

黄琪琳, 薛超. 挥发性风味物质在碳水化合物中释放与保留的研究进展[J]. 华中农业大学学报, 2021, 40(5): 233-240.

DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2021.05.028

挥发性风味物质在碳水化合物中释放与保留的研究进展

黄琪琳, 薛超

华中农业大学食品科学技术学院, 武汉 430070

摘要 风味的优劣逐渐成为食品能否得到消费者青睐的重要参考指标。碳水化合物作为食品主要营养成分之一, 已被发现其对食品中挥发性风味化合物的保留与释放会产生显著的影响。本文综述了碳水化合物与风味化合物的作用方式, 并分别从碳水化合物、风味化合物2种角度对挥发性风味物质在碳水化合物基质中释放与保留的影响因素进行了阐述, 以期风味物质在碳水化合物基质中的可控释放提供科学依据和参考。

关键词 挥发性风味化合物; 风味物质; 碳水化合物; 释放与保留; 风味控释包装材料; 新型风味载体

中图分类号 TS 201.2; O 657.7 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2021)05-0233-08

人们对舌尖上“幸福感”的追求使得风味的优劣逐渐成为食品能否受到消费者青睐的关键因素。食品风味成分主要包括气味成分和滋味成分, 这些化合物大多由含酸、醇、醛、酯、酮、硫和氮化合物、芳香族及杂环化合物组成^[1-2]。这些风味化合物在食品中的保留和释放取决于其本身的物理化学性质, 也会受到食品中主要营养成分的影响。作为一个复杂的体系, 食品中主要营养成分如蛋白质、碳水化合物等都可以与风味物质发生作用, 影响消费者对食品的接受与感知^[3]。

碳水化合物广泛存在于各种食品之中, 是一种极为重要的营养成分, 其对食品风味品质的影响是复杂且难以预测的。碳水化合物可以作为食品的风味前体物质, 在酶解的作用下成为食品特征性风味化合物的主要来源, 也可以在食品衍生风味的形成中发挥重要作用(如美拉德反应会引起食品中杂环类化合物的生成)。另一方面, 风味化合物形成后, 碳水化合物可以通过直接包埋或截留的方式抑制挥发性风味化合物的释放, 或通过影响食品品质(如质构)以及食品物理化学性质(如 pH、离子强度、水分活度)来间接影响食品中风味化合物的保留^[4]。

随着研究的深入, 碳水化合物常被添加到食品中用以提升食品的感官品质或隐藏异味, 如淀粉、环糊精、海藻胶等已被作为风味封装载体, 用于保护挥发性化合物或达到控制释放的目的^[5-7]。因此, 充分

了解风味物质在碳水化合物基质中释放与保留机制和影响因素, 对于研发具有良好风味的新型食品或者风味控释包装材料具有重要意义。本文在阐述风味释放的基础上, 从风味物质和碳水化合物的两种角度综述了二者间相互作用对风味物质释放与保留的影响, 以期碳水化合物食品的发展与新型风味载体的研究提供参考。

1 挥发性风味物质在碳水化合物中的释放与保留

挥发性风味物质在碳水化合物中的释放主要受动态因素和静态因素的影响。风味化合物的静态平衡分布主要发生在体系的不同相之间, 并由影响风味分子扩散与挥发的相分配系数决定。不同相之间的平衡分配系数(K_i)可以用公式(1)表示:

$$K_i = \frac{C_g^i}{P_g^i} \quad (1)$$

式(1)中: K_i 为气相/食品相的分配系数; C_g^i 为风味化合物在气相中的浓度; P_g^i 为风味化合物在食品相中的浓度^[8]。

不平衡状态是风味释放过程的重要驱动力。当气相顶空与碳水化合物基质之间处于平衡状态时, 基质-空气界面并不会发生有效的相传递。只有当相平衡受到干扰时, 才会发生从样品到气相的有效风味传递。基质所处环境的改变(如: 温度、压力、湿

收稿日期: 2021-04-20

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0901003); 中央高校基本科研业务费专项(2662018PY057)

黄琪琳, E-mail: hql@mail.hzau.edu.cn

度、口腔咀嚼、超声、微波等)都会影响风味成分的释放。此外,风味成分释放速率还会受基质黏度以及风味化合物与碳水化合物间相互作用的影响(图 1)。

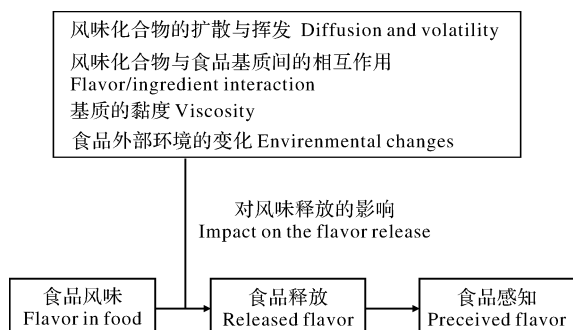


图 1 影响食品中风味释放的因素^[6]

Fig.1 Factors impacting flavour release^[6]

