

邱慧敏, 廉嘉欣, 程巧芬, 等. 人的味觉敏感性测定方法研究进展 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(15): 401–408. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021070356

QIU Huimin, LIAN Jiaxin, CHENG Qiaofen, et al. Research Progress of Methods for Measuring Human Taste Sensitivity[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(15): 401–408. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021070356

· 专题综述 ·

人的味觉敏感性测定方法研究进展

邱慧敏¹, 廉嘉欣¹, 程巧芬², 许行新¹, 侯 帅¹, 陈 军¹, 赵 立^{1,*}

(1. 淮阴工学院生命科学与食品工程学院, 江苏淮安 223003;

2. 英国雷丁大学食品与营养科学系, 英国雷丁 RG6 6DZ)

摘 要: 味觉感知是决定人们摄食的一个重要因素。了解味觉敏感性与食物消费行为之间的关系是解决饮食性健康问题中最具创新性的策略之一, 而测量人类受试者的味觉敏感性是建立这种关系的关键。本文从味觉敏感性测定的工作原理、操作过程及应用等方面, 综述了包括心理物理测定法、生物电位测定法、菌状乳头计数法和基因分型法等国内外关于人的味觉敏感性测定的方法。心理物理测定法操作简单、容易实现, 但主观性和误差较大; 生物电位测定法减少了主观误差, 但在测定过程中需要受试者一直保持相对静止状态, 否则会影响电极稳定性; 菌状乳头计数法和基因分型法需要与其他方法并用, 此外, 基因分型法所需技术含量和成本较高。通过对以上方法的分析和评价, 为选择不同的味觉敏感性测定方法提供理论依据和指导。

关键词: 味觉敏感性, 心理物理测定法, 生物电位测定法, 菌状乳头计数法, 基因分型法

中图分类号: Q434

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)15-0401-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021070356



本文网刊:

Research Progress of Methods for Measuring Human Taste Sensitivity

QIU Huimin¹, LIAN Jiaxin¹, CHENG Qiaofen², XU Xingxin¹, HOU Shuai¹, CHEN Jun¹, ZHAO Li^{1,*}

(1. College of Life Science and Food Engineering, Huaiyin Institute of Technology, Huaian 223003, China;

2. Department of Food and Nutritional Sciences, University of Reading, Reading RG6 6DZ, UK)

Abstract: Taste perception is an important factor in determining people's food intake. Understanding the relationship between taste sensitivity and food consumption behavior is one of the most innovative strategies for solving health problems caused by diet, and measuring the taste sensitivity of human subjects is the key to establish this relationship. In this paper, from the aspects of working principle, operation process and application of taste sensitivity determination, the methods of measuring human taste sensitivity at home and abroad are summarized, including psychophysical method, biopotential method, bacterial papilla counting method and genotyping method. Psychophysical measurement method is simple to operate and easy to implement, but subjective and error are large; biopotential measurement method reduces subjective errors, but the subjects need to remain relatively static during the measurement process, otherwise it will affect the stability of the electrode; fungal papilla counting method and genotyping method need to be carried out in conjunction with other methods. In addition, the genotyping method requires high technical content and cost. Through the analysis and evaluation of the above methods, it provides a theoretical basis and guidance for selecting different taste sensitivity determination methods.

Key words: taste sensitivity; psychophysical method; biopotential method; fungal papilla counting method; genotyping method

味觉感知因人而异, 影响人们的饮食习惯^[1], 这种个体间味觉感知的差异称为味觉敏感性的不同。

早在 1997 年就有学者试图探究不同味觉敏感性的人群与甜味喜好之间的联系^[2]。尽管结果显示不同

收稿日期: 2021-08-02

基金项目: 淮阴工学院研究生科技创新计划项目 (HGYK202004); 江苏省高等学校大学生创新创业训练计划项目 (202011049038Y)。

作者简介: 邱慧敏 (1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 低盐替代品在肉制品中的应用, E-mail: 2063045260@qq.com。

* 通信作者: 赵立 (1977-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 农产品加工、贮藏和检测, E-mail: twin-li@163.com。

味觉敏感性的人对甜味喜好并无显著关联,但这种区分味觉敏感性的测定方法引起了广泛关注。研究人员证实高血压、肥胖症患者、阿尔兹海默病患者、肾脏病患者的盐摄入量与他们的味觉敏感性有显著相关性^[3-6]。Li 等^[7]通过分析不同敏感人群对各类咖啡的喜好,从而制定适合消费者群体的营销策略。近年来,由饮食引起的健康问题日益增多,相关的医疗费用数额巨大,越来越多的学术团体致力于该问题的研究。了解味觉敏感性与食物消费行为之间的关系一直被认为是最具创新性的策略之一,而测量人的味觉敏感性是建立这种关系的关键。关于人类味觉感知的研究主要集中在味觉敏感性、饮食习惯、慢性疾病以及身体健康指标如体重指数(Body Mass Index, BMI)和血压之间的广泛联系^[8]。目前对于味觉敏感性的测定方法尚没有统一的规范和标准。本文将结合国内外运用的味觉敏感性测定的方法进行综合论述。将心理物理测定法、生物电位测定法、菌状乳头计数法和基因分型法分别展开讨论,介绍其原理、测定过程及应用情况。

1 心理物理测定法

心理物理测定法是通过味觉溶液刺激人舌头产生不同的感官体验,受试者对溶液的感知强度产生差异,进而区分人的味觉敏感性。在测定味觉敏感性的众多方法中,基于心理物理法的有阈值法和 6-n-丙基硫脲嘧啶(6-n-propylthiouracil, PROP)溶液测定法。心理物理测定法受人的主观因素影响很大,因此在测定人的味觉敏感性之前,要尽量排除具有味觉或嗅觉功能障碍、吸烟、有重大疾病、正在服用药物的个体。女性若处在生理期,则应在生理期开始后第六天接受测试,以免激素不稳定影响味觉敏感性。测试前应禁止饮食或服用口腔护理产品,并且在测定之前通常要对受试者进行味觉训练^[9]。

