**项目名称：两种大型海藻规模化栽培新技术及其对造礁石珊瑚影响的分子解析**

**项目简介：**

海南省大型海藻主要的养殖种类有红藻中的琼枝麒麟菜和绿藻中的海葡萄为主。大型藻类是海底植物，除了本身具有重要的经济价值之外，还具有保护和改善海洋生态环境的功能。二十世纪五十年代，中国科学院海洋研究院的专家们便开始研究琼枝麒麟菜的人工养殖技术，最初的研究目的，是为了利用琼枝麒麟菜对水体的净化作用来保护海洋生态环境。琼枝麒麟菜它是海洋植物，它可以充分吸收海水中的二氧化碳，利用光，通过光合作用产生葡萄糖和氧气，所以被叫做海底庄稼。琼枝麒麟菜对海水中无机氮的去除率为90%，对磷酸盐的去除率为80%，对海水有着很好的净化作用。琼枝麒麟菜用途之二：是制造卡拉胶的重要原料，琼枝麒麟菜中，含有丰富的卡拉胶、纤维素、维生素和矿物质等物质。从琼枝麒麟菜中提炼出来的卡拉胶是一种亲水性胶体，在食品工业中 应用非常广泛，是优良的增稠剂、凝固剂、悬浮剂、稳定剂和澄清剂。另外，卡拉胶还作为悬浮剂和澄清剂，广泛应用在啤酒、饮料和一些调味品中。琼枝麒麟菜用途之三：作为鲍鱼的饵料，琼枝麒麟菜的人工养殖成本低、产量高，作为鲍鱼等海珍品的饵料，营养丰富、适口性好，可以获得非常高的经济效益琼枝麒麟菜是鲍鱼等海珍品的可口饵料，通过食物链达到物质和能量转化，实现琼枝麒麟菜的高值化。因此，课题组对琼枝麒麟菜的养殖技术和方法进行了改进和推广。

海葡萄，学名长茎葡萄蕨藻，隶属绿藻门蕨藻科。它体态圆润饱满，晶莹剔透，色泽鲜艳，她是属于海洋中的“小晶莹”，犹如一串串的葡萄而得名。因其独有的外观，艳丽的色彩，全面而丰富的营养，鱼子酱般的口感，用舌尖轻轻触碰即化，满嘴润滑，鲜香四溢，又加之有令人震撼的爆浆声，颇有鱼子酱的神韵，被誉为植物中的“鱼子酱”。课题组，经过5人多年的不断探索和努力，终于成功研发出适合我国岛屿环境气候条件的海葡萄人工养殖技术，并实现了规模生产。此外，该技术团队对海葡萄生物学特征、生态学习性和特殊营养需求进行了深入研究，建立了一套成熟的海葡萄生产、养殖与管理的技术体系，在我国热带和亚热带海域能够全年不间断高产、稳产和优质生产，实现了海葡萄的“绿色、有机、无污染”养殖标准，产品品质优越，赢得了消费者普遍赞誉。

琼枝麒麟菜、海葡萄是珊瑚礁生态系统的重要环境友好型生物，它们能有效降低海水中二氧化碳、氮、磷等营养物质的浓度，通过把藻类收获上岸，把大量的氮磷等物质从海水中转移出来，达到净化海水的目的，减少海水的富营养化程度，防止赤潮发生，在改善海洋环境方面，起着重要的意义，同时，海藻的人工养殖，也为沿海地区农民增收、渔业增效起到了积极的推动作用。尤其重要的是改善周边海越珊瑚的水质环境。珊瑚，尤其是造礁石珊瑚，对水质环境要求很高，课题组研究了 造礁石珊瑚对水环境铵氮、温度、重金属、微塑料等环境因子对的影响机制。

因此，成果主要体现在：1. 琼枝麒麟菜规模化栽培新技术；2、海葡萄规模化栽培新技术；3.造礁石珊瑚环境胁迫响应的分子解析。从分子水平分析，发现琼枝麒麟菜和海葡萄规模化栽培有利于造礁石珊瑚的生长。

**代表性成果：**

1.论文：

[1] 李洋,段泽林,黄勃,黄霞,李俊,詹绍芬,王雅丽,于淑楠.藻场海水氮磷含量对琼枝氮磷吸收的影响[J].热带生物学报,2016,7(01):30-35.

