

食品中鲜味肽的研究进展

贾蓉^{1,2}, 何颖^{1,2}, 王桂瑛^{1,*}, 万大千^{1,2}, 孔维成^{1,2}, 李聪^{1,2}, 葛长荣², 廖国周^{2,*}

(1. 云南农业大学食品科学技术学院, 云南 昆明 650201;

2. 云南农业大学 云南省畜产品加工工程技术研究中心, 云南 昆明 650201)

摘要: 鲜味肽作为新型的鲜味剂, 除了本身具有的风味外, 还可与其他的鲜味物质发挥协同增鲜作用。目前对鲜味肽的研究主要集中在提取及分离鉴定等方面, 而鲜味肽的形成机理及呈味机制仍不明确。本文对鲜味肽的制备与分离鉴定方法、呈味影响因素、鲜味评价方法、具体应用、呈味机制等方面进行综述, 以为鲜味肽的进一步深入研究提供科学理论依据。

关键词: 鲜味肽; 鲜味物质; 风味; 制备; 鲜味

Recent Progress in Research on Umami Peptides in Food

JIA Rong^{1,2}, HE Ying^{1,2}, WANG Guiying^{1,*}, WAN Daqian^{1,2}, KONG Weicheng^{1,2}, LI Cong^{1,2}, GE Changrong², LIAO Guozhou^{2,*}

(1. College of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 2. Livestock Product Processing and Engineering Technology Research Center of Yunnan Province, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: As a new type of umami agent, umami peptides can have a synergistic effect with other umami substances in addition to their own flavor. The current research on umami peptides mainly focuses on their extraction, isolation and identification, but the formation mechanism and taste mechanism of umami peptides are still unclear. This article reviews the preparation, separation and identification methods of umami peptides, the factors affecting flavor presentation, the umami evaluation methods, and the application of umami peptides, in order to provide a scientific and theoretical basis for further in-depth research on umami peptides.

Keywords: umami peptides; umami substances; flavor; preparation; umami

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20220308-011

中图分类号: TS202.3

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2022) 04-0065-07

引文格式:

贾蓉, 何颖, 王桂瑛, 等. 食品中鲜味肽的研究进展[J]. 肉类研究, 2022, 36(4): 65-71. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20220308-011.

<http://www.rlyj.net.cn>

JIA Rong, HE Ying, WANG Guiying, et al. Recent progress in research on umami peptides in food[J]. Meat Research, 2022,

36(4): 65-71. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20220308-011. <http://www.rlyj.net.cn>

食品中的肽不仅具有生理活性, 还具有降血压、降血脂、呈味等功能性^[1-2]。鲜味肽可以从食物中直接提取或者由氨基酸合成, 它可以增强食物鲜味, 在食品加工过程中具有良好的加工特性及营养价值, 符合绿色食品的发展要求, 食品中的鲜味肽因能产生滋味而引起食品风味学家的广泛关注^[3]。鲜味肽除了自身具有可口的味

道, 还能使甜味更甜、咸味更咸、减轻酸苦味, 使食品口感更加柔和^[4]。有研究表明, 鲜味是影响食品品质非常重要的因素, 提高食物中鲜味物质的含量有利于提高食物的整体适口性^[5]。鲜味肽存在于许多食品中, 如酒类^[6]、海鲜^[7]、肉类^[8]、酱油^[9]、菌类^[10]、豆类等^[11]。目前国际上对鲜味肽的研究集中在分离纯化^[12]、参与美拉德反应^[13]

收稿日期: 2022-03-08

基金项目: 云南省中青年学术和技术带头人后备人才项目 (202105AC160068); 国家自然科学基金地区科学基金项目 (31960511)

第一作者简介: 贾蓉 (1998—) (ORCID: 0000-0003-1636-387X), 女, 硕士研究生, 研究方向为肉品加工与质量控制。

E-mail: 2373369643@qq.com

*通信作者简介: 王桂瑛 (1979—) (ORCID: 0000-0001-9603-9943), 女, 副教授, 硕士, 研究方向为食品加工与质量控制。

E-mail: ynkmgwy@ynau.edu.cn

廖国周 (1978—) (ORCID: 0000-0003-2793-5837), 男, 教授, 博士, 研究方向为肉品加工与质量控制。

E-mail: liaoguozhou@ynau.edu.cn

及氨基酸序列鉴定^[14]等方面,我国对鲜味肽的研究尚处于起步阶段,关于各种食品中鲜味肽的挖掘、鲜味肽的构效关系等深层次的问题仍需要加强研究。本文主要对目前已有的鲜味肽提取及鉴定、鲜味评价方法以及影响呈味的因素等方面进行综述,以期为进一步研究鲜味肽的形成机理等提供依据。

1 鲜味肽的制备

鲜味肽存在于动植物性食品以及微生物发酵制品中,因其来源广泛,鲜味肽的制备方法有很多,目前已知的制备方法有水解法、化学合成法、微生物发酵法、蛋白质降解法、提取法和生物工程法。

