

基础研究

食品中胆固醇的微胶囊脱除技术

鲁红军 (中国肉类食品综合研究中心, 北京 100075)

摘 要 本文简介了胆固醇的生理功能和脱除技术, 着重讨论了微胶囊方法脱除胆固醇的原理、壁材物质的选择以及工艺操作中的影响因素。

关键词 胆固醇 微胶囊技术 脱除 壁材物质 芯材物质

随着人们生活水平的日益提高, 各国食品学家对日常的膳食平衡给予极大的关注。1994 年开始实施的“美国食品营养标签法规”中, 胆固醇被列为强制性标示内容之一, 美国的这一举措, 在世界各国引起普遍重视。为了满足人们健康和饮食的需要, 三低(低热量、低脂肪、低胆固醇)食品的研究已成为各国食品界竞相关注的热门课题。据有关资料报道, 近年来各国食品学家采用一系列高科技生化手段, 对食品中的胆固醇脱除技术进行了深入的研究, 积累了许多可以借鉴的宝贵经验。降低食品中的胆固醇含量, 并在此基础上研制开发出低胆固醇健康食品, 是急需填补的中、老年消费群体的市场空白。

1 胆固醇概况

1.1 胆固醇的生理功能

生物体内以环戊烷多氢菲核为骨架的物质称为固醇类物质, 动物体内的固醇类物质统称为胆固醇, 而植物组织中的此类物质各有自己的名称(例: 谷物中的谷固醇, 豆类中的豆固醇, 菜籽中的菜油醇等)。固醇类物质主要以复合形式而存在, 也有少量游离态。

胆固醇是人体中重要的营养素, 具有一系列重要的生理功能。胆固醇在人体免疫功能方面扮演了重要的角色, 尤其对肿瘤免疫具有不可忽视的作用。血液中的胆固醇是维持白血球生存不可缺少的物质, 而白血球具有辨别异常细胞的特殊功能, 能够杀死或吞噬癌细胞, 使癌细胞丧失活性或导致死亡, 把肿瘤扼杀在萌芽之中。如果血液中的胆固醇含量过低, 白血球对癌细胞的辨别能力和杀伤能力就会显著减弱。除此而外, 胆固醇是细胞膜和细胞的重要组成部分, 可以转换成肾上腺素和皮质激

素、性激素, 用以调整人体的正常代谢。这两种激素还能转化为维生素 D 和胆汁酸, 维生素 D 可以维持人体钙质的新陈代谢, 促进人体骨骼的发育, 胆汁酸具有助消化的功能。

胆固醇也有不利于人体的一面。血液中的胆固醇过高会引起高血压, 诱发粥样动脉硬化和冠心病, 而胆道里的胆固醇过多, 容易沉积成胆结石。成年人体内大约含有 150g 左右的胆固醇, 每天大约以代谢方式排出体外 700~1500mg。胆固醇除了从食品中摄取之外, 人体亦可以自行合成。但从饮食中摄取的胆固醇含量过高时, 会导致血清中胆固醇含量偏高。胆固醇与甘油三酯通称为血脂, 由于血脂不能溶解于水溶性的血浆中, 因而需要在体内与血浆蛋白结合成亲水性的脂蛋白, 以便提高血脂在血浆中的溶解度。人体中低密度脂蛋白所含的胆固醇量约占 60%~70%, 高密度脂蛋白中的胆固醇含量约占 20%~30%。低密度脂蛋白与胆固醇过度结合, 容易沉积在血管的内壁上, 由此诱发心血管方面的疾病。而高密度脂蛋白具有清除渗入血管壁上的胆固醇的功能, 有益于人体的健康需要。医学报告指出: 人体血液中的总胆固醇浓度应该 $\leq 200\text{mg/dL}$ (即每 100ml 血液中胆固醇含量应 $\leq 200\text{mg}$)。

1.2 食品中的胆固醇含量

食品中的胆固醇主要来源于动物性食品, 其中动物内脏和海产品含量较高。但是, 胆固醇含量最为丰富的食品当属禽蛋蛋黄, 其含量高达: 1200~1400mg/100g (可食部分) 见表 1。

2 胆固醇脱除技术综述

据文献报导, 食品中胆固醇的脱除技术门类繁多, 大致可以归纳为生化法、化学法和物理法。无

表 1 日常食物中的胆固醇含量 (mg/100g)