1.1 阈值法

在对味觉阈值评估过程中,主要考察察觉阈和识别阈。GB/T 12312-2012《感官分析味觉敏感度的测定方法》中给出了明确定义:察觉阈—引起感觉所需要的感官刺激的最小值;识别阈—感知到的可以对感觉加以识别的感官刺激的最小值^[10]。Keast 等^[11]以图的形式清晰地表明了溶液浓度与察觉阈和识别阈之间的关系(图 1)。左轴的一侧表示溶液从 0 mol/L 到饱和的化学浓度,另一侧表示不同感知强度。右轴代表通用标签量值刻度尺(general labeled magnitude scale, gLMS),刻度尺上列出了从无味觉感知到感知最高强度的值。受试者根据自身对溶液的感知在 gLMS 上相应位置标记强度,而得到相应的量化数值。

阈值法测定味觉敏感性的过程如下。设置 10 个浓度依次递增(0.025~0.4 mol/L)的待测溶液(NaCl 溶液),以等体积的蒸馏水为对照组。受试者依次将样品含在口中停留几秒品尝其味道,直到能感觉出味道差异,将该溶液浓度记为察觉阈。继续品

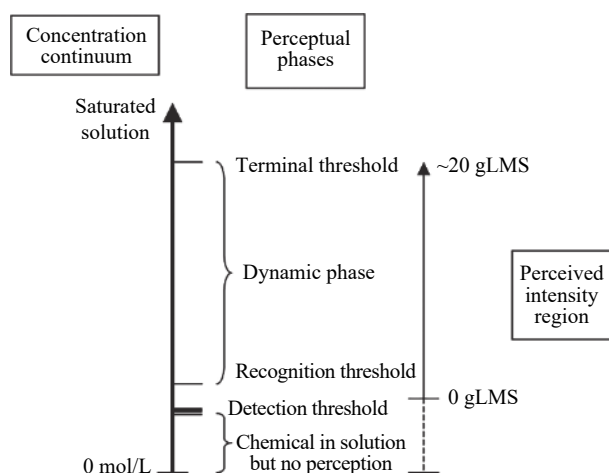


图 1 溶液浓度与阈值的关系^[11]

Fig.1 Relationship between solution concentration and threshold^[11]

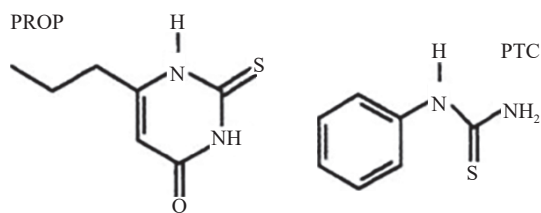
尝,直到能准确描述样品味道,将该浓度记为识别阈。察觉阈值和识别阈值越大表明受试者味觉敏感性越弱,阈值越小表明受试者味觉敏感性越强^[12-15]。

另外一种阈值测定方法是三点选配法(three-alternative forced-choice, 3-AFC),在 GB/T 22366-2008《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》中提到可以通过三点选配法确定察觉阈^[16]。三点选配法检验是将三个样品提供给受试者,其中一个含有已知刺激物的待测样品,另外两个是盛有蒸馏水的参比样品,受试者需要通过品尝,从三个样品中找出待测样品。一般将待测样品进行滋味稀释分析(Taste Dilution Analysis, TDA),设置几个浓度梯度的溶液,利用三点选配法确定受试者的察觉阈值。张启东等^[17]通过三点选配法测定初烤烟叶提取物中关键甜味成分的味觉阈值,从而对比甜味成分的甜度。

Bartoshuk 等^[14]通过阈值法对 220 名参与者味觉敏感性进行测定,其结果显示,35 名受试者味觉不敏感,123 名受试者中度敏感,62 名受试者高度敏感。Chang 等^[15]选用浓度范围为 $3.2 \times 10^{-6} \sim 1.0 \times 10^{-2}$ mol/L 的 PTC 和 $1.0 \times 10^{-6} \sim 0.32 \times 10^{-2}$ mol/L 的 PROP 溶液。结果显示,不敏感者、中等敏感者和超级敏感者的比例分别为 13%、70% 和 17%。Xue 等^[12]的一项研究表明,冠心病患者的盐味检测阈值和识别阈值均高于正常人,并提出盐味识别阈值高的人患冠心病的风险更大。盐味阈值的测定可作为一种有效的方法来评估钠的摄入量^[18-20]。

1.2 PROP 溶液测定法

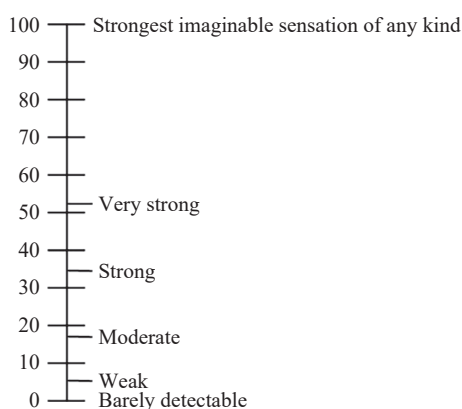
6-n-丙基硫脲嘧啶(PROP)和苯硫脲(phenylthiocarbamide, PTC)是一类被称为硫脲的苦味化合物,由于其分子结构中含有 N-C=S 基团而使化合物具有苦味(图 2)^[21]。大量研究证实 PROP 和 PTC 的苦味感知强度在个体间的差异受基因控制,而且与种族、性别、年龄相关^[6,22-24]。就口腔对不同味觉物质(如苦味、甜味、辣味和脂肪)的感知强度来说,与