1.1 水解法

目前已知的鲜味肽水解法包括酸水解、碱水解及酶水解3种水解方式。酸水解中经常使用盐酸,碱水解中常采用氢氧化钠,酶水解使用蛋白酶较多。酸水解虽然水解彻底、反应速度快,但是反应条件不易控制,敏感氨基酸易被破坏,而且反应过程中容易产生氯丙醇类等有、致癌物质。碱水解会使部分敏感氨基酸遭到破坏,并且容易使氨基酸发生消旋作用。酶水解法是制备鲜味肽最常用的方法,酶解时间影响水解度,进而影响小分子肽的含量,随着酶解时间的延长,鲜味随之增加,但随着水解反应时间的延长,易使微生物造成污染;若酶水解的时间不足,水解程度不够,在产生鲜味的同时也会产生苦味等不良风味。酶反应条件温和、有较高的专一性,在反应过程中,氨基酸遭到的破坏程度较小,为了避免不良效果的产生,应该严格控制水解时间、温度、酶用量等反应条件^[15]。对于食品中天然鲜味肽的研究,应该尽量避免酸碱水解或酶解对于肽结构或其他理化性质的影响,可以直接采用一定的温水浸泡提取,以获得天然的鲜味成分。

1.2 化学合成法

固相合成与液相合成是常见的化学合成法,固相合成法是将目标多肽的C端氨基酸固定在不溶树脂上,在该树脂上依次缩合氨基酸,接着将肽链不断延长,并最终得到所需的肽,虽然容易实现纯化和自动化,但固相合成容易产生副反应,实验条件易受限,现阶段往往普通实验室不能进行固相合成^[16]。液相合成法具有合成成本低、规模大、在均相中反应等优势,液相合成的反应条件可以选择,液相合成中的逐步合成方式非常迅速且简单,而片段组合方式可以合成氨基酸数量100以上的多肽。目前,在已知肽的氨基酸序列的前提下,可以通过固相合成法合成纯度较高的肽,用以感官分析、毒性分析或其他后续研究。

1.3 微生物发酵法

微生物发酵法是利用微生物酶或微生物代谢作用获得肽,进而对食物进行增鲜。菌种有酵母菌、乳酸菌、枯草芽孢杆菌等,这些菌种具有容易培养、产酶量高、生长周期短的特点。微生物发酵法具有速度快、成本低的优点,但是应用范围不够广^[17]。酵母水解物在发酵法中较为常用,酵母水解物是利用现代生物技术制成的一种纯天然制品,富含丰富的微量元素及维生素。Chen Ziqi等^[18]使用酿酒酵母、米曲霉2种菌种对香菇进行选择性地发酵,结果表明,经过发酵香菇的鲜味显著增强,随着发酵过程延长,酸度、游离氨基酸和核苷酸含量均增加。该法在发酵食品中应用较为普遍。

1.4 蛋白质降解法

在蛋白质降解法中,最常用的是酶降解法,常用的酶有动物蛋白酶与植物蛋白酶,分别包括胃蛋白酶、胰蛋白酶、中性蛋白酶、菠萝蛋白酶和木瓜蛋白酶。反应温度、时间、pH值、底物浓度、酶的选择等会影响提取率,反应过程可能会产生一定的苦味,蛋白质降解法对底物的要求是高品质的动物蛋白,该法在工业上的应用较为广泛^[19]。蛋白质降解法与水解法中的酶降解法有一定相似之处,均用酶来制备目标肽,酶的种类不同,会得到不同的产物,今后可以研究酶的种类对于提取情况的影响。简单来说,亦可以将蛋白质降解法与酶水解法归为一类,因为二者在制备鲜味肽时均用到了酶。

1.5 提取法

简单的提取法不能将鲜味肽提取出来,往往需要借助外力才能有效地提取出鲜味肽,如微波、超声波、均质、加热等方法。超声波的提取率一般较高,它适用于天然鲜味肽的提取,该法具有安全、快速、方便的特点,但不易使水不溶性蛋白质水解,而造成提取率较低^[20]。Zhang Jian等^[21]通过超声波辅助,提高了培根中游离氨基酸等鲜味物质的浓度,从而增加了鲜味。Wang Xuejiao等^[22]发现,微波处理的草鱼表现出更大的鲜味强度。通过加热辅助,往往可以应用于提取食品中的天然鲜味物质,进而避免其他提取条件对结果产生影响。

1.6 生物工程法

生物工程法是指利用DNA重组技术,用含有目的基因的DNA片段序列控制鲜味肽的生成。生物工程法所需的原料廉价、定向性强、卫生、安全、成本低,但是产率很低,不能实现规模化生产的要求。目前生物工程法往往将DNA重组技术与发酵工程技术联用,用以获得较高的肽产量。王金菊等^[23]利用GAP启动子,对牛肉风味强化肽进行表达,构建组成型毕赤酵母工程菌pGAP9-16BMP,极大提高了毕赤酵母产量。生物工程法往往涉及到相关基因的研究应用,该法目前在国内的应用普遍很少。

2 鲜味肽的分离纯化与鉴定

2.1 鲜味肽的分离

通过上述方法制备的鲜味肽往往是混合物，需要进一步分离纯化得到单一的鲜味肽。鲜味物质的相对分子质量主要集中在小于3 000的范围，因此鲜味肽的初次分离往往采用超滤或纳滤等膜分离技术^[24]，通过超滤对低分子质量的肽组分进行初步筛选。再使用凝胶过滤色谱法对相对分子质量小于3 000的肽进行分离^[8]，该方法是利用分子筛和凝胶网状结构的原理，对不同分子质量肽进行分离，分子质量越大，在色谱柱中的保留时间越短。

大孔树脂也是一种富集鲜味肽的方法，是一种新型的高分子吸附材料，由于极性的不同，对于不同的物质具有不同的选择吸收性。单一树脂的分离效果一般不太好，往往会将几种树脂混合使用，或与现代技术联用来提高分离效果，目前已知的有超声波辅助法、制备型高效液相色谱法等。Zhuang Mingzhu等^[25]分别研究4种大孔树脂SP-825、HP-20、XAD-16和HP-2MGL对酱油中鲜味肽的分离纯化作用，结果发现，XAD-16富集鲜味肽的效果最好。

