

油脂的风味及感知

陈艳萍, 阿丽雅, 刘源*

(上海交通大学 农业与生物学院, 上海 200240)

摘要: 油脂是一种重要的营养物质。随着我国经济水平的发展,居民越来越多地关注油脂的风味品质。油脂原料本身的差异以及加工制备过程中的脂肪氧化降解、热分解、美拉德反应等是影响油脂形成不同风味品质的主要因素。口腔加工中油脂及其制品经过味觉、嗅觉、三叉神经感觉等方面相互作用,在大脑特定区域形成风味的认知。目前有研究证明脂肪酸转位酶(CD36)、G蛋白偶联受体(GPCR)等受体参与到一个专门用于感知脂质的感官系统。因此,有人提出脂肪可能是第6种味道。复杂的多感官交互依赖于人类所有感官的反应,未来关于脂肪感知以及脂肪参与多感官交互方面还需要进一步研究。

关键词: 油脂;风味;口腔加工;分子机制

中图分类号:TS 211 文章编号:1673-1689(2022)06-0013-08 DOI:10.3969/j.issn.1673-1689.2022.06.002

Flavor and Sensory Perception of Oil and Fat

CHEN Yanping, Aliya, LIU Yuan*

(School of Agriculture and Biology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: Oils and fats are important nutrients. With the development of economy in China, people pay more attention to the flavor perception of oils and fats. The main factors affecting the formation of flavor variances of oils and fats include the differences in raw materials, and the oxidative degradation, thermal decomposition and Mallard reaction of oils and fats during manufacture processing. During oral processing, the taste, smell, trigeminal sensory neurons, and their interactions form the flavor recognition of oils and fats in the specific area of brain. It has been reported that receptors such as fatty acid transposase (CD36) and G protein-coupled receptor (GPCR) are participants in the perception of oils and fats. As a result, it has been suggested that the perception of oils and fats could be the sixth taste. Complex multi-sensory interactions depend on all sensory responses of human. In the future, the perception and the involvement of oils and fats in multisensory interactions should be further investigated.

Keywords: oil and fat, flavor, oral processing, molecular mechanism

收稿日期: 2022-03-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(31901816)。

* 通信作者: 刘源(1979—),男,博士,教授,博士研究生导师,主要从事食品风味与感官研究。E-mail:y_liu@sjtu.edu.cn

油脂是天然有机化合物中的一种,也是最基本的三大营养素之一。由于油料本身的差异性很大,再加上食用油制取与加工方式、贮存条件等各不相同,造成油脂风味品质具有较大的差异性。随着国内生活水平的提高,居民对于食用油的消费从重视数量和温饱型逐渐转移到重视质量和健康。因此,油脂的风味也越来越受到重视。如今食用油市场百花齐放,研制以消费者为导向的风味油脂,可以使产品更加受到消费者的喜爱。通过气相色谱-质谱联用仪,结合气相色谱嗅辨仪对比和分析油脂的风味成分,找出贡献特征香气的风味物质,可以精准研制特殊香型的油脂产品。

油脂品质可以从颜色、香气、口感、形态以及脂肪酸和其他营养物质的含量来评价。食物的感知是一个动态的过程,从食品放入口中开始到口腔加工结束,风味感知会不断变化。油脂风味主要由风味物质刺激味觉、嗅觉和叉神经感觉,并且在大脑特定区域整合处理形成。在这个过程中,风味化合物会与口腔和鼻子中的化学受体结合,以及增加口腔黏膜表面的摩擦力,从而激活机械受体。这些被激活的受体产生一种特定的神经信号传递至大脑。大脑局部和中央处理这种信号,允许立即对特定食物的感官图像进行分类和识别。因此,油脂风味感知是味觉、香气和质地评价的最终结果,包括化学物质转移到嗅觉和味觉感受器,食物颗粒与口腔表面相互作用^[1]。

目前公认的味觉有5种:咸味、酸味、苦味、甜味和鲜味。口腔中发现的最简单的受体是咸(NaCl)和酸(H⁺)受体,属于离子通道型受体;苦味、甜味和鲜味涉及不同的G蛋白偶联受体蛋白^[2]。油脂感是否属于第6种味道,在学术界还存有一定争议。但是油脂对于口腔加工中的触感,油脂中的风味物质咀嚼释放,油脂与其他呈味物质的相互作用,对于鼻后风味感知方面具有非常重要的影响。良好的油脂风味对于消费者的情绪方面也会有促进作用。作者主要从油脂的风味特征、口腔加工中的油脂感知、油脂感形成的分子机制等方面进行阐述,以期对油脂感知进行较为全面的介绍。

