

多感官的风味感知-“味型金字塔”概念

邓天野¹, 卢云浩², 施卫峰³, 王晓昀¹, 陈俊文¹, 覃蕾¹, 李军¹, 吕舰¹, 李天兰¹, 何强^{2*}

(1. 四川豪吉食品有限公司, 四川成都 610041) (2. 四川大学轻工科学与工程学院, 四川成都 610065)

(3. 雀巢产品技术中心, 辛根, 德国巴登-符腾堡州 78224)

摘要: 风味是食物重要的品质之一, 而消费者对食物或菜肴的风味感知是一个综合性的体验过程, 涉及了嗅觉、味觉和三叉神经等多感知系统, 那这些复杂的感知是如何在人体中形成的? 不同的“香”和“味”又是如何影响人类的整体风味感知的? 基于此, 该研究提出了“味型金字塔”概念, 认为食物整体风味的完美呈现涉及基础味(金字塔之底)、主体风味(金字塔之腰)和挥发性香味(金字塔之顶)的三层结构搭建, 三者互为支撑, 循序演替, 交相融合, 协调统一, 最终实现了整体风味的完美呈现。综述剖析了食品和菜肴风味呈现的内在规律, 揭示了人类对于食品或菜肴的风味感知是一个重点突出、主次分明、层次清晰、平衡协调的过程, 综述可对复合调味的科学优化提供参考。

关键词: 味道; 味型金字塔; 感官; 复合调味; 香味

文章编号: 1673-9078(2023)05-401-409

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.5.0501

Multi-sensory Flavor Perception - the Concept of “Flavor Pyramid”

DENG Tianye¹, LU Yunhao², SHI Weifeng³, WANG Xiaoyun¹, CHEN Junwen¹, QIN Lei¹, LI Jun¹, LYU Jian¹, LI Tianlan¹, HE Qiang^{2*}

(1.Sichuan Haoji Food Co. Ltd., Chengdu 610041, China)

(2.College of Biomass Science and Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

(3.Nestlé Product Technology Center, Singen 78224, Germany)

Abstract: Flavor is one of the most important qualities of foods, and consumer perception of food or dish flavor is a comprehensive experience process, involving multi-sensing systems such as the olfactory system, the gustatory system and trigeminal nerves. How do these complex perceptions form in the human body, and how do different “aroma” and “taste” affect human's overall flavor perception? On this basis, this article introduces the concept of “flavor pyramid”. We believe that the perfect presentation of the overall flavor of foods involves the construction of a three-level structure of basic flavor (the bottom of the pyramid), main flavor (the waist of the pyramid) and volatile aroma (the top of the pyramid), with the three supporting one another, acting in sequence, and being integrated, coordinated and united, eventually leading to the perfect presentation of the overall flavor. This paper analyzes the inherent laws of food flavor, and reveals that the human perception of food or dish flavor is a process with prominent focus, clear primary and secondary differentiation, clear hierarchy, and balanced coordination. This review can provide a reference for scientific optimization of compound seasoning.

Key words: flavor; flavor pyramid; sensory; compound seasoning; aroma

引文格式:

邓天野,卢云浩,施卫峰,等多感官的风味感知-“味型金字塔”概念[J].现代食品科技,2023,39(5):401-409.

DENG Tianye, LU Yunhao, SHI Weifeng, et al. Multi-sensory flavor perception - the concept of “flavor pyramid” [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(5): 401-409.

美食, 是社会发展的综合表现, 在人类克服温饱之后, 人们关注并追溯美食, 《舌尖上的中国》风靡各地, 人人以“吃货”人设为荣, 美食产业版图空前。美

收稿日期: 2022-04-23

作者简介: 邓天野(1974-), 男, 学士, 研究方向: 风味化学, E-mail: tianye.deng@cn.nestle.com

通讯作者: 何强(1971-)男, 博士, 教授, 研究方向: 风味化学、农产品加工与贮藏, E-mail: heq361@163.com

食以其美好的“味道”征服人类口腹之欲, 民间和本文所提及的“味道”, 是指人们对美食的食用综合感觉, 而不仅仅指食物的滋味。

味道是食品 and 菜肴的主要属性之一, 直接影响着消费者的接受度, 那么它是如何呈现和被消费者所感知的呢? 复合调味对食物整体味道的呈现具有重要作用, 即基于多种具有不同味型的原料, 遵循人类感知的基本规律, 通过科学的调和和处理, 赋予食物令人满

意的味道感知。在食品加工中,复合调味总体上基于科学的理论、合理的工艺流程及先进的加工设备,通过对配方和工艺参数的最优化,在保证产品质量与安全的同时,呈现出良好的味道。在烹饪领域,菜肴复合调味是基于厨师精湛的厨艺,通过合理选料调配、恰当的步骤及独到的火候掌控等,最终实现美味呈现,这一过程已演绎成一门艺术和一种文化,并形成了众多味型菜肴,也是我国烹饪的一大特色。“味道”的感知是一种非常综合和复杂的体验,包括了嗅觉、味觉、三叉神经等感官的整合^[1]。由于风味受体认识不清,以及化合物个体模式以复杂的方式相互作用等诸多因素,导致许多味道感知的确切机制不清楚,如辣椒素可以抑制蔗糖的甜味感知^[2],而当谷氨酸钠辅以薄荷时,会产生更加令人愉悦的风味^[3]。

