与非刺激性相比, 差异显著 (P<0.05)。

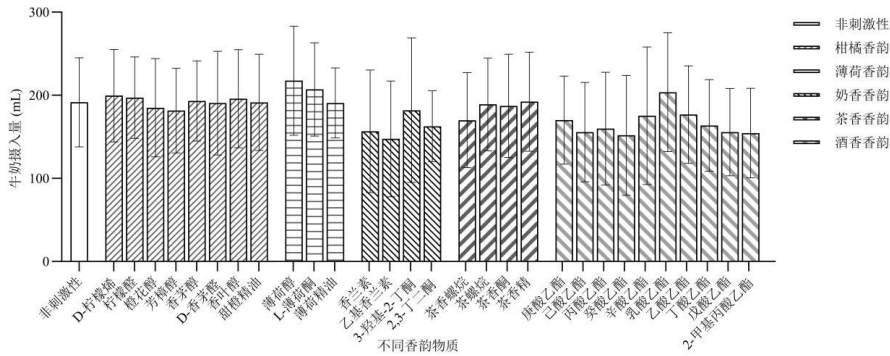


图 8 不同香韵物质刺激对牛奶摄入量的影响

Fig.8 Effect of different aroma compound stimulations on milk intake

2.4 相关性分析

为了进一步理解喜好、唾液以及食欲之间的关系, 采用 Pearson 相关分析法, 对喜好值、唾液理化指标、食欲指标 (即牛奶摄入量) 进行关联分析。结果如图 9 所示, 总体上, 喜好值与唾液流速及牛奶摄入量呈弱的正相关; 除奶香香韵外, 其余四种香韵物质也表现出类似模式。在奶香香韵中, 喜好值与唾液流速呈弱的正相关, 与牛奶摄入量呈弱的负相关。

多数研究表明, 接触食物气味后, 感官特异性食欲和渴望通常有所增加, 但对食物选择、偏好和摄入量的影响则不一致, 可能取决于个体特征 (如性别、体重指数、冲动性等) 和气味暴露方式 (暴露时长、气味类型、呈现方法等) 等因素<sup>[20]</sup>。Proserpio 等<sup>[9]</sup>指出接触食物气味可能导致对气味一致的食物摄入量增加, 而 Harthoorn 等<sup>[15]</sup>则报道反复接触食物气味可能导致对气味一致的食物摄入量减少。Biswas 等<sup>[67]</sup>发现, 短暂暴露于享乐性气味 (<30 s) 会促进不健康食品的购买, 而暴露超过 2 min 则会降低这种倾向。生物活性风味分子可能通过肠-脑轴调节食欲和能量代谢: 促进有益菌群生长并增加短链脂肪酸生成, 调节饱腹感激素分泌; 靶向嗅觉和化学感受器以调节饱腹信号; 以及调节神经递质 (γ-氨基丁酸、5-羟色胺、多巴胺等), 从而整合愉悦感与稳态调控<sup>[68]</sup>。

唾液特征在食物接受度中具有重要作用。风味感知会影响食物偏好和饮食习惯, 唾液分泌量及其成分会影响口腔内对风味的感知。Mêan 等<sup>[69]</sup>采用线性回归分析发现, 唾液流速与脂肪喜好呈正相关, α-淀粉酶活性与甜味喜好呈负相关, CA VI 含量与咸味喜好呈负相关。Proserpio 等<sup>[9]</sup>也证实, 环境气味暴露能显著影响唾液分泌及食物摄入量, 如巧克力和牛肉气味可增加食物摄入量和唾液分泌。尽管视觉、嗅觉、味觉通常被认为会刺激唾液分泌, 但部分研究可能由于样本量小或测量唾液腺不恰当而未观察到该效应<sup>[70,71]</sup>。



