

GONGNENGXING
DUOTANGJIAO
KAIFA YU YINGYONG

功能性多糖胶 开发与应用

蒋建新 菅红磊 朱莉伟 张卫明 编著

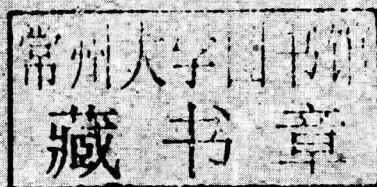


中国轻工业出版社

全国百佳图书出版单位

功能性多糖胶 开发与应用

蒋建新 菅红磊 朱莉伟 张卫明 编 著



中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

功能性多糖胶开发与应用/蒋建新等编著. —北京:
中国轻工业出版社, 2013. 1
ISBN 978-7-5019-9082-5

I. ①功… II. ①蒋… III. ①多糖—胶—研究 IV. ①0629. 12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 274870 号

责任编辑: 王 淳
策划编辑: 王 淳 责任终审: 张乃柬 封面设计: 锋尚设计
版式设计: 王超男 责任校对: 吴大鹏 责任监印: 吴京一

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷: 北京君升印刷有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2013 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 720 × 1000 1/16 印张: 22. 75

字 数: 500 千字

书 号: ISBN 978-7-5019-9082-5 定价: 48. 00 元

邮购电话: 010 - 65241695 传真: 65128352

发行电话: 010 - 85119835 85119793 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

121154K1X101ZBW

前言 / PREFACE

多糖胶是由甘露糖、葡萄糖、半乳糖、阿拉伯糖、果糖、岩藻糖、鼠李糖、木糖等单糖和部分相应的糖醛酸按一定比例组成的多糖，具有较好的黏性，能与水结合成胶体溶液。功能性多糖胶因具有增稠性、胶凝性、乳化稳定性、成膜性、悬浮分散性、保水持水性和控制结晶性等而被广泛用作增稠剂、稳定剂、黏合剂、胶凝剂、浮选剂、絮凝剂、分散剂等，应用于石油钻采、食品医药、纺织印染、采矿选矿、兵工炸药、日化陶瓷、建筑涂料、木材加工、造纸、农药等诸多行业。随着人们生活质量提高和石油资源的日益减少，来源于动植物及微生物的功能性多糖胶的应用领域越来越广，部分替代了石油炼制的精细化学品。

我国具有丰富的植物多糖胶资源，近年来在动物多糖胶和微生物多糖胶的开发和应用方面也取得了突破性的进展。一批新的多糖胶资源和一系列多糖胶及衍生产品得到了开发，在多糖胶制备方面也形成了自主知识产权，本书作者在高分子多糖生物质加工新技术与产品应用方面于 2011 年获得国家技术发明二等奖。

本书为功能性多糖胶的开发与利用，书中介绍了多糖胶的分类、生物学功能和生物合成、多糖胶的共性与应用，介绍了植物籽多糖胶、树木多糖胶、果胶、魔芋多糖胶、海藻多糖胶、微生物多糖胶和动物多糖胶的组成、结构和性质，介绍了它们的生产技术、应用和研究进展。各章节虽有各自的独立性，但也有其关联性，如在多糖胶加工技术和应用方面有些品种相似，有些多糖胶之间的复配产生协同作用甚至胶凝作用。

作者的研究获得了国家自然科学基金项目（31270624、30771685）、国家特色专业建设项目（TS2425）、国家科技支撑计划课题（2012BAD36B01、2012BAD32B06、2006BAD06B05）和教育部新世纪优秀人才支持计划（NCET-07-0082）的资助。