1 油脂的风味

食用油脂可以分为普通油脂(植物油脂、动物油脂、微生物油脂、调和油脂)、功能油脂、专用油

脂、油脂副产品等。不同油脂中的前体物质具有一定差异,因而风味品质各不相同。这里主要介绍植物油脂和动物油脂的风味差异。

芝麻、花生、油菜籽、葵花籽、玉米等都是我国重要的油料,主要用于生产加工各种植物油脂。随着经济的发展,我国市场上也逐渐出现一些小众的植物油脂,如米糠油等。西方国家也食用植物油脂,但由于饮食习惯差异,他们更多使用橄榄制作橄榄油。植物油脂的熔点相对较低,常温下为液体,口感顺滑不油腻。

纯植物油脂没有气味,油料中存在的氨基酸、多糖等前体物质在高温下发生美拉德反应、糖的热降解或焦糖化反应、发酵反应等会形成植物油脂的特殊香气。油料的品质、产地、储存条件和处理方式的差异会影响植物油脂的风味成分。芝麻油中有较多的吡嗪类、含硫化合物、呋喃、酚类和醛类物质等,使芝麻油具有浓郁的香味。芝麻中的氨基酸与糖类物质等在高温焙炒过程中参与美拉德反应生成的吡嗪类物质贡献芝麻油的甜香和烧烤风味^[3-4]。浓香型花生油的风味主要来自炒籽工艺。花生中的前体物质,如天冬氨酸、天冬酰胺、谷氨酸、苯丙氨酸和组氨酸在炒制过程中通过美拉德反应和油脂氧化反应^[5],生成具有挥发性的苯乙醛和吡嗪类物质,贡献浓香花生油的主要香味^[6]。油菜是我国主要农业油料作物。菜籽毛油的风味物质主要为硫氰类物质、氧化挥发物与杂环类物质,而精炼油以氧化挥发物为主。硫苷降解产物是影响菜籽油风味的主要因素^[7]。目前关于橄榄油的研究较为丰富。研究者通过分子感官法筛选出橄榄油中关键香气成分包括己醛和反-2-己烯醛两种C6醛类,以及未知化合物1(青草味)、未知化合物2(煮土豆味)、6-甲基-5-庚烯-2-酮、乙酸顺式-3-己烯酯、顺-3-己烯-1-醇、反-2-庚烯醛和乙酸等为代表的小分子化合物^[8]。而对羟基苯基乙醇和酚酸类物质,如4-乙烯基苯酚存在于劣质橄榄油风味物质中^[9]。

动物油脂主要有猪油、牛油、羊油、鸡油、鱼油等。动物油脂因熔点较高,常温下一般为固态。动物油脂相对于植物油脂,口感更加醇香、脂肪风味更加浓郁。炼制的牛油、猪油、羊油等不易被氧化,稳定性较好,含脂量可达99%(质量分数)以上,适合煎、炸、炒。动物油脂以棕榈酸、硬脂酸等饱和脂肪酸为主,长期食用不利于心脑血管健康。深海鱼油

和鸭油等少数动物油脂,以不饱和脂肪酸为主,相对来说更加健康。硬脂酸与亚油酸的比值是鉴别脂肪硬度的最佳指标,其中猪背膘甘油三酯中约有一半的脂肪以亚油酸的形式存在。工业上可以从油脂自身结构方面改变油脂的质构特性,如利用油脂间的酯-酯交换改性改变甘油三酯组成,从而改善其结晶特性,也可通过改变脂肪体系中甘油三酯的种类,调整脂肪硬度、固体脂肪含量,以及从调整自身结构方面改变牛油甘三酯晶体向型态等^[10]。

动物油脂的风味特征与其脂肪酸组成密切相关。脂肪酸组成受地域环境和饲养条件的影响,且同一肉制品不同部位的脂肪分布也有较大差异。所以皮下、腹腔、肥膘肉脂肪组织炼制出的油脂在色、香、味、形上都有明显区别。畜牧肉类制品风味的差异主要由不同物种脂质衍生挥发性成分的差异所形成。磷脂是肉类的一种重要的特征风味前体物质^[11]。肉类组织所具有的风味前体物质(氨基酸、糖类物质)在油脂炼制过程中也会发生美拉德反应、热降解和热分解反应,从而形成独特的风味。油脂精制过程可以使一些产生不良刺激性及体现脂肪氧化气味的物质种类及含量明显减少;另一方面,对油脂原有优良风味物质也具有消减作用^[12]。动物油脂本身并无异味,但当出现发酵、霉菌活动、氨基酸转化、氧化等情况,或者不饱和脂肪酸受到高温、光、氧气、金属或者其他氧化剂影响时,油脂就会产生异味^[13]。这种油脂氧化所产生的“陈旧味”“硫黄味”及“腐臭”异味,包括所谓的“过热味”,对消费者喜好性有很重要的影响^[14]。肉类中脂质的氧化受动物生产、肉类处理、肉类加工和烹饪等多种因素影响。虽然涉及蛋白质和杂环化合物的反应也可能导致理想的肉质特性丧失,但是脂质的自动氧化是产生“过热味”的主要来源。研究表明脂质的自动氧化对风味具有很重要的影响,如用自由基清除剂处理过的熟牛肉比不处理或用螯合剂处理过的牛肉口感更稳定^[15]。在干香肠的成熟过程中,脂质氧化产物在接近成熟末期增加,产生2-庚醇、1-辛烯-3-醇、2-庚酮和2-壬酮。表面霉菌可能导致4-庚酮在加工后期出现^[16]。

