

罗鑫, 丁璐, 谢定源, 等. 唾液流率与辣味强度分级的相关性分析及模型建立 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(16): 338–346. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021120210

LUO Xin, DING Lu, XIE Dingyuan, et al. Correlation Analysis and Modeling of Salivary Flow Rate and Spicy Sensory Intensity Grading[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(16): 338–346. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021120210

· 分析检测 ·

唾液流率与辣味强度分级的相关性 分析及模型建立

罗鑫, 丁璐, 谢定源*, 方妍, 余永昊

(华中农业大学食品科技学院, 环境食品学教育部重点实验室, 湖北武汉 430074)

摘要: 本研究旨在通过测定受试者食用不同浓度的辣椒碱溶液后的唾液流速, 探讨辣度与唾液流速的相关性, 建立快速测定食品辣度的方法。以人食辣后引起唾液分泌增加的生理变化作为辣味强度的影响指标, 通过受试人员的唾液分泌量计算不同辣味强度下的唾液流率, 对辣味强度和唾液流率之间的关系进行拟合, 基于拟合模型, 构建快速、准确标定辣度的唾液流率分级体系, 并用感官评定法验证模型定级结果。结果表明: 辣味强度显著影响唾液流率 ($P < 0.05$), 可以通过唾液流率对辣度进行准确快速的分级。根据唾液流率范围, 将辣度分成了 5 级: 1 级微辣 [斯科维尔指数 (SHU) 10~500 (含)]: 唾液流率 (g/min) 0.496~1.395 (含); 2 级轻辣 [SHU500~1000 (含)]: 唾液流率 (g/min) 1.395~2.153 (含); 3 级中辣 [SHU1000~1500 (含)]: 唾液流率 (g/min) 2.153~2.749 (含); 4 级重辣 [SHU1500~3000 (含)]: 唾液流率 (g/min) 2.749~3.569 (含); 5 级猛辣 (SHU>3000): 唾液流率 (g/min) >3.569。通过收集 5~10 人食辣后唾液分泌量, 结合辣味强度与唾液流率之间的数量关系即可快速对测试者所尝食物辣度进行定级; 唾液流率辣度定级结果与感官评定结果处于同一辣味量度等级, 能反映出人食辣后的真实辣度感受。

关键词: 辣味强度, 辣椒素, 食辣生理指标, 唾液流率, 回归分析

中图分类号: TS255.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)16-0338-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021120210



本文网刊:

Correlation Analysis and Modeling of Salivary Flow Rate and Spicy Sensory Intensity Grading

LUO Xin, DING Lu, XIE Dingyuan*, FANG Yan, YU Yonghao

(Key Laboratory of Environment Food Science, Ministry of Education, College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430074, China)

Abstract: The aim of this study was to investigate the correlation between spiciness and saliva flow rate by measuring the saliva flow rate of subjects after consuming different concentrations of capsaicin solutions, and to establish a rapid method for determining the spiciness of foods. The physiological change caused by the increasing of saliva secretion after eating spicy food was used as the influential indicators of spicy taste intensity. The salivary flow rate was calculated by the salivary secretion of the subjects, and the relationship between the spicy intensity and salivary flow rate was fitted. Based on the fitting model, a new grading system for rapid and accurate calibration of spiciness was constructed, and the model grading results were verified by sensory evaluation method. The results showed that the intensity of spiciness significantly affects salivary flow rate ($P < 0.05$), and the spiciness could be accurately and quickly graded by salivary flow rate. According to the salivary flow rate range, the spiciness was classified into 5 levels according to the salivary flow rate range: Grade 1 slightly spicy [Scoville heat units (SHU) 10~500 (inclusive)]: Saliva flow rate (g/min) 0.496~1.395 (inclusive).

收稿日期: 2021-12-20

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (2017YFD040010)。

作者简介: 罗鑫 (1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 地理环境与膳食摄入, E-mail: 377798454@qq.com。

* 通信作者: 谢定源 (1963-), 男, 硕士, 副教授, 研究方向: 食品风味、传统食品产业化和地理环境与膳食摄入, E-mail: 1621819566@qq.com。

Grade 2 light spicy [SHU500~1000 (inclusive)]: Saliva flow rate (g/min) 1.395~2.153 (inclusive). Grade 3 medium spicy [SHU1000~1500 (inclusive)]: Saliva flow rate (g/min) 2.153~2.749 (inclusive). Grade 4 heavy spicy [SHU1500~3000 (inclusive)]: Saliva flow rate (g/min) 2.749~3.569 (inclusive). Grade 5 hot (SHU>3000): Saliva flow rate (g/min)>3.569. By collecting the saliva secretion of 5~10 people after eating spicy food, the spiciness of the food tasted by the testers could be rated quickly by combining the quantitative relationship between spicy taste intensity and saliva flow rate. The saliva flow rate spiciness rating result was in the same spicy taste measurement level as the sensory rating result, which could basically reflect the real spiciness feeling of people after eating spicy food.

Key words: spicy sensory intensity; capsaicin; physiological indexes of spicy food; saliva flow rate; regression analysis

辣度或辣味强度(pungency degree),表示辣味强弱程度的量化值,用度来表示^[1]。经大量学者研究发现,以样品中总辣椒素类物质含量 10 mg/kg 为 1 度,1 mg/kg 的辣椒素溶液相当于 15 倍的斯科维尔指数(Scoville Heat Units, SHU),经过换算得 1 度=150SHU,辣度数值取整数,度数越高,辣味强度越大^[2]。构建快速、准确的食物辣味强度识别方法对于辣味食物的生产、产品辣度标识以及消费者选择适合自己辣味喜好的食物,满足个性化口味需求,具有重要的研究价值。目前国内辣度分级热点主要采用感官评定法及辣椒素类物质定量检测法^[3]。感官评定法具有经典性、操作成本低等优点,但该法主观性强,重现性差,对受试人员的辣味灵敏度和环境要求较高^[4-5];仪器检测法包含但不局限于线性标度法^[6]、高效液相色谱法^[7]、分光光度法^[8]、近红外光谱法^[9-10]、酶联免疫吸附法^[11]等,这些方法准确性好,一般用于测定大批量样品中辣椒素类物质含量,但测定成本高,耗时长,不能反映人食辣后的真实辣度感受,不适用于复合辣味制品的辣度定级,存在辣椒制品的辣度描述词与消费者辣度理解以及真实辣感不一致的情况,存在耐微辣消费者食用重辣产品的情况,对身体健康、消费体验造成不良影响^[12]。目前尚缺乏既能快速准确地进行辣度分级,又能反映人食辣后真实辣度感受的方法^[7]。