传质系数 κ 则是影响食品体系风味平衡速率的重要因素,该值的大小主要受到 2 种扩散机制的影响:第 1 种机制是分子扩散(或称静态扩散),主要是由静止基质中小分子的随机运动引起的,此时的分子扩散速率仅随风味化合物的类型而略有变化。第 2 种机制为涡流或对流扩散,主要由携带着溶解的风味溶质的液体流动造成。涡流扩散率通常远高于分子扩散率,并且与风味类型无关。风味化合物在不同相之间的传质阻力即为传质系数的倒数($1/\kappa$),传质阻力只会受到基质质地与微观结构的影响,而不由相分配系数所决定^[9]。

2 碳水化合物与风味物质间的作用方式

碳水化合物基质与挥发性风味成分之间主要有 2 种作用方式,一种为在基质表面或内部的直接扩散,在该状态下风味扩散只取决于风味化合物的结构和理化性质;另一种则为通过氢键、范德华力、疏水相互作用等分子间相互作用形成的碳水化合物和风味成分结合效应,根据结合方法的不同可分为 3 类:吸附效应、基质截留效应、微区封装效应(表 1)。

2.1 碳水化合物的吸附效应

对于吸附作用而言,干燥的碳水化合物表面的各种细小通道与小孔均会对风味化合物产生一定的吸附能力。根据性质不同,可将吸附作用分为物理吸附(非共价键合)和化学吸附(共价键合)。如 Zhang 等^[10]研究了酵母葡聚糖对鲢鱼糜特征性腥

味成分的吸附效果,发现己醛、1-辛烯-3-醇和壬醛这 3 种风味成分与酵母葡聚糖的吸附属于物理吸附,并以疏水相互作用为主导,证明酵母葡聚糖具有良好的腥味去除能力。

2.2 碳水化合物的基质截留效应

碳水化合物可以通过增加体系的黏度来改变食品基质的物理性质,因此常常被用作增稠剂添加于食品中。碳水化合物还可形成大分子网络,对风味成分产生物理截留效应。

Pan 等^[11]通过 GC/MS-O 的方法探究了芒果汁特征风味成分的释放与 3 种重要糖类(葡萄糖、果糖、蔗糖)添加量的关系,结果发现,3 种糖类的添加量递增都显著抑制了特征性风味成分 β -香叶烯的释放,且这种抑制作用与糖类的添加量呈正比。Xu 等^[12]研究也发现黄原胶的添加显著抑制了特征性草莓风味成分的释放,其中(Z)-3-己烯-1-醇、柠檬烯和双乙酰在基质中的保留量随黄原胶添加量的增加而增大。

2.3 碳水化合物的微区封装效应

风味成分的微区封装主要发生在使用脱水干燥工艺制作封装材料包载风味成分的过程中,水分子与碳水化合物(作为封装壁材)之间的氢键逐渐被碳水化合物之间的氢键所取代,最终导致大分子链聚集、缠结,形成可以俘获挥发性风味成分的微型区域,起到抑制其释放的效果。良好的封装壁材可以保护风味化合物不受氧化和热降解的影响,使得食品的后续加工处理更加高效^[13]。环糊精、淀粉及其改性物、海藻酸钠、果胶是最常见的碳水化合物封装材料,它们既可以用作单一的风味封装载体,也可以制成混合载体^[4]。如 Xiao 等^[14]利用 γ -环糊精作为壁材包载西瓜的特征风味成分,发现合成包载体显著改善了风味物质的稳定性、持续释放特性和货架期。Qiu 等^[15]使用脱支淀粉制备了淀粉纳米粒子,并以其为包载体材料利用微区封装效应包载薄荷酮(精油的主要组成成分),结果表明复合薄荷酮-淀粉纳米粒子包载体在 90 °C 下仍然具有良好的结晶性与热稳定性,复合体显著提升了精油的抗氧化性与抑菌性。此外,碳水化合物与风味成分的封装效应也可以发生在液体基质如乳液中。Esfanjanani 等^[16]研究发现,使用乳清蛋白浓缩物-果胶-环糊精制成的水包油包水型混合(W/O/W)乳液对藏花醛具有良好的保存特性,在储藏 22 d 内,包载体表现出良好的稳定性与低风味释放率。

表 1 不同类型碳水化合物与风味物质的相互作用及对风味释放的影响
Table 1 The interaction between different types of carbohydrates and volatile compounds and their influence on flavor release