2 口腔加工中油脂的感知

食物的口腔加工是为吞咽准备食物,包括肌肉活动、颌骨运动和舌头运动。在口腔加工过程中,食

物先从口腔前部运送到牙齿;然后通过第一次咬和循环咀嚼,食物颗粒的尺寸减小;最后食物基质形成一团并传递到舌头后部用于吞咽。油脂在口腔加工中不断地释放风味活性分子,这些活性分子被运输到受体以及黏膜表面进行吸收。因此,风味化合物对唾液的亲和力(即溶解)和唾液组分的亲和力(即分子相互作用和酶降解)会影响其与味觉受体的接触。三叉神经受体嵌在口腔黏膜的上皮细胞中,不直接被唾液浸泡。与此同时,一层薄薄的唾液蛋白形成薄膜,覆盖上皮细胞,控制口腔黏膜上皮的进入口。风味化合物通过唾液从食物扩散到唾液蛋白薄膜表面和口腔黏膜上皮。三叉神经的感觉也同样来自于黏膜的机械受体的激活。口腔润滑度的差异性会导致机械受体对口腔内的机械压力或摩擦力的变化做出不同反应。唾液蛋白的组成会影响形成的薄膜性质,进而影响口腔润滑程度^[17]。嗅觉受体位于鼻腔,因此对香味化合物的感知需要将香气物质释放到口腔,再通过鼻腔运输到嗅觉受体。在吃的过程中,香味化合物会直接从食物释放到空气及唾液中,唾液也会迅速渗入食物基质,然后促进香气物质从食物基质中进入空气^[1]。

饮食是一个动态过程,在这个过程中,风味化合物的释放、溶解、代谢和运输遵循不同的动力学。这些机制的动力学在很大程度上受唾液成分的影响,并影响受体激活的动力学。唾液是口腔加工中最重要的部分。唾液主要由水、盐和蛋白质组成,也含有微生物、细胞碎片和食物残渣^[18]。唾液蛋白的质量浓度一般为1~2 mg/mL。唾液和一些唾液蛋白,如黏蛋白、糖基化脯氨酸蛋白在口腔上皮外侧形成一层薄膜,在口腔润滑中发挥重要作用^[18]。唾液是风味感知的关键因素,控制着风味分子向受体的运输、在口腔黏膜的吸附、酶修饰的代谢以及口腔内的摩擦力。咀嚼过程中,食物结构中的小颗粒由于表面积的增加更容易与唾液发生反应。唾液与空气的分配系数会控制香味释放到空气的量。此外,芳香化合物很可能吸附在唾液蛋白形成的薄膜上。唾液或薄膜中的蛋白质通过与风味化合物相互作用来促进风味感知^[19]。

脂肪可以起到润滑剂的作用。脂肪覆盖在舌头、牙齿和嘴的其他部位,然后口腔的脂肪涂层从物理上干扰化学物质进入受体细胞^[20]。动物油脂也被称为脂肪,在肉类中起着机械的支撑作用。肉中

脂肪的含量和类型与食用品质有关,且一些脂肪被认为是烹饪和保持良好食用品质的必需因素。脂肪含量对肉的外观很重要。最近一项研究表明,来自23个国家的1.2万名消费者认为,猪肉脂肪的含量和瘦肉的颜色是影响他们喜好度的最重要因素;大多数消费者,尤其是波兰、芬兰和墨西哥的消费者,更喜欢脂肪含量少的猪肉;大多数爱尔兰消费者更喜欢没有大理石花纹和脂肪小颗粒的浅红色瘦猪肉,澳大利亚消费者更喜欢没有大理石花纹的浅红色瘦猪肉;然而,许多韩国、日本和中国台湾地区消费者更喜欢大理石花纹更多且更肥的猪肉^[21]。一些研究方法直观地将脂肪含量与肉的质地(包括嫩度和多汁性)以及味道联系起来。肉类肌内脂肪的含量与肉的嫩度和多汁性有关。由于脂肪的存在,肉制品具有更柔软、更易咀嚼的质地以及更快分解的性质^[22]。口腔加工中动物脂肪能刺激唾液分泌,利于形成多汁感。