食物	胆固醇
人乳	25.0
牛乳	12.3
全蛋	380-550
蛋黄	1200-1400
牛油	240
牛肉	70
牛肝	360
牛肾	380
猪油	86
猪肉	65
猪肝	340

论采用何种方法，既要保证胆固醇含量的脱除效率，又要防止禽蛋食品的营养结构不受破坏，还要兼顾技术本身产业化拓展的可行性。具体分类见表 2。

表 2 胆固醇脱除方法

方法分类	方 法 原 理
品种改良	改变遗传基因，改变禽种的体内胆固醇的水平。
饲料调配	喂养特殊饲料，降低禽种产卵中的胆固醇水平。
提 取	利用某些化学试剂对于胆固醇的特殊亲和性，将胆固醇提取出来，脱离原食品体系。
吸 附	利用一些吸附剂（活性炭或活性硅藻土或硅胶）吸附脱除食品中的胆固醇含量。
超临界萃取	利用超临界 CO ₂ 的高效萃取特性，脱除食品中的胆固醇含量。
微生物酵素	利用自然界中一些可以分解胆固醇的微生物酵素：胆固醇氧化酵素 (cholesterol oxidase) 和胆固醇还原酵素 (cholesterol reductase)，在这些酵素的作用下，使食品中的胆固醇分子得以分解，从而达到降低胆固醇的目的。
微胶囊包埋	利用壁材物质对胆固醇的特殊选择性，在一定条件下，与食品中的胆固醇分子形成包埋复合物，然后通过高分离手段使复合物脱离原承载体系，从而实现胆固醇的高脱除效果。
皂角苷吸附	利用含有皂角苷成分的纯天然物质，吸附脱除食品中胆固醇含量。

上述方法各有利弊，有些方法受到脱除率的限制或其它营养成分不同程度的损失或成本较高，操作起来有一定难度等因素的制约，致使科研成果一时难以突破实验室研究的局限。在以上列举的诸多方法，微胶囊法是一种便捷、高效，易于进行产业化拓展的脱除技术。

3 微胶囊技术

微胶囊技术的发展迄今已有六十多年的历史，直到最近二十年才形成了系统的微胶囊技术。这门技术广泛应用于医药工业，后来扩展到食品领域，我国的食品工业从八十年代中期引进这一概念。最近十年来微胶囊技术迅速发展，已成为食品工业中四大高新技术之一。尽管目前微胶囊技术已经日趋成熟，但由于生产成本较高，壁材物质的食品安全性受限，缺乏与之相匹配的工业化生产设备等原因，仍然是这项技术的推广和应用过程中难以逾越的障碍。

3.1 微胶囊技术原理

所谓微胶囊包埋技术，即选择化学结构上具有外壳结构的天然高分子物质，在一定的条件下，将食品中某些需要改变性状，或保持特定性能，或需脱离原承载体系的组分包合其内，形成直径为 5~200μm 的微小胶囊，从而达到改良食品性状的目的。微胶囊外壳材料称为壁材物质，它们必须是性能稳定，具有一定的机械强度，不与芯材物质发生反应，符合食品卫生要求的各种可食性原料（明胶、植物胶、淀粉类物质）。而包埋在壁材物质中的物质称为芯材，它们可以是食品添加剂、营养素或风味物质。在食品工业生产中，凡属于食品中的必要成分或不良成分或需添加成分的材料，如果需要改变某些性状或保持某些特定性能，都可以作为微胶囊的芯材物质。

3.2 微胶囊法脱除胆固醇

食品中胆固醇的微胶囊脱除技术，建立在天然高分子壁材物质对胆固醇分子具有特殊选择性的基础上，经过最优化条件的实验探索，形成相对稳定的包埋复合物，然后利用高分离手段，使复合物脱离原承载体系，从而实现其它方法所难以达到的高脱除效率。

用微胶囊法脱除蛋黄中的胆固醇成分，其壁材物质可选用 β-环状糊精 (β-CD)。β-CD 为七个葡萄糖分子的环状糊精，又名夏丁格糊精，其环状立体结构形成一个中性疏水性筒状空腔，环筒中心直径为 7.5Å。β-CD 七个糖基上的羟基都排列在环的外侧，呈亲水性；而环筒内腔呈疏水性，非极性的疏水空腔在亲和力的作用下，可以与分子规格相匹配的疏水性客体分子或客体分子的疏水基团形成稳定的超分子包结化合物。由于胆固醇属于这样的非极性疏水化合物，并且分子结构与 β-CD 的疏水性空腔相适宜，因此作为壁材物质的 β-CD 对具有芯材特性的胆固醇分子