[2] 杨湘勤,丁敬敬,黄勃,张懿丹,胡亚强,袁超.琼枝麒麟菜养殖方式及其效益分析[J].渔业现代化,2015,42(06):16-19+25.

[3] 胡吟胜,段泽林,黄勃,于淑楠,王婷.琼枝野生群体与养殖群体的EST-SSR分析[J].水产学报,2013,37(09):1313-1318.

[4] 李俊,邱勇,黄勃,胡吟胜.海洋环境因子对琼枝麒麟菜形态特征的影响[J].广东农业科学,2013,40(13):127-128+155.

[5] 胡吟胜,杨文杰,黄勃,于淑楠.基于EST-SSR不同地理的琼枝群体遗传差异研究[J].基因组学与应用生物学,2013,32(03):367-371.

[6] 张钰,王仁恩,黄勃,杨文杰.麒麟菜养殖区海域浮游桡足类种类组成与多样性[J].安徽农业科学,2012,40(19):10160-10162.

[7] Su Y., Zhou Z.\*, Yu X., Possible roles of glutamine synthetase in responding to environmental changes in a scleractinian coral. Molecular Biology Reports, 2018, online.

[8] Tang J., Ni X., Zhou Z.\*, Wang L., Lin S., Acute microplastic exposure raises stress response and suppresses detoxification and immune capacities in the scleractinian coral Pocillopora damicornis. Environ Pollut, 2018, 243: 66-74.

[9] Zhou Z.\*, Zhao S., Ni J., Su Y., Wang L., Xu Y., Effects of environmental factors on C-type lectin recognition to zooxanthellae in the stony coral Pocillopora damicornis. Fish Shellfish Immunol, 2018, 79: 228-233.

[10] Zhou Z.\*, Yu X., Tang J., Zhu Y., Chen G., Guo L., Huang B., Dual recognition activity of a rhamnose-binding lectin to pathogenic bacteria and zooxanthellae in stony coral Pocillopora damicornis. Dev Comp Immunol, 2017, 70: 88-93.

[11] Yuan C., Zhou Z.\*, Zhang Y., Chen G., Yu X., Ni X., Tang J., Huang B., Effects of elevated ammonium on the transcriptome of the stony coral Pocillopora damicornis, Mar Pollut Bull, 2016, 114(1): 46-52.

[12] Zhou Z.\*, Zhang G., Chen G., Ni X., Guo L., Yu X., Xiao C., Xu Y., Shi X., Huang B., Elevated ammonium reduces the negative effect of heat stress on the stony coral Pocillopora damicornis. Mar Pollut Bull, 2017, 118(1-2): 319-327.

[13] Yu X., Huang B., Zhou Z.\*, Tang J., Yu Y., Involvement of caspase3 in the acute stress response to high temperature and elevated ammonium in stony coral Pocillopora damicornis. Gene, 2017, 637: 108-114.

[14] Zhou Z.\*, Wu Y., Zhang C., Li C., Chen G., Yu X., Shi X., Xu Y., Wang L., Huang B., Suppression of NF-kappaB signal pathway by NLRC3-like protein in stony coral Acropora aculeus under heat stress. Fish Shellfish Immunol, 2017, 67: 322-330.

[15] Zhou Z.\*, Yu X., Tang J., Wu Y., Wang L., Huang B., Systemic response of the stony coral Pocillopora damicornis against acute cadmium stress. Aquat Toxicol, 2018, 194: 132-139.

[16] Zhang Y., Yu X., Zhou Z.\*, Huang B., The complete mitochondrial genome of Acropora aculeus (cnidaria, scleractinia, acroporidae). Mitochondrial DNA, 2015, 27(6): 4276-4277.

[17] Zhang Y., Zhou Z.\*, Wang L., Huang B., Transcriptome, expression, and activity analyses reveal a vital heat shock protein 70 in the stress response of stony coral Pocillopora damicornis. Cell Stress Chapero, 2018, 23(4): 711-721.

[18] Hou J., Xu T., Su D., Wu Y., Cheng L., Wang J., Zhou Z.\*, Wang Y., RNA-Seq Reveals Extensive Transcriptional Response to Heat Stress in the Stony Coral Galaxea fascicularis. Front Genet, 2018, 9(37): 37.

