

亲脂性食品组分微胶囊的壁材研究进展

金敏凤, 仇干, 李文雅, 夏雪

(上海师范大学 生命与环境科学学院, 上海 200234)

摘要: 亲脂性食品组分,如多不饱和脂肪酸,是食品加工中的重要原料,但其易氧化变质,且水合性和流动性差,给食品加工带来不便.微胶囊化处理可以有效延缓脂溶性芯材的油脂氧化、掩盖油脂的腥异味、改变其物理形态及性能,使之成为性质稳定、取用方便、流动性好且营养价值高的优质原料.概述了近年来国内外在亲脂性芯材微胶囊化过程中所选用的不同壁材.

关键词: 亲脂性芯材; 微胶囊; 壁材

中图分类号: TS 202.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5137(2014)06-0605-07

0 引言

微胶囊技术,包括纳米胶囊,是21世纪重点研究开发的高新技术之一^[1],在欧美各国已有近百年的研究和发 展,目前已形成较为成熟的学科体系,包括微胶囊化实现的各种技术方法、可选用的不同载体物质(壁材)和可包埋材料(芯材)等.近40年来,食品微胶囊领域的专利申请数量呈现快速增长的趋势,其中美国是“起步早,发展快”的典型,欧盟在该领域的研究投入和专利申请数量多次翻番.据环球工业分析公司(Global Industry Analysts Inc.)预测:到2015年,全球食品微胶囊原料市场将成长到390亿美元的市场容量^[2].微胶囊技术在国际食品行业的研究和应用主要集中在防腐剂、抗氧化剂、食用香精香料和营养强化剂等的微胶囊化,以避免或减少产品的生物有效成分因光、热、pH和氧气作用而降低甚至丧失,或掩盖某种食品成分的特殊气味(如鱼油腥味)以保持食品本身良好的感官性状,或降低因与其他食品成分相互作用而导致的生物活性下降,或通过缓释作用延长有关活性物质的有效周期,或有利于各食品成分在加工过程中的充分混合^[3-4].

亲脂性食品组分,如 ω -3多不饱和脂肪酸,是食品加工中的重要原料,对人体维持正常生理功能具有重要意义,能预防心血管疾病、促进智力发育和提高视力等^[5];但其易氧化变质,且水合性和流动性差,限制了在食品加工中的广泛应用.微胶囊化处理可以有效延缓亲脂性营养素的油脂氧化、掩盖油脂的腥异味、改变其物理形态及性能,使之成为性质稳定、取用方便、流动性好且营养价值高的优质食品原料^[6].近年来,国内外相关研究对亲脂性芯材进行微胶囊化过程中所采用的不同壁材种类进行了探索.研究表明,复合型壁材正逐渐取代单一型壁材,而各种壁材间的相互作用各异,在很大程度上决定着亲脂性芯材的包埋效率和微胶囊终产品的理化性质.理想的脂质微胶囊的壁材应具有良好的乳化性、成膜性、稳定性、溶解性、低粘度性、易干燥性和一定的抗氧化性,且价格合理、制备方便,与亲脂性芯材兼容

收稿日期: 2014-11-28

基金项目: 上海市教委创新项目(14YZ075);上海师范大学产学研项目(DCL201404);上海师范大学食品安全与营养创新团队发展计划(DXLI23);上海市大学生创新活动计划项目

通信作者: 金敏凤,中国上海市桂林路100号,上海师范大学生命与环境科学学院,邮编:200234,E-mail:mf-jin@shnu.edu.cn

性优良但不发生化学反应。

在亲脂性芯材微胶囊产品的制备过程中,乳浊液的制备和稳定性是决定产品性质的重要因素之一。不同壁材具有迥异的乳化性,即:降低水-油界面张力的能力不同,从而影响油水两相的界面性质和形成的水包油型乳浊液的稳定性和均一性,使脂质微胶囊产品的包埋效率、溶解性和结构特性发生改变。常用的壁材可分为:亲水胶体类,包括阿拉伯胶、卡拉胶、黄原胶、果胶等;碳水化合物类,包括变性淀粉、麦芽糊精、壳聚糖等;蛋白质类,包括大豆蛋白、乳清蛋白、酪蛋白酸钠、明胶等^[7],以及多种壁材复配而成的复合型壁材。以下将对这几类壁材的性质和相互作用,及其在食品亲脂性芯材微胶囊中的应用进行概述。

