

香气对饱腹感和味觉影响的研究进展

邹婷婷¹, 何天鹏¹, 宋焕禄^{1,*}, 王姗姗², 徐海蒂², 田 聪², 郑舒肖²

(1.北京工商大学, 北京食品营养与人类健康高精尖创新中心, 分子感官科学实验室, 北京 100048;

2.飞利浦(中国)投资有限公司, 上海 200233)

摘 要: 风味是口腔中产生的味觉、鼻腔中产生的嗅觉和三叉神经感觉的综合感官印象, 主要包括食品的香气和滋味。风味物质大多为非营养性物质, 不参与人体代谢。风味是构成食品质量的重要因素之一, 在消费者选择食物中起着非常重要的作用。本文综述了香气对饱腹感和味觉影响的研究进展, 介绍了香气技术应用中存在的问题并展望了相关研究在食品包括新型保健食品开发中的应用前景。

关键词: 香气; 风味; 感官特异性饱腹感; 饱腹感; 香气-滋味的相互作用

Recent Progress in the Effect of Aroma on Satiety and Taste

ZOU Tingting¹, HE Tianpeng¹, SONG Huanlu^{1,*}, WANG Yanyan², XU Haidi², TIAN Cong², ZHENG Shuxiao²

(1. Laboratory of Molecular Sensory Science, Beijing Advanced Innovation Center for Food Nutrition and Human Health, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China;

2. Philips (China) Investment Co. Ltd., Shanghai 200233, China)

Abstract: Flavor is the sensory impression synthesized by the taste perceived in the mouth, the smell perceived in the nose and trigeminal sense, mainly including the aroma and taste of food. Most of flavor substances are nonnutritive substances that do not take part in the metabolism of the human body. Flavor is one of the major factors affecting food quality, and plays an important role in consumers' choice of foods. The article summarizes the recent progress made in studying the effect of aroma on satiety and taste. Moreover, problems existing in the application of aroma technology are discussed and the prospects for the application of recent studies in the development of foods including new health foods are presented.

Key words: aroma; flavor; sensory-specific satiety (SSS); satiety; aroma-taste interaction

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201717049

中图分类号: TS201.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2017)17-0306-06

引文格式:

邹婷婷, 何天鹏, 宋焕禄, 等. 香气对饱腹感和味觉影响的研究进展[J]. 食品科学, 2017, 38(17): 306-311. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201717049. <http://www.spkx.net.cn>

ZOU Tingting, HE Tianpeng, SONG Huanlu, et al. Recent progress in the effect of aroma on satiety and taste[J]. Food Science, 2017, 38(17): 306-311. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201717049. <http://www.spkx.net.cn>

食品除了满足人类生存的需要, 还应该使人们获得感官的愉悦和心理的享受。风味是构成食品美感的重要因素, 颜色和香气是食品引起人们购买或消费的“第一印象”, 美味则是保证一种食品能持久被特定人群接受的必要条件。因此, 食品工艺学家和食品科学家把改进和提高食品的风味看作改善食品质量的重要措施之一^[1]。狭义的风味是指食物刺激人体感官而引起的化学感觉。人们摄入某种食品后产生的化学感觉, 主要通过嗅觉和味觉感知, 也包括产生的痛觉、触觉和对温度的感觉, 这些感觉主要由三叉神经感知。食品风味主要包括食品

的香气和味道, 风味物质大多为非营养性物质, 不参与人体代谢, 但是风味是构成食品质量的重要因素之一^[2]。

随着我国经济的高速发展, 人民生活水平大幅度提高, 饮食日益精细, 因营养失调和营养过剩而导致的肥胖症以及相关疾病, 如糖尿病等严重地影响了人类健康^[3]。众所周知, 摄入过多的热量是导致肥胖的首要原因, 所以控制体质量是减少食物能量摄入的重要途径。提高食物饱腹感^[4-8]就可以有效地减少食物的摄入。传统调味方法讲求适口原则, 长期的饮食习惯可能导致人们嗜咸、嗜甜, 而这些又恰恰与当今健康饮食的理念相冲