种类 Categories	影响风味释放的机制 Affecting mechanisms	碳水化合物 Carbohydrates	风味化合物 Flavor compounds	主要发现与结果 Major findings	参考文献 References
单糖 Monosaccharide	盐析效应 Salt-out effect	葡萄糖与果糖 Glucose and fructose	丁酸乙酯/呋喃 Ethyl butyrate/Furan	特征性挥发性风味大量释放 Promoted the release of characteristic volatile flavors	[11, 17]
	基质截留 Caging effect by gel	葡萄糖与果糖 Glucose and fructose	β -月桂烯 β -Myrcene	大量单糖的加入改变了食品基质的黏度, 抑制风味化合物的释放 The addition of a large amount of monosaccharides changed the viscosity of the food matrix and inhibited the release of volatile compounds	[11]
	盐析效应 Salt-out effect	蔗糖 Sucrose	己醛/壬醛/乙醇/丁酸乙酯等 Hexanal/Nonanal/Ethanol/ Ethyl butanoate etc.	特征性挥发性风味大量释放。Promoted the release of characteristic volatile flavors	[18-19, 34]
	基质截留 Caging effect by gel	蔗糖 Sucrose	β -月桂烯/癸酸乙酯/ γ -癸内酯等 β -Myrcene/Ethyl decanoate/ γ -Decalactone, etc.	显著影响了基质的微观结构和风味化合物在不同相的分布与释放 Addition of sucrose to the mixture significantly affected the microstructure and aroma distribution in each phase and subsequent release	[11]
低聚糖 Oligosaccharide	微区封装效应 Trapping in micro-regions	乳糖 Lactose	乙酸乙酯 Ethyl acetate	按照 1:4 (乳糖/蛋白) 配比制作的包装材料对乙酸乙酯有最好的风味保持能力 The packaging material (1:4 lactose/protein) showed the best flavor retention ability	[35]
		麦芽糊精 Maltodextrin	可可香气化合物/香芹酚 Cocoa aroma compounds/Carvacrol	有较大的风味包封率 Had large flavor encapsulation rate	[34, 36-37]
		环糊精 Cyclodextrin	姜黄素类化合物/肉桂醛 Curcuminoids/Cinnamaldehyde	环糊精对风味化合物具有较好的掩蔽性和包封率, 且有较低的风味释放率 Cyclodextrin had good masking and encapsulation rate for volatile compounds, and had a lower flavor release rate	[14, 30-32, 38-39]
		果胶 Pectin	柠檬烯/己醇/庚醛/乙酸乙酯等 Limonene/Hexanol/Heptanal/ Ethyl acetate, etc.	酰胺化的果胶可以通过疏水相互作用与氢键作用与风味化合物结合, 抑制释放 Amidated pectin can bind to flavor compounds through hydrophobic interactions and hydrogen bonding to inhibit flavor release	[40-41]
多糖 Polysaccharide	基质截留 Caging effect by gel	淀粉/果胶/海藻酸 Starch/Pectin/Alginate	1,8-桉叶油醇/薄荷油/薄荷酮 1,8-Cineole/Peppermintol/Menthone	制得的载体具有良好的稳定性与风味控制特性 Prepared package carrier had good stability and flavor control ability	[26, 42-43]
	微区封装效应 Trapping in micro-regions	鱼腥藻糖/多孔淀粉 β -Glucan/Porous starch	鱼腥藻糖/2-庚酮 Fishy-odors/2-Heptanone	多糖表面的孔状结构具有吸附特征性风味化合物的能力 The porous structure of the polysaccharide showed the ability to adsorb volatile compounds	[10, 44]

3 风味物质释放与保留的影响因素

3.1 碳水化合物

碳水化合物按照结构可以分为单糖、低聚糖、多糖三大类。从单糖到多糖的不同种类及特性,使其可通过多种方式影响基质中挥发性风味化合物的释放与保留。

1)碳水化合物的盐析效应。碳水化合物可以通过“盐析效应”来影响挥发性风味物质的释放与保留。具体来说,碳水化合物中富含的羟基易与食品中的水分子结合,导致基质的水分活度降低,从而降低风味化合物在水中的溶解度,增加其在气相中的浓度(促进风味成分的释放)^[4]。Piccone等^[17]观察到葡萄糖、果糖的添加有效促进了速溶咖啡样品中呋喃类化合物的释放。林耀盛等^[18]在对风干广式腊肠的研究中发现,当蔗糖的添加量在3%~6%并逐渐增加时,腊肠中醛类和酸类风味成分的释放增多;随着蔗糖添加量的继续递增(6%~15%),醇类和醛类化合物的释放也显著增强。类似的结果也被Yang等^[19]观察到,丁酸乙酯与乙酸乙酯在0.5 g/mL的蔗糖溶液中的释放量显著高于纯水中的释放量。

2)碳水化合物基质的黏度。目前关于低聚糖/多糖与风味化合物释放与保留关系的研究更为广泛。很多研究都将多糖对风味成分的保留归因于其黏度特性,高黏度的食品基质不利于风味化合物的扩散,但有利于风味化合物的保留^[20]。已有研究表明,黏性碳水化合物制作的可食用薄膜不仅可以起到保护食品风味的作用^[21],甚至还可以起到抑制风味化合物氧化的效果^[22]。如Song等^[23]将海藻酸钠制成的可食用薄膜包裹于冷冻鲷后发现,海藻酸盐涂层可以通过增加水分阻隔、防止风味成分和脂肪氧化的方式,延长鲷保质期,提高食品质量。类似的发现也被Marcuzzo等^[24]在 ϵ -卡拉胶可食用薄膜的研究中观察到,即 ϵ -卡拉胶薄膜具有保留柠檬烯并防止其氧化的能力。

