

脂肪味感知敏感性的影响因素

王敏^{1,2}, 蒋泽祯^{1,3}, 王子依¹, 宋佳慷^{1,3}, 李聪丽^{1,3}, 刘畅¹, 韩天龙^{1,3*}, 刘登勇^{2*}

¹渤海大学食品科学与工程学院 辽宁锦州 121013

²辽宁省肉类食品专业技术创新中心 辽宁锦州 121013

³辽宁喀左山猪科技小院 辽宁朝阳 122305

摘要 富含脂肪的食品因特殊的口感和风味而被众多消费者所喜爱。除味觉外,嗅觉和口腔触觉也参与脂肪的感知。脂肪酸与舌味蕾味觉感知细胞膜受体结合产生脂肪味,经Ca²⁺释放介导的信号传导,最终被大脑识别并感知。脂肪感知涉及生理学、心理学、物理学等多学科的分子机制,受脂肪酸组成、多模态感官、生理节律等多重因素影响。本文综述脂肪酸饱和度、浓度、氧化程度等对脂肪味感知的影响,重点阐述经由味觉、嗅觉和口腔触觉等多模态途径形成的脂肪味感知。归纳脂肪味感知在饥饿、睡眠、昼夜、季节、情绪、品尝温度、生理年龄等生理及其相关节律影响下的变化规律。旨在探讨脂肪口感形成过程和影响因素,为脂肪感知相关研究提供思路借鉴,为今后脂肪替代食品的开发与应用提供理论参考。

关键词 脂肪味; 油脂感; 敏感性; 生理节律; 影响因素

文章编号 1009-7848(2026)01-0422-13 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2026.01.037

脂肪味是一种味蕾感知到的脂肪味觉,不属于“酸、甜、苦、咸、鲜”5种基础味觉^[1-2]。研究发现,脂肪滴的尺寸增加会使奶油的口感增强,证实了脂肪对口感是有贡献的^[3]。膳食脂肪作为一种常量营养素,对食品的质构特性、适口性和感官评分等具有重要作用^[3-4]。然而,对于脂肪的味道和口感评价存在个体性差异。舌面的乳突数目对口腔的触感及味觉敏感程度起着决定性作用,其对味觉的感知产生直接影响,人们的口腔行为(即进食前、后对食物的控制)个体差异较大^[4]。影响味觉感知敏感性的因素主要包括食物的化学组成、个体的生理状态等。本文综述食物脂肪酸(Fatty acids, FA)组成,人体多重感官机能、生理相关节律,品尝温度以及年龄改变等因素对脂肪味觉感知敏感性的影响。

1 脂肪酸组成对脂肪味感知的影响

1.1 脂肪酸饱和度与脂肪味感知

收稿日期: 2025-01-22

基金项目: 辽宁省教育厅基本科研面上项目(JYTMS20231626); 辽宁省科技特派行动专项计划项目(2024JH5/10400135)

第一作者: 王敏,女,博士,副教授

通信作者: 韩天龙 E-mail: hantian212@163.com

刘登勇 E-mail: jz_dyliu@126.com

不同饱和度的脂肪酸对脂肪味觉感知的影响不同。目前研究发现,人对多不饱和脂肪酸(Polyunsaturated fatty acids, PUFA)比单不饱和脂肪酸(Monounsaturated fatty acids, MUFA)的味道更敏感^[5-7],人对PUFA的敏感度是MUFA的2.5~5.6倍^[5]。二者与饱和脂肪酸(Saturated fatty acids, SFA)相比,对脂肪味觉感知的贡献更显著^[5]。研究发现,脂肪酸敏感性的差异是由脂肪酸的不同化学性质决定的,试验观察到人体对亚油酸比油酸更敏感^[8],在没有给出P值的情况下,亚麻酸的阈值比亚油酸和油酸低^[9]。此外,研究发现,与油酸相比,脂肪酸烷基链的形状也可以解释对亚油酸和亚麻酸的敏感性增加,不饱和度越高,溶解度越大,跨细胞膜的扩散速率越高,不同的形状也改变了对受体的亲和力,包括G蛋白偶联受体(G protein-coupled receptors, GPRs)^[10]。这些特性使不同脂肪酸对脂肪味觉感知的影响存在差异,这也解释了为什么亚油酸和亚麻酸比油酸对脂肪味觉的影响更为显著^[5,11]。

1.2 脂肪酸浓度与脂肪味感知

脂肪酸的浓度对脂肪味觉的影响具有浓度依赖性,大多数情况下,在一定范围内,随着脂肪酸浓度的增加,脂肪味觉会逐渐增强^[12]。高浓度脂肪酸可通过促进肽YY(Peptide YY, PYY)分泌,影

响味觉感知从而抑制食欲^[13]。膳食脂肪主要由酯化脂肪酸组成,其中游离脂肪酸才能与味觉感受器结合^[14]。因此,唾液脂肪分解活性通过有效分解食物中的酯化脂肪酸,释放出游离脂肪酸,从而对脂肪味觉感知的形成起着关键作用^[14]。甘油三酯(Triglycerides, TG)的味道实际上是 TG 被水解时释放的游离脂肪酸(Free fatty acids, FFA)的味道,因此当脂解活性受到抑制时,人体对 TG 味道的敏感性会降低^[15]。研究表明,在脂肪分解活性过低的情况下,食物咀嚼过程中释放的 FFA 量低于游离脂肪酸受体 (Free fatty acid receptors, FFAR)味道检测所需的浓度,导致脂肪味觉敏感性的降低^[15]。一项研究中,一种基于表面增强拉曼散射(Surface-enhanced Raman scattering, SERS)制作的多路传感系统可以实时监测脂肪酸诱导的受体激活和细胞表面的动态分布,以及跟踪脂肪酸添加时受体的内化过程^[15]。研究发现,在脂肪酸浓度较高的工程 HEK293 细胞中发现 SERS 信号增加,而在细胞系 TBDc1 中发现该反应减少,这进一步表明了脂肪酸浓度会影响脂肪味觉的敏感性^[15]。

1.3 脂肪酸氧化程度与脂肪味感知

含脂食品中脂肪酸的氧化程度是影响其脂肪味觉感知的重要因素之一。研究发现,亚油酸的氧化速度是油酸的 3~10 倍,亚麻酸的氧化速度是油酸的 15~100 倍^[16]。虽然唾液中防止氧化的机制是否与味觉系统相互作用尚不清楚,但感知到氧化是非酯化脂肪酸(Non-esterified fatty acids, NEFA)的运输或结合以及刺激脂肪味觉感知的另一种潜在的作用途径^[9]。一项研究发现,氧化鱼油含量高的特殊风味酸奶具有较高的氧化风味^[17]。未经训练的感官人员进行三角形测试时,虽然无法区分无香料酸奶中低水平的鱼油和黄油,但可以分辨出含有氧化鱼油的酸奶,即使是在较低水平条件下^[17]。受过训练的感官人员在区分含有低水平氧化鱼油以及低或高水平黄油和鱼油的酸奶时发现,含有 1%氧化鱼油的智利酸橙低脂风味酸奶具有较低的酸橙和酸味特征^[17]。以上的研究进一步表明脂肪或者脂肪酸在氧化时会产生独特的味道进一步影响人的脂肪味觉敏感性。脂肪酸组成与脂肪味感知的关系见图 1。

