

唾液组成与味觉感知的生理相关性研究进展

王敏¹, 于雪宁¹, 安琦¹, 杨会心^{1,2}, 袁玥¹, 盖圣美¹, 韩天龙^{1,2}, 刘登勇^{1*}

¹渤海大学食品科学与工程学院 辽宁锦州 121013

²辽宁喀左山猪科技小院 辽宁朝阳 122305

摘要 食品口腔加工及味觉感知机理是近年来食品营养与健康领域的研究热门,它主要以食品与口腔的相互作用为基础,以多学科交叉方法来研究食品在口腔加工过程中的结构与理化性质的改变,及其引起的口腔感知和一系列生理学反应。唾液是哺乳动物进食时最先与食物接触的体液,是由口腔的3对大唾液腺(腮腺、下颌下腺和舌下腺)及成百上千个散在小唾液腺分泌的一种澄清、微酸性的黏性口腔分泌物。唾液由水和多种无机物及有机活性蛋白分子等组成,具有多种重要的生理功能。本文综述唾液分泌与基本味觉——酸味、甜味、苦味、咸味、鲜味,以及脂肪味、麻味、辣味等广义味觉感知的相互作用,并以唾液成分为切入点,详细探讨其与多种味觉感知之间的关系,总结唾液参与各种味觉感知的相互影响,为进一步研究唾液组成与味觉感知之间的生理相关性提供理论基础。

关键词 唾液; 淀粉酶; 味觉感知; 脂肪味; 口腔加工

文章编号 1009-7848(2024)02-0382-15 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2024.02.035

唾液(Saliva)是一种具有黏性的消化液,由唾液腺分泌,在口腔内形成,无色、无味,呈弱酸性(pH 6.6~7.1)。人的唾液主要分为2大类:一类是在外界刺激下由唾液腺分泌产生,约占人日常唾液总量的80%;另一类是非外界刺激由唾液腺自行分泌产生,约占唾液总量的20%^[1-2]。唾液的组成成分非常复杂,不同性别、年龄、环境等因素都会不同程度地引起唾液成分的变化,在不同个体甚至同一个体的不同生理状态下,唾液成分都有着显著差异。唾液的组成与人体的饮食行为也存在着密切联系^[3]。

味觉是人类的基本生理感觉之一,唾液在味觉感知中的作用越来越重要^[4]。唾液分泌主要伴随着食品口腔加工的4个阶段过程。1)食物运输阶段:通过唇齿的协作,食物被送到嘴里,从而进一步将食物从门牙处运送到牙齿后面的咀嚼表面。2)食物咀嚼阶段:针对固体和半固体食物,食物颗粒在咀嚼面上被碾压破碎,并不断地缩减颗粒大小。3)食团形成阶段:经过咀嚼阶段后及唾液的作用下,被分解的食物颗粒与唾液黏合形成食团,食团在舌骨肌的作用下,逐渐被运输到口腔后部。4)触发吞咽阶段:当食团达到适当的流变特性时,来

自大脑的命令会触发吞咽动作,使食团离开口腔,由咽部进入食管。目前,国内外很少有集中探讨唾液成分与基本味觉之间联系的相关综述。本文阐述未经刺激或经过“酸味”“甜味”“苦味”“咸味”“鲜味”“脂肪味”“麻味”和“辣味”等刺激后,唾液中各种成分与各种味觉感知之间的相互作用。

1 唾液成分与味觉感知的相互影响

1.1 唾液与酸味感知

唾液中的缓冲体系包括碳酸盐、磷酸盐以及蛋白质缓冲液。碳酸盐以CO₂的形式通过碳酸酐酶VI(Carbonic anhydrase VI, CA-VI)催化其从溶解相转变为气态;磷酸盐存在的形式取决于唾液pH值,如HPO₄²⁻、H₂PO₄⁻、H₃PO₄;唾液蛋白的缓冲特性由氨基酸组成决定。当食用酸性食物时,会对牙齿产生危害,而唾液所具有的缓冲特性会使牙齿附近部位的pH值升高,保持口腔内pH值恒定,从而干预牙齿的侵蚀过程。Andreas等^[5]利用蛋白质模型系统,并经唾液试验验证后发现,pH值在3.5~5.0时,唾液中起缓冲作用的物质主要是唾液蛋白。据研究表明,唾液的缓冲能力由唾液成分的不同而产生差异,从而影响个体对酸味的感知程度。Zhang等^[6]通过唾液样品的体外酸性滴定试验发现,在pH<5条件下,唾液α-淀粉酶(Salivary α-amylase, SAA)活性、总蛋白含量与离体缓冲值

收稿日期: 2023-02-04

第一作者: 王敏,女,博士,副教授

通信作者: 刘登勇 E-mail: jz_dyliu@126.com

呈正相关关系,表明唾液蛋白在酸性环境中发挥重要作用;结合人体感官评价证明,随着柠檬酸刺激物浓度的增加,缓冲能力较高的受试者对酸味的感知减弱,表明个体唾液缓冲能力的差异会导致酸味感知的变化。然而,在该研究中尚未发现 CA-VI 与唾液缓冲能力的相关性,因此,酸味感知与唾液其它成分的关联性有待深入研究。研究发现,用 156.0 mmol/L 柠檬酸刺激口腔 15 s 和 45 s,唾液流量分别增加了 38% 和 53%,且显著影响了唾液蛋白质丰度(增加 46 个,减少 29 个斑点)^[7]。此外,Neyraud 等^[8]发现经柠檬酸刺激所导致的唾液总蛋白的增加量在所有基本味觉刺激中更加显著。

酸刺激口腔可导致唾液成分及含量的改变。研究发现,酸刺激后腮腺唾液中的 Na^+ 、 Cl^- 、 Ca^{2+} 、总蛋白和 SAA 浓度明显升高,下颌腺唾液中的 Na^+ 和 Ca^{2+} 浓度显著升高,总磷浓度显著降低^[9]。与其它味相比,酸味对唾液中的酶影响较大,尤其 SAA。酸味刺激会使 SAA 活性及含量升高。通过比较柠檬酸刺激后健康儿童和脾虚儿童唾液指标的差异,结果发现酸刺激明显增加健康儿童的 SAA 的活性及含量^[10-11]。Neyraud 等^[12]也证实酸味可引起 SAA 显著升高。此外,Bader 等^[13]的研究发现,柠檬酸刺激可诱导髓过氧化物酶(Myeloperoxidase, MPO)增加,催化氯离子氧化在唾液和溶菌酶中产生抗菌的 OCl^- ,其对革兰氏阳性细菌具有抗菌活性。

唾液成分与人类健康状况密切相关。研究表明,儿童的营养状况与 SAA 水平有关。Chen 等^[14]发现,低体质指数(Body mass index, BMI)儿童对柠檬酸刺激所引起的 SAA 反应(柠檬酸刺激后 SAA 水平与静息状态下 SAA 水平的比值)减弱。研究发现,患有脾虚证儿童在柠檬酸刺激后,SAA 活性比值下降,并伴有 SAA 糖基化水平异常升高^[15]。此外,Lin 等^[16]的进一步研究证实,与健康受试者(HCG)相比,患有慢性非萎缩性胃炎受试者(CNAG)在酸刺激后的唾液生化特征异常。其中 HCG 的 SAA 活性增强,而 CNAG 中 SAA 活性减弱、 Ca^{2+} 浓度升高。因此,经酸刺激后的 SAA 活性比值可作为受试者是否健康的客观参考指标之一。

1.2 唾液与甜味感知

甜味是基本味觉中最受人们欢迎的味觉,而天然甜味物质一般具有为人体生命活动提供能量的功能,因此甜味对人类吸收外界养分和生存来说尤为重要,它会影响人类对食物的选择和偏好性。糖是自然界最为普遍存在的能够引起人类甜味觉的物质^[17]。Addai 等^[18]用 5% 葡萄糖(Glucose)溶液漱口 60 s,在葡萄糖激发后 10 min,唾液的平均 pH 值显著降低 0.50,再 5 min 后比基准 pH 值降低 0.23。一般情况下,与唾液其它成分相比,甜味感知与唾液中 SAA 活性的关系更为密切。淀粉在食品工业中占有重要的地位,通过改变食物的味道和质地,影响人们对食物的偏好与接受度。SAA 在口腔中参与淀粉的水解、消化,产生麦芽糖、糊精等分子,这些分子具有特殊的甜味感官特性。辣木籽中含有葡萄糖及能分解成葡萄糖的淀粉。将辣木籽经唾液处理后,淀粉在 SAA 的作用下水解为单糖(葡萄糖),从而入口后发甜^[19]。当蔗糖入口并吞咽后,与不吞咽相比,SAA 活性增加^[20]。甜味感官得分与 SAA 浓度呈正相关^[21-22]。另有研究表明,对甜味的喜好度与 SAA 活性相关。Caroline 等^[23]研究唾液成分与平时摄入营养素及喜好的相关性,结果发现 SAA 活性与甜味喜好呈负相关关系。Lamy 等^[24]发现在咀嚼面包时,唾液免疫球蛋白 A (Salivary immunoglobulin A, S-IgA) 立即减少,且 SAA 活性与甜味评分呈负相关关系。此外,不同的 SAA 亚型可能与酶活性水平存在相关性,在口腔感觉敏感性中发挥着不同的作用。