2.2 鲜味肽的纯化

经过初次分离纯化的样品再使用反向高效液相色谱法(reversed-phase high-performance liquid chromatography, RP-HPLC)进行纯化，按照谱峰将分离的各组分收集。RP-HPLC是根据分子的疏水性强弱进行物质纯化的色谱技术，分子的疏水性强弱与氨基酸的性质有关，因此能对肽进行纯化，该项技术往往是多肽纯化的最后一步，具有操作简单、分辨率高、速度快等优点^[26]。除了高效液相色谱法，还有毛细管电泳法、气相色谱法、层析法及盐析法等可以进行分离纯化^[27]。

对于鲜味肽分离纯化的方法，目前都较为传统并且耗时，亦可以将经过初次分类纯化后的样品，进行感官评价，将该部分的最鲜的组分进行结构鉴定，通过氨基酸的疏水性筛选合适的肽结构。

2.3 鲜味肽一级结构的鉴定

质谱法为目前较常用的鲜味肽鉴定方法，原理是利用电磁场将样品中的离子按质荷比进行分离，再检测与分析。当下检测鲜味肽的主要方法是将质谱法与液相色谱联用，可以准确且高效鉴定氨基酸的序列和氨基酸的分子质量大小。超高液相色谱-串联质谱(ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, UPLC-MS/MS)技术鉴定多肽序列，具有准确率高、特异性突出、速度快的优点^[28]。UPLC对样品首先进行分离，电喷雾对分离后的样品进行解离，解离后的样品以带电母离子形式进入到高分辨率质谱仪，随后经过碰撞诱导裂解获得二级质谱数据，形成MS/MS图谱^[8]。

质谱法除了与液相色谱联用以外，还能与其他技术联用，用于鉴定鲜味肽的结构。电喷雾四极杆-飞行时间-MS/MS(electrospray quadrupole-time-of-flight MS/MS, ESI-QTOF-MS/MS)鉴定鲜味肽，即在正离子模式下采用扫描模式检测和鉴定肽的分子质量和氨基酸序列^[29]。Deng Xiaofei等^[30]通过Nano-HPLC-MS/MS技术在鲷鱼中鉴定出5种肽，其氨基酸序列分别为APAP、ASEFFR、AEASALR、LGDVLVR和WDDMEK。Dang Yali等^[8]通过基质辅助激光解吸电离飞行时间质谱(matrix-assisted laser desorption ionization time-of-flight mass spectrometry, MALDI-TOF-MS)对金华火腿和巴马火腿水提液中的鲜味肽进行鉴定，鉴定出序列分别为CCNKSV和AHSVRFY的氨基酸。Zhang Jianan等^[31]利用UPLC-ESI-QTOF-MS/MS法从花生分离蛋白水解液中鉴定出6个新肽。

2.4 鲜味肽空间结构的鉴定

肽空间结构可以通过质谱法、红外光谱法、紫外光谱法、核磁共振、圆二色谱法及X射线晶体法鉴定。目前除了上述用于检测多肽空间结构的方法外，生物鉴定法、场解析质谱、放射性同位素标记法等都已应用于多肽类物质的结构鉴定，也有研究采用荧光光谱法和紫外-可见光谱法研究多肽结构。对于食品中鲜味肽二级结构的鉴定目前鲜有报道，但多肽的结构鉴定已涉及到药物合成等方面。

3 鲜味肽的呈味作用

3.1 鲜味受体

目前研究已经证实鲜味受体主要是G蛋白偶联受体家族中的C族，包括异源二聚体T1R1/T1R3受体、代谢型谷氨酸受体mGluR1和mGluR4。其中，接受鲜味的关键受体是异源二聚体，T1R1对于鲜味物质具有识别作用，T1R3具有辅助功能。异源二聚体的信号介导机制主要发生在舌头前部，主要用于接受各种L型氨基酸，mGluR1和mGluR4的信号介导机制主要发生在舌头后部，主要用于接受谷氨酸和其他一些鲜味物质所产生的鲜味。鲜味肽必须同时含有正电基团、负电基团和疏水基团，并且3种基团要连接到受体上相应的位点或关键性的氨基酸残基，才能感知到鲜味，这些活性位点基本位于N末端的捕蝇草结构域^[32]。Liu Hai等^[33]在肽段DF9、AK11和GT12的t1r1肽复合物中发现了活性位点D。

3.2 分子模拟技术

为了解释鲜味肽与受体之间的作用模式、呈味机理以及为提高鲜味肽的鲜味强度提供某些方法，目前采用分子模拟研究鲜味受体T1R1/T1R3与鲜味物质之间的作用机理，具体包括同源建模、分子对接及分子动力学模拟，

同源建模可以预测鲜味受体的三维结构，分子对接可以获得鲜味配体与鲜味受体的复合物，分子动力学模拟过程可以分析配体与受体结合过程，目前该技术在相关食品领域中具有较大的作用，但掌握相关技术的人才较少。

分子对接在结构分子生物学和基于结构的药物设计等领域有着广泛应用^[34]。目前分子对接在海产品鲜味物质的研究中有部分应用。Yu Zhipeng等^[35]基于同源建模和分子对接对虾蛄肌球蛋白肽进行研究，分子对接结果表明，氨基酸残基Arg151、Asp147和Gln52在鲜味的产生中起关键作用。