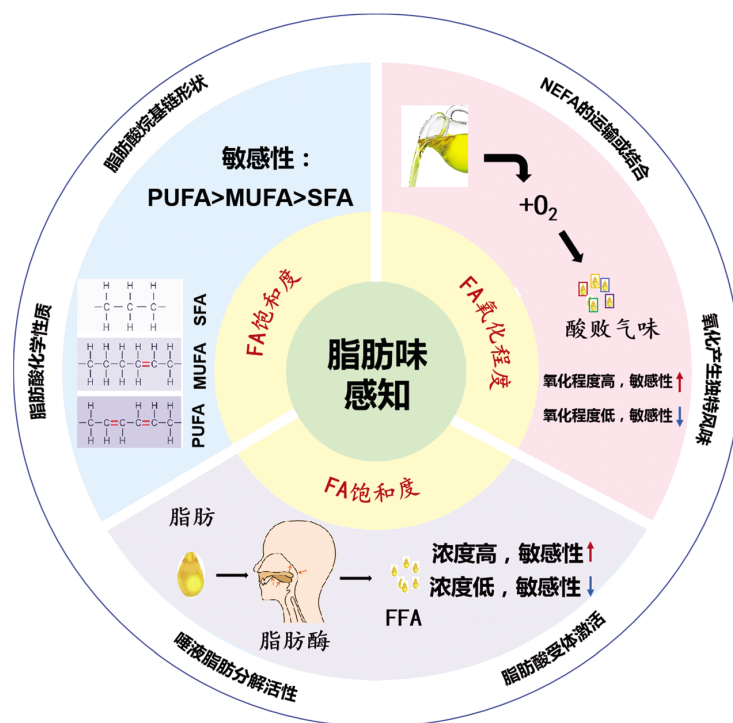


图 1 脂肪酸组成对脂肪味感知的影响

Fig.1 The influence of fatty acid composition on fat taste perception

2 感官因素对脂肪味感知的影响

人体对食物的感知是一个复杂的过程,涉及多个感官系统,包括视觉、嗅觉、味觉和触觉等。膳食脂肪是一种多模态刺激,可以通过口腔中的触觉、味觉,鼻腔及鼻后嗅觉和身体感觉等多种感觉信息参与其感知^[18]。在能够用来区别不同脂肪含量样本的感官模式中,质地信息似乎占据主要地位^[18-19]。实际上,已有证据表明脂肪对奶制品可感知厚度的作用,以及对其它质构感觉(例如,口腔内的黏度)的作用具有重要贡献^[19]。Le Calvé等^[20]对上述研究结果进行再评价,并就其影响机制进行探讨;经过研究发现,质地、味觉、嗅觉、视觉等均可影响脂肪感知。因此,食品脂肪味感官评定依赖于多个感官维度(见图2)。这一发现验证了人们对食物中脂肪的多模态感知的认知,同时也挑战了质地线索在感官认知领域所的优势地位^[21]。

2.1 嗅觉与脂肪味感知

当香气从食物或饮料中释放时,其中的挥发性物质与鼻腔中嗅觉上皮受体结合,最终导致气味感知形成。另一方面,鼻后气味在进食期间亦可从口腔进入鼻腔,引起嗅觉辅助口腔感知^[22]。有研究表明,嗅觉线索有助于形成对脂肪相关气味的偏好^[23],研究观察到鼻后或鼻前信号足以区分乳制品的脂肪含量^[24]。该研究证实了人类可以通过嗅觉或鼻后嗅觉来检测、区分和识别脂肪味,甚至是处于复杂食物基质中的脂肪味^[12]。食品中的油脂含量决定了食品中多种油脂及非油脂类的香气品质,主要依赖于食品原料及香气的物理、化学性质^[12]。同时,脂肪相关气味的存在可以改变嗅觉和非嗅觉感官品质的感知^[12]。脂肪感知是一种多模态感觉,包括嗅觉、味觉和触觉提示;与脂肪喜好相关的主要感官描述包括奶油性、涂抹性和脂香味感知^[25]。与脂肪有关的气味在饮食行为中的作用,包括嗅觉脂肪感知化学信号的性质,以及作为脂肪有关气味的敏感性因素^[25]。

气味在人们对食物中脂肪的多模态感知的认知里占着很大的比重。已有报告指出,气味可以影响人对于脂肪的感受,尽管影响程度有所区别^[21]。研究表明,添加了椰子和奶油的低脂肪搅动的酸奶味道要比添加了青苹果和杏仁的酸奶味道更好^[26]。有趣的是,研究表明,香味还可以通过影响

食品种类来调控脂肪含量差异^[20]。除了这些研究以外,也有人曾使用一种叫做“后感觉”的新方法来预测与油脂相关的味道,它被称为“脂类嗅觉”(Oil odor)^[21]。该方法假设食物中油分子存在于液体中并表现为香味。然而,香味能否用于食品中脂肪的识别,或者能否用于食品体系中脂肪的鉴别,目前尚不明确^[21]。

脂肪口感形成受到嗅觉的影响,包括正鼻嗅觉和鼻后嗅觉^[27]。越来越多的证据强调嗅觉在脂肪味感知中的重要性,人类不仅能够检测和区分鼻内和鼻外气相脂肪酸^[28],也可以鼻内鉴别其不同类型^[29]。Martin等^[30]研究观察到,当在没有鼻夹的情况下(涉及鼻后途径)评估脂肪变化的白干酪时,脂肪的检测阈值(Detection threshold, DetT)和识别阈值(Recognition threshold, RT)均降低。类似地,Jervis等^[31]研究表明,使用鼻夹可以减少奶油甜品中的乳油感和脂肪感觉。同时,Matjaz等^[24]发现,白色奶酪中的天然乳脂香气与脂肪含量之间成正相关,这表明(鼻后)气味是影响食品油脂感知的一个重要因素。总的来说,当前的研究标志着在了解嗅觉对脂肪感知方面迈出了一大步,研究结果表明,人们可以用鼻子嗅出是否有脂肪,甚至可以分辨出食物中脂肪水平的高低。

2.2 味觉与脂肪味感知

味觉是味蕾感受器识别口腔中的化学刺激时所体验到的感觉。味觉细胞含有化学感受受体,可识别多种味道,有5种确定的基本口味模式,包括酸、甜、苦、咸和鲜味^[1,26]。味觉形成的生理学机理是多方面的,其中包括:给口腔的食物一个有吸引力或安全的信号,对输入的食物进行反馈,并对其进行调整以增强食欲^[32]。唾液成分不仅受个体对脂肪偏好程度的影响,也与长期饮食习惯密切相关^[33]。最新研究发现,高膳食脂肪食物可引起味觉受体活性及表达水平的变化,且高膳食脂肪食物可使机体对脂肪酸味道的敏感性下降^[34]。以上研究表明,进食行为及摄取频率与脂肪酸味道的感知敏感度有显著相关性,且对身体健康有显著影响^[34]。