3)碳水化合物的特殊空间结构。部分多糖与低聚糖可利用其特殊结构通过“微区封装效应”对风味化合物的释放与保留产生影响。对于含有多种构象与晶形的淀粉来说,这种效应尤其存在于直链淀粉中^[8],重结晶的直链淀粉中通常含有六角形双螺旋排列的 β 型晶体,风味分子可以通过非共价键被困在淀粉的螺旋腔内部,达到控制释放的目的;在与风

味化合物结合后,风味分子极易引起直链淀粉的构象变化,使其由双螺旋转变为单螺旋结构(称为V型晶体)。形成的这种配合物的稳定性由分子间/分子内的范德华力和疏水作用决定^[25]。Ma等^[26]在直链淀粉对5种不同风味化合物包埋及释放能力的研究中发现,除了风味化合物2,3-丁二酮外,其余化合物均改变了直链淀粉的晶体结构。对于支链淀粉来说,其与风味成分的结合主要靠氢键相互作用,然而这种通过氢键形成的极性相互作用对水很敏感,吸湿即可加速氢键断裂,导致淀粉基质中风味损失^[27]。此外,近年来越来越多的研究集中在改性淀粉为基材的新型风味包装载体上,如Chanjarujit等^[28]采用 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 处理高直链淀粉含量(31%~38%)的绿豆淀粉,提高了其在干燥过程中的成膜性能,并且赋予其良好的挥发性风味成分(1,8-桉叶油醇、薄荷酮和香茅醇)的保留能力。

环糊精(cyclodextrin, CDs)与麦芽糊精(malto-dextrin, MD)这2种由淀粉降解所得的低聚糖也由于其特殊的结构与特性在风味的释放和保留方面受到了广泛关注。常见的CDs主要有 α -CD、 β -CD、 γ -CD 3种。相比于其余2种CDs, γ -CD具有更好的水溶性以及更大的内部空腔(0.88 nm),因此,其对于特殊的大分子客体(如风味化合物)表现出良好的截留能力^[14,29]。 β -CD由于分子内氢键的形成,水溶性最低且具有疏水性的空腔,能够更好地捕捉疏水性小分子或化合物基团,形成更稳定的非共价化合物。Phunpee等^[30]研究了环糊精对2种柠檬醛的包合作用,发现具有更大空腔的 γ -CD显示出了更佳的柠檬醛包埋能力,但其对柠檬醛的保留能力低于 β -CD。Ciobanu等^[31]和Yang等^[32]也观察到类似结果。同样MD也表现出良好的包埋效果。虽然MD缺乏乳化能力,但在喷雾干燥过程中其在包埋载体周围可迅速形成致密的薄膜,为客体提供良好的包埋和保护。Sultana等^[33]在研究麦芽糊精粉末对D-柠檬烯与己酸乙酯的封存与释放行为时发现麦芽糊精-风味包载体有极好的热稳定性,且储存温度的变化并不会对D-柠檬烯在麦芽糊精粉末中的释放产生显著影响。

3.2 挥发性风味物质的理化性质

1)官能团。醇类物质易通过氢键与碳水化合物发生相互作用,因此被认为是最容易被碳水化合物保留的风味成分^[45]。Siefarth等^[46]研究发现,醇类

与水分子的相互作用比醛类与水的相互作用更强，虽然苯甲醛与叶醇 2 种风味物质具有相同疏水性，但苯甲醛在基质中的释放速度要更快。文献[42]也报道了类似的结果。然而，风味化合物与食品基质之间的相互作用是复杂的，因此不同种类的风味化合物在碳水化合物基质中的释放以及保留能力并不是一成不变的。Yeo 等^[8]在高直链玉米淀粉与风味的相互作用的研究中发现，所选 9 种挥发性风味成分并未呈现出与官能团相关的趋势，而是与风味物质的疏水性以及浓度呈现高度相关性，作为醇类的松油醇与高直链玉米淀粉结合能力最弱。

2) 相对分子质量。研究表明，挥发性风味物质的相对分子质量越大，风味化合物在食品基质中的扩散速率越低，越容易被碳水化合物基质所保留，而低分子质量的风味化合物尺寸较小，更容易扩散与释放。Hansson 等^[47]研究发现风味化合物在不同

组成的碳水化合物体系中气液分配系数不同，而且风味化合物同系物在同一凝胶体系中气液分配系数也不同，具体表现为随着分子质量的增加，其空气/凝胶分配系数逐渐降低，且该趋势不受凝胶强度的影响。如表 2 所示，醛类同系物己醛、庚醛、辛醛以及酮类同系物 2-丁酮、2-庚酮、2-辛酮、2-癸酮，随着碳数的增加其空气/凝胶分配系数在各种不同组成的凝胶体系下均呈现降低的趋势。在以卡拉胶与卡拉胶-油脂 2 种可食用薄膜作为风味物质包载体的研究中也观察到类似的现象^[24]。Hambleton 等^[48]研究也发现，以卡拉胶和海藻酸钠为原料制备的可食用薄膜均呈现出对正己醛和柠檬烯 2 种挥发性风味物质的良好截留能力，且由于相对分子质量接近，这 2 种风味物质在薄膜的表面扩散系数 (D_{app}) 并未表现出显著差异。