参与本书编著的人员还有赵丹青、李雪、孙达峰、林雪娇、齐祥、王堃等。在本书编著过程中，参考了大量国内外有关资料，在此一并表示衷心感谢。

本书适于从事多糖开发和利用的科研人员、高等院校相关专业的本科生和研究生，以及从事多糖胶生产的技术人员阅读参考。

本书所涉及的内容广泛，限于作者水平及编写时间，书中难免存在不足之处，欢迎读者批评指正。

作者
于北京林业大学
2012. 11

目 录 / CONTENTS

第1章 绪论	1
1.1 功能性多糖胶分类	1
1.1.1 植物多糖胶分类及资源分布	1
1.1.2 动物多糖胶	3
1.1.3 微生物多糖胶	3
1.2 功能性多糖胶生物学功能和生物合成	4
1.3 功能性多糖胶理化性质及应用	6
1.3.1 高浓度低黏度多糖胶	7
1.3.2 低浓度高黏度多糖胶	8
1.3.3 凝胶多糖胶	11
1.4 功能性多糖胶的分离提取方法	12
参考文献	13
第2章 植物籽多糖胶	16
2.1 皂荚豆胶	16
2.1.1 皂荚豆胶的结构组成	16
2.1.2 皂荚豆胶的物理性质	17
2.1.3 皂荚豆胶的化学性质	20
2.1.4 药物缓释性能	29
2.2 野皂荚豆胶	34
2.2.1 野皂荚豆胶的结构组成	34
2.2.2 野皂荚豆胶的物理性质	35
2.2.3 野皂荚豆胶的化学性质	38
2.3 瓜尔胶	45
2.3.1 瓜尔胶的结构组成	46
2.3.2 瓜尔胶的物理性质	46
2.3.3 瓜尔胶的化学性质	50

2.3.4 生物学性质	55
2.4 刺槐豆胶	55
2.4.1 刺槐豆胶的结构组成	56
2.4.2 刺槐豆胶的物理性质	56
2.4.3 刺槐豆胶的化学性质	57
2.4.4 生物学性质	61
2.5 塔拉胶	61
2.5.1 塔拉胶的结构组成	61
2.5.2 塔拉胶的物理性质	62
2.5.3 塔拉胶的化学性质	66
2.6 胡芦巴胶	70
2.6.1 胡芦巴胶的结构组成	71
2.6.2 胡芦巴胶的物理性质	71
2.6.3 胡芦巴胶的化学性质	75
2.6.4 毒理学安全性评价	83
2.7 田菁胶	84
2.7.1 田菁胶的结构组成	84
2.7.2 田菁胶的物理性质	85
2.7.3 田菁胶的化学性质	85
2.8 罗望子胶	88
2.8.1 罗望子胶的结构组成	89
2.8.2 罗望子胶的物理性质	89
2.8.3 罗望子胶的化学性质	90
2.8.4 生物学及毒理学性质	92
2.9 车前子胶	93
2.9.1 车前子胶的结构组成	94
2.9.2 车前子胶的物理性质	94
2.9.3 车前子胶的化学性质	95
2.10 亚麻籽胶	99
2.10.1 亚麻籽胶的结构组成	99
2.10.2 亚麻籽胶的物理性质	100
2.10.3 亚麻籽胶的化学性质	101
2.10.4 生物学及毒理学性质	120
2.11 植物多糖胶的生产技术	120
2.11.1 水提浓缩法	123