图 2 PROP 和 PTC 杂环结构^[30]Fig.2 PROP and PTC heterocyclic structure^[30]

PROP 味觉不敏感者相比, PROP 味觉敏感者(中等和超级敏感者)能感觉到更强烈的味道^[25-28]。受试者对苦味化合物 PROP 的苦味感知强度差异被认为是个体间味觉差异的标志^[29]。因此,将对 PROP 的味觉敏感性测定作为评判人的味觉敏感性的重要手段。PTC 存在阈值灵敏度低、具有硫磺气味、毒性大等缺点^[9,22]。相比之下, PROP 具有更高的安全性,因此得到了广泛应用。

PROP 溶液测定法是基于个体对 PROP 的苦味感知强度不同来区分味觉敏感性的一种方法。PROP 溶液测定法包括三溶液测定法、单溶液测定法和浸渍纸筛选法。三溶液测定法是分别设置三种浓度的 PROP 溶液和参照溶液,单溶液测定法和浸渍纸筛选法是设置一个浓度的 PROP 溶液和参照溶液。由于 NaCl 的味觉感知强度不会改变受试者的 PROP 味觉感知状态,故通常将 NaCl 溶液作为参照溶液^[31]。

在三溶液测定法中 PROP 溶液的浓度分别为 0.032、0.32、3.2 mmol/L, NaCl 溶液浓度为 0.01、0.1、1 mol/L。图 3 所示的 gLMS 是一个具有标签描述的准对数量值刻度尺,0 表示几乎无法感觉到的强度,100 表示人的味觉感知到的最大强度。并且从下到上标有“没有感觉”、“几乎感觉不到”、“微弱”、“中等”、“强”、“非常强”、“强的难以想象”等描述词^[32]。受试者在 gLMS 上标出品尝到的每个样品的味觉强度。通过统计分析 gLMS 上的得分值,比较判定人群味觉敏感性。若 0.32 和 3.2 mmol/L PROP 溶液的评分值显著高于 0.1 和 1 mol/L NaCl 溶液($P<0.05$)则称为“超级敏感者”(Super-taster, ST);若

图 3 gLMS^[32]Fig.3 General labeled magnitude scale^[32]

0.32 和 3.2 mmol/L PROP 溶液的评分值和 0.1 和 1 mol/L NaCl 溶液差异不显著($P>0.05$)或两个浓度中仅有一个 PROP 溶液浓度评分值显著高于 NaCl 溶液($P<0.05$)则称为“中度敏感者”(Medium-taster, MT);若 0.32 和 3.2 mmol/L PROP 溶液的评分值显著低于 0.1 和 1 mol/L NaCl 溶液则称为“不敏感者”(Non-taster, NT)。

通过三溶液测试,大量数据表明中度味觉敏感人群所占的比重最高,不同味觉敏感人群的测试差异主要集中在 PROP 和 NaCl 两种较高浓度(0.32、0.1 mol/L 和 3.2、1.0 mol/L)的溶液之间的评分差异^[33-35]。

单溶液测定法只需测定一种浓度的 PROP (0.32 mmol/L)和 NaCl(0.1 mol/L)溶液,利用 gLMS 评分值鉴定味觉敏感性。单溶液试验的受试者通过临界值进行独立分类,该临界值通过计算不敏感者、中度敏感者和超级敏感者对 PROP 感知强度的 95% 置信区间所得。Tepper 等^[31]的一项试验数据表明,高度味觉敏感者的 PROP 评分范围为大于 51,在 gLMS 上相当于“非常强”的范围;味觉不敏感者的 PROP 评分一般小于 15.5,大约在 gLMS “中等”位置;评分在 15.5~51 之间是中度味觉敏感者。Dinnella 等^[34]根据 Fischer 等^[35]和 Hayes 等^[36]的方法,将受试者分为高度味觉敏感者(PROP 的 gLMS 评分值 >53),中度味觉敏感者($17<\text{PROP 的 gLMS 评分值}<53$)和味觉不敏感者(PROP 的 gLMS 评分值 <17)。

浸渍纸筛选法是借助滤纸片吸附 PROP 溶液和 NaCl 溶液,放置在舌头上感知味觉强度,通过个体间 gLMS 的评分值差异来区分味觉敏感性的一种心理物理测定法。与三溶液测定法和单溶液测定法相比,滤纸片浸渍法所用的 PROP 溶液浓度更大,通常选用的 PROP 浓度为 50 mmol/L^[37]。

浸渍纸筛选法检测过程如下:将一个直径为 1.5 cm 的圆形滤纸片放置在浓度为 50 mmol/L 的 PROP 溶液中,用 0.5 cm 左右的硅胶管分隔开,浸泡 30 s 后取出,去除多余的 PROP 溶液,121 °C 下烘干 1 h。同样的方法制备 1.0 mol/L NaCl 溶液滤纸片,将未浸渍的纸片作为空白对照,所有制备好的滤纸片在室温下单独存放于密封塑料袋中。测试时,将纸片放在舌尖上直到唾液完全浸湿,然后吐出。在此过程中受试者将感受到的味觉强度标记在 gLMS 上。通过此实验方法,味觉不敏感者的 PROP 评分值小于 15 而 NaCl 评分值较大,两者分值差距一般为 30 左右。高度味觉敏感的人 PROP 评分值一般大于 67,而 NaCl 评分值较小,中等味觉敏感者评分值介于 15~67 之间,PROP 评分值和 NaCl 评分值相近^[37-38]。这与单溶液试验结果大致相同但略有差异,高度味觉敏感者的 PROP 评分值相对较大。

浸渍纸筛选法与单溶液测定法类似,都是借助三溶液法作为参考,推测不同敏感人群的浓度范围。

但是浸渍纸筛选法的一个弊端是使用的溶液浓度较高, 已知在高浓度下 NaCl 会影响三叉神经产生刺激, 这种刺激对 PROP 高度敏感者来说更为明显, 导致高度敏感者对 NaCl 的感知强度高于其他受试者, 从而影响判定结果的准确性^[38]。