人们喜好美味,并有意识或无意识地遵从于某些内在规律,实现了风味呈现,那么该如何从机理上理解其“分子美学”过程呢?基于此,本文提出了“味型金字塔”概念。金字塔概念本身是指“任何事物有一个中心论点,中心论点可由若干个论据支持,而这些论据本身也可以作为分论点来列明,状若金字塔一般”。人们对于食物或菜肴的感知是一个整体的味道,这个味道由底味、主体风味和挥发性香味共同支撑,而底味、主体风味和挥发性香味又是由不同的原辅料来共同呈现的,它们相互影响,类似于金字塔的搭建过程。因此,本文综述了基础味(金字塔之底)的受体及其激活与信号传导、主体风味(金字塔之腰)的交互影响和呈味机理、挥发性香味(金字塔之顶)的受体传导及与不同味型的融合,基于嗅觉、味觉和三叉神经等多感知系统分析,通过讨论“味型金字塔”的“三层搭建”过程,剖析了食品和菜肴风味呈现的内在规律,可为美味形成提供科学认识,并对复合调味优化提供参考。

1 基础味型感知

味觉是食物进入口腔后实现的一个重要特性,对人类整体的味道感知提供了关键信息。人们对于味觉的认知主要分为甜、鲜、苦、咸、酸五大类,正所谓“五味调和百味香”,可见在“味型”感知中,“甜、鲜、苦、咸、酸”对味道的感知起到了重要的支撑作用^[4]。

1.1 基础味受体与信号传导

味觉的形成需要两个基本条件:一是有适当的刺激,即呈味分子的存在;二是有味觉生理感觉器官^[5]。在分子水平上,感知到不同的味觉模式,这是被不同的味觉受体、离子型受体或代谢型受体等匹配到的^[4]。

在五种基础味中,甜味、鲜味和苦味受体都属于G蛋白偶联受体家族(GPCRs)^[6]。其中,鲜味受体包括由两个C类GPCRs(T1R1和T1R3)组成的异源二聚体^[7,8],或是代谢型谷氨酸受体的特异性变体mGluR1和mGluR4^[9,10];甜味受体也是由两个C类GPCRs(T1R2和T1R3)组成的异源二聚体^[11-13];而苦味受体属于A类GPCRs(T2Rs)^[14]。咸味和酸味的感知方式不同,它们均包括两种途径。对于咸味,一种受体是ENaC,作为Na⁺特异性盐味受体^[15];此外,还至少存在一种对多种阳离子(包括Na⁺、K⁺、NH₄⁺和Ca²⁺)有响应的盐味受体(Trpv1的变体)^[16]。酸味同样可由体感系统通过Trpv1表达神经元支配口腔^[17];另外,酸味的受体细胞主要由Polycystin-2-like 1(Pkd2l1)及其相关基因Pkdll3的表达定义^[18]。

当呈味分子与相应的受体结合后,会激活相关的通路并打开特定的离子通道,将化学信号转变为电脉冲,电脉冲会传送到更高的脑部中枢,从而使人们能够识别出特定的味觉信息^[19,20]。味觉信号通过两条主要途径从孤束核投射到皮层^[10]:(1)信号直接投射到丘脑腹后内侧核(VPM),然后信号从VPM传递并终止于额盖前岛叶的背侧(即初级味觉皮层)和中央后回的体感皮层,进一步地,初级味觉皮层投射到杏仁核和眶额皮层(即次级味觉皮层),次级味觉皮层可作为更高阶的味觉中心参与编码味觉刺激^[21,22];(2)途径二是信号从孤束核到达小脑中的脑桥核,然后投射到杏仁核和外侧下丘脑,杏仁核进一步投射到包括纹状体和前扣带皮层在内的其它区域,这在对味觉引起的情绪快感反应中起重要作用^[23,24]。大量电生理记录揭示了高度调谐的神经元一般仅对一种味觉质量的刺激做出压倒性的反应,这种“硬连线”方式使得味觉很容易被区分出来^[25-27]。

1.2 基础味感知与味道贡献

如上所述,每一种基础味都有与之对应的、专一性较强的受体。基础味的“质量、强度、时间和空间模式”四个特征赋予了味觉独一无二的特性,从而为人类整体的味道感知起到了举足轻重的作用,也是其能作为食物“底味支撑”的主要原因^[25-27]。其中,“质量”(即甜、鲜、苦、咸、酸)是味觉最重要的定义特征^[28]。比如,我们不能用蔗糖(甜味)来替代啤酒中的异- α 酸(苦味)而使其成为不同的饮料。而“强度”是对化合物在给定时间引起的感知大小的度量,该特征的进程与“时间”模式高度相关,而“空间”地形与舌头和口腔中的味觉受体的位置有关^[29]。

咸味:咸味是人类最基本的味感,在美食烹饪中,

咸味是调味的主味,有着“无盐不成味”的称号,充分证明了咸味对于味道的巨大贡献。与其它味相比,咸味强弱对比明显,能与其它味产生多种相互作用且不易被其它味掩盖,这也是咸味可作为“百味之主”的主要原因。

鲜味:鲜味在食物调味中也发挥着非常重要的作用,它可以增添丰厚感,使食物更加柔和,入口后促使唾液分泌,增强食欲。所有的呈鲜调料,一般都含有氨基酸(L型谷氨酸和天冬氨酸及其钠盐和酰胺等)、核苷酸(5'-肌苷酸和5'-鸟苷酸等)等成分。此外,琥珀酸钠盐、部分肽类化合物也具有鲜味。

甜味:甜味是人们最喜欢的底味之一,菜肴的调味中,甜味不仅可以为食物提供甜味感知,由于糖具有较大的吸湿性,很多甜味剂可以改变食物的质地,从而改善食物的口感。

酸味:人类对酸味刺激很敏感,例如食醋。酸味能促进消化,增强食物,改良食品风味。在烹饪中,糖醋调制的酸甜味即为常用的烹调味。

苦味:单纯的苦味并不会令人愉快,因此在烹饪过程中,一般较少利用苦味物质来进行调味。但当其与其它味感调配得体时,能起着丰富和改进食品风味的特殊作用,如啤酒、咖啡和茶叶的苦味也广泛受到欢迎。