北京大学口腔医学院俞光岩教授团队通过逆转录-聚合酶链反应(Reverse Transcription-Polymerase Chain Reaction, RT-PCR)和 Western blot 方法发现在人颌下腺组织、原代细胞和导管细胞系中均存在辣椒素受体(TRPV1)的表达,通过免疫荧光染色的方法追踪该受体,结果发现浆液性腺泡细胞、导管细胞、肌上皮细胞是其主要存在场所。该团队在颌下区皮肤表面涂抹辣椒素霜,分析唾液分泌量的变化情况,与静息状态下唾液分泌量进行比较,发现通过该方式处理后颌下腺唾液分泌量明显增加,采用表面麻醉剂切断辣椒素皮肤内伤害器的刺激,阻止了颌下区皮肤传递痛觉,但结果显示辣椒素刺激唾液分泌增加的现象并没有改变^[13],接着,有研究用辣椒素受体的拮抗剂 capsazepine(CPZ)进行 30 min 预处理,CPZ 处理后辣椒素刺激唾液分泌量增加的现象消失,说明辣椒素是通过辣椒素受体介导促进唾液分泌^[14]。

辛辣食品中的辣椒素类物质会刺激口腔产生唾

液,唾液分泌量可以作为辣度的生理指标反映人真实食辣后的感官体验。本实验以人食辣后唾液分泌增加的生理变化为研究基础,将唾液流率作为辣味强度定级指标^[15-16],探究辣味强度与食辣生理指标唾液流率之间的回归关系,从而构建一种新型、快速、准确地用食辣生理指标唾液流率分级辣度的分级方式。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

天然食品级辣椒碱 纯度 99%,宁波延宇生物科技有限公司;吐温 80(食品添加剂级) 广东润华化工有限公司;伊利脱脂纯牛奶 定州伊利乳业有限公司;550 mL 瓶装饮用水 农夫山泉股份有限公司。

ME104E 电子天平 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;BCD-450ZE9N 冰箱 合肥美菱股份有限公司;70 mL 连体食品级品评盒(品评盒) 河北河钰塑料制品有限公司;医用一次性口腔海绵清洁棒 广州礼正贸易有限公司;电子万用炉 北京市永光明医疗仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 建立辣味感官评定受试团队

1.2.1.1 建立方法 在标准感官评定实验室内进行实验,通过问卷调查,招募感官受试人员,根据问卷填写结果进行初步筛选;初筛选受试者均进行辣味阈值筛选和梯度灵敏度筛选,根据辣味阈值、辣味灵敏度的筛选结果,进行综合评分,以综合得分作为人员筛选标准之一,结合受试者问卷调查的个人辣度选择,构建一个辣味感官评定受试团队。

1.2.1.2 辣味阈值及辣味灵敏度筛选 味觉阈值是指刚刚能产生味觉的呈味物质的量,即人能品尝出味道的呈味物质最稀的水溶液浓度^[17],低于该浓度,在任何实际情况下都不会被察觉;高于该浓度,任何具有正常味觉的个体很容易觉察该物质的存在。感觉阈值数据常用来判断评价人员对特殊刺激物的敏感性。辣味阈值通过“辣味阈值反馈表”统计受试人员对辣味的承受范围,辣味灵敏度根据“灵敏度筛选反馈表”筛选其对不同级别辣度的灵敏程度。

1.2.1.3 综合评分标准 辣味阈值、辣味灵敏度,赋予权重各为 40%;同时考虑受试人员的饮食习性,参考受试人员问卷调查的个人辣度选择,赋予权重

20%。受试人员综合得分为: 阈值分数 $\times$ 40%+灵敏度分数 $\times$ 40%+辣度选择 $\times$ 20%

1.2.2 辣味感官评定受试团队耐辣性分级

1.2.2.1 制备唾液流率试样液 实验课题组在“制定楚菜标准”项目中, 对 21 道菜肴进行了采样, 每道菜品采样 3 次, 采用 HPLC 检测菜肴中辣椒碱类物质含量, 组织专业感官评定人员与专家进行辣味感官评价, 发布了湖北省首批 21 项《楚菜标准》(T/HBPX 001-2020-T/HBPX 021-2020)。根据 HPLC 检测数据, 结合感官评定结果, 对菜品辣度分级, 制定出辣度分级标准^[1], 如表 1 所示。

表 1 楚菜标准中辣度分级
Table 1 Standard spiciness grade of Chu Dishes

SHU	辣椒碱类物质含量(g/kg)	辣味级别
10~500(含)	$6.485 \times 10^{-4} \sim 3.243 \times 10^{-2}$ (含)	微辣
500~1000(含)	$3.243 \times 10^{-2} \sim 6.485 \times 10^{-2}$ (含)	轻辣
1000~1500(含)	$6.485 \times 10^{-2} \sim 9.728 \times 10^{-2}$ (含)	中辣
1500~3000(含)	$9.728 \times 10^{-2} \sim 1.945 \times 10^{-1}$ (含)	重辣
>3000	$>1.945 \times 10^{-1}$	猛辣