目前对于鲜味肽，大多数将样品提取纯化鉴定后，会通过分子模拟技术来研究受体T1R1/T1R3与鲜味肽之间的作用机理，通过软件来判断受体与配体之间的相互作用，进而判断受体与配体之间的亲和性。在进行分子对接时，往往会涉及到对接盒子的判断，大多数研究在这方面均只是通过软件粗略筛选或者通过参考类似文献使用相关数据，结果往往缺乏准确性。今后在这方面的研究应该视样品不同模拟不同的对接盒子，找到适合的对接位点。对于合成的鲜味肽应该对其毒性进行预测，目前鲜有相关报道。

4 鲜味肽的鲜味评价

目前对于食品中鲜味肽的评价方法有很多，如比较法、电子舌分析等，但目前对于鲜味肽的鲜味评价方法尚无统一的标准。

4.1 比较法

已有研究证明，对鲜味评价最有效的方法是去除待评价的物质，与没有去除该物质时的味道作对比，就能得到该物质的鲜味强度。但是该方法对实验操作人员的技术及实验设备的要求都很高，所以，目前该方法还没有得到很好的实施。

4.2 感官评价

通常用醇或水作为溶剂，提取样品中的鲜味肽进行检测，分析其含量，配制得到复配液，通过减缺或者添加实验，最后通过感官评价来进行评分。感官评价是目前使用最多的鲜味评价方法，也是评价食品鲜味强弱最直接的手段，但易由于个体差异而引起误差，需要对参与人员进行培训。对于食品中的鲜味肽采取的感官评价方法为评分法，目前研究具体应用的有定量描述分析法^[36]、三角实验法^[37]、两点选配法与三点选配法^[38]。食品中鲜味肽的评价方法有很多，目前尚无统一的标准。

4.3 电子舌分析

与一般的感官评价不同的是，仪器检测不仅能测出某一种鲜味物质，还可以区分多种鲜味物质，所得结

果优于人的主观评定结果。采用电子舌对鲜味肽进行感官评价，比传统的感官评价更加稳定、灵敏、标准。电子舌可以进行感官评价的主要原理是它可以模拟人的舌头，对液体样品进行分析、识别等，是一种味觉识别检测仪器，可以客观评价样品的鲜味强度，实现专一性响应，电子舌由参比电极、多频脉冲扫描仪、自动采样器、六电极传感器阵列和用于数据采集的计算机组成^[39]。Ag/AgCl作为参比电极用于扫描每个传感器的响应强度。现有研究中，电子舌应用于东方鲀肌肉、大豆、甲鱼肉、花生等食品中^[40]。现阶段对于食品中鲜味进行评价时，往往将电子舌分析与感官评价或其他鲜味评价方法联用。

4.4 滋味稀释分析与滋味稀释比较分析

将感官分析与仪器分析二者相结合，对食品中的关键滋味活性物质进行检测，是一种定性及定量分析方法^[29]。例如，将滋味稀释比较分析应用于热处理的丙氨酸/葡萄糖溶液中，在牛肉汤中能够识别甜味增强N-(1-羧乙基)-6-(羟甲基)吡啶鎓-3-醇内盐^[38]。该法往往应用于评价食品中鲜味物质的阈值。

4.5 滋味活性值 (taste active value, TAV)

$TAV = \text{滋味物质含量} / \text{该物质的呈味阈值}$ ，TAV反映单一呈味物质的呈味效果，当TAV大于1时，表示对滋味有贡献，TAV越大，说明该物质的滋味贡献越大。因只能评价单一物质的滋味贡献度，所以TAV不能用于分析鲜味物质之间的协同作用及拮抗作用等，目前在水产品中有一些应用^[41]。

4.6 等效鲜味浓度 (equivalent umami concentration, EUC)

EUC简单来说等于味精的含量，它一般是游离氨基酸与5'-核苷酸共同作用的效果，常用于对混合溶液的鲜味强度进行量化。在水产品和食用菌方面有较多应用，也被用来评价传统食品的整体可接受性和整体滋味强度^[42-43]。

4.7 多技术联用分析

Wang Wenli等^[29]提出一种多技术联用的方法，以河豚中的鲜味肽为研究对象进行鲜味评价，提出一种基于hT1R1电化学生物传感器、量子化学模拟等方法的鲜味肽评价方法，该研究发现，生物传感器数据与感官评价结果吻合较好，该方法也为一种评价鲜味肽的新策略，同时也为快速筛选食物中的鲜味肽提供了合理的工具。

5 鲜味肽呈味的影响因素

影响鲜味肽呈味的因素有很多，首先是鲜味肽的自身结构，如肽链长度、氨基酸组成、氨基酸的序列及肽链的构象等，还有一些外界因素，如温度、水分、pH值、盐分、水解度、无机离子、鲜味成分的相乘作用及水解酶种类。

5.1 氨基酸

鲜味肽的分子质量通常被认为是小于1 000 Da, 鲜味肽的氨基酸骨架结构式通常为 $-O-(C)_n-O-$, $n=3\sim 9$, 当 $n=4\sim 6$ 时鲜味最强^[44]。功能基团, 如一COOH为鲜味肽的定位基; 亲水基, 如一OH与 α -L-NH₂为鲜味肽的助味基^[45]。氨基酸的排列顺序与鲜味肽的鲜味效果有很大关系, 氨基酸上酸性基团与碱性基团的相互作用引起鲜味肽呈味, 根据现有的研究表明, 只有这2种基团的位置合适才会产生鲜味^[46]。也就是说, 正电基团、负电基团和疏水基团同时存在于鲜味肽上, 是鲜味肽产生鲜味的必须条件, 负电基团的N端必须是正电基团, 正电基团同时与中间带负电的酸性基团相互作用, 进而产生鲜味。