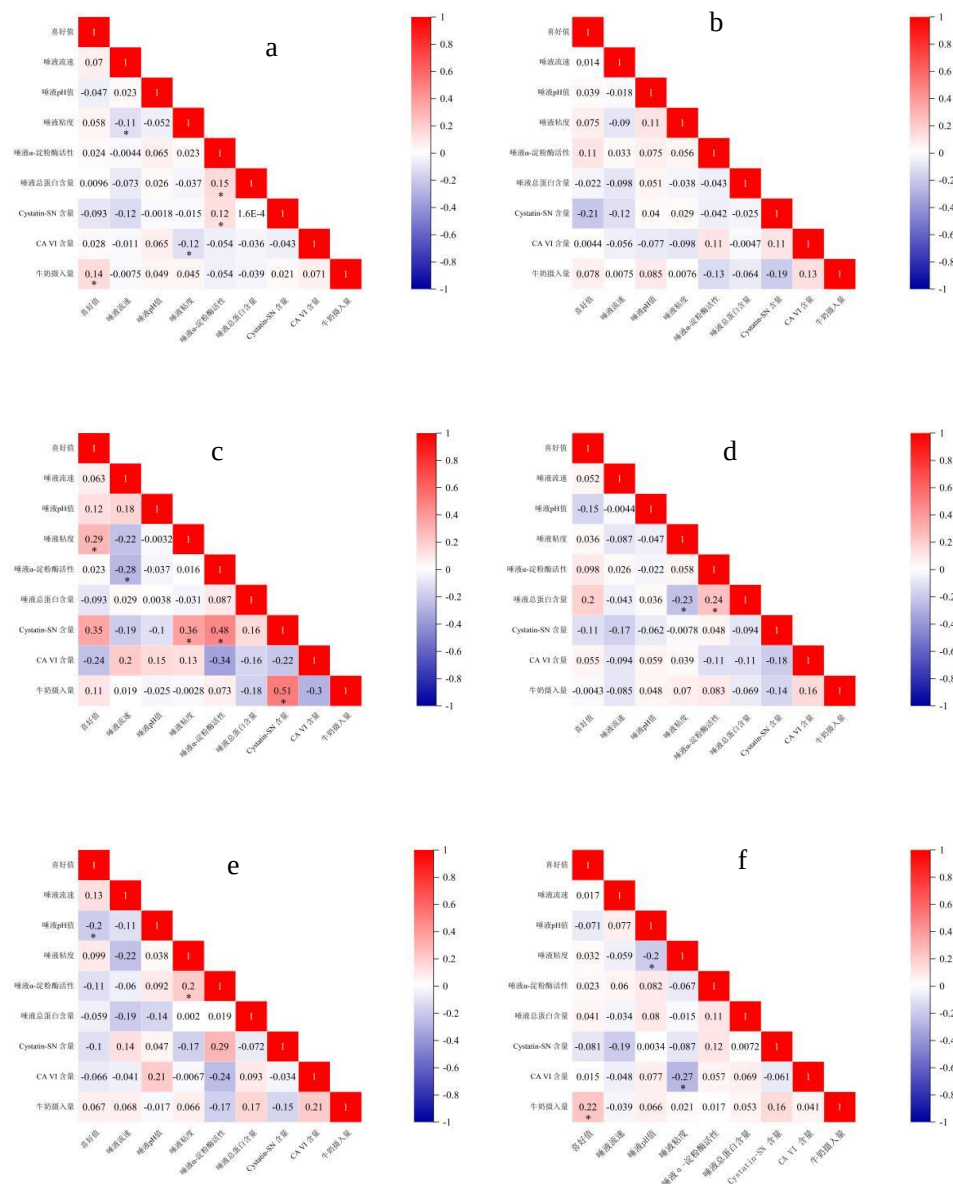


图9 相关性分析

Fig.9 Correlation analysis

注：(a) 总体相关性分析；(b) 柑橘香韵相关性分析；(c) 薄荷香韵相关性分析；(d) 奶香香韵相关性分析；(e) 茶香香韵相关性分析；(f) 酒香香韵相关性分析。