参照楚菜标准辣度分级方法^[1], 以 SHU 范围的中位数代表各辣度级别, 制备试样液。

a. 称取 0.6 g(精确到 0.001 g)食品级天然辣椒碱和 20 g 食品级吐温 80 于 50 mL 的小烧杯中, 50 ℃ 水浴加热 10 min 左右使辣椒碱溶解, 用 70 ℃ 蒸馏水定量转移到 1000 mL 容量瓶中, 冷却至室温, 用室温(20 ℃)蒸馏水定容至刻度。此为 600 mg/L 的母液。

b. 量取母液 414.079 g(精确到 0.001 g)用蒸馏水稀释定容至另一个 1000 mL 容量瓶中, 盖上塞子冷藏, 配制成 248.447 mg/L、SHU4000 的辣椒碱稀释液。同 a、b 步骤配制零辣度的吐温溶液。

c. 依照表 2 中取量依次量取 b 中溶液(精确到 0.001 g), 用蒸馏水稀释定容至另一个 500 mL 容量瓶中, 盖上塞子冷藏, 配制成相应浓度的辣椒碱稀释液。品评实验前分装至 30 mL 的一次性品评瓶中, 贴上相应序号。

表 2 制备试样液
Table 2 Preparation of hotness grade dilution

序号	取4000SHU量(g)	辣椒碱浓度(g/kg)	SHU	辣度分级
1	/	0	/	不辣
2	31.875	0.0158	255	微辣
3	93.750	0.0466	750	轻辣
4	156.250	0.0776	1250	中辣
5	281.250	0.140	2250	重辣
6	412.500	0.205	3300	猛辣

1.2.2.2 品评要求 参考文献 [1] 方法进行品评, 见图 1。品评在饭后 1 h 进行, 品评人员在品评前 1 h 内不能吸烟、吃东西, 但可以喝水; 在测试前 90 min 内没有受到过其他辣椒试样或辣度调味食品的影响。

按照 1~6 序号的顺序依次品评, 品评人员在每次品评前后都要用 25~30 ℃ 的水漱口, 品评完 1 份试样, 要饮用适量脱脂牛奶消除口中辣味, 直到口中基本无辣味为止, 再用 25~30 ℃ 的水漱口才能进行下一个试样的品评。每一份品评液的品评间隔时间为 5 min。

品评时保持实验环境安静, 无外界干扰。室内温度控制在 20~22 ℃。评分时不能讨论, 设计人员不得向品评人员说明与试样辣味有关的情况。

品评时, 将 30 mL 试样倒入口中, 啜饮 3 次, 使液体充分包裹舌头表面并停留 5 s 后吞咽, 充分感受其刺激强度。根据感受到的刺激强度, 判断自己对该辣度的接受程度, 将接受程度按要求记录在“味 5 点接受度反馈表”中。

辣味感官生理反应受试人员耐辣性分级

姓名: _____ 学号: _____ QQ: _____ 手机号: _____
请按照 1~6 的顺序依次进行品评。根据品评后所感受到的辣味刺激强度, 在辣味 5 点接受度反馈表中, 用“√”勾选出最能代表您对该辣度的接受程度。
(“5 点接受”意愿参照依据是: 如果您要求将该辣度溶液啜饮之后, 含在口中 1 分钟并吞咽, 这一分钟, 您能忍受, 且吞咽不会引起极大不适, 即为接受, 反推不接受, 处于相当勉强才能忍受的状态即为不确定。)

辣味 5 点接受度反馈表

序号	非常接受	接受	不确定	不接受	非常不接受
1					
2					
3					
4					
5					
6					

图 1 辣味 5 点接受度反馈表

Fig.1 Feedback form of 5-point spicy taste

1.2.3 构建唾液流率对辣度分级体系

1.2.3.1 制备唾液流率试样液 步骤同 1.2.2.1 一致, 依照表 3 配制成相应浓度的辣椒碱稀释液, 量取 10 mL 溶液分装至 75 mL 的一次性品评盒中, 称重, 贴上标签, 并写上重量与相应序号; 称量相配套的口

表 3 制备唾液流率辣味稀释液

Table 3 Preparation of saliva flow rate spicy diluent

SHU	取SHU4000量(g)	辣椒碱浓度(g/kg)	品评盒序号	清洁棒序号
250	31.250	0.0155	2	(2)
500	62.500	0.0311	3	(3)
750	93.750	0.0466	4	(4)
1000	125.000	0.0621	5	(5)
1250	156.250	0.0776	6	(6)
1500	187.500	0.0932	7	(7)
1750	218.750	0.0932	8	(8)
2000	250.000	0.124	9	(9)
2250	281.250	0.1401	10	(10)
2500	312.500	0.155	11	(11)
2750	343.750	0.171	12	(12)
3000	375.000	0.186	13	(13)
3250	406.250	0.202	14	(14)
3500	437.500	0.217	15	(15)

腔清洁棒, 贴上标签, 写上相应重量及相应序号。

1.2.3.2 品评要求 保证安静, 无外界干扰, 通过空调和加湿器控制感官实验室的温度为 $24\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, 湿度为 $50\%\pm 10\%$ 。上午 9~11 点时间段进行实验, 收集唾液。

唾液采集前 2 h 禁食, 除饮用水外, 禁食其他物质, 尤其是酒、咖啡因饮料等, 并排除外界干扰, 如刷牙、抽烟等。避免剧烈运动; 在测试前 90 min 内没有受到过酸、甜、咸、鲜、辣等调味食品的影响。

进入实验室后, 在候场区休息 15 min 以达到放松身心、熟悉实验环境的目的。唾液采集前用饮用水漱口, 静坐 5 min, 并通过吞咽的方法将口腔唾液排净。

1.2.3.3 唾液采集操作 给予不同耐辣性人员所对应的试样组及所配套的口腔清洁棒, 要求受试人员在标签纸上写上自己的名字, 并分别贴到自己所拿到的所有品评盒与清洁棒袋上。