表 2 不同的风味化合物在不同凝胶体系中的气/凝胶分配系数 ($\times 1\ 000$)^[47]

Table 2 Differences in air/gel partition coefficients ($\times 1\ 000$) among the four different gels^[47]

风味化合物 Flavor compounds	凝胶 1 Gel 1	凝胶 2 Gel 2	凝胶 3 Gel 3	凝胶 4 Gel 4
己醛 Hexanal	2.26d	4.40b	3.64c	6.74a
庚醛 Heptanal	1.30c	2.12b	2.62b	3.96a
辛醛 Octanal	—	0.49b	1.77a	0.64a
2-丁酮 2-Butanone	6.02a	6.85a	6.05a	5.86a
2-庚酮 2-Heptanone	3.42c	4.86a	4.51b	6.23a
2-辛酮 2-Octanone	2.14b	2.18a	3.72a	2.98a
2-癸酮 2-Decanone	0.70c	0.87c	1.32a	1.07b

注：凝胶 1：白砂糖浆 90%，果胶 1.5%；凝胶 2：白砂糖浆 79%，果胶 1.85%；凝胶 3：白砂糖浆 85%，果胶 2%；凝胶 4：白砂糖浆 75%，果胶 1.5%。同列不同小写字母表示有显著性差异 ($P<0.05$)。Note: Gel 1: 90% white syrup, 1.5% pectin; Gel 2: 79% white syrup, 1.85% pectin; Gel 3: 85% white syrup, 2% pectin; Gel 4: 75% white syrup, 1.5% pectin. There is a significant difference between the numbers marked with different letters ($P<0.05$).

3) 极性和疏水性。风味化合物的极性是影响其保留和释放的另一个因素，通常挥发性风味成分的极性越强，在水中溶解度越好，越容易被食品基质所保留；极性越弱，对气相的偏向性越高，越易挥发^[1]。Boutboul 等^[49]发现风味化合物 (*D*-柠檬烯、己酸乙酯、辛酸和 1-己醇) 在淀粉基质中的风味保留率和风味化合物的极性大小呈正相关，即保留率由小到大依次为：*D*-柠檬烯<己酸乙酯<辛酸<1-己醇。Marcuzzo 等^[24]研究发现卡拉胶可食用薄膜更容易保留极性较强的挥发性风味化合物 (2-庚酮、2-戊酮)。

极性也与疏水性相关联，疏水性强的风味成分更容易从食品基质中释放出来，疏水性弱的风味成分更容易保留在食品基质中。Ma 等^[26]研究了直链淀粉对 5 种挥发性风味成分的包埋与控释效果，发现疏水性最强的 2-乙酰-1-吡咯啉具有更快的风味

释放速率，疏水性最弱的化合物 2,3-丁二酮在直链淀粉中具有最大的风味保留率。

4) 相对挥发性。风味化合物的挥发性反映了化合物转换为气态的能力，可通过测量纯化化合物的蒸气压来评价，一般挥发性风味成分的饱和蒸气压越大，越容易挥发。Menis 等^[50]研究了膨化后的玉米粒中风味成分的保留，发现较大的饱和蒸气压使得异戊醛极易挥发，而较高的沸点与较低的饱和蒸气压使得丁酸乙酯具有最高的保留率。Descours 等^[51]研究了马铃薯淀粉在蒸煮过程中的风味释放动力学，发现在蒸煮过程中 1-辛烯-3-醇和顺-4-庚烯醛均表现出极大释放量，且顺-4-庚烯醛的释放速率更快，烹饪 5 min 后就全部消失，而相同条件下辛烯-3-醇的释放要缓慢得多。这是由于顺-4-庚烯醛比 1-辛烯-3-醇的饱和蒸气压更高，更有利于其从碳

水化合物基质中释放出来。Evageliou 等^[52]研究了结冷胶和果胶溶液对3种酯类化合物(丁酸乙酯、乙酸异丁酯和乙酸丁酯)保留率的影响,发现在结冷胶溶液中具有更大挥发性以及更多支链的乙酸异丁酯的释放量最大,其次是挥发性较小的乙酸丁酯。

5)空间位阻。挥发性风味化合物空间位阻对于碳水化合物基质中风味成分释放与保留的影响多见于脂类化合物的研究。同分异构体虽然相对分子质量相同,但取代基的位置与数量的不同均会对该分子的空间位阻产生影响,并进而影响与配体的反应或结合。Evageliou 等^[52]研究发现具有相同碳原子数目的乙酸丁酯和乙酸异丁酯2种同分异构体中,具有支链的乙酸异丁酯表现出更强的风味释放能力,这是因为具有支链结构的风味成分具有较大的空间位阻,使其容易从食品基质中释放出来。

