

学校编码: 10384

密级\_\_\_\_\_

学号: 24520071152508

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

牡蛎壳羟基磷灰石及其复合材料的  
制备与表征

The Preparation and Characterization of oyster shell  
hydroxyapatite and its Composite

蔡汝汝

指导教师姓名: 张其清教授

专业名称: 生物医学工程

论文提交日期: 2010年4月

论文答辩日期: 2010年5月

2010年4月

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为( )课题(组)的研究成果,获得( )课题(组)经费或实验室的资助,在( )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（      ） 1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，  
于      年    月    日解密，解密后适用上述授权。

（      ） 2.不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年    月    日

## 摘要

羟基磷灰石 (Hydroxyapatite, HA) 是人体和动物骨骼的主要无机成分, 具有优异的生物相容性、生物活性、骨诱导性和骨引导性, 在生物材料领域被广泛应用。随着海洋资源的开发与应用, 生物质碳酸钙转化HA成为新的研究热点, 如珊瑚、乌贼等动物骨骼, 但其资源稀缺, 获取成本高。因此, 寻求一种资源丰富的生物质碳酸钙具有重要的意义。近年来研究表明, 牡蛎壳类生物材料资源丰富具有良好的生物相容性, 利用废弃牡蛎壳还可解决海域污染, 已成为骨组织支架材料研究的热点。

牡蛎壳种类丰富成分复杂。目前, 对于牡蛎壳的水热研究大部分仅局限于珍珠层及少量文石型牡蛎壳, 为最大限度的有效利用资源, 拓宽方解石牡蛎壳的应用, 本文以厦门沿海废弃僧帽牡蛎壳为原料, 通过水热反应法合成纳米羟基磷灰石 (Nano-Hydroxyapatite, nHA), 考察反应时间、反应浓度、反应温度和微结构对合成反应的影响, 探讨 nHA 的转化机理, 并初步表征 nHA 生物相容性。研究结果显示, 方解石型牡蛎壳通过水热反应生成碳酸根取代缺钙型 nHA, 其晶粒尺寸和组分均与人骨类似, 具有良好的生物相容性, 更有利于作为生物医用骨修复材料应用。在水热反应中, 粉末外表面方解石通过溶解重结晶过程转化, 内部方解石则经由固态局部规整离子交换反应转化。

理想的骨修复材料, 应当具有良好的生物相容性、生物活性和力学性能, 单纯的有机或无机材料很难满足临床上对骨修复材料的综合要求, 因此, 设计和制备更接近骨组织成分和结构的复合材料成为当前骨修复材料发展趋势。

本研究利用自制的牡蛎壳羟基磷灰石与壳聚糖 (CS) 共混制备纳米羟基磷灰石/壳聚糖复合 (nHA/CS) 支架材料。传统共混法制备的 nHA/CS 复合支架材料壳聚糖含量高, 其吸水性大, 不利于材料在体内环境中保持初始强度。因此, 本研究的目的是提高 nHA 在复合支架中的含量以提高复合支架在湿态下的力学性能。采用真空冷冻干燥法制备 nHA/CS 复合支架材料, 并对复合支架进行理化性能及生物相容性表征。结果表明, nHA/CS 复合支架是一种以 HA 层为孔壁, CS 为孔内壁的多孔材料, 孔与孔之间连通性良好。当 HA 含量为 20%, CS 含量

为 5% 时，孔隙率为 76%，孔径为 100~200  $\mu\text{m}$ ，其抗压强度可达 2.29 MPa。体外模拟体液（SBF）浸泡试验结果表明，CS 在浸泡过程中逐渐发生降解，nHA 发生溶解并可促进类骨磷灰石层在复合材料表面沉积，研究结果证明，本研究所制备的 nHA/CS 复合材料具有较高的生物活性和可降解性，可望应用于骨修复支架材料。

**关键词：**牡蛎壳 羟基磷灰石 冷冻干燥 多孔支架 生物相容性

厦门大学博硕士论文摘要库

## Abstract

Nano-hydroxyapatite(HA) is one of the major contents of the inorganic in human and animal bone. Because of its good biocompatibility, bioactivity, osteoinductivity and osteoconductivity, it has been widely used in biomaterials. The hydrothermal conversion of natural-biological calcium carbonate (i.e. corals and cuttlebone) to HA has been extensively studied with the utilization and development of Ocean Resources, although their generalized use may meet reservations, because corals are species in danger and not available worldwide, it is therefore necessary to find a new natural-biological origin of raw materials. With good biocompatibility and resourceful supplies, oyster shell has been a desirable candidate. And the utilization of shell can also dissolve the problem of ocean contamination. It has attracted special interest in recent years.