1 亲水胶体类

亲水胶体是一类使用广泛的天然高分子型微胶囊壁材,通常是指能溶于水,并在适当条件下能充分水合形成粘稠或凝胶溶液的大分子物质^[5]。亲水胶体按来源可分为植物提取物、海藻类提取物和微生物发酵代谢产物。各种单体胶和复配胶在食品脂质的微胶囊应用研究中已相当广泛,其增稠效果能有效增加体系的粘度,而大分子提供的空间位阻效应则进一步阻止乳浊液中分散相的运动,提升乳浊液体系的稳定性和均一性。当前不少研究致力于亲水胶体与其他种类壁材的复配,以期达到单体胶所不具备的优良性能^[7]。

1.1 阿拉伯胶

阿拉伯胶又称金合欢胶,是由多种单糖缩聚形成的聚合物^[5],是一种应用广泛的传统壁材。阿拉伯胶具有极强的降低水-油界面张力的能力,作为壁材具有良好的附着力和成膜性,其高度的水溶性及较低的溶液粘度,使之成为典型的“高浓低粘”型胶体^[6],可用于制备尺寸相对较小、溶解性较高的微胶囊,是亲脂性芯材微胶囊化的理想壁材。乳化稳定性是阿拉伯胶的另一优点,因此常在制备微胶囊时作为乳浊液的稳定剂^[8],且仅当其油脂的比例高于1时,才能充分发挥乳化性能。然而,有研究表明,含阿拉伯胶的微胶囊颗粒表面往往会有缺口,可能会降低芯材的抗氧化性和储藏周期。

阿拉伯胶可用于包裹油脂、短链脂肪酸、柠檬油精、亚麻籽油、鱼油、黑胡椒油和大蒜油等亲脂性食品原料^[9-13]。Shaikh等人通过检测黑胡椒油脂微胶囊中的主要成分,发现阿拉伯胶比改性淀粉(HiCap100)对黑胡椒油脂有更好的保护作用^[10]。Tonon等用阿拉伯胶包埋亚麻籽油,结果显示:高固形物含量和低载油量能有效提高微胶囊化效率和亚麻籽油的抗氧化性^[11]。

孙保华等采用喷雾干燥法对鱼油进行微胶囊化,研究表明:当阿拉伯胶、糊精、玉米糖浆的壁材比为3:3:4,芯材为壁材添加量的30%,乳化剂添加量为0.8%时,制得鱼油微胶囊产品的质量、溶解度和感官质量都较好^[12]。张郁松等以阿拉伯胶作壁材,加入20%的大蒜油为芯材,喷雾干燥制得大蒜油微胶囊,其外型近球形,粒径较小,溶解度较大^[13]。因此,阿拉伯胶可单独作为壁材使用,也可和其他壁材复配形成颗粒小、溶解度高的微胶囊产品。

1.2 卡拉胶

卡拉胶,又称角叉胶,是从红海藻等海生植物中提取的一种阴离子线性多糖类植物胶^[14]。其乳化性较差,但能与明胶、酪蛋白、大豆蛋白或乳清蛋白中的组分发生各种相互作用,增加体系粘度,从而有效提高微胶囊化产品的稳定性和致密性^[15-16]。因此,卡拉胶通常不单独作为微胶囊壁材使用,而是与其他种类壁材复配使用。俞毅舒研究发现,由添加2%卡拉胶的大豆蛋白和麦芽糊精复合壁材制备的微胶囊化大豆油,其微胶囊效率受乳浊液表观粘度、粒径和芯材挥发性影响,在对照组中(分别为阿拉伯胶、变性淀粉和羧甲基纤维素钠等)微胶囊效率最高^[9]。