受试人员将品评盒内的试样溶液全部倒进嘴里后, 做三次漱口的动作, 让溶液充分在口腔里分布, 将嘴里的溶液吐回原盒子内, 将原盒子放置在桌子上, 从吐回原盒子开始倒计时 3 min, 低头, 保持头微向前倾, 让自然流出的唾液滴进桌子上的盒子内。倒计时结束, 先尽量将口腔里的残余唾液流进盒子内, 再用序号对应的清洁棒清理嘴唇、舌面、口腔两侧的残余唾液, 轻轻刮一圈。收集唾液过程中勿吐出或咽下唾液, 直至计时结束。称量收集后品评盒及清洁棒的重量, 分别减去收集前的重量, 两者重量差的和为收集的总唾液量, 计算该试样所对应的唾液流率 (g/min)。品评完一个试样, 要饮用适量脱脂牛奶消除口中辣味, 直到口中基本无辣味为止, 再用 $25\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的水漱口。每次品评间隔为 5 min。其他试样操作同上, 直至品评完所有试样。

实际参与人数 67 人, 其中耐微辣 17 人、耐轻辣 23 人、耐中辣 19 人、耐重辣 4 人、耐猛辣 4 人。基于给予受试人员辣味试样强度要小于或等于其耐辣特性原则, 不同耐辣人群所对应辣味试样液如表 4 所示。

表 4 各耐辣人群对应的辣味试样液及 SHU

Table 4 Spicy sample liquid and SHU corresponding to each spicy-tolerant population

耐辣人群类别	样品序号及各样品所对应的SHU			
耐微辣人群	试样1	试样2	试样3	
	SHU0	SHU250	SHU500	
耐轻辣人群	试样3	试样4	试样5	
	SHU500	SHU750	SHU1000	
耐中辣人群	试样5	试样6	试样7	
	SHU1000	SHU1250	SHU1500	
耐重辣人群	试样8	试样9	试样10	试样11
	SHU1750	SHU2000	SHU2250	SHU2500
耐猛辣人群	试样12	试样13	试样14	试样15
	SHU2750	SHU3000	SHU3250	SHU3500

1.2.4 感官评定法对唾液分级体系的验证

1.2.4.1 制备标准溶液及实验试样液 依照表 5 依次量取 1.2.2.1 b 中溶液(精确到 0.001 g), 用蒸馏水稀释定容至另一个 500 mL 容量瓶中, 盖上塞子冷藏, 配制成相应浓度的辣椒碱稀释液。标准液贴上相应辣度类别; 试样液各量取 10 mL 溶液分装至 75 mL 的一次性品评盒中, 称重, 贴上标签, 并写上重量与相应序数; 称量相配套的口腔清洁棒, 贴上标签, 写上相应重量及相应序号。

表 5 制备验证实验中标准液与试样液

Table 5 Standard solution and sample solution in the preparation and verification experiment

溶液类别	取SHU4000量(g)	SHU	辣椒碱浓度(g/kg)	辣度类别	品评盒、清洁棒序号
标准液	31.875	255	0.0158	微辣	
	93.750	750	0.0466	轻辣	
	156.250	1250	0.0776	中辣	
	25.000	200	0.0124		4、(4)
试样液	62.500	500	0.0311		6、(6)
	100.000	800	0.0497		2、(2)
	125.000	1000	0.0621		3、(3)
	162.500	1300	0.0807		1、(1)
	187.500	1500	0.0932		5、(5)

1.2.4.2 实验对象 受耐重辣、耐猛辣级别人数限制, 基于给予受试人员辣味试样强度要小于或等于其耐辣特性原则, 在耐中辣级别 24 人中招募 20 人组成验证环节受试团队。

1.2.4.3 实验操作 感官评定试样液辣度: 受试人员依次品评三种辣度类别标准液, 将 30 mL 标准液全部倒入口中, 啜饮 3 次, 使液体充分包裹舌头表面并停留 5 s 后吞咽, 记住各标准液辣度感受。受试人员随机品评试样液, 将 30 mL 试样液全部倒入口中, 啜饮 3 次, 使液体充分包裹舌头表面并停留 5 s 后吞咽, 充分感受辣味刺激, 将其辣味感受与标准品辣感对照, 判别各试样液辣味强度类别, 填写试样液辣度判别表, 如图 2 所示。若忘记某辣度类别标准品辣度感受, 可再次品尝该标准品, 允许反复品尝直至确定试样液辣度类别为止。品评完一个标准液或试样

试样液辣度判别表

姓名: _____ 学号: _____ QQ: _____ 手机号: _____

请对试样液进行品评, 对照标准液的辣度刺激感受, 判别各试样液辣度类别, 将对应辣度类别的标准液序号填入下表中。

试样液序号	对应辣度类别的标准液序号
1	
2	
3	
4	
5	
6	

图 2 试样液辣度感官评定

Fig.2 Sensory evaluation of the spiciness of the sample liquid

液,均需饮用适量脱脂牛奶消除口中辣味,直到口中基本无辣味为止,再用 25~30 ℃ 的水漱口,每次品评间隔为 5 min。

试样液唾液收集:试样液唾液分泌量收集操作同 1.2.3.3。

1.3 数据处理

采用 Microsoft Office Excel 2010 软件整理受试人员唾液流率数据,以均值±标准差表示;SPSS26.0 软件包对数据进行方差分析、描述性统计学分析、主效应分析、回归分析以及相关检验;Origin 2018 作图。

2 结果与分析

2.1 辣味感官评定受试团队的建立

2.1.1 受试人员综合得分 综合考量辣味阈值筛选结果与辣味灵敏度排序结果,并结合个人饮食辣度的喜好选择,以综合评分为筛选依据,构建了一个 98 人的感官品评受试团队,其中有 32 人阈值筛选与灵敏度排序完全正确,将这部分人员作为后续辣味实验的核心成员。该团队男女比例 3:7,参考 Cheng 等^[18]绘制的辣味地图,受试者生长地涵盖我国 21 个省级行政区,分布于我国 4 大食辣区,其中清淡区占到 42%,中辣区占 37%。

2.1.2 受试团队性别构成 表 6 显示,筛选出的受试团队性别构成中,女性占 71%,男性占 29%,女性明显多于男性,招募队伍的男女比例与学校男女比例一致。

表 6 受试团队性别构成情况
Table 6 Gender composition of the tested team

性别	人数(人)	构成比(%)
男	28	29
女	70	71
合计	98	100

2.1.3 受试团队生长地分布 图 3 显示,辣味感官生理指标受试人员生长地分布较为广泛,98 个人涵盖我国 21 个省级行政区,其中河南、湖北人数占到 23%、20%。图 4 显示,以现有我国食辣区划分地图