2. 11. 2	水提有机溶剂沉淀法	129
2. 11. 3	半湿法多糖胶分离生产工艺	135
2. 11. 4	烘炒法多糖胶分离生产工艺	140
2. 11. 5	半干法多糖胶分离生产工艺	143
2. 11. 6	破壁增黏和制粉工艺	144
2. 12	植物籽多糖胶的应用	149
2. 12. 1	在食品中的应用	149
2. 12. 2	在石油和天然气中的应用	159
2. 12. 3	在炸药中的应用	160
2. 12. 4	在纺织印染中的应用	160
2. 12. 5	在造纸中的应用	161
2. 12. 6	在采矿选矿中的应用	163
2. 12. 7	在乳胶涂料中的应用	164
2. 12. 8	在陶瓷工业中的应用	164
2. 12. 9	在化妆品中的应用	165
2. 12. 10	在污水处理中的应用	165
2. 12. 11	在医药方面的应用	165
2. 13	植物籽多糖胶的研究进展	167
2. 13. 1	来源及结构与性质	168
2. 13. 2	化学改性	171
2. 13. 3	酶法改性	172
2. 13. 4	功能性低聚糖	178
2. 13. 5	药物缓释	182
	参考文献	191
第 3 章	树木多糖胶	200
3. 1	阿拉伯胶	200
3. 1. 1	阿拉伯胶的结构组成	201
3. 1. 2	阿拉伯胶的物理及化学性质	202
3. 2	刺梧桐胶	205
3. 2. 1	刺梧桐胶的结构组成	205
3. 2. 2	刺梧桐胶的物理及化学性质	207
3. 3	黄耆胶	209
3. 3. 1	黄耆胶的结构组成	209
3. 3. 2	黄耆胶的物理及化学性质	211

3.4 桃胶	213
3.4.1 桃胶的结构组成	214
3.4.2 桃胶的物理及化学性质	215
3.5 树木多糖胶的生产技术	215
3.5.1 采胶	216
3.5.2 树胶的精加工	217
3.5.3 改进的加工方法	218
3.6 树木多糖胶的应用	218
3.6.1 在食品工业中的应用	219
3.6.2 在药品中的应用	221
3.6.3 在印刷工业中的应用	222
3.6.4 在化妆品中的应用	222
3.6.5 在造纸纸浆和纸张生产中的应用	223
3.6.6 在纺织工业中的应用	223
3.6.7 其他方面的应用	223
3.7 树木多糖胶的研究进展	223
3.7.1 天然树胶的特性	224
3.7.2 树胶多糖的提取、分离纯化、纯度鉴定及分子量测定	225
3.7.3 树胶的应用	226
3.7.4 制约我国天然食用树胶发展的瓶颈	227
参考文献	228
 第4章 果胶	 230
4.1 果胶的结构组成	232
4.1.1 酯化模式	233
4.1.2 中性糖类	233
4.2 果胶的物理及化学性质	233
4.2.1 溶解性	233
4.2.2 流变性质	234
4.2.3 热稳定性	234
4.2.4 酸稳定性	234
4.2.5 与其他胶体的复配性能	235
4.3 果胶的生产技术	236
4.3.1 果胶的来源	236
4.3.2 果胶粉的制作工艺	236

4.3.3 液体果胶的制备	238
4.3.4 低甲氧基果胶的制备	238
4.3.5 果胶的其他提取方法	239
4.4 果胶的应用	242
4.4.1 果胶在食品中的应用	242
4.4.2 不同果胶的应用	243
4.4.3 果胶在医药中的应用	246
4.5 果胶的研究进展	247
4.5.1 果胶的生物合成与降解以及相关的酶	248
4.5.2 果胶提取的技术	249
4.5.3 果胶的检测技术	251
参考文献	252

第5章 魔芋多糖胶	255
5.1 魔芋胶结构组成	256
5.2 魔芋胶的物理及化学性质	258
5.2.1 溶解性	258
5.2.2 成膜性	259
5.2.3 持水性	259
5.2.4 胶黏性	259
5.2.5 粘连搅打性	260
5.2.6 流变性	260
5.3 魔芋胶的生产技术	261
5.3.1 干法	261
5.3.2 醇洗法	262
5.3.3 醇洗—干法	263
5.3.4 水增塑—膨化（干燥）—粉碎法	263
5.3.5 利用鲜芋直接生产魔芋胶	263
5.4 魔芋胶的应用	264
5.4.1 在食品防腐保鲜中的应用	264
5.4.2 在食品添加剂中的应用	264
5.4.3 在食品保健中的应用	265
5.5 魔芋胶的研究进展	266
5.5.1 魔芋胶的发展前景	266
5.5.2 魔芋胶的复配性能	266