味觉感知是区别食品中有益与潜在有害的成分的有效手段。其5种风味特性为确定物质能否被食用提供了重要的信息。目前已知与脂肪酸相

关的外周感知机理主要有几种,包括一些脂肪酸可激活的受体及离子通道可通过钙离子级联触发相关化学感觉通路^[35]。食物入口后,由味蕾顶部的味觉细胞(Taste-receptor cell, TRC)完成味觉识别^[36]。TRC 是一类具有感知多种风味、传递味觉信息和调控食欲的感受器细胞,具有重要的生理感知功能^[32]。在咀嚼时,游离脂肪酸通过单一或多种受体活化味蕾细胞,启动 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 H^+ 等信号神经传导途径,将信号传导到脑内味觉中枢,产生味觉感受^[37-39]。在大多数时候,脂肪酸的味道感受是通过多个受体协同来实现的^[36]。研究发现,在人菌状味蕾中,白细胞分化抗原 36(Cluster of differentiation 36, CD36)、FFAR4、FFAR2、GPR84 以及延迟整流型钾离子通道的 mRNA 及蛋白都有表达^[35,40]。CD36 蛋白的表达量与高/低脂肪食品的喜好差异评分相关;FFAR2 的表达与总脂肪摄入量及饱和脂肪酸的摄入量有关^[35]。

2.3 口腔触觉与脂肪味感知

质地和风味是食品和饮料的基本感官特性,脂肪作为食物的重要成分,其含量对食品的质地起着关键作用,其质地对于人体感知脂肪味觉具有重要影响。虽然口腔质地感知对进食行为有重要贡献,但质地的形态多年来一直被称为“被遗忘的一个”,这是因为与味道和风味相比,对质地的关注度一直较低^[40]。研究表明,口腔的几个部位都有触觉感受器,通过触觉感受器,食物质地特征的信息被传递到大脑,其菌状乳头数目会影响口腔触觉和味觉敏感度^[41]。此外,口腔行为(食物被吞咽前在口腔中的加工过程)因个体而异,会影响口感^[4]。研究表明,菌状乳头密度与较高的脂肪味觉敏感度呈正相关,与口腔触觉敏感度呈正相关,证实了脂肪味觉敏感性与口腔触觉是存在联系的^[41]。意味着口腔触觉敏感度可侧面表征参与者对脂肪味的感知敏感性;这可以解释个人对脂肪含量不同的产品的感知,将随后影响味觉和口感形态感知^[41]。

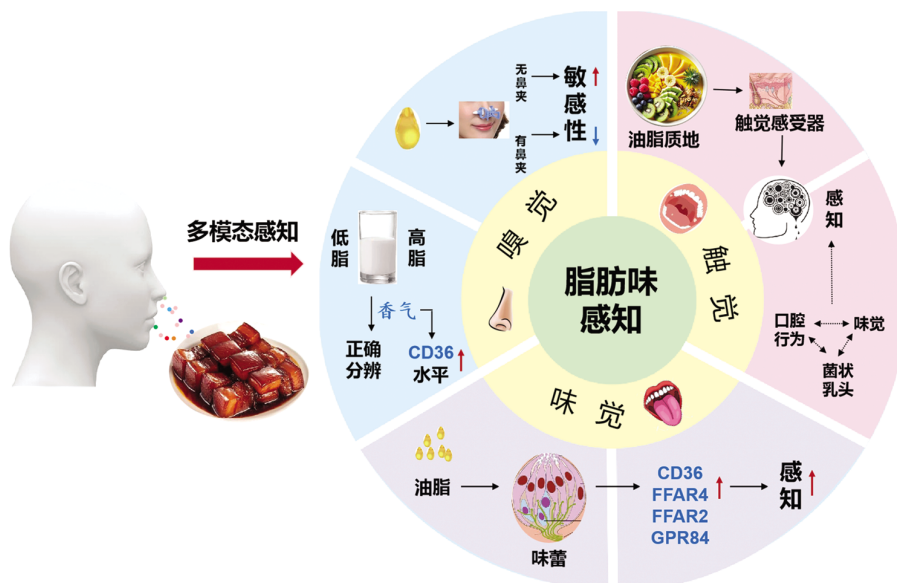


图 2 感官因素对脂肪味感知的影响

Fig.2 The influence of sensory factors on fat taste perception

3 生理节律相关因素对脂肪味感知敏感性的影响

生理节律是生物体内的一种内在计时/记事系统,它调控着生物体的许多生理过程,包括饥饿与饱腹、睡眠与清醒等交替循环的生理过程,欢喜与悲伤、紧张与松弛等情绪状态,随昼夜更替和季

节变化的生理适应性改变,以及体温的恒定、新陈代谢和免疫防御等。生理节律相关的因素会直接影响机体对内外环境的适应性,从而影响机体对刺激的敏感性(见表 1)。

3.1 饥饿节律与脂肪味感知

饥饿是影响人体感知敏感度的一个可能的变

量,这是因为机体在饥饿状态下所需的能量要大于饱腹时所需的能量。先前的研究也表明,饥饿可以调控多种与食物摄取相关的快速进程^[42-43]。研究发现,与非食品组相比,饥饿与饱食均对食物的识别速度更快。同时研究结果显示,饥饿受试者对高脂食物的检测速度要快于低脂食品,而饱腹的受试者对高脂或低脂食物的反应时间并无差别^[42-43]。这一点无论是味觉检测还是嗅觉和视觉检测结果都有着高度的相似性^[43-44]。这说明,在人体感到满足的情况下,食物仍然能引起人体的注意,在人体感到饥饿的时候,能更有效地探测到脂肪等高能食物用于补给^[43]。研究表明,感知脂肪的味觉系统不仅能调控食物中脂肪的摄取,还能帮助调节体内脂肪的消化与吸收^[43-45]。这种效果持续的时机也十分的巧妙,其发生在饱足感产生前的一段时间内,说明脂肪对于降低两餐间加点心或者全餐的食品摄取量来说,具有一定的影响作用^[45]。研究发现,20 mmol/L 油酸(Oleic acid, OA)漱口液减少了自我报告的饥饿感,增加了自我报告的饱腹感,特别是对于那些对脂肪味道更敏感的人;表明口腔中的 FA 受体可能是调节食欲的潜在目标^[45]。饥饿和饱腹感都表现出明显的内源性昼夜节律。研究表明,在生物夜晚时间(07:00-21:00),饥饿感最高,饱腹感最低;而在生物深夜时间(01:00-05:00),饥饿感最低,饱腹感最高^[46]。该结果可以在某种程度上解释被要求在夜间工作的人通常报告的食欲下降。有趣的是,与中度睡眠限制相比,饥饿和饱腹感的内源性节律似乎并没有因严重睡眠限制而改变^[46]。

研究综合表明,个体在饥饿时,机体会更加专注并且快速选择那些高脂的食品,以增加他们存活的几率,进而对脂肪的敏感性更高,这或许是一种保障能量供给的适应性行为;而在饱腹状态下,这一倾向则不明显^[43]。因此,空腹或饥饿状态是增强脂肪关注与选择的重要条件。

