

# Lǜ Sè Jiāng Jiě Huà Xué Pǐn

绿色

◆ 汪多仁 编著

## 降解化学品



 科学技术文献出版社

图书在版编目(CIP)数据

绿色降解化学品/汪多仁编著. -北京:科学技术文献出版社,2008.1  
ISBN 978-7-5023-5875-4

I. 绿… II. 汪… III. 化学品-生物降解 IV. TQ072

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 176932 号

出 版 者 科学技术文献出版社  
地 址 北京市复兴路 15 号(中央电视台西侧)/100038  
图书编务部电话 (010)51501739  
图书发行部电话 (010)51501720,(010)51501722(传真)  
邮 购 部 电 话 (010)51501729  
网 址 <http://www.stdph.com>  
E-mail: stdph@istic.ac.cn  
策 划 编 辑 孙江莉  
责 任 编 辑 杨 光  
责 任 校 对 唐 炜  
责 任 出 版 王杰馨  
发 行 者 科学技术文献出版社发行 全国各地新华书店经销  
印 刷 者 北京高迪印刷有限公司  
版 ( 印 ) 次 2008 年 1 月第 1 版第 1 次印刷  
开 本 850×1168 32 开  
字 数 344 千  
印 张 14  
印 数 1~6000 册  
定 价 24.00 元

© 版权所有 违法必究

购买本社图书,凡字迹不清、缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换。

# 前 言

塑料的开发,国内已有近 40 年的历史,但在整体技术水平、生产能力及产量等方面都与国外有着较大的差距。随着我国高新技术发展,特别是国内新兴行业和国家支柱产业及新的增长点行业,如国防工业、军工生产、电子计算机等方面都需要大量性能优良的工程塑料或是可降解的塑性材料,使我国工程塑料的需求量增长迅速,年均增长率达到 25%。工程塑料是“合成材料之王”,由于工程塑料的生产和应用的技术含量高,同时还因为工程塑料对最主要的相关部门和领域如国防科技等的重大影响将会在 21 世纪使塑料的生产进入全盛的发展时期。

绿色可降解化学品以降解塑料为例。可降解塑料是塑料家族中的一员,它的出现不仅扩大了塑料功能,而且在一定程度上可缓解和抑制环境矛盾,对日趋枯竭的石油资源是一个补充,而且从合成技术上展示了生物技术和合金化技术在塑料材料领域中的威力和前景,它的发展已成为世界研究开发的热点。随着降解技术进一步的完善,降解性能不断提高和成本的降低,逐步进入实用化、产业化,在治理难于收集的一次性塑料废弃物对环境造成的污染中发挥着积极作用。降解塑料的研究开发和应用,无论从地球环境保护的实际角度,或从取之不尽的资源再生,还是从合成高分子的学术角度都具有重要意义,前景可观。

在 21 世纪中,要使高新技术获得快速发展与取得共识,则首先应重在绿色生态工艺,可以说,没有高新生态绿色技术就没有产品生命,这是大势所趋,也是未来世界的发展方向。

在高新技术的开发中,有了在环保方面出现的新问题,就会有在此方面更新的市场,关键在于人的开拓能力。再以工程塑料为例,随着高新科学技术的发展,正向着高性能及多功能、多用途、低成本方向发展,所采用的手段是合金、共混及填充。

绿色化学及清洁生产工艺的提出及发展将会对我国乃至世界的化工及相关行业产生重大的影响,这种影响将是全方位的和深远的,它必将带来工业产业的一次历史性革命。

以此可以触类旁通,作为绿色品牌的高新技术产品在我国具有相当巨大的市场潜力,这一点在 21 世纪初已开了个好头。正因如此,国内的不少读者都希望加大绿色产品的开发力度,为适应现代形势的发展要求,作者完成了这样一部用于保护 21 世纪生态环境且有益于新产品开发的新书,希望能对广大读者有所帮助,则是作者的欣慰。

汪多仁

# 目 录

第一单元 甲壳胺及衍生物	(1)
一、水性壳聚糖	(1)
二、复合甲壳胺纤维	(11)
三、水性甲壳胺衍生物	(21)
第二单元 淀粉复合材料	(35)
一、改性淀粉	(35)
二、双醛淀粉	(46)
三、淀粉乙醇酸钠	(52)
四、改性淀粉黏合剂	(66)
五、复合淀粉生物降解塑料	(75)
六、淀粉超强吸水树脂	(89)
第三单元 生物聚酯	(101)
一、脂肪族聚酯	(101)
二、聚乙交酯复合材料	(111)
三、聚己酸内酯复合材料	(119)
四、聚乙醇酸新型复合材料	(125)
第四单元 高分子材料	(135)
一、聚环氧乙烷复合材料	(135)