5.5.3 魔芋胶的改性	269
参考文献	270
第6章 海藻多糖胶	272
6.1 海藻胶及其海藻酸盐	272
6.1.1 海藻酸及其盐的组成	273
6.1.2 海藻酸衍生物及其性质和应用	274
6.1.3 海藻酸盐的物理及化学性质	275
6.2 琼脂	277
6.2.1 琼脂的化学结构	277
6.2.2 琼脂的物化性质	279
6.3 卡拉胶	284
6.3.1 卡拉胶的结构组成	284
6.3.2 卡拉胶的物理及化学性质	287
6.4 海藻多糖胶的生产技术	290
6.4.1 海藻酸盐的生产工艺	290
6.4.2 琼脂的生产工艺	292
6.4.3 卡拉胶的生产工艺	292
6.5 海藻多糖胶的应用	293
6.5.1 海藻多糖胶的功能性	293
6.5.2 在食品工业的应用	295
6.6 海藻多糖胶的研究进展	299
6.6.1 用海藻酸钠开发海洋活性药物	299
6.6.2 海藻酸作为药物转运载体的开发	300
6.6.3 海藻酸钠作为功能食品的开发	301
6.6.4 海藻胶的分析方法	302
6.6.5 前景展望	303
参考文献	304
第7章 微生物多糖胶	306
7.1 黄原胶	306
7.1.1 黄原胶的结构组成	307
7.1.2 黄原胶的物理及化学性质	308
7.2 结冷胶	311
7.2.1 结冷胶的结构组成	311

7.2.2 结冷胶的物理及化学性质	313
7.3 普鲁兰多糖	314
7.3.1 普鲁兰多糖的结构组成	314
7.3.2 普鲁兰多糖的物理及化学性质	314
7.4 微生物多糖胶的生产技术	316
7.4.1 黄原胶的生产技术	316
7.4.2 结冷胶的生产技术	318
7.4.3 普鲁兰多糖的生产技术	319
7.5 微生物多糖胶的应用	320
7.5.1 黄原胶的应用	320
7.5.2 结冷胶的应用	322
7.5.3 普鲁兰多糖的应用	324
7.6 微生物多糖胶的研究进展	326
7.6.1 黄原胶的研究进展	326
7.6.2 结冷胶的研究进展	327
7.6.3 普鲁兰多糖的研究进展	328
参考文献	333
第8章 动物多糖胶—甲壳素与壳聚糖	335
8.1 甲壳素与壳聚糖的结构组成	336
8.2 甲壳素与壳聚糖的物理及化学性质	337
8.3 甲壳素与壳聚糖的生产技术	338
8.3.1 甲壳素制备方法	338
8.3.2 壳聚糖制备方法	339
8.4 甲壳素与壳聚糖的应用	340
8.4.1 壳聚糖在口腔保健和治疗中的应用	341
8.4.2 壳聚糖在果蔬饮料中的应用	342
8.4.3 壳聚糖在食品工业废水处理中的应用	342
8.4.4 壳聚糖在食品工业中的应用	342
8.4.5 壳聚糖在纺织行业的应用	344
8.4.6 壳聚糖在印染行业的应用	346
8.5 甲壳素与壳聚糖的研究进展	347
8.5.1 化学改性	347
8.5.2 共混改性	349
参考文献	350

第1章 / 绪论

多糖胶是由甘露糖、葡萄糖、半乳糖、阿拉伯糖、果糖、岩藻糖、鼠李糖、木糖等单糖和部分相应的糖醛酸按一定比例组成的多糖，属于天然高分子复杂化合物，具有较好的黏性，能与水结合成胶体溶液。功能性多糖胶因具有增稠性、胶凝性、乳化稳定性、成膜性、悬浮分散性、保水持水性和控制结晶性等而被广泛用作增稠剂、稳定剂、黏合剂、胶凝剂、浮选剂、絮凝剂、分散剂等应用于石油钻采、食品医药、纺织印染、采矿选矿、兵工炸药、日化陶瓷、建筑涂料、木材加工、造纸、农药等诸多行业。随着人们生活质量提高和对环境问题日益重视，天然功能性多糖胶的应用领域越来越广，多糖胶的市场需求量也呈爆发性增长趋势。