3 结论

本研究旨在探讨不同香韵物质的喜好度与唾液以及食欲之间的关系。结果表明，香韵物质的喜好具有明显的浓度依赖性，高浓度普遍引发负面感官反应。香韵物质刺激能够促进唾液分泌，改变唾液理化成分，提高牛奶摄入量。然而，在本研究中所涉及的奶香香韵物质未能有效激发正向感官喜好响应，其刺激后牛奶摄入量减少。这一结果可能与香韵物质浓度、个体特征以及食欲表征指标等因素有关。相关性分析结果显示，喜好值与唾液流速及牛奶摄入量呈弱正相关，但奶香香韵中喜好值与牛奶摄入量呈弱负相关。未来将开展更大样本量的人群实验，并结合脑电实验及动物实验，进一步阐明风味物质喜好、唾液与食欲之间的内在联系及调控通路。本研究为食品风味设计提供数据与理论依据。

参考文献

- [1] WU T, NI H J, TAN Y M, et al. Decoding the oral-flavor axis: from fundamental mechanisms to precision modulation for enhancing flavor perception [J]. *Journal of Future Foods*, 2026, 6(5): 715-729.
- [2] 王嘉乐,马闻曜,施隽明,等.唾液在食品口腔加工中的功能: 从理化特性到感官知觉[J/OL].*食品工业科技*,1-13[2026-07-29].
- [3] 王嘉乐,崔亮,施隽明,等.模拟唾液对香气物质释放的影响: 体外研究与机制解析[J].*粮油食品科技*,2026,34(2):142-151.
- [4] 胡小雪.辣椒素介导的唾液特性变化对食品风味和油腻感官的影响机制研究[D].杭州:浙江工商大学,2025.
- [5] VAN RUTH S M, GROSSMANN I, GEARY M, et al. Interactions between artificial saliva and 20 aroma compounds in water and oil model systems [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2001, 49(5): 2409-2413.
- [6] MANOEL D, ABOU MOUSSA E, AL-NAAMA A, et al. The nose knows: olfaction as a metabolic gatekeeper in health and disease [J]. *Physiology*, 2025, 40(6): 509-517.
- [7] MORQUECHO-CAMPOS P, BIKKER F J, NAZMI K, et al. Impact of food odors signaling specific taste qualities and macronutrient content on saliva secretion and composition [J]. *Appetite*, 2019, 143: 104399.
- [8] LIU Y, LIU H L, WONG H X K, et al. Prolonged exposure to food odors suppresses feeding via an olfactory bulb-to-hypothalamus circuit [J]. *Nature Communications*, 2025, 16(1): 7892.
- [9] PROSERPIO C, GRAAF D C, LAUREATI M, et al. Impact of ambient odors on food intake, saliva production and appetite ratings [J]. *Physiology & Behavior*, 2017, 174: 35-41.
- [10] MARTIN L E, GUTIERREZ V A, TORREGROSSA A M. The role of saliva in taste and food intake [J]. *Physiology & Behavior*, 2023, 262: 114109.
- [11] DE WIJK R A, ZIJLSTRA S M. Differential effects of exposure to ambient vanilla and citrus aromas on mood, arousal and food choice [J]. *Flavour*, 2012, 1(1): 24.
- [12] MATSUMOTO T, ASAKURA H, HAYASHI T. Effects of olfactory stimulation from the fragrance of the Japanese citrus fruit yuzu (*Citrus junos* Sieb. ex Tanaka) on mood states and salivary chromogranin A as an endocrinologic stress marker [J]. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine: Paradigm, Practice, and Policy Advancing Integrative Health*, 2014, 20(6): 500-506.