收稿日期: 2016-04-05

作者简介: 邹婷婷(1981—), 女, 讲师, 博士, 研究方向为食品分析与检测。E-mail: zou2010@aliyun.com

*通信作者: 宋焕禄(1961—), 男, 教授, 博士, 研究方向为食品风味化学。E-mail: songhl@th.btbu.edu.cn

突。一方面,这类调味方法使消费者食盐、食糖摄入量偏高,容易导致高血压、高血糖等心脑血管疾病;另一方面,这些高渗成分的高摄入量,也改变了人体体液的渗透压平衡,导致肾脏、血压等安全风险。食品口味的改变是健康饮食的要素之一,低盐、低糖的清淡饮食方式被现代医学广泛宣传,但清淡的口味会对食物的可接受性有重要的影响;所以,基于健康饮食的目的,立足于清淡的饮食要求,探索科学、健康、可普遍接受的食物口味是现代食品工业的重要内容之一。本文综述了食物香气对饱腹感和味觉方面影响的研究进展,介绍了香气技术应用中存在的问题并展望了相关研究在食品包括新型保健食品开发中的应用前景。

1 概述

1.1 香气的复杂性与特征气味化合物

食物中产生气味的芳香化合物具有种类繁多、相互影响、高挥发性和分子质量小等特性,并以较低的水平存在于食物中^[9],其中有些化合物嗅感效果显著。大多数食品的挥发性成分中都含有气味活性化合物,但是这些活性化合物中只有很少的化合物赋予了此类食物香气的特色。例如,熟肉中含有数百种气味活性化合物,其中一些气味活性化合物赋予了熟肉咸味、烤香或油炸气味,而这些气味是熟肉香气中重要的组成部分,但有些气味也存在于零食、薯条和坚果等食品中,并不属于熟肉的特有风味。其他一些气味活性物质的气味传递似乎与熟肉的芳香气味无关,例如清香、玫瑰香、蘑菇味和棉花糖味。熟肉的挥发性成分中只有极少部分的化合物赋予了其特征的肉香气味,最常见的化合物就是2-甲基-3-呋喃硫醇和双-(2-甲基-3-呋喃基)二硫化物,这些物质被称为肉的特征气味化合物,因为如果没有这些物质的话,熟肉的气味会发生根本性的改变。当以一个或几个化合物来代表其特定食品的某种风味时,这一个或几个化合物便称为该食品的特征气味化合物或关键气味化合物。但是需要强调的是,不是所有的食物都含有特征气味化合物,众多芳香气味化合物的共同作用也可以产生该食品的特征气味。

1.2 香气与鼻后刺激途径

嗅觉是挥发性物质刺激鼻腔的嗅觉神经而在中枢神经中引起的一种感觉。嗅闻包括香气分子到达嗅上皮的鼻前嗅闻(认为是从外界而来)和鼻后嗅闻(即从消化道反馈的气味)^[10-12]。嗅闻后经大脑反应,即大脑的神经激活感受到的食物气味信号,从而感知食物的香气。在咀嚼食物时,挥发性香气物质会从口腔中的食物释放出来,也就是说鼻前香气刺激是通过鼻子吸入香气物质引起的,所以被称为口鼻香气刺激途径^[13-14]。吞咽后,这些

挥发性香气物质就从咽喉进入鼻腔,到达嗅上皮,与口鼻香气刺激途径相反,这一途径称之为鼻后香气刺激途径。

2 鼻后刺激途径香气对饱腹感的影响

2.1 香气与感官特异性饱腹感

食物的过度摄取,导致了过多能量的摄入,通过了解影响进食量的因素可以帮助找到控制过度饮食的方法。有一种观点已被广泛认可,那就是进食的感觉过程对饱腹感的产生起着重要作用,感觉过程能够影响饱腹感和进食量^[15-19]。饱腹感^[20-21]是一种吃饱的感觉,可以在下一次产生饥饿感前,防止进一步进食。香气在影响食欲和食物摄入中起到重要的作用。一方面,香气影响了食物的适口性,而适口性可以刺激饥饿感并增加食物摄入。另一方面,香气本身也可以是减少进食量的饱食提示,并通过心理和生理机制提示来影响下一餐的进食量。具体就是,鼻前气味的传递刺激了对含有这种香气的食物的特定食欲^[22],鼻后气味的传递增加了饱食的感觉并减少了摄入量^[23]。

