

马氏珠母贝 生物学与养殖新技术

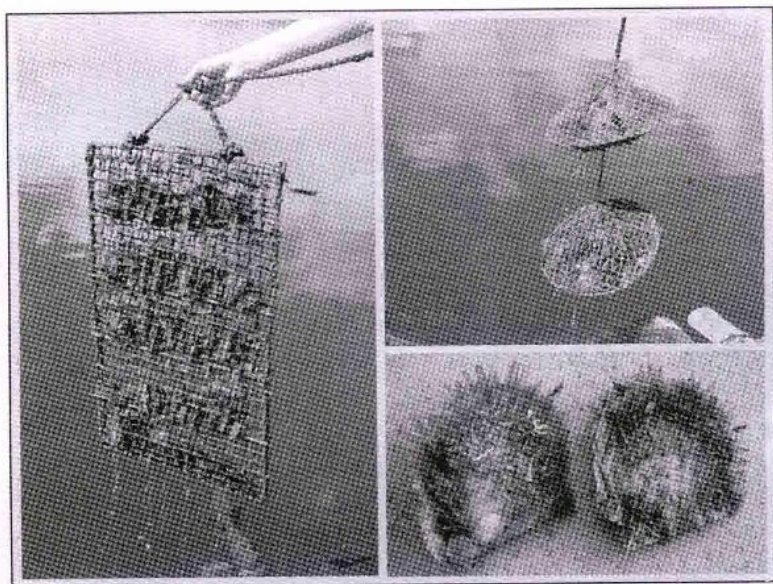
王爱民 石耀华 王 嫣 顾志峰 编著



中国农业科学技术出版社

马氏珠母贝 生物学与养殖新技术

王爱民 石耀华 王 嫣 顾志峰 编著



中国农业科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

马氏珠母贝生物学与养殖新技术 / 王爱民等编著. —北京:中国农业科学技术出版社, 2010. 5

ISBN 978-7-5116-0146-9

I. ①马… II. ①王… III. ①海水养殖:珍珠养殖 IV. ①S968.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 062899 号

责任编辑 黄 卫 李 华

责任校对 贾晓红

出 版 者 中国农业科学技术出版社

北京市中关村南大街 12 号 邮编:100081

电 话 (010)82106631(编辑室) (010)82109704(发行部)

(010)82109703(读者服务部)

传 真 (010)82106636

网 址 <http://www.castp.cn>

经 销 者 新华书店北京发行所

印 刷 者 北京科信印刷厂

开 本 787 mm × 1 092 mm 1/16

印 张 18.375

字 数 430 千字

版 次 2010 年 5 月第 1 版 2010 年 5 月第 1 次印刷

定 价 40.00 元

—— 版权所有 · 翻印必究 ——

前 言

珍珠是唯一由有生命的生物产生的珠宝，光彩夺目，晶莹剔透，是华贵的装饰品；珍珠具有清热解毒、明目去翳、退热祛痰和收敛生肌等功效，是上佳的药材和保健品。珍珠从加工成项链、耳坠和胸坠等高档饰物到制成珍珠粉、珍珠口服液、滴眼液等药品或保健品，已经形成了一个巨大的生产和销售产业链。

马氏珠母贝是培育海水珍珠的主要母贝。在我国，马氏珠母贝产生珍珠的记载可以追溯到四千多年前，而且，流传有汉代的“合浦还珠”美丽传说。天然产生的珍珠不仅极其稀少，而且常常小而形状不规则，因此，只能作为贡品为少数人享用。1907年日本首次成功实现人工为马氏珠母贝植核生产珍珠，大大提高了海水珍珠的产量。在我国，1958年在广西壮族自治区利用马氏珠母贝培育出自己的第一颗人工养殖有核海水珍珠，1965年首次成功实现了马氏珍珠贝的人工育苗，海水珍珠养殖也得到了快速发展，至1997年，我国海水珍珠生产首次在产量上超过日本，居世界首位，年产量20~30t；珍珠养殖已经成为广东、广西和海南等省区沿海部分海域重要的海水养殖产业。

近年来，由于养殖水域自然条件的恶化、养殖上的急功近利等多方面的原因，我国马氏珠母贝生产的珍珠质量显著下降，养殖规模逐渐缩小，海水珍珠产业发展面临十分严峻的形势，曾经驰名中外的马氏珠母贝培育的“南珠”正面临着黯淡无光的尴尬境地。为此，海南大学在国家科技部、国家自然科学基金委员会等资助下，与国内兄弟单位合作，系统地开展了马氏珠母贝生物学和养殖技术的研究，我们把这些年的工作成果和收集的国内外文献编著成书，以期为我国的海水珍珠养殖产业发展起到积极的促进作用。