1.3 果胶

果胶是从植物细胞壁中提取的天然多糖类高分子化合物,按其酯化度不同(以50%为区分值)可分为高甲氧基果胶和低甲氧基果胶^[5],其乳化性能受分子量大小、酯化度、蛋白质含量和pH等影响。在酸性条件下,使用少量(<4%)的果胶即可制备稳定性良好的乳浊液^[7]。果胶因受金属离子和环境因素影响较大,直接作为壁材的报道并不多。Drusch曾用甜菜果胶和葡萄糖浆复配的壁材包埋鱼油,指出甜菜果胶可替代牛奶蛋白和阿拉伯胶等传统壁材,作为一种新型壁材用于亲脂性食品组分的微胶囊化^[17]。

1.4 黄原胶

黄原胶是以淀粉为主要原料,经微生物发酵产生的阴离子细胞外多糖。低浓度的黄原胶即可大幅提高溶液粘度,阻碍分散相油滴的运动,因此对微胶囊乳液具有良好的稳定作用。研究报道,极低浓度的黄原胶会增加水-油体系分层的机会,但适当提高加入量可减缓乳浊液的分层。Sun等报道,在乳浊液中添加0.2%的黄原胶时会产生蛋白质絮凝,并引起乳浊液胶凝;而当添加量增加至0.5%时,乳浊液很少或几乎无絮凝现象,但其缺点是高浓度的黄原胶会加速乳浊液中亲脂性芯材的氧化^[18]。谢良等在茴香油喷雾干燥微胶囊化工艺的研究中,得出在壁材体系中添加黄原胶能增加体系的乳化稳定性,从而能提高微胶囊化效率^[19]。因此,黄原胶一般不单独作为微胶囊壁材使用,而与阿拉伯胶或蛋白质等成分复配形成复合型壁材。

2 碳水化合物类

碳水化合物通常具有优良的水溶性,并在高固体含量时大多仍具有较低的表现粘度^[7],被选作微胶囊壁材的主要有变性淀粉、麦芽糊精和壳聚糖等。小分子糖类因其吸湿性易引起产品的快速氧化,限制其在脂质微胶囊壁材领域的应用。除淀粉外,一般碳水化合物因不具备足够的乳化性而不单独使用,因此通常与蛋白质、亲水胶体等制成复配型壁材,以提高胶囊壁的致密性。

2.1 变性淀粉

变性淀粉是在淀粉固有特性的基础上,利用物理、化学或酶法改变淀粉的天然性质,增加其功能性或引进新的特性而制备的淀粉衍生物^[20]。现用于制备亲脂性芯材微胶囊的变性淀粉主要有辛烯基琥珀酸淀粉酯(n-OSA淀粉)和羧甲基淀粉(CMS)。

n-OSA淀粉是在淀粉链上引入疏水侧链(辛烯基),与亲水侧链(羧基)共同赋予淀粉以两亲性,使之具有良好的乳化性,是一种安全性较高的乳化增稠剂。此外,n-OSA还具有成膜性好、粘度低、易干燥、不易吸潮等优良特性^[21]。张燕萍等^[22]分别用低粘度n-OSA淀粉和阿拉伯树胶作色拉油微胶囊的对照壁材,结果表明:低粘度n-OSA淀粉在壁芯比为3:1,固形物含量为25%时获得较好的乳化效果,且随辛烯基取代度的增加,乳浊液的稳定性也相应增强,其制备的微胶囊贮存稳定性也增强;而阿拉伯树胶则适合更低的固形物含量。因此,n-OSA淀粉的粘度比阿拉伯树胶更低,更利于喷雾干燥工艺的进行,微胶囊化效率和产率均有所提高,且制备的微胶囊产品具有更优的微胶囊包埋特性和贮藏稳定性,作为一种新型壁材可部分或完全替代传统壁材。

CMS淀粉是玉米淀粉水解后经羧甲基化制备的变性淀粉,可部分用于替代阿拉伯胶作微胶囊壁材。与n-OSA淀粉类似,CMS淀粉的水溶液粘度低,部分取代阿拉伯胶能有效降低料液的粘度并保持良好的流动性,有利于提高料液的固形物浓度;但其乳化能力较差,若完全替代阿拉伯胶将不利于乳浊液的乳化稳定性,必须适当加大乳化剂用量^[11]。张燕萍等经正交试验优化工艺条件后得到,在乳化剂添加量和CMS取代量分别为0.8%和20%时能获得包埋效果较好的微胶囊产品^[23]。因此,利用CMS淀粉部