感官暴露时间对进食量和主观饱腹感的影响被称为感官特异性饱腹感(sensory-specific satiation, SSS)^[24-26]。SSS是一种进食量减少,但却觉得既饱足又舒服的感觉。在进食时所咬下的一口食物,在嘴里随时间释放的香气浓度,被称作香气释放曲线。咀嚼过程中的香气释放曲线不仅取决于食物的性质,如质地、温度和组成^[27-29],还取决于用餐者的情况,如咀嚼行为、唾液分泌和鼻子的形态^[30]。因为芳香气味的摄入不会产生任何能量,利用芳香气味在饮食上抑制食物的摄入,可以起到减少能量摄入的作用^[31-32]。Ramaekers等^[33]研究表明在食用番茄汤的同时,通过硅胶管向鼻腔中加入奶油香气(模仿鼻后香气传递),与没有奶油香味的情况相比,增加了饱食感。Rolls等^[34]在3个时间点评估了密封容器中包含的各种不同食物的气味愉悦度,这3个时间点分别是:咀嚼前基线、咀嚼其中一种食物后(但是未吞咽)、食用相同的食物直至饱腹后。结果显示,在简单咀嚼食物和食用食物后,愉悦度评级都会下降。当相同的时间量嗅闻来代替咀嚼时,后续实验显示了相同的模式。这些研究结果表明,SSS不依赖于进入胃肠系统的食物,甚至可以纯粹地发现在嗅觉结构域中。

荷兰食品研究机构NIZO使用最先进的嗅觉仪来探索香气在饱腹感机制中的作用,通过与其他刺激(如不同的成分、质构和味道)区别开来管理香气,研究香气刺激对饱足感的相对重要性^[35]。Ruijschop等^[36]研究使用香气作为触发因素产生或者增加饱腹感的可能性。采用大气压化学电离质谱(atmospheric pressure chemical ionization-mass spectrometry, APcI-MS)法与嗅觉测量法

结合的新颖方法,从消费者和食物产品的角度研究了不同香气情况对饱食的相对重要性。尽管鼻后的香气释放程度因不同的消费者具有主体特异性,但也可以以调整食品性质的方式进行,使其产生更高质量和强度的鼻后香气刺激。这反过来又引起了饱腹感的增强,最终可能有助于食物摄入量的下降。

2.2 香气感官特异性饱腹感的影响因素

Ruijschop等^[37]研究了香气组成的复杂性对SSS和摄食量的影响。受试者食用2种不同的草莓味酸奶产品(即测试组和安慰剂组)进行嗅觉仪辅助或自由采食实验。测试组产品是多元草莓香气,而安慰剂组产品用单一成分草莓香气。与安慰剂相比,通过嗅觉仪辅助设备表明,在多元草莓的香气刺激期间受试者拥有更加显著的饱腹感。另外,在自由进食环境中,消耗多元草莓香气的酸奶产品的饱腹感显著增加了10~15 min。除了食欲调节作用时间的差异,两个实验设置均证明了多元组分草莓香气与单一组分草莓香气相比能够增强饱腹感。

Ruijschop等^[38]的其他研究还表明,在不同的实验设置中,直接测量输送的芳香气味对饱腹感的影响时,香气暴露时间的延长会增加主观饱腹感,食物的摄取量会降低9%~20%。结果表明,通过调节香气浓度和香气暴露时间来改变鼻后香气释放程度,可以影响进食量。Ramaekers等^[24]也研究了食物的香气暴露时间和香味浓度对自由进食量和主观饱腹感的影响。每30 s让受试者摄入10 g无味汤底,闻到从一台嗅觉仪的鼻后管中导出的番茄汤香味。模拟一种好像真的喝到番茄汤的感觉。受试者每抿一口牛奶,给予3~18 s的香气暴露,对自由进食量和食欲曲线参数进行了测量。实验观察发现,在低浓度的条件下,总气味刺激可能过小,以至于香气散发时间不能发挥其对食物摄入量的影响。此外,只有在散发时间很长(18 s以上)的情况下,香气浓度才会影响食物的摄入量。在香气暴露时间为18 s且香味浓度最高的条件下,受试者的进食量相比其他3组条件减少了9%。也就是说与在相同的汤中传递较短时间并且强度更小的番茄香味相比,传递了一个更长时间并且强度更大的番茄香味,会导致自由摄食量减少。