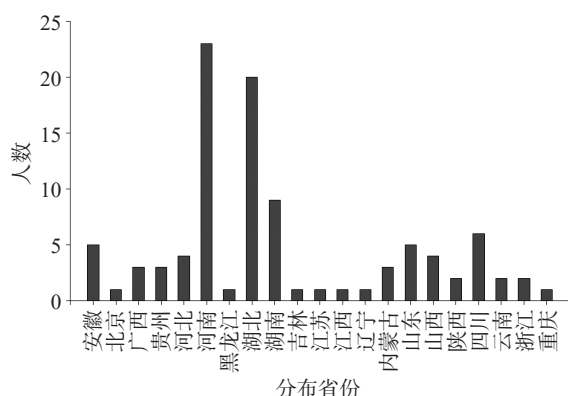


图 3 受试团队生长地分布情况

Fig.3 Distribution of the growth area of the subjects

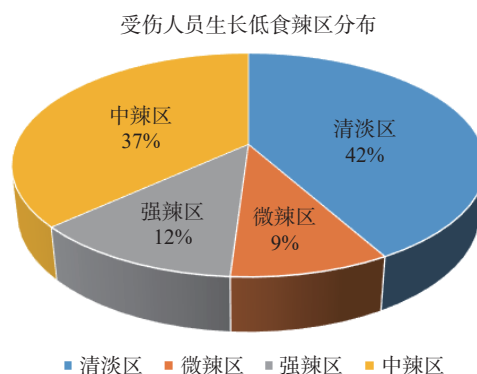


图 4 受试人员生长地食辣区分布情况

Fig.4 Distribution of spicy food areas where the subjects grew up

为依据,显示所构建的受试团队 4 个食辣区均有分布,其中清淡区占到 42%。因此,该环节所构建的 98 人辣味团队在地域上、食辣区上分布都较为广泛,能在一定程度上起到代表作用,满足实验要求。

2.1.4 受试团队耐辣性分级 根据图 1 “辣味 5 点接受度反馈表”统计数据可知,耐辣性分级环节中,实际参与人数 87 人。耐辣级别定级依据为受试人员最后一个能接受的试样辣度所对应的辣度级别类型。结果显示,87 人受试团队中耐微辣级别 24 人;耐轻辣级别 28 人;耐中辣级别 24 人;耐重辣级别 5 人;耐猛辣级别 6 人,耐辣性比例基本与现实生活中大部分人耐辣性集中在微辣到中辣区间的情况吻合。没有完全不接受辣味者,该结果与问卷调查中“您对辣的喜好或接受程度”一栏中选择“不辣”选项人数为 0 情况一致。

2.2 构建辣味强度与唾液流率之间的回归关系

2.2.1 比较不同耐辣性人群辣度刺激 分析两个主体因子(耐辣类别、辣味强度)对唾液流率的影响,表 7 主成分分析结果说明受辣味刺激的唾液流率与受试人员耐辣类别无显著性关系($P>0.05$),与辣味强度显著性相关($P<0.05$)。唾液流率的变化是通过辣味强度的变化而变化,不同耐辣性人群受同一辣度刺激的唾液流率不存在差异性,由此,只要具备正常辣味刺激反应的受试人员,其唾液分泌量均可做为该辣味强度指标数据。

表 7 唾液流率主体间效应检验
Table 7 Intersubjective effect test of saliva flow rate

源	III 类平方和	df	均方	F	显著性
修正模型	148.418	24	6.184	4.823	0.000
截距	440.424	1	440.424	343.496	0.000
耐辣类别	0.857	4	0.214	0.167	0.955
辣味强度	81.627	10	8.163	6.366	0.000
耐辣类别×辣味强度	1.912	10	0.191	0.149	0.999
误差	325.674	254	1.282		
总计	1128.331	279			
修正后总计	474.092	278			

2.2.2 分析辣味强度与唾液流率之间的关系 由于组间数太多,对 LSD 多重比较结果进行了整合,有显著性的组间数据如表 8 所示,从结果中可知,SHU0 与其他 13 种辣度组间都有显著性差异($P<0.05$),再次说明辣味强度对唾液流率有显著影响关系;在 SHU250 一栏可以发现,只有 SHU500 并未出现在显著性的表格中,表明 SHU250 与除 SHU500 以外的辣味强度组间均有显著性差异($P<0.05$);SHU1500~SHU3500 的比较结果并未出现在表 8,意味着各高辣味强度组间无明显差异($P>0.05$)。

表 8 唾液流率 Tamhane's T2 多重比较(显著性)
Table 8 Tamhane's T2 multiple comparison of saliva flow rate (Significance)

(I)SHU	(J)SHU	平均值差值(I-J)	标准误差	显著性
0	250	-0.416*	0.070	0.002
	500	-0.792*	0.079	0.000
	750	-1.114*	0.097	0.000
	1000	-1.414*	0.057	0.000
	1250	-1.675*	0.127	0.000
	1500	-1.887*	0.101	0.000
	1750	-2.070*	0.211	0.006
	2000	-2.213*	0.219	0.005
	2250	-2.334*	0.325	0.036
	2500	-2.415*	0.288	0.015
	2750	-2.482*	0.125	0.019
	3000	-2.430*	0.123	0.019
	3500	-2.077*	0.097	0.011
250	750	-0.699*	0.115	0.000
	1000	-0.999*	0.084	0.000
	1250	-1.259*	0.142	0.000
	1500	-1.471*	0.119	0.000
	1750	-1.654*	0.220	0.012
	2000	-1.797*	0.227	0.009
	2500	-1.999*	0.295	0.034
	2750	-2.066*	0.139	0.003
	3000	-2.014*	0.138	0.003
	3500	-1.662*	0.116	0.000
500	1000	-0.623*	0.092	0.000
	1250	-0.883*	0.146	0.000
	1500	-1.095*	0.124	0.000
	2000	-1.421*	0.230	0.035
	2750	-1.690*	0.144	0.004
	3000	-1.638*	0.143	0.004
	3500	-1.286*	0.121	0.001
750	1500	-0.772*	0.136	0.000
	2750	-1.368*	0.155	0.004
	3000	-1.316*	0.154	0.005
	3500	-0.963*	0.134	0.003
1000	1500	-0.472*	0.112	0.021