分替代传统壁材能有利于微胶囊的生产干燥工艺和产率的提升。

2.2 麦芽糊精

麦芽糊精(MD)又叫做水溶性糊精,是淀粉经过酶法控制低度水解的产物。麦芽糊精不能显著降低水-油界面张力,乳化性较差甚至无乳化作用,但具有成膜性好、干燥迅速、价格低廉等优点^[9],作为复配微胶囊壁材中的填充料能有效降低亲脂性物料的氧化速度。

葡萄糖当量或葡萄糖值(DE值)代表还原糖(以葡萄糖计)占糖浆干物质的百分比,是选择麦芽糊精的重要指标。DE值越高,则麦芽糊精的水解程度较高,含小分子糖较多,亲水性较强,更易吸水结块;而低DE值的麦芽糊精水解程度相对低,含有较多大分子糖,疏水性较强。在微胶囊壁材的选择中,通常使用DE值为15~20的麦芽糊精,可避免吸潮结块,并使制备微胶囊化产品的乳浊液具有较低的粘度,便于操作和保证微胶囊化效果^[24]。孙翠玲等^[25]通过比较不同DE值(7和14)的麦芽糊精与大豆蛋白复配,发现DE值高的麦芽糊精与大豆蛋白混合壁材的水溶液粘度值较小,且壁材比为1:1时微胶囊包埋率最高;同时,高DE值的麦芽糊精抗氧化性强。

张中义等^[26]用麦芽糊精分别与乳清浓缩蛋白(WPI)和n-OSA淀粉复配作复合壁材包埋共轭亚油酸,两种复配壁材的微胶囊产率和效率都较高,其终产品具有良好的氧化稳定性,并通过增加壁材中麦芽糊精比例,使微胶囊收缩加剧,内部空腔变小,可改善微胶囊的氧化稳定性。Shen等^[27]选用WPI分别和麦芽糊精(DE值分别为5,10,15)以及玉米糖浆(DE24)混合作复合壁材,喷雾干燥制备微胶囊;通过表面扫描电镜发现,微胶囊的表面特性与糖浆的类型以及WPI和糖浆的比例有很大关系:高DE值的糖浆对微胶囊的表面光滑度更有益。

2.3 壳聚糖

壳聚糖是甲壳素经浓碱处理脱乙酰基后的产物,目前多见于药物的包埋和缓释研究,在食品配料微胶囊方面的应用研究还不多见。在制备微胶囊时,通常需与其他组分交联使用,其微胶囊产品的性能通常受脱乙酰程度、粘度和分子量大小等因素的影响^[7]。低分子量的壳聚糖比高分子量的壳聚糖对芯材物质具有更好的保护作用^[28]。

3 蛋白质

蛋白质是亲水亲油的两亲性物质,具有良好的乳化性、成膜性和稳定性,因而被广泛应用于微胶囊壁材领域。蛋白质除具备优良的壁材特性外,还具有营养价值高、来源广泛、天然可再生和酶降解容易^[9]等优点。以蛋白质为壁材制备的微胶囊比碳水化合物型微胶囊具有更低的氧气通透性,能更好地延缓亲脂性芯材的氧化速度。通常可作为微胶囊壁材的蛋白质包括大豆蛋白、乳清蛋白、酪蛋白和明胶等^[7]。蛋白质的不同种类、质构特性及添加量,都会引起微胶囊产品包埋特性的显著差异;同时,因蛋白质对温度、pH、离子强度等环境因素的依赖和敏感性,其微胶囊效率和产率也会受影响。

3.1 大豆蛋白

大豆分离蛋白(SPI)是一组以植物性球蛋白为主体的混合物,在水中溶解性不佳,分子中的许多基团(尤其是疏水基团)未能充分暴露,在一定程度上影响乳化性。通过添加多糖,利用多糖与SPI的相互作用,可以改善其溶解性和乳化性^[9]。干燥后的SPI吸湿性比多糖差,因此在高湿度环境下,其微胶囊产品比阿拉伯胶更能保持结构的完整性,不易出现结块、发粘等现象^[29]。