1.1 功能性多糖胶分类

功能性多糖胶按其来源可分为植物多糖胶、动物多糖胶和微生物多糖胶，其中植物多糖胶品种多、产品功能性复杂，动物多糖胶主要来源于甲壳类动物的外壳或低等植物（真菌、藻类）的细胞壁中的甲壳素、壳聚糖，微生物多糖胶是由微生物在生长代谢过程中在不同外部条件下产生的一类多糖胶质。

1.1.1 植物多糖胶分类及资源分布

根据植物多糖胶的存在部位，可将之分为细胞内多糖、细胞壁多糖和细胞外多糖三种，细胞内多糖主要是果聚糖和甘露聚糖，细胞壁多糖主要指半纤维素和果胶类，细胞外多糖主要指树胶和黏胶。根据植物多糖胶的胶液性能分为低浓度高黏度胶、高浓度低黏度胶和凝胶多糖胶三种。根据植物多糖胶的来源可分为树胶、植物子胶、海藻胶、根块类胶、茎干类胶和叶子类胶等多种，树胶是树木在创伤部位渗出的一种黏性物质，如阿拉伯胶、黄蓍胶、刺梧桐胶、桃胶等；种子胶是指从树木种子到草籽，从作物种子到果仁等植物种子贮备性多糖物质，如瓜尔胶、长角胶、亚麻子胶等；海藻胶是从某些海藻提取的亲水

性胶体,如琼脂、海藻酸钠等;根块类胶如魔芋胶、菊糖胶等;茎干类胶如松胶等;叶子类胶如芦荟多糖胶等。

近年来世界商品多糖胶中低浓度高黏度胶用量最大,用途最广。从瓜尔豆、长角豆中提取的半乳甘露聚糖胶在水溶液中具有低浓度高黏度的特性因而被广泛用作增稠剂、稳定剂、黏合剂、胶凝剂、浮选剂、絮凝剂、分散剂等应用于石油钻采、食品医药、纺织印染、采矿选矿、军工炸药、日化陶瓷、建筑涂料、木材加工、造纸、农药等行业。20 世纪初美国开始开发利用长角豆胶,到 20 世纪 40 年代已应用于许多领域。第二次世界大战期间,长角豆资源大大减少,美国开发了瓜尔豆代替长角豆。瓜尔豆原产印度和巴基斯坦,美国也有种植。目前这三个国家都有规模化的瓜尔豆种植和加工基地。瓜尔豆胶年产量达 500 000 吨,被誉为“王牌胶”,我国瓜尔胶年平均进口量约 50 000 吨。