---

二、聚碳酸酯复合材料 .....	(146)
三、改性聚烯烃 .....	(160)
四、发泡聚苯乙烯建材 .....	(171)
五、聚乙烯醇生物降解性树脂 .....	(189)
六、生物降解性聚氨酯 .....	(196)
<b>第五单元 可降解助剂</b> .....	<b>(209)</b>
一、复合型皮革加脂剂 .....	(209)
二、聚甘油脂肪酸酯 .....	(218)
三、柠檬酸三丁酯 .....	(224)
四、乙酰柠檬酸三丁酯 .....	(240)
五、新型复合抗菌剂 .....	(249)
六、三丙酸甘油酯 .....	(256)
七、环氧大豆油 .....	(260)
<b>第六单元 人造纤维</b> .....	<b>(267)</b>
一、水性维纶 .....	(267)
二、黏胶纤维 .....	(277)
三、改性聚酯纤维 .....	(290)
四、蛋白复合纤维 .....	(313)
五、牛奶纤维 .....	(331)
<b>第七单元 合成树脂与塑料</b> .....	<b>(335)</b>
一、聚酮树脂 .....	(335)
二、二氧化碳共聚树脂 .....	(344)
<b>第八单元 二次资源开发</b> .....	<b>(351)</b>
一、废旧塑料/木质纤维复合材料 .....	(351)
二、绿色人造板 .....	(362)

---

三、粉煤灰复合板材 .....	(368)
四、石膏复合材料 .....	(374)
五、改性松香 .....	(384)
<b>第九单元 其 他</b> .....	<b>(393)</b>
一、氯化复合橡胶 .....	(393)
二、植 酸 .....	(397)
三、环保型节能玻璃 .....	(406)
四、功能水泥复合材料 .....	(420)
五、粉末微晶纤维素 .....	(433)

# 第一单元 甲壳胺及衍生物

## 一、水性壳聚糖

### 1 理化性质

水性壳聚糖(CM-CH)具有极强的吸湿性,仅次于聚乙二醇、山梨醇。吸湿过程中,分子内的氨基、羟基等亲水基团与水分子相互作用而水合,随着 pH 值不同,分子链从球状胶束变成线状。

水性壳聚糖具优异透气性,降多种条件下会发生降解,在浓无机酸中会产生氨基葡萄糖,在溶菌酶作用下可发生降解,在水中长期放置会发生水解,一些基团脱落,葡萄糖环开环。降解后生成对人体无害的氨基葡萄糖。取代度大于 0.6 的水性壳聚糖易溶于水,取代度愈高,水溶性愈好,透明度也愈好。

CM-CH 上的羧基及亲水基团,有着较强的吸水性,CM-CH 溶液的吸湿度与 20%丙二醇溶液的黏度恒定,有少量的水溶性具有很高的保湿性,性能与透明质酸相当,且柔韧,并有较好的成膜性。CM-CH 对胶体有稳定增稠作用和气泡稳定作用。

CM-CH 安全无毒性。

### 2 工艺开发

壳聚糖是生物合成物质,是可溶性的甲壳素衍生品种,它不溶



于水和碱性溶液,但可溶于大多数稀酸中。具有生物降解性、人体相容性、多种生理活性和生理功能,无口服毒性。经进一步加工,并调整乙酰化度或解聚降低分子量,或者分子中的氨基或羟基经化学试剂修饰后,可得到水溶性壳聚糖和用途广泛的壳聚糖衍生物。改善壳聚糖的溶解性能,特别是制备水溶性壳聚糖是壳聚糖改性研究中最引人注目的方向之一。

水性壳聚糖的制备方法常用的有三种:在壳聚糖的大分子主链上引入亲水基团或进行接枝改性;在适当的条件下使壳聚糖解聚;控制甲壳素的脱乙酰度。操作例如下:

将 30 g 的脱乙酰度为 80.5% 的壳聚糖加入 300 mL 50% 的氢氧化钠溶液中,在氮气保护下在 80 °C 下反应 8 h,用蒸馏水洗至中性后再重复上述操作两次,用丙酮洗涤、干燥得 20 g 的壳聚糖。脱乙酰度为 99.9%。