朱迅涛等^[30]和李艳茹^[31]均以大豆分离蛋白、麦芽糊精、乳化剂等作为复合壁材,用喷雾干燥法分别制备微胶囊化鱼油和汉麻籽油微胶囊,发现SPI:MD的壁材比为1:1,芯壁比为1:1.5,乳浊液总固形物浓度为20%~25%(W/V)时,微胶囊化效率较高,制得的微胶囊外型近球型,粒径大小均匀,

溶解度高;而大豆分离蛋白具有良好的乳化性和成膜性,加入麦芽糊精后可提高微胶囊的致密性.谢良等在茴香油喷雾干燥微胶囊化工艺的研究中,得出以SPI与MD复合作壁材能降低体系的表面张力,形成足够的界面膜,制得稳定的乳浊液,获得高效率($>97\%$)和高得率($>90\%$)的微胶囊产品^[19].其中,在SPI添加量足以形成完整的界面膜后,增加用量会增加界面膜的强度,进一步增强体系的乳化稳定性.

3.2 乳清蛋白

乳清蛋白是干酪生产过程中的副产品,经浓缩精制得到的一类蛋白质.其在广泛的pH、温度和离子强度范围内都具有良好的溶解度,甚至在等电点即pH 4.6时仍能溶解于水^[32].乳清蛋白主要分为乳清浓缩蛋白(WPC)和乳清分离蛋白(WPI)两大类,WPI比WPC更适合作为微胶囊化过程中的乳化剂^[7].

Young等在10%~30%(wt)的WPI、WPC50和WPC75的壁材溶液中,分别加入壁材量的25%、50%和75%的乳脂,乳化后喷雾干燥,发现3种壁材的微胶囊中,WPC50为壁材的产品包埋效率比WPI高,而WPC75的包埋效率最低^[33].李佳宁等以乳清蛋白和麦芽糊精为壁材制备微胶囊化黑芝麻油,结果表明,乳清蛋白与麦芽糊精质量比为7:4,添加1.5%的吐温80,芯壁比为2:3时微胶囊化产率和包埋效率较为理想^[34].魏巍等利用正交试验和响应面分析确定了1,3-二油酸-2-棕榈酸结构油脂微胶囊的最佳工艺条件为:壁材中乳清蛋白与麦芽糊精的配比为2:1,芯壁比为1:2,乳化剂用量为0.3%,固形物含量为25%,在此条件下得到的微胶囊化效率最佳^[35].因此,乳清蛋白相比大豆蛋白,其在复合壁材中的优化比例需求更高.

3.3 明胶

明胶是一种动物来源的蛋白质,由动物的皮、腱、骨等组织中的胶原部分水解而成.明胶具有乳化性和成膜性好、易溶于水的性质^[36],满足微胶囊壁材的要求.但是,由于明胶较好的水溶性,以单一明胶为壁材的微胶囊产品会产生芯材过快释放的现象^[37].关于明胶作为微胶囊壁材的研究,多数采用复相凝聚法制备.舒铂等以明胶和蔗糖为复合壁材,对脂溶性的番茄红素提纯物进行包埋,得出明胶与蔗糖比3:7,芯材比1:4时,所得微胶囊效率较佳^[36].

4 总结与展望

由上述微胶囊壁材的应用来看,单一型壁材因乳化和粘度等理化性质的限制,在包埋亲脂性芯材时通常不能获得最佳的微胶囊功能特性.因而,在实际应用中,常常采用复合壁材,即:将两种或两种以上的壁材按一定比例复配形成的一种新壁材,从而达到互补或协同增效的作用^[6].在众多成熟及新兴的微包裹壁材中,以还原性多糖和蛋白质、多肽或者氨基酸为原料制成的麦拉德式微胶囊壁材是近年来快速发展的一类壁材,具有水溶性、稳定性、分散性和包埋率优良的优点^[38-40].研究表明,麦拉德反应能够改善蛋白质的溶解性,提高蛋白质的乳化性能,其产物具有良好的抗氧化功能并可以在油相外形成一层稳定的保护壳^[37].因此,该类复合壁材可能会成为包埋亲脂性芯材的优选壁材,为该类微胶囊制品的开发和利用创造更广阔的市场前景.