2.成果影响

[1] 课题组录制了琼枝麒麟菜养殖与推广新技术《琼枝麒麟菜养殖技术与推广应用》，（<http://www.cyone.com.cn/cfsp/18601.html> CCTV7 农广天地节目），社会影响显著。

### [2] 课题组录制了海葡萄养殖与推广新技术《像葡萄 藏海底 让它进市场真不易》（[http://tv.cctv.com/2018/01/24/V IDEqAF9IQMkXgqw WVLR9oh2180124.shtml](http://tv.cctv.com/2018/01/24/V%20IDEqAF9IQMkXgqw%20WVLR9oh2180124.shtml) CCTV7 科技苑）以及新华社（2016.1.18），海南日报（2017.4.1），中国科学报（2016.8.24）进行了广泛报道，社会影响显著。

**主要完成单位对项目的创造性贡献：**

所有成果均由海南大学独立完成

**主要完成人对项目的创造性贡献：**

黄勃：负责项目的总体规划，重点贡献琼枝麒麟菜养殖新技术推广与应用和造礁石珊瑚影响的分子解析部分关键问题的解决。

周智：负责造礁石珊瑚的分子解析实验的设计与实施及论文撰写。

方再光：负责海葡萄的养殖新技术推广与应用。

王林桂：指导课题组实施部分实验以及资料查询与整理工作。

俞小鹏：参与部分造礁石珊瑚的分子解析实验实施及论文初稿撰写。

**项目名称：波纹唇鱼保护生物学研究**

**项目简介：**

波纹唇鱼（*Cheilinus undulates*）俗称苏眉、拿破仑，是世界著名的珊瑚礁鱼类之一，具备极高的观赏价值和食用价值，由于栖息地破坏和过度商业捕捞等原因导致波纹唇鱼濒临灭绝。波纹唇鱼被世界自然基金会列入十大濒危物种名单，该鱼也被列入IUCN（国际自然保护联盟）濒危动物红皮书和CITES<<濒危野生动植物种国际贸易公约>>。波纹唇鱼的多样性、生殖生理和人工繁殖研究，在濒危物种的保护上有极其重要意义，也具备较大的经济利用潜力。

本项目针对波纹唇鱼群体遗传多样性、人工驯养、亲鱼培育、生殖生理、人工繁殖、个体发生、苗种培育等方面进行了研究，取得了显著的成果：

**（1）波纹唇鱼群体遗传多样研究**：运用线粒体基因标记结合微卫星分子标记研究了南海4个不同地理波纹唇鱼群体的遗传多样性及遗传分化。基于4个线粒体基因和微卫星分子标记联合研究波纹唇鱼群体水平上遗传多样性以及遗传分化,虽然各种分子标记结果存在微小差异,但总体结果表明波纹唇鱼群体间的遗传分化不明显,遗传多样性水平也很低，这可能表明波纹唇鱼现有种群资源处于濒危状态。

**（2）波纹唇鱼消化生理研究：**波纹唇鱼的生物学研究——完成波纹唇鱼人工培育条件下产卵行为的研究、胚胎发育的研究、消化道组织学研究、波纹唇鱼染色体核型分析等研究内容。

**（3）波纹唇鱼生殖生理研究：**揭示了不同年龄和不同季节波纹唇鱼雌雄性腺发育和配子发育规律，掌握了其性腺结构特征，奠定了开展人工繁育的理论基础。发现波纹唇鱼为非同步产卵类型鱼类,雌雄性个体性腺发育具有一致性,这对人工繁殖的开展具有重要意义。研发了波纹唇鱼人工性反转技术，为解决波纹唇鱼雄鱼数量较少的问题提供了技术保障。

**（4）波纹唇鱼人工繁殖技术研究**

通过选择合理的亲鱼培育的环境条件和培育方式，采取特殊的营养强化培育，进行适合该鱼种的雌雄配组，促使亲鱼在人工培育条件下产卵繁育，16尾亲鱼共产卵10.97千克，受精率48.95%，孵出仔鱼2300万尾（2014年）。揭示了波纹唇鱼胚胎发育速率较快的规律，为人工育苗奠定了理论基础。