Rodrigues 等^[25]研究发现,唾液蛋白组与儿童对甜味敏感性相关,其相关性取决于 BMI 和性别;通过受试者对蔗糖识别阈值的测试,证明了对甜味低敏感的个体 SAA、CA-VI 水平较高,而甜味高敏感的个体半胱氨酸抑制素(胱抑素,Cystatin)水平较高,对甜味低敏感的女性的唾液中葡萄糖含量更高。唾液 CA-VI 含量越低,甜味的刺激阈值越高,即对甜味越不敏感^[26]。这可能是由于 CA-VI 属于味觉肽之一,当它的含量较低时,味觉的感知就会减弱。唾液成分也与甜味敏感性有关,甜味在决定食物的喜好和选择中起着至关重要的作用。

1.3 唾液与苦味感知

苦味是一种基本的食品风味,苦味成分种类多样、阈值极低。常见的苦味物质包括生物碱类,如吡啶、嘌呤;萜类,如苦瓜甙等;苦味肽类;游离氨基酸类,如缬氨酸、蛋氨酸、亮氨酸和苯丙氨酸等^[27]。苦味作为一种防御性机制味道,感知苦味的能力是为了保护机体免受环境中苦味毒素的损害。物质中是否有硫脲官能团是感知苦味的根本原因,利用硫脲衍生物 6-n-丙基硫氧嘧啶 (PROP),可预测出个体对苦味反应的差异。Tiziana 等^[28]首次证明了 PROP 状态与 2 种属于碱性富脯氨酸蛋白家族 (PRPs) 的唾液肽基础水平相关,分别是早老蛋白 1 (Ps-1)、II-2 蛋白。通过深入研究 PROP 与唾液中 PRPs 之间更加具体的关系,将对 PROP 感知分为非味觉者 (对 PROP 很少或无反应)、中等味觉者 (对 PROP 有中等反应)、超味觉者 (对 PROP 有强烈反应),发现中等味觉者及超味觉者中 Ps-1、II-2 蛋白水平高于非味觉者,表明 PRPs 促进了 PROP 的苦味感知^[29]。Melania 等^[29]通过高效液相色谱-电喷雾质谱 (HPLC-ESI-MS) 分析 Ps-1 和 II-2 蛋白序列中的所有氨基酸,最终证明 L-精氨酸 (Arg) 和 L-赖氨酸 (Lys) 增强了 PROP 的苦味感知。此外,唾液蛋白组与 PROP 的反应受性别和 BMI 的影响。

通常认为 CA-VI 及胱抑素与苦味有关。Patrikainen 等^[30]利用 CA-VI 缺陷小鼠模型,研究 CA-VI 在味觉功能中的作用,证实缺乏 CA-VI 会导致异常的苦味感知;与 CA-VI 在人类味觉功能中的作用观察一致,最终得出 CA-VI 可能是导致哺乳动物对苦味物质回避的因素之一。Rodrigues 等^[25]证明了唾液经 PROP 刺激后,青年人超味觉 (ST) 的 CA-VI 表达水平明显下降,超重人群对苦味更加敏感,而这项研究需要在唾液与口腔相关感知中进行更深入探索。进一步以儿童作为研究对象,探究儿童唾液蛋白组与基本苦味敏感性是否受 BMI 影响,结果表明超重且对苦味低敏感的儿童,其唾液中胱抑素水平较高^[31]。

苦味也与唾液中的蛋白类物质相关。Michele 等^[32]对唾液蛋白组成进行了比较,发现在唾液电泳图谱上检测到的 255 个斑点中,26 个斑点的丰度在低敏感和高敏受试者之间存在显著差异,

高敏受试者的唾液中含有较高水平的 SAA 和/或免疫球蛋白;研究表明,口腔内的蛋白质水解是苦味敏感性的一种重要周围受体因子。Martin 等^[33]的研究表明,唾液蛋白降低了对奎宁的敏感性。Neyraud 等^[12]发现,当口腔中摄入苦味时,与其它 2 个腺体相比,由腮腺分泌的唾液中蛋白质变化较小。

苦味是相对于其它基本味觉的一种负面感官,所以人们会想办法来降低苦味。Neyraud 等^[34]发现,乳清的存在可以通过降低唾液中的游离 Ca^{2+} 离子进而降低钙的苦味。Keast 等^[35]研究得出乳酸锌、脱脂牛奶、谷氨酸钠对咖啡碱苦味的减弱效果较好,而乳酸锌的效果最好。在啮齿动物中,饮食中接触苦/涩味的多酚会增加唾液中多酚结合蛋白和几种半胱氨酸蛋白酶抑制剂的浓度,这与啮齿动物对富含多酚的食物的厌恶程度较低有关^[36]。Crawford 等^[36]发现人类受试者经含有多酚的饮食刺激后,唾液中 PRPs 和胱抑素水平显著增加,与之前的动物研究结果一致,通过增加膳食多酚改善了富含多酚食物的口腔感觉体验。这些表明,未来可通过改变口腔生理使苦/涩味食品感知变得更加美好。

1.4 唾液与咸味感知

食盐摄入对维持体内血压、渗透压稳定性以及调节机体酸碱平衡等具有重要意义。过量摄入食盐会危害人体健康,使高血压等心脑血管疾病的发生率增加。唾液特征在个体对食物接受方面具有重要影响,唾液成分与个体对盐的喜好度有关。Caroline 等^[23]研究发现唾液 CA-VI 活性与个体咸味喜好度呈负相关关系。唾液中的 CA-VI 基因的多态性与盐的感知有关^[37]。咸味大多与唾液中的酶有关,口腔刺激也会触发唾液代谢组组成的变化。Lamy 等^[24]发现 SAA 活性与咸味评分呈负相关关系,咸味评分与蛋白质的表达量有关。SAA 活性高的受试者,对咸味的评分较低^[38]。

Stolle 等^[39]通过定量蛋白质组学方法,发现唾液的蛋白水解活性对 NaCl 敏感和非敏感者之间存在差异,特别是丝氨酸型内肽酶活性会影响个体对咸味的感知;表明唾液蛋白水解模式在调节 NaCl 敏感性中发挥关键作用;盐敏感性的增强可能是蛋白酶通过切割上皮细胞钠离子通道 (ENaC)

的 γ 亚基,促进上皮细胞间钠转运所致,而蛋白酶抑制剂则可减少 ENac 介导的钠离子运输。利用理论数据顺序窗口采集质谱(SWATH-MS)与感官评价结合的方法,证明了内肽酶活性在影响个体对 NaCl 敏感性中起着重要的作用,且经内蛋白酶催化产生的盐调节肽增强了口腔对咸味感知的作用。结果表明,对于 NaCl 敏感性受试者,其唾液内肽酶活性显著增强;而对于非敏感性 NaCl 受试者,其内肽酶抑制剂活性及胰抑素水平增强;内蛋白酶抑制剂(Lipocalin-1)与溶菌酶 C 的联合丰度值是个体对 NaCl 不敏感的显著指标^[40]。

唾液能显著改变食团的质地特性,同时促进食品中咸味成分与唾液间的复杂传质行为^[41]。唾液中内源性钠含量决定了人们对盐的味觉感知阈值^[34]。唾液蛋白与对咸味的敏感性相关。唾液内蛋白酶活性的增加可能是因为它可以降解一些唾液蛋白,释放增强盐味的多肽,如精氨酸多肽^[42-44]。ENac 可能会参与人类的味觉系统,在人体中对于咸味感知起一定作用^[45]。对此仍需进一步研究。

1.5 唾液与鲜味感知

20 世纪后期,鲜味被国际公认为第 5 种基本味道。不同于其它 4 种基本味,鲜味可以增加甜味、掩盖酸味、减弱苦味等,从而提高食物的适口性和可接受性。当 2 种鲜味剂混合使用时,具有协同作用,可极大降低鲜味阈值。味精(MSG)作为一种鲜味增强剂虽常被用来提高食品的鲜味,但也存在一定的安全风险^[46]。