这些基础味(甜、鲜、苦、咸、酸)是食物味道的“底味”支撑,但基础味并不等同于“底味”。食物的“底味”构成是多样的,它可能只包含一种基础味,也可能由两种或两种以上的基础味复配而成,如咸鲜、酸甜、鲜甜等。因此,不同基础味之间复杂的相互作用可为食物提供了丰富的“底味”,从而为食物的整体味道感知做出贡献。

2 主体风味感知

除上述五种基础味外,脂肪味、金属味也被大量学者定义为味觉,而消费者通常也将“麻”、“辣”、“涩”(三叉神经感)等认为是味觉^[30-32]。这些“味”之间混合后的相互作用构成了人体整体味道感知的主体风味。

2.1 主体风味的呈现机理

基础味之间,加上其与麻、辣、脂肪味等的相互作用,会使其中每一种味的强度在一定程度上发生相应的改变,从而影响人类对于主体风味的感知。这些感知的不同主要机理涉及三个方面。(1)直接的化学作用,例如酸与碱的结合^[28];(2)味觉受体/转导机制间的相互作用,即当两种化合物混合时,一种化合物可能干扰与另一种化合物相关的味觉受体细胞或味觉

传导机制^[20];(3)认知互动,即前文所述的初级味觉皮层和次级味觉皮层对于所传入味觉信号的解码^[33-36]。

例如,在甜、鲜、苦味诱导的刺激过程中,II型细胞释放ATP激活鲜味感知传入纤维,但ATP也通过P2Y受体刺激相邻的III型细胞^[37-41]。因此,除了被酸性味觉刺激激活外,III型细胞还对甜、鲜和苦味化合物产生响应,尽管是间接的。具体而言,即单独的II型细胞群主要对单一味觉质量作出反应(如苦味和甜味)^[42];而相比之下,III型味蕾细胞直接对酸味刺激做出反应,并间接对多种味觉刺激做出反应^[43]。

2.2 主体风味的交互影响与味道贡献

我国菜肴的口味丰富多彩,所呈现出来的味道绝大多数都是复合的,正所谓基础味可数,复合味无穷。食物调味实质上就是利用基础味之间的相互作用,以不同的比例、不同的加入次序、不同的烹调/制作方法产生众多理想的复合味。文献表明这些味与味之间的相互作用主要有对比、协同、相消和变调作用,这些相互作用决定了食物的主体风味,进而影响着整体的味道感知^[28,44]。

(1) 对比作用

对比作用包括对比增强和对比减弱作用,是由于一种味道的刺激对另一种味道的刺激强度产生改变而引起的。例如,在10%(*mV*)的蔗糖溶液中加入0.18%(*mV*)的食盐时(即甜味占主导时),混合液的甜味感要比单独的蔗糖溶液更强,这是咸味与甜味的对比作用。研究表明,Na⁺依赖性转运蛋白(SGLT1)可以参与转导糖类化合物,这为钠盐可以增强甜味感知提供了合理解释^[4,45]。此外,10%~20%(*m/m*)的食盐水中加入0.1%(*mV*)的醋酸,咸味感知会增强,这是咸味与酸味的对比作用;在味精溶液中加入适量的食盐则可使鲜味显著突出,各种鲜味剂几乎在所有场合都必须与食盐共同作用才能完美地体现出鲜味,这是鲜味与咸味的对比作用。

(2) 协同作用

协同作用指将两种或两种以上的基础味同时刺激味蕾,人的感知超出每种基础味单独刺激时叠加的强度。有研究表明,5'-肌苷酸和5'-鸟苷酸(以及其它部分肽或游离氨基酸)可大大提升谷氨酸盐的鲜味强度。在人类受体中,5'-肌苷酸和谷氨酸混合物的鲜味反应强度是对单独谷氨酸反应的8倍^[46,47]。不同的酸味物质之间也具有协同作用,例如食醋中醋酸与乳酸、氨基酸、琥珀酸等其它有机酸的综合效果。

(3) 相消作用

相消作用指一种物质能抑制或减弱另外一种化合

物的味道(或互相抑制)。若将蔗糖、醋酸、食盐和奎宁之间的任何两种物质以适当比例混合时,都会使其中的一种味感比单独存在时更弱。例如:醋酸可使甜味降低,醋酸添加量越大,甜味越小;而酸味也会因蔗糖的添加而减少,且一般情况下蔗糖添加量越大,酸味越小,但也与pH有一定关系,如在0.3%以上的醋酸中即使添加多量的蔗糖,酸味也难消失。

(4) 变调作用

变调作用指两种物质先后刺激味蕾,由于先摄入物质的影响造成后食入物质味觉感知的本质变化。例如,当尝过很苦的奎宁后,立即饮用无味的白开水会觉得水有了甜味的感觉。先吃甜食,接着饮酒,会觉得酒似乎有些苦味,就是这个原因。

3 香味综合感知

除了前面所阐述的基础味和主体风味之外,人类还可以通过嗅觉系统(鼻前和鼻后途径)检测到大量不同结构的化合物单体和混合气味^[48-51]。食物的香味(挥发性风味)在很大程度上决定了消费者对于食物的第一印象,从而对食物整体风味的感知起着至关重要的影响。

3.1 香味受体与信号传导

香味属于嗅觉感知,其受体是人类G蛋白偶联受体(GPCRs)中最大的受体家族,在人类蛋白编码基因中超过2%,属于A类(视紫红质)GPCRs^[52]。除去超过50%的非功能性假基因(如不表达蛋白),人类有约400个独特、完整的功能性气味受体^[53,54],平均长度约为320个氨基酸残基,氨基酸系列的微小变化可以极大地改变它们与香味分子的相互作用,所以每个人对某些香味的感知方式会有所不同^[55,56]。