For the variety of oyster shell in component and species, the most common utilization in present is limited in nacre. Working towards the goal to enlarge the scope of shell in biomaterials, we explore the abundant discard shell of *Ostrea cucullata* from XiaMen for the origin raw material. nHA was prepared by hydrothermal conversion method. The production of nHA is sensitive to processing parameters such as reaction time, concentration, temperature and microstructure. Effect of these parameters on the growth of nHA has been systematically investigated in our system in order to understand the growth mechanism of nHA. The results indicated that sheet structure of carbonated nHA were successfully produced via hydrothermal transformation (HT). The exterior calcite converts to HA via dissolution-recrystallization, the interior calcite converts to HA by a solid-state topotactic ion-exchange reaction.

Organic or inorganic material alone is hard to meet the request in clinical application. Therefore, in this work, the composite scaffold was prepared by mixing chitosan(CS) with nHA prepared from oyster shell. Composite scaffold prepared by

tradition methods always contains a high percentage of CS, which has a good water absorption leads to a poor mechanical strength for the application in vivo. So we increase the percentage of the nHA to improve the wet strength of composite scaffold. In this paper the freeze-drying method was used to make the porous composite. Properties and bioactivity of the composite scaffold was be characterized.

nHA/CS was a porosity scaffold with connecting holes, and the wall of pore was made up with HA, CS wrapping nHA spread on the inner wall. When the volume fraction of HA powder was 20%, the porosity was about 76%, pore size mostly ranged from 100-200 $\mu$ m, and the compressive strength of scaffold reach 2.29MPa. There were three process during nHA/CS scaffolds soaking in SBF: gradually degradation of CS, resolving of nHA and the deposition of apatite simulated bone. The nHA/CS scaffolds fabricated through freeze-drying with proper bioactivity and biodegradability can serve as a promising scaffold for bone repairing scaffold.

**Key words:** oyster shell; nano-hydroxyapatite; freeze-drying; porosity scaffold; biocompatibility.

# 目 录

中文摘要 .....	I
英文摘要 .....	III
<b>第一章 概述 .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 研究背景 .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 牡蛎壳的研究现状及应用 .....</b>	<b>1</b>
1.2.1 牡蛎壳构造 .....	1
1.2.2 牡蛎壳的化学成分 .....	2
1.2.3 牡蛎壳的应用 .....	3
1.2.4 牡蛎壳粉末骨修复材料应用研究动态 .....	5
<b>1.3 羟基磷灰石 .....</b>	<b>6</b>
1.3.1 HA 物理化学特性 .....	6
1.3.2 生物磷灰石 .....	8
1.3.3 HA 制备及应用 .....	10
1.3.4 多孔 HA 的制备 .....	13
<b>1.4 冷冻干燥法原理 .....</b>	<b>14</b>
<b>1.5 本课题选题意义和研究内容 .....</b>	<b>15</b>
<b>第二章 HA 的制备与表征 .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 引言 .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2 实验材料和仪器 .....</b>	<b>17</b>
2.2.1 实验材料 .....	17
2.2.2 实验仪器 .....	18
<b>2.3 实验方法 .....</b>	<b>18</b>
2.3.1 牡蛎壳处理 .....	18
2.3.2 nHA 的制备 .....	18
2.3.3 nHA 的表征 .....	19
<b>2.4 实验结果 .....</b>	<b>20</b>



2.4.1 XRD 分析 .....	20
2.4.2 FTIR 分析 .....	26
2.4.3 SEM 观察.....	28
2.4.4 Ca/P 分析 .....	29
2.4.5 细胞相容性检测 .....	30
<b>2.5 讨论.....</b>	<b>31</b>
<b>2.6 小结.....</b>	<b>34</b>
<b>第三章 nHA/CS 复合材料的制备与表征.....</b>	<b>35</b>
<b>3.1 引言.....</b>	<b>35</b>
<b>3.2 实验材料与仪器.....</b>	<b>36</b>
3.2.1 实验材料 .....	36
3.2.2 实验仪器 .....	36
<b>3.3 实验方法 .....</b>	<b>37</b>
3.3.1 nHA/CS 复合材料制备 .....	37
3.3.2 复合材料性能评价 .....	37
3.3.3 复合材料的体外模拟实验.....	38
3.3.4 复合材料生物性能测试.....	39
<b>3.4 实验结果 .....</b>	<b>40</b>
3.4.1 复合材料物理化学性能表征.....	40
3.4.2 复合材料体外模拟实验检测.....	49
3.4.3 复合材料生物相容性检测.....	54
<b>3.5 讨论.....</b>	<b>56</b>
<b>3.6 小结.....</b>	<b>62</b>
<b>全文总结 .....</b>	<b>63</b>
<b>参考文献.....</b>	<b>65</b>
<b>致 谢.....</b>	<b>82</b>