鲜味肽一般含有天冬氨酸(Asp)、谷氨酸(Glu)、天冬酰胺(Asn)或谷氨酰胺(Gln)残基, 含有鲜味氨基酸的肽不一定具有鲜味, 反而可能会呈现苦味^[47], 不含鲜味氨基酸, 同样可能会具有鲜味^[48]。也有研究表明, 谷氨酸与天冬氨酸残基可能会对多肽的呈鲜效果与增鲜效果存在抑制效应^[31], 小分子肽的苦味可能会随碱性氨基酸残基比例的升高而增强。鲜味肽的鲜味主要来源于结合型谷氨酸和天冬氨酸^[49], 当鲜味肽之间的氨基酸组成相同时, 氨基酸位置和构象的改变会影响呈味效果。虽然存在D型和L型的谷氨酸钠型鲜味物质, 但D-谷氨酸和L-谷氨酰胺无鲜味, 目前发现只有L型氨基酸才具有鲜味^[50]。

5.2 温度、pH值、盐分、水解度

不同鲜味物质受热能力不同, 鲜味肽的受热能力较差, 容易分解。一般来说, 在过酸或过碱环境下, 鲜味肽长时间受热, 鲜味会消失。随着pH值的改变, 谷氨酸钠的呈味强度也会产生变化, 进而导致风味产生变化, 目前已有研究发现, 鲜味氨基酸的含量随着pH值的升高而降低^[51]。低盐溶液对鲜味有一定的增强作用。不同蛋白酶的协同作用可引起更广泛的酶作用, 较高的水解度有助于减少苦味和增强鲜味^[52]。陈政等^[53]研究不同水解度条件下蚕蛹呈味肽对肉脯风味的影响, 结果发现, 当水解度为15%和25%时, 蚕蛹呈味肽对肉脯的风味形成有促进作用。因此在制备鲜味肽时要尤其注意加热的温度与时间, 并控制好样品液的pH值与水解度, 避免造成制备失败或结果产生误差。同样, 在菜肴的制作中, 使用鲜味调料时也应当控制相应的条件。

5.3 无机离子

无机离子Na⁺和Cl⁻也可以增强鲜味, Na⁺和Cl⁻可以显著增强食物的鲜味, 但Na⁺摄入过多会导致一些慢性病的产生, 往往会采用酵母提取物、氯化钾(KCl)和氯化钙(CaCl₂)等无机盐来代替。Vidal等^[54]在咸肉中减少了NaCl的使用, 并使用酵母提取物替代, 结果发现, 酵母提取物的使用可以最大限度减少添加CaCl₂带来的负面

感官影响, 制作咸肉时使用天然成分可以显著降低钠含量, 同时使产品的感官接受度更好。Na⁺虽然可以增加鲜味, 但不宜摄入过多。

5.4 协同作用

与酸、甜、苦等基本味觉不同的是, 2种或2种以上的鲜味物质联合起来可以有效增强鲜味强度, 即鲜味物质之间存在协同作用^[48]。鲜味肽对谷氨酸钠有协同性, 可以使鲜味增强。肽的串联有利于增强鲜味肽的鲜味效果, 但增加单一肽的串联拷贝数不一定会有增强鲜味的效果, 而将多种肽进行串联将鲜味物质的种类和数量均增加, 可以达到增强鲜味的效果^[55]。

5.5 美拉德反应

鲜味肽与还原糖发生美拉德反应之后, 对于鲜味肽的鲜味有一定的提升作用, 在使用微生物发酵法制备鲜味肽时, 酵母发酵物除了具有赋予食品浓厚感的调味效果, 也可以通过美拉德反应产生内酯、咪喃、吡嗪和含硫化合物等呈味物质, 因此, 添加酵母发酵物的样品具有柔和的鲜味和浓厚感。美拉德反应被认为可以较好地提升多肽鲜味^[56]。

5.6 酶

酶具有专一性, 使用不同的酶对底物进行催化时会产生不同的多肽, 引起呈味特性的不同, 复合酶提取鲜味肽所得到的酶解液鲜味比单一酶提取所得到的酶解液显著提高, 不同酶的水解产物鲜味强度不同, 风味蛋白酶水解产物鲜味较强, 木瓜蛋白酶与中性蛋白酶水解产物鲜味较差, 复合蛋白酶与碱性蛋白酶水解产物鲜味最强^[57]。

5.7 包埋与氨基酸加入法

可以通过包埋与氨基酸加入法对鲜味肽的鲜味进行人工调控, 氨基酸加入法即反向调控鲜味氨基酸的组成, 使用单体氨基酸, 得到的鲜味肽可以与其他鲜味物质发生协同作用, 进而提高食品中鲜味肽的鲜味。包埋法是利用微胶囊技术, 将挥发性物质、鲜味物质保护起来, 同时使鲜味肽具有固态的特征, 常用的有喷雾干燥、冷冻干燥等方法^[58]。