摄食期间鼻后香味释放的程度和食物的物理结构密切相关,即固体食物比液态食物产生的鼻后香味释放时间更长、更明显。Ruijschop等^[39]研究不同物理结构的食物香味鼻后感觉的反馈与饱腹感的关系。研究的目的是调查当鼻后香气释放曲线与(软)固体食物的轮廓一致时,饮料是否变得更加饱足。在感官刺激之前、过程中以及之后对食欲轮廓进行了测量。当受试者在进食软态或者固态食物并被食物的香气所刺激时,他们感觉到有更加明显的饱腹感。例如,在甜草莓香气刺激后,希望吃甜食的欲望会明显降低,通过改变鼻后香气释放的程度可以增加饱腹感。

香气不仅仅独立地影响食欲和食物摄入,而且还可以和味道组合协同作用影响。与营养相同但无风味的膳食相比,香草香气和阿斯巴甜在膳食中的组合降低了随后的饥饿感^[40]。最新研究用不同组合的草莓香气和味道物质(蔗糖和柠檬酸)构建风味饮料模型。在饮用期间和饮用后对食欲进行评估,并且测量下一餐的食物摄入量。适当的味道和香气模式结合在一起时,增加了感知的风味强度,并且比单独的味道和香气的总和要多。结果表明,相比单独的香气或者味道,香气和味道结合在一起时会产生更强的饱足和短期饱腹感^[41]。

3 香气对味觉的影响

3.1 气味和滋味的跨通道交互作用

从生理学上讲,味感与嗅感虽有严格区别,但由于咀嚼食物时产生的是气味与滋味相互混合而形成的复杂感觉。在进食的过程中,舌头上的味蕾和鼻内的嗅细胞一同将信号传送至脑内,整合后便成为人们的主观体验,所以食物风味的整体认知被认为是一个集成。

3.2 香气对味道接受度的影响

顺式-3-己烯-1-醇也就是叶醇,具有青香、药草香,一般存在于水果、蔬菜等。Jaeger等^[42]针对青香、药草香(叶醇)做了相关研究,结果显示,叶醇浓度较低时具有较弱的气味,但却是一种令人愉悦的气味。当加入的叶醇浓度过高时,散发出令人不愉快的气味。叶醇有一个“中间”浓度的范围值,在这个范围内,敏感型的受试者通常无法接受这种浓度下叶醇的气味,而不敏感型受试者却可以接受这种浓度下叶醇的气味。在顺式-3-己烯-1-醇存在下,气味敏锐性对食品可接受度有较小但是系统性的影响,还表明这个结果可以延伸到食品选择上。在饮食模式中存在相当大的个体变化,被分类为对顺式-3-己烯-1-醇的气味敏感的人群,他们的膳食趋势是更频繁地消耗温和的奶酪,沙拉蔬菜和黄瓜。

苦味对消费者接受力和食品选择的影响已经被研究了一段时间,比如初榨橄榄油有低量或者中量的苦味,这种低量或中量的苦味更容易让消费者接受,但是非常苦的味道却是被消费者拒绝的。橄榄油苦味的强度与酚类化合物的存在有关。酚类与橄榄油的感官和营养品质有关。Caporale等^[43]主要研究的是模拟橄榄油中苦味和叶醇气味之间的味道-气味相互关系。结果表明,叶醇气味对苦味有显著的积极影响,叶醇气味的存在增强了苦味感。研究叶醇香气影响初榨橄榄油苦味的程度,可能会影响制定优化初榨橄榄油感官特性的新策略。

在世界范围内,人口趋于老龄化。据报道,味觉和嗅觉感知的损伤可以导致老年人食物摄入量的减少。Henry等^[44]研究调查了天然食品香料对老年味觉和嗅觉感

知损伤患者所食用的食物以及营养摄入的影响。连续5 d (2个控制日和3个实验日)直接测量早餐、午餐和晚餐的食物摄入量。老年患者在食用添加天然食物香料的食物后,增加了他们对食物和大量营养素的摄入。第3天的总食物量、能量和脂肪摄入量显著增加。虽然营养摄入量仍然低于所需求的,但总能量和蛋白质摄入量分别增加了13%~26%和15%~28%。实验结果表明天然食品香料对老年人的作用。食品和营养摄入量是否会在没有任何干预措施的情况下显著增加,需要进一步研究天然食品香料对老年人食物和营养摄入量的长期影响。