注: *均值差的显著性水平为0.05。

2.2.3 辣味强度与唾液流率回归模型的构建 绘制散点图观察辣味强度与唾液流率之间的关系。由图 5 可知,辣味强度与唾液流率间不呈直线关系。从理论分析上看,唾液流率不会随辣味强度的增加呈单一向上趋势,应为唾液流率在一定范围内随辣味强度的增

加而增加,辣味强度达到一定级别时唾液流率趋于稳定,为非线性关系,与散点图趋势走向类似。利用 SPSS 软件“曲线估算”功能中除 logistic 模型外的 10 种曲线模型对辣味强度与唾液流率间的关系进行拟合,通过比较决定系数 R^2 的大小,确定拟合度,选择拟合度高的模型为最理想模型。

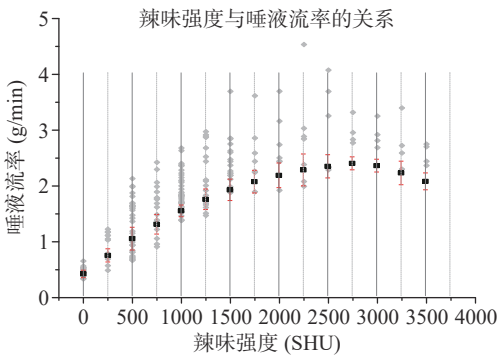


图 5 辣味强度与唾液流率第二次数值的散点图和 Y 误差图
Fig.5 Scatter plot and Y error plot of the second order value of spiciness intensity and saliva flow rate

剔除无法拟合的模型,其他本质线性拟合模型如表 9 所示。6 种拟合模型均说明辣味强度与唾液流率之间存在显著影响关系($P<0.05$);比较各模型的 R^2 值,发现二次曲线、三次曲线总体拟合程度差异小,对二次、三次模型进行 F 检验、 t 检验,三次模型中二次系数检验统计量 $t=-1.173$,未通过 t 检验($P>0.05$),综合分析发现二次模型为更理想的构建模型。

通过方差分析二次模型的拟合情况:该模型表达式为:

$$y = 0.476 + 0.002x + (-3.25 \times 10^{-7})x^2$$

由图 6 残差图可知,二次模型的残差均落在二倍标准差范围内,并随机分布,综合说明该回归模型是合理的,具有统计学意义。

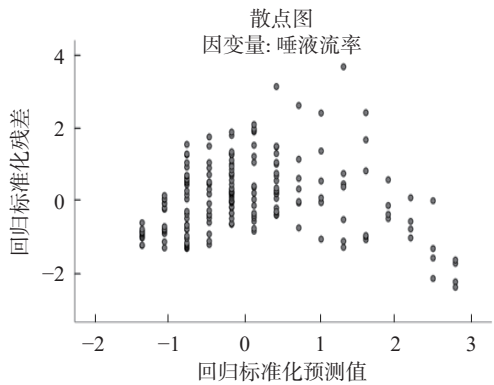


图 6 唾液流率二次曲线标准化残差图
Fig.6 Standardized residual plot of the quadratic curve of saliva flow rate

2.2.4 基于辣味强度与唾液流率回归模型的辣度分级 由表 10 可知,通过回归模型对辣度分级的结果为:唾液流率(g/min)0.496~1.395(含)为 1 级微辣;

表 9 辣味强度与唾液流率曲线拟合数据

Table 9 Curve fitting data of spiciness intensity and saliva flow rate

模型摘要						参数估算值			
方程式	决定系数 R^2	F	自由度		P_{sig}	常量	b1	b2	b3
			df1	df2					
线性	0.604	311.063	1	204	0.000	0.987	0.001		
二次	0.721	262.917	2	203	0.000	0.476	0.002	-3.23E-07	
三次	0.722	174.863	3	202	0.000	0.509	0.002	-2.13E-07	-2.27E-11
复合	0.549	248.392	1	204	0.000	0.954	1		
增长	0.549	248.392	1	204	0.000	-0.047	0		
指数	0.549	248.392	1	204	0.000	0.954	0		

表 10 基于唾液流率模型的辣度分级

Table 10 Spiciness classification based on saliva flow rate model

SHU	辣味级别	唾液流率(g/min)	级别
10~500(含)	微辣	0.496~1.395(含)	1级
500~1000(含)	轻辣	1.395~2.153(含)	2级
1000~1500(含)	中辣	2.153~2.749(含)	3级
1500~3000(含)	重辣	2.749~3.569(含)	4级
>3000	猛辣	>3.569	5级

唾液流率(g/min)1.395~2.153(含)为2级轻辣;唾液流率(g/min)2.153~2.749(含)为3级中辣;唾液流率(g/min)2.749~3.569(含)为4级重辣;唾液流率(g/min)>3.569为5级猛辣。唾液受不同级别辣椒素刺激后会呈现不同的分泌流速,正常唾液基础分泌为0.4 mL/min,也就是人在吃轻辣级别及以上的食物时会促进唾液分泌。

2.3 感官评定法验证唾液流率模型定级结果

由表11可知,通过感官评定法确定的试样液辣度类别与通过唾液流率模型定级试样液辣度类别的结果一致,说明唾液流率构建的辣度识别方法与感官评定结果处于同一辣味量度级别。感官评定方法对唾液流率辣度定级方式进行了准确性的验证。

3 讨论与结论

本实验对食辣后唾液分泌增加的生理指标进行了理论性与可行性的分析。除了唾液的分泌还有几种生理指标,“脸部出汗”生理指标理论上可以通过皮肤湿度进行一个直观量化,但实际上影响出汗程度的因素有温热性出汗、精神性出汗、味觉性出汗