5.8 其他

食材不同, 可以品尝到不同的滋味。食材的生长环境及加工方法都会影响食材的鲜味。Zhou Zheng等^[59]分析不同季节马尼拉蛤中5'-核苷酸的变化发现, 由于富含氨基酸和脂质, 2月份捕获的蛤蜊最为美味、鲜味最强。王德华等^[60]以姜母鸭为对象, 研究加工方法对鸭肉滋味的影响, 实验发现, 相比于烤制和卤制, 炒制的鸭肉鲜味最强。

6 鲜味肽的应用

鲜味肽具有较高的营养价值, 在赋予食品美味口感时还可以减弱苦味, 对食物的风味具有补充作用, 具

有显著的增香及增鲜作用。鲜味肽安全、营养、天然无毒，能够满足特殊人群的低钠摄入需求，如高血压病人，食用后对人体健康可以提供许多益处，因而鲜味肽广泛应用于食品添加剂与补充增强剂中。鲜味通常与其他味感、鲜味物质具有协同作用，所以目前已有利用酶水解法等制作的复合型鲜味肽基料，将其直接应用为食品的鲜味调味料，而不是简单地从食品中提取单一的鲜味肽。目前对于食品中鲜味肽的提取制备更多地是从海鲜产品中得到，进而对提取到的鲜味成分进行加工，大多数都是制备成鲜味增强剂，用于改善食品鲜味，以满足人们对于鲜味的追求。

7 结 语

鲜味肽作为新型鲜味剂具有广阔的开发和应用前景。目前，鲜味肽的分离纯化及鉴定技术已较为成熟，各种食品中发掘的鲜味肽已有较多报道。由于鲜味强度难以进行定量描述，缺乏相关标准，在鲜味肽的进一步研究上可以开发一些新的鲜味肽快速评价方法。各种食品因其来源与加工工艺的差异，鲜味肽的形成机理不同，鲜味物质之间协同作用的机理不同，可以进一步研究鲜味肽与食品体系中其他物质的协同作用及呈鲜机理、影响因素等。

参考文献：

- [1] LIDIA L B, GUTIERRE-URIBE J A, SERNA-SALDIVAR S O. Bioactive peptides and hydrolysates from pulses and their potential use as functional ingredients[J]. *Journal of Food Science*, 2014, 79(3): R273-R283. DOI:10.1111/1750-3841.12365.
- [2] RAIKOS V, DASSIOS T. Health-promoting properties of bioactive peptides derived from milk proteins in infant food: a review[J]. *Dairy Science and Technology*, 2014, 94(2): 91-92. DOI:10.1007/s13594-013-0152-3.
- [3] LANGLEY S. 'Fifth taste' umami could be beneficial for health, study[J]. *BioMed Central*, 2015, 26(1): 7-8.
- [4] 刘希, 谭志辉, 朱立才, 等. 食品中鲜味肽和浓厚味肽的研究进展[J]. *广东化工*, 2020, 47(8): 91-93.
- [5] 李晓明, 黄占旺, 徐明生, 等. 白玉菇中鲜味肽的分离鉴定及呈味特性分析[J]. *食品科学*, 2021, 42(24): 252-260.
- [6] FU Lianghan, YAN Xu. Identification of low molecular weight peptides in Chinese rice wine (Huang Jiu) by UPLC-ESI-MS/MS[J]. *Journal of the Institute of Brewing*, 2012, 117(2): 238-250. DOI:10.1002/j.2050-0416.2011.tb00467.x.
- [7] 仇春洪. 养殖暗纹东方鲀呈味肽分离鉴定及其呈味特性研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2014: 8-26.
- [8] DANG Yali, GAO Xinchang, MA Fumin, et al. Comparison of umami taste peptides in water-soluble extractions of Jinhua and Parma hams[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2015, 60(2): 1179-1186. DOI:10.1016/j.lwt.2014.09.014.
- [9] ZHUANG Mingzhu, LIN Lianzhu, ZHAO Mouming, et al. Sequence, taste and umami-enhancing effect of the peptides separated from soy sauce[J]. *Food Chemistry*, 2016, 206: 174-181. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.03.058.
- [10] KONG Yan, ZHANG Lili, ZHAO Jin, et al. Isolation and identification of the umami peptides from shiitake mushroom by consecutive chromatography and LC-Q-TOF-MS[J]. *Food Research International*, 2019, 121: 463-470. DOI:10.1016/j.foodres.2018.11.060.
- [11] SALGER M, STARK T D, HOFMANN T. Taste modulating peptides from overfermented cocoa beans[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2019, 67(15): 4311-4320. DOI:10.1021/acs.jafc.9b00905.
- [12] KONG Yan, YANG Xiao, DING Qi, et al. Comparison of non-volatile umami components in chicken soup and chicken enzymatic hydrolysate[J]. *Food Research International*, 2017, 102: 559-566. DOI:10.1016/j.foodres.2017.09.038.