L-谷氨酸(L-Glu)、L-天冬氨酸以及一系列含有谷氨酸和天冬氨酸残基的短肽可以诱发鲜味的产生^[47]。对于氨基酸或肽来说,无论是其本身可以呈现出一定滋味,还是可以强化或弥补食物风味,均被认为具有呈味功能^[48]。肌苷酸(IMP)、鸟苷酸(GMP)等 5'-核糖核苷酸作为特定化学物质均可呈现出鲜味,其存在于许多食物中,对食物的适口性起着重要作用^[49]。呈味氨基酸、呈味肽、呈味核苷酸等作为新型味觉增强剂近年来已被广泛报道。

鲜味是令人愉悦的味觉感受,可帮助机体识别有营养的物质。Dong 等^[50]评估了烤鲑鱼的动态鲜味感知,并在咀嚼过程中定量了唾液中游离氨基酸和 5'-核糖核苷酸的释放,结果表明唾液中

释放的 L-Glu 和 IMP 会诱发鲜味感知。Scinska-Bienkowska 等^[51]研究了唾液中的内源性 L-Glu 水平与鲜味之间的关系,结果表明受刺激的全唾液中 L-Glu 浓度的个体差异会影响鲜味感知的愉悦感,并非鲜味强度。

鲜味物质可通过唾液成分影响个体对其他味觉的感知。Sasano 等^[52]研究表明产生鲜味的 L-Glu 可以增加唾液分泌,从而通过增强味觉-唾液反应来改善味觉减退。鲜味会与唾液蛋白相互作用并产生影响。研究发现,当呈味核苷酸 IMP、GMP 同时存在时,唾液蛋白条带变淡效果明显,说明呈味核苷酸对唾液蛋白产生一定作用^[53]。唾液成分与鲜味感知之间的关系研究很少被探索,未来可将这一研究领域扩大化。

1.6 唾液与“脂肪味”感知

Running 等^[54]证明了非酯化长链脂肪酸可引起独特味觉,说明了脂肪味觉存在的可能性,并提出了“oleogustus”一词,拉丁语中“oleo”是脂肪的词根,而“gustus”指味道。Keast 等^[55]也认为“脂肪味”可能会被列为第六味觉。Yasumatsu 等^[56]证明了脂肪最佳味觉神经纤维的存在,更加证实了研究“脂肪味”的意义。“脂肪味”的存在可能与肥胖有关,将对脂肪替代品开发、食欲和味觉管理、公共卫生和饮食建议等具有极其重要的指导意义,引起了食品、营养、医学等领域的广泛关注。

脂肪酶、溶菌酶等唾液蛋白可能促进食物脂质在口腔中的分布^[57]。肥胖受试者的唾液成分可能有助于提高脂肪的适口性。Vors 等^[58]研究了与口腔脂肪感知有关的某些唾液成分与肥胖状况的相关性,最终结果表明在禁食条件下,与正常体质量受试者相比,肥胖受试者的唾液脂肪酶水平降低,而蛋白酶、CA-VI 水平增强。有研究发现食物中的游离脂肪酸(Free fatty acids, FFA)可能是造成脂肪味的原因^[59]。FFA 在口腔中存在多重受体,并可引发多条生理信号传导通路^[60]。Neyraud 等^[61]首次证明了唾液脂肪酶活性与人类受试者唾液中的 FFA 浓度呈显著正相关,这种关系可能与脂肪味觉敏感性有关。

唾液成分与机体对脂肪的喜好程度及饮食习惯有关。研究表明,唾液脂解活性高会在唾液中产生大量的 FFA,导致 FFA 的高味觉阈值^[62]。Feron

等^[63]研究发现唾液中的 CA-VI 活性水平可能通过调节靠近味蕾的唾液 pH 值,进而调节脂肪性味觉敏感性。研究发现,脂肪饮食偏好评分与非刺激性唾液中的钙离子浓度和脂肪味觉的感官阈值均呈中度正相关关系,即越喜欢摄入脂肪类食物的个体其唾液中的 Ca^{2+} 浓度越高,对脂肪味觉的敏感性越低^[26]。Caroline 等^[23]研究发现唾液流量与脂肪喜好呈正相关。Zhang 等^[64]研究发现蒙古族的唾液脂肪酶活性高于汉族,其原因可能是二者的饮食习惯不同,蒙古族通常食用更多的乳制品和肉类食品,而汉族人群通常习惯食用碳水化合物含量较高的食品,表明饮食摄入可改变唾液生化成分,当唾液脂肪酶活性与机体对高脂肪食物偏好及饮食中脂肪含量等呈正相关关系时,唾液的分泌和性质则会反过来影响味觉。

膳食脂肪在食用过程中会引起味觉愉悦感,并有助于提高各种食物的感官特性。除了探究唾液成分与脂肪味觉的关系,更重要的是要充分了解脂肪感知的潜在机制,从而创造出不损害感官愉悦性的更健康的食品。研究发现使用淀粉乳化剂制备的乳液凝胶可产生更高的油释放量,并通过体内与体外结合的方式发现它可增强口腔的油膩感知,该研究可在不影响感官质量的情况下,为减脂食品设计提供一种新思路^[65]。

1.7 唾液与“麻味”感知

“麻味”准确的说应该是麻感,是一种感觉而不是一种味道。麻感主要来源于鲜花椒、干花椒、花椒粉、花椒油、花椒油树脂等。进食花椒时的麻感是由花椒麻素刺激人体味觉引起的,花椒中的不饱和脂肪酸酰胺羟基山椒醇化合物(Sanshool)为主要感知物质,主要的口腔感知作用有麻木、针刺、震颤、苦涩、流涎等,不同花椒品质的作用效果存在差异^[66]。Bader 等^[67]从四川胡椒(花椒)的超临界流体提取物中筛选出了关键的刺痛和麻木化学感受物,进一步分离并确定了 8 种对感官影响最大的组分;经 Half-Tongue 检验显示,羟基- β -山椒素、羟基- γ -山椒素、羟基- ε -山椒素和羟基- ζ -山椒素等可引发刺痛和感觉异常;全反式构型的羟基- α -山椒素和羟基- γ -异山椒素可引起麻木和麻醉感觉;同时发现单顺式构型的主要烷基酰胺羟基- α -山椒素可诱导大量唾液分泌,而全反式

构型的羟基- β -山椒素则不能^[67]。

研究发现,3 个不同产地的花椒油树脂样品中 4 种羟基-山椒醇(α -、 β -、 γ -和 ε -)均占总麻味物质含量的 95%以上,而不同产地样品中总麻味物质含量及羟基-山椒醇组成具有显著差异;将其于 37 °C 贮藏 120 d 后,样品的最大麻感强度值和斯科维尔麻度指数(Scoville pungency units, SPU)均有不同程度降低,麻味物质总含量逐渐下降,麻感感官属性中垂涎感、振动感和灼热感均较大程度减弱^[68]。有学者对鲜花椒和干花椒在人体中的麻味阈值进行测定,并进一步采用基于蛋白质组学分析的唾液分泌试验,对麻味强度的定量评价方法进行修正;结果表明,贮藏 1 年的干花椒麻味物质含量比鲜花椒降低了 37.3%,干花椒的麻味强度比鲜花椒降低了 11.09%;同时唾液分泌试验结果也表明鲜花椒刺激人体分泌唾液的速率和质量均高于干花椒,其检测阈值低于干花椒,鲜花椒具有更高的麻味强度^[69]。研究发现,花椒提取物羟基- α/β -山椒醇混合物可诱导唾液流量显著增加,且比柠檬酸更持久,同时显著影响了唾液蛋白质的丰度值(增加 19 个,减少 4 个斑点)^[7]。

1.8 唾液与“辣味”感知

“辣味”并不属于传统认知的味觉,其带来的灼热感、刺激感等是一种具有温度觉、痛觉、触觉等复合感觉特性的体觉(Somesthesia)。“辣味”和“麻味”等引发的感觉被 Barry Green 定义为化学物理觉(Chemesthesia)。辣椒、胡椒、生姜、大蒜等食品原料都具有辣味,然而食物中的主要辛辣风味来自辣椒中的辣椒素类物质(Capsaicin);辣味信息通过瞬时受体电位香草酸 1 型(TRPV1)产生;截止目前,在辣椒中发现的辣椒素类似物多达 23 种^[70]。辛辣风味不仅能够给人带来愉悦感,其含有的酰胺类成分还可以减少杂环胺等有害物质的生成^[71]。