Alessandra 等^[33]对 75 人的测定结果显示, 27% 的受试者味觉不敏感, 37% 的受试者中度敏感, 36% 的受试者处于高度敏感状态。Sollai 等^[39]用三溶液法测定了 35 人的味觉敏感性, 有 12 人(34.29%)是味觉不敏感者, 13 人(37.14%)是中等味觉灵敏者, 另外 10 人(28.57%)是味觉高度敏感者。PROP 溶液测定法操作简单、容易实现, 但在实际的操作过程中容易产生主观评估和测量误差, 该误差可能占表型方差的 20%^[40]。澳大利亚研究人员通过 PROP 溶液测定法, 发现味觉敏感性高的人对茶偏好度高, 而对咖啡和酒精的偏好度较低^[23]。PROP 味觉敏感性高的人更偏好清淡食物, 对高脂食品、辣味食品和苦味食品等接受性较低^[23]。PROP 感知特性被认为是衡量人类食物选择和营养健康的重要指标, 常被用于食物偏好和营养健康等相关研究^[41]。

2 生物电位测定法

生物电位测定法通过电生理记录直接测量人的舌表面受味觉刺激反应的信号强度, 该信号强度反映了人对味觉刺激物的敏感度。人的味觉细胞对刺激物的感知强弱不同, 记录的信号呈现出不同的波形。Sollai 等^[42]发现 PROP 溶液刺激人的舌头会使细胞膜内外电位差减小, 代表了味觉细胞的去极化。去极化幅度和速率与受试者的 PROP 苦味感知强度相关, 味觉敏感性强的受试者测得的振幅值和去极化率大, 味觉敏感性弱的受试者测得的振幅值和去极化率小。

生物电位测定法所用的设备是由三个电极组成的多导生理记录仪(图 4)。其中一个电极放在舌头表面, 用来感知味觉溶液。该电极底部是一个 13 μm 厚的聚酰亚胺薄膜, 在其上方利用高真空蒸发技术

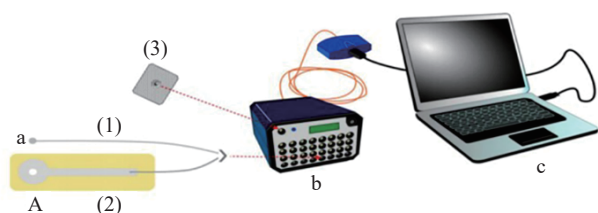


图 4 电生理记录测量系统分布图^[42]

Fig.4 Distribution of electrophysiological recording and measuring system^[42]

注: a 包含(1)(2)两个电极, (1)电极是位于舌腹侧的第二终端电极, (2)电极是置于舌头表面的电极, 该电极包含由聚酰亚胺薄膜(黄色部分)、银膜、位于电极两侧的生物相容材料——聚对二苯 C(A)以及用于在舌头表面感受味觉刺激的白色小孔。(3)是固体水凝胶电极。b 是一个用于人的多导生理记录仪及其 USB 光纤适配器, 连接到 PC 端(c)用于记录和处理数据。

镀一层厚度为 100 nm 的银膜, 并且在电极两侧覆盖一层绝缘的生物相容性材料——聚对二甲苯 C 薄膜(2 μm 厚), 除去远端 A 的圆形区域, 该区域是与舌头接触的部分。第二个电极仅由一根银丝组成, 为获得良好的电接触, 其远端卷起一个直径为 5 mm 的小球放在舌头腹侧, 作为第二个终端用于差分测量。第三个电极由固体水凝胶组成, 置于受试者左脸颊, 该电极处于电中性状态。图 5 是电生理记录仪传感器在人舌上的连接示意图。目前大多使用的记录设备是一个 32 通道 Porti7 便携式生理测量系统, 它是一个独立认证的 IIa 类医疗设备, 用一个光纤连接到 PC 端, 光纤的作用是提高安全性和降低主电源噪音。在利用生物电位法进行测定时, 将一滴 PROP 溶液(30 μL , 3.2 mmol/L)通过电极孔, 滴到贴在舌背表面的滤纸片上, 从而诱导味觉细胞去极化。仪器将生理信号转换成电信号, 通过 PC 端接收生物电位值。电位值变化越大表明味觉敏感性越强^[42]。

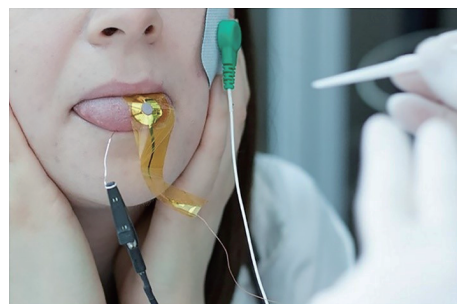


图 5 受试者电生理测量过程^[9]

Fig.5 Electrophysiological measurement process of subjects^[9]
注: 图中(1)电极在舌头下方, (2)电极在舌头上, (3)粘合电极位于左脸颊。

由于该方法不需要受试者做出主观的判断, 仅借助电信号客观的评判感知强度, 因此减少了主观误差。但在操作过程中受试者需要一直保持相对静止状态, 否则会影响电极稳定性。此外, 该方法所需仪器价格较高, 对实验条件有较高要求。Pani 等^[9]通过生物电位法测定味觉敏感性研究中表明, 当只区别 ST 和 NT 时, 准确率高达 94%, 而加入 MT 时准确率为 80%。研究表明, 舌表面电位(the lingual surface potential, LSP)的变化与盐味强度之间有较强的相关性。LSP 可能是参与人类盐味信号转导系统的一个组成部分, 在探究人的咸味感知机理方面发挥着重要作用^[43]。