本书所涉及的部分科研得到了国家高技术研究发展计划（863计划）（2006AA10A409）、国家重点基础研究发展计划（973计划）（2010CB126405、2009CB126005）、科技部国际科技合作重点项目（2004DFA07200）、科技部农业科技成果转化资金（2006GB2E200236）和国家自然科学基金（30460105、30640440657、40866003、30960295）的支持；本书的出版得到了“水产养殖学”国家级特色专业的资助；本书的出版还得到了海南大学学术著作出版基金、热带生物资源教育部重点实验室、海南省热带水生生物技术重点实验室和水产养殖省级重点学科等资助。

本书第一章至第六章由石耀华编著；第七章至第十章、附录由王嫣编著；第十一章由王爱民编著；第十二章至第十三章由顾志峰编著。

我们对鼎力支持我们开展海水珍珠贝研究工作和资助我们编撰出版本书的领导和专家表示诚挚的感谢。由于时间仓促，水平有限，书中难免疏漏与不足，敬请读者斧正。

编著者

2010年3月于海口

目 录

第一篇 马氏珠母贝基础生物学特性

第一章 马氏珠母贝的分类地位与结构	(3)
一、珍珠贝的种类与分布	(3)
二、珍珠贝贝壳的基本结构与组成	(8)
三、马氏珠母贝软体部结构与组成	(24)
第二章 马氏珠母贝的生态特性	(34)
一、生态习性	(34)
二、食物与营养	(35)
三、生活史	(35)
四、生长与繁殖特性	(35)

第二篇 马氏珠母贝养殖

第三章 马氏珠母贝的苗种获取	(45)
一、天然苗的采集	(45)
二、人工育苗	(49)
三、人工冷冻保存技术	(70)
第四章 马氏珠母贝养殖技术	(76)
一、养殖场地的选择	(76)
二、养殖设施	(77)
三、养殖管理	(80)
四、养殖方式	(84)
五、马氏珠母贝的运输	(85)
第五章 马氏珠母贝插核育珠技术	(88)
一、珍珠形成的过程	(88)
二、人工育珠用具	(90)
三、术前处理	(91)
四、外套膜小片	(94)
五、插核	(96)
六、术后休养	(100)
七、育珠贝的管理	(101)





八、二次插核	(101)
九、马氏珠母贝养殖业存在的问题与对策	(102)
第六章 马氏珠母贝的敌害与防治	(108)
一、马氏珠母贝的免疫系统	(108)
二、危害马氏珠母贝的生物因子	(110)
三、珍珠贝致病的非生物因子	(112)
四、防治	(113)
五、我国马氏珠母贝的主要病虫害	(114)
第七章 珍珠的收获与加工	(120)
一、珍珠的收获与分级	(120)
二、珍珠的加工	(124)

第三篇 马氏珠母贝遗传与育种

第八章 马氏珠母贝染色体的研究	(133)
一、珍珠贝类染色体研究概况	(133)
二、马氏珠母贝染色体的制备及核型研究	(135)
三、重复序列在三种珍珠贝染色体上的 FISH 定位	(140)
四、多倍体和染色体工程	(147)
第九章 马氏珠母贝的遗传标记研究	(157)
一、珍珠贝遗传标记的种类与特征	(157)
二、马氏珠母贝的同工酶遗传学研究	(167)
三、马氏珠母贝 DNA 标记的遗传学研究	(169)
第十章 马氏珠母贝的基因组学研究	(194)
一、马氏珠母贝的遗传连锁图谱构建	(195)
二、马氏珠母贝表达序列标签的开发	(200)
第十一章 马氏珠母贝的遗传育种	(214)
一、育种技术及应用	(215)
二、展望	(233)

第四篇 马氏珠母贝资源与能量生理

第十二章 我国马氏珠母贝的资源与保护	(241)
一、我国马氏珠母贝的自然资源	(241)
二、马氏珠母贝与环境	(242)
三、我国马氏珠母贝自然资源现状与影响因素	(243)
四、马氏珠母贝资源保护	(244)
第十三章 马氏珠母贝的生理能量学	(248)



一、双壳贝类能量学研究概况	(248)
二、不同大小马氏珠母贝的生理能量学研究	(255)
三、不同季节马氏珠母贝能量收支研究	(261)
四、不同遗传背景的马氏珠母贝生理能量学研究	(265)
附录 珍珠分级国家标准	(276)

第一篇

马氏珠母贝基础生物学特性

珍珠不仅是华贵的装饰品，晶莹剔透，光彩夺目，而且是贵重的药材，具有清热解毒、平肝潜阳、安神镇定、明目去翳、退热祛痰、收敛生肌的作用，已经被制成珍珠粉、珍珠口服液、滴眼液等多种商品。珍珠又分为海水珍珠和淡水珍珠，海水珍珠的色泽比淡水珍珠更加丰富、光润，同等规格的海水珍珠的价格是淡水珍珠的2~10倍。海水珍珠贝养殖已经形成了一个年产值数亿美元的产业，在中国、日本、澳大利亚、中东、东南亚和法属玻利尼西亚（French Polynesia）等许多国家的热带和亚热带海洋中均有养殖。