将完全脱乙酰化壳聚糖溶于 1% 的甲酸溶液中,在磁力搅拌下,加入 1.25 倍(摩尔)壳聚糖的  $\text{CuSO}_4$  溶液,室温下反应 3 h,用稀碱调 pH 值至 5~7,继续反应 3 h 后,用乙醇丙酮混合溶剂沉淀、过滤,用含水乙醇洗至无  $\text{Cu}(\text{II})$  检出,再依次用乙醇和丙酮洗涤后,室温下真空干燥至恒重,保存于干燥器中备用。

利用壳聚糖分子结构中的氨基或羟基的反应活性,在大分子上引入各种基团或引入碳水化合物支链,能够削弱壳聚糖分子间的氢键作用,均可以得到水溶性壳聚糖。

## 2.1 N-酰基化

甲壳素和壳聚糖的酰化反应是指甲壳素和壳聚糖与酸酐反应,从而引入芳香族或脂肪族酰基。酰化产物的生成与反应溶剂、酰基结构、催化剂种类有关,N-酰基化反应中介质的影响很大,当使用甲醇和乙醇或甲醇和甲酰胺的双相介质时,反应速度最大。

## 2.2 N-烷基化

壳聚糖分子中的游离  $\text{NH}_2$  具有很强的亲核作用, 易在 N 上引入烷基类取代基, 引入烷基后明显削弱了壳聚糖分子间的氢键, 这与在壳聚糖分子中引入别的基团而削弱氢键作用所得的结论是一致的, 同时这也是衍生物溶于水的主要原因。但引入的烷基链不宜过长, 否则会使 N-烷基化壳聚糖不完全溶于水, 甚至不完全溶于酸性水溶液。

## 2.3 羧基化

蟹壳经水洗烘干, 粉碎成不同粒度后筛选。用 6%~10% 盐酸处理脱钙, 再用 8%~10% 的氢氧化钠溶液脱脂、脱蛋白, 水洗至中性, 烘干后得甲壳素。甲壳素再用 40%~60% 的浓氢氧化钠溶液, 水浴加热 2~4 h (水浴温度 90 °C)。热水洗至中性, 70 °C 烘干, 得壳聚糖。用浓氢氧化钠溶液碱化, 然后用异丙醇将其溶解, 再用一氯乙酸进行羧甲基反应, 最后, 用甲醇洗涤多次, 60 °C 烘干, 即得水溶性壳聚糖。

壳聚糖与一氯乙酸在碱性条件下反应得到羧甲基化的甲壳素。由于反应过程中伴随脱乙酰化及降解反应, 因此产物中有相当数量的氨基存在, 最后得到可溶于水的两性聚电解质产物。在 DMSO (二甲基亚砜) 中对溶胀的甲壳素进行羧甲基化, 可以避免对甲壳素的降解。壳聚糖与水合醛酸反应, 再经 N 还原, 可制得水溶性的 N-羧甲基壳聚糖。壳聚糖在乙酰丙酸作用下可得到 N-羧丁基壳聚糖, 它可溶于水和乙醇-水溶液。

## 2.4 羟基化

壳聚糖的碱性溶液与环氧丙烷或 2-氯乙醇反应可得到羟乙基化的水溶性衍生物。壳聚糖在异丙醇溶剂中可与环氧丙烷反应

制得可溶于水的羟丙基壳聚糖。

甲壳素或壳聚糖的羟基可发生 *O*-甲基化、*O*-乙基化及 *O*-苄基化等反应。甲壳素在介质中可与硫酸二甲酯发生艰难的甲基化反应,生成甲壳素的单甲基醚,可溶于冷水而不溶于热水。

## 2.5 硫酸酯化

甲壳素和壳聚糖的硫酸酯化是化学改性中最引人注目的领域。国内外已先后研制出磺化甲壳素和壳聚糖及磺化 *N*-羧甲基壳聚糖等衍生物。

## 2.6 降解法

由于相转移催化技术的发展,高分子季铵盐获得了人们的青睐,被称为高分子催化剂。壳聚糖分子的每个糖残基上都有一个游离氨基,很容易被制备成季铵盐。由 Schiff 碱反应可以制备 *N*-甲基、*N,N'*-二丁基壳聚糖衍生物,并在水介质中氢化,然后进行季铵化,得到水溶性的阳离子聚电解质。