3 菌状乳头计数法

菌状乳头(Fungiform Papilla)是位于人舌背部粘膜上的淡红色的小突起, 受味觉神经和三叉神经支配, 并携带人体接受味觉感受器的味蕾细胞, 是用来检测和传递口腔化学感觉刺激的主要结构^[44]。个体在味蕾数量上存在显著差异, 导致不同的个体对味觉刺激的感知强度不同^[45]。研究表明, PROP 苦味感知能力、生物电位变化率和振幅与菌状乳头密度呈正相关, 味觉不敏感者的菌状乳头密度最低, 而味觉高

度敏感者密度最高^[14,46-48], 人的菌状乳头密度平均值为 171.2 ± 4.1 个/ cm^2 ^[38,49-51]。因此, 大量研究人员通过对受试者舌表面的菌状乳头计数的方法鉴定味觉敏感性。

在进行菌状乳头计数法测定时, 受试者舌尖左前侧用滤纸将唾液轻轻吸干, 将一个直径为 6 mm 的滤纸片放在舌头上停留 3 s, 然后用蓝色食用色素(如 E133)对该区域进行染色。用超过 1000 万像素的相机, 光学变焦 21 倍拍摄照片。以每平方厘米的个数为单位, 对染色区域内的菌状乳头进行计数^[52-53]。

菌状乳头计数法根据人的表型特征鉴定味觉敏感性, 但人的味觉敏感性除了跟遗传特性相关, 还跟性别、年龄等因素相关, 单纯用该方法鉴定味觉敏感性过于片面, 可以与其他方法并用。Zhou 等^[54]表明较高的菌状乳头密度与较高的脂肪酸味觉敏感性和较高的口腔触觉敏感性显著相关。由此可见, 菌状乳头计数法在味觉以及口腔触觉等相关研究上有重要作用。

4 基因分型法

味觉是人们选择进食的一个重要因素^[55], 不同个体对同一种食物的味觉感知能力不同, 这不仅取决于社会和文化因素, 还与人的遗传因素有关。正如前面所述, PROP 的苦味感知强度被用来区分人们的味觉感知能力, 而这种感知 PROP 苦味的能力是一种常见的遗传特性, 在全球范围的人群中都存在^[52]。

过去研究发现, 味觉能力差异的遗传基础主要是 *TAS2R38* 基因的等位基因多样性^[56]。该基因编码 *TAS2R38* 受体, 该受体特异性结合化合物中的苦味硫脲物质, 如 6-n-丙基硫脲嘧啶 (PROP) 及其相关化合物苯硫脲 (PTC)。*TAS2R38* 基因座的等位基因多样性是由于三个单核苷酸多态性 (SNP) 导致的三个氨基酸替换 (Pro49Ala、Ala262Val 和 Val296Ile), 这三个氨基酸替换产生了两种常见的单倍型: 显性敏感变异型 PAV 和隐性不敏感变异型 AVI^[56]。还发现了三种罕见的单倍型 (AAV、AAI、PVI 和 PAI), 但仅限于特定群体^[57]。不敏感者是 AVI 单倍型纯合子, 敏感者当中根据 PAV 单倍型的不同, 味觉感知强度也不同。通过线性相关分析方法分析基因型和表型之间的比例关系, 发现高度味觉敏感者中基因型大多为 PAV/PAV (40%) 和 PAV/AVI (60%) 双倍型以及 PAV 单倍型 (70%), 中等味觉敏感者大多为 PAV/AVI 双倍型 (93.33%), 味觉不敏感者大多为 AVI/AVI 双倍型 (84.62%) 和 AVI 单倍型 (92.31%)^[35,55]。

然而, 单纯依靠 *TAS2R38* 基因型不能完全区分 PROP 表型之间的口腔感觉差异, 尤其是中等和高度味觉敏感者之间的差异^[58]。相关研究表明, PROP 表型差异还可能与菌状乳头密度和唾液成分相关^[59-60]。与菌状乳头密度相关的是 *gustin* 基因, 也称为碳酸酐酶 VI (CA6) 中的多态性 rs2274333 (A/G)。*gustin* 基因编码的蛋白质分子量为 42 kDa, 由腮腺、下颌腺

和舌后腺分泌^[61], 是一种促进味蕾发育的营养因子^[62], 其多态性是由蛋白质序列中 Ser90Gly 位置的氨基酸替换导致。GG 基因型个体的菌状乳头密度值低于 AG 和 AA 基因型的个体 ($P \leq 0.0379$; Newman-Keuls 检验)。菌状乳头密度在 AA 和 AG 个体间无显著性差异 ($P > 0.05$)。PROP 高度味觉敏感者大多是 *gustin* 基因的 A 等位基因纯合子, 并且其菌状乳头密度较高, 而 PROP 不敏感者大多是 G 等位基因纯合子, 其菌状乳头密度较低^[41,57]。

采用多元线性回归法评估 *gustin* 基因和 *TAS2R38* 基因多态性对 PROP 味觉感知、菌状乳头密度的关系, 结果表明, 在苦味强度较高的情况下, *gustin* 基因和 *TAS2R38* 基因多态性是鉴定个体味觉敏感性的显著因素, 其中 *TAS2R38* 基因多态性显著性最高, *gustin* 基因与菌状乳头密度密切相关^[52]。

基因分型法测定人的味觉敏感性实验通过采集受试者唾液样本进行分子生物学分析, 从唾液样本中提取 DNA, 并将纯化后的 DNA 浓度在 OD₂₆₀ (optical density 260) 处测定。根据 Barbarossa 等^[63]的实验方法, 用 PCR 技术扩增包括多态性 rs2274333 的 *gustin* 基因区和 *TAS2R38* 位点上包含三个目标 SNP 的两个短区。测序后通过软件分析核苷酸和推导的氨基酸序列, 确定基因型 (AAV、AAI、PVI 和 PAI), 以此判定受试者的味觉敏感性。