等^[19],不易控制;部分体质人即使吃大量的辣椒也不出汗或出汗较少,难以定量研究。“面部潮红”生理指标多用于医学领域,利用面红面积积分进行量化,该指标与生活起居、女性生理情况、体内激素含量等相关^[20],食品专业学生难以从专业层面进行相关分析。综合多方因素考虑,选择唾液流率生理指标作为辣味强度研究指标。有学者发现肥胖青年的唾液分泌量少,其腮腺功能障碍随着BMI的增加而加剧^[21],因此参考唾液流率指标尽量选择健康人群作为受试对象,避开口渴症患者及肥胖人群^[22]。

在此基础上,本实验进一步分析探究了辣味刺激唾液分泌量的收集方法。唾液采集常见方法有自然流取法、口中转动棉柱法、口中咀嚼棉柱法^[23-24]。咀嚼法通过咀嚼肌、颞下颌关节、牙周韧带等刺激唾液腺分泌唾液,干扰刺激唾液分泌量;口中转动棉柱法也对唾液腺有一定的刺激作用^[25]。由此,选取自然流取法收集一次唾液,口腔清理海绵棒进行二次收集,品评盒刺激前后重量之差与清洁棒前后重量之差的总和为刺激唾液总量。有研究发现人11:30的唾液流率高于8:30的唾液流率^[26],并且唾液流率在健康无刺激的状况下,唾液流率会随着年龄增长而降低^[15],因此构建受试团队时选取同一个年龄段的受试人员,在规定时间内进行品评测试。

由此本实验通过探究辣味强度与人食辣后引起的生理反应之间的数量关系,构建了以食辣的唾液流率生理指标对辣度快速分级的方法。构建此分级辣度的方法,与已有的仪器测定法、感官评定法相比,较大幅度地降低了食品辣度定级时间。通过收集5~10人食辣后唾液分泌量,结合辣味强度与唾液流

表 11 试样液辣度感官定级与唾液流率定级结果

Table 11 Results of sensory grading and saliva flow rate of sample liquid

试样液序号	1	2	3	4	5	6
对应SHU	1300	800	1000	200	1500	500
判别微辣人数	1	5	2	17	0	13
判别轻辣人数	3	11	10	1	3	4
判别中辣人数	14	2	4	0	15	1
综合感官评定结果	中辣	轻辣	轻辣	微辣	中辣	微辣
唾液流率均值	2.475±0.084	1.798±0.042	2.093±0.019	0.858±0.022	2.637±0.095	1.289±0.039
唾液流率定级结果	中辣,3级	轻辣,2级	轻辣,2级	微辣,1级	中辣,3级	微辣,1级