3.3 气味诱导的味道增强

现有研究显示,气味剂和促味剂对味道感觉有特定影响^[45-48]。闻到甜味或使用甜味相当的气味剂能够加重饮用溶液的甜味感觉,这就是气味诱导的味道增强(odour-induced changes in taste perception, OICTP)。随后的研究表明,除甜味外,咸味也能发生特定的味道-气味相互作用。近年来,与食盐相关的健康问题导致了对低盐食品的广泛研究,降低食品中的盐含量对其可接受性有重要的影响,目前有许多有关如何补偿食品中减少的咸味的研究。Nasri等^[49]研究咸味相联系的香气,当鼻后感知到这类香气后,是否能增强含有低浓度氯化钠溶液的咸味。盐度的水平,即水溶液中氯化钠的浓度是否影响气味诱导的咸味增强(odour-induced saltiness enhancement, OISE)。结果表明,OISE不仅取决于气味一致性,也取决于盐浓度(咸度):当受试者同时感知到一致的沙丁鱼香气时,低盐度或中盐度溶液的咸度显著增加,OISE对于高盐度的溶液则不再显著。Lawrence等^[50]对水溶液中的气味-咸味相互作用进行了研究,研究小组成员对预期的食品咸味进行了评估。研究发现,预期的咸味程度与食品的实际盐含量有差异,于是研究香味食品水溶液(不论是否含盐)散发出的气味对气味诱导的咸味是否增强。结果显示,预期的风味能够通过气味诱导的味道感觉变化来诱导并增强低盐溶液的咸味,选择适当的气味添加到食物中,可以用于补偿食品中减少的氯化钠,可以弥补盐还原食品的口感。Nasri等^[51]研究认为跨通道气味味道的相互作用可能是一种有效的策略,结合盐替代品的使用,以弥补钠含量减少的复杂食物系统的风味。

Syarifuddin等^[52]通过奶酪模型研究跨通道感官补偿,结果显示气味可以弥补健康食品中低盐、糖、油导致的味道损失,让食物更吸引人。Djordjevic等^[53]通过草莓气味和酱油气味作用于甜味和咸味的实验分析了OICTP。研究发现了特定的味道-气味相互作用:草莓气味加重甜味,酱油气味加重咸味。分别给予嗅觉刺激和味觉刺激后引发了这些相互作用。其次发现想象的气味也有类似的作用,但效果十分有限:想象的草莓气味加重水溶液

的甜味感觉,想象的酱油气味加重淡盐水的咸味感觉。结论是,OICTP是一种大脑中枢神经介导现象,想象的气味在一定程度上可以改变人对味道浓度的感觉。

4 结语

香气与饱腹感、味觉的关系研究是很有前景和吸引力的,但目前此类研究还处于初始阶段。目前其应用还存在以下几方面不足:1)影响饱腹感和味觉的因素较复杂,除香气外还有许多其他因素;2)香气作用于饱腹感和味觉的原理还有许多需要研究的地方。

总之,风味是食品的质量要素之一,在消费者选择食物上起着非常重要的作用。香气是风味的重要组成部分,鼻后刺激途径香气浓度和香气散发时间的延长,可以提高感官特异性饱足感,而这种饱足感又会反过来增加主观饱食,可以减少随后对食物的摄取。另外研究表明,香气的复杂性和味道组合协同作用对饱食和饱腹感也有一定的影响。味道是风味的另外一个重要组成部分,研究表明,预期的风味可以通过气味诱导的味道感觉变化来诱导并改变食品的味道强度,香气对味道敏感度也有影响。香气在饱食方面和味觉方面的作用可用于在不牺牲味道和香气的前提下,制造出更健康的食物,包括有望应用于新型保健食品的开发。这种保健食品可能含有多种香气物质,能够诱导或增加饱腹感。例如:能够增加口腔运动量和咀嚼时间,使鼻后香味释放率更高的需要长时间咀嚼的食品。这些应用可以提高感官刺激质量或感官刺激程度,从而增强饱腹感,帮助人们减肥。预期的风味可以通过气味诱导的味道感觉变化来诱导并改变食品的味道强度。在食品中增加风味物质的浓度,比如可以为老人提供更强烈的食品风味,以此补偿不灵敏的知觉,这样可以大大提高老年人摄取食品的享受度、适口性和可接受性,对其在食物的摄取方面有积极影响。总之,香气在饱腹感和味觉补偿方面的作用可用于开辟了一条全新的安全、可靠、自然的饮食方式。