**（5）波纹唇鱼人工育苗和幼鱼培育技术研究**

通过设计合理的育苗方式，设计适合的人工育苗条件，设计仔鱼不同发育阶段的适宜饵料，使用受精卵400克进行池塘人工育苗，经过46天的培育，育成平均全长14.1（±1.0）mm规格的苗种5.4万尾，育苗成活率3.14%，苗种活泼、健康，体型正常。利用水泥池微流水培育，波纹唇鱼自46日龄（全长14.1mm）培育至131日龄（全长37.0mm），以摄食桡足类等浮游生物成功转化为摄食鱼肉、蟹肉，培育成活率87.2%。波纹唇鱼人工繁殖的产卵量、孵化率、育苗量等方面均全面优于国外水平。

本项目得到了2项国家自然科学基金课题“波纹唇鱼芳香化酶基因启动子的功能及甲基化调控机制研究”（31660737）、“波纹唇鱼种质资源的分子遗传多样性研究”(40966003)，和2项国家“863”计划课题“名贵海水鱼类苗种规模化繁育技术”（2006AA10A414）、“热带名贵海水动物等苗种繁育技术”（2012AA10A414）的资助，共发表论文21篇，其中SCI论文5篇，获得授权发明专利2项，相关成果被评价为“国际领先”水平，受到国内外同行的广泛关注。

**代表性成果：**

**1.论文**

[1] Han, Y., Chen, G., Luo, J., Wen, X., Li, W., & Wang, J. (2016). The complete mitochondrial genome of Cheilinus undulates based on high-throughput sequencing technique. Mitochondrial DNA Part A, 27(3), 1897-1899.

[2] 陈猛猛. (2015). 波纹唇鱼的性腺发育和人工繁殖及胚胎发育研究. (硕士), 海南大学（导师：陈国华，骆剑）

[3] 陈猛猛, 骆剑, 陈国华, 文鑫, 吴光灿, 李文深, & 韩玉龙. (2015). 波纹唇鱼(Cheilinus undulatus)的胚胎发育及初孵仔鱼的形态观察. 渔业科学进展, 36(05), 38-44.

[4] 胡静, 侯新远, 尹绍武, 祝斐, 贾一何, & 胡亚丽. (2014). 基于mtDNA ND1基因序列研究不同地理群体波纹唇鱼的遗传多样性和遗传分化. 海洋通报, 33(02), 163-168.

[5] 胡静, 侯新远, 尹绍武, 祝斐, 贾一何, & 王小军. (2014). 基于mtDNA COⅠ和Cytb基因序列对南中国海不同海域波纹唇鱼群体遗传多样性的研究. 水生生物学报, 38(06), 1008-1016.

[6] 黄飞. (2014). 波纹唇鱼性别发育候选基因的克隆与表达研究. (硕士), 海南大学 （导师：陈国华，骆剑）

[7] Hu, J., Yin, S., Ye, L., Wu, K., & Wang, Y. (2013). Variation Analysis of mtDNA D-loop Sequence of Cheilinus undulates. Agricultural Biotechnology (2164-4993), 2(4).

[8] 胡静, 侯新远, 尹绍武, 祝斐, 贾一何, & 胡亚丽. (2013). 波纹唇鱼(Cheilinus undulatus)不同地理种群遗传多样性的微卫星分析. 海洋科学进展, 31(04), 538-545.

[9] Hu, J., Qi, X., Yin, S., LUO, J., ZHU, X.-p., ZHU, F., & HU, Y.-l. (2012). The variation analysis of mtDNA D-loop sequence of Cheilinus undulatus. Marine Sciences, 35(4), 50-56.

[10] PENG, Y.-h., LUO, J., YIN, S.-w., ZHU, X.-p., HU, J., LIU, Z.-l., . . . HU, Y.-l. (2012). Screening and suitability analysis of microsatellite markers in Cheilinus undulatus [J]. Marine Sciences, 5, 019.

[11] 胡静. (2012). 基于线粒体DNA序列和微卫星标记分析波纹唇鱼不同地理群体的遗传多样性及遗传分化. (硕士), 海南大学（导师：尹绍武）

[12] 胡静, 齐兴柱, 尹绍武, 骆剑, 朱晓平, 祝斐, & 胡亚丽. (2012). 波纹唇鱼mtDNA D-loop序列变异分析. 海洋科学, 36(04), 50-56.