研究发现,人工唾液成分可影响辣椒挥发性风味物质的释放^[72]。Katsukawa^[73]研究了饮食中辣椒素对大鼠下颌腺及其分泌的影响,结果显示辣椒素饮食组唾液腺的相对质量呈剂量依赖性增加。给予健康志愿者辣椒素含漱剂口内含漱 5 min,观察到唾液和泪液的分泌均显著增加^[74]。辣椒素具有脂溶性,可以透皮吸收。使用含 0.075%

辣椒素的霜剂涂抹于健康志愿者的颌下区皮肤表面,30 min 后下颌下腺的唾液分泌量显著增加,且辣椒素可剂量依赖性地增加唾液的分泌^[74]。统计学分析显示辣椒素刺激后唾液及泪液分泌量均明显增加,其分泌量在老年人中显著降低,而与性别无关,表明辣椒素对健康人唾液腺及泪腺分泌功能具有明显的促进作用^[75]。研究发现,辣椒素含漱剂、辣椒素霜剂及红外线理疗均可明显促进“休眠期”内移植下颌下腺腺体的分泌,辣椒素刺激的效果更为明显^[76]。激活 TRPV1 可以调控下颌下腺唾液分泌,而用 TRPV1 拮抗剂 Capsazepine (CPZ) 预处理 30 min,可消除辣椒素的促分泌作用^[74]。这些结果证实,辣椒素对下颌下腺具有直接促分泌作用^[74]。辣食线索暴露期间,辣食渴求者的唾液分泌量与心率均显著升高,并显著高于非辣食渴求者;表明唾液和心率可反映受试者对辣食的渴求程度^[77]。

辣味强度可显著影响唾液流率,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,将斯科维尔辣度指数 (Scoville heat units, SHU) 分成了 5 级:1 级微辣 SHU 10~500:唾液流率 0.496~1.395 g/min;2 级轻辣 SHU 500~1 000:唾液流率 1.395~2.153 g/min;3 级中辣 SHU 1 000~1 500:唾液流率 2.153~2.749 g/min;4 级重辣 SHU 1 500~3 000:唾液流率 2.749~3.569 g/min;5 级猛辣 SHU>3 000:唾液流率>3.569 g/min^[78]。该方法可通过收集 5~10 人食辣后的唾液分泌量,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。

Katsukawa^[73]发现辣椒素饮食组大鼠下颌下腺唾液中出现了新的蛋白质,这些蛋白质的色谱和电泳性质与异丙肾上腺素诱导的蛋白质相同或相似,且具有半胱氨酸蛋白酶样活性,舌咽神经的去神经支配抑制了这些蛋白质的诱导;结果表明,饮食中的辣椒素通过刺激舌咽神经反射弧诱导下颌下腺中的胱抑素 S 样物质,这些蛋白质可能有助于摄入含有刺激性物质的饮食。Lorenz 等^[7]发现 6-姜辣素(辛辣)可显著诱导唾液流量增加,通过分析整个唾液蛋白质组的时间依赖性变化,结果

显示,口服 6-姜辣素刺激后,丰度显著降低的蛋白质为谷胱甘肽 S-转移酶 P (Glutathione S-transferase P, GST-P)、热休克蛋白 β -1 (Heat shock protein beta-1, HSPB1)、热休克 70 ku 蛋白 1 (Heat shock 70 ku protein 1, HSP70-1)、膜联蛋白 A1 (Annexin A1) 和细胞质 β -肌动蛋白 (Cytoplasmic β -actin), 而催乳素诱导蛋白 (Prolactin inducible proteins, PIP)、短腭肺鼻上皮癌相关蛋白 2 (Short palate, lung and nasal epithelium carcinoma-associated protein-2, SPLUNC-2)、锌- α -2 糖蛋白 (Zinc- α -2-glycoproteins, Zn- α -GP)、CA-VI 丰度显著增加。由于本研究效果是在刺激后立即观察到的,因此任何蛋白质组调节都很可能是由预制囊泡释放的蛋白质引起的,而不是从头合成。SPLUNC-2、Zn- α -GP 和 CA-VI 水平升高可能被解释为触发黏膜免疫和非免疫黏膜防御中的先天性保护机制,并可能在炎症的初始阶段发挥重要作用。

具有辛辣属性的胡椒、豆蔻等香气也影响唾液的分泌。当闻到胡椒叶的香味时,唾液量显著增加,而仅观察胡椒叶并没有变化;在闻到胡椒叶的香味的同时观察其本身时唾液的变化量比只闻到胡椒叶的香味时唾液的变化量大^[79]。异丙肾上腺素刺激与黑胡椒或豆蔻吸入相结合时,发现明显的唾液分泌、SAA 活性增强及大量 S-IgA 和乳铁蛋白释放^[80]。这些结果表明,吸入黑胡椒和豆蔻香气可增强唾液的抗菌活性,这种活性可能是由交感神经系统引起的;吸入香气对 S-IgA 和乳铁蛋白分泌的影响大于单独的交感神经刺激,推测吸入香气可能会对口腔内环境产生积极影响。唾液流量和成分与葡萄酒饮用过程中鼻后香气(烟熏和黑胡椒)释放的动力学有关;与年轻组相比,年长组对烟熏味和黑胡椒味的评价更高,评价时间更长;2 个年龄组的唾液参数也有显著差异^[81]。唾液总蛋白含量与感知的最大强度 (I_{max}) 呈显著正相关关系,唾液流量与 2 种香气属性的大多数 TI 参数 (I_{max} 、曲线下面积和感知刺激的持续时间) 呈显著负相关关系^[81]。

唾液成分与味觉感知相关性见表 1、表 2 和表 3。

表1 唾液非酶蛋白与味觉感知的相关性

Table 1 The relationship between salivary nonenzymatic protein and taste perceptions

唾液非酶蛋白	味觉相关性	参考文献
唾液蛋白	唾液蛋白缓冲能力的差异会导致酸味感知的变化	[6]
	酸刺激后,影响了唾液蛋白质丰度	[7]-[9]
	唾液蛋白与回甘呈正相关关系	[82]
	唾液蛋白组与儿童对甜味敏感性相关	[25]
	唾液蛋白降低了对奎宁的敏感性	[33]
	唾液蛋白与咸味敏感性相关	[42]-[44]
	唾液蛋白与鲜味感知相互影响	[53]
	麻味物质显著影响唾液蛋白质的丰度值	[7]
胰抑素	辣椒素可释放唾液新蛋白	[73]
	多酚刺激后,胰抑素水平显著增加	[36]
	超重且苦味低敏感儿童,胰抑素水平较高	[31]
	对甜味敏感人群,胰抑素水平较高	[25]
免疫球蛋白	正常苦味敏感儿童,胰抑素水平较高	[31]
	对于NaCl非敏感人群,胰抑素活性增强	[40]
	甜刺激,S-IgA减少	[24]
PRPs	苦味高敏受试者,含有较高水平免疫球蛋白	[32]
	辣味吸入与异丙肾上腺素刺激后,S-IgA含量增加	[80]
多酚结合蛋白	PRPs促进PROP苦味感知	[29]
	多酚刺激后,唾液中PRPs水平显著增加	[36]
精氨酸多肽	苦/涩味多酚,增加唾液中多酚结合蛋白浓度	[36]
胱抑素S样物质	精氨酸多肽,增强盐味	[42]-[44]
HSPB1	有助于摄入含有刺激性物质	[73]
HSP70-1	6-姜辣素刺激后,丰度显著降低	[7]
膜联蛋白A1	6-姜辣素刺激后,丰度显著降低	[7]
细胞质 β -肌动蛋白	6-姜辣素刺激后,丰度显著降低	[7]
PIP	6-姜辣素刺激后,丰度显著增加	[7]
SPLUNC-2	6-姜辣素刺激后,丰度显著增加	[7]
Zn- α -GP	6-姜辣素刺激后,丰度显著增加	[7]
乳铁蛋白	辣味吸入结合异丙肾上腺素刺激后,含量增加	[80]

表2 唾液蛋白酶与味觉感知的相关性

Table 2 The relationship between salivary protease and taste perceptions

唾液蛋白酶	味觉相关性	参考文献
SAA	酸刺激后,SAA活性增加,SAA含量升高	[6],[9]-[12],[15]
	酸刺激影响SAA反应和SAA糖基化水平	[16]
	甜刺激后,SAA活性增加	[20]
	SAA活性与甜味喜好呈负相关关系	[23]
	SAA活性与甜味和咸味评分均呈负相关关系	[24],[38]
	对甜味低敏感人群,SAA水平较高	[25]
	苦味高敏受试者,含有较高水平SAA	[32]
	辣味吸入与异丙肾上腺素刺激后,SAA活性增强	[80]