- [13] KHAN M I, JO C, TARIQ M R. Meat flavor precursors and factors influencing flavor precursors: a systematic review[J]. *Meat Science*, 2015, 110: 278-280. DOI:10.1016/j.meatsci.2015.08.002.
- [14] YU Xiaqin, ZHANG Lujia, MIAO Xiaodan, et al. The structure features of umami hexapeptides for the T1R1/T1R3 receptor[J]. *Food Chemistry*, 2017, 221: 599-605. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.11.133.
- [15] 鲁珍. 酶解-超滤蚕蛹蛋白制备呈味基料的研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2013: 10-30. DOI:10.7666/d.D329472.
- [16] 庄明珠. 酱油鲜味肽的分离纯化鉴定及呈味特性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2015: 12-34.
- [17] 周文斯. 低温胁迫米曲霉自溶制备鲜味酱油及呈味肽的分离鉴定[D]. 广州: 华南理工大学, 2019: 22-38.
- [18] CHEN Ziqi, GAO Haiyan, WU Weijie, et al. Effects of fermentation with different strains on the umami taste of Shiitake mushroom (*Lentinus edodes*)[J]. *Poultry Science*, 2021, 141: 110889. DOI:10.1016/j.psj.2020.06.019.
- [19] 张波. 呈味肽研究技术进展[J]. *现代食品*, 2020(4): 61-63.
- [20] LIU Ziyuan, ZHU Yiwei, WANG Wenli, et al. Seven novel umami peptides from *Takifugu rubripes* and their taste characteristics[J]. *Food Chemistry*, 2020, 330: 127204. DOI:10.1016/j.foodchem.2020.127204.
- [21] ZHANG Jian, ZHANG Wangan, XIN Lujuan. Effects of ultrasound on the taste components from aqueous extract of unsmoked bacon[J]. *Food Chemistry*, 2021, 365: 130411. DOI:10.1016/j.foodchem.2021.130411.
- [22] WANG Xuejiao, WANG Xingwei, FENG Tiantian, et al. Saltiness perception enhancement of fish meat treated by microwave: the significance of conformational characteristics, water and sodium mobility[J]. *Food Chemistry*, 2021, 347: 129033. DOI:10.1016/j.foodchem.2021.129033.
- [23] 王金菊, 孟琦, 张永生, 等. 利用GAP启动子在毕赤酵母中表达牛肉风味强化肽[J]. *中国食品学报*, 2014, 14(7): 46-51. DOI:10.16429/j.1009-7848.2014.07.005.
- [24] FENG Tao, WU Yan, ZHANG Zhiwei, et al. Purification, identification, and sensory evaluation of kokumi peptides from *Agaricus bisporus* mushroom[J]. *Foods*, 2019, 43(8): 2-12. DOI:10.3390/foods8020043.
- [25] ZHUANG Mingzhu, ZHAO Mouming, LIN Lianzhu, et al. Macroporous resin purification of peptides with umami taste from soy sauce[J]. *Food Chemistry*, 2016, 190: 338-344. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.05.105.
- [26] 韩富亮, 郭安鹤, 王华, 等. 食源性鲜味肽和浓厚感肽的研究进展[J]. *食品科学*, 2015, 36(23): 314-320. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201523057.
- [27] HONG A D, MINH T V, THANH D N, et al. Determination of 10-hydroxy-2-decenoic acid and free amino acids in royal jelly supplements with purpose-made capillary electrophoresis coupled with contactless conductivity detection[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2020, 87: 103442. DOI:10.4067/S0717-97072011000300004.

