

# 淀粉改性在药物递送中应用的研究进展

蔡群飞 白雪 王利军<sup>通讯作者</sup>  
(长江大学生命科学学院 湖北荆州 434025)

**摘要:** 淀粉作为一种来源广泛、生物相容性优异、可生物降解且成本低廉的天然高分子,在药物递送系统领域具有巨大的应用潜力。本文系统综述了近年来淀粉改性技术在药物递送中的研究进展,重点阐述了物理改性、化学改性和生物改性等方法对淀粉性能的优化作用,深入探讨了改性淀粉在纳米粒、微球、水凝胶、薄膜等剂型中的应用特点,分析了其在口服、注射、经皮等给药途径中的优势与挑战,并对未来发展方向进行了展望,为新型药物递送系统的开发提供理论参考。

**关键词:** 淀粉改性; 药物递送; 生物材料; 纳米载体; 控释系统; 生物相容性

## 引言

药物递送系统是现代药剂学研究的重要领域,其核心目标是在正确的时间、以准确的剂量将药物递送到特定的靶部位,从而提高药物治疗效果,减少副作用,改善患者依从性。理想的药物载体材料应具备良好的生物相容性、可降解性、载药能力以及对体内环境的响应特性。在众多候选材料中,天然高分子因其来源广泛、可再生、生物相容性高和毒性低等特点受到广泛关注。淀粉是植物中最重要的碳水化合物储存形式,由直链淀粉和支链淀粉通过糖苷键聚合而成。作为一种传统的药用辅料,淀粉已被长期用作片剂的填充剂、崩解剂和粘合剂。其优势十分显著:原料来源丰富(玉米、马铃薯、木薯等)、成本低廉、无毒、具有良好的生物可降解性和生物相容性,被美国食品药品监督管理局(FDA)认定为公认安全(GRAS)物质。

### 一、淀粉改性方法及其对药物递送性能的优化

#### 1. 物理改性法

通过改变淀粉的物理结构来优化其性能是一种有效的改性方法。例如,可以利用高温处理技术对淀粉进行改性,在高温条件下,淀粉颗粒内部的水分迅速汽化,导致颗粒发生显著膨胀和糊化现象,最终形成具有丰富孔隙的多孔网络结构。这种特殊的多孔结构能够显著增加淀粉对药物的负载容量和承载效率。更重要的是,这种经过高温处理的淀粉在进入人体消化系统后,由于其特殊的物理结构特性,能够实现药物的缓慢释放过程,从而有效延长药物在体内的作用时间,提高药物的治疗效果。此外,还可以采用机械研磨的物理改性方法,通过高强度的机械剪切力作用,将淀粉颗粒的粒径显著减小至微米甚至纳米级别,这样不仅大幅提高了淀粉的比表面积,还能增强淀粉分子与药物分子之间的相互作用

力,从而显著改善药物在淀粉载体上的吸附性能和包裹效果,为药物递送系统的优化提供了新的可能。

#### 2. 化学改性法

这是一种在药物载体领域广泛应用且效果显著的化学改性技术手段。以淀粉的酯化改性为例,通过特定的化学反应过程,在淀粉分子链上引入酯基等官能团,可以显著改变淀粉的物理化学性质。这种改性方法能够根据实际需求,精确调控淀粉的亲水性或疏水性特征,从而使其更好地适应不同极性药物的递送要求。经过酯化改性的淀粉载体不仅能在胃液等酸性环境或肠液等碱性环境中维持结构稳定,还能通过官能团的智能响应实现药物的精准控释和靶向递送。此外,交联改性作为另一种关键的化学修饰方法,通过使用戊二醛等交联剂在淀粉分子间构建三维网状交联结构,这种改性方式可以大幅提升淀粉基质的机械强度和热稳定性,有效避免药物在储存和运输过程中因载体材料降解而导致的活性成分泄漏问题,确保药物能够完整无损地递送至目标病灶部位,显著提高药物治疗效果。

#### 3. 生物改性法

近年来,随着生物技术的快速发展,借助生物手段对淀粉进行功能性改性已成为食品科学和医药领域的研究热点。通过利用各种酶制剂对淀粉分子进行精确修饰,科研人员能够特异性地调控淀粉的分子结构特征和理化性质。以淀粉酶水解为例,该技术可以精准控制淀粉分子的断裂位点,从而获得具有特定链长分布和分支度的淀粉片段。这些经过酶法修饰的淀粉片段因其独特的分子结构特征,展现出优异的生物相容性和靶向识别能力,使其成为理想的药物载体材料。此外,现代基因工程技术的发展为淀粉改性提供了新的途径,通过对植物淀粉合成相关基因的定向改造,可以使其合成具有特殊分子

结构和功能特性的淀粉品种。这些基因工程淀粉不仅保持了天然淀粉的安全性,还具备更优异的药物负载能力和缓释性能。这种基于生物技术的淀粉改性方法,不仅显著提高了药物的治疗效果和生物利用度,还能有效降低传统药物载体可能带来的毒副作用,为新型药物递送系统的开发提供了重要材料基础。