壳聚糖在甲醇/乙醇介质中与过量的醛反应可得相应的醛亚胺衍生物,常用的醛有乙醛、丙醛、戊二醛、水杨醛、羟基苯甲醛等。这类衍生物由于引入了大分子醛基,减弱了分子内氢键,所以有较好的溶解性,易溶于水和有机溶剂。

在还原剂  $\text{NaCH}_2\text{BH}_3$  的存在下,壳聚糖可与含有羰基的糖(包括单糖、二糖和多糖)发生反应而得到具有梳状或树状支链的可溶于水的产物。采用适宜的反应条件,可以得到溶于水的接枝产物。

### 2.6.1 酶解法

对于低黏度的壳聚糖溶液,一些聚糖酶,如纤维素酶、果胶酶、半纤维素酶、淀粉酶、葡聚糖酶等对壳聚糖有显著的降解作用。对于高黏度的壳聚糖溶液,仍以壳聚糖酶的降解效率最高,单宁酶也

显示了较强的降解能力。各种酶均有各自适宜的降解温度和 pH 值。

甲壳素和壳聚糖主链上(1,4)糖苷键水解断裂,生成低相对分子质量的,能够直接溶于水的水溶性壳聚糖。通过降解反应得到低聚水溶性壳聚糖的制备方法大致可分为酶降解法、氧化降解法及酸降解法。

酶法降解是用专一性酶或非专一性酶,对壳聚糖进行生物降解而得到平均相对分子质量较低的低聚壳聚糖。这些降解酶广泛分布于细菌、放线菌和霉菌等微生物中。酶法降解过程通常优于化学反应降解过程,这是由酶法降解过程和降解产物的相对分子质量分布更容易被控制,从而可以便利地得到一定相对分子质量范围的低聚壳聚糖。而且,酶法降解是在较温和的条件下进行,酶法降解不需要加入大量试剂,对环境的污染小。目前,已发现可用于壳聚糖降解反应的酶,这些酶包括专一性降解酶如壳聚糖酶;非专一性降解酶如脂肪酶、溶菌酶、蛋白酶等。

#### (1) 壳聚糖酶

壳聚糖酶主要存在于真菌细胞中。控制一定的条件,利用壳聚糖酶对壳聚糖大分子进行降解,可以方便得到二至七糖的水溶性壳聚糖,甚至单糖。利用芽孢杆菌属壳聚糖酶对降解壳聚糖的水解性能进行研究,可以得到低相对分子质量的降解产物。使用芽孢杆菌属 5P. 7-M 株得到的壳聚糖酶进行降解反应,可以成功地得到二至多糖的低聚壳聚糖。利用芽孢杆菌属 LCC-1 株得到的壳聚糖酶可获得平均相对分子质量糖到四糖的低聚糖。可见,壳聚糖酶是降解壳聚糖的很好的方法,特别是在制备聚合度比较小的低聚壳聚糖时,更显出优越性。

#### (2) 甲壳素酶

利用甲壳素酶降解壳聚糖也能得到壳聚糖的低聚物。自然界中真菌和无脊椎动物(主要成分为壳聚糖)的年产量估计高达数

10 亿吨,它们的降解就是由细菌和真菌分泌的甲壳素酶来完成的。使用芽孢杆菌属得到的甲壳素酶和链霉素的抗菌素得到的甲壳素酶对壳聚糖进行降解反应,都得到了低相对分子质量的壳聚糖。

### (3) 脂肪酶

脂肪酶是作用于水-有机界面上不溶性物的脂酶。可以使用麦胚脂肪酶对壳聚糖及衍生物水解。利用来自猪胰腺的脂肪酶对壳聚糖的非专一性水解作用结果表明,这种酶的降解效率很高,能在几分钟之内快速降低壳聚糖的黏度,使壳聚糖的平均相对分子质量降低。

### (4) 蛋白酶

在水解初期中性蛋白酶能够使相对分子质量迅速降低,而后下降缓慢。水解 10 min,壳聚糖溶液的黏均相对分子质量下降百分率可达 50%。

对一些非专一性水解酶的研究证明,对于低黏度的壳聚糖溶液,一些聚糖酶,如纤维素酶、果胶酶、半纤维素酶、淀粉酶、葡聚糖酶等对壳聚糖有显著的降解作用。对于高黏度的壳聚糖溶液,仍以聚糖酶的降解效率最高,单宁酶也显示了较强的降解能力。