(续表 2)

唾液蛋白酶	味觉相关性	参考文献
CA-VI	CA-VI 催化碳酸与 CO ₂ 反应从溶解相转变为气态 甜味低敏感人群, CA-VI 水平较高 CA-VI 含量越低, 甜味的刺激阈值越高 PROP 刺激后, CA-VI 水平明显下降 缺乏 CA-VI 导致异常的苦味感知 CA-VI 与咸味喜好呈负相关关系 CA-VI 基因的多态性与盐的感知有关 肥胖受试者的唾液 CA-VI 水平增强 CA-VI 调节脂肪性味觉敏感性 口服 6-姜辣素刺激后, CA-VI 丰度显著增加	[6] [25] [26] [25] [30] [23] [37] [59] [63] [7]
脂肪酶	脂肪酶活性与回甘呈正相关关系 肥胖受试者的唾液脂肪酶水平降低 习惯食用乳制品及肉类人群, 脂肪酶活性高 脂肪酶活性与 FFA 浓度呈正相关关系 高脂肪酶活性导致 FFA 的高味觉阈值 脂肪酶促进食物脂质在口腔中的分布	[82] [59] [64] [61] [62] [57]
蛋白酶/内肽酶	NaCl 敏感人群, 内肽酶活性增强 唾液中蛋白酶, 增强盐味 肥胖受试者的唾液蛋白酶水平增强	[40] [42]-[44] [59]
溶菌酶	溶菌酶与 NaCl 敏感性相关 溶菌酶促进食物脂质在口腔中的分布	[40] [57]
MPO	酸刺激后, MPO 含量升高	[13]
GST-P	6-姜辣素刺激后, 丰度显著降低	[7]

表 3 唾液非蛋白成分与味觉感知的相关性

Table 3 The relationship between salivary non protein component and taste perceptions

唾液非蛋白成分	味觉相关性	参考文献
葡萄糖	甜味低敏女性, 唾液葡萄糖含量高	[25]
碳酸盐	保持口腔内 pH 值恒定	[5]
磷酸盐	保持口腔内 pH 值恒定	[5]
Na ⁺	酸刺激后, Na ⁺ 浓度明显升高 酸刺激后, 唾液矿物质水平增加, 咸味感知下降 内源性 Na ⁺ 决定对盐的味觉感知阈值	[9] [83] [34]
Cl ⁻	酸刺激后, Cl ⁻ 浓度明显升高 酸催化 Cl ⁻ 氧化产生 OCl ⁻	[9] [13]
Ca ²⁺	酸刺激后, Ca ²⁺ 浓度明显升高 减少游离 Ca ²⁺ 离子, 可降低钙的苦味 越喜欢脂肪味的人群, Ca ²⁺ 浓度越高, 对脂肪越不敏感 Ca ²⁺ 与脂肪味觉感官阈值呈正相关关系	[9],[16] [34] [26] [26]
总磷	酸刺激后, 总磷浓度明显降低	[9]
内肽酶抑制剂	NaCl 非敏感人群, 内肽酶抑制剂活性增强	[40]
内源性 L-Glu	L-Glu 可诱发鲜味感知 L-Glu 会影响鲜味感知的愉悦感 L-Glu 可增加唾液分泌, 改善味觉减退	[50] [51] [52]
IMP	IMP 可诱发鲜味感知	[50]
FFA	FFA 可引发脂肪味信号传导	[59],[60]

2 唾液参与各种味觉的互作

Heinzerling 等^[84]研究发现唾液对各味觉相互作用有一定的影响,柠檬酸刺激获得了最高的唾液流量,几乎是硫酸镁、氯化钠或蔗糖刺激的两倍;柠檬酸和氯化钠的感知能力随着唾液流速的增加而显著降低,而苦味和甜味感知不受唾液流动条件的影响。然而当各种味觉之间相互混合作用时,可能会起到协同抑制作用^[85]。Keast 等^[86]研究认为蔗糖溶液的甜味通常会被加入酸味的柠檬酸所抑制。蔗糖的甜味感知明显高于柠檬酸与蔗糖混合物,柠檬酸的酸味感知明显高于柠檬酸与蔗糖或氯化钠混合物^[84]。有研究证明经其它味觉刺激后也会影响人体对咸味的感知。当单独添加 L-苹果酸、琥珀酸、柠檬酸、富马酸时,对低钠盐有明显的掩盖苦味及增咸效果^[87]。这与 Galindo 等^[83]研究结果一致,认为酸味在一定浓度范围内,对咸味有增强作用,而对苦味有抑制作用。Matthias 等^[88]发现经柠檬酸刺激唾液后,Na⁺水平显著增加,并结合感官试验证明较高浓度的柠檬酸刺激唾液后,唾液中矿物质水平增加,从而对咸味感知下降。

有学者从不同酸种类对甜菊糖苷甜苦味的影响中研究发现,乳酸和酒石酸在绝大部分程度上对甜味和苦味具有抑制作用;pH 值减小后单体唾液样品的表面张力值增加,样品溶液的苦味减少,表明酸性可通过影响单体唾液的表面张力来改变亲疏水性,从而影响物质的呈味强弱^[89]。Rodrigues 等^[25]认为与苦味相关的胱抑素和 CA-VI 同样与甜味有关,而与苦味的研究结果相反,这表明应加强对每种基本味觉感知中唾液蛋白的深入研究。此外,研究表明饮茶所产生的回甘感官属性与唾液成分相关。Chong 等^[82]证明了对于回甘敏感受试者,唾液总蛋白含量及脂肪酶活性与回甘强度呈显著正相关关系。

脂肪的添加也会影响其它几种味觉特征。Agnes 等^[90]研究得出向苦味物质中添加脂肪或糖分可显著降低人们对于苦味的感知以及厌恶程度。研究发现,亚油酸使咸味和苦味的阈值强度降低,而使柠檬酸、咖啡因的阈值显著增高^[91]。Delompré 等^[62]提到脂肪酸可以调节味觉,亚麻酸、EPA 和 DHA 被证明可以显著增加鲜味的强度,降

低苦味;油中 DHA 含量的增加会降低模型乳剂和合成金枪鱼提取物乳剂的苦味,增加其鲜味。

Kenzo^[92]认为通过协同作用所诱导出的鲜味是人们日常所品尝出的鲜味。Rocha 等^[44]研究发现鲜味与咸味的协同作用使谷氨酸盐 (MSG、MAG) 比核苷酸 (GMP、IMP) 更能增强咸味。研究表明,IMP、GMP 对茶中涩味物质 (EGCG) 与唾液蛋白的络合产生了促进作用,从而降低 EGCG 在茶中的涩味^[53]。Iwamoto 等^[93]研究证明了鲜味物质 (L-Glu) 有助于改善低钠饮食期间的压力,未来也可制定通过使用鲜味物质来实现减盐目标的策略。

不同味觉感知与唾液成分的相关性见图 1。

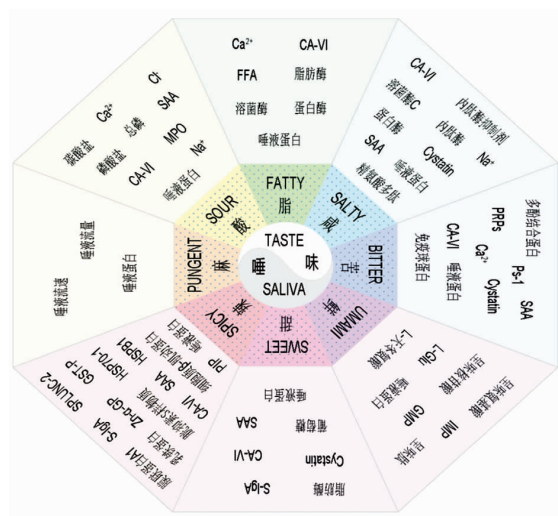


图 1 味觉感知与唾液成分的相关性

Fig.1 Correlation between taste perception and salivary components

3 结语

人们感知到的“酸味”“甜味”“苦味”“咸味”“鲜味”等基本味觉,以及近年来广为大家所关注的“脂肪味”“麻味”“辣味”等口腔感知,均与唾液的分泌及组成成分有着密切的关系。特别是唾液中的有机成分,如 SAA、内肽酶、脂肪酶、胱抑素、CA-VI 等,在味觉的各种感知过程中发挥着重要作用。唾液成分与各种味觉感知之间也存在着相互影响,唾液成分随着特定的味道发生改变。通过唾液蛋白质组学等技术从分子水平来解码的味觉刺激相关信息,比感官评价更加客观准确,可以作为感官评价的重要补充手段,未来可能会成为味