功能油脂和专用油脂对于食品品质和感官特性具有特别重要的作用。油脂可以给食品带来良好的口感、风味,改善制品的组织结构。猪油、牛油、鸡油等具有很好的起酥性,可以添加到糕点中,改善产品质构^[23]。油脂加入面团中,分布在蛋白质和淀粉粒周围形成油膜,限制了面粉吸水,从而可以控制面团中面筋的胀润性。油脂润滑性与蛋白质的结合也有利于面团的延伸线增加,从而提高持气能力。棕榈油调配加工成起酥油、人造奶油,在巧克力、乳制品、冷饮里面有广泛应用。煎炸用油,可以使食品具有诱人的色泽、香浓的风味以及酥脆的质地。但需注意煎炸后的食品遇冷时内部油脂凝固,口感降低,不利于被消费者接受^[24]。

由于消费者希望食物具有良好的感官特性,因此口腔加工中的感官质量是一个关键因素。食品在多大程度上能够满足消费者的期望,将在很大程度上影响食品的可接受度^[18]。人类对于食物的接受或拒绝是一个复杂的过程。首先是人类对于食物的感知。消费者通过观察颜色、嗅闻气味、咀嚼富含油脂的产品,体验入口的风味。然后,大脑通过眼睛、鼻子、嘴巴、耳朵或触觉接收不同的生理感觉信号。综合所有信息后,大脑获得了最终的感知^[1]。第二是饮食文化的影响。消费者依赖于周围的社会文化背景来接受食物。就餐环境和文化多样性影响着人们对肉类的接受意愿。消费者还会将感官评估获得的数

据与过去的经验进行比较。从记忆中提取的信息可以让消费者评估当下品尝的食物与他们记忆中产品之间的相似性^[25]。第三是饮食的乐趣。人类大脑中的感知系统与学习、记忆、情感和语言密切相关。在食用肉类后,消费者可能会有愉悦、饱足、厌恶或不舒适的感觉。这就是神经机制产生食物偏好和对食物的渴望。嗅觉脑电图也证明了气味与快乐或厌恶情绪有关。被激活的杏仁核和左额叶皮层、梨状皮层和右额叶皮层可能会被难闻的气味刺激。愉悦的气味可能会激活额叶皮层^[26-27]。此外,适应和跨模态交互等整合性的大脑认知过程是同时发生的。例如在奶酪消费过程中,唾液中低盐浓度会增加咸味和与盐一致的香味化合物的感知,而分解脂肪的活性越高则会增加脂肪感和与脂肪感一致的香味化合物的感知。在关于恒河猴口服脂质后反应的研究中,研究者发现氧化后的油脂能够刺激大脑产生不同的神经元功能,即“旧”植物油比“新鲜”植物油在“脂肪和味道”神经元中引起的反应要高得多^[28]。然而,由于测量油脂的感官特性的方法通常复杂且间接,人类对脂质风味感知的潜在机制还存在争议。在研究大脑受到有关食物和口腔化学刺激反应的研究中,恒河猴大脑中有关质地与风味的神经元功能在空间上似乎是分开的^[28],但仍存在一些神经元对质地和风味的刺激都有反应。猕猴的初级味觉皮层位于吻侧岛叶和毗连的额叶皮层,其中包含了对不同味道进行调节的神经元。神经元的响应信号会被传递到位于眶额叶皮层的次级味觉和嗅觉皮层^[29]。次级味觉皮层中的神经元不仅可以反应味觉信号,也可以对口腔黏度、脂肪质地或温度变化做出反应^[30]。这些输入的信号组合后,通过神经元传导,大脑再做出进一步反应。眼窝前额皮质也包含对嗅觉刺激做出反应以形成味道表征的神经元^[31]。这些不同输入的整合被认为在表征食物的感官品质和情感价值方面起着关键作用。因此,未来有必要将口腔加工过程与多感觉整合相结合,进行多学科的研究,以揭示受体激活、唾液及其组分对受体周围信号的调节以及大脑整合在味觉感知中的作用。