马氏珠母贝、大珠母贝和黑蝶贝是最主要的海水珍珠育珠母贝，在我国，以马氏珠母贝为主。马氏珠母贝生产的珍珠驰名中外，称为“南珠”。我国在距今4000多年前已有马氏珠母贝的记载，汉代还有合浦还珠的美丽传说。据历史记载，从公元前221~206年的秦代开始就采集南珠贡奉给皇帝；宋代时，广西合浦县沿海一带逐渐开始较大规模地采集马氏珠母贝产的天然海水珍珠；明朝则是采集马氏珠母贝天然珍珠的最鼎盛时期，其中最多的一次是公元1499年（明朝弘治十二年），捕获的天然海水珍珠有大约800kg。天然产生的珍珠十分稀少，大约2000个珠母贝可能会有一颗珍珠，而且往往较小、形状不规则，颜色多种多样。据说13世纪中国就通过在贝壳和外套膜之间植入外物而获得了半圆珠和小佛像珠。19世纪末，日本人Kokichi Mikimoto通过类似的方法得到了半圆珠。

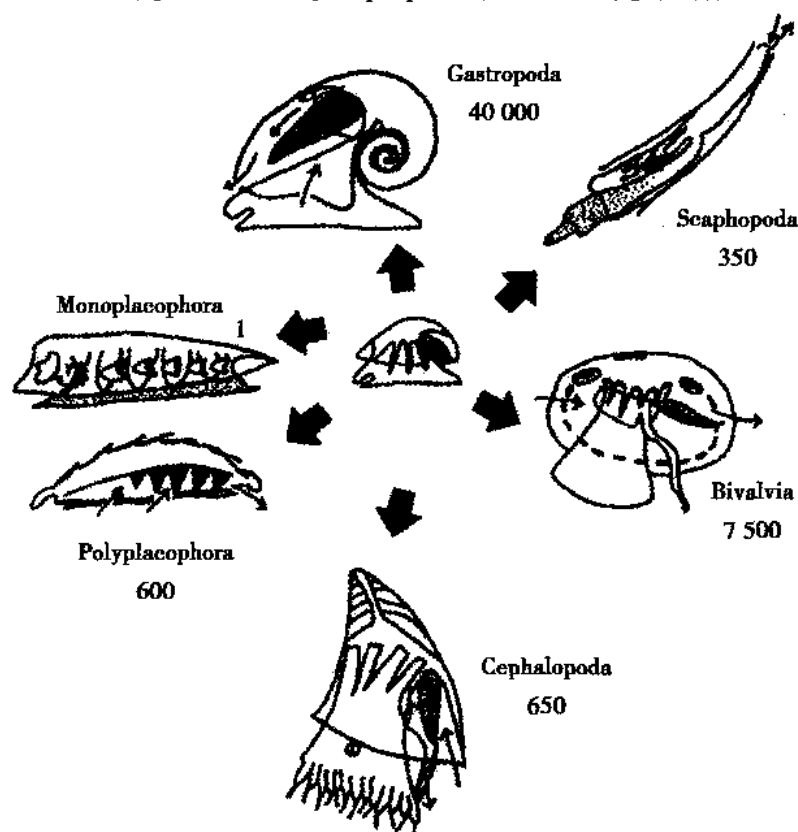
1907年日本首次成功实现利用外套膜和贝壳质或者金属质外核的植入形成珍珠囊（Pearl sac），进而分泌珍珠质，产生珍珠。尽管有人认为日本、澳大利亚和印度等国家还有其他少数学者也掌握了插核育珠技术，但是，日本的Kokichi Mikimoto长期以来被看着是珍珠人工插核养殖之父。

我国在老一辈珍珠贝类学家张玺、熊大仁教授等的不懈努力下，1958年海水有核珍珠养殖实验取得了成功，在广西北海培育出我国第一颗人工养殖的海水珍珠；1965年，中国科学院南海海洋研究所在我国首次成功实现了马氏珍珠贝的人工育苗。从1972年开始，我国海水珍珠养殖逐渐形成规模性生产，规模和产量均取得了长足发展，已经成为广东、广西和海南等南方省份部分沿海地区重要的养殖产业。2000年，我国海水珍珠生产首次在产量上超过日本，居世界首位。目前，我国每年海水产珍珠产量20~30t，2004年11月4日国家质检总局发布公告，宣布对北海合浦南珠实施原产地保护。

第一章 马氏珠母贝的分类地位与结构

一、珍珠贝的种类与分布

软体动物门是动物界中数量最多、变化最大、也是最重要的类群之一。目前已经描述的超过了50 000种，其中，约有30 000种为海生类型。软体动物有6个主要的纲（图1-1），其中腹足纲（Class Gastropoda）最大，约有40 000种；双壳纲（Class Bivalvia）次之，大约有7 500种；头足纲（Class Cephalopoda）约有650种，珊瑚虫纲 [Classes Polyplacophora (chitons)] 和掘足纲 [Scaphopoda (tusk shells)] 共有大约1 000种。