觉感知机制研究的重要方向。迄今为止,唾液的各种组成成分与各种味觉感知之间的相互作用,仍然处于初步探索阶段;每种唾液成分与不同味觉感知间的相互影响机制尚不清楚,具体的神经传导及信号通路尚不明确;食物性质-唾液组成-味觉感知三者间互作的化学及生理基础复杂。随着科学技术手段的进步,现代化仪器设备智能度和精密度的提高,以及解决问题思路的创新,唾液分泌及组成与各种口腔味觉感知的相关性及生理机制研究,将会面临巨大的前所未有的机遇和挑战。未来可通过味觉协调作用,达到增香减苦提味消涩的目的,使食物变得更加美味,让人们的每一餐都成为一种享受;还可通过生理技术干预,影响味觉感知,进而调控摄食需求,使不同人群的饮食达到享受与健康共存。

参 考 文 献

- [1] CHEN J S, ENGELEN L. Food oral processing (fundamentals of eating and sensory perception), role of saliva in the oral processing of food[M]. New Jersey: Blackwell Publishing Ltd., 2012: 177-202.
- [2] 王冠. 红烧肉口腔加工过程中食团乳液分离及其变化规律的研究[D]. 锦州: 渤海大学, 2020.
WANG G. Study on the separation and changes of braised pork bolus emulsion during oral processing [D]. Jinzhou: Bohai University, 2020.
- [3] TOURNIER C, GRASS M, SEPTIER C, et al. The impact of mastication, salivation and food bolus formation on salt release during bread consumption[J]. Food & Function, 2014, 5(9): 2969-2980.
- [4] NEYRAUD E, MORZEL M. Biological films adhering to the oral soft tissues: Structure, composition, and potential impact on taste perception[J]. Journal of Texture Studies, 2019, 50(1): 19-26.
- [5] ANDREAS L, ZEINAB C, DILEK T M, et al. Protein buffering in model systems and in whole human saliva[J]. PLoS One, 2007, 2(2): e263.
- [6] ZHANG D H, JIANG H N, CHEN J S, et al. Buffering capacity of saliva influences the perception of acid-related sensory properties[J]. Food Quality and Preference, 2022, 97(2): 104454.
- [7] LORENZ K, BADER M, KLAUS A, et al. Orosensory stimulation effects on human saliva proteome[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2011, 59(18): 10219-10231.
- [8] NEYRAUD E, HEINZERLING C I, BULT J, et al. Effects of different tastants on parotid saliva flow and composition[J]. Chemosensory Perception, 2009, 2(2): 108-116.
- [9] 陈超伦, 苏家增, 俞光岩. 酸刺激对腮腺和下颌下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.
CHEN C L, SU J Z, YU G Y. Effects of acid stimulation on saliva flow rate and compositions of human parotid and submandibular glands[J]. Journal of Peking University: Health Sciences, 2022, 54(1): 89-94.
- [10] 杨泽民, 陈龙辉, 林静, 等. 柠檬酸刺激对脾虚患儿唾液淀粉酶、总蛋白、唾液流率及pH值的影响[J]. 中国中西医结合杂志, 2015(2): 188-192.
YANG Z M, CHEN L H, LIN J, et al. Effect of citric acid stimulation on salivary alpha-amylase, total protein, salivary flow rate and pH value in spleen deficiency children[J]. Chinese Journal of Integrated Traditional and Western Medicine, 2015(2): 188-192.
- [11] 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(5): 563-568.
WANG L H, LIN C Q, YANG L, et al. Effect of 3 saliva collection methods on salivary secretion[J]. Shanghai Journal of Stomatology, 2015(5): 563-568.
- [12] NEYRAUD E, SAYD T, MORZEL M, et al. Proteomic analysis of human whole and parotid salivas following stimulation by different tastes[J]. Journal of Proteome Research, 2006, 5(9): 2474-2480.
- [13] BADER M, DUNKEL A, WENNING M, et al. Dynamic proteome alteration and functional modulation of human saliva induced by dietary chemosensory stimuli[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2018, 66(22): 5621-5634.
- [14] CHEN L H, YANG Z M, CHEN W W, et al. Attenuated acute salivary α -amylase responses to gustatory stimulation with citric acid in thin children[J]. The British Journal of Nutrition, 2015, 113(7): 1078-1085.
- [15] 陈龙辉. 脾虚证儿童SAA活性比值和甜味觉差异小鼠糖代谢研究[D]. 广州: 广州中医药大学, 2016.
CHEN L H. Study on SAA activity ratio and sugar metabolism in mice with sweet taste difference in

- children with spleen deficiency syndrome [D]. Guangzhou: Guangzhou University of Traditional Chinese Medicine, 2016.
- [16] LIN C Q, WANG L H, YANG L, et al. Abnormalities in acute salivary biochemical characteristic responses to gustatory stimulation with citric acid in chronic non-atrophic gastritis[J]. Journal of Gastroenterology and Hepatology, 2019, 34(9): 1563–1570.
- [17] MCCAUGHEY S A. The taste of sugars[J]. Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 2008, 32(5): 1024–1043.
- [18] ADDAI F K, NUAMAH I K. The non-acidogenic potential of two Ghanaian meals[J]. Journal of the Ghana Science Association, 2000, 2(2): 1–9.
- [19] 张婷宇, 张美萍, 高引弟. 不同处理对辣木籽入口甜度的影响研究[J]. 陕西农业科学, 2019, 65(8): 34–37.
- ZHANG T Y, ZHANG M P, GAO Y D. Effects of different treatments on the sweetness of *Moringa oleifera* seeds[J]. Shaanxi Agricultural Science, 2019, 65(8): 34–37.
- [20] HARTHOORN L F, BRATTINGA C, KEKEM K V, et al. Effects of sucrose on salivary flow and composition: Differences between real and sham intake[J]. International Journal of Food Sciences & Nutrition, 2009, 60(8): 637–646.
- [21] MARQUEZIN M, PEDRONI-PEREIRA A, ARAUJO D S, et al. Descriptive analysis of the masticatory and salivary functions and gustatory sensitivity in healthy children[J]. Acta Odontologica Scandinavica, 2016, 74(6): 443.
- [22] DE CAMPOS M M, KOBAYASHI F Y, BARBOSA T, et al. Characteristics of salivary secretion in normal-weight, overweight and obese children: A preliminary study[J]. Odontology, 2014, 102(2): 318–324.
- [23] CAROLINE M, MORZEL M, NEYRAUD E, et al. Salivary composition is associated with liking and usual nutrient intake[J]. PLoS One, 2015, 10(9): e0137473.
- [24] LAMY E, SANTOS V, BARRAMBANA S, et al. Saliva protein composition relates with inter-individual variations in bread sensory ratings [J]. Starch Stärke, 2020, 73(1/2): e202000052.
- [25] RODRIGUES L, COSTA G D, CORDEIRO C, et al. Salivary proteome and glucose levels are related with sweet taste sensitivity in young adults[J]. Food & Nutrition Research, 2017, 61(1): 1389208.
- [26] 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, 2018.
- QIN L X. Study on the correlation between saliva secretion and dietary preference[D]. Hangzhou: Zhejiang Industrial and Commercial University, 2018.
- [27] 郝晓霞. 苦味物质研究概况[J]. 黄冈师范学院学报, 2008(S1): 90–92.
- HAO X X. Overview of research on bitter substances[J]. Journal of Huanggang Normal University, 2008(S1): 90–92.
- [28] TIZIANA C, MELANIA M, MASSIMO C, et al. Responsiveness to 6-n-propylthiouracil (PROP) is associated with salivary levels of two specific basic proline-rich proteins in humans[J]. PLoS One, 2012, 7(2): e30962.
- [29] MELANIA M, CARLA A M, MASSIMILIANO A, 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.
- [30] PATRIKAINEN M, PAN P, KULESSKAYA N, et al. The role of carbonic anhydrase VI in bitter taste perception: Evidence from the Car6 / mouse model [J]. Journal of Biomedical Science, 2014, 21(1): 82–82.
- [31] RODRIGUES L, ESPANCA R, COSTA A R, et al. Comparison of salivary proteome of children with different sensitivities for bitter and sweet tastes: Association with body mass index[J]. International Journal of Obesity, 2019, 43(4): 701–712.
- [32] MICHELINE D, OLIVIER P, CHANTAL S, et al. Salivary protein profiles and sensitivity to the bitter taste of caffeine[J]. Chemical Senses, 2012, 1: 87.
- [33] MARTIN L E, KAY K E, ANN-MARIE T. Bitter-induced salivary proteins increase detection threshold of quinine, but not sucrose [J]. Chemical Senses, 2019, 6: 6.
- [34] NEYRAUD E, DRANSFIELD E. Relating ionisation of calcium chloride in saliva to bitterness perception [J]. Physiology & Behavior, 2004, 81(3): 505–510.
- [35] KEAST R. Modification of the bitterness of caffeine [J]. Food Quality and Preference, 2008, 19(5): 465–472.
- [36] CRAWFORD C R, RUNNING C A. Addition of