## 二、基于改性淀粉的药物递送载体

### 1. 纳米粒载体

将改性淀粉作为载体材料制备成纳米粒,由于其独特的纳米级尺寸效应,所获得的纳米粒具有极小的粒径和极大的比表面积。这种结构特性显著提高了药物的负载能力,为药物递送系统提供了更优越的性能。在药物递送过程中,纳米粒载体主要通过两种靶向机制实现精准递送:被动靶向和主动靶向。被动靶向机制依赖于纳米粒在体内的自然分布特性,特别是利用肿瘤组织特有的病理学特征,如血管内皮间隙增宽形成的高通透性以及淋巴回流受阻导致的滞留效应(即EPR效应),使得纳米粒能够选择性地聚集和富集。而主动靶向策略则更为精确,通过在纳米粒表面共价修饰或物理吸附特异性的靶向分子,如单克隆抗体、多肽配体、糖链或叶酸等生物活性分子,使纳米粒能够主动识别并与病变细胞表面过表达的特定受体发生高亲和性结合,从而显著提高药物的靶向递送效率和治疗效果。这两种靶向方式的协同应用,可以克服传统给药系统的局限性,实现更精准、更有效的疾病治疗。

### 2. 微球载体

改性淀粉微球作为一种新型的药物递送系统载体,因其独特的材料特性在医药领域得到了广泛应用。这类微球以天然淀粉为原料,经过物理或化学改性处理后,不仅保留了淀粉原有的生物相容性优势,还显著提升了其作为药物载体的性能表现。在生物安全性方面,改性淀粉微球具有优异的生物可降解性,能够在体内被安全代谢,不会产生毒性积累。目前,微球的制备工艺已经发展出多种成熟的技术路线,其中乳化-溶剂挥发法因其操作简便、成本低廉而成为实验室常用方法,而喷雾干燥法则因其连续化生产能力更适合工业化生产。研究人员通过精确调控制备过程中的工艺参数(如搅拌速度、温度、溶剂比例等)和配方组成(如淀粉改性程度、交联剂量等),可以实现对微球粒径分布、表面形貌特征以及内部孔隙结构的精准控制。这种可控性使得微球能够针对不同药物的特性进行优化设计,无论是亲水性药物还是疏水性药物,都能通过适当的包埋技术实现高效

载药。更重要的是,通过调控微球的结构特性,可以实现药物从载体中的缓释行为,从而达到延长药物作用时间、减少给药频率、提高治疗效果的目的,为临床治疗提供了新的技术手段。

### 3. 水凝胶载体

改性淀粉水凝胶是一种具有独特三维网络结构的高分子智能材料,其分子链间通过物理或化学交联形成稳定的空间网状架构。这种特殊结构赋予水凝胶优异的吸水性能,能够吸收相当于自身重量数十倍甚至上百倍的水分,同时仍能维持良好的机械强度和形状稳定性。作为药物递送载体,水凝胶展现出显著的智能响应特性,能够根据外界环境刺激(如温度波动、pH值变化、离子强度等)动态调节其溶胀行为和网络结构。以肿瘤治疗为例,当水凝胶载体接触到肿瘤组织特有的酸性微环境(pH约6.5-7.0)时,其分子链上的pH敏感基团会发生质子化作用,导致网络结构膨胀或解离,从而精准释放所装载的抗肿瘤药物。更值得注意的是,通过与其他功能性生物材料(如纳米颗粒、生物大分子、导电聚合物等)进行复合改性,可以进一步优化水凝胶的载药量、缓释性能和靶向性,构建出多功能集成的药物递送系统,为精准医疗和个性化治疗提供强有力的技术支持。

## 三、在不同给药途径中的应用

### 1. 口服给药

改性淀粉载体作为一种新型的口服给药系统,在药物递送领域展现出显著的应用优势。这种载体材料最突出的特点在于其能够在胃部酸性环境中形成稳定的保护屏障,有效防止药物活性成分被胃酸降解或过早释放。当载药系统进入肠道后,在碱性环境刺激下,改性淀粉分子结构会发生特异性变化,从而实现药物的精准释放。以微球制剂为例,研究人员通过特殊工艺将改性淀粉制备成粒径均匀的微球载体,这些微球在胃酸条件下保持结构完整,而到达肠道后则会在pH值升高的触发下逐步溶蚀崩解,不仅实现了药物的靶向释放,还能通过控制微球粒径和交联度来调节药物释放速率,显著提高了药物的生物利用度。

### 2. 注射给药

对于注射给药途径而言,改性淀粉纳米粒载体系统展现出诸多优势,是一种极具应用前景的理想选择。首先,纳米粒因其极小的粒径特性(通常在1-1000纳米范围内),能够轻松通过毛细血管壁进入血液循环系统,从而高效地分布至全身各个靶组织和器官。其次,通过精密的表面修饰技术,可以在改性淀粉纳米粒上连接特定