参考文献:

- [1] 张晓鸣,夏书芹. 食品风味化学[M]. 北京:中国轻工业出版社,2009:1-2.
- [2] 宋焕禄. 食品风味化学[M]. 北京:化学工业出版社,2008:1-5.
- [3] 卫生部. 中国居民营养与健康现状[J]. 中国心血管病研究杂志,2004,2(12):919-922.
- [4] 王淑颖,范志红,曾悦,等. 不同米饭对餐后血糖和饱腹感反应的影响[J]. 营养学报,2013,35(3):236-240. DOI:10.13325/j.cnki.acta.nutr.sin.2013.03.014.
- [5] 周威,范志红,王璐,等. 豆类对粥食血糖反应和饱腹感的影响[J]. 食品科学,2010,31(5):298-301.
- [6] JOHN H, MARGARET A. Glycemic response and health: summary of a workshop[J]. American Journal of Clinical Nutrition, 2008, 87(1): 212-216.

- [7] SUN Q, SPIEGELMAN D, VAN DAM R, et al. White rice, brown rice, and risk of T2D in US men and women[J]. Archives of Internal Medicine, 2010, 170(11): 961-969. DOI:10.1001/archinternmed.2010.109.
- [8] SIERI S, KROGH V, BERRINO F, et al. Dietary glycemic load and index and risk of coronary heart disease in a large Italian cohort: the EPICOR study[J]. Archives of Internal Medicine, 2010, 170(7): 640-647. DOI:10.1001/archinternmed.2010.15.
- [9] PARKER J K. 1-Introduction to aroma compounds in foods[M]// PARKER J K, ELMORE S, METHVEN L, et al. Flavour development, analysis and perception in food and beverages. Britain: Woodhead Publishing, 2015: 3-30. DOI:10.1016/B978-1-78242-103-0.00001-1.
- [10] MURPHY C, CAIN W S, BARTOSHUK L M. Mutual action of taste and olfaction[J]. Sensory Processes, 1977, 1(3): 204-211.
- [11] SMALL D M, GERBER J C, MAK Y E, et al. Differential neural responses evoked by orthonasal versus retronasal odorant perception in humans[J]. Neuron, 2005, 47(4): 593-605. DOI:10.1016/j.neuron.2005.07.022.
- [12] ROZIN P. "Taste-smell confusions" and the duality of the olfactory sense[J]. Perception & Psychophysics, 1982, 31(4): 397-401. DOI:10.3758/BF03202667.
- [13] HEILMANN S, HUMMEL T. A new method for comparing orthonasal and retronasal olfaction[J]. Behavioral Neuroscience, 2004, 118(2): 412-419. DOI:10.1037/0735-7044.118.2.412.
- [14] NEGOIES S, VISSCHERS R, BOELRIJK A, et al. New ways to understand aroma perception[J]. Food Chemistry, 2008, 108(4): 1247-1254. DOI:10.1016/j.foodchem.2007.08.030.
- [15] HETHERINGTON M M. Sensory-specific satiety and its importance in meal termination[J]. Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 1996, 20(1): 113-117. DOI:10.1016/0149-7634(95)00048-J.
- [16] CECIL J E, FRANCIS J, READ N W. Comparison of the effects of a high-fat and high-carbohydrate soup delivered orally and intragastrically on gastric emptying, appetite, and eating behaviour[J]. Physiology & Behavior, 1999, 67(2): 299-306. DOI:10.1016/S00319384(99)00069-4.
- [17] FRENCH S J, CECIL J E. Oral, gastric and intestinal influences on human feeding[J]. Physiology and Behavior, 2001, 74(4/5): 729-734. DOI:10.1016/S0031-9384(01)00617-5.
- [18] HETHERINGTON M M, BOYLAND E. Short-term effects of chewing gum on snack intake and appetite[J]. Appetite, 2006, 48(3): 397-401. DOI:10.1016/j.appet.2006.10.001.
- [19] BLUNDELL J E, ROGERS P, HILL A J. Evaluating the satiating power of foods: implications for acceptance and consumption[M]// COLMS J, BOOTH D A, PANGBORN R M, et al. Food acceptance and nutrition. London: Academic, 1987: 205-219.
- [20] FISZMAN S, VARELA P. The satiating mechanisms of major food constituents: an aid to rational food design[J]. Trends in Food Science & Technology, 2013, 32(1): 43-50. DOI:10.1016/j.tifs.2013.05.006.
- [21] GREEN S M, DELARGY H J, JOANES D, et al. A satiety quotient: a formulation to assess the satiating effect of food[J]. Appetite, 1998, 29(3): 291-304. DOI:10.1006/appe.1997.0096.
- [22] RAMAEKERS M G, BOESVELDT S, LAKEMON C M M, et al. Odors: appetizing or satiating development of appetite during odor exposure over time[J]. International Journal of Obesity, 2005, 38(5): 650-656. DOI:10.1038/ijo.2013.143.