- chocolate milk to diet corresponds to protein concentration changes in human saliva[J]. *Physiology & Behavior*, 2020, 225(10): 113080.
- [37] FEENEY E L, HAYES J E. Exploring associations between taste perception, oral anatomy and polymorphisms in the carbonic anhydrase (gustin) gene CA6[J]. *Physiology & Behavior*, 2014, 128(4): 148–154.
- [38] FERRY A, MITCHELL J R, HORT J, et al. In-mouth amylase activity can reduce perception of saltiness in starch-thickened foods[J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2006, 54 (23): 8869–8873.
- [39] 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.
- [40] STOLLE T, GRONDINGER F, DUNKEL A, et al. Quantitative proteomics and SWATH-MS to elucidate peri-receptor mechanisms in human salt taste sensitivity[J]. *Food Chemistry*, 2018, 254: 95–102.
- [41] GOTO T, NAKAMICH A, WATANABE M, et al. Influence of food volume per mouthful on chewing and bolus properties [J]. *Physiology & Behavior*, 2015, 141(15): 58–62.
- [42] SCHINDLER A, DUNKEL A, STHLER F, et al. Discovery of salt taste enhancing arginyl dipeptides in protein digests and fermented fish sauces by means of a sensomics approach[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59 (23): 12578–12588.
- [43] HARTH L, KRAH U, LINKE D, et al. Salt taste enhancing L-arginyl-dipeptides from casein and lysozyme released by peptidases of basidiomycota[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2016, 66(10): 2344–2353.
- [44] ROCHA R A R, RIBEIRO M N, SILVA G A, et al. Temporal profile of flavor enhancers MAG, MSG, GMP, and IMP, and their ability to enhance salty taste, in different reductions of sodium chloride [J]. *Journal of Food Science*, 2020, 85(5): 1565–1575.
- [45] BIGIANI A. Does ENaC work as sodium taste receptor in humans? [J]. *Nutrients*, 2020, 12 (4): 1195.
- [46] 周雪. 减盐增鲜豌豆肽美拉德中间体制备及加工风味受控形成[D]. 无锡: 江南大学, 2021.
- ZHOU X. Salt reducing and freshening pea peptide Maillard intermediate preparation and processing controlled flavor formation[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2021.
- [47] TEMUSSI P A. The good taste of peptides[J]. *Journal of Peptide Science*, 2012, 18(2): 73–82.
- [48] 黄文垒, 毕继才, 闫寒. 咸味肽研究进展[J]. *食品工业*, 2020, 41(10): 266–269.
- HUANG W L, BI J C, YAN H. Research progress of salty peptides[J]. *Food Industry*, 2020, 41(10): 266–269.
- [49] 段晋娇. 基于仿生口腔的牛肉鲜味品质和嫩度品质检测技术研究[D]. 长春: 吉林大学, 2020.
- DUAN J J. Research on detection technology of beef freshness and tenderness based on bionic oral cavity [D]. Changchun: Jilin University, 2020.
- [50] DONG M, ZHANG Y Y, HUANG X H, et al. Dynamic sensations of fresh and roasted salmon (*Salmo salar*) during chewing[J]. *Food chemistry*, 2022, 368(22): 130844.
- [51] SCINSKA-BIENKOWSKA A, WROBEL E, TURZYSKA D, et al. Glutamate concentration in whole saliva and taste responses to monosodium glutamate in humans[J]. *Nutritional Neuroscience*, 2006, 9 (1/2): 25–31.
- [52] SASANO T, SATOH-KURIWADA S, SHOJI N, et al. Application of umami taste stimulation to remedy hypogeusia based on reflex salivation[J]. *Biological & Pharmaceutical Bulletin*, 2010, 33(11): 1791–1795.
- [53] 张月. 呈味核苷酸与 EGCG 及其蛋白络合物的相互作用对滋味的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2021.
- ZHANG Y. The effect of the interaction of flavoring nucleotides with EGCG and its protein complexes on taste [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2021.
- [54] RUNNING C A, CRAIG B A, MATTES R D. Oleogustus: The unique taste of fat [J]. *Chemical Senses*, 2015, 40(7): 507–516.
- [55] KEAST R S, COSTANZO A. Is fat the sixth taste primary? Evidence and implications[J]. *Flavour*, 2015, 4(5): 1–7.
- [56] YASUMATSU K, IWATA S, INOUE M, et al. Fatty acid taste quality information via GPR120 in the anterior tongue of mice[J]. *Acta Physiologica*, 2019, 226(1): e13215.
- [57] PIVK K U, IBRAHIM E, JUILLERAT M, et al.

- Effect of saliva on physical food properties in fat texture perception[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2017, 57(6): 1061–1077.
- [58] VORS C, DRAI J, GABERT L, et al. Salivary composition in obese vs normal-weight subjects: Towards a role in postprandial lipid metabolism? [J]. *International Journal of Obesity*, 2015, 39(9): 1425–1428.
- [59] MIODRAG G. 人类唾液的乳化特性及其对口腔行为和游离油脂感官感知的影响[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2020.
- MIODRAG G. The emulsifying properties of human saliva and implications to the oral behaviour and sensory perception of free oil/fat[D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2020.
- [60] 王敏, 安琦, 于雪宁, 等. 脂肪酸多重感知受体及其信号传导研究进展[J]. *中国食品学报*, 2023, 23(10): 351–363.
- WANG M, AN Q, YU X N, et al. Research progress on fatty acids sensing and signal transduction by multiple receptors[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2023, 23(10): 351–363.
- [61] NEYRAUD E, CABARET S, BRIGNOT H, et al. The basal free fatty acid concentration in human saliva is related to salivary lipolytic activity[J]. *Scientific Reports*, 2017, 7(1): 5969.
- [62] DELOMPRÉ T, GUICHARD E, BRIAND L, et al. Taste perception of nutrients found in nutritional supplements: A review[J]. *Nutrients*, 2019, 11(9): 2050.
- [63] FERON G. Unstimulated saliva: Background noise in taste molecules[J]. *Journal of Texture Studies*, 2019, 50(1): 6–18.
- [64] ZHANG D H, MA W Y, WU J, et al. Oral physiological and biochemical characteristics of different dietary habit groups II: Comparison of oral salivary biochemical properties of Chinese Mongolian and Han Young adults[J]. *Food Research International*, 2020, 136(10): 109465.
- [65] HU X, KARTHIK P, CHEN J. Enhanced oral oil release and mouthfeel perception of starch emulsion gels[J]. *Food Research International*, 2021, 144(4): 110356.
- [66] CHI Y L, DENG Y L, PU S H, et al. Ultrasound-assisted enzymatic extraction of hydroxy-sanshool compounds from the hydrodistillation residue of two Sichuan peppers: Optimization, quantification and pungent taste contribution evaluation [J]. *RSC Advances*, 2021, 11(8): 4547–4554.
- [67] BADER M, STARK T D, DAWID C, et al. All-trans-configuration in zanthoxylum alkylamides swaps the tingling with a numbing sensation and diminishes salivation[J]. *J Agric Food Chem*, 2014, 62(12): 2479–2488.
- [68] 方正, 高海燕, 赵镭, 等. 花椒油树脂加速贮藏期间麻味物质组成及麻感变化[J]. *中国调味品*, 2019, 44(8): 1–6.
- FANG Z, GAO H Y, ZHAO L, et al. Changes of hemp flavor components and hemp sensation of *Zanthoxylum bungeanum* oleoresin during accelerated storage[J]. *Chinese Condiments*, 2019, 44(8): 1–6.
- [69] 靳岳, 刘福权, 赵志峰, 等. 基于 Half-tongue 检验测定花椒麻味强度的研究[J]. *中国调味品*, 2016, 41(6): 80–83.
- JIN Y, LIU F Q, ZHAO Z F, et al. Study on the determination of *Zanthoxylum bungeanum* hemp flavor intensity based on Half-tongue test[J]. *Chinese Condiments*, 2016, 41(6): 80–83.
- [70] 王梓璇, 王童童, 王敏, 等. 辣味感觉的产生及其调控机制研究进展[J/OL]. *食品科学*, (2022-04-15) [2022-06-30]. https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=jd-zW40cutw4MQEL4daqI0FziEnogS_YVf4-K65GRmJ_6fwHYM4CXuyZScq3f7UqWlUrpHlGwsMGYuVGZP_Aqz7KlPaiRXnXGUaCdpHeChHeCVXcds8bj7FILkmeADoc0h-i1tHOosM=&uniplatform=NZKPT&language=CHS&version=LYDG.
- WANG Z X, WANG T T, WANG M, et al. Research progress on the production and regulation mechanism of spicy sensation [J/OL]. *Food Science*, (2022-04-15) [2022-06-30]. https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=jd-zW40cutw4MQEL4daqI0FziEnogS_YVf4-K65GRmJ_6fwHYM4CXuyZScq3f7UqWlUrpHlGwsMGYuVGZP_Aqz7KlPaiRXnXGUaCdpHeChHeCVXcds8bj7FILkmeADoc0h-i1tHOosM=&uniplatform=NZKPT&language=CHS&version=LYDG.
- [71] 王童童, 王梓璇, 王敏, 等. 外源物质对杂环胺生成的影响研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2022, 13(8): 2535–2542.
- WANG T T, WANG Z X, WANG M, et al. Research progress on the influences of exogenous substances on the formation of heterocyclic amines [J].