[13] 彭艳辉, 骆剑, 尹绍武, 朱晓平, 胡静, 刘志亮, 胡亚丽. (2012). 波纹唇鱼微卫星分子标记的筛选及适用性分析. 海洋科学, 36(05), 109-116.

[14] 彭艳辉. (2011). 波纹唇鱼微卫星分子标记的开发及其遗传多样性分析. (硕士), 海南大学 （导师：尹邵武，骆剑）

[15] CHEN, G.-H., WANG, Y.-B., WANG, J., LUO, J., LIN, B., & ZHANG, B. (2010). HISTOLOGY OF THE DIGESTIVE SYSTEM IN CHEILINUS UNDULATES RüPPELL [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 4, 003.

[16] 陈国华, 王永波, 王珺, 骆剑, 林彬,张本. (2010). 波纹唇鱼消化系统的组织学. 水生生物学报, 34(04), 685-693.

[17] 王永波, 陈国华, 骆剑, 王珺, 黄宗文, 尹绍武, & 张本. (2010). 波纹唇鱼消化系统的形态解剖与肠道上皮的扫描电镜观察. 海洋通报, 29(02), 199-205.

[18] 王永波, 陈国华, 王珺, 骆剑, 黄宗文, & 尹绍武. (2010). 波纹唇鱼消化道黏液细胞的类型与分布. 渔业科学进展, 31(05), 22-28.

[19] 霍蕊, 张本, 陈国华, 尹绍武, 王世锋, & 齐兴柱. (2009). 波纹唇鱼染色体核型分析. 海洋科学, 33(04), 94-97.

[20] 韩邦, 周智, 王茜, 文鑫, 单鳞茜, 邹文慧, & 骆剑. (2018) 热应激对波纹唇鱼免疫功能的影响. 海南大学学报(自然科学版), 1-10.

[21]单鳞茜（2018）性激素对波纹唇鱼Cyp19a1a启动子的调控机制研究。（硕士），海南大学（导师：骆剑，王茜）

**2.专利**

（1）一种波纹唇鱼的人工繁育方法（ZL201410403400.7）（陈国华，骆剑）

（2）一种波纹唇鱼的人工育苗方法（ZL201410551887.3）（陈国华，骆剑）

**主要完成单位对项目的创造性贡献：**

1.海南大学 第一完成单位

海南大学是4项相关国家课题的主持单位，所有论文的第一作者/通讯作者均是海南大学的教师或研究生，或者是在海南大学学习工作期间获得的研究成果；所有专利均以海南大学为唯一发明单位。海南大学主持了简介中的全部五个方面的主要工作，因此海南大学是该成果创造性贡献最大的单位。

2.海南青利水产繁殖有限公司 第二完成单位

海南青利水产繁殖有限公司参与了与该成果相关的2个国家“863”课题，提供了亲鱼培育基地，提供部分波纹唇鱼样品，参与亲鱼培育技术研发。

3.海南蓝海洋水产有限公司 第三完成单位

海南蓝海洋水产有限公司提供了波纹唇鱼育苗基地，参与了波纹唇鱼人工育苗技术研发，培育出批量幼苗。

4.海南晨海水产有限公司 第四完成单位

海南蓝海洋水产有限公司提供了波纹唇鱼育苗基地，参与了波纹唇鱼人工育苗技术研发。

**主要完成人对项目的创造性贡献：**

**骆剑**：是本成果相关项目中1项国家自然科学基金课题和1项国家“863”计划子课题的主持人，是2项发明专利的发明人，是15篇论文的作者和2项发明专利的发明人。主持了波纹唇鱼生殖生理、人工繁殖技术研究，也是波纹唇鱼群体遗传多样性的主要贡献者。