率之间的数量关系即可快速对测试者所尝食物辣度进行分级^[27-30];在准确性上,经过验证发现该方法与感官评定法处于同一量度等级,能基本反映出人食辣后的真实辣度感受。但此方法只适用于单一辣椒素对人体唾液造成的刺激,日常生活中的辣味食品大多都不是由单纯的辣味组成,都是由两种或两种以上味道复合而成,不同味之间的相互作用对辣味的最终感受有很大影响。辣椒素不仅刺激唾液的分泌,还可能对舌面温度、心跳速率等产生影响,其余的生理指标也可在后续试验中进一步探讨。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB/T 21265-2007 辣椒辣度的感官评价方法[S]. 北京:中国标准出版社,2007. [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, National Standardization Administration of China. GB/T 21265-2007 Sensory evaluation method of pepper spiciness[S]. Beijing: China Standard Publishing House, 2007.]
- [2] 夏延斌. 食品风味化学[M]. 北京:化学工业出版社,2008. [XIA Y B. Food flavor chemistry[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008.]
- [3] 王穗萍,夏延斌. 辣椒素类物质测定方法的研究进展[J]. 中国食品添加剂,2005(2):110-113. [WANG S P, XIA Y B. Research progress on the determination of capsaicin-like substances[J]. China Food Additives, 2005(2):110-113.]
- [4] LAWLESS. 食品感官评价原理与技术[M]. 北京:中国轻工业出版社,2001. [Lawless. Principles and techniques of food sensory evaluation[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2001.]
- [5] 罗凤莲,夏延斌,欧阳建勋,等. Scoville 感官评定法测定辣椒辣度[J]. 食品科技,2006,31(10):257-259. [LUO F L, XIA Y B, OUYANG J S, et al. Scoville sensory evaluation method for determining the spiciness of chili peppers[J]. Food Science and Technology, 2006, 31(10):257-259.]
- [6] 张璐璐,赵镭,史波林,等. 花椒麻度分级的改良斯科维尔指数法建立研究[J]. 食品科学,2014(15):11-15. [ZHANG LL, ZHAO R, SHI B, et al. A study on the establishment of modified Scoville index method for grading the numbness of pepper[J]. Food Science, 2014(15):11-15.]
- [7] 王燕,夏延斌,夏菠,等. 高效液相色谱法测定辣椒素及辣度计算[J]. 辣椒杂志,2006,4(1):37-41. [WANG Yan, XIA Yanbin, XIA Bo, et al. Determination of capsaicin by high performance liquid chromatography and calculation of spiciness[J]. Journal of Capsicum, 2006, 4(1):37-41.]
- [8] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 1886.34-2015 食品安全国家标准 食品添加剂 辣椒红[S]. 北京:中国标准出版社,2015. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GB 1886.34-2015 National Standard for Food Safety. Food additive. Capsaicin[S]. Beijing: China Standards Press, 2015.]
- [9] DONG N, HU Y, ZOU Y, et al. A study on the rapid determination of spiciness in dried chili peppers by near infrared[J]. Preservation and Processing, 2016, 16(6):125-129.
- [10] 吕晓菡,蒋锦琳,杨静,等. 基于特征波长建模的近红外光谱技术检测辣椒素含量[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版),2019,45(6):120-126. [LÜ X H, JIANG J L, YANG J, et al. Detection of capsaicin content by near-infrared spectroscopy based on characteristic wavelength modeling[J]. Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Science Edition), 2019, 45(6):120-126.]
- [11] 杨东顺,梅文泉,龙洪进,等. 酶联免疫法测定辣椒中辣椒素含量[J]. 中国农学通报,2015,31(21):264-267. [YANG D S, MEI W Q, LONG H J, et al. Determination of capsaicin content in pepper by enzyme immunoassay[J]. Chinese Agronomy Bulletin, 2015, 31(21):264-267.]
- [12] 董彩军,李锋,卢国峰,等. 辣椒及辣椒制品辣度分析研究进展[J]. 中国调味品,2016,41(12):142-146. [DONG C J, LI F, LU G F, et al. Research progress on spiciness analysis of chili peppers and chili pepper products[J]. Chinese Spices, 2016, 41(12):142-146.]
- [13] DING Q W, ZHANG Y, WANG Y, et al. Functional vanilloid receptor-1 in human submandibular glands[J]. Journal of Dental Research, 2010, 89(7):711-716.
- [14] ZHANG Y, XIANG B, LI Y M, et al. Expression and characteristics of vanilloid receptor 1 in the rabbit submandibular gland[J]. Biochem Biophys Res Commun, 2006, 345(1):467-473.
- [15] DODDS M, JOHNSON D A, YEH C K. Health benefits of saliva: A review[J]. Journal of Dentistry, 2005, 33(3):223-233.
- [16] ZOHAIB K, SANA Z, SHARIQ N, et al. Human saliva collection devices for proteomics: An update[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2016, 17(17):846.
- [17] 朱国斌. 食品风味原理与技术[M]. 北京:北京大学出版社,1996. [ZHU G B. Principles and techniques of food flavor[M]. Beijing: Beijing University Press, 1996.]
- [18] CHENG L R, XIE D Y, QIAN Q H, et al. Current food consumption in rural China and its correlation with climate from 2000-2012[J]. Health Research, 2017, 46(6):7.
- [19] 崔晓. 汗液代谢在维持机体自稳态中的角色及额叶皮层调控发汗的机制研究[D]. 广州:广州中医药大学图书馆,2015. [CUI X. The role of sweat metabolism in maintaining body auto-stasis and the mechanism of frontal cortex regulation of sweating[D]. Guangzhou: Guangzhou University of Traditional Chinese Medicine Library, 2015.]
- [20] 余龙有. 滋阴消红饮治疗肝肾阴虚型面部潮红的临床疗效观察[D]. 成都:成都中医药大学图书馆,2016. [YU L Y. Clinical efficacy of nourishing Yin and eliminating redness drink in treating facial flushing of liver and kidney yin deficiency type[D]. Chengdu: Chengdu University of Traditional Chinese Medicine Library, 2016.]
- [21] ZALEWSKA A, KOSSAKOWSKA A, TARANTA-JANUSZ K, et al. Dysfunction of salivary glands, disturbances in salivary antioxidants and increased oxidative damage in saliva of overweight and obese adolescents[J]. Journal of Clinical Medicine, 2020, 9(2):548.
- [22] 佚名. 能从口腔发现的六种严重疾病[J]. 糖尿病文摘,2015(4):39-40. [ANONYMOUS. Six serious diseases that can be detected from the oral cavity[J]. Diabetes Digest, 2015(4):39-

- 40.]
- [23] PUTNAM S K, LOPATA C, FOX J D, et al. Comparison of saliva collection methods in children with high-functioning autism spectrum Disorders: Acceptability and recovery of cortisol[J]. *Child Psychiat Hum D*, 2012, 43: 560–573.
- [24] KHURSHID Z, ZOHAIB S, NAJEEB S, et al. Human saliva collection devices for proteomics: An update[J]. *Int J Mol Sci*, 2016, 17: 846.
- [25] 王丽辉, 林传权, 杨龙, 等. 3种唾液采集方法对唾液分泌的影响[J]. *上海口腔医学*, 2015(24): 563–568. [WANG L H, LIN C Q, YANG L, et al. Effects of 3 saliva collection methods on saliva secretion[J]. *Shanghai Stomatology*, 2015(24): 563–568.]
- [26] 刘靖薇, 徐贤琦, 张仕进, 等. 基于子午流注理论的唾液时间节律变化研究[J]. *新中医*, 2017, 49(7): 127–129. [LIU J W, XU X Q, ZHANG S J, et al. Study of salivary temporal rhythm changes based on the Ziyouliujing theory[J]. *New Chinese Medicine*, 2017, 49(7): 127–129.]
- [27] 丛馨, 张艳, 俞光岩, 等. 激活辣椒素受体是调控下颌腺分泌的新途径[J]. *北京大学学报(医学版)*, 2015, 47(1): 8–12. [CONG X, ZHANG Y, YU G Y, et al. Activation of capsaicin receptors is a new way to regulate submandibular gland secretion[J]. *Journal of Peking University (Medical Edition)*, 2015, 47(1): 8–12.]
- [28] 杨泽民, 林静, 陈龙辉, 等. 酸刺激前后唾液淀粉酶活性、流率和pH值的性别差异[J]. *第二军医大学学报*, 2015, 36(8): 883–887. [YANG Z M, LIN J, CHEN L H, et al. Gender differences in salivary amylase activity, flow rate and pH before and after acid stimulation[J]. *Journal of the Second Military Medical University*, 2015, 36(8): 883–887.]
- [29] 王丽辉, 杨龙, 林传权, 等. 柠檬酸所致酸负荷对唾液分泌影响的研究[J]. *国际检验医学杂志*, 2016, 37(13): 1749–1751. [WANG L H, YANG L, LIN C Q, et al. Study on the effect of acid load due to citric acid on salivary secretion[J]. *International Journal of Laboratory Medicine*, 2016, 37(13): 1749–1751.]
- [30] GARRETT J R, EKSTRÖM J, ANDERSON L C. Neural mechanisms of salivary gland secretion[M]. Karger, 1999.