4 结论与展望

挥发性风味化合物由相对分子质量低的有机分子组成。碳水化合物的存在会对挥发性风味成分的释放以及保留产生影响,这种影响是包括多种作用且会受到多种因素制约的。不同碳水化合物的类型会对风味物质产生吸附、基质截留、微区包封等效果,从而控制风味物质的释放与保留;挥发性风味成分的物理化学性质(官能团、相对分子质量、极性与疏水性、相对挥发性以及空间位阻)也会对风味化合物在不同相之间的分配与释放速率产生影响。除了碳水化合物和风味成分2个内在因素外,外在环境因素如热、空气、光和湿度等也会对风味的释放与保留产生一定的影响,值得深入研究。

风味可以有效改变消费者对食品的使用或消费的意图,但它们极易挥发,且对空气、热、光和湿气非常敏感。通过材料封装的方法增加风味化合物的可用性以及限制风味化合物在储藏或食用过程中降解是最有效和常用的方法^[32]。其中,良好的包封材料应具有优异的乳化与成膜性能,而碳水化合物易获得、价格低廉、易修饰以及良好的生物降解性等特性使得其在众多材料中脱颖而出。因此,在不久的将来,关于碳水化合物与风味成分之间的研究也会逐渐深入到新型风味储载体与风味传递载体的开发上。此外,风味包载体材料确定后,风味物质在鼻前通路与鼻后通路的定向释放与传递也具有一定的研究空间与价值。

参考文献 References

- [1] NAKNEAN P, MEENUNE M. Factors affecting retention and release of flavour compounds in food carbohydrates[J]. *International food research journal*, 2010, 17(1): 23-34.
- [2] 马艺超, 詹心瑜, 毛立科, 等. 风味物质在水凝胶粒中的保留与释放[J]. *中国食品添加剂*, 2018(12): 202-208. MA Y C, ZHAN X Y, MAO L K, et al. Retention and release of flavor in hydrogel beads[J]. *China food additives*, 2018(12): 202-208 (in Chinese with English abstract).
- [3] AMMARI A, SCHROEN K. Flavor retention and release from beverages: a kinetic and thermodynamic perspective[J]. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2018, 66(38): 9869-9881.
- [4] SAIFULLAH M, SHISHIR M R I, FERDOWSI R, et al. Micro and nano encapsulation, retention and controlled release of flavor and aroma compounds: a critical review[J]. *Trends in food science & technology*, 2019, 86: 230-251.
- [5] PARAVISINI L, GUICHARD E. Interactions between aroma compounds and food matrix[M]. New York: John Wiley & Sons, 2017.
- [6] WANG M Q, DOI T, MCCLEMENTS D J. Encapsulation and controlled release of hydrophobic flavors using biopolymer-based microgel delivery systems: sustained release of garlic flavor during simulated cooking[J]. *Food research international*, 2019, 119: 6-14.
- [7] GAONKAR A G, MCPHERSON A. Ingredient interactions: effects on food quality[M]. Boca Raton: CRC Press, 2016.
- [8] YEO L, THOMPSON D B, PETERSON D G. Inclusion complexation of flavour compounds by dispersed high-amylose maize starch (HAMS) in an aqueous model system[J]. *Food chemistry*, 2016, 199: 393-400.
- [9] DE ROOSK B. Effect of texture and microstructure on flavour retention and release[J]. *International dairy journal*, 2003, 13(8): 593-605.
- [10] ZHANG H M, WU D, HUANG Q L, et al. Adsorption kinetics and thermodynamics of yeast β -glucan for off-odor compounds in silver carp mince[J/OL]. *Food chemistry*, 2020, 319: 126232 [2021-04-20]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126232>.
- [11] PAN X, WU J H, ZHANG W T, et al. Effects of sugar matrices on the release of key aroma compounds in fresh and high hydrostatic pressure processed Tainong mango juices [J/OL]. *Food chemistry*, 2021, 338: 128117 [2021-04-20]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128117>.
- [12] XU J, HE Z Y, ZENG M M, et al. Effect of xanthan gum on the release of strawberry flavor in formulated soy beverage[J]. *Food chemistry*, 2017, 228: 595-601.
- [13] 王迪, 代蕾, 高彦祥. 碳水化合物与风味物质相互作用及其对风味释放的影响[J]. *中国食品添加剂*, 2016(10): 118-125. WANG D, DAI L, GAO Y X. Carbohydrates-flavour compounds interactions and effects of carbohydrates on flavor releasing[J]. *China food additives*, 2016(10): 118-125 (in Chinese with English abstract).