的靶向分子或配体(如抗体、多肽等),使其具备主动靶向功能,能够特异性识别并结合病变部位的生物标志物,显著提高药物在病灶区域的富集浓度。以肿瘤治疗为例,当将负载有化疗药物的改性淀粉纳米粒通过静脉注射进入体内后,这些纳米粒会借助增强渗透和滞留效应(EPR效应)以及表面靶向基团的引导作用,选择性地聚集在肿瘤组织内。这种靶向递送方式不仅能显著增强抗癌药物对肿瘤细胞的杀伤效果,还能最大限度地降低药物对健康组织的毒副作用,实现治疗精准化和副作用最小化的双重目标。

### 3.局部给药

在局部药物递送领域,改性淀粉水凝胶载体展现出卓越的性能表现。这种生物相容性良好的水凝胶载体系统具有多种给药方式,既可以直接均匀地涂抹在皮肤表面形成保护膜,也可以作为创面敷料覆盖在伤口上。针对各类皮肤疾病的治疗需求,水凝胶载体的三维网络结构能够有效包载药物分子,并通过溶胀-扩散机制实现药物的持续缓慢释放,确保药物稳定地作用于皮肤病变区域,维持治疗部位的有效药物浓度,从而发挥长效治疗作用。在创伤修复过程中,水凝胶载体不仅能够吸收创面渗出液,还能锁住水分,为伤口创造理想的湿润愈合环境,这种微环境有利于促进表皮细胞的增殖和定向迁移。

### 四、挑战与未来展望

尽管基于改性淀粉的药物递送系统展现出了巨大的潜力,但目前仍面临着一些挑战。首先,在改性淀粉的制备过程中,其质量控制和标准化是一大难题。不同的制备方法和工艺参数可能会导致改性淀粉的性质存在较大差异,从而影响药物递送载体的性能和稳定性。例如,化学改性过程中可能会引入杂质,这些杂质可能会对药物的活性产生影响,甚至引发不良反应。其次,改性淀粉载体与药物之间的相互作用机制还不完全清楚。目前对于药物在载体中的负载、释放机制等方面的研究还不够深入,这使得难以精准地调控药物的释放速率和靶向性。再者,改性淀粉载体在体内的长期安全性和生物相容性还需要进一步评估。虽然淀粉本身具有良好的生物相容性,但经过改性后的淀粉在体内的代谢过程和潜在影响还需要更全面的研究。

未来,随着科学技术的不断发展,基于改性淀粉的药物递送系统有望取得更大的突破。在制备技术方面,

有望开发出更加高效、精准且可标准化的改性方法,确保改性淀粉的质量稳定。同时,借助先进的分析技术,深入研究改性淀粉载体与药物之间的相互作用机制,实现对药物释放的精确控制。在安全性研究方面,通过开展更多的长期动物实验和临床试验,全面评估改性淀粉载体在体内的安全性和有效性。

### 五、结论

淀粉作为一种天然高分子,通过适当的改性处理,可发展成为性能优异的药物载体材料。本文系统综述了淀粉改性技术在药物递送中的应用进展,表明通过物理、化学和生物改性方法,可以显著改善淀粉的理化性质和功能特性,使其能够满足不同药物递送系统的需求。目前,基于改性淀粉的药物递送系统研究已取得显著进展:在改性方法方面,开发了多种高效、可控的改性工艺;在载体形式方面,成功制备了纳米粒、微球、水凝胶、薄膜等多种剂型;在给药途径方面,实现了口服、注射、经皮、黏膜等多途径应用。这些研究成果为新型药物递送系统的开发提供了重要基础。

### 参考文献:

- [1]王导利. 基于复合碳源的体育用品合成革生产废水处理技术 [J/OL]. 中国皮革, 1-7[2025-09-12].
  - [2]林嘉琪,赵湘媛,代佳音,等. 不同物理改性方法抑制玉米淀粉回生的研究进展 [J/OL]. 食品工业科技, 1-16[2025-09-12].
  - [3]蔡露. 干热改性对薏苡淀粉功能和结构特性影响 [J]. 粮食与油脂, 2025, 38 (08): 24-29.
  - [4]容学德,满若君. 改性双醛淀粉的制备及其对Cu<sup>2+</sup>的吸附行为研究 [J]. 化学研究与应用, 2025, 37 (07): 1921-1928.
  - [5]王屈园,张慧君,王若懿,等. 低取代度醋酸酯改性马铃薯淀粉的性能研究及其在硬胶囊壳的应用 [J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16 (13): 220-229.
- 作者简介: 蔡群飞, 2000.3, 男, 研究生学历, 研究方向为生物医药。
- 通讯作者 1: 王利军, 长江大学生命科学学院。
- 通讯作者 2: 白雪, 荆州市第一人民医院(长江大学附属第一医院)
- 基金项目: 荆州市基金项目(2020CB21-27), 湿地生态与农业利用教育部工程研究中心开放基金项目(KF201607)