3 油脂感知的分子机制

对脂肪和脂肪酸的感知可能取决于触觉、嗅觉、痛觉、热和味觉的组合。目前已报道许多方法来确定脂质的特定味道,特别是要将脂质的各种味觉

影响与口腔质地(黏度)和气味分开。人类感知油脂味道的所有机制可能都必须考虑到甘油二酯和甘油三酯^[32-33]。碳链长度小于10的脂肪酸(例如甲酸和丙酸)尝起来是酸的,且不被归属于脂肪^[34]。研究表明,单独食用全脂食物的受试者比食用无脂食物的受试者显示出更高的餐后甘油三酯血症^[35]。健康受试者似乎能以特定的方式检测出少量的饱和及不饱和和长链脂肪酸^[36]。嗅觉缺失的大鼠更喜欢油酸,因此,在不受气味感知的影响下它们似乎更喜欢脂肪酸酯的味道,而不是甘油三酯的味道^[37]。这种代谢变化无法通过味觉和嗅觉信号来解释,因此,可能有一个专门用于感知脂质的感官系统。目前关于脂肪感知机制的研究发现,这个过程不会涉及与其他基本口味之间的交互影响^[38]。有报道称唾液可以使甘油三酯水解并释放出可被脂肪受体检测到的游离脂肪酸。因此,有人提出脂肪可能是第6种味道。

3.1 CD36

CD36(脂肪酸转位酶)是一种相对分子质量为75 000~88 000的受体,在肌肉、脂肪组织、肠道和毛细血管内皮中含量丰富^[39],CD36也位于舌头味觉细胞的顶端,有助于感知脂肪^[40]。CD36可以结合多种配体,包括I型和IV型胶原、氧化低密度脂蛋白、天然脂蛋白、氧化磷脂和长链脂肪酸,且CD36对脂肪酸表现出较高的亲和力^[39]。许多研究表明,CD36与食物脂肪的感知有关,是脂肪感知的一种关键受体^[41]。Simons等在人和猪的叶状乳头的味觉细胞中发现了CD36,表明CD36也是人类膳食中长链脂肪酸(LCFA)的感知受体^[42]。Khan等去除小鼠的CD36基因后发现,在自由选择情况下,小鼠对LCFA的自发偏好降低,当CD36被LCFA激活后,能够引发独特的信号传递机制,如细胞内游离钙浓度的增加、蛋白酪氨酸激酶的磷酸化及释放神经递质到突触间隙,这些也是口腔中对脂肪感知的生理反应^[43]。在研究CD36影响脂肪感知的实验中,也证明CD36不会对甜味、苦味的偏好产生影响,说明这种对进食行为偏好的影响具有脂肪特异性^[44]。有动物实验显示,CD36缺失的小鼠对饲料中亚油酸的偏好消除,这证明CD36对口腔脂肪感知以及LCFA的代谢和偏好至关重要。未来可以从分子层面解释不同国家和不同性别之间消费者对脂肪选择和偏好的差异。

3.2 GPR120和GPR40

G蛋白偶联受体(GPCR)中的GPR120也被认

为参与人类对脂肪的感知。GPR120主要在脂肪细胞表达,具有促进细胞分化和成熟,抑制炎症细胞因子释放等作用^[45]。GPR120作为游离脂肪酸受体,对LCFA具有很强的亲和力^[46]。Iwasaki等研究GPR120对人类感知脂肪的作用表明,当低脂食品中添加植物油后,GPR120不能自己激发,但是可以增强人体对脂肪的感知^[47]。再如Murtaza等研究了TUG891(一种GPR120激动剂)与GPR120结合对调节脂肪偏好的影响,结果表明TUG891与舌侧GPR120受体结合,能够激活舌-脑-肠轴,从而调节脂肪偏好^[48]。

GPR40也是一种中长链脂肪酸的感知受体,主要在胰腺 β 细胞和肠道内分泌细胞中表达,其激活最终导致胰岛素分泌^[49]。Voigt等采用功能性钙成像技术测试GPR120和GPR40是否对三油酸酯的刺激有响应,结果表明,在用油酸攻击后会获得显著信号,而受三油酸酯刺激的受体转染细胞中不存在钙痕迹,说明两种受体只对游离脂肪酸有反应^[50],由此可得出结论,在人类口腔内具有有效的脂肪分解酶系统,或三油酸酯能被一种尚不清楚的脂肪感知受体识别。

3.3 其他

有研究表明GPR41和GPR43是短链饱和脂肪酸的感知受体,GPR84是中链脂肪酸的感知受体^[51]。其中,GPR84和GPR41存在于轮廓乳头,而在菌状乳头上不表达,但GPR43在轮廓乳头和菌状乳头上都存在。目前对于以上GPCRs的了解还不够深入,GPCRs对脂肪的感知机制也有待进一步研究。脂钙素-1(lipocalin-1,LCN1)也被认为与脂肪感知有关。游离脂肪酸不溶于水(如唾液),需要被携带才能到达受体。LCN1具有疏水基,是运输游离脂肪酸的一个潜在候选载体,也可以运输疏水苦味化合物,如奎宁。LCN1分泌于人类唾液中,靠近味觉感受器,其功能尚不清楚。