我国低浓度高黏度的植物胶资源品种多、分布广,产量较大的有田菁、胡芦巴、皂荚、野皂荚、塔拉、槐豆、决明、望江南等。田菁 (*Sesbania cannabina* Pers), 豆科田菁属,是著名的一年生绿肥植物,能耐盐碱、耐涝、耐瘠薄土壤。田菁作为改良土壤的绿肥资源,曾在 20 世纪 80 年代得到了迅速发展,田菁胶也一度代替进口瓜尔胶应用于相关工业。胡芦巴 (*Trigonella foenum-graecum* L.), 豆科蝶型花亚科胡芦巴属,主产河南、安徽、陕西、甘肃和宁夏等地。相传早在西汉时期我国就开始种植胡芦巴,至今已有两千多年的历史。胡芦巴种子是传统的中药材,近年来胡芦巴资源因其胶的水不溶物含量低、冻胶性能优越得到了一定的发展,我国安徽、江苏、宁夏、内蒙古等地都有胡芦巴种植基地。皂荚 (*Gleditsia sinensis* Lam.), 豆科皂荚属,落叶乔木或小乔木。皂荚树根系发达,耐旱节水,生长快速,结实好,具有固氮性能,是营造农田防护林、水土保持林和城乡景观林的理想生态树种。陕西、河南、河北、四川有野生皂荚林,目前这些地区又发展了人工皂荚林,种植面积达 300 000 亩。野皂荚 (*Gleditsia microphylla* Bunge), 豆科皂荚属,灌木或小乔木。野皂荚具有抗干旱、耐瘠薄、适应性强等特点,是太行山石质山地阳坡的当家树种,在太行山石质山地分布广泛,资源丰富,该地区每年约有 50 000 吨野皂荚种子可供开发利用。国内外已有关于皂荚属植物多糖胶的研究报道,但未见有皂荚和野皂荚多糖的研究。塔拉 (*Caesalpinia spinosa* Kuntze), 又名刺云实,豆科苏木属。塔拉是我国作为单宁植物资源从南美洲引种栽培的经济植物,“九五”期间我国西南部已引种栽培 50 000 亩塔拉资源,塔拉种子是理想的植物胶资源之一。槐树 (*Sophora japonica* L.), 豆科苦参属,落叶乔木。槐树是集药用、材用、食用、观赏于一身的多用途树种,分布于全国各地,是我国历史悠久的庭园树种。日前,我国北方一些大城市也把槐树作为城市园林绿化的优良树种。由此可见,我国植物胶资源分布广、蕴藏量大,但我国长期以来却进口

大量植物胶，主要是由于缺乏对我国植物胶资源种子组成、多糖胶结构和性质以及多糖胶提取等高效利用技术的系统研究。

1.1.2 动物多糖胶

甲壳素是地球上含量最丰富的含氮有机物。生物圈中每年至少有 100 亿吨的甲壳素被合成和降解，因此它也成了众多有机生命体的重要氮源。它广泛分布于无脊椎动物中。豆科植物根瘤中的根瘤菌属微生物；主要以合成类脂甲壳素低聚物的形式将大气中的氮固定下来。 α -甲壳素在水螅纲的肾盏、线虫和轮虫的卵壳、软体动物的齿舌和节肢动物的角质层中均有分布。 β -甲壳素则存在于腕足动物和软体动物的外壳、翠鱼骨、鱿鱼鞘和须腕动物导管中。在昆虫的外骨骼、围食膜和茧当中也可发现甲壳素的存在。出芽酵母隔膜的主要成分也是甲壳素。甲壳素在真菌中普遍存在于真菌细胞壁内。这些甲壳素在结晶性、与细胞壁（以葡聚糖为主要组成成分）的共价结合力以及乙酰化程度上存在差异。在渔业发达地区人们剥去虾壳，去除虾壳中的碳酸钙、色素、蛋白质和脂类后可获得甲壳素，经进一步脱乙酰作用后即可得到壳聚糖。少量的甲壳素会转化成 *O*-羧甲基甲壳素、乙二醇甲壳素和 6-氧基甲壳素。1811 年，法国人发现了甲壳素，它的结构与纤维素非常相似，只是在其链节结构中相差一个基团。1859 年，又发现了甲壳素的脱乙酰产物壳聚糖，这是唯一的碱性阳离子多糖。甲壳素和壳聚糖是目前中国及欧美等发达国家的热门研究领域。