**陈国华**：是本课题1项国家“863”计划子课题的主持人，是2项发明专利的发明人，是9篇论文的作者和2项发明专利的发明人。主导波纹唇鱼亲鱼培育和苗种培育技术研发，负责消化生理的研究。

**尹绍武**：是本成果中1项国家自然科学基金课题的主持人，是12篇论文的作者。主持波纹唇鱼群体遗传多样性的研究。

**王茜**：是本成果中1项国家自然科学基金和1项国家“863”计划子课题的主要参与者，是2篇论文的作者。参与波纹唇鱼性别控制与生殖生理研究。

**王永波**：是本课题1项国家“863”计划子课题的主要参与者，是4篇论文的作者。波纹唇鱼消化生理研究的主要贡献者。

**刘青利**：海南青利水产有限公司，是本成果中部分波纹唇鱼样品的提供者，参与亲鱼培育技术研发。

**王珺**：是3篇论文作者和2项发明专利的发明人。参与波纹唇鱼亲鱼培育和苗种生物饵料开发。

**陈有铭**：海南蓝海洋水产养殖有限公司，参与人工育苗技术研发。

**蔡春有**：海南晨海水产有限公司，参与人工育苗技术研发。

**胡静**：海南大学硕士研究生，是5篇论文的作者，主要研究波纹唇鱼群体遗传多样性。

**陈猛猛**：海南大学硕士研究生，是2篇论文的作者，参与人工繁殖和性腺发育生物学研究。

**项目名称：海南主要海水养殖鱼类免疫机制及其安全高效养殖技术研究与应用**

**项目简介：**

海水鱼类是海南重要的水产养殖对象，病害是制约其健康养殖发展的重要因素。为了提高海南主要海水养殖鱼类的养殖成功率和产品质量，促进海南海水鱼类养殖的可持续健康发展，本项目在研究探索驼背鲈和棕点石斑鱼等石斑鱼类、布氏鲳鲹、海南主要海水养殖鱼类免疫抗病机制的基础上，建立了系列安全高效海水鱼类养殖技术并在全省推广示范，取得了显著的经济效益和社会效益。主要成果如下：

**1. 海南主要海水养殖鱼类免疫机制研究**：利用转录组学、蛋白质组学技术从基因和蛋白水平研究了布氏鲳鲹和棕点石斑鱼等海南主要海水养殖鱼类的抗病免疫机制。筛选出一批与鱼类抗病免疫相关的基因和蛋白，分析了免疫基因及蛋白的功能，鉴定了海南主要海水养殖鱼类的Toll样受体、NOD样受体、RIG-1样受体、IRF家族、I型干扰素、肿瘤坏死因子家族等模式识别分子及信号通路，并确定了其在相关鱼类抗病免疫中的重要功能。

**2. 驼背鲈健康高效工厂化养殖技术研究与应用。**系统开展了驼背鲈养殖用饲料蛋白含量的需求研究，首次研究筛选了虾元、微藻粉和乳酸菌等三种饵料添加剂，研究了苗种质量、养殖水温、外界干扰等影响驼背鲈生长的多个关键因素，并优化了驼背鲈工厂化养殖的饵料投喂方法，建立了驼背鲈大规模工厂化养殖的技术体系，驼背鲈养殖规模、生长速度和年养殖成活率均显著高于国内外已有报道，成果经海南省科技厅组织鉴定达到国际领先水平。

**3. 海南主要海水鱼类低碳高效养殖模式建立与应用。**构建了遮目鱼-斑节对虾、石斑鱼-对虾-篮子鱼以及石斑鱼-对虾等3种模式的循环多级营养食物链养殖模式，成果在全省推广，提高养殖效益15%以上，减少养殖废水排放50%以上。

4. **海南主要海水鱼类安全高效养殖技术研究与应用。**确定海南海水养殖鱼类主要病原4种，筛选水质改良效果显著的有益微生物3种，筛选可显著提高驼背鲈和点带石斑鱼等海水鱼类非特异性免疫力的微生物和中草药免疫增强剂5种，成果应用于海水鱼类养殖生产后提高养殖成活率10%以上，养殖产品达到无公害水产品质量标准。

本项目受到国家自然科学基金、科技部农业科技成果转化项目、国家海洋公益性项目、海南省重大科技项目和教育部高等学校博士学科点基金等资助，发表论文42篇（其中SCI论文23篇），出版著作3部，获得授权国家发明专利4件，申报（待授权）国家发明专利5件；获国际领先水平成果1项。