基因分型法通过分子生物学手段, 避免了主观性和不稳定性, 也不需要受试者有较高要求。但实施该方法需要具备较高的技术含量, 所需成本较高。

5 结语

现如今, 由饮食引起的健康问题层出不穷, 人的味觉敏感性是影响人们饮食行为的一个重要因素。致力于健康饮食的研究可以从味觉敏感性入手。通过测定人的味觉敏感性还可以了解消费者喜好, 从而制定适合消费者群体的营销策略。目前对于味觉敏感性的测定方法尚缺少统一的规范和标准。本文概述了几种人类味觉敏感性测定的方法, 包括心理物理测定法、生物电位测定法、菌状乳头计数法和基因分型法。心理物理测定法操作简单、容易实现, 但依靠受试者主观的评判味觉强度, 其主观性和误差较大。生物电位测定法是刺激物作用于舌表面产生的生物信号转变成电信号, 依靠电位差反映受试者对刺激物的感知强度, 从而鉴定味觉敏感性。与心理物理测定法相比, 该方法不受人的主观意识的影响, 少了主观误差, 具有较高准确性。但在操作过程中受试者需要一直保持相对静止状态, 否则会影响电极稳定性。菌状乳头计数法依靠人味觉遗传的表型特征, 但人的味觉敏感性除了跟遗传特性相关, 还跟性别、年龄等因素相关, 单纯用该方法鉴定味觉敏感性过于片面, 可以与其他方法并用。基因分型法借助分子生物学手段, 避免了心理物理测定法的主观性和不稳定性, 相比生物电位测定法不需要受试者有较高要求, 但实

施该方法需要具备较高的技术含量和较高成本,要准确测定味觉敏感性也可以跟其他方法并用。综合各方法的利弊,试验人员可根据实验室条件和实验要求选择合适的检测方法,为确保试验的准确性,建议采取多种方法并用的策略。目前与味觉相关的研究较少,对于部分味觉的感知机理和味觉相互作用的机理尚不明确,而味觉敏感性测定将作为一种研究方法在未来的研究中发挥重要作用。

参考文献

- [1] TEPPER B J. Nutritional implications of genetic taste variation: The role of PROP sensitivity and other taste phenotypes[J]. *Annual Review of Nutrition*, 2008, 28: 367–388.
- [2] DREWONOWSKI A, HENDERSON S A, SHORE A B, et al. Nontasters, tasters and supertasters of 6-n-propylthiouracil (PROP) and hedonic response to sweet[J]. *Physiology and Behavior*, 1997, 62(3): 649–655.
- [3] 郎红梅,游志清,程莹,等.肥胖与摄盐量的关系研究[J].重庆医科大学学报,2020,45(3):411–414. [LANG H M, YOU Z Q, CHENG Y, et al. Correlation between obesity and salt intake[J]. *Journal of Chongqing Medical University*, 2020, 45(3): 411–414.]
- [4] 张冠龙.味觉敏感性对高血压患者摄盐量及心脏损伤的影响研究[J].*航空航天医学杂志*,2020,31(2):150–151. [ZHANG G L. The effect of taste sensitivity on salt intake and heart damage in patients with hypertension[J]. *Journal of Aerospace Medicine*, 2020, 31(2): 150–151.]
- [5] CONTRI-DEGIOVANNI P V, DEGIOVANNI G C, FERRI-OLLI E, et al. Impact of the severity of dementia due to Alzheimer's disease on the gustatory sensitivity of older persons[J]. *Aging Clinical and Experimental Research*, 2020, 32(11): 1–7.
- [6] 张红梅,叶星星,常立阳,等.慢性肾脏病患者盐味觉敏感性现状及影响因素[J].*中华护理杂志*,2019,54(4):516–519. [ZHANG H M, YE X X, CHANG L Y, et al. Salt taste sensitivity and its influencing factors in patients with chronic kidney disease[J]. *Chinese Journal of Nursing*, 2019, 54(4): 516–519.]
- [7] LI J, STRELETSKAYA N A, GOMEZ M I. Does taste sensitivity matter? The effect of coffee sensory tasting information and taste sensitivity on consumer preferences[J]. *Food Quality and Preference*, 2019, 71: 447–451.
- [8] CHAMOUN E, LIU-ANGEL A S, DUISER-LISA M, et al. Taste sensitivity and taste preference measures are correlated in healthy young adults[J]. *Chemical Senses*, 2019, 44(2): 129–134.
- [9] PANI D, USAI I, COSCEDDU P, et al. An automated system for the objective evaluation of human gustatory sensitivity using tongue biopotential recordings[J]. *Plos One*, 2017, 12(8): 177–246.
- [10] 中华人民共和国农业部. GB/T 12312-2012 感官分析 味觉敏感度的测定方法[S]. 北京: 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, 2012: 1–2. [Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. GB/T 12312-2012 Sensory analysis-Method of investigating sensitivity of taste[S]. Beijing: General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, China National Standardization Management Committee, 2012: 1–2.]
- [11] KEAST R S J, ROPER J. A complex relationship among chemical concentration, detection threshold, and suprathreshold intensity of bitter compounds[J]. *Chemical Senses*, 2007, 32: 245–253.
- [12] XUE Y Z, WEN Q, XU C M, et al. Elevated salt taste threshold is associated with increased risk of coronary heart disease[J]. *Journal of Cardiovascular Translational Research*, 2020, 13: 1016–1023.
- [13] LAWLESS H. A comparison of different methods used to assess sensitivity to the taste of phenylthiocarbamide (PTC)[J]. *Chemical Senses*, 1980, 5: 247–56.
- [14] BARTOSHUK L M, DUFFY V B, MILLER I J. PTC/PROP tasting: Anatomy, psychophysics, and sex effects[J]. *Physiology Behavior*, 1994, 56(11): 55–71.
- [15] CHANG W I, CHUNG J W, KIM Y K, et al. The relationship between phenylthiocarbamide (PTC) and 6-n-propylthiouracil (PROP) taster status and taste thresholds for sucrose and quinine[J]. *Archives of Oral Biology*, 2006, 51: 427–432.
- [16] 中国标准化研究院. GB/T 22366-2008 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[S]. 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, 2002. [China National Institute of Standardization. GB/T 22366-2008 Sensory analysis-Methodology-General guidance for measuring odour, flavour and taste detection thresholds by a three-alternative forced-choice (3-AFC) procedure[S]. General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, China National Standardization Management Committee, 2002.]
- [17] 张启东,刘俊辉,张文娟,等.初烤烟叶提取物中关键甜味成分的感官导向分析[J].*烟草科技*,2016,49(6):58–64. [ZHANG Q D, LIU J H, ZHANG W J, et al. Sensory-oriented analysis of key sweet taste components in cured tobacco extract[J]. *Tobacco Science and Technology*, 2016, 49(6): 58–64.]
- [18] YANG W G, CHEN C B, WANG Z X, et al. A case-control study on the relationship between salt intake and salty taste and risk of gastric cancer[J]. *World Journal of Gastroenterology*, 2011, 17(15): 2049–2053.
- [19] PIOVESANA-PDE M, SAMPAIO-KDE L, GALLANI M C. Association between taste sensitivity and self-reported and objective measures of salt intake among hypertensive and normotensive individuals[J]. *ISRN Nutrition*, 2013, 2013: 301213.
- [20] AZINGE E C, SOFOLA O A, SILVA B O. Relationship between salt intake, salt-taste threshold and blood pressure in Nigerians[J]. *West African Journal of Medicine*, 2011, 30(5): 373–376.
- [21] MELIS M, ARCA M, MARIA C A, et al. Dose-dependent effects of L-arginine on PROP bitterness intensity and latency and characteristics of the chemical interaction between PROP and L-arginine[J]. *Plos One*, 2015, 10(6): e0131104.
- [22] FOX A L. The relationship between chemical constitution and taste[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1932, 18(1): 15–20.
- [23] BUFE B, BRESLIN P A S, KUHN C, et al. The molecular basis of individual differences in phenylthiocarbamide and propylthiouracil bitterness perception[J]. *Current Biology*, 2005, 15(4): 322–327.