当挥发性化合物与受体短暂(几毫秒)结合时,会引起受体构象的改变,与嗅觉受体偶联的G蛋白被活化并脱离,启动信号级联,使膜去极化,从而把香味分子的化学信号转变为电信号^[57-60]。随后,这些脉冲会轴突传播到嗅球中不同的嗅小球,再传递给帽状细胞。这些信息在嗅球中经过集中处理后形成空间和时间的编码,编码后的信息再传递到大脑皮层中的梨状皮层(初级嗅觉皮层),进一步地,初级嗅觉皮层投射到眶额皮层(即次级嗅觉皮层),引起对香味的感知^[58,61,62]。

3.2 香味感知与味道贡献

香味的产生主要是挥发性气味分子与嗅觉受体结合后而产生的一系列信号传导。然而,心理物理学研究表明,人类对气味混合物的感知,即使能正确识别单独的每一种,混合气味也不仅仅是单个成分感知的简单总和^[63-65]。对于包含超过四种成分的混合物,个体会失去它们本身的特性,并产生一种新的香味感知,混合物独特的气味品质不是由单一成分引起的^[66,67]。例如,类似天竺葵气味的(Z)-1,5-辛二烯-3-酮和马铃薯气味的3-甲硫基丙醛(酱油、郫县豆瓣中的特征香味化合物)当以1:100的比例存在时,会失去它们各自的气味特征,从而引起特有的鱼腥气味^[48]。这种“合成”的现象,被神经心理学证明是由于特定的皮层神经元对混合物有响应,但对其个体成分没有响应^[68,69]。这意味着仅使用单个气味化合物或者依赖单一的浓度不足以识别和预测食物的特征气味质量。

目前,食物中的挥发性化合物已超过10000种,对食品和菜肴总体风味起贡献作用的被证实大约有230种^[48]。而且人类约400个嗅觉受体中,仅10%的受体在功能上被分配至少一种香味分子(去孤化),从而被激活^[70-72]。受体激活所需的气味分子的浓度也存在非常大的差异,可从0.00003 μg/kg(2-甲基-3-呋喃硫醇)跨越到990000 μg/kg(乙醇)^[48]。这些香味分子中,部分物质的规律已经被揭示,例如,“Generalists”(超过20%的食物中都被鉴定为特征气味化合物)主要是基于碳水化合物、氨基酸和饱和脂肪酸,通过酶促反应,或Strecker和Maillard型的非酶降解而来;而“Individuals”(小于5%的食物中被鉴定为特征气味化合物)主要来自于包括多酚、类异戊二烯和某些未知的生物合成大分子代谢物及前体物的转化^[73-76]。这些化合物可以不同的浓度、组合或配置方式,形成不同的香味感知。可见,挥发性化合物可以产生非常广泛的感知,任何特定的描述系统可能都无法精确捕捉这些感觉。

不过,尽管无法在混合物中识别出个体气味,但人类很容易区分混合物,甚至多种复合混合物也能被人类感官证明,以产生可区分的香味感知印象,即“气味对象(Odorobject)”^[63]。这种经过验证的食源性香味重组的混合物特异性和基于浓度的受体活性模式,可为香味的识别、整体味道的改进提供强有力的支持。

人们在制作食物时，也是利用这种“混合物的特异性”来使菜肴“生香”，包括借香、合香、点香、裱香、提香等手段，使食品和菜肴的香味与其主体风味能够更为有机地融合，从而实现菜肴整体“香、味”的协调统一。

4 味道的整体感知和综合呈现

4.1 味道的整体感知-“味型金字塔”概念的搭建与论证

如前所述，食物以一个综合性的味道呈现给消费者，而对其感受涉及嗅觉、味觉和三叉神经等多感知系统。酸、甜、苦、咸和鲜等各基础风味独特，通过不同受体的参与，给消费者差异化的单一感受。这些基础味型虽然难以自成美食，但它们构成的底味对食品和菜肴总体味道呈现而言，就像金字塔搭建的底层基石一样不可或缺。一个美食的成分往往包括多种原料和辅料，涉及不同基础味，在加工或烹制过程中各基础味必然产生复杂的交互影响，形成不同复合味型，如咸鲜、椒麻、糖醋、鱼香等老百姓喜闻乐见的味型。这些复合味型的呈现建立在不同基础味型上，但又不是基础味型的简单叠加，就像经过一块块基石的垒建，具有了金字塔的主体面貌，对于食品和菜肴而言就形成了主体风味。食物原料通常都含有少量的特征挥发性香味成分，在加工或烹饪过程中会发生一定程度的理化变化和交互作用，导致香味风味的增减或形成新的香味。香味对于食品和菜肴意义重大，它们大多是脂肪族和芳香族化合物，具有挥发性强和沸点低的特点，往往在品尝前就被感知，直接影响消费者的购买和消费欲望，对于总体味道呈现而言具有画龙点睛的作用，就像金字塔顶一样引人注目。

由此可见，食物或菜肴整体味道的呈现就像金字塔的搭建过程，需要基石（“底味”）的支撑，中心结构（“主体风味”）的堆砌和金字塔尖（“香味”）的呈现。因此，本综述提出了“味型金字塔”概念，即食品和菜肴的基础味、主体风味和挥发性香味就像金字塔的底、腰和顶，三者缺一不可，它们互为支撑，循序演替，交相融合，协调统一，最后才能形成金字塔之美，实现整体味道的完美呈现。人们追求美味，事实上众多美食在制作或烹制过程中都潜意识地从和应用了“味型金字塔”概念，如工程师基于食品化学原理，通过科学配方和各工序加工参数的最优化，实现产品基础味、主体风味和香味的协调；而餐厅大厨的经验技能中有油、盐、酱、醋、糖等基本原料的巧妙配比应用，有因料、因菜、因时多态调味及加热前、中、

后多步调味方法，还有调料调香与加热和淋油等调香手段，实际上在潜意识中完成了“味型金字塔”的基础味、主体风味和香味“三层搭建”过程，最终呈现出菜肴的完美风味（图1）。