3.2 睡眠节律与脂肪味感知

睡眠与清醒-循环是人类自然的睡眠节律模式。睡眠的总体功能被假设为在之前的清醒活动之后提供“恢复”,从而确保在随后的清醒期间的最佳生理功能。睡眠时间是影响脂肪味感知的重要因素之一。睡眠阶段根据脑电图(Electroen-

cephalogram, EEG)读数分为2个阶段。经研究发现,在睡眠开始后,闭眼的快速运动、心率和血压增加到接近清醒的水平,伴随着与肌肉松弛和 α 、 β 和 θ 波的周期性丧失相关的去同步化 EEG。该阶段是指快速眼动(Rapid eye movement, REM)阶段,在 REM 睡眠后,观察到与低肌张力和最小心理活动相关的同步 EEG,其特征为 K-复合波和 δ 波,这种状态被称为非快速眼动(Non rapid eye movement, NREM)睡眠^[47-48]。睡眠的一般模式是周期性地从 REM 变为 NREM 的深度睡眠 3 期的循环^[47]。研究发现,与碳水化合物或蛋白质相比,接近睡眠时摄入更多的脂肪,可能会导致更严重的睡眠中断^[49]。松果体中的褪黑激素是调节昼夜节律和促进睡眠的重要激素,松果体含有许多 n-6(ω -6)和 n-3(ω -3)PUFA^[50]。孤立性 REM 睡眠行为障碍 (Idiopathic/isolated REM sleep behavior disorder, iRBD) 会引起昼夜睡眠-觉醒节律失调以及褪黑激素分泌减少,而 n-3 PUFA 不足也会减少夜间褪黑激素分泌^[51]。

为了测试膳食脂肪酸是否通过味觉系统调节睡眠,研究评估了己酸(Hexanoic acid, HxA)的离子型受体 56D 突变果蝇的睡眠,该受体是脂肪酸味觉感知所必需的^[48]。HxA 是一种 6 链脂肪酸,可诱导果蝇的进食行为。研究首先测量了己酸对睡眠的影响,结果发现喂食 HxA 的果蝇在白天和夜间的睡眠时间明显多于仅喂食琼脂的果蝇,这揭示了 HxA 具有睡眠促进作用,证明了脂肪酸对睡眠是有影响的^[48]。以上研究证明了膳食脂肪酸尤其是高膳食脂肪酸对良好的睡眠质量具有促进作用,其通过一种不依赖于味道的机制促进睡眠^[48]。然而在 REM 阶段,人体的味觉受体和嗅觉受体的表达水平会发生变化,从而间接影响人体对脂肪味觉的感知和反应。

3.3 昼夜节律与脂肪味感知

昼夜节律是生物体内最重要的生理节律之一,它对脂肪味感知具有重要影响。哺乳动物的新陈代谢以昼夜节律为决定性特征;环境明-暗周期、行为进食-禁食周期和睡眠-觉醒周期等与昼夜节律同步,以维持生理稳态^[52]。Kuang 等^[52]研究表明,肠道微生物群通过组蛋白脱乙酰酶 3(Histone deacetylase 3, HDAC3) 在小鼠小肠中规划

每日代谢节律。微生物群诱导肠上皮 HDAC3 的表达,有节律地在组蛋白乙酰化、代谢基因表达和营养摄取方面产生同步的昼夜波动^[52]。HDAC3 还具有非协同激活雌激素相关受体 α 的功能,诱导脂质转运蛋白基因 CD36 的微生物群依赖性节律转录,促进脂质吸收和饮食诱导的肥胖;该发现揭示了 HDAC3 通过整合微生物和昼夜节律线索来调节昼夜代谢节律,HDAC3 表达驱动肠道代谢基因表达的波动,特别是对于营养运输和脂质代谢^[52]。缺乏肠道微生物群的小鼠缺乏对其代谢的日常调节,并在高脂肪食物中变得肥胖;因此,HDAC3 循环的中断可能是人类肥胖的一种解释,这种肥胖与抗生素对微生物群的破坏以及时差和夜间工作引起的睡眠中断有关^[52]。

昼夜节律中断会改变许多代谢过程的正常波动,包括葡萄糖、谷氨酸、胆汁酸和脂肪等代谢过程,睡眠不足将扰乱许多细胞生物学过程和生理功能的节律性,可导致一系列的病理后果^[53]。昼夜节律紊乱预示着不良的癌症预后,研究表明,脂肪酸氧化(Fatty acid oxidation, FAO)作为一种昼夜节律传感器,在睡眠不足(Sleep-deficiency, SD)增强的肺肿瘤发生中从时钟中断传递到致癌代谢信号^[53]。转录组和代谢组分析均揭示,FAO 感受到 SD 诱导的昼夜节律紊乱,从机制上来说,SD 失调的时钟过度激活长链脂肪酰辅酶 a 合成酶 1 (Long-chain fatty acyl-CoA synthetase 1, ACSL1)产生棕榈酰辅酶 A (Palmitoyl-coenzyme A, PA-CoA),这种正转录-棕榈酰化反馈环阻止了时钟的泛素-蛋白酶体降解,导致 FAO 感知的昼夜节律中断^[53]。

通过对轮廓乳头 (Circumvallate papillae, CVPs)的完整转录组学研究,以及对参与脂肪味觉传导和沿着信号传导的 CVPs 基因的分析研究发现,已知口腔中容纳最多味蕾的 CVPs 显示出基因昼夜节律^[54]。这项研究证明味觉功能在哺乳动物的外周时钟的控制下,参与脂质信号传导的 CVPs 基因表现出昼夜节律,这种调节在饮食诱导肥胖(Diet-induced obesity, DIO)小鼠中被改变^[54]。即时钟基因在早晨增加味觉敏感性,促进食物检测能力,从而促进摄食;在夜间禁食期间降低味觉敏感性用以防止过多进食,此时人体分泌较多的

生长激素和皮质醇等分解代谢激素,这些激素可以促进脂肪酸的分解和利用;晚餐睡前时段,人体分泌较多的胰岛素和胰高血糖素等合成代谢激素,这些激素可以促进脂肪酸的合成和储存^[54]。

3.4 季节与脂肪味感知

季节变化对生物生命活动的多个方面都有影响,包括食性习惯和味觉感知。季节节律对脂肪味觉的影响,虽然目前在科学研究中并没有直接的相关文献,但可以从一些相关的研究中得到一些启示。研究发现,东北鼯鼠食性选择呈显著的季节性变化^[55]。大绒鼠的食性丰富度和肠道微生物多样性与季节变化导致的环境温度、降水等因素相关^[56]。绒山羊夏季血清总胆固醇(Total cholesterol, TC)和高密度脂蛋白(High density lipoprotein, HDL)含量低于其它季节,秋冬季血清 TG 含量高于春夏季,秋季低密度脂蛋白(Low density lipoprotein, LDL)含量高于春夏季,冬季 NEFA 浓度高于其它季节^[57]。研究表明,季节性变化会影响内蒙古绒山羊血清生化指标,并调控相关激素的分泌^[57]。研究发现,帕米尔盘羊冷暖季食物组成具有显著差异,肠道微生物 α 多样性与 β 多样性均呈现显著的季节差异,宿主在食物缺乏的冷季,酯类化合物生物合成相关的功能基因的相对丰度显著增加,这有助于宿主在严酷冬季的适应能力^[58]。鸟类在选取食物时,会受到其自身季节性行为动态的影响,高脂果实相对能在冬季为鸟类提供丰富能量^[59]。猴群的食性和组成也表现出强烈的季节性偏好^[60]。有研究表明,垂体结节部的促甲状腺细胞可能是长自主周期的调控场所,这可能与季节节律的调控有关。这进一步支持了季节变化可能通过影响生物节律进而影响味觉感知的可能性^[61]。