- [24] MENNELLA J A, PEPINO M Y, DUKE F F, et al. Age modifies the genotype-phenotype relationship for the bitter receptor TAS2R38[J]. *BMC Genetics*, 2010, 11: 60–69.
- [25] GAYATHRI DEVI A, HENDERSON S A, DREWNOWSKI A. Sensory acceptance of Japanese green tea and soy products is linked to genetic sensitivity to 6-n-propylthiouracil[J]. *Nutrition and Cancer-An Interntional Journal*, 1997, 29: 146–151.
- [26] GENT J F, BARTOSHUK L M. Sweetness of sucrose, neohesperidindihydrochalcone, and saccharin is related to genetic ability to taste the bitter substance 6-n-propylthiouracil[J]. *Chemical Senses*, 1983, 7(2): 65–72.
- [27] KARRER T, BARTOSHUK L. Capsaicin desensitization and recovery on the human tongue[J]. *Physiology and Behaviour*, 1991, 49(7): 57–64.
- [28] TEPPER B J, NURSE R J. PROP taster status is related to the perception and preference for fat[J]. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1998, 855(80): 2–4.
- [29] TEPPER B, BANNA S, MELIS M, et al. Genetic sensitivity to the bitter taste of 6-n-propylthiouracil (PROP) and its association with physiological mechanisms controlling body mass index (BMI)[J]. *Nutrients*, 2014, 6(9): 3363–3381.
- [30] LAWLESS H T, HEYMANN H. Physiological and psychological foundations of sensory function[M]. Springer US: Sensory Evaluation of Food, 1999: 19–56.
- [31] TEPPER B J, CHRISTENSEN C M, CAO J. Development of brief methods to classify individuals by PROP taster status[J]. *Physiology and Behaviour*, 2001, 73: 571–577.
- [32] GREEN B G, DALTON P, COWART B, et al. Evaluating the ‘labeled magnitude scale’ for measuring sensations of taste and smell[J]. *Chemical Senses*, 1996, 21: 323–334.
- [33] ALESSANDRA P, ANDREA Z, ELENA A, et al. Sensitivity to 6-n-propylthiouracil is associated with gustin (carbonic anhydrase VI) gene polymorphism, salivary zinc, and body mass index in humans[J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2010, 92(5): 39–45.
- [34] DINNELLA C, MONTELEONE E, PIOCHI M, et al. Individual variation in PROP status, fungiform papillae density, and responsiveness to taste stimuli in a large population sample[J]. *Chemical Senses*, 2018, 43(9): 697–710.
- [35] FISCHER M E, CRUICKSHANKS K J, SCHUBERT C R, et al. Factors related to fungiform papillae density: The beaver dam offspring study[J]. *Chemical Senses*, 2013, 38(8): 669–677.
- [36] HAYES J E, SULLIVAN B S, DUFFY V B. Explaining variability in sodium intake through oral sensory phenotype, salt sensation and liking[J]. *Physiology and Behavior*, 2010, 100(4): 369–380.
- [37] ZHAO L Q, KIRKMEYER S V, TEPPER B J. A paper screening test to assess genetic taste sensitivity to 6-n-propylthiouracil[J]. *Physiology and Behavior*, 2003, 78: 625–633.
- [38] GREEN B G, GELHARD B. Salt as an oral irritant[J]. *Chemical Senses*, 1989, 14(2): 59–71.
- [39] SOLLAI G, MELIS M, MASTINU M, et al. Human tongue electrophysiological response to oleic acid and its associations with PROP taster status and the CD36 polymorphism (rs1761667)[J]. *Nutrients*, 2019, 11(2): 315–331.
- [40] GENICK U K, KUTALIK Z, LEDDA M, et al. Sensitivity of genome wide-association signals to phenotyping strategy: The PROP-TAS2R38 taste association as a bench mark[J]. *Plos One*, 2011, 6(11): e27745.
- [41] 王哲, 钟葵, 赵镭, 等. 中国消费者苦味敏感度及与味觉喜好关联性[J]. *食品工业*, 2020, 41(12): 181–185. [WANG Z, ZHONG K, ZHAO L, et al. Characteristics of PROP intensity taste and relationship with taste hedonic within Chinese consumer[J]. *Food Industry*, 2020, 41(12): 181–185.]
- [42] SOLLAI G, MELIS M, PANI D, et al. First objective evaluation of taste sensitivity to 6-n-propylthiouracil (PROP), a paradigm gustatory stimulus in humans[J]. *Scientific Reports*, 2017, 7: 40353.
- [43] FELDMAN G M, HECK G L, SMITH N L. Human salt taste and the lingual surface potential correlate[J]. *Chemical Senses*, 2009, 34: 373–382.
- [44] MISTRETTA C M, LIU H X. Development of fungiform papillae: Patterned lingual gustatory organs[J]. *Archives of Histology and Cytology*, 2006, 96(4): 199–208.
- [45] WITT M, REUTTER K. Anatomy of the tongue and taste buds[M]. Third Edition. Handbook of Olfaction and Gustation: John Wiley and Sons, 2015: 637–664.
- [46] TEPPER B J, NURSE R J. Fat perception is related to PROP taster status[J]. *Physiology and Behaviour*, 1997, 61(9): 49–54.
- [47] ESSICK G K, CHOPRA A, GUEST S, et al. Lingual tactile acuity, taste perception, and the density and diameter of fungiform papillae in female subjects[J]. *Physiological Behaviour*, 2003, 80: 289–302.
- [48] YACKINOUS C A, GUINARD J X. Relation between PROP taster status and fat perception, touch, and olfaction[J]. *Physiological Behaviour*, 2001, 72(4): 27–37.
- [49] PIOCHIA M, PIERGUIDI L, TORRI L, et al. Individual variation in fungiform papillae density with different sizes and relevant associations with responsiveness to oral stimuli[J]. *Food Quality and Preference*, 2019, 78: 103729.
- [50] BAKKE A J. Effects of bitterness, roughness, PROP taster status, and fungiform papillae density on bread acceptance[D]. 2010: 317–325.
- [51] PIOCHI M, DINNELLA C, PRESCOTT J, et al. Associations between human fungiform papillae and responsiveness to oral stimuli: Effects of individual variability, population characteristics, and methods for papillae quantification[J]. *Chemical Senses*, 2018, 43(5): 313–327.
- [52] MELIS M, ATZORI E, CABRAS S, et al. The *gustin* (CA6) gene polymorphism, rs2274333 (A/G), as a mechanistic link between PROP tasting and fungiform taste papilla density and maintenance[J]. *Plos One*, 2013, 8(9): e74151.
- [53] MARYAM S, IAN H, DAVID G L, et al. Rapid quantitative assessment of fungiform papillae density in the human tongue[J]. *Brain Research*, 2005, 10(52): 196–201.
- [54] ZHOU X R, YEOMANS M, THOMAS A, et al. Individual differences in oral tactile sensitivity and gustatory fatty acid sensitiv-