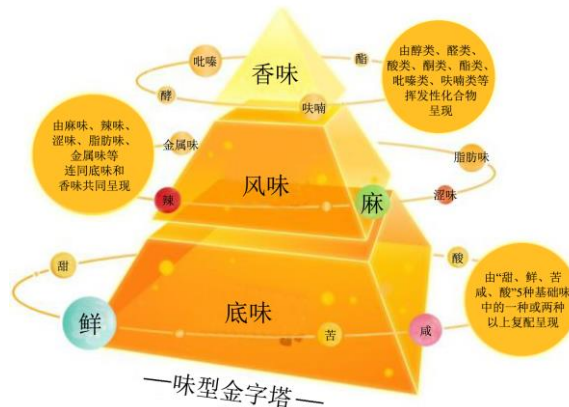


图1 味道的整体感知-“味型金字塔”概念

Fig.1 Overall perception of flavor - The concept of “flavor pyramid”

4.2 “味型金字塔”与味道综合呈现的关系

(1) 服从食物主味的原则

服从食物主味的原则，即任何一道菜肴都具有自己鲜明的特点。例如，“麻辣咸鲜”是我国川菜菜肴的显著特色，在烹饪中，川盐、鸡精和味精奠定了“咸鲜”底味，而花椒和辣椒的使用赋予了川菜“麻辣”的主体风味，调味料的复配使用为川菜“麻辣鲜香”的风味感知提供了厚重的支撑。

(2) 强调味道的层次感

任何菜肴都需要使用不同的调料来赋予菜肴前香，主味和后味。例如，适量的酱油既可以为食物提供“咸鲜”的底味，又可赋予菜肴提供浓郁的香味；少量的辣椒可以大大提升清炖猪肉的主体风味；而姜丝也可以明显提升麻辣风味的后味，赋予香辛味等主体风味。此外，可以通过不同的方法在烹前、烹中、烹后进行调味，如烹调前的腌渍、烹调中的浇汁、烹调后的蘸食等，这些方式可以使食物的总体风味具有层次感。

(3) 实现味道的平衡

“味型金字塔”概念同样强调菜肴基础味、主体风味和香味三者之间的协调平衡，这其中包括了主体风味间的平衡以及香味和主体风味之间的融合。

(i) 主体风味间的平衡

如前文所述，味与味之间的对比、协同、相消和变调作用可以使令人愉悦的味道得以适当凸显，令人厌恶的味道得到掩蔽，从而使产品主体风味得以协调统一的完美呈现。例如，“咸”和“鲜”是川菜中非常重

要的底味,但值得注意的是食盐与味精在呈味强度上的平衡具有剂量效应,川菜这种口味浓厚菜肴中,食盐添加量一般为1.4%~1.8% (m/V),而相应味精添加量在0.18%~0.26% (m/V)。我国南方菜系在烹调过程中,一般会加少量的蔗糖,这种做法可以“提鲜”,这主要是运用了在咸味呈味物质存在的前提下,少量甜味剂可以增强鲜味强度的原理。烹饪中,在0.1%醋酸溶液中添加5%~10%的蔗糖,酸甜味较为合适,此浓度大致是菜肴制作时常用的糖醋汁的浓度。此外,在调味实践中,咸味有着控制辣味的作用,在辣味中加入少量的食盐,可使辣味显得不那么单一的辛辣。咸味和甜味之间在发生对比现象时,食盐会按下列顺序使糖的甜度增高:蔗糖、葡萄糖、果糖、乳糖、麦芽糖,其中蔗糖甜度增高程度最小,麦芽糖甜度增高程度最大^[77]。可见,若想呈现出令人满意的主体风味,味与味之间的平衡至关重要。

(ii) 香味与基础味的融合

尽管嗅觉受体和味觉受体及其通向大脑的神经通路在生理上是分开的,但眶额皮层、前扣带皮层和岛叶已被证明是其整合的重要区域,由此产生的一种跨模式的感官融合会导致属性强度的增强或减弱,进而影响对食物整体味道的感知。许多香味会产生相同的并发味道,只是程度不同(即特定的气味往往只会引起一种味道,但一种味道可能与多种香味有关)。例如,人们通常将嗅闻到的草莓、香草、薄荷或巧克力等香味都描述为“甜味”;酱油的咸味(鼻前气味)与同时口服的盐水溶液之间也可以获得增强效果。不过,香味引发的味觉增强是具有特异性的,如草莓气味会增强蔗糖溶液的甜度,但不会增强盐水的甜度;而花生酱气味却不会影响甜味感知。

研究表明,经常与甜、鲜、苦、咸、酸味食物搭配的嗅觉刺激可以增强相关的味觉质量,即使它们以低于阈值的水平呈现^[78]。Dalton等^[79]的研究对于嗅觉和味觉线索的多感官整合极具说服力:参与者被分为两队,每个瓶子都装着清澈无气味的液体,其中一个瓶子添加了类似杏仁樱桃般的香味(苯甲醛),每次试验参与者都需确定哪个瓶子含有苯甲醛。结果发现,当参与者在嘴里含着低于阈值的糖精溶液执行这项任务时,苯甲醛的香味被认为比对照组明显更强烈;而相比之下,将低于阈值的谷氨酸钠溶液放在舌头上并不会导致参与者嗅到瓶子中香味的能力发生任何此类变化。之后的很多科学研究也报告了类似的结果。McCabe等^[3]利用fMRI功能性脑成像表明,谷氨酸钠和咸味、气味(蔬菜)的组合对内侧眶额皮层和前扣带皮层的激活比单独呈现的味觉和嗅觉成分的激活总