- [13] YEOMANS M R. Olfactory influences on appetite and satiety in humans [J]. *Physiology & Behavior*, 2006, 87(4): 800-804.
- [14] HOUGHTON J W, CARPENTER G, HANS J, et al. Agonists of orally expressed TRP channels stimulate salivary secretion and modify the salivary proteome [J]. *Molecular & Cellular Proteomics*, 2020, 19(10): 1664-1676.
- [15] HARTHOORN L F, RUIJSCHOP R M A J, WEINBRECK F, et al. Effects of aroma-texture congruency within dairy custard on satiation and food intake [J]. *Food Quality and Preference*, 2008, 19(7): 644-650.
- [16] STAFFORD L D. Olfactory specific satiety depends on degree of association between odour and food [J]. *Appetite*, 2016, 98: 63-66.
- [17] 乔如颖,郑新强,李清声,等.茶叶挥发性香气化合物研究进展[J].*茶叶*,2016,42(3):135-142.
- [18] ZHAO K, XU Z K, LI Y Y, et al. Recent advances in understanding the modulatory mechanisms of saliva in flavor perception [J]. *Food Chemistry*, 2026, 512: 148971.
- [19] SANTOS M J, CORREIA E, VILELA A. Exploring the impact of  $\alpha$ -amylase enzyme activity and pH on flavor perception of alcoholic drinks [J]. *Foods*, 2023, 12(5): 1018.
- [20] LI J C, YANG X M, DE WIJK R, et al. Effects of food-related odors on eating behavior: a systematic review [J]. *Appetite*, 2026, 224: 108570.
- [21] CARREIRA L, MIDORI CASTELO P M, SIMÕES C, et al. Changes in salivary proteome in response to bread odour [J]. *Nutrients*, 2020, 12(4): 1002.
- [22] POLAT Y, CIMEN B, CELIK F, et al. Comparative analysis of fruit quality parameters and volatile compounds in commercially grown citrus cultivars [J]. *Open Chemistry*, 2025, 23(1): 20240107.
- [23] YIN J J, HU X D, HOU Y L, et al. Comparative analysis of chemical compositions and antioxidant activities of different pomelo varieties from China [J]. *Food Chemistry Advances*, 2023, 2: 100180.
- [24] JIA X, REN J N, FAN G, et al. Citrus juice off-flavor during different processing and storage: review of odorants, formation pathways, and analytical techniques [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2024, 64(10): 3018-3043.
- [25] MAHENDRAN G, RAHMAN L U. Ethnomedicinal, phytochemical and pharmacological updates on peppermint (*Mentha  $\times$  piperita* L.): a review [J]. *Phytotherapy Research*, 2020, 34(9): 2088-2139.