ity and their relationship with fungiform papillae density, mouth behaviour and texture perception of a food model varying in fat[J]. [Food Quality and Preference](#), 2021, 90: 104116.

[55] GUO S W, REED D R. The genetics of phenylthiocarbamide perception[J]. *Annals of Human Biology*, 2001, 28(1): 11–42.

[56] KIM U K, JORGENSEN E, COON H, et al. Positional cloning of the human quantitative trait locus underlying taste sensitivity to phenylthiocarbamide[J]. *Science*, 2003, 299(122): 1–5.

[57] WOODING S, KIM U K, BAMSHAD M J, et al. Natural selection and molecular evolution in PTC, a bitter-taste receptor gene[J]. *American Journal Human Genetics*, 2004(74): 637–646.

[58] HAYES J E, BARTOSHUK L M, KIDD J R, et al. Supertasting and PROP bitterness depends on more than the *TAS2R38* gene[J]. *Chemical Senses*, 2008, 33(2): 55–65.

[59] YEOMANS M R, PRESCOTT J, GOULD N J. Acquired hedonic and sensory characteristics of odours: Influence of sweet liker and propylthiouracil taster status[J]. *Quarterly Journal of Experimental Psychology (Hove)*, 2009, 62(16): 48–64.

[60] MELIS M, ARAGONI M C, ARCA M, et al. Marked increase in PROP taste responsiveness following oral supplementation with selected salivary proteins or their related free amino acids[J]. [Plos One](#), 2013, 8(3): e59810.

[61] PIRAS M, TANDLER B, BARBAROSSA I T, et al. Immunogold labeling of carbonic anhydrase isozyme (CA-VI) in secretory granules of human parotid glands[J]. *Acta Histochem*, 2012, 114(40): 6–8.

[62] HENKIN R I, MARTIN B M, AGARWAL R P. Efficacy of exogenous oral zinc in treatment of patients with carbonic anhydrase VI deficiency[J]. [American Journal of the Medical Science](#), 1999, 318(6): 392–405.

[63] BARBAROSSA I T, MELIS M, MATTES M Z, et al. The gustin (CA6) gene polymorphism, rs2274333 (A/G), is associated with fungiform papilla density, whereas PROP bitterness is mostly due to TAS2R38 in an ethnically-mixed population[J]. [Physiology and Behavior](#), 2015, 138: 6–12.