和要大得多,产生的总体风味会更令人愉悦,同样的现象也发生在谷氨酸钠和香薄荷气味的组合^[80]。Pfeiffer等^[81]表明当相关的味觉和嗅觉刺激同时出现时,大多数参与者的嗅觉阈值降低了50%,而且有趣的是,无论香味是通过鼻前还是鼻后途径传递,结果都是相似的^[82]。

综上所述,由基础底味、主体风味和香味共同搭建“味型金字塔”,三者必须互为支撑,交相融合,协调统一,才能呈现出菜肴的完美风味。例如,宫保鸡丁是川菜的典型代表,其以鸡肉为主料,佐以花生米、鸡精、盐、酱油、辣椒等辅料烹饪而成,具有“咸鲜适中、红而不辣、肉质滑脆”等特色,是享誉中外的世界名菜。宫保汁是宫保鸡丁味道呈现的秘诀,其中,盐、鸡精和酱油给予了浓厚的“咸鲜”底味;糖、醋、干辣椒、干红花椒、大葱、姜、蒜等辅料的混合使用形成了宫保鸡丁“糊辣荔枝”的主体风味;炒制过程中可以发生脱水、脱羧、美拉德等一系列反应,同样赋予了宫保鸡丁的独特主体风味;而红油的使用不仅可以提升油亮色泽,也对菜肴的风味进行了补充,使得菜肴味道平衡协调。通过独具特色的调料和烹饪方式,整个过程涉及分散、凝固、凝结、变性、水解、分解、聚合、氧化和酯化等多重物理化学反应,最终形成了风靡世界的川菜美食宫保鸡丁。

5 结论

本综述剖析了食品和菜肴风味呈现的内在规律,进而提出了“味型金字塔”概念,该概念可以很好地揭示食物味道的呈现以及人体对于菜肴整体味道的感知过程,可对各类菜肴复合调味的科学优化提供理论参考。

参考文献

- [1] Breslin P A S. Human gustation and flavour [J]. *Flavour and Fragrance Journal*, 2001, 16(6): 439-456.
- [2] Prescott J, Stevenson R J. Effects of oral chemical irritation on tastes and flavors in frequent and infrequent users of chili [J]. *Physiology and Behavior*, 1995, 58(6): 1117-1127.
- [3] McCabe C, Rolls E T. Umami: a delicious flavor formed by convergence of taste and olfactory pathways in the human brain [J]. *European Journal of Neuroscience*, 2007, 25(6): 1855-1864.
- [4] Roper S D, Chaudhari N. Taste buds: cells, signals and synapses [J]. *Nature Reviews in Neuroscience*, 2017, 18(8): 485-497.
- [5] Chaudhari N, Roper S D. The cell biology of taste [J]. *Journal of Cell Biology*, 2010, 190(3): 285-296.

- [6] Chandrashekar J, Hoon M A, Ryba N J, et al. The receptors and cells for mammalian taste [J]. *Nature*, 2006, 444(7117): 288-294.
- [7] Delay E R, Hernandez N P, Bromley K, et al. Sucrose and monosodium glutamate taste thresholds and discrimination ability of T1R3 knockout mice [J]. *Chemical Senses*, 2006, 31(4): 351-357.
- [8] Kusahara Y, Yoshida R, Ohkuri T, et al. Taste responses in mice lacking taste receptor subunit T1R1 [J]. *Journal of Physiology-London*, 2013, 591(7): 1967-1985.
- [9] Chaudhari N, Pereira E, Roper S D. Taste receptors for umami: the case for multiple receptors [J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2009, 90(3): 738S-742S.
- [10] Wu B, Eldeghaidy S, Ayed C, et al. Mechanisms of umami taste perception: From molecular level to brain imaging [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2022, 62: 7015-7024.
- [11] Nie Y, Vignes S, Hobbs J R, et al. Distinct contributions of T1R2 and T1R3 taste receptor subunits to the detection of sweet stimuli [J]. *Current Biology*, 2005, 15(21): 1948-1952.
- [12] Nelson G, Hoon M A, Chandrashekar J, et al. Mammalian sweet taste receptors [J]. *Cell*, 2001, 106(3): 381-390.
- [13] Montmayeur J P, Liberles S D, Matsunami H, et al. A candidate taste receptor gene near a sweet taste [J]. *Nature Neuroscience*, 2001, 4(5): 492-498.
- [14] Behrens M, Meyerhof W. Bitter taste receptor research comes of age: from characterization to modulation of TAS2Rs [J]. *Seminars in Cell & Developmental Biology*, 2013, 24(3): 215-221.
- [15] Desimone J A, Lyall V. Taste receptors in the gastrointestinal tract III. Salty and sour taste: sensing of sodium and protons by the tongue [J]. *American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology*, 2006, 291(6): G1005-1010.
- [16] Lyall V, Heck G L, Vinnikova A K, et al. The mammalian amiloride-insensitive non-specific salt taste receptor is a vanilloid receptor-1 variant [J]. *Journal of Physiology-London*, 2004, 558(1): 147-159.
- [17] Julius D. TRP channels and pain [J]. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 2013, 29: 355-384.
- [18] Huang A L, Chen X K, Hoon M A, et al. The cells and logic for mammalian sour taste detection [J]. *Nature*, 2006, 442(7105): 934-938.
- [19] Finger T E, Danilova V, Barrows J, et al. ATP signaling is crucial for communication from taste buds to gustatory nerves [J]. *Science*, 2005, 310(5753): 1495-1499.
- [20] Lindemann B. Receptors and transduction in taste [J]. *Nature*, 2001, 413(6852): 219-225.
- [21] Cerkevich C M, Qi H X, Kaas J H. Thalamic input to representations of the teeth, tongue, and face in somatosensory area 3b of macaque monkeys [J]. *Journal of Comparative Neurology*, 2013, 521(17): 3954-3971.
- [22] Kringelbach M L, O'doherty J, Rolls E T, et al. Activation of the human orbitofrontal cortex to a liquid food stimulus is correlated with its subjective pleasantness [J]. *Cerebral Cortex*, 2003, 13(10): 1064-1071.
- [23] Fu O, Iwai Y, Narukawa M, et al. Hypothalamic neuronal circuits regulating hunger-induced taste modification [J]. *Nature Communications*, 2019, 10: 4560.
- [24] De Araujo I E T, Kringelbach M L, Rolls E T, et al. Human cortical responses to water in the mouth, and the effects of thirst [J]. *Journal of Neurophysiology*, 2003, 90(3): 1865-1876.
- [25] Sollars S I, Hill D L. *In vivo* recordings from rat geniculate ganglia: taste response properties of individual greater superficial petrosal and chorda tympani neurons [J]. *Journal of Physiology-London*, 2005, 564(3): 877-893.
- [26] Breza J M, Curtis K S, Contreras R J. Temperature modulates taste responsiveness and stimulates gustatory neurons in the rat geniculate ganglion [J]. *Journal of Neurophysiology*, 2006, 95(2): 674-685.
- [27] Yoshida R, Shigemura N, Sanematsu K, et al. Taste responsiveness of fungiform taste cells with action potentials [J]. *Journal of Neurophysiology*, 2006, 96(6): 3088-3095.
- [28] Keast S J R, Breslin P A S. An overview of binary taste-taste interactions [J]. *Food Quality and Preference*, 2002, 14(2): 111-124.
- [29] Mcburney D H. Temporal properties of the human taste system [J]. *Sensory Processes*, 1976, 1(2): 150-162.
- [30] Regueiro J, Negreira N, Simal-Gandara J. Challenges in relating concentrations of aromas and tastes with flavor features of foods [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2017, 57(10): 2112-2127.
- [31] Stratford J M, Curtis K S, Contreras R J. Chorda tympani nerve transection alters linoleic acid taste discrimination by male and female rats [J]. *Physiology & Behavior*, 2006, 89(3): 311-319.
- [32] Galindo M M, Voigt N, Stein J, et al. G protein-coupled receptors in human fat taste perception [J]. *Chemical Senses*, 2012, 37(2): 123-139.