数字显示的是各个纲对应的物种的大至数量

图1-1 由共同的假定祖先演化形成软体动物门6个纲的辐射分支图（自Morton, 1967）

（一）珍珠贝的分类地位

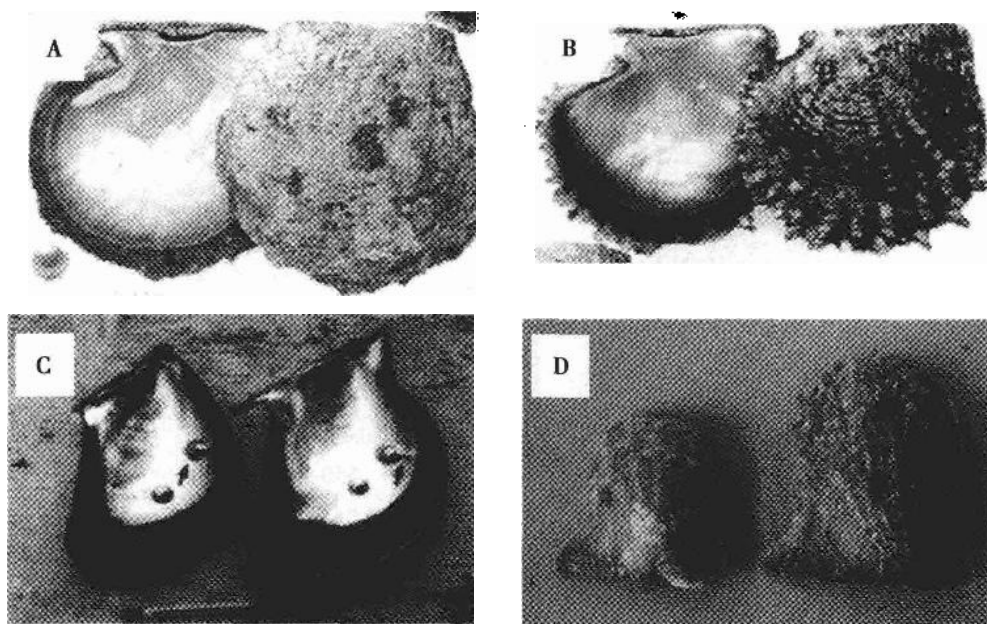
珍珠贝在系统分类上属于软体动物门（Mollusca），双壳纲 [Bivalvia，又称瓣鳃纲]



(Lamellibranchia)], 翼形亚纲 (Pteriomorphia), 珍珠贝目 [(Pterioidea), 又称异柱目 (Anisomyaria)], 珍珠贝亚目 (Pterina), 珍珠贝超科 (Pteriacea), 珍珠贝科 (Pteriidae)。

(二) 珍珠贝的种类与特征

珍珠贝主要分属于珍珠贝科的珠母贝属 (*Pinctada*) 和珍珠贝属 (*Pteria*)。其中, 在我国及附近海域分布的珠母贝属有马氏珠母贝 (*Pinctada martensii*, 或 *Pinctada fucata martensii* Dunker, 又称合浦珠母贝 *Pinctada fucata*)、大珠母贝 (*Pinctada maxima*, 俗称白蝶贝)、珠母贝 (*Pinctada margaritifera*, 俗称黑蝶贝)、长耳珠母贝 (*Pinctada chemnitzii*, 又称解氏珠母贝)、黑珠母贝 (*Pinctada nigra*)、白珠母贝 (*Pinctada albina*)、斑珠母贝 (*Pinctada maculata*)、拟金蛤珠母贝 (*Pinctada anomioidea*) 和射肋珠母贝 (*Pinctada radiata*) 等 9 个种, 珍珠贝属有企鹅珍珠贝 (*Pteria penguin*)、宽珍珠贝 (*Pteria loveni*)、海鸡头珍珠贝 (*Pteria dendronephthya*)、萨氏珍珠贝 (*Pteria savignyi*)、理石珍珠贝 (*Pteria marmorata*)、前翼珍珠贝 (*Pteria antelata*)、鹌鹑珍珠贝 (*Pteria coturnix*)、扭喙珍珠贝 (*Pteria tortirostris*)、短翼珍珠贝 (*Pteria brevisalata*)、中国珍珠贝 (*Pteria chinese*)、奇异珍珠贝 (*Pteria admirabilis*) 和泡状珍珠贝 (*Pteria bulliformis*) 12 个种 (图 1-2)。不同种属的珍珠贝的表型性状既有相似之处, 也存在这样或者那样的差别, 依据它们的表型性状的不同可以进行区分检索。