参考文献:

- [1] 王芳,田建文.微胶囊技术在食品抗氧化剂中的应用研究进展[J].Food & Machinery,2010,26(4):149-152.

- [2] KHARE A. Nanoencapsulation in Food 2012 IFT Pre-Annual Meeting Short Course on "Microencapsulation in Food Applications"[C]. Las Vegas ,NV ,June 24-25 2012.
- [3] GAONKAR A. Introduction to Microencapsulation 2012 IFT Pre-Annual Meeting Short Course on "Microencapsulation in Food Applications"[C]. Las Vegas ,NV ,June 24-25 2012.
- [4] GHARSALLAOUI A ,ROUDAUT G ,CHAMBIN O ,et al. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: an overview [J]. Food Res Intl 2007 ,40:1107 - 1121.
- [5] 高彦祥. 食品添加剂[M]. 北京: 中国轻工业出版社 2011.
- [6] 康吟, 陶宁萍. 鱼油微胶囊化壁材的分类及应用[J]. 北京水产 2006(4):49 - 52.
- [7] 杨佳, 侯占群, 贺文浩, 等. 微胶囊壁材的分类及其性质比较[J]. 食品与发酵工业 2009(5):122 - 127.
- [8] 王俊强, 顾震, 马天贵, 等. 微胶囊壁材的选择及其在食品工业中的应用[J]. 江西科学 2008(2):242 - 244 ,247.
- [9] 俞毅舒. 复合壁材对微胶囊化大豆油的性能影响[D]. 无锡: 江南大学 2013.
- [10] SHAIKH J ,BHOSALE R ,SINGHAL R. Microencapsulation of black pepper oleoresin [J]. Food Chemistry 2006 ,94(1):105 - 110.
- [11] TONON R V ,GROSSO C R F ,HUBINGER M D. Influence of emulsion and inlet temperature on the microencapsulation of flaxseed oil by spray dryong [J]. Food Research International 2011 ,44(1):282 - 289.
- [12] 孔保华, 郑冬梅, 林淑英, 等. 鱼油微胶囊技术的研究[J]. 食品工业科技 1999(5):8 - 10.
- [13] 张郁松, 韩建军. 大蒜油喷雾干燥微胶囊工艺的研究[J]. 中国调味品 2011(5):57 - 59.
- [14] 金征宇, 顾正彪, 董群义, 等. 碳水化合物化学、原理及应用[M]. 北京: 化学工业出版社.
- [15] 黄英雄, 华聘婷. 用于油脂微胶囊化一些壁材[J]. 粮食与油脂 2002(1):26 - 29.
- [16] 伍胜, 克那汉素. 卡拉胶与食品中组分的反应特征和机理[J]. 食品科学 2000 ,21(12):206 - 209.
- [17] DRUSCH S. Sugar beet pectin: A novel emulsifying wall component for microencapsulation of lipophilic food ingredients by spray-drying [J]. Food Hydrocolloids 2007 ,21(7):1223 - 1228.
- [18] SUN C ,GUNASEKARAN S ,RICHARDS M P. Effect of xanthan gum on physicochemical properties of whey protein isolate stabilized oil-in-water emulsions [J]. Food Hydrocolloids 2007 ,21(4):555 - 564.
- [19] 谢良, 许时婴, 王璋. 茴香油喷雾干燥微胶囊化工艺的研究[J]. 中国调味品 1997(5):16 - 19 ,28.
- [20] 张燕萍. 变性淀粉制造与应用[M]. 2版. 北京: 化学工业出版社 2007.
- [21] 柳志强, 杨鑫, 高嘉安, 等. 辛烯基琥珀酸淀粉酯研究进展[J]. 食品与发酵工业 2003 ,29(4):81 - 85.
- [22] 张燕萍, 龚臣. 低粘度辛烯基琥珀酸淀粉酯作微胶囊壁材的研究[J]. 食品科学 2006(1):148 - 151.
- [23] 张燕萍, 刘秋育. 变性淀粉作微胶囊壁材研究初探[J]. 食品工业科技 1998(1):18 - 20.
- [24] 鲍鲁生. 食品工业中应用的微胶囊技术[J]. 食品科学 1999(9):6 - 9.
- [25] 孙翠玲, 薛梅, 张美玲, 等. 不同壁材选择对姜油树脂微胶囊化的影响[J]. 食品研究与开发 2012(2):98 - 100.
- [26] 张中义, 张峻松, 张文叶, 等. 复合壁材共轭亚油酸微胶囊的制备及表征[J]. 中国粮油学报 2012(1):70 - 74.
- [27] SHEU T Y ,ROSENBERG M. Microstructure of microcapsules consisting of whey proteins and carbohydrates [J]. Food Science 1998 ,63(3):491 - 494.
- [28] BUSTOS R ,ROMO L ,YANEZ K ,et al. Oxidative stability of carotenoid pigments and polyunsaturated fatty acids in micro-particulate diets containing krill oil for nutrition of marine fish larvae [J]. Journal of Food Engineering 2003 ,56(2-3):289 - 293.
- [29] RASCON M P ,BERISTAIN C I ,GARCIA H S ,et al. Carotenoid retention and storage stability of spray-dried encapsulated paprika oleoresin using gum Arabic and Soy protein isolate as wall materials [J]. Food Science and Technology 2011 ,44(2):549 - 557.
- [30] 朱迅涛, 许时婴. 以大豆蛋白制备微胶囊化鱼油的研究(I)——微胶囊化鱼油的壁材选择 [J]. 中国油脂 1998(5):31 - 34.
- [31] 李艳茹. 汉麻籽油喷雾干燥微胶囊工艺的研究[J]. 中国粮油学报 2011(12):60 - 62 ,68.
- [32] 王璋. 食品化学[M]. 1版. 北京: 中国轻工业出版社 1999.
- [33] YOUNG S L ,SARDA X ,ROSENBERG M. Microencapsulating properties of whey proteins. I. Microencapsulation of anhydrous milk fat [J]. Journal of Dairy Science 1993 ,76(10):2868 - 2877.