- [33] Bo X, Alavi A, Xiang Z H, et al. Localization of ATP-gated P2X2 and P2X3 receptor immunoreactive nerves in rat taste buds [J]. *Neuroreport*, 1999, 10(5): 1107-1111.
- [34] Huang Y J, Maruyama Y, Lu K S, et al. Mouse taste buds use serotonin as a neurotransmitter [J]. *Journal of Neuroscience*, 2005, 25(4): 843-847.
- [35] Dvoryanchikov G, Huang Y J A, Barro-Soria R, et al. GABA, its receptors, and GABAergic inhibition in mouse taste buds [J]. *Journal of Neuroscience*, 2011, 31(15): 5782-5791.
- [36] Dando R, Roper S D. Acetylcholine is released from taste cells, enhancing taste signalling [J]. *Journal of Physiology-London*, 2012, 590(13): 3009-3017.
- [37] Huang Y A, Dando R, Roper S D. Autocrine and paracrine roles for ATP and serotonin in mouse taste buds [J]. *Journal of Neuroscience*, 2009, 29(44): 13909-13918.
- [38] Huang Y A, Pereira E, Roper S D. Acid stimulation (sour taste) elicits GABA and serotonin release from mouse taste cells [J]. *PLoS One*, 2011, 6(10): e25471.
- [39] Dando R, Dvoryanchikov G, Pereira E, et al. Adenosine enhances sweet taste through A2B receptors in the taste bud [J]. *Journal of Neuroscience*, 2012, 32(1): 322-330.
- [40] Bartel D L, Sullivan S L, Lavoie E G, et al. Nucleoside triphosphate diphosphohydrolase-2 is the ecto-ATPase of type I cells in taste buds [J]. *Journal of Comparative Neurology*, 2006, 497(1): 1-12.
- [41] Vandenbeuch A, Anderson C B, Parnes J, et al. Role of the ectonucleotidase NTPDase2 in taste bud function [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2013, 110(36): 14789-14794.
- [42] Tomchik S M, Berg S, Kim J W, et al. Breadth of tuning and taste coding in mammalian taste buds [J]. *Journal of Neuroscience*, 2007, 27(40): 10840-10848.
- [43] Yoshida R, Miyauchi A, Yasuo T, et al. Discrimination of taste qualities among mouse fungiform taste bud cells [J]. *Journal of Physiology-London*, 2009, 587(18): 4425-4439.
- [44] Wu A, Dvoryanchikov G, Pereira E, et al. Breadth of tuning in taste afferent neurons varies with stimulus strength [J]. *Nature Communications*, 2015, 6: 8171.
- [45] Kurihara T, Kurihara A K. Large enhancement of canine taste responses to sugars by salts [J]. *Journal of General Physiology*, 1990, 95(5): 1007-1018.
- [46] Dang Y L, Gao X C, Xie A Y, et al. Interaction between umami peptide and taste receptor T1R1/T1R3 [J]. *Cell Biochem Biophys*, 2014, 70(3): 1841-1848.
- [47] Zhang J A, Sun-Waterhouse D, Su G W, et al. New insight into umami receptor, umami/umami-enhancing peptides and their derivatives: A review [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2019, 88: 429-438.
- [48] Dunkel A, Steinhaus M, Kotthoff M, et al. Nature's chemical signatures in human olfaction: a foodborne perspective for future biotechnology [J]. *Angewandte Chemie-International Edition*, 2014, 53(28): 7124-7143.
- [49] Drydr L, Berghard A. Odorant receptors a plethora of G-protein-coupled receptors [J]. *Trends in Pharmacological Sciences*, 1999, 20(10): 413-417.
- [50] Trimmer C, Mainland J D. Simplifying the odor landscape [J]. *Chemical Senses*, 2017, 42(3): 177-179.
- [51] Spence C, Auvray M, Smith B. *Confusing Tastes with Flavours* [M]. London: Oxford Scholarship Online, 2014.
- [52] De March C A, Yu Y Q, Ni M J J, et al. Conserved residues control activation of mammalian G protein-coupled odorant receptors [J]. *Journal of American Chemical Society*, 2015, 137(26): 8611-8616.
- [53] Roediger H L. *Stevens' Handbook of Experimental Psychology* [M]. New York: John Wiley and Sons, 2002.
- [54] Kuhlmann K, Tschapek A, Wiese H, et al. The membrane proteome of sensory cilia to the depth of olfactory receptors [J]. *Molecular & Cell Proteomics*, 2014, 13(7): 1828-1843.
- [55] Armelin-Correa L M, Malnic B. Combining *in vivo* and *in vitro* approaches to identify human odorant receptors responsive to food odorants [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2018, 66(10): 2214-2218.
- [56] Teixeira C S S, Cerqueira N M F S A, Ferreira A C S. Unravelling the olfactory sense: from the gene to odor perception [J]. *Chemical Senses*, 2016, 41(2): 105-121.
- [57] Block E. Molecular basis of mammalian odor discrimination: A status report [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2018, 66(51): 13346-13366.
- [58] Reddy G, Zak J D, Vergassola M, et al. Antagonism in olfactory receptor neurons and its implications for the perception of odor mixtures [J]. *Elife*, 2018, 7: e34958.
- [59] Berghard A, Buck L B, Liman E R. Evidence for distinct signaling mechanisms in two mammalian olfactory sense organs [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1996, 93(6): 2365-2369.
- [60] Firestein S. How the olfactory system makes sense of scents [J]. *Nature*, 2001, 413(6852): 211-218.
- [61] Hong S, Corey E J. Enantioselective syntheses of georgyone, arborone, and structural relatives. relevance to the molecular-level understanding of olfaction [J]. *Journal of the*