酶降解法可以以较好的收率得到具有生理活性的四糖以上的低聚糖,且酶法的成本较低。虽然酶法在技术上尚未成熟,却是今后研究的主要方向。现在用虾、蟹等甲壳类制备低聚糖成本较高,所以开发低成本的非虾、蟹类原料,由微生物和酶法制备低聚糖势在必行。

## 2.6.2 氧化降解法

氧化降解是目前研究得比较多的方法。

### (1) 双氧水氧化法

用双氧水进行氧化降解反应可以避免一些特殊氧化剂的毒性。该法已经用于壳聚糖产品的工业化生产。使用双氧水对壳聚

糖进行氧化降解反应,在中性、碱性、酸性条件下都可以发生,得到可溶于水的低聚壳聚糖。将壳聚糖溶于 1 g 的乙酸溶液中,在催化剂存在下,加入适量的双氧水溶液,调节溶液的 pH 值为 3~5 进行降解反应;也可以在碱性溶液中反应,调节壳聚糖溶液的 pH 值为 11.5,温度 70 °C,分批加入一定量 35% 的双氧水溶液进行降解反应。

用双氧水氧化法制备的低聚壳聚糖的平均相对分子质量可达 2 600。

将壳聚糖溶解于稀 HCl 中,加入适量氢氧化钠溶液使其形成悬浊液,然后加入一定量的双氧水溶液在 70 °C 进行氧化降解反应,也可以在壳聚糖的稀酸溶液中,直接加入 28% 的双氧水和浓 HCl 溶液在 80 °C 进行降解反应,得到低聚水溶性壳聚糖产物。

壳聚糖游离氨基的邻位为羟基,因此有螯合二阶金属离子的作用并呈各种颜色,是高性能的重金属离子捕集剂。壳聚糖的游离氨基对各种蛋白质的亲合力非常高,可作为酶、抗原、抗体等生理活性物质的固定化载体,甲壳素、壳聚糖可用于多种酶解固定,可重复使用,长期保存,做固定载体多制成多孔小珠状。产品外观纯白,分子量有规律可控制。

### (2) $\text{H}_2\text{O}_2$ -HCl 法

将壳聚糖溶解于稀 HCl 中,加入适量氢氧化钠溶液形成悬浊液,然后加入一定量的双氧水溶液在 70 °C 进行氧化降解反应,也可以在壳聚糖的稀酸溶液中,直接加入 28% 的双氧水和浓 HCl 溶液在 80 °C 进行降解反应,得到低聚水溶性壳聚糖产物。

### (3) 双氧水- $\text{NaClO}_2$ 法

在 0.004%~10% 的  $\text{NaClO}_2$  及 0.01%~3.50% 的双氧水溶液中,加入适量盐酸进行降解反应,反应在 80 °C 进行 1 h 后,用 NaOH 溶液中和,再经  $\text{NaBH}_3$  处理后可得到平均相对分子质量为 600 的低聚水溶性壳聚糖。

#### (4) $\text{NaBO}_3$ 法

该降解反应可以是壳聚糖与  $\text{NaBO}_3$  在水溶液中进行非均相反应。这种降解方法的最大优点是,降解反应是通过开裂壳聚糖的(1,4)糖苷键来进行的,反应前后的  $\text{NH}_2$  含量无任何变化。

### 2.6.3 酸降解法

壳聚糖很容易溶于稀酸溶液中,而要用酸对壳聚糖进行降解反应,以制备低聚水溶性壳聚糖,必须强化反应条件。目前,已有多种以酸为主要反应试剂的降解壳聚糖的方法。

用酸和碱将壳聚糖纯化后,加入浓  $\text{HCl}$  溶液进行降解反应 48 h 后处理可得到聚合度小于 10 的产品壳聚糖-盐酸盐;若反应时间达到 72 h,则可得到氨基葡萄糖盐酸盐。用这种方法得到的低聚水溶性壳聚糖-盐酸盐的相对分子质量分布比较宽。

#### (1) 酸-亚硝酸盐法

壳聚糖溶  $\text{HCl}$  稀溶液中,然后加入亚硝酸盐进行降解反应;或是先将壳聚糖分散于亚硝酸盐的水溶液中,然后慢慢加入一定浓度的酸进行反应。该法可得到平均相对分子质量 2 000 ~ 3 000,相对分子质量分布相对狭窄的低聚水溶性壳聚糖。