- abstract).
- [14] XIAO Z B, HOU W J, KANG Y X, et al. Encapsulation and sustained release properties of watermelon flavor and its characteristic aroma compounds from γ -cyclodextrin inclusion complexes[J/OL]. Food hydrocolloids, 2019, 97: 105202 [2021-04-20]. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105202>.
- [15] QIU C, CHANG R R, YANG J, et al. Preparation and characterization of essential oil-loaded starch nanoparticles formed by short glucan chains[J]. Food chemistry, 2017, 221: 1426-1433.
- [16] ESFANJANI A F, JAFARI S M, ASSADPOUR E. Preparation of a multiple emulsion based on pectin-whey protein complex for encapsulation of saffron extract nanodroplets [J]. Food chemistry, 2017, 221: 1962-1969.
- [17] PICCONE P, LONZARICH V, NAVARINI L, et al. Effect of sugars on liquid-vapour partition of volatile compounds in ready-to-drink coffee beverages[J]. Journal of mass spectrometry, 2012, 47(9): 1120-1131.
- [18] 林耀盛, 曲直, 唐道邦, 等. 蔗糖添加量对风干腊肠风味物质的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(1): 200-207. LIN Y S, QU Z, TANG D B, et al. Effect of varying sucrose concentration on volatile flavor compounds in air-dried Cantonese-style sausage [J]. Modern food science and technology, 2015, 31(1): 200-207 (in Chinese with English abstract).
- [19] YANG Z Y, FAN Y G, XU M, et al. Effects of xanthan and sugar on the release of aroma compounds in model solution[J]. Flavour and fragrance journal, 2017, 32(2): 112-118.
- [20] 刘曦, 谭燕, 袁芳. 食品风味物质在水凝胶中的控释研究进展[J]. 中国调味品, 2019, 44(3): 175-179. LIU X, TAN Y, YUAN F. Research progress of controlled release of food flavor substances in hydrogels[J]. China condiment, 2019, 44(3): 175-179 (in Chinese with English abstract).
- [21] CHAKRABORTY S. Carrageenan for encapsulation and immobilization of flavor, fragrance, probiotics, and enzymes: a review [J]. Journal of carbohydrate chemistry, 2017, 36(1): 1-19.
- [22] BENBETTAÏEB N, DEBEAUFORT F, KARBOWIAK T. Bio-active edible films for food applications: mechanisms of antimicrobial and antioxidant activity[J]. Critical reviews in food science and nutrition, 2019, 59(21): 3431-3455.
- [23] SONG Y L, LIU L, SHEN H X, et al. Effect of sodium alginate-based edible coating containing different anti-oxidants on quality and shelf life of refrigerated bream (*Megalobrama amblycephala*) [J]. Food control, 2011, 22(3/4): 608-615.
- [24] MARCUZZO E, DEBEAUFORT F, SENSIDONI A, et al. Release behavior and stability of encapsulated d-limonene from emulsion-based edible films[J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2012, 60(49): 12177-12185.
- [25] KONG L Y, BHOSALE R, ZIEGLER G R. Encapsulation and stabilization of β -carotene by amylose inclusion complexes[J]. Food research international, 2017, 105: 446-452.
- [26] MA R R, TIAN Y Q, ZHANG H H, et al. Interactions between rice amylose and aroma compounds and their effect on rice fragrance release[J]. Food chemistry, 2019, 289: 603-608.
- [27] SEUVRE A M, VOILLEY A. Physico-chemical interactions in the flavor-release process [M]//BUETTNER A. Springer handbook of odor. Cham, Switzerland: Springer, 2017: 35-36.
- [28] CHANJARUJIT W, HONGSPRABHAS P, CHAISERI S. Physicochemical properties and flavor retention ability of alkaline calcium hydroxide-mungbean starch films [J]. Carbohydrate polymers, 2018, 198: 473-480.
- [29] DE ABREU FIGUEIREDO J, ANDRADE TEIXEIRA M, HENRIQUE CAMPELO P, et al. Encapsulation of camu-camu extracts using prebiotic biopolymers; controlled release of bioactive compounds and effect on their physicochemical and thermal properties[J/OL]. Food research international, 2020, 137: 109563 [2021-04-20]. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109563>.
- [30] PHUNPEE S, RUKTANONCHAI U R, YOSHII H, et al. Encapsulation of lemongrass oil with cyclodextrins by spray drying and its controlled release characteristics [J]. Bioscience, biotechnology, and biochemistry, 2017, 81(4): 718-723.
- [31] CIOBANU A, MALLARD I, LANDY D, et al. Retention of aroma compounds from *Mentha piperita* essential oil by cyclodextrins and crosslinked cyclodextrin polymers [J]. Food chemistry, 2013, 138(1): 291-297.
- [32] YANG Z J, YAO X D, XIAO Z B, et al. Preparation and release behaviour of the inclusion complexes of phenylethanol with β -cyclodextrin [J]. Flavour and fragrance journal, 2016, 31(3): 206-216.
- [33] SULTANA A, TANAKA Y, FUSHIMI Y, et al. Stability and release behavior of encapsulated flavor from spray-dried *Saccharomyces cerevisiae* and maltodextrin powder [J]. Food research international, 2018, 106: 809-816.
- [34] TSITLAKIDOU P, VAN LOEY A, METHVEN L, et al. Effect of sugar reduction on flavour release and sensory perception in an orange juice soft drink model [J]. Food chemistry, 2019, 284: 125-132.
- [35] HUANG Z F, LI K X, MA L J, et al. Flavor release from lactose/protein matrix during storage; effects of lactose crystallization and powder microstructure [J/OL]. LWT, 2021, 141: 110857 [2021-04-20]. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.110857>.
- [36] SANCHEZ-REINOSO Z, OSORIO C, HERRERA A. Effect of microencapsulation by spray drying on cocoa aroma compounds and physicochemical characterisation of microencapsulates [J]. Powder technology, 2017, 318: 110-119.
- [37] HUSSEIN J, EL-BANNA M, MAHMOUD K F, et al. The therapeutic effect of nano-encapsulated and nano-emulsion forms of carvacrol on experimental liver fibrosis [J]. Biomedicine & pharmacotherapy, 2017, 90: 880-887.
- [38] LAOKULDILOK N, THAKEOW P, KOPERMSUB P, et al. Optimisation of microencapsulation of turmeric extract for masking flavour [J]. Food chemistry, 2016, 194: 695-704.