**代表性成果：**

（一）代表性SCI论文

1. Sun Yun, He Mingwang, Cao Zhenjie, XieZhenyu, Liu Chunsheng, Wang Shifeng, Guo Weiliang, Zhang Xiang, Zhou Yongcan. Effects of dietary administration of *Lactococcus lactis* HNL12 on growth, innate immune response, and disease resistance of humpback grouper (*Cromileptesaltivelis*). Fish & Shellfish Immunology. 2018, 82, 296-303.
2. Cao Zhenjie, Wang Lu, Xiang Yajing, Liu Xiaocen, Tu Zhigang, SunYun, Zhou Yongcan. MHC class IIα polymorphism and its association with resistance susceptibility to *Vibrio harveyi*in golden pompano (*Trachinotusovatus*). Fish & Shellfish Immunology. 2018, 80, 302-310.
3. Cai Yan, Wang Shifeng, Guo Weiliang, XieZhenyu, Zheng Yu, Cao Zhenjie, Yongcan Zhou\*.Transcriptome analysis provides insights into the immune responsive pathways and genes in the head kidney of tiger grouper (*Epinephelusfuscoguttatus*) fed with *Spatholobussuberectus*,*Phellodendronamurense*, or *Ecliptaprostrata*. Fish & Shellfish Immunology. 2018, 73,100-111.
4. Sun Yun, Xiaojuan Chen, Yue Xu, Qiaohong Liu, Xue Jiang, Shifeng Wang, Weiliang Guo, Yongcan Zhou\*. Thymosin β4 is involved in the antimicrobial immune response of Golden pompano, *Trachinotusovatus*. Fish & Shellfish Immunology. 2017, 69, 90-98.
5. CaoZhenjie, HeMingwang, ChenXiaojuan, WangShifeng, CaiYan, XieZhenyu ,SunYun\*, ZhouYongcan\*.Identification, polymorphism and expression of MHC class Iα in golden pompano, *Trachinotusovatus*. Fish & Shellfish Immunology. 2017, 67, 55-65.
6. XuMeng,WeiJingguang, ChenXiuli, GaoPin, ZhouYongcan, QinQiwei. Molecular cloning and expression analysis of small ubiquitin-likemodifier (SUMO) genes from grouper (*Epinepheluscoioides*). Fish & Shellfish Immunology. 2016, 48:119-127.
7. GuoMinglan, WeiJingguang, ZhouYongcan\*, QinQiwei\*. MKK7 confers different activities to viral infection of Singapore grouper iridovirus (SGIV) and nervous necrosis virus (NNV) in grouper. Fish & Shellfish Immunology, 2016, 57:419-427.
8. Gao Ren, Huang Youhua, Huang Xiaohong, Guan Liya, Wei Shina, Zhou Yongcan\*, Qin Qiwei\*. Molecular cloning and characterization of two types of IkBα orthologues in orange-spotted grouper, *Epinepheluscoioides*. Fish & Shellfish Immunology. 2014, 38:101-110.
9. LiuShubin, LiErchao, CaiYan, WangShifeng\*, RenZhuling, LiQiming, GuoWeiliang,Wu Yue, ZhouYongcan\*. Isolation, identiﬁcation and pathogenicity characterization of *Vibrio ponticus* from the golden pompano *Trachinotusovatus*. Aquaculture, 2018, 496: 285-290.
10. XuXiandong, LiuKaifang, WangShifeng, GuoWeiliang, XieZhenyu\*, ZhouYongcan\*. Identification of pathogenicity, investigation of virulent gene distribution and development of a virulent strain-specific detection PCR method for *Vibrio harveyi* isolated from Hainan Province and Guangdong Province, China.Aquaculture, 2017, 468:226-234.

（二）著作

1. 周永灿、张本、谢珍玉等编著. 海南省潜在海水增养殖区研究. 北京：海洋出版社, 2013.11.
2. 周永灿, 王世锋. 热带养殖鱼类主要疾病及其防治. 海口：海南出版社，2014.03.
3. 谢珍玉, 周永灿. 无公害水产养殖渔药及其使用技术. 海口：海南出版社，2014.03.