- [34] 李佳宁,周惠明,朱科学.微胶囊化黑芝麻油的制备及性质研究[J].中国油脂,2009(9):5-9.
- [35] 魏巍,李敏,李春,等.1,3-二油酸-2-棕榈酸结构油脂微胶囊的研制[J].食品工业科技,2013(20):294-301.
- [36] 舒铂,赵亚平,于文利.以明胶和蔗糖为复合壁材的番茄红素微胶囊化研究[J].食品工业科技,2004(9):52-54,58.
- [37] AUGUSTIN M A, SANGUANSRI L, BODE O. Maillard reaction products as encapsulants for fish oil powders [J]. Journal of Food Science, 2006, 71(2): E25-E32.
- [38] CHOI K, RYU J, KWAK H S, et al. Spray-dried conjugated linoleic acid encapsulated with maillard reaction products of whey proteins and maltodextrin [J]. Food Sci Biotechnol, 2010, 19(4): 957-965.
- [39] ZHONG Q, TIAN H, ZIVANOVIC S. Encapsulation of fish oil in solid zein particles by liquid-liquid dispersion [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2009, 33(2): 255-270.
- [40] SHAH B, KEDA S, DAVIDSON P M, et al. Nanodispersing thymol in whey protein isolate-maltodextrin conjugate capsules produced using the emulsion-evaporation technique [J]. Journal of Food Engineering, 2012, 113(1): 79-86.

The recent advances on carrier materials for microencapsulating lipophilic cores

JIN Minfeng, QIU Gan, LI Wenya, XIA Xue

(College of Life and Environmental Sciences, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China)

Abstract: Lipophilic ingredients, such as polyunsaturated fatty acids, play an important role in industrialized foods to fortify the nutrients. However, these materials are normally sensitive to oxygen, light or heat to be oxidized and hard to flow and mix within the bulk food due to the hydrophobic nature. Microencapsulation of lipophilic materials could effectively extend their shelf lives, mask unsatisfied flavors, change their physicochemical properties and enhance the mixing capacities. This work reviewed the different carrier materials applied in microencapsulating the lipophilic ingredients and discussed their characteristics and effects on encapsulation efficiencies and release profiles of lipophilic cores.

Key words: lipophilic core materials; microcapsules; carriers

(责任编辑:顾浩然)