- Journal of Food Safety and Quality Inspection, 2022, 13(8): 2535–2542.
- [72] VAN RUTH S M. Changes in flavour release from rehydrated: Diced bell peppers (*Capsicum annuum*) by artificial saliva components in three mouth model systems [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2010, 67(2): 189–196.
- [73] KATSUKAWA H. Capsaicin induces cystatin s-like substances in submandibular saliva of the rat [J]. Journal of Dental Research, 1999, 78(10): 773–784.
- [74] 丛馨, 张艳, 俞光岩, 等. 激活辣椒素受体是调控下颌下腺分泌的新途径[J]. 北京大学学报(医学版), 2015, 47(1): 8–12.
- CONG X, ZHANG Y, YU G Y, et al. Activating capsaicin receptor is a new way to regulate submandibular gland secretion[J]. Journal of Peking University (Medical Edition), 2015, 47(1): 8–12.
- [75] 王洋, 俞光岩, 张雷. 辣椒素对健康人唾液腺及泪腺分泌功能的影响[J]. 现代口腔医学杂志, 2005(3): 296–298.
- WANG Y, YU G Y, ZHANG L. Effects of capsaicin on the secretory function of salivary and lacrimal glands in healthy people[J]. Journal of Modern Stomatology, 2005(3): 296–298.
- [76] 王洋, 张雷, 俞光岩. 辣椒素对移植颌下腺“休眠期”腺体分泌功能的影响[J]. 中华口腔医学杂志, 2007, 42(3): 161–164.
- WANG Y, ZHANG L, YU G Y. Effect of capsaicin on the secretory function of transplanted submandibular gland in ‘dormant period’ [J]. Chinese Journal of Stomatology, 2007, 42(3): 161–164.
- [77] 周一舟. “辣食渴求者”线索反应的生理及神经机制 [D]. 重庆: 西南大学, 2018.
- ZHOU Y Z. Physiological and neural mechanisms of cue response of ‘hot food cravers’ [D]. Chongqing: Southwest University, 2018.
- [78] 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.
- LUO X, DING L, XIE D Y, et al. Correlation analysis and model establishment of saliva flow rate and spicy intensity classification[J]. Food Industry Technology, 2022, 43(16): 338–346.
- [79] TACHIYASHIKI K, IMAIZUMI K, MORI A. Effects of garnishes with dishes on human saliva secretion: Effects of kinome (Sanshou: Japanese pepper leaf) and lemon peel on whole saliva secretion[J]. China Tropical Medicine, 1992, 45(2): 123–128.
- [80] IZUTANI T, UCHIHASHI K, NISHIKAWA Y S, et al. Antimicrobial protein secretion in the rat submandibular gland induced by aroma inhalation [J]. Journal of Osaka Dental University, 2017, 51(2): 81–88.
- [81] CRIADO C, MUOZ-GONZÁLEZ C, POZO-BAYÓN M N. Differences in salivary flow and composition between age groups are correlated to dynamic retronasal aroma perception during wine consumption [J]. Food Quality and Preference, 2021, 87(1): 104046.
- [82] CHONG P H, CHEN J, YIN D, et al. Tea compound-saliva interactions and their correlations with sweet aftertaste[J]. Npj Science of Food, 2022, 6(1): 123–132.
- [83] GALINDO A, LÓPEZ-ESPINOZA A, MARTÍNEZ A G, et al. Sour and salty taste: A parametric study [J]. Appetite, 2008, 51(2): 366–366.
- [84] HEINZERLING C I, STIEGER M, BULT J, et al. Individually modified saliva delivery changes the perceived intensity of saltiness and sourness [J]. Chemosensory Perception, 2011, 4(4): 145–153.
- [85] 宋亚赛. 绿茶苦涩味的化学成分及其相互作用研究 [D]. 合肥: 安徽农业大学, 2016.
- SONG Y S. Study on the chemical constituents and their interaction of the bitter and astringent taste of green tea [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2016.
- [86] KEAST R, BRESLIN P. An overview of binary taste-taste interactions [J]. Food Quality & Preference, 2003, 14(2): 111–124.
- [87] 王仕钰, 张立彦. 有机酸味剂对低钠盐增咸作用的研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(6): 4.
- WANG S Y, ZHANG L Y. Study on the saltiness increasing effect of organic acid flavoring agent on low sodium salt[J]. Food Industry Science and Technology, 2012, 33(6): 4.
- [88] MATTHIAS B, THERESA S, MAXIMILIAN J, et al. Chemosensate-induced modulation of the salivary proteome and metabolome alters the sensory perception of salt taste and odor-active thiols[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2018, 66(29): 7740–7749.
- [89] 田欣雨. 甜菊糖苷单体结构与其甜苦味感官表现的

- 相关性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2021.
- TIAN X Y. Study on the correlation between stevia glycoside monomer structure and sensory performance of sweet and bitter taste[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2021.
- [90] AGNES L, ADAM D. PROP (6-n-Propylthiouracil) tasting and sensory responses to caffeine, sucrose, neohesperidin dihydrochalcone and chocolate[J]. *Chemical Senses*, 2001, 26(1): 41-47.
- [91] 王兴国, 高盼. 脂肪味是第6种基本味觉吗?[J]. *食品科学技术学报*, 2016, 34(5): 1-11.
- WANG X G, GAO P. Is fatty taste the sixth basic taste?[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2016, 34 (5): 1-11.
- [92] KENZO K. Umami the fifth basic taste: History of studies on receptor mechanisms and role as a food flavor [J]. *Biomed Research International*, 2015, 2015(7): 189402.
- [93] IWAMOTO T, WAKITA A, SHIKANAI S, et al. Stress condition on a restricted sodium diet using umami substance (*L*-glutamate) in a pilot randomized cross-over study[J]. *Foods*, 2021, 10(8): 1739.

Advances in Physiological Correlation between Saliva Composition and Taste Perception

Wang Min¹, Yu Xuening¹, An Qi¹, Yang Huixin^{1,2}, Yuan Yue¹, Gai Shengmei¹, Han Tianlong^{1,2}, Liu Dengyong^{1*}
(¹College of Food Science and Engineering, Bohai University, Jinzhou 121013, Liaoning
²Liaoning Kazuo Hybrid Wild Boar Science and Technology Backyard, Chaoyang 122305, Liaoning)

Abstract The mechanism of food oral processing and taste perception is a hot topic in the field of food nutrition and health in recent years. It is mainly based on the interaction between food and oral cavity, and uses interdisciplinary methods to study the changes in the structure and physicochemical properties of food during oral processing, as well as the oral perception and a series of physiological reactions caused by it. Saliva is the first body fluid of mammals contacting with food when eating. It is a clear, slightly acidic, viscous oral secretion secreted by three pairs of large salivary glands (parotid gland, submandibular gland and sublingual gland) and hundreds of scattered small salivary glands. Saliva is composed of water, a variety of inorganic substances and organic active protein molecules, and has a variety of important physiological functions. This paper focused on the interaction between saliva secretion and basic taste including sour, sweet, bitter, salty, umami, and generalized taste including fatty, pungent, spicy, and discussed in detail the relationship between saliva secretion and these taste perception, and summarized the effects of saliva in various taste perception. It will provide a theoretical basis for further study on the physiological correlation between saliva composition and taste perception.

Keywords saliva; amylase; taste perception; fat taste; oral processing