脂肪味作为一种重要的感官体验,可能受到季节节律的影响。季节变化引起的生理机制调整是影响脂肪味感知的重要因素。季节节律对脂肪味的影响是多方面的,既涉及生理机制的调整,也涉及心理因素的变化。综上所述,虽然没有直接的研究证据表明季节节律对脂肪味觉有影响,但通过饥饿节律、昼夜节律、味觉敏感性等对饮食行为的影响方面的研究,可以推测季节变化可能会通过影响生物节律和生理过程,间接影响脂肪味觉

感知和油脂类食物选择。

3.5 情绪与脂肪味感知

日常的情绪波动和长期的情绪状态,会对人类的味觉感知产生显著影响。脂肪味觉作为一种重要的感官体验,其感知能力的变化可能与情绪状态紧密相关。情绪节律是指情绪状态在一段时间内的周期性变化,根据研究,人体情绪每28 d会发生1次周期性变化,称为情绪节律^[62-63]。情绪节律通过影响内分泌系统,特别是血清素、肾上腺素等神经递质的水平,来调节味觉感知。研究表明,抗抑郁药物通过提高血清素浓度,能够增强个体对甜味和苦味的敏感度^[30]。有研究通过对比不

同情绪状态下(如快乐、悲伤)个体对高脂肪食物的味觉感知,发现急性压力和情感操作会从某种程度上影响个体对口味的感知^[64]。情绪化进食和情绪改变也会导致食物选择和摄入量的改变。处于消极情绪下的个体,往往通过消费高享乐价值的可口食物来寻求即时享乐,从而获得积极的满足与安慰^[64]。然而,这些美味的高能量食物通常含有高碳水化合物和脂肪,会增加肥胖的可能性,这也证实了情感状态对健康的影响^[62]。综上所述,情绪节律对脂肪味觉具有显著影响。这种影响可能通过调节内分泌系统、影响神经递质水平等多种机制实现。

表1 生理相关节律对脂肪味感知的影响

Table 1 The influence of physiological rhythms on fat taste perception

因素类型	试验对象	对脂肪味觉敏感性的影响	可能机制	参考文献
饥饿/饱足	人	饥饿:对脂肪更敏感;饱足:对高脂或低脂食品反应无差别	FA受体可能影响食欲调节	[42],[43]
睡眠/清醒	人、果蝇	在REM阶段,味觉和嗅觉受体表达水平发生变化,间接影响脂肪味的感知	味觉和嗅觉受体表达	[48],[50],[51]
昼夜交替	人、小鼠	早晨:敏感性增加;夜间:敏感性降低	CYPs基因的昼夜节律	[52],[54][63]
季节变化	人、鼠、羊、鸟、猴	冬季选择高脂食物;冬季酯类化合物生物合成相关功能基因的相对丰度增加	季节变化引起生理机制调整,间接影响脂肪味感知	[58],[59],[61]
情绪状态	人	消极情绪状态刺激高脂肪食物感知	通过调节内分泌系统、影响神经递质水平	[64]
品尝温度	人、小鼠	较高温度:脂肪味觉敏感性增加;较低温度:脂肪味觉敏感性下降	通过影响口腔触觉和味觉,进而影响对脂肪味的感知	[21],[30],[65],[67]
年龄增长	人、小鼠	老年组更偏爱高脂肪含量食物;随年龄增长脂肪味觉敏感性降低	更强味道刺激补偿味觉敏感性的下降;生长素释放肽降低	[63],[75],[77]

4 其它因素对脂肪味感知的影响

4.1 品尝温度与脂肪味感知

温度感觉有助于人类享受食物。最新研究表明,口腔温度传感和口腔内的温度感受器机制可影响味觉神经生物学中使用的啮齿动物模型的摄入接受行为^[65]。口腔对脂肪的感知在一定程度上受食品基体的结构特征及质地特性的改变所调节,因而品尝温度对脂肪味感知的影响是可以预

期的^[3]。食物入口温度可以直接影响人体的口腔触觉和味觉,从而影响人体对脂肪味觉的感知^[65]。然而,目前鲜有研究探讨味觉温度如何影响油脂感知敏感性。Mela等^[66]发现,在水包油的乳液中,温度并不会影响到其脂肪含量的感知水平。Engelen等^[67]研究表明,产品温度(10,22,35℃)对蛋奶沙司中若干感官属性的评分具有显著影响;蛋奶沙司甜点在较高温度下,奶油口感增强,脂肪余味增

高。蛋奶沙司诸如香气、风味、滋味、融化口感、油脂感等感官特性,被评定为在较高的产品温度下更强烈^[67]。

研究表明,温度感觉是食品风味的重要组成部分。人类口腔黏膜接受的热刺激可以影响食物刺激的感觉和情感属性^[68-69],以及某些味觉品质的感知强度^[70-71],施加在舌头上的热刺激也会引起味觉的幻觉^[72]。研究发现,产品温度较高导致蛋黄酱的油/脂风味升高,浓稠口感强度下降,这表明在较高的温度下,机体对脂肪的感知更显著^[21]。当食物温度升高时,浓度较高的风味物质会被率先感知,食物的风味感知强度明显增加^[73]。另一项研究也支持这一观点,当试验温度设定为7℃和15℃时,研究结果发现在15℃下观察到的DetT和差异阈值(Difference threshold, DiffT)均低于7℃下,证实了在较高温度下脂肪味觉敏感性会显著增加^[21]。与之相反,在较低的品尝温度下,人们通常对脂肪味觉的敏感性会大大下降^[30]。研究表明,高脂尤其含动物性油脂比较多的食品,当温度降低时虽然其味道和气味可能不会出现太大的变化,但是油脂感觉厚度变化明显,且可导致口腔对脂肪的其它感官属性发生一定的变化^[30]。综上所述,品尝温度对脂肪味觉具有显著影响。这种影响可能通过气味、味道、口感等方式来影响脂肪味觉的敏感性^[18]。