# Table of Contents

<b>Abstract in Chinese</b> .....	<b>I</b>
<b>Abstract in English</b> .....	<b>III</b>
<b>Chapter 1 Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Background</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Research and Application of oyster shell</b> .....	<b>1</b>
1.2.1 The structure of oyster shell .....	1
1.2.2 Chemical Compositions of oyster shell.....	2
1.2.3 Application of oyster shell .....	3
1.2.4 Research of oyster shell on bone repairing .....	5
<b>1.3 Hydroxyapatite</b> .....	<b>6</b>
1.3.1 Physical and Chemical properties of HA .....	6
1.3.2 Bioapatite .....	8
1.3.3 Preparation and application of HA .....	10
1.3.4 Preparation of porous HA .....	13
<b>1.4 Freez-drying principle</b> .....	<b>14</b>
<b>1.5 Objective and content of this dissertation</b> .....	<b>15</b>
<b>Chapter 2 Preparation and characterization of HA</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1 Introduction</b> .....	<b>17</b>
<b>2.2 Materials and instruments</b> .....	<b>17</b>
2.2.1 Materials.....	17
2.2.2 Instruments .....	18
<b>2.3 Methods</b> .....	<b>18</b>
2.3.1 Treatment of oyster shell .....	18
2.3.2 Preparation of HA.....	18
2.3.3 Characterization of nHA .....	19
<b>2.4 Results</b> .....	<b>20</b>
2.4.1 XRD Analysis .....	20
2.4.2 FTIR Analysis .....	26

2.4.3 SEM 观察.....	28
2.4.4 Ca/P Analysis .....	29
2.4.5 Biocompatibility Test .....	30
<b>2.5 Discussion .....</b>	<b>31</b>
<b>2.6 Conclusion .....</b>	<b>34</b>
<b>Chapter 3 Preparation and characterize of nHA/CS scaffold .....</b>	<b>35</b>
<b>3.1 Introduction .....</b>	<b>35</b>
<b>3.2 Materials and instruments.....</b>	<b>36</b>
3.2.1 Materials.....	36
3.2.2 Instruments .....	36
<b>3.3 Methods .....</b>	<b>37</b>
3.3.1 Preparation of nHA/CS scaffold .....	37
3.3.2 Characterization of nHA/CS scaffold.....	37
3.3.3 In vitro test of nHA/CS scaffold .....	38
3.3.4 Biological test of nHA/CS scaffold.....	39
<b>3.4 Results .....</b>	<b>40</b>
3.4.1 Physical and chemical properties of nHA/CS scaffold .....	40
3.4.2 Results of in vitro test of nHA/CS scaffold .....	49
3.4.3 Biological performance of nHA/CS scaffold.....	54
<b>3.5 Discussion .....</b>	<b>56</b>
<b>3.6 Conclusion .....</b>	<b>62</b>
<b>Conclusions .....</b>	<b>63</b>
<b>Reference .....</b>	<b>65</b>
<b>Acknowledgements .....</b>	<b>82</b>