A. 大珠母贝; B. 黑蝶贝; C. 企鹅珍珠贝; D. 解氏珠母贝

图 1-2 我国部分常见的珍珠贝 (A 和 B 自 McGladdery, 2007; C 自 Bondad - Reantaso 等, 2007)



珍珠贝检索表

- A. 贝壳内表面珍珠层极发达, 壳形正, 壳常较厚, 两壳几乎相等 珠母贝属 *Pinctada*
1. 壳绞合部无齿 珠母贝 *Pinctada margaritifera*
壳绞合部有齿 2
 2. 壳大, 厚重, 成体壳高超过 200mm 大珠母贝 *Pinctada maxima*
壳较小, 较薄, 成体壳高不足 200mm 3
 3. 壳稍扁平, 后耳较长, 闭壳肌痕较细长 长耳珠母贝 *Pinctada chemnitzii*
壳较凸, 后耳不长, 闭壳肌痕较短 4
 4. 壳多呈黑褐色或黑紫色, 闭壳肌痕顶部长而较尖 黑珠母贝 *Pinctada nigra*
壳非黑褐色或黑紫色, 闭壳肌痕顶部不尖且较短 5
 5. 壳乳白色或者浅黄褐色 白珠母贝 *Pinctada albina*
壳非乳白色或者浅黄褐色 6
 6. 壳较小且厚, 闭壳肌痕顶部短圆 斑珠母贝 *Pinctada maculata*
壳稍大, 不很厚, 闭壳肌痕顶部较长 7
 7. 贝壳较大且凸 马氏珠母贝 *Pinctada martensii*
贝壳较小, 稍平 8
 8. 贝壳表面较粗糙, 闭壳肌痕顶部较长 拟金蛤珠母贝 *Pinctada anomioidea*
贝壳表面较光滑, 闭壳肌痕顶部较短 射肋珠母贝 *Pinctada radiata*
- B. 贝壳内表面珍珠层极发达, 壳斜, 较薄, 两壳略不等, 绞合线较长 珍珠贝属 *Pteria*
1. 壳极大, 厚重, 呈黑色 企鹅珍珠贝 *Pteria penguin*
壳较小, 不厚重, 不呈黑色 2
 2. 壳高较短, 背、腹缘几乎平行 短翼珍珠贝 *Pteria brevilata*
壳高较长, 背、腹缘不平行 3
 3. 壳腹缘凸圆、肥大 宽珍珠贝 *Pteria loveni*
壳腹缘非凸圆、不肥大 4
 4. 壳表面具褐色波状花纹 5
壳表面无褐色波状花纹 6
 5. 壳斜, 后耳常较长, 波状花纹呈黑色、白色, 很明显 鹌鹑珍珠贝 *Pteria coturnix*
壳不斜, 后耳较短, 波状花纹呈黑褐色、土黄色, 不明显 理石珍珠贝 *Pteria marmorata*
 6. 壳面隆起很凸 7
壳面隆起不很凸 8
 7. 壳较大, 前耳较圆, 稍扭曲 扭喙珍珠贝 *Pteria tortirostris*
壳较小, 前耳呈三角形, 不扭曲 前翼珍珠贝 *Pteria antelata*
 8. 壳色浅, 略透明, 后耳细小 泡状珍珠贝 *Pteria bulliformis*
壳色较深, 不透明, 后耳不细小 9
 9. 壳较大 10
壳较小 11



10. 足丝孔较大, 后耳明显 萨氏珍珠贝 *Pteria savignyi*
 足丝孔较小, 后耳不明显 奇异珍珠贝 *Pteria admirabilis*
 11. 壳小, 颜色浅, 后耳较短 海鸡头珍珠贝 *Pteria dendronephthya*
 壳小较大, 颜色深, 后耳较长 中国珍珠贝 *Pteria chinese*

(三) 珍珠贝的地理分布

珍珠贝属于暖水性双壳贝类, 分布于热带和亚热带海域 (表 1-1)。自低潮线附近到潮线下近百米的浅海海区都已发现了珍珠贝, 但是, 不同的珍珠贝种间存在较大差异。珠母贝一般存在于沙质、砾质、岩质或泥沙质海区, 泥质的海区很少有珍珠贝, 常常是珊瑚礁动物区系的有机成分之一。

(四) 马氏珠母贝的命名

马氏珠母贝 (图 1-3) 拉丁文种名和中文名称的使用在国内外都不一致, 有多种称谓。在我国, 文化大革命之前使用的是“马氏珠母贝”; “文革”期间, 受当时极左思想的影响, 许多期刊规定不能使用以人名命名的中文物种名称, 凡以姓氏命名的种名, 必须更换名称, 因此, “马氏珠母贝”按照出产地名称被改名为“合浦珠母贝”。黄宗国主编的《中国海洋生物种类与分布》和蔡英亚等 2006 年编著的《广东的海贝》中均采用马氏珠母贝的中文名和 *P. martensii* (Dunker, 1850) 的学名; 齐钟彦主编的《新拉汉无脊椎动物名称》中尽管中文名将“马氏珠母贝”改为“合浦珠母贝”, 但是拉丁学名仍然使用 *P. martensii* (Dunker); 王祯瑞编著的《中国动物志·无脊椎动物·软体动物门·双壳纲·珍珠贝亚目》采用“合浦珠母贝”的中文名, 而使用的拉丁名改为 *P. fucata martensii*, 与日本学者使用的学名一致。