4 展望

油脂是重要的营养素之一。动物油脂与植物油脂的制备与加工方式存在较大差异,再加上油料本身的差异性很大,从而造成油脂具有各不相同的风味品质。由于尚未表征特定的“脂肪味道”,油脂对味道的贡献存在争议。脂肪的先天吸引力可能是由于一种或多种口腔感觉、摄食及代谢信号。油脂的

味道,尤其是氧化多不饱和脂肪酸及其酯的味道,可能源自人类舌乳头中特定的脂肪酸感知机制。唾液是风味感知的关键因素。唾液或口腔上皮表面富含唾液酶的薄膜中的蛋白质通过与风味化合物相互作用来促进风味感知。除了传统的气相色谱质谱联用和/或液相色谱质谱联用的风味分析方法外,未来还可开发易于使用的模拟人类感官的设备或系统来监测食品质量和感官特性。由于人们还没有完全了解味觉或气味的感知机制,目前商业化的设备

只能模仿人类舌头或鼻子的功能,且传感器的精度有待进一步提高。未来研究需要更多分子学水平的数据探究人类对于脂肪感知的通路。从嗅觉、味觉、三叉神经感觉等多方面探究口腔加工中油脂的感知。功能传感器与体外器官模型的结合可以用来结合多感官的交互作用阐明脂肪感知。未来研究还必须考虑到大脑层面的跨模态交互作用,采用核磁共振、脑电等技术探讨大脑认知油脂的机制。

参考文献:

- [1] SPENCE C. Multisensory flavor perception[J]. *Cell*, 2015, 161(1):24-35.
- [2] CHANDRASHEKAR J, HOON M A, RYBA N J P, et al. The receptors and cells for mammalian taste[J]. *Nature*, 2006, 444: 288-294.
- [3] TAMURA H, FUJITA A, STEINHAUS M, et al. Assessment of the aroma impact of major odor-active thiols in pan-roasted white sesame seeds by calculation of odor activity values[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59(18):10211-10218.
- [4] 严群. 焙炒芝麻香气成分研究[J]. *食品工业*, 2014, 35(3):245-247.
- [5] NEWELL J A, MASON M E, MATLOCK R S. Precursors of typical and atypical roasted peanut flavor[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1967, 15(5):767-772.
- [6] 左青, 李涵, 左晖. 浓香花生油生产技术实践[J]. *中国油脂*, 2021, 46(9):137-140.
- [7] 彭洁, 陈甜甜, 潘亚瑜, 等. 四川浓香型菜籽油中硫苷降解产物的分析研究[J]. *食品与发酵科技*, 2021, 57(1):51-55.
- [8] 刘少敏. 橄榄油关键香气成分及基于风味指纹图谱的鉴别研究[D]. 北京:北京工商大学, 2018.
- [9] SAEZ J J S, GARRALETA M D H, OTERO T B. Identification of cinnamic acid ethyl ester and 4-vinylphenol in off-flavour olive oils[J]. *Analytica Chimica Acta*, 1991, 247:295-297.
- [10] LINSEN L. How is chemical interesterification initiated: nucleophilic substitution or α -proton[J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2004, 81(4):331-337.
- [11] ALIANI M, FARMER L J. Precursors of chicken flavor. II. identification of key flavor[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2005, 53(16):6455-6462.
- [12] 吕晓玲, 杨雪吟, 李津, 等. 精制各阶段牛油风味研究[J]. *粮食与油脂*, 2011, 187(11):24-27.
- [13] KANNER J, ROSENTHAL I. An assessment of lipid oxidation in foods[J]. *Pure and Applied Chemistry*, 1992, 64(12):1959-1964.
- [14] BYRNEA D V, BREDIEA W L P, MOTTRAMB D S, et al. Sensory and chemical investigations on the effect of oven cooking on warmed-over flavour development in chicken meat[J]. *Meat Science*, 2002, 61(2):127-139.
- [15] CRIPPEN K L, DUPUY H P, JAMES C J. Chemical and sensory studies of antioxidant-treated beef[J]. *Journal of Food Science*, 1990, 55(6):1501-1505.
- [16] SUNESEN L O, DORIGONI V, ZANARDI E, et al. Volatile compounds released during ripening in Italian dried sausage[J]. *Meat Science*, 2001, 58(1):93-97.
- [17] VANAKEN G A. Modelling texture perception by soft epithelial surfaces[J]. *Soft Matter*, 2010, 6(5):826-834.
- [18] SCHIPPER R G, SILLETTI E, VINGERHOEDS M H. Saliva as research material: biochemical, physicochemical and practical