1.1.3 微生物多糖胶

微生物多糖胶是近几年来利用生物技术开发的新型产品，它通常可分为细胞壁多糖（如肽聚糖、菌壁酸、脂多糖等）、细胞体外多糖（如黄原胶、结冷胶等）、细胞体内多糖（如黏多糖）等三大类。作为商品化生产的微生物代谢胶，在其生产过程中必须考虑以下几点：①多糖胶的性质（如能分散或溶解于水中；具有优于或等价于传统胶的稳定的功能特性；具有特殊的流变特性等）及其具有的应用价值；②提取工艺的可行性；③生产成本低廉；④食用安全性，即不含有毒素成分。一般微生物多糖是以淀粉水解发酵生产的，也可直接利用可溶性淀粉经微生物酶作用制得。据 D. E. Eveleigh 统计，已经发现 49 属 76 种微生物产生胞外多糖，但真正有应用价值并已进行或接近工业化生产的仅十几种。近几年，随着对微生物多糖研究的深入，世界上微生物多糖的年增长量均在 10% 以上。到目前为止，已大量投产的微生物多糖主要有黄原胶、结冷胶、葡聚糖（又名右旋糖酐）、小核菌葡聚糖、普鲁兰多糖、凝胶多糖等。近年来又兴起对一些新型的微生物多糖如海藻糖、透明质酸等的研究。

1.2 功能性多糖胶生物学功能和生物合成

植物多糖胶是高等植物营养组织中非淀粉贮存多糖,半乳甘露聚糖是部分豆科植物的贮备性多糖,锦葵科药用蜀葵根部的黏胶是由鼠李半乳糖醛酸聚糖、葡萄糖聚糖和阿拉伯半乳糖聚糖等三种多糖组成,印度产的天冬科植物根部含有的黏胶状贮存多糖是由葡萄糖和半乳糖醛酸所组成。半乳甘露聚糖沉积在原生质膜的外侧,它们的功能既是供养原生质体,又有防护作用。半乳甘露聚糖的吸水、保水能力很强,在种子萌发和幼苗生长过程中起着“水库”的作用。半乳甘露聚糖被完全降解为单糖时又为早期萌发过程中的幼胚提供营养物质和能量。

半乳甘露聚糖是以细胞壁加厚物质形式在胚乳细胞中不断积累的,除糊粉层之外,直到所有胚乳细胞全被占据或只剩下细胞质残留物为止,这时包括细胞核在内的细胞器也消失。半乳甘露聚糖在胚乳中不是均匀积累的,靠近胚的内层胚乳细胞优先得到积累,而后向外扩展,直到糊粉层的外缘细胞。半乳甘露聚糖的生物合成是由转化酶、变位酶、糖基转移酶等多种类型的酶组成的多酶体系完成的。Singh 等提出了瓜尔豆种子发育过程中蔗糖转化为半乳甘露聚糖和棉子糖的模型。蔗糖在转化酶作用下生成果糖和葡萄糖,葡萄糖磷酸化后与核苷酸作用生成 UDP—葡萄糖 (Glu)。再异构形成 VDP—半乳糖 (Gal),参与半乳甘露聚糖的合成。Reid J S G. 和 Edwards Mary 等经过多年研究,提出了一种合成模型,认为在半乳甘露聚糖的合成过程中,新合成的甘露糖基是否被取代与分子链上的邻位和次邻位残基是否被取代有关。合成系统中酶的专一性及其活力,底物的量等因素共同决定了半乳甘露聚糖残基被取代的概率。同种植物的半乳糖和甘露糖 (Man) 比值保持不变,不同的植物种子有各自固定的比值。瓜尔豆中的甘露糖转移酶和半乳糖转移酶的相对活力在半乳甘露聚糖的积累的全过程中几乎是一常数。在番泻叶中,甘露糖转移酶与半乳糖转移酶之比常常高于瓜尔豆,实际上在整个积累过程中这一比例是增加的。不同成熟阶段瓜尔种子半乳甘露聚糖中甘露糖与半乳糖之比与成熟种子中的比例相同。相反,番泻叶的半乳甘露聚糖中的两糖之比在聚糖积累早期阶段约为 2.3:1,在后期积累阶段,这一比例增长较快,达到成熟种子中两糖的比例为 3.3:1。在种子成熟过程中瓜尔胚乳中的 α -半乳糖苷酶的活力是较低的,而且这一酶活在半乳甘露聚糖积累全过程中一直维持稳定。在番泻叶胚乳中, α -半乳糖苷酶的活力在聚糖积累早期是较低的,但是随后增加,并在聚糖积累后期达到最高。番泻叶聚糖中 α -半乳糖苷酶的活力增加模式与 Mal/gal 比例增加极相近,表明了它们之间的因果关系。番泻叶的 α -半乳糖苷酶能够去