图 1-3 马氏珠母贝



表 1-1 中国近海珍珠贝的地理分布 (自王祯瑞, 2002)

种名	分布	日本 本州及以南	中国海域				菲 律 宾	印 度 尼 西 亚	马 来 半 岛	大 洋 洲 北 部	太 平 洋 中 部	泰 国 湾	印 度 洋	红 海	非 洲 东 岸	地 中 海	大 西 洋
			东 海	南 海	海 南 岛	西 南 群 岛											
马氏珠母贝 (<i>Pinctada martensii</i>)		●	●	●	●												
大珠母贝 (<i>Pinctada maxima</i>)		●		●	●	●	●	●	●	●	●		●				
珠母贝 (<i>Pinctada margaritifera</i>)		●	●	●	●	●	●		●	●	●		●	●			
长耳珠母贝 (<i>Pinctada chemnitzii</i>)		●	●	●	●		●		●	●			●	●			
黑珠母贝 (<i>Pinctada nigra</i>)					●	●	●		●	●	●	●	●	●	●		
白珠母贝 (<i>Pinctada albina</i>)		●	●		●	●		●		●							
斑珠母贝 (<i>Pinctada maculata</i>)		●		●	●	●	●	●		●	●		●				
拟金蛤珠母贝 (<i>Pinctada anomioidea</i>)					●		●	●		●	●		●	●			
射肋珠母贝 (<i>Pinctada radiata</i>)				●	●		●				●		●			●	●
企鹅珍珠贝 (<i>Pteria penguin</i>)		●		●	●			●		●			●				
宽珍珠贝 (<i>Pteria loveni</i>)		●		●	●			●		●							
海鸡头珍珠贝 (<i>Pteria dendronephthya</i>)		●			●												
萨氏珍珠贝 (<i>Pteria savignyi</i>)					●							●					
理石珍珠贝 (<i>Pteria marmorata</i>)				●	●												
前翼珍珠贝 (<i>Pteria antelata</i>)						●				●							
鹌鹑珍珠贝 (<i>Pteria coturnix</i>)		●		●	●			●								●	
扭喙珍珠贝 (<i>Pteria tortirostris</i>)		●		●	●												
短翼珍珠贝 (<i>Pteria brevilata</i>)		●		●	●		●	●									
中国珍珠贝 (<i>Pteria chinese</i>)			●	●	●	●	●	●	●				●				
奇异珍珠贝 (<i>Pteria admirabilis</i>)				●	●												
泡状珍珠贝 (<i>Pteria bulliformis</i>)				●													



目前,在学术期刊发表的文章中,国内研究马氏珠母贝主要科研院所中国科学院南海海洋研究所、海南大学、广东海洋大学以及广西科学院等基本上使用“马氏珠母贝”的中文名和“*P. martensii*”的学名,清华大学和中国水产科学研究院南海水产研究所则往往使用“合浦珠母贝”和“*P. fucata* (Gould, 1857)”。美国学者主要使用 *P. martensii*。在日本,马氏珠母贝被称为“Japanese pearl oyster”,学名则主要采用 *P. fucata martensii*,少数使用 *P. martensii* 或者 *P. fucata*;在加勒比海地区使用 *P. imbricata*,在伊朗和斯里兰卡多使用 *P. radiata*。

中国科学院自然科学名词编订室1966年出版的《拉汉无脊椎动物名称》认为,凡曾用过的名称,应该相对稳定,不要轻易更动。国内学者普遍认为,“合浦珠母贝”只是“文革”特定的历史条件下的产物,马氏珠母贝自然条件下也并不是只在广西壮族自治区合浦县才有,而是遍布世界,水平分布范围很广,而且我国的雷州半岛海域的产量远远高于广西壮族自治区合浦县,中名还是用“马氏珠母贝”较妥当,对应的学名则采用 *P. martensii*。这也符合“首次合法命名优先”的原则。

马氏珠母贝的模式标本产地为日本,从日本的千叶县以南直至澳大利亚和印度的广大区域均有分布。在我国,马氏珠母贝自浙江的南几岛、福建的东山沿海,往南直至北部湾的广西壮族自治区北海市、合浦县,以及海南岛沿岸和南海地区均有分布。