- aspects[J]. **Archives of Oral Biology**, 2007, 52(12): 1114-1135.
- [19] PLOYON S, MORZEL M, CANON F. The role of saliva in aroma release and perception[J]. **Food Chemistry**, 2017, 226: 212-220.
- [20] LYNCH J, LIU Y H, MELA D J, et al. A time-intensity study of the effect of oil mouthcoatings on taste perception[J]. **Chemical Senses**, 1993, 18(2): 121-129.
- [21] DRANSFIELD E. The taste of fat[J]. **Meat Science**, 2008, 80(1): 37-42.
- [22] HOCQUETTE J F, GONDRET F, BAEZA E, et al. Intramuscular fat content in meat-producing animals: development, genetic and nutritional control, and identification of putative markers[J]. **Animal**, 2010, 4(2): 303-319.
- [23] 魏超昆, 赵宇慧, 刘敦华, 等. 鸡油基起酥油对面包感官、风味及老化特性的影响[J]. **食品科学**, 2017, 38(3): 101-106.
- [24] NI H, DATTA A K. Moisture, oil and energy transport during deep-fat frying of food materials[J]. **Food and Bioproducts Processing**, 1999, 77(3): 194-204.
- [25] GUICHARD E, GALINDO-CUSPINERA V, FERON G. Physiological mechanisms explaining human differences in fat perception and liking in food spreads: a review[J]. **Trends in Food Science and Technology**, 2018, 74: 46-55.
- [26] HOU H R, ZHANG X N, MENG Q H. Odor-induced emotion recognition based on average frequency band division of EEG signals[J]. **Journal of Neuroscience Methods**, 2020, 334: 1-7.
- [27] KROUPI E, VESIN J M, EBRAHIMI T. Subject-independent odor pleasantness classification using brain and peripheral signals [J]. **IEEE Transactions on Affective Computing**, 2016, 7(4): 422-434.
- [28] VERHAGEN J V, ROLLS E T, KADOHISA M. Neurons in the primate orbitofrontal cortex respond to fat texture independently of viscosity[J]. **Journal of Neurophysiology**, 2003, 90(3): 1514-1525.
- [29] BAYLIS L L, ROLLS E T, BAYLIS G C. Afferent connections of the caudolateral orbitofrontal cortex taste area of the primate[J]. **Neuroscience**, 1995, 64(3): 801-812.
- [30] KADOHISA M, ROLLS E T, VERHAGEN J V. Orbitofrontal cortex neuronal representation of temperature and capsaicin in the mouth[J]. **Neuroscience**, 2004, 127(1): 207-221.
- [31] DEARAUJO I E, ROLLS E T, KRINGELBACH M L, et al. Taste-olfactory convergence, and the representation of the pleasantness of flavour, in the human brain[J]. **European Journal of Neuroscience**, 2003, 18(7): 2059-2068.
- [32] KAWAI T, FUSHIKI T. Importance of lipolysis in oral cavity for orosensory detection of fat[J]. **American Journal of Physiology Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, 2003, 285(2): 447-454.
- [33] GILBERSON T A, LIU L, YORK D A, et al. Dietary fat preferences are inversely correlated with peripheral gustatory fatty acid sensitivity[J]. **Annals of the New York Academy of Sciences**, 1998, 855(1): 165-168.
- [34] FORSS D A. Progress in chemistry of fats and other lipids[M]. Oxford: Pergamon, 1972: 177.
- [35] MATTES R D. The taste of fat elevates postprandial triacylglycerol[J]. **Physiology and Behavior**, 2001, 74(3): 343-348.
- [36] CHALE-RUSH A, BURGESS J R, MATTES R D. Evidence for human orosensory (taste?) sensitivity to free fatty acids[J]. **Chemical Senses**, 2007, 32(5): 423-431.
- [37] FUKUWATARI T, SHIBATA K, IGUCHI K, et al. Role of gustation in the recognition of oleate and triolein in anosmic rats[J]. **Physiology and Behavior**, 2003, 78(4): 579-583.
- [38] MATTES R D. Effects of linoleic acid on sweet, sour, salty, and bitter taste thresholds and intensity ratings of adults[J]. **American Journal of Physiology: Gastrointestinal and Liver Physiology**, 2007, 292(5): 1243-1248.
- [39] SILERSTEIN R L, FEBBRAIO M. CD36, a scavenger receptor involved in immunity, metabolism, angiogenesis, and behavior[J]. **Science Signaling**, 2009, 2(72): 2-6.
- [40] LEHNER R, QUIROGA A D. Biochemistry of lipids, lipoproteins and membranes[M]. Canada: Elsevier Science, 2016: 149-184.
- [41] ABDOUL-AZIZE S, SELVAKUMAR S, SADOU H, et al. Ca²⁺ signaling in taste bud cells and spontaneous preference for fat: unresolved roles of CD36 and GPR120[J]. **Biochimie**, 2014, 96: 8-13.
- [42] SIMONS P J, KUMMER J A, LUIKEN J J, et al. Apical CD36 immunolocalization in human and porcine taste buds from circumvallate and foliate papillae[J]. **Acta Histochem**, 2011, 113(8): 839-843.