#### (2) 浓硫酸法

在无机酸中加入 65% 的浓硫酸对壳聚糖进行降解,反应一定时间后在无机酸中加入 95% 的浓硫酸,在 60 °C 下反应 2 h 后对其鼓风,再用浓氢氧化钠溶液除去酸,将此混合物放置约 15 h,得到平均相对分子质量 5 000 左右的低聚壳聚糖。

#### (3) 浓磷酸法

在均相条件下,使用 85% 的浓磷酸对壳聚糖进行降解,反应对壳聚糖上的氨基无影响,室温下降解 4 周可得到平均相对分子质量 1 300 左右的低聚水溶性壳聚糖。

#### (4) 氢氟酸法

采用氢氟酸水解壳聚糖比较方便,并可保存酰胺键。将壳聚

糖溶于稀酸中,加入氢氟酸溶液进行降解反应,可得到聚合度为1~6的壳聚糖。

#### (5)过醋酸法

用双氧水将  $AC_2O$  氧化成过醋酸,加入到壳聚糖的乙酸溶液中进行降解反应。该法制备的低聚水溶性产品具有可以长期保存的优点。

除了上述几种酸解法外,其他的酸解法还有:甲酸法、苹果酸法、抗坏血酸法等。

除上述各种酶解、氧化降解及酸解法外,近些年来还报道了一些新方法,如:超声波法、微波法、醇解法等。不过,用这些方法来制备低聚水溶性壳聚糖还有待进一步的研究。

壳聚糖(微黄片状,脱乙酰度 75.1%)。

### 3 实际应用

#### 3.1 食品业

##### 3.1.1 保健食品

低聚壳聚糖具有降血压、消除脂肪肝、降胆固醇、增强免疫力的功能,它还能提高食品的保水性。另外,低聚壳聚糖具有非常爽口的甜味,可作为糖尿病和肥胖病的可食甜味剂。近两年低聚水性壳聚糖被大量用于生产减肥药物。

##### 3.1.2 澄清果汁

将酶降解制备的低相对分子质量壳聚糖加入到果汁中,能有效地去除果汁中的悬浮物及大部分酚酸类物质,使果汁澄清而不会影响天然口味和营养成分。

水溶性壳聚糖还被大量应用于食品添加剂中。



### 3.2 化妆品

含有水溶性壳聚糖的化妆品具有易于被皮肤吸收,促进血液循环,保护和滋润皮肤的作用,制备高级洗发香波、头发定型剂,不仅可以保护头发,而且在干燥环境下有良好的保湿性,在潮湿环境下有良好的定型作用。

化妆品中的保湿剂是重要功能性添加剂,近年来化妆品工业对水性甲壳素衍生物需求量增长最快,水性甲壳素衍生物作为添加剂,具有乳化稳定、增稠、抗静电作用,起到了十分明显的效果,适应于膏、乳、霜、露等各种化妆品配方。将多种甲壳素衍生物用于制备洁肤和护肤液、护肤霜、乳液、护发香波、面膜等,添加壳聚糖制成的各种洗发、护发用品,具有易于梳理,头发蓬松,手感丰富,发色光亮的功效,对易折断,分叉的纤细头发效果更佳,并具保护头发、促进头发生长的功效。目前欧、美、日等国已有上百种含壳聚糖的日用化妆品。目前高档的护肤类化妆品一般用透明质酸作保湿剂,是从鸡冠中提取而得的,资源少,得率低,价格昂贵。

### 3.3 环境保护

水溶性壳聚糖能有效地吸附重金属和有机物,并可抑制细菌生长,对汞、镉、铅和砷等有显著的过滤作用,是高性能的重金属离子扑集剂,可有效地除去工厂废水中有毒的重金属离子以及核工业废水中的放射性核素,也可作为阴离子凝集剂使用,用于活性污泥的凝集、脱水,尤其是用于食品厂的废水处理,用来过滤含蛋白质的废水,可回收到蛋白质作为鸟或鱼类的饲料。

### 3.4 纺织品

将甲壳素衍生物涂于布基内面,用做衣料的吸汗和防水透湿材料,由于甲壳素衍生物具有很快吸收水分和人体适应性,故使衣