## 第一章 概述

### 1.1 研究背景

牡蛎，又名蚝、海蛎子、蛎黄、蛎蛤、牡蛤、古贲、蚶，属软体动物门双壳纲珍珠贝目的曲蛎科和牡蛎科，分布于温带和热带各大洋沿岸水域<sup>[1]</sup>。牡蛎是世界上第一大养殖贝类，也是我国四大养殖贝类之一。中国海岸线漫长，牡蛎、贝类等资源极为丰富，沿海所产的牡蛎约有 20 多种<sup>[2]</sup>。在广东、福建、浙江、台湾、山东等沿海地区都进行大规模养殖，主要养殖品种有僧帽牡蛎、近江牡蛎、长牡蛎、大连湾牡蛎等四种牡蛎历来备受世人推崇<sup>[3]</sup>。古人认为它是“水产品之最贵者”；西方人称它为“神赐魔食”、“海中牛奶”<sup>[4]</sup>。因此，牡蛎在全球市场上消费量惊人。但是，随着牡蛎养殖业和加工业的迅猛发展，我国目前对于牡蛎等海产品的加工仅局限于其可食用的部分，大量的牡蛎壳变成了废弃或低值资源，占据了一些滩涂和土地，废弃的海产品壳中残留的有机物在长期堆放的过程中，腐败发臭对环境造成严重污染。在牡蛎壳中，碳酸钙质量分数高达 95%以上。如果能够充分利用这些钙资源，不仅可变废为宝，还能减少环境污染<sup>[5]</sup>。因此，牡蛎壳的综合开发利用意义重大。

### 1.2 牡蛎壳的研究现状及应用

#### 1.2.1 牡蛎壳构造<sup>[6,7]</sup>

牡蛎属于贝壳的一种，由内而外，由珍珠层、棱柱层、角质层 3 部分组成（如图 1.1）。角质层由贝壳素（conchiolin）组成，很薄，透明，具有色泽；棱柱层所占比例较大，主要由角柱状的方解石（calcite）构成；文石或方解石板片是珍珠层的最基本结构单元，板片在二维方向上排列形成微层，总量（重量比）只占  $1 \pm 5\%$  的薄层有机质充填于无机相之间，正是这微量的有机质控制了珍珠层的形成，并使其具有无可比拟的力学性能。牡蛎壳粉末接近白色，脆度大，总钙量多达 40%，微观结构呈条状的蜂窝结构，孔隙率大约为 40%-70%，且分布比较均匀。

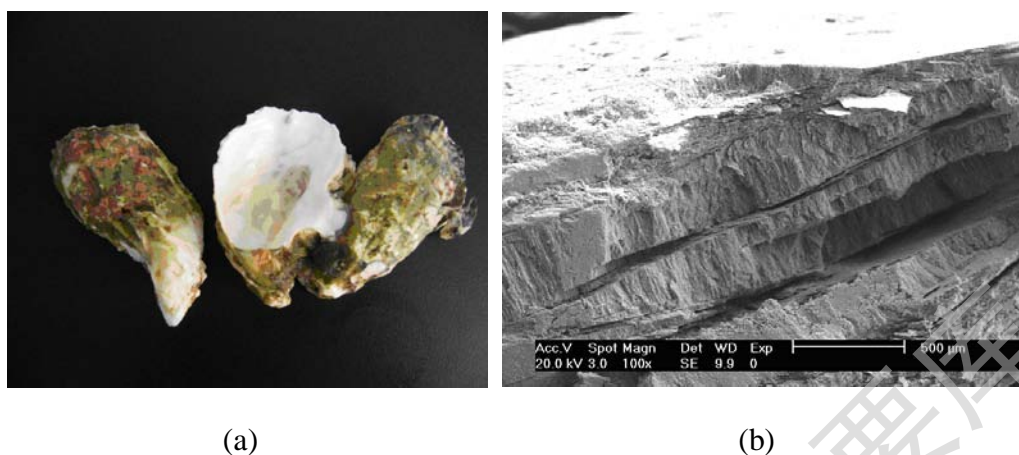


图 1.1 (a) 牡蛎壳; (b) 牡蛎壳 SEM 图

Fig.1.1 (a) Oyster shell; (b) SEM of oyster shell

### 1.2.2 牡蛎壳的化学成分<sup>[8-11]</sup>

牡蛎壳主要成份为文石或方解石 ( $\text{CaCO}_3$ ), 其含量为牡蛎壳重的 95% 以上, 其次为氧化镁、二氧化硅等。此外还含有 20 余种微量和痕量元素, 表 1.1 中列举了部分元素的含量。这些微量元素或金属是参与新骨的重塑与形成所必需的。牡蛎壳的有机成分约占牡蛎壳重 3% 左右, 主要含有异亮氨酸、谷氨酸等 17 种氨基酸。

表 1.1 牡蛎壳的化学成分

Table 1.1 The chemical components in oyster shell

元素	K (g/kg)	Ca (g/kg)	Na (g/kg)	Mg (g/kg)	Cu (mg/kg)
牡蛎壳	10	391.9	3.8	14.0	2.1
元素	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Sr (mg/kg)	P (mg/kg)
牡蛎壳	8.5	145.3	125.9	62	65