- [39] CHUN J Y, JO Y J, BJRAPHA P, et al. Antimicrobial effect of α - or β -cyclodextrin complexes with trans-cinnamaldehyde against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* [J]. *Drying technology*, 2015, 33(3): 377-383.
- [40] KIM M J, JU H K, KIM Y, et al. Effects of amidation and/or methylesterification of pectin on aroma release at different calcium concentration [J]. *Food hydrocolloids*, 2016, 52: 343-349.
- [41] ANSARIFAR E, MOHEBBI M, SHAHIDI F, et al. Novel multilayer microcapsules based on soy protein isolate fibrils and high methoxyl pectin: production, characterization and release modeling [J]. *International journal of biological macromolecules*, 2017, 97: 761-769.
- [42] HOU J J, GUO J, WANG J M, et al. Effect of interfacial composition and crumbliness on aroma release in soy protein/sugar beet pectin mixed emulsion gels [J]. *Journal of the science of food and agriculture*, 2016, 96(13): 4449-4456.
- [43] BELINGHERI C, FERRILLO A, VITTADINI E. Porous starch for flavor delivery in a tomato-based food application [J]. *LWT-food science and technology*, 2015, 60(1): 593-597.
- [44] GLENN G M, KLAMCZYNSKI A P, WOODS D F, et al. Encapsulation of plant oils in porous starch microspheres [J]. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2010, 58(7): 4180-4184.
- [45] SEMENOVA M G, ANTIPOVA A S, MISHARINA T A, et al. Binding of aroma compounds with legumin. I. Binding of hexyl acetate with 11S globulin depending on the protein molecular state in aqueous medium [J]. *Food hydrocolloids*, 2002, 16(6): 557-564.
- [46] SIEFARTH C, TYAPKOVA O, BEAUCHAMP J, et al. Influence of polyols and bulking agents on flavour release from low-viscosity solutions [J]. *Food chemistry*, 2011, 129(4): 1462-1468.
- [47] HANSSON A, LEUFVÉN A, VAN RUTH S. Partition and release of 21 aroma compounds during storage of a pectin gel system [J]. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2003, 51(7): 2000-2005.
- [48] HAMBLETON A, VOILLEY A, DEBEAUFORT F. Transport parameters for aroma compounds through i-carrageenan and sodium alginate-based edible films [J]. *Food hydrocolloids*, 2011, 25(5): 1128-1133.
- [49] BOUTBOUL A, GIAMPAOLI P, FEIGENBAUM A, et al. Influence of the nature and treatment of starch on aroma retention [J]. *Carbohydrate polymers*, 2002, 47(1): 73-82.
- [50] MENIS M E C, MILANI T M G, JORDANO A, et al. Extrusion of flavored corn grits: structural characteristics, volatile compounds retention and sensory acceptability [J]. *LWT-food science and technology*, 2013, 54(2): 434-439.
- [51] DESCOURS E, HAMBLETON A, KUREK M, et al. Aroma behaviour during steam cooking within a potato starch-based model matrix [J]. *Carbohydrate polymers*, 2013, 95(1): 560-568.
- [52] EVAGELIOU V, PAPASTAMOPOULOU K, FRANTZESKAKI D, et al. Retention of esters by gellan and pectin solutions or their mixtures [J]. *Food hydrocolloids*, 2015, 51: 54-59.

Progress on release and retention of volatile flavor compounds in carbohydrates

HUANG Qilin, XUE Chao

College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract The quality of flavor has gradually become an important reference indicator of whether food can be favored by consumers. Carbohydrates as one of the main nutrients in food have been found to have a significant impact on the retention and release of volatile flavor compounds in food. This article reviews the mode of action of carbohydrates and volatile flavor compounds, and elaborated the effects of carbohydrates and the volatile flavor compounds on the release and retention of volatile flavor compounds in carbohydrate matrix. It will provide a scientific basis and reference for the controlled release of volatile flavor compounds in carbohydrate matrix.

Keywords volatile flavor compounds; flavor material; carbs; release and retention; flavor controlled release packaging materials; new flavor carriers

(责任编辑:赵琳琳)