- [43] KHAN N A, BESNARD P. Oro-sensory perception of dietary lipids: new insights into the fat taste transduction[J]. **Biochim Biophys Acta**, 2009, 1791(3): 149-155.
- [44] GILBERTSON T A, KHAN N A. Cell signaling mechanisms of oro-gustatory detection of dietary fat: advances and challenges[J]. **Progress of Lipid Research**, 2014, 53:82-92.
- [45] OH D Y, TALUKDAR S, BAE E J, et al. GPR120 is an omega-3 fatty acid receptor mediating potent anti-inflammatory and insulin-sensitizing effects[J]. **Cell**, 2010, 142(5): 687-698.
- [46] PAL A, CURTIN J F, KINSELLA G K. Structure based prediction of a novel GPR120 antagonist based on pharmacophore screening and molecular dynamics simulations[J]. **Computer Structure Biotechnology Journal**, 2021, 19:6050-6063.
- [47] IWASAKI N, SAKAMOTO K, KITAJIMA S, et al. GPR120 agonists enhance the fatty orosensation when added to fat-containing system, but do not evoke it by themselves in humans[J]. **Physiology and Behavior**, 2021, 234:1-9.
- [48] MURTAZA B, HICHMMI A, KHAN A S, et al. Novel GPR120 agonist TUG891 modulates fat taste perception and preference and activates tongue-brain-gut axis in mice[J]. **Journal of Lipid Research**, 2020, 61(2): 133-142.
- [49] BRISCOE C P, TADAYYON M, ANDREWS J L, et al. The orphan G protein-coupled receptor GPR40 is activated by medium and long chain fatty acids[J]. **Journal of Biological Chemistry**, 2003, 278(13): 11303-11311.
- [50] VOIGT N, STEIN J, GALINDO M M, et al. The role of lipolysis in human orosensory fat perception [J]. **Journal of Lipid Research**, 2014, 55(5): 870-882.
- [51] WANG F, MA L, DING Y, et al. Fatty acid sensing GPCR (GPR84) signaling safeguards cartilage homeostasis and protects against osteoarthritis[J]. **Pharmacol Research**, 2021, 164: 1-14.

科 技 信 息

研究系统阐释全球农产品中有机磷酸酯来源与迁移机制

近日, 中国农业科学院农业质量标准与检测技术研究所饲料质量安全检测与评价创新团队与加拿大萨斯喀彻温大学合作, 系统阐述了农产品中有机磷酸酯污染特征与迁移机制的研究进展, 相关研究成果发表在 *Science of the Total Environment* 上。

有机磷酸酯是一类可作为阻燃剂、增塑剂而广泛应用于塑料制品、家具、电子产品的化学物质, 具有较强的生物毒害性和环境持久性, 在空气、水等环境介质, 以及动物、植物等生物体中存在不同程度污染。随着有机磷酸酯生产和使用量的不断增加, 其在环境和生物体中的水平也逐步增加。近年来, 有机磷酸酯被视为影响全球农产品和食品安全的新风险, 其在农产品和食品中的污染特征与迁移转化机制也成为国内外研究热点。

该研究系统总结了全球范围内动物、植物源农产品以及水产品中有机磷酸酯污染水平与特征, 阐释了有机磷酸酯可通过农业生产环境、农业投入品以及农产品加工等途径, 在农产品生产链条中迁移与转化。为应对全球农产品中有机磷酸酯污染风险, 该研究指出, 应在全球范围内加强对农产品和食品中总有机磷酸酯等新型环境污染物的污染特征监测与风险评估, 迁移转化与代谢机制分析, 以及污染源头控制与污染消除等方面的研究。

[信息来源] 中国农业科学院农业质量标准与检测技术研究所. 研究系统阐释全球农产品中有机磷酸酯来源与迁移机制[EB/OL]. (2022-6-10). <https://www.caas.cn/xwzx/kyjz/321165.html>.