二、珍珠贝贝壳的基本结构与组成

贝壳是软体动物的主要保护结构,使贝类内脏组织免受外界不良环境条件和生物敌害的危害。对人类而言,贝类形态各异,五光十色,具有很高的观赏价值。此外,贝壳还有很高的食用价值。珠母贝贝壳的Ca、Na、Mg、Sr和Fe等元素研究结果表明,贝壳中的元素可能是人体内微量元素获得的渠道之一,定量食用贝壳可以提高人体内微量元素的含量。珍珠质处理被人为破坏的绵羊脊椎骨的研究结果显示,第12周时,被人为破坏的绵羊脊椎骨空隙中已经填充了新成熟的骨小梁(Bone trabeculae),骨小梁与消融的珍珠质相邻或者相连;大鼠骨髓的体外培养研究也表明,水溶性珍珠质抽提物也可以刺激成骨细胞碱性磷酸酶活性提高。因此,珍珠质可以离体或者活体促进骨细胞的分化和骨的形成。

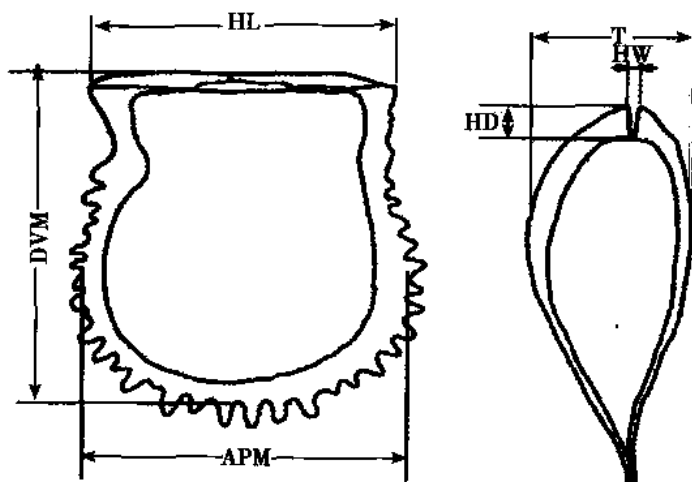
(一) 马氏珠母贝贝壳的形态结构

马氏珠母贝成贝的贝壳中等大小,略呈正方形;壳高一般为7~10cm,最大的甚至可达壳高13cm;贝壳的背缘平直,腹缘呈圆形,前缘延生呈鳞片状,薄而脆,易脱落;贝壳显著隆起,两片贝壳隆起的程度略有差异,左壳常常比右壳略凸,壳顶比较靠近背缘的前方;壳顶的前后方分别形成了略呈三角状的耳状突起,称为壳耳,一般前耳较小,后耳稍大;右壳紧邻前耳的下方明显缢缩,形成了足丝伸出贝壳的足丝孔。左右壳相连的绞合部较直,有一些小齿,由细长的韧带连接,呈紫褐色(图1-4)。

马氏珠母贝的贝壳外表面颜色一般为淡黄色、青褐色或者黄紫色等,生长在不同海区的颜色略有变化。壳表面有围绕壳顶尖端的细密同心生长线,片状层叠排列,末端翘起,呈舌状鳞片,而且常常形成几条自壳顶的平滑面出发至腹部边缘的放射带,通常



5~7条，暗褐色或者黑色，没有黑蝶贝的那么明显。闭壳肌痕位于内壳中央偏后方的部位，稍稍呈长圆形，比较大。



DVM - 背腹长 (Dorsoventral measurement, 又称壳高),
APM - 前后长 (Anteroposterior measurement, 又称壳长), HL - 绞合线长 (Hinge length),
HD - 绞合线深 (Hinge depth), T - 壳厚 (Thickness), HW - 绞合线宽 (Hinge width)

图 1-4 马氏珠母贝贝壳的基本结构 (自 Gervis and Sims, 1992)

(二) 珍珠贝贝壳的显微亚结构和组分

马氏珠母贝的贝壳主要成分是无机物碳酸钙，此外还有少量的壳基质（也称贝壳素 Conchiolin），它们均由外套膜的上皮细胞分泌形成。马氏珠母贝的贝壳一般可以分为三层：①外表的角质层 (Periostracum)。薄而且透明，有光泽，主要由壳基质构成，对酸碱的侵蚀均有较强的耐受性，具有保护作用。②中间的棱柱层 (Prismatic layer)。也称壳层，是贝壳的主体部分，由角柱状的方解石 (Calcite) 构成。③位于壳内表面的珍珠质层 (Pearl layer)。亦称壳底 (Hypostracum)，光泽绚丽，主要由叶状霏石 (Aragonite) 和文石构成 (图 1-5)。贝壳内表面被覆的珍珠质显微结构以及化学成分与珍珠的珍珠质层相似，都含有 95% 以上的文石型碳酸钙和不足 5% 的蛋白质等有机质。外层和中层主要由外套膜的边缘和背侧分泌形成，伴随着贝的生长而逐渐扩大，不过厚度基本维持不变；内层由整个外套膜分泌而成，其厚度随贝的生长而逐渐增加。一般来说，贝壳中部的珍珠质层比较厚，珍珠光泽好，呈银白色；外周的珍珠质层相对较薄，呈淡黄色；最外沿的壳很薄，没有珍珠质，一般呈锯齿状。