### 1.2.3 牡蛎壳的应用

随着经济和社会的不断发展,资源与环境问题已经成为各国人民需要重点解决的课题之一,不可再生的固有资源已经越来越少,而生物可再生资源将越来越受到人们的重视。近年来,国内海产品工业及人类探索海洋进程快速发展,食品、医药、生物技术不断提高,传统意义上的废弃物—牡蛎壳等海产壳类物质深受研究者们的青睐。人们对牡蛎保健功能的认识越来越深入,其新的功能正在不断地被发掘出来。我国卫生部已批准将牡蛎列为第一批具有药用价值兼保健功效的食品<sup>[12]</sup>。下面就以牡蛎壳的开发与应用现状进行简单的介绍:

#### 1.2.3.1 在畜牧养殖及农业方面的应用<sup>[13,14]</sup>

由图 1.1 可知牡蛎壳含大量微孔,孔径为 2-10  $\mu\text{m}$ ,具有较强的吸附能力,且含有生物活性的氨基多糖及特性蛋白,富含大量的钙元素和镁、钠、钡、腮、铜、铁、锌、铝等微量元素。能促进土壤微生物繁殖,改善土壤特性、生态结构,促进作物对养分的吸收,从而促进作物的生长发育,而且使用后可有效地缓解由于大量使用化肥而造成的土壤板结、肥料利用率降低等问题,并且具有无毒、无污染、无公害的优点,是一种极有前途的土壤改良和调理剂;做为饲料添加剂能增加饲料营养成分,起到促进新陈代谢的作用;做为肥料添加剂,可调节酸性土壤,提高石灰质含量,改良土质,此外,对农作物还能起防倒伏、风害、病虫害的作用。

#### 1.2.3.2 在轻工业方面的应用

普通石灰石中的碳酸钙含量为 80%,牡蛎壳中碳酸钙含量高达 95%以上,可用牡蛎壳代替石灰石烧制水泥。由于牡蛎壳中不含或极少含有生产中的有害物质,所以,以牡蛎壳为原料可以制中标号和高标号的水泥;在活性污泥法除磷中,牡蛎壳中丰富的钙盐可使磷酸根离子沉淀,其大量的微孔结构,具备良好的吸附功能,研究表明,添加牡蛎壳后除磷效果显著提高<sup>[15,16]</sup>。另外,在普通涂料中添加适量牡蛎壳粉,可防止涂料长霉,在容易长霉的地方使用这种涂料尤为合适<sup>[17]</sup>。

#### 1.2.3.3 在医药方面的应用

##### ① 药用价值

牡蛎壳含有大量的钙与丰富的微量元素及多种氨基酸,是一种传统的中药

材,中国药理工作者在传统医学经验的基础上运用现代研究手段对其作了深入研究,发现其药效包括有安神养心宁志、平肝熄风及平肝潜阳、化痰止咳、消虚火去内热等诸多方面;王俊<sup>[18]</sup>、姚滢<sup>[19]</sup>等人研究表明牡蛎壳提取物牡蛎多糖有抗肿瘤,增加机体免疫功能、降血脂、抗衰老及抗病毒、抗菌功能;日本关西大学山出和弘率领的科研小组在最近的研究中发现,在牡蛎、扇贝等贝壳粉中含有的某种蛋白质可以抑制碳酸钙形成结晶。研究认为,可以利用此种抑制结晶的物质制造钙吸收促进剂和预防结石的药物<sup>[20]</sup>。

### ② 以牡蛎壳制备钙制剂

具有生物活性的小分子有机钙,有优越的生物相溶性,吸收率和生物利用度均较高。牡蛎钙等生物活性钙依赖其所含活性离子钙的生理活性,易于吸收,可保持血液的酸碱平衡,满足补钙健身的需要。具有抗癌、防治糖尿病、防治佝偻病、治疗慢性肾功能不全致骨质疏松、防治皮肤过敏性疾患等功效。对于此类产品的开发,基于钙离子生理活性,包括有以下两方面:一是以钙离子的碱性保持体液呈弱碱性状态,从而达到抗癌抗衰老的目的。王善飏、秦秀娟<sup>[21-23]</sup>等人利用牡蛎壳提取各种活性离子钙,以之作为食品添加剂等加到食品中制成富含钙质的适合儿童和老年人使用的保健营养食品。二是复合制成各种补钙剂,如“龙牡冲剂”、“盖天力”等。周森麟等研究表明复方牡蛎合剂在动物体内的吸收利用以及治疗佝偻病等方面均优于西药及其他补钙剂<sup>[24]</sup>。因此,近年来国内外的钙制剂研究者集中精力进行醋酸钙、乳酸钙、苏糖酸钙等系列产品的研制。