4.2 年龄与脂肪味感知

年龄的变化是影响口腔味觉感知敏感性的的重要因素之一。研究表明,随着年龄的增长,人们对甜味的敏感性下降,而对其它基本味道如咸、酸、苦的敏感性变化则不那么明显^[74]。这种变化可能导致老年人对高脂肪一类味道较重的食物的偏好发生改变,其可能需要更强的味道刺激来补偿味觉敏感性的下降^[63]。有研究对228名不同年龄段的消费者进行了感官分析,研究结果发现,18~40年龄组的青年人偏爱含20%脂肪的香肠,41~64年龄组的中年人更偏爱含15%脂肪的香肠,65岁以上的老年组则更加偏爱含30%脂肪的香肠^[75]。研究发现,不同年龄段的特定生理状态对脂肪味觉也有显著影响,与卵巢切除的雌性动物相比,循环雌激素的存在增加了完整雌性动物对脂肪味觉的明显敏感性^[76];而绝经后,随着雌激素信号的丧

失,女性对饮食脂肪中的化学信号的反应减弱,这可能导致她们比绝经前吃得更多,体重增加更快^[77]。研究表明,动物实验中观察到的随年龄变化的生长素释放肽的降低也与脂肪味觉敏感性降低相关^[63,78]。

5 结语

在当前饮食背景下,“脂肪味”越来越受到关注。脂肪的口腔感知涉及味觉、嗅觉和触觉等多重感官协同作用,脂肪酸能够被味觉受体和嗅觉受体所识别。在脂肪的摄入过程中,其感知信号从口腔到大脑的传导及机制还需要进一步深入研究。脂肪感知敏感性涉及生理学、心理学、物理学、生物化学、细胞生物学等交叉学科机制,并且受到脂肪酸、多重感官、生理节律等多种因素影响,“脂肪味”口腔感知以及“油腻感”形成机制还有待探究。了解脂肪感知机制对防止过量摄入脂肪而产生的肥胖,以及相关代谢性疾病,指导健康饮食等具有重要价值;对开发脂肪替代食品具有重要的指导意义。

参 考 文 献

- [1] GRAHAM C A M, PILIC L, KING A, et al. Genetic differences in fat taste sensitivity and dietary intake in a UK female cohort[J]. *Food Quality and Preference*, 2021, 92: 104202.
- [2] FEENEY E L, MCGUINNESS L, HAYES J E, et al. Genetic variation in sensation affects food liking and intake[J]. *Current Opinion in Food Science*, 2021, 42(11): 203-214.
- [3] ZHOU H, ZHAO Y, FAN D, et al. Effect of solid fat content in fat droplets on creamy mouthfeel of acid milk gels[J]. *Foods*, 2022, 11(19): 2932.
- [4] ZHOU X, YEOMANS M, THOMAS A, ET AL. Individual differences in oral tactile sensitivity and gustatory fatty acid sensitivity and their relationship with fungiform papillae density, mouth behaviour and texture perception of a food model varying in fat[J]. *Food Quality and Preference*, 2021, 90: 104116.
- [5] RUNNING C A, MATTES R D. Humans are more sensitive to the taste of linoleic and α -linolenic than

- oleic acid[J]. *American Journal of Physiology Gastrointestinal and Liver Physiology*, 2015, 308(5): G442-449.
- [6] RUNNING C, HAYES J E, ZIEGLER G R. Purdue e-pubs degree of free fatty acid saturation influences chocolate rejection in human assessors[J]. *Chemical Senses*, 2017, 42(2): 161-166.
- [7] KIM M A, KIM S M, LEE H S. Oral/taste sensitivity to non-esterified long-chain fatty acids with varying degrees of unsaturation[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2024, 33(3): 599-606.
- [8] MERCEDES G M, NADINE V, JULIA S, et al. G protein-coupled receptors in human fat taste perception[J]. *Chemical Senses*, 2012, 37(2): 123-139.
- [9] 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.
- [10] STEWART J E, FEINLE-BISSET C, GOLDING M, et al. Oral sensitivity to fatty acids, food consumption and BMI in human subjects[J]. *British Journal of Nutrition*, 2010, 104(1): 145-152.
- [11] KAMPF J P, KLEINFELD, CUPP D, et al. Membrane transport structure function and biogenesis: Different mechanisms of free fatty acid flip-flop and dissociation revealed by temperature and molecular species dependence of transport across lipid vesicles [J]. *The Journal of Biological Chemistry*, 2006, 281(30): 21566-21574.
- [12] MATJAŽ P, SHUO M, GINO F, et al. Smells like fat: A systematic scoping review on the contribution of olfaction to fat perception in humans and rodents [J]. *Food Quality and Preference*, 2023, 107: 104847.
- [13] 王敏, 杨会心, 袁玥, 等. 脂肪酸通过神经肽和胃肠激素调节食欲的机制[J]. *中国食品学报*, 2025, 25(1): 427-441.
- WANG M, YANG H X, YUAN Y, et al. The mechanism of fatty acids regulating appetite through neuropeptides and gastrointestinal hormones[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2025, 25(1): 427-441.
- [14] YANINA P M, LATISHA L G, SAMUEL K, et al. The fatty acid translocase gene CD36 and lingual lipase influence oral sensitivity to fat in obese subjects[J]. *Journal of Lipid Research*, 2012, 53(3): 561-566.
- [15] ZHANG W, LIN F J, LIU Y, et al. Spatiotemporal dynamic monitoring of fatty acid-receptor interaction on single living cells by multiplexed Raman imaging [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2020, 117(7): 201916238.
- [16] GUNSTONE F D, HARWOOD J L, PADLEY F B. *The Lipid Handbook* [M]. London: Chapman and Hall, 1994: 47-50.
- [17] ROGNLIEN M, DUNCAN S E, O'KEEFE S F, et al. Consumer perception and sensory effect of oxidation in savory-flavored yogurt enriched with n-3 lipids[J]. *Journal of Dairy Science*, 2012, 95(4): 1690-1698.
- [18] MATTES R D. Is there a fatty acid taste?[J]. *Annual Review of Nutrition*, 2009, 29(1): 305-327.
- [19] DREWNOWSKI A. Individual differences in sensory preferences for fat in model sweet dairy products[J]. *Acta Psychologica*, 1993, 84(1): 103-110.
- [20] LE CALVÉ B, SAINT-LÉGER C, BABAS R, et al. Fat perception: How sensitive are we?[J]. *Journal of Texture Studies*, 2015, 46(3): 200-211.
- [21] SCHOUMACKER R, MARTIN C, THOMAS-DANGUIN T, et al. Fat perception in cottage cheese: The contribution of aroma and tasting temperature[J]. *Food Quality and Preference*, 2017, 56: 241-246.
- [22] DELIME P, O'MAHONY K, DESFORGES N, et al. Comparing the relative sensitivity of ortho- and retronasal perception of a strawberry flavour model using omission testing[J]. *Flavour and Fragrance Journal*, 2016, 31(5): 377-384.
- [23] LEE S, EGUCHI A, SAKAMOTO K, et al. A role of CD36 in the perception of an oxidised phospholipid species in mice[J]. *Biomedical Research*, 2015, 36(5): 303-311.
- [24] MATJAŽ P, PIM M, KEES D G, et al. Humans possess the ability to discriminate food fat content solely based on retronasal olfaction[J]. *Food Quality and Preference*, 2022, 96: 104449.
- [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 & Technology*, 2018, 74: 46-55.
- [26] SAINT-EVE A, KORA E P, MARTIN N. Impact of the olfactory quality and chemical complexity of the