- American Chemical Society, 2006, 128(4): 1346-1352.
- [62] Schilling B, Kaiser R, Natsch A, et al. Investigation of odors in the fragrance industry [J]. *Chemoecology*, 2009, 20(2): 135-147.
- [63] Gottfried J A. Central mechanisms of odour object perception [J]. *Nature Reviews Neuroscience*, 2010, 11(9): 628-641.
- [64] Jinks A, Laing D G. The analysis of odor mixtures by humans: evidence for a configurational process [J]. *Physiology & Behavior*, 2001, 72(1-2): 51-63.
- [65] Le Berre E, Beno N, Ishii A, et al. Just noticeable differences in component concentrations modify the odor quality of a blending mixture [J]. *Chemical Senses*, 2008, 33(4): 389-395.
- [66] Coureaud G, Hamdani Y, Schaal B, et al. Elemental and configural processing of odour mixtures in the newborn rabbit [J]. *Journal of Experimental Biology*, 2009, 212(16): 2525-2531.
- [67] Coureaud G, Gibaud D, Le Berre E, et al. Proportion of odorants impacts the configural versus elemental perception of a binary blending mixture in newborn rabbits [J]. *Chemical Senses*, 2011, 36(8): 693-700.
- [68] Howard J D, Plailly J, Grueschow M, et al. Odor quality coding and categorization in human posterior piriform cortex [J]. *Nature Neuroscience*, 2009, 12(7): 932-938.
- [69] Grossman K J, Mallik A K, Ross J, et al. Glomerular activation patterns and the perception of odor mixtures [J]. *European Journal of Neuroscience*, 2008, 27(10): 2676-2685.
- [70] Duan X F, Block E, Li Z, et al. Crucial role of copper in detection of metal-coordinating odorants [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2012, 109(9): 3492-3497.
- [71] Weiss T, Snitz K, Yablonka A, et al. Perceptual convergence of multi-component mixtures in olfaction implies an olfactory white [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2012, 109(49): 19959-19964.
- [72] Crasto C J. *Olfactory Receptors* [M]. New York: Springer, 2013.
- [73] Blank I, Devaud S, Matthey-Doret W, et al. Formation of odorants in maillard model systems based on L-proline as affected by pH [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003, 51(12): 3643-3650.
- [74] Schieberle P, Hofmann T. *Heteroatomic Aroma Compounds* [M]. Washington: American Chemical Society, 2002.
- [75] Schwab W. Natural 4-hydroxy-2, 5-dimethyl-3(2H)-furanone (Furaneol(R)) [J]. *Molecules*, 2013, 18(6): 6936-6951.
- [76] Giaccio J, Capone D L, Hakansson A E, et al. The formation of wine lactone from grape-derived secondary metabolites [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59(2): 660-664.
- [77] 毛羽扬, 秋实. 菜肴调味中的科学 [J]. *中国食品*, 2010, 15: 40-41.
- [78] Spence C. Eating with our ears: Assessing the importance of the sounds of consumption to our perception and enjoyment of multisensory flavour experiences [J]. *Flavour*, 2015, 4: 3.
- [79] Dalton P, Doolittle N, Nagata H, et al. The merging of the senses: Integration of subthreshold taste and smell [J]. *Nature Neuroscience*, 2000, 3(5): 431-432.
- [80] Rolls E T. *Handbook of Clinical Neurology* [M]. Amsterdam: Elsevier, 2019, 164.
- [81] Pfeiffer J C, Hollowood Ta, Hort J, et al. Temporal synchrony and integration of sub-threshold taste and smell signals [J]. *Chemical Senses*, 2005, 30(7): 539-545.
- [82] Delwiche J F, Heffelfinger A L. Cross-modal additivity of taste and smell [J]. *Journal of Sensory Studies*, 2005, 20(6): 512-525.