- [26] 李国明,李守岭,白燕冰,等.GC-MS 法分析瑞丽椒样薄荷精油化学成分[J].热带农业科学,2017, 37(10):84-88.
- [27] 范武,何峰,姬凌波,等.卷烟主流烟气辛香特征成分组群的分布特征及感官贡献[J].烟草科技,2021,54(2):36-43.
- [28] 郭松斌,杨韧强,吴添文,等.奶香型卷烟纸特征成分的释放迁移行为[J].中国造纸,2022,41(3):72-77.
- [29] 陈萧萧.奶香基料的制备及其包埋技术研究[D].广州:仲恺农业工程学院,2018.
- [30] API A M, BELMONTE F, BELSITO D, et al. RIFM fragrance ingredient safety assessment, theaspirane, CAS registry number 36431-72-8 [J]. Food and Chemical Toxicology, 2019, 134: 1-8.
- [31] YONG G R, GEBRU Y A, KIM D W, et al. Chemical composition and antioxidant activity of steam-distilled essential oil and glycosidically bound volatiles from *Maclura Tricuspidata* fruit [J]. Foods, 2019, 8(12): 659.
- [32] WANG L Q, TANG P, ZHANG P J, et al. Unraveling the aroma profiling of baijiu: sensory characteristics of aroma compounds, analytical approaches, key odor-active compounds in different baijiu, and their synthesis mechanisms [J]. Trends in Food Science & Technology, 2024, 146: 104376.
- [33] XU Y Q, ZHAO J R, LIU X, et al. Flavor mystery of Chinese traditional fermented baijiu: the great contribution of ester compounds [J]. Food Chemistry, 2022, 369: 130920.
- [34] ZHANG J G, LI M, ZHANG H F, et al. Comparative investigation on aroma profiles of five different mint (*Mentha*) species using a combined sensory, spectroscopic and chemometric study [J]. Food Chemistry, 2021, 371: 131104.
- [35] MUÑOZ-GONZÁLEZ C, BRULE M, MARTIN C, et al. Molecular mechanisms of aroma persistence: From noncovalent interactions between aroma compounds and the oral mucosa to metabolization of aroma compounds by saliva and oral cells [J]. Food Chemistry, 2022, 373: 131467.
- [36] ZHANG S J, WANG H, MENG Y L, et al. Ethyl butyrate inhibits caudal fin regeneration in adult zebrafish by disrupting extracellular matrix remodeling [J]. Aquatic Toxicology, 2024, 276: 107111.
- [37] 范文来,徐岩.白酒 79 个风味化合物嗅觉阈值测定[J].酿酒,2011,38(4):80-84.
- [38] 单冰淇.基于风味感官组学解析鲜食葡萄后鼻嗅玫瑰香味[D].北京:北京林业大学,2022.
- [39] 高夏洁,高海燕,赵镭,等.SPME-GC-MS 结合 OAV 分析不同产区花椒炸花椒油的关键香气物质[J].食品科学,2022,43(4):208-214.
- [40] MATTES R D, DIMEGLIO D. Ethanol perception and ingestion [J]. Physiology & Behavior, 2001, 72(1-2): 217-229.
- [41] 钟葵,温经,安志丛,等.商业化纯牛奶的消费喜好与情绪响应的关联分析[J].食品安全质量检测学报,2026,17(5):178-186.
- [42] 覃兰茜.唾液分泌与饮食喜好相关性研究[D].杭州:浙江工商大学,2019.
- [43] PEREIRA I F, BRASILEIRO C B, KLEPERON N P, et al. Comparative study of oral and salivary parameters in patients with and without loss of bone mass [J]. Brazilian Oral Research, 2018, 32: e54.
- [44] 苏玉芳,汪厚银,黄文强,等.UHT 纯牛奶消费喜好和关键感官特性的关联分析[J].现代食品科技,2022,38(8):273-279.
- [45] 田数,赵怡凡,董露,等.基于 S 曲线和分子对接对木香、奶香原料与烘烤香相互作用研究[J].中国食品添加剂,2025,36(7):67-80.
- [46] ZHENG X X, XIE H, FU W J, et al. Perceptual interactions of key aroma compounds in Fu brick tea: odor threshold, sensory, and E-nose analysis [J]. Current Research in Food Science, 2025, 10: 101004.
- [47] NI H, JIANG Q X, ZHANG T, et al. Characterization of the aroma of an instant white tea dried by freeze drying [J]. Molecules, 2020, 25(16): 3628.
- [48] ROSPARS J P, LANSKY P, CHAPUT M, et al. Competitive and noncompetitive odorant interactions in the early neural coding of odorant mixtures [J]. Journal of Neuroscience, 2008, 28(10): 2659-2666.
- [49] HAN T L, LIU Q, WANG Z X, et al. The threshold concentration capsaicin enhanced salty taste and reduced sodium: sensory assessment and analysis of physiological and biochemical characteristics of saliva [J]. Food Chemistry, 2025, 495(1): 146375.
- [50] LIU P P, XU Z J, SU M Y, et al. The role of chewing efficiency in aroma release and perception during oral processing of solid model foods [J]. Food Quality and Preference, 2025, 133: 105598.
- [51] SHANG Y F, SHEN Y Y, ZHANG M C, et al. Progress in salivary glands: endocrine glands with immune functions [J]. Frontiers in Endocrinology, 2023, 14: 1061235.
- [52] 郭若愚,孙宇轩,李媛,等.唾液与食物互作的多模态感知研究进展[J].中国食品学报,2025,25(7):363-376.
- [53] POTOCKA W, ASSY Z, VAN SPLUNTER A P, et al. From scent to saliva: the saliva-stimulating effect of terpenes in dry mouth [J]. Archives of Oral Biology, 2025, 175: 106282.