- [23] RAMAEKERS M G, LUNING P A, LAKEMON C, et al. Food preference and appetite after switching between sweet and savoury odours in women[J]. PLoS ONE, 2016, 11(1): 1-16. DOI:10.1371/journal.pone.0146652.
- [24] RAMAEKERS M G, LUNING P A, RUIJSCHOP R M, et al. Aroma exposure time and aroma concentration in relation to satiation[J]. British Journal of Nutrition, 2014, 111(3): 554-562. DOI:10.1017/S0007114513002729.
- [25] ROLLS E T, ROLLS B J, ROWE E A. Sensory-specific and motivation-specific satiety for the sight and taste of food and water in man[J]. Physiology & Behavior, 1983, 30(2): 185-192. DOI:10.1016/0031-9384(83)90003-3.
- [26] ROLLS B J, ROWE E A, ROLLS E T, et al. Variety in a meal enhances food intake in man[J]. Physiology & Behavior, 1981, 26(2): 215-221. DOI:10.1016/0031-9384(81)90014-7.
- [27] GONZÁLEZTOMÁ S L, BAYARRI S, TAYLOR A J, et al. Flavour release and perception from model dairy custards[J]. Food Research International, 2007, 40(4): 520-528. DOI:10.1016/j.foodres.2006.10.002.
- [28] SEUVRE A M, CAYOT P, VOILLEY A. Influence of the composition and the structure of different media on the release of aroma compounds[J]. Dairy Science & Technology, 2004, 84(3): 305-316. DOI:10.1051/ait:2004002.
- [29] TARREGA A, YVEN C, SÉMON E, et al. Aroma release and chewing activity during eating different model cheeses[J]. International Dairy Journal, 2008, 18(8): 849-857. DOI:10.1016/j.idairyj.2007.09.008.
- [30] SALLES C, CHAGNON M C, FERON G, et al. In-mouth mechanisms leading to flavor release and perception[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2011, 51(1): 67-90. DOI:10.1080/10408390903044693.
- [31] HIRSCH A R. Weight reduction through inhalation of odorants[J]. Journal of Neurological & Orthopaedic Medicine & Surgery, 1995, 16: 28-31.
- [32] MAYER S N, DAVIDSON R S, HENSLEY C B. The role of specific olfactory stimulation in appetite suppression and weight loss[J]. Journal of Advancement in Medicine, 1999, 12(1): 13-21. DOI:10.1023/B:JAME.0000008711.62500.df.
- [33] RAMAEKERS M G, LUNING P A, RUIJSCHOP R M A J, et al. Effect of aroma concentration and exposure time on ad libitum soup intake[J]. Appetite, 2011, 57(2): 542. DOI:10.1016/j.appet.2011.05.025.
- [34] ROLLS E T, ROLLS J H. Olfactory sensory-specific satiety in humans[J]. Physiology & Behavior, 1997, 61(3): 461-473.
- [35] RUIJSCHOP R M, BURGERING M J. Aroma induced satiation. Possibilities to manage weight through aromas in food products[J]. Agro Food Industry Hi-Tech, 2007, 18(6): 37-39.
- [36] RUIJSCHOP R A J, BOELRIJK A E, DE GRAAF C, et al. Retronasal aroma release and satiation: a review[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(21): 9888-9894. DOI:10.1021/jf901445z.
- [37] RUIJSCHOP R M A J, BOELRIJK A E, BURGERING M J, et al. Acute effects of complexity in aroma composition on satiation and food intake[J]. Chemical Senses, 2010, 35(2): 91-100. DOI:10.1093/chemse/bjp086.
- [38] RUIJSCHOP R M A J, BURGERING M J, JACOBS M A, et al. Retro-nasal aroma release depends on both subject and product differences: a link to food intake regulation? [J]. Chemical Senses, 2009, 34(5): 395-403. DOI:10.1093/chemse/bjp011.
- [39] RUIJSCHOP R M, BOELRIJK A E, DE RU J A, et al. Effects of retro-nasal aroma release on satiation[J]. British Journal of Nutrition, 2008, 99(5): 1140-1148. DOI:10.1017/S0007114507837482.
- [40] WARWICK Z S, HALL W G, PAPPAS T N, et al. Taste and smell sensations enhance the satiating effect of both a high-carbohydrate and a highfat meal in humans[J]. Physiology & Behavior, 1993, 53(3): 553-563.