1. 棱柱层亚结构与组成

过去常常认为珍珠贝的棱柱层仅仅是由柱状的方解石组成，马红艳分析了马氏珠母贝的珍珠质层结构后提出，马氏珠母贝的棱柱层不仅含有方解石棱柱，而且还有文石棱柱、由方解石和文石共同组成的棱柱，以及文石呈方解石假象构成的棱柱层。

依据棱柱层角柱状结构的排列方式，可以将其大致分为两种，一种是单层棱柱层，包括两类：表面完整光滑的角柱状结构和表面不光滑而且有空腔的角柱状结构；另一种

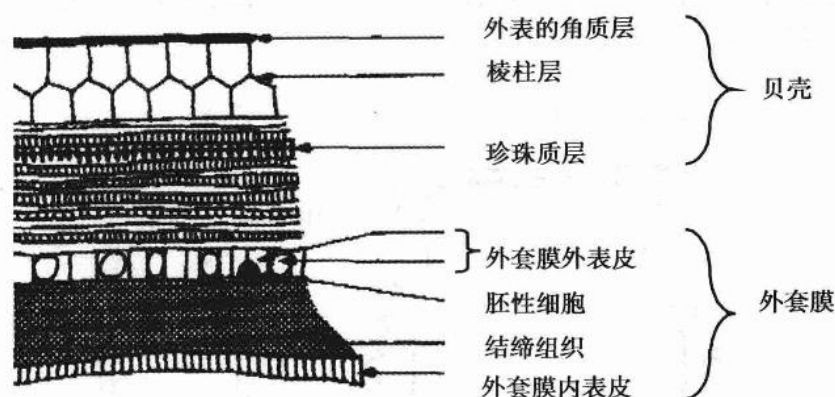


图 1-5 珍珠贝壳的结构示意图 (自 Gervis and Sims, 1992)

是复棱柱层, 角柱状结构排列为 2~3 层, 边缘一般不平滑。

2. 珍珠质层的亚结构与组成

国外已有大量关于珍珠层显微结构的报道, 采用了扫描电镜 (Scan electronic microscope, SEM)、透射电镜 (Transmission electron microscopy, TEM) 和原子力显微镜 (Atomic force microscopy, AFM) 等多种高精度的超微结构分析仪器设备。珍珠质层结构呈现物种多样性, 珍珠质片状结构的大小、排列方式等随物种的不同而表现出或多或少的差异。在珍珠质层晶体学研究方面, 有关文石晶体三维空间取向完整信息的研究, 对了解珍珠层微结构具有十分重要的意义。珍珠质层总体上可以大致分为两种结构: 一是砌砖型。淡水的褶纹冠蚌 (*Cristaria plicata*) 和三角帆蚌 (*Hyriopsis cumingii*) 的珍珠质层的研究结果表明, 同一微层中的文石板片, 即便是相邻的板片, 其 a、b 轴的取向也可能不相同。海水的企鹅珍珠贝和大珠母贝珍珠层文石晶体的结晶学取向的研究结果也显示, 两种珍珠贝的类文石晶体的 a 轴都存在择优取向。二是堆垛型。红鲍 (*Haliotis rufescens*) 的珍珠质层文石晶体取向性研究时发现, 在同一堆垛中, 微层间文石板片按结晶学轴定向排列, 但不同堆垛中文石板片的 a、b 轴取向是随机分布的。晶体的取向性主要与贝类珍珠质层的成核蛋白的组织程度有关, 直接受贝类的遗传信息的控制。

电子显微镜技术的发展, 推进了贝壳显微结构的研究。20 世纪 50 年代, 日本学者开始使用电子显微镜观察珍珠层的微结构, 从矿物学角度较系统地研究了珍珠层的物质构成。1977 年 Curry 对珍珠质层的力学性质的研究和系统总结极大地提高了材料学家对珍珠层的研究兴趣, 为材料学家参与珍珠层的研究打下了基础。

珍珠质层属于典型的纳米结构材料, 马氏珠母贝珍珠质层中文石的粒径为 5~15nm, 大珠母贝珍珠质层文石相对较粗, 其粒径约 40nm。

珍珠质层是在有机质的精确调控下, 碳酸钙晶体有序沉积而形成的多重微尺度生长结构。扫描电镜景深大、立体感强和可直接观察细微结构, 为了弄清楚珍珠质层的形成机理以及显微结构, 杜晓东等采用扫描电子显微镜观察和分析了马氏珠母贝珍珠质层的表面和断面结构, 认为珍珠质层可以分为 3 层: ①无定形的有机基质层。位于珍珠质的最内层, 厚度一般为 5~10 μm , 最厚的地方有 100 μm , 其中常常有一些颗粒状结晶物