掉瓜尔半乳甘露聚糖中支链半乳糖。瓜尔半乳甘露聚糖中 Man/gal 的比例值是源于生物合成过程，而不是聚糖后期积累中改性的结果。番泻叶聚糖生物合成初期 Man/gal 比值由生物合成过程控制；然而在某种程度上成熟种子中聚糖 Man/gal 比值与聚糖积累后期胚乳中 α -糖苷酶酶解半乳糖支链有关。

微生物多糖胶生物合成。微生物多糖可以分布在与细胞膜相连的细胞外荚膜中，或是在内环境中分泌，或是作为细胞外黏液存在于生物工艺流质中，或是细胞壁结构的一部分。多糖，包括那些具有生物治疗作用的多糖，取决于它们的来源，在细胞发育和维持方面起着不同的作用。多糖的一个显著特点就是由于它们结构的分散性（单糖组分和糖苷键分布），从而具有传递生物信息的功能（高于其他蛋白质或核酸等生物大分子）。这对高等生物（如蘑菇）尤其重要，多糖作为生物标记在细胞识别和细胞-细胞相互作用方面执行了相当重要的功能。另外，微生物多糖还可以作为不良环境侵入的保护屏障（如高或低 pH、离子强度、干燥、氧化应激、抗生素的存在），控制其他分子进出细胞。同样，微生物多糖也是细胞黏附。微生物还可以合成多糖用作能源，也就是说，细胞可以利用水解酶分解多糖，并利用它们作为碳源。尽管由于可获得代谢途径的多样性，难以总结微生物多糖的生物合成途径，但仍了解了一些生物聚合物合成时主要的细胞代谢步骤。生物合成从细胞同化碳源开始。碳源可能是单糖（如葡萄糖、果糖或者乳糖），或者是一种双糖如蔗糖、乳糖，或者是进入细胞前可以降解成单糖或二糖的更加复杂的物质。细胞内单/双糖的转化通常由己糖激酶、透性酶转运酶完成，它们通过细胞膜转运糖类，或者通过与糖转运的偶联系统三磷酸腺苷（ATP）水解（ATP 酶）和氧离子释放转运糖类，或者通过选择性的糖进入与同步同向转移偶联转运糖类，或者通过细胞膜离子或溶质反向转运。糖磷酸化发生在单/双糖进入细胞之前、之中或者之后，降解形成最终化合物的前体，最后磷酸化单体形成糖核苷酸，它是这些聚合物的前体物质（构成单位）。糖核苷酸是一种活化的糖，能参与产生不同糖类单体的互变反应（如异构作用、脱酸反应、脱氢作用）。为发生聚合反应，糖核苷酸中的糖组分依次通过糖基转移酶转移到细胞质或细胞膜外的脂质载体上（如异戊间二烯化合物）。当二糖单位通过糖基转移酶和聚合酶在脂质载体上构建和聚合时，糖以外的分子（如来源于糖代谢的乙酰基）便结合在上面。糖基转移酶、聚合酶和脂质载体的活力和可利用性对聚合度有较大的影响。在最终聚合体组装好之后，它可能成为细胞膜的部分结构成分，或者分泌到细胞外（以胶粒或者黏液形式存在）。迄今为止，还不清楚在某些点时，多糖聚合的停止和多糖释放的机制，但据报道认为糖基转移酶和聚合酶也涉及这个过程。

微生物多糖生物合成的另一个重要特征就是它们被合成该多糖的微生物自