- [41] YIN W T, HEWSON L, LINFORTH R, et al. Effects of aroma and taste, independently or in combination, on appetite sensation and subsequent food intake[J]. *Appetite*, 2017, 114: 265-274. DOI:10.1016/j.appet.2017.04.005.
- [42] JAEGER S R, PINEAUB, BAVA C M, et al. Investigation of the impact of sensitivity to cis-3-hexen-1-ol (green/grassy) on food acceptability and selection[J]. *Food Quality & Preference*, 2012, 24(2): 230-242. DOI:10.1016/j.foodqual.2011.11.005.
- [43] CAPORALE G, POLICASTRO S, MONTELEONE E. Bitterness enhancement induced by cut grass odorant (cis-3-hexen-1-ol) in a model olive oil[J]. *Food Quality & Preference*, 2004, 15(3): 219-227. DOI:10.1016/S0950-3293(03)00061-2.
- [44] HENRY C J K, WOO J, LIGHTOWLER H J, et al. Use of natural food flavours to increase food and nutrient intakes in hospitalized elderly in Hong Kong[J]. *International Journal of Food Sciences & Nutrition*, 2009, 54(4): 321-327.
- [45] FRANK R A, BYRAM J. Taste-smell interactions are tastant and odorant dependent[J]. *Chemical Senses*, 1988, 13(3): 445-455. DOI:10.1093/chemse/13.3.445.
- [46] FRANK R A, VAN DER KLAUW N J, SCHIFFERSTEIN H N J. Both perceptual and conceptual factors influence taste-odor and taste-taste interactions[J]. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 1993, 54(3): 343-354. DOI:10.3758/BF03205269.
- [47] SCHIFFERSTEIN H N, VERLEGH P W. The role of congruency and pleasantness in odor-induced taste enhancement[J]. *Acta Psychologica*, 1996, 94(1): 87-105. DOI:10.1016/0001-6918(95)00040-2.
- [48] STEVENSON R J, PRESCOTT J, BOAKES R A. Confusing tastes and smells: how odours can influence the perception of sweet and sour tastes[J]. *Chemical Senses*, 1999, 24(6): 627-635. DOI:10.1093/chemse/24.6.627.
- [49] NASRI N, BENO N, SEPTIER C, et al. Cross-modal interactions between taste and smell: odour-induced saltiness enhancement depends on salt level[J]. *Food Quality & Preference*, 2011, 22(7): 678-682. DOI:10.1016/j.foodqual.2011.05.001.
- [50] LAWRENCE G, SALLES C, SEPTIER C, et al. Odour-taste interactions: a way to enhance saltiness in low-salt content solutions[J]. *Food Quality and Preference*, 2009, 20(3): 241-248. DOI:10.1016/j.foodqual.2008.10.004.
- [51] NASRI N, SEPTIER C, BENO N, et al. Enhancing salty taste through odour-taste-taste interactions: influence of odour intensity and salty tastants' nature [J]. *Food Quality and Preference*, 2013, 28(1): 134-140. DOI:10.1016/j.foodqual.2012.07.004.
- [52] SYARIFUDDIN A, SEPTIER C, SALLES C, et al. Reducing salt and fat while maintaining taste: an approach on a model food system[J]. *Food Quality and Preference*, 2016, 48(3): 59-69. DOI:10.1016/j.foodqual.2015.08.009.
- [53] DJORDJEVIC J, ZATORRE R J, JONE S-GOTMAN M. Odor-induced changes in taste perception[J]. *Experimental Brain Research*, 2004, 159(3): 405-408. DOI:10.1007/s00221-004-2103-y.