- flavouring agent on the texture of low fat stirred yogurts assessed by three different sensory methodologies[J]. *Food Quality and Preference*, 2004, 15(7/8): 655-668.
- [27] 王敏, 袁玥, 杨会心, 等. 脂肪口感形成机制及其影响因素研究进展 [J]. *中国食品学报*, 2025, 25(2): 507-518.
- WANG M, YUAN Y, YANG H X, et al. Recent advance in the formation mechanism and influencing factors of fat taste[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2025, 25(2): 507-518.
- [28] KALLAS O, HALPERN B P. Retronasal discrimination between vapor-phase long-chain, aliphatic fatty acids [J]. *Chemosensory Perception*, 2011, 4(1/2): 16-24.
- [29] CHUKIR T, DARLINGTON R B, HALPERN B P. Shared retronasal identifications of vapor-phase 18-carbon fatty acids[J]. *Chemical Senses*, 2013, 38(4): 343-353.
- [30] MARTIN C, SCHOUMACKER R, BOURJADE D, et al. Sensory properties linked to fat content and tasting temperature in cottage cheese[J]. *Dairy Science and Technology*, 2016, 96(5): 735-746.
- [31] JERVIS S M, GERARD P, DRAKE S, et al. The perception of creaminess in sour cream[J]. *Journal of Sensory Studies*, 2014, 29(4): 248-257.
- [32] MUTHUSWAMY K, SHANMUGAMPREMA D, PONNUSAMY V, et al. Single nucleotide polymorphism in CD36: Correlation to peptide YY levels in obese and non-obese adults[J]. *Clinical Nutrition*, 2021, 40(5): 2707-2715.
- [33] 王敏, 于雪宁, 安琦, 等. 唾液组成与味觉感知的生理相关性研究进展[J]. *中国食品学报*, 2024, 24(2): 382-396.
- WANG M, YU X N, AN Q, et al. Advances in physiological correlation between saliva composition and taste perception[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2024, 24(2): 382-396.
- [34] KINDLEYSIDES S, BECK K L, WALSH D C I, et al. Fat sensation: Fatty acid taste and olfaction sensitivity and the link with disinhibited eating behaviour[J]. *Nutrients*, 2017, 9(8): 879.
- [35] LIU D L, ANDREW C, EVANS M D M, et al. Expression of the candidate fat taste receptors in human fungiform papillae and the association with fat taste function [J]. *British Journal of Nutrition*, 2018, 120(1): 64-73.
- [36] 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.
- [37] 曾子文. 基于“舌-心(神)-欲”探讨不同糖代谢状态下的脂肪偏好及敏感性[D]. 广州: 广州中医药大学, 2020.
- ZENG Z W. Based on "the tongue is the orifice to the heart" theory to explore fat preference and sensitivity of different glucose metabolic groups [D]. Guangzhou: Guangzhou University of Chinese Medicine, 2020.
- [38] THOMAS D C, CHABLANI D, PAREKH S, et al. Dysgeusia: A review in the context of COVID-19[J]. *Journal of the American Dental Association*, 2021, 153(3): 251-264.
- [39] ERIC N, STÉPHANIE C, HÉLÈNE B, et al. The basal free fatty acid concentration in human saliva is related to salivary lipolytic activity[J]. *Scientific Reports*, 2017, 7(1): 5969.
- [40] LIU J, CAMILLA C, MARIA P, et al. A review on oral tactile sensitivity: Measurement techniques, influencing factors and its relation to food perception and preference [J]. *Food Quality and Preference*, 2022, 100: 104624.
- [41] YACKINOUS C, GUINARD J X. Relation between PROP taster status and fat perception, touch, and olfaction[J]. *Physiology & Behavior*, 2001, 72(3): 427-437.
- [42] REIKO S, WATARU S, MOTOMI T, et al. Fat content modulates rapid detection of food: A visual search study using fast food and Japanese diet[J]. *Frontiers in Psychology*, 2017, 8: 1033.
- [43] SAWADA R, SATO W, MINEMOTO K, et al. Hunger promotes the detection of high-fat food[J]. *Appetite*, 2019, 142: 104377.
- [44] BOESVELDT S, GRAAF K D. The differential role of smell and taste for eating behavior[J]. *Perception*, 2017, 46(3/4): 307-319.

- [45] COSTANZO A, RUSSELL C G, LEWIN S, et al. A fatty acid mouth rinse decreases self-reported hunger and increases self-reported fullness in healthy Australian adults: A randomized cross-over trial[J]. *Nutrients*, 2020, 12(3): 678.
- [46] SARGENT C, ZHOU X, MATTHEWS W R, et al. Daily rhythms of hunger and satiety in healthy men during one week of sleep restriction and circadian misalignment [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2016, 13(2): 170.
- [47] BRAUN M, TERJUNG S D, SOMMER U, et al. Stated patient preferences for overnight at-home diagnostic assessment of sleep disorders [J]. *Sleep Breath*, 2024, 28(5): 1939-1949.
- [48] VYAZOVSKIY V V, DELOGU A. NREM and REM sleep: Complementary roles in recovery after wakefulness[J]. *The Neuroscientist*, 2014, 20(3): 203-219.
- [49] BAIDOO A Y V, ALEXANDRIA J S, ZEE C P, et al. The association between timing of dietary macronutrient and sodium consumption and sleep duration and quality[J]. *Sleep Advances: A Journal of the Sleep Research Society*, 2024, 5(1): zpae007.
- [50] RYOKO, KATAGIRI, KEIKO, et al. Low intake of vegetables, high intake of confectionary, and unhealthy eating habits are associated with poor sleep quality among middle-aged female Japanese workers [J]. *Journal of Occupational Health*, 2014, 56(5): 359-368.
- [51] CARPI M, FERNANDES M, RISINO I, et al. Alteration of circadian sleep-wake rhythm and salivary melatonin secretion in idiopathic/isolated REM sleep behavior disorder: Preliminary evidence [J]. *Sleep Medicine*, 2024, 119: 135-138.
- [52] KUANG Z, WANG Y H, LI Y, et al. The intestinal microbiota programs diurnal rhythms in host metabolism through histone deacetylase 3 [J]. *Science*, 2019, 365(6460): 1428-1434.
- [53] PENG F, LU J X, SU K Y, et al. Oncogenic fatty acid oxidation senses circadian disruption in sleep-deficiency-enhanced tumorigenesis[J]. *Cell Metabolism*, 2024, 36(7): 1598-1618.
- [54] BURNS M E, CONTINI F M, MICHAUD J M, et al. Obesity alters circadian and behavioral responses to constant light in male mice[J]. *Physiology & Behavior*, 2024, 287: 114711.
- [55] 韩婷婷. 草甸草原不同季节东北鼯鼠(*Myospalax psilurus*)的食性特征研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2024.
- HAN T T. Foraging characteristics of the *Myospalax psilurus* in different seasons in meadow grasslands [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2024.
- [56] 闫博文. 冬季横断山不同地区大绒鼠食性和肠道微生物多样性比较分析[D]. 昆明: 云南师范大学, 2024.
- YAN B W. Comparative analysis on feeding habits and gut microbiota diversity of *Eothenomys miletus* in different areas from Hengduan mountain regions in winter[D]. Kunming: Yunnan Normal University, 2024.
- [57] 杜天屿, 王哲奇, 金晓, 等. 内蒙古绒山羊血清生化指标和内分泌指标的季节性变化研究[J]. *饲料研究*, 2024, 47(3): 79-84.
- DU T Y, WANG Z Q, JIN X, et al. Seasonal variation in serum biochemical indexes and endocrine indexes of Inner Mongolia cashmere goats[J]. *Feed Research*, 2024, 47(3): 79-84.
- [58] 张丽娇, 迪拉拉·托留, 徐文轩, 等. 帕米尔盘羊食性与肠道微生物的季节变化特征[J]. *生态学报*, 2025, 45(2): 629-643.
- ZHANG L J, DILARA T L, XU W X, et al. The seasonal variation characteristics of diet and gut microbiota in Marco Polo sheep (*Ovis ammon polii*)[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2025, 45(2): 629-643.
- [58] 王亚鸿. 杭州常见园林树木特征对鸟类取食偏好的影响研究——以浙江农林大学校园绿地为例[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2024.
- WANG Y H. The influence of common landscape tree characteristics on bird feeding preferences in hangzhou: A case study of Zhejiang A&F University campus green space [D]. Hangzhou: Zhejiang A&F University, 2024.
- [60] 陈奕欣. 云南片马地区怒江金丝猴的保护现状和食性、行为节律适应机制研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2024.
- CHEN Y X. The study on conservation status and behavioral adaptations on diets and activity rhythms of Myanmar or black snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus strykeri*) in Pianma region, Yunnan