- [28] 刘伟帆. 兜唇石斛免疫活性多糖及抗氧化肽的结构鉴定及功能表征[D]. 广州: 华南理工大学, 2018: 10-45.
- [29] WANG Wenli, YANG Luan, NING Menghua. A rational tool for the umami evaluation of peptides based on multi-techniques[J]. Food Chemistry, 2021, 371(6): 131105. DOI:10.1016/j.foodchem.2021.131105.
- [30] DENG Xiaofei, LIN Hong, AHMED I, et al. Isolation and identification of the umami peptides from *Trachinotus ovatus* hydrolysate by consecutive chromatography and nano-HPLC-MS/MS[J]. Food Science and Technology, 2021, 141: 110887. DOI:10.1016/j.lwt.2021.110887.
- [31] ZHANG Jianan, ZHAO Mouming, SU Guowang, et al. Identification and taste characteristics of novel umami and umamienhancing peptides separated from peanut protein isolate hydrolysate by consecutive chromatography and UPLC-ESI-QTOF-MS/MS[J]. Food Chemistry, 2019, 278: 674-682. DOI:10.1016/j.foodchem.2018.11.114.
- [32] DANG Yali, GAO Xinchang, XIE Aiyang, et al. Interaction between umami peptide and taste receptor T1R1/T1R3[J]. Cell Biochemistry and Biophysics, 2014, 70(3): 1841-1848. DOI:10.1007/s12013-014-0141-z.
- [33] LIU Hai, DA Lintai, LIU Yuan. Understanding the molecular mechanism of umami recognition by T1R1-T1R3 using molecular dynamics simulations[J]. Biochemical and Biophysical Research Communications, 2019, 514(3): 967-973. DOI:10.1016/j.bbrc.2019.05.066.
- [34] ZHANG Yin, VENKITASAMY C, PAN Zhongli, et al. Novel umami ingredients: umami peptides and their taste[J]. Journal of Food Science, 2017, 82(1): 16-23. DOI:10.1111/1750-3841.13576.
- [35] YU Zhipeng, KANG Lixin, ZHAO Weizhu, et al. Identification of novel umami peptides from myosin via homology modeling and molecular docking[J]. Food Chemistry, 2021, 344: 128728. DOI:10.1016/j.foodchem.2020.128728.
- [36] XU Xiaodong, XU Rui, SONG Ze, et al. Identification of umami-tasting peptides from *Volvariella volvacea* using ultra performance liquid chromatography quadrupole time-of-flight mass spectrometry and sensory-guided separation techniques[J]. Journal of Chromatography A, 2019, 1596: 96-103. DOI:10.1016/j.chroma.2019.03.003.
- [37] CHENG Xiaoting, WU Jingna, SU Yongchang, et al. Species and research progress of seafood condiments[J]. Journal of Fisheries Research, 2018, 40(2): 163-168.
- [38] WANG Wenli, ZHOU Xirui, LIU Yuan. Characterization and evaluation of umami taste: a review[J]. Trends in Analytical Chemistry, 2020, 127: 115876.
- [39] 宁梦华, 王文利, 陈高乐, 等. 养殖暗纹东方鲀中7种醇提鲜味肽的鉴定及其呈鲜特性[J]. 食品科学, 2021, 42(22): 16-23. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20200917-231.
- [40] 李露芳, 赵谋明, 张佳男, 等. 不同底物浓度花生粕酶解产物特性的研究[J]. 现代食品科技, 2017, 33(11): 83-88. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.11.013.
- [41] 李锐, 张海玲, 李旭艳, 等. 三种发酵方法制备远东拟沙丁鱼鱼露中鲜味物质的比较[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(22): 143-149. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.021390.
- [42] ZHANG Ninglong, WANG Wenli, LI Bei, et al. Non-volatile taste active compounds and umami evaluation in two aquacultured pufferfish (*Takifugu obscurus* and *Takifugu rubripes*)[J]. Food Bioscience, 2019, 32: 100468. DOI:10.1016/j.fbio.2019.100468.
- [43] HARADA-PADERMO S, DIAS-FACETO L S, SELANI M M, et al. Umami ingredient: flavor enhancer from shiitake (*Lentinula edodes*) byproducts[J]. Food Research International, 2020, 137: 109540. DOI:10.1016/j.foodres.2020.109540.
- [44] 姜莉莉, 李杏元. 呈味肽应用于食品的研究进展[J]. 中国调味品, 2019, 44(11): 187-189.
- [45] 王莉, 伍圆明, 孙伟峰, 等. 鲜味肽与鲜味受体的研究进展[J]. 中国调味品, 2019, 44(2): 182-189. DOI:10.3969/j.issn.1000-9973.2019.02.041.
- [46] KIM M J, SON H J, KIM Y, et al. Umami-bitter interactions: the suppression of bitterness by umami peptides via human bitter taste receptor[J]. Biochemical and Biophysical Research Communications, 2015, 456(2): 586-590. DOI:10.1016/j.bbrc.2014.11.114.
- [47] CHIANG H, SANGAIAH A, CHEN M, et al. A novel artificial bee colony optimization algorithm with SVM for bio-inspired software-defined networking[J]. International Journal of Parallel Programming, 2020, 48(2): 310-328. DOI:10.1007/s10766-018-0594-6.
- [48] DANG Yali, HAO Li, CAO Jinxuan, et al. Molecular docking and simulation of the synergistic effect between umami peptides, monosodium glutamate and taste receptor T1R1/T1R3[J]. Food Chemistry, 2019, 271: 697-706. DOI:10.1016/j.foodchem.2018.08.001.
- [49] RHYU M R, KIM E Y. Umami taste characteristics of water extract of Doenjang, a Korean soybean paste: low-molecular acidic peptides may be a possible clue to the taste[J]. Food Chemistry, 2011, 127(3): 1210-1215. DOI:10.1016/j.foodchem.2011.01.128.
- [50] 吴娜, 顾赛麒, 陶宁萍, 等. 鲜味物质间的相互作用研究进展[J]. 食品工业科技, 2014, 35(10): 389-400. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2014.10.077.
- [51] 余白琳, 郭荣灿, 姜毅, 等. pH对墨鱼酶解物美拉德反应产物风味的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(15): 280-286. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2018.15.048.
- [52] FU Yu, LIU Jing, HANSEN E T, et al. Structural characteristics of low bitter and high umami protein hydrolysates prepared from bovine muscle and porcine plasma[J]. Food Chemistry, 2018, 257: 163-171. DOI:10.1016/j.foodchem.2018.02.159.
- [53] 陈政, 朱涵予. 蚕蛹呈味肽制备工艺研究及其在肉脯中的应用[J]. 衡阳师范学院学报, 2021, 42(6): 92-97.
- [54] VIDAL V A S, SANTANA J B, PAGLARINI C S, et al. Adding lysine and yeast extract improves sensory properties of low sodium salted meat[J]. Meat Science, 2020, 159: 107911. DOI:10.1016/j.meatsci.2019.107911.
- [55] 邴芳玲. 食用菌中鲜味物质味感相互作用的研究[D]. 上海: 上海应用技术大学, 2016: 23-40.
- [56] 康乐. 牛肉中Maillard反应风味前体肽的鉴定及其产物形成机理的研究[D]. 北京: 北京工商大学, 2017: 20-66.
- [57] 李冬梅, 李欢, 李世伟, 等. 虾头蛋白酶解对热反应型虾味香精风味特征的影响[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(6): 59-64. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.201506011.
- [58] 张楨. 罗非鱼加工副产物制备水产品调味基料的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012: 15-65. DOI:10.7666/d.y2158066.
- [59] ZHOU Zheng, ZHANG Yuying, GAO Jingxuan, et al. Metabolomic approaches to analyze the seasonal variations of amino acid, 5'-nucleotide, and lipid profile of clam (*Ruditapes philippinarum*)[J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 148: 111709. DOI:10.1016/j.lwt.2021.111709.
- [60] 王德华, 苏永裕, 林祥木, 等. 不同加工方式对姜母鸭感官风味影响的差异性分析[J]. 保鲜与加工, 2021, 21(5): 39-46.