具有一定的亲和作用,从而产生最佳包埋效果,形成紧密的复合物,在低温下形成沉淀。

微胶囊技术在食品领域的具体应用中,除了考察壁材物质对芯材分子的包埋效果外,还要求壁材物质必须具有一定的强度和稳定性,不与芯材发生反应,具有一定耐挤压、耐摩擦、耐高温等特性,并且符合食品卫生法的要求。

3.3 影响因素

3.3.1 分散度

由于蛋黄液是具有一定颗粒的粘稠状物质,可视为由各种不同物质均匀分布于卵黄蛋白溶液的分散体系,其中胆固醇含量在 900mg~1500mg/100g 范围内。颗粒物质中约有 70%的卵黄脂磷蛋白、16%的卵黄高磷蛋白和 12%的低密度脂蛋白。卵黄高磷蛋白束包围着低密度脂蛋白,并与卵黄脂蛋白胶束相连构成了颗粒中的电子密集亚单元,其中磷酸基团与钙离子的桥接作用是颗粒中蛋白质物质缔合的根本原因。在实际应用中可采取提高离子强度的方法加强体系中颗粒物质的解聚能力,致使蛋黄中的脂蛋白胶束急剧分散,确保包埋过程的顺利进行。

3.3.2 稀释度

由于包埋过程是在壁材物质和芯材物质两分子之间的一定部位实现对接,因此必须满足两者在三维空间中的自由运动。当处于翻转运动状态的壁材分子的环筒内腔与芯材分子的疏水端相遇时,便能成功地实现两分子间的对接。因此,满足两分子在三维空间中自由运动的条件,便成为微胶囊技术的必要条件,而满足这种运动形式的最好方法就是提高反应体系的稀释度。

3.3.3 包合度

β -CD 七个糖基上的羟基都排列在环的外侧,因此呈亲水性;而 β -CD C₂ 和 C₅ 上的氢原子及成苷的氧原子构成环筒的内壁,使内腔呈疏水性,这种内疏外亲的结构形成,极易吸附非极性的亲

油物质而形成包合物,从而形成了 β -CD 的微胶囊性质。由于胆固醇为非极性化合物,因此 β -CD 的憎水性空腔为其提供了一定的亲和力,空腔内径又恰好符合胆固醇的分子结构,可以形成紧密的包埋复合物。

3.3.4 摩尔比

β -CD 与胆固醇形成既不溶于水又不溶于油脂的中性包合物,这是包合物脱离反应体系的化学前提。在包埋过程中,其效果主要取决于包埋剂与蛋黄中胆固醇的接触程度。蛋黄中胆固醇脱除率与 β -CD 与胆固醇之间的最佳摩尔比直接相关。

3.3.5 温度

由于壁材物质分子结构中的某些羟基易形成分子内氢键,致使其溶解性受到一定的限制。壁材物质的低水溶性不利于包埋反应的正向进行,必须通过提高温度来加强溶解效果。然而,包埋反应本身是一个放热过程,提高温度不利于反应的正常进行。因此,温度条件是包埋过程中至关重要的条件之一。

参考文献

- 1 Process for the removal of Cholesterol from Egg yolk (US Patent)
- 2 Process for the Production of egg yolk with reduced Cholesterol content (US Patent)
- 3 Method for Reduction of Cholesterol in Egg yolk (US Patent)
- 4 Smith DM. Cholesterol Reduction in liquid Egg yolk using β -Cyclodextrin (Journal of Food Science, 1995, No 4)
- 5 Removed of Cholesterol form Egg yolk by β -Cyclodextrin (SK J. R. J I)
- 6 曹劲松. β -CD 包合法脱除食品中胆固醇的工艺探讨
- 7 林宜慧. 以 β -CD 移除蛋黄中的胆固醇条件探讨

Application of Microcapsulation Technology for Food Cholesterol Elimination

Lu Hongjun

ABSTRACT The physiological function and elimination technique are introduced. Emphases are put on the theory for microcapsulation, coating material selection and affecting factors during processing.

KEY WORD cholesterol ; microcapsule technology ; elimination; coating material ; core material