- [54] MORADI S, BIKKER F J, HESSE D. Saliva composition from birth to adolescence: a systematic review of the literature [J]. *Journal of Oral Biosciences*, 2025, 67(2): 100661.
- [55] KREUSSER W, HEIDLAND A, HENNEMANN H, et al. Mono- and divalent electrolyte patterns,  $p\text{CO}_2$  and pH in relation to flow rate in normal human parotid saliva [J]. *European Journal of Clinical Investigation*, 1972, 2(6): 398-406.
- [56] HYODO A, MIKAMI A, HORIE K, et al. Salivary buffering capacity is correlated with umami but not sour taste sensitivity in healthy adult Japanese subjects [J]. *Archives of Oral Biology*, 2024, 165: 106013.
- [57] PLOYON S, MORZEL M, CANON F. The role of saliva in aroma release and perception [J]. *Food Chemistry*, 2017, 226: 212-220.
- [58] 丛馨, 闵赛南, 吴立玲, 等. 激活毒蕈碱乙酰胆碱受体调控下颌腺分泌的机制研究[J]. *北京大学学报(医学版)*, 2019, 51(03): 390-396.
- [59] 陈超伦, 苏家增, 俞光岩. 酸刺激对腮腺和下颌腺唾液流率及成分的影响[J]. *北京大学学报(医学版)*, 2022, 54(1): 89-94.
- [60] PÉREZ-JIMÉNEZ M, ROCHA-ALCUBILLA N, POZO-BAYÓN M A. Effect of saliva esterase activity on ester solutions and possible consequences for the in-mouth ester release during wine intake [J]. *Journal of Texture Studies*, 2019, 50(1): 62-70.
- [61] IGARASHI A, ITO K, FUNAYAMA S, et al. The salivary protein profiles in the patients with taste disorders: the comparison of salivary protein profiles by two-dimensional gel electrophoresis between the patients with taste disorders and healthy subjects [J]. *Clinica Chimica Acta*, 2008, 388(1-2): 204-206.
- [62] HENKIN R I, MARTIN B M, AGARWAL R P. Decreased parotid saliva gustin/carbonic anhydrase VI secretion: an enzyme disorder manifested by gustatory and olfactory dysfunction [J]. *The American Journal of the Medical Sciences*, 1999, 318(6): 380-391.
- [63] DSAMOU M, PALICKI O, SEPTIER C, et al. Salivary protein profiles and sensitivity to the bitter taste of caffeine [J]. *Chemical Senses*, 2012, 37(1): 87-95.
- [64] STOLLE T, GRONDINGER F, DUNKEL A, et al. Salivary proteome patterns affecting human salt taste sensitivity [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2017, 65(42): 9275-9286.
- [65] SIMÕES C, CAEIRO I, CARREIRA L, et al. How different snacks produce a distinct effect in salivary protein composition [J]. *Molecules*, 2021, 26(9): 2403.
- [66] POWER M L, SCHULKIN J. Anticipatory physiological regulation in feeding biology: cephalic phase responses [J]. *Appetite*, 2008, 50(2-3): 194-206.
- [67] BISWAS D, SZOCS C. The smell of healthy choices: cross-modal sensory compensation effects of ambient scent on food purchases [J]. *Journal of Marketing Research*, 2019, 56(1): 123-141.
- [68] KE Q F, ZHENG Y K, HO C T, et al. Flavor molecules regulate appetite through the gut-brain axis: an emerging perspective [J]. *Food Chemistry*, 2026, 506: 148123.
- [69] MÉJEAN C, MORZEL M, NEYRAUD E, et al. Salivary composition is associated with liking and usual nutrient intake [J]. *Plos One*, 2015, 10(9): e0137473.
- [70] RAMAEKERS M G, BOESVELDT S, LAKEMONDC M M, et al. Odors: appetizing or satiating? Development of appetite during odor exposure over time [J]. *International Journal of Obesity*, 2014, 38(5): 650-656.
- [71] LARSEN J K, HERMANS R C J, ENGELS R C M E. Food intake in response to food-cue exposure. Examining the influence of duration of the cue exposure and trait impulsivity [J]. *Appetite*, 2012, 58(3): 907-913.