#### 1.2.3.4 对新材料研究的启示

牡蛎壳被认为是以少量有机质大分子(蛋白质、糖蛋白或多糖)为模板,高度有序组合成的无机材料。这些有机质仅占牡蛎壳重的5%,但其在晶体核化、定向、生长和空间形态等方面的调控作用使牡蛎壳在纳米水平上表现出非凡的有序性和强度<sup>[25]</sup>,如:珍珠层的破裂韧性为无机成因晶体的3000余倍<sup>[26]</sup>。这种生物矿化过程引起了材料科学家的极大关注,许多材料科学家已对牡蛎、鲍鱼壳等进行了多年研究<sup>[27-29]</sup>,试图模仿这些结构生产出质轻、经济的新型材料,用于医学、电子等领域。这种结构看起来很简单,但越深入研究,就会发现有更深层次的问题。现在我们知道了牡蛎壳中碳酸钙晶体的位向关系,但对于内部的次级结构(如一级、二级、三级结构),矿物相的结构特征和不同生物(地区、环境、

种属)间的关系,有机层和矿物层这两种完全不同物质之间的界面结构,等等问题都尚待解决。不难看出,目前的大部分材料最多只是一种初步的原理性的仿生而已。从天然生物矿物和材料科学相结合的角度来看,这仅仅才是一个开端。天然生物材料(当它是生物体的一部分时)是有生命的。这样的材料从概念上是全新的,它把组织结构和不同功能的细胞结合在一起,构成了一种“活”的材料。人们不仅能从天然生物材料中学习多种多样微妙精细的结构,而且还可以利用生物的基因来控制 and 合成材料,这种“基因调控”的新材料将会独树一帜。有理由相信,生物学、化学、工程学、材料科学和生命科学等多项学科的结合将是一个有重大意义的方向<sup>[30]</sup>。

### 1.2.4 牡蛎壳粉末骨修复材料应用研究动态

自从 Roy<sup>[31]</sup>在 1974 年从珊瑚制备羟基磷灰石以来,生物原料制备羟基磷灰石成为该领域的热点。1997 年, Evelyne Lopez<sup>[32]</sup>等人利用牡蛎壳珍珠层粉末修复上颌骨缺损,6 个月后组织切片及显微放射实验结果表明,珍珠层有良好的生物相容性,可诱导新骨形成修复上颌骨缺损。1999 年, E. Lopez<sup>[33]</sup>等人对牡蛎珍珠层粉末进行体内体外实验,利用牡蛎壳珍珠层粉末作为可注射型骨修复材料,进行羊腰椎骨缺损修复实验,在 1 到 12 周分别取出修复骨观察,结果显示,在实验过程中珍珠层粉末缓慢溶解,缺损部位有大量活性细胞,到第 12 周时,缺损部位出现新生骨小梁,造骨细胞及骨类质覆盖在新生骨小梁上,继续介导新骨形成;同时,以珍珠层有机物水溶性提取液为培养液,对其进行体外实验,将大鼠骨髓移植培养于提取液中,发现提取液可刺激骨源骨髓细胞生长,增强碱性磷酸酶活性。体内体外实验均表明,在牡蛎壳珍珠层粉末中含有可以促进骨源骨髓细胞生长的成分。2003 年, Buddy D. Ratner 等人<sup>[34]</sup>将牡蛎珍珠层粉末置于磷酸缓冲液中,在室温下珍珠层中钙离子溶解与溶液中磷酸根离子反应,沉积于珍珠层表层,通过溶解重结晶于室温下生成羟基磷灰石。J.M.F. Ferreira<sup>[35]</sup>在 2006 年报道了从牡蛎壳粉采用水热法在 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 存在下制备羟基磷灰石,并系统研究了牡蛎壳粉的粒径、添加剂、时间等对羟基磷灰石的晶体结构和形貌的影响。结果显示,200℃下经 24 小时水热反应,牡蛎壳中文石可全部转化为羟基磷灰石,而牡蛎壳中碳酸钙的另一种晶型方解石则很难完全转化。



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库