- province, China[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2024.
- [61] DINGLE H. Seasons of life: The biological rhythms that enable living things to thrive and survive[J]. *BioScience*, 2010, 60(8): 658–659.
- [62] ESIN I G, BILGE P, MURAT D. Effect of acute stress on taste perception: In relation with baseline anxiety level and body weight[J]. *Chemical Senses*, 2013, 38(1): 27–34.
- [63] NOEL C, DANDO R. The effect of emotional state on taste perception[J]. *Appetite*, 2015, 95: 89–95.
- [64] SINGH, MINATI. Mood, food, and obesity[J]. *Front Psychol*, 2014, 5(9): 925.
- [65] LEMON C H. Tasting temperature: Neural and behavioral responses to thermal stimulation of oral mucosa[J]. *Current Opinion in Physiology*, 2021, 20: 16–22.
- [66] MELA D J, LANGLEY K R, MARTIN A. No effect of oral or sample temperature on sensory assessment of fat content[J]. *Physiology & Behavior*, 1994, 56(4): 655–658.
- [67] ENGELEN L, WIJK R A D, PRINZ J F, et al. The effect of oral and product temperature on the perception of flavor and texture attributes of semi-solids[J]. *Appetite*, 2003, 41(3): 273–281.
- [68] PRAMUDYA R C, SEO H S. Influences of product temperature on emotional responses to, and sensory attributes of, coffee and green tea beverages[J]. *Frontiers in psychology*, 2017, 8: 2264.
- [69] CHAPKO M J, SEO H S. Characterizing product temperature-dependent sensory perception of brewed coffee beverages: Descriptive sensory analysis[J]. *Food Research International*, 2019, 121(7): 612–621.
- [70] NACHTIGAL D, ANDREW K, GREEN B G. Selective effects of temperature on the sensory irritation but not taste of NaCl and citric acid[J]. *Chemical Senses*, 2019, 44(1): 61–68.
- [71] NACHTIGAL D, GREEN B G. Sweet thermal taste: Perceptual characteristics in water and dependence on TAS1R2/TAS1R3[J]. *Chemical Senses*, 2020, 45(3): 219–230.
- [72] GREEN B G. From receptors to the brain: Psychophysical clues to taste physiology[J]. *Current Opinion in Physiology*, 2021, 20: 154–158.
- [73] FUENTES V, VENTANAS J, MORCUENDE D, et al. Effect of intramuscular fat content and serving temperature on temporal sensory perception of sliced and vacuum packaged dry-cured ham[J]. *Meat Science*, 2013, 93(3): 621–629.
- [74] YANG T, ZHANG L L, XU G Z, et al. Investigating taste sensitivity, chemesthetic sensation and their relationship with emotion perception in Chinese young and older adults[J]. *Food Quality and Preference*, 2022, 96: 104406.
- [75] CONROY P M, O’SULLIVAN M G, HAMILL R M, et al. Impact on the physical and sensory properties of salt-and fat-reduced traditional Irish breakfast sausages on various age cohorts acceptance[J]. *Meat Science*, 2018, 143(9): 190–198.
- [76] DAHIR N S, CALDER A N, MCKINLEY B J, et al. Sex differences in fat taste responsiveness are modulated by estradiol[J]. *American Journal of Physiology Endocrinology and Metabolism*, 2021, 320(3): E566–E580.
- [77] CAI H, CONG W N, DAIMON C M, et al. Altered lipid and salt taste responsivity in ghrelin and GOAT null mice[J]. *PLoS ONE*, 2017, 8(10): e76553.
- [78] CALDER A N, YU T, DAHIR N S, et al. Ghrelin receptors enhance fat taste responsiveness in female mice[J]. *Nutrients*, 2021, 13(4): 1045.

Influencing Factors of Fat Taste Perception Sensitivity

WANG Min^{1,2}, JIANG Zezhen^{1,3}, WANG Ziyi¹, SONG Jiakang^{1,3}, LI Congli^{1,3}, LIU Chang¹,
HAN Tianlong^{1,3*}, LIU Dengyong^{2*}

¹College of Food Science and Engineering, Bohai University, Jinzhou 121013, Liaoning

²Meat Innovation Center of Liaoning Province, Jinzhou 121013, Liaoning

³Liaoning Kazuo Hybrid Wild Boar Science and Technology Backyard, Chaoyang 122305, Liaoning)

Abstract Fat-rich foods are beloved by many consumers for their distinctive mouthfeel and flavor. In addition to taste, smell and oral touch are also involved in the perception of fat. Fatty acids combine with the receptors of taste perception cell membrane of tongue taste buds to produce fat taste, which is involved in signal transduction mediated by Ca^{2+} release, and is finally recognized and perceived by the brain. Fat taste perception involves the molecular mechanism of physiology, psychology, physics and other disciplines, and is influenced by multiple factors such as fatty acid composition, multimodal senses and physiological rhythm. In this paper, the effects of fatty acid saturation, concentration and oxidation degree on fat taste perception are reviewed in detail, with emphasis on the fat taste perception formed through multi-modal channels such as taste, smell and oral touch. The changing rules of fat taste perception under the influence of hunger/satiety, sleep/awake, day/night, season, mood, taste temperature, physiological age and other physiology and related rhythms are summarized. Aim to explore the formation process and influencing factors of fat taste, provide ideas for related research on fat taste perception, and provide theoretical reference for the development and application of fat substitute food in the future.

Keywords fat taste; grease feeling; sensitivity; physiological rhythm; influencing factor