（三）授权专利

* 1. 郭伟良, 周永灿, 胡文婷, 谢珍玉, 王世锋, 邓恒为, 王文慧. 一种防治水产动物链球菌病的中药组合物. 申请号：2014105688840, 申请日期：2014年10月23日；公布号：CN 104257721 A, 31卷1期，公布日期：2015.1.7. 专利号：ZL 2014 2 0568884.0
  2. 郭伟良, 周永灿, 王文慧, 胡文婷, 吴学贵, 谢珍玉, 王世锋. 防治水产动物细菌性疾病的中西复合药物及其制备方法. 申请号：201510070985X，申请日期：2015年2月11日；专利号：ZL201510070985.X；授权公告日：2018-08-28. 授权公告号：CN 104622948 B
  3. 谢珍玉, 吴海武, 周永灿, 郭伟良. 以甘蔗糖蜜为主要原料的芽孢杆菌培养基. 专利号：ZL201310056352.4；授权日期：2015年9月2日
  4. 谢珍玉、周永灿、吴海武、郭伟良. 以椰子水为主要原料的芽孢杆菌培养基。专利号：ZL201310056353.9；授权时间：2014年10月29日

**主要完成单位对项目的创造性贡献：**

**海南大学**是本成果所有依托课题的承担单位，所有论文、著作和专利的第一单位完成单位，承担了成果的绝大部分研究工作和部分推广示范工作，为本成果的第一完成单位。

**三亚市海洋与渔业监测中心**主要承担本成果的推广示范工作，协调解决在成果推广应用中存在的困难与问题。为本成果的第二完成单位。

**主要完成人对项目的创造性贡献：**

**周永灿：**是本成果所有依托项目的负责人，22篇论文的通讯作者，2本著作的第一作者和1本著作的第2作者，所有专利的主要成员。

**孙云：**是本成果10篇SCI论文的第一作者或通讯作者，承担了本成果海南海水鱼类免疫机制研究的主要工作。

**王世锋：**是本成果4项依托项目的主要完成人之一，7篇论文（含3篇SCI论文）的第一作者或通讯作者，主要承担本成果有关养殖技术方面的研究工作。

**郭伟良：**是本成果3项依托项目的主要完成人之一，3篇论文（含2篇SCI论文）的第一作者或通讯作者，2件专利的第一完成人，主要承担本成果有关中草药免疫增强剂的研究工作。

**钟鸿干：**为本成果推广示范工作的负责人，负责成果推广示范基地的沟通协调和技术指导等工作。

**谢珍玉：**是本成果3项依托项目的主要完成人之一，4篇论文（含2篇SCI论文）的第一作者或通讯作者，2件专利和1本著作的第一完成人。

**蔡岩：**是本成果2项依托项目的主要完成人之一，3篇论文（含1篇SCI论文）的第一作者，主要承担。

**曹贞洁：**为本成果3篇论文（含2篇SCI论文）的第一作者或通讯作者，主要参与主要海水鱼类免疫机制研究。

**曾水香：**是本成果2项依托项目的完成人之一，主要负责本成果的数据分析和图表制作等工作。

**张海滨：**主要参与本成果的推广示范工作。

**李海平：**主要参与本成果的推广示范与资料整理等工作。

**项目名称：珍珠龙胆石斑鱼健康高效养殖技术研究与应用**

**项目简介**

珍珠龙胆石斑鱼由龙胆石斑鱼父本和老虎斑母本杂交而来，为当前我国石斑鱼养殖的主导品种，其养殖产量约占全国石斑鱼养殖总产量70%。然而，由于珍珠龙胆石斑鱼为近年来杂交的新品种，其养殖技术包括配合饲料配制技术、育苗技术、养成技术等不成熟，限制了珍珠龙胆石斑鱼养殖业健康可持续发展。为此，海南大学联合中山大学、华南师范大学、广东粤海饲料集团股份有限公司、海南晨海水产有限公司系统研究和开发了高效环保珍珠龙胆石斑鱼配合饲料配方技术与加工技术、促珍珠龙胆石斑鱼消化与免疫技术、促珍珠龙胆石斑鱼生长与健康的营养调控技术、高效珍珠龙胆石斑鱼育苗技术和养成技术。

项目研究成果已获授权国家发明专利2项，发表高水平研究论文14篇，其中SCI论文12篇（SCI一区期刊论文3篇，Top期刊论文4篇，SCI二区期刊论文5篇），国内一级学报2篇。

本项目技术应用后，2015年新增生产推广珍珠龙胆石斑鱼饲料1000吨、2016年新增2500吨、2017年新增4000吨；2015年新增生产推广珍珠龙胆石斑鱼苗50万尾、2016年新增80万尾、2017年新增120万尾；2015年新增生产珍珠龙胆石斑鱼成鱼97.72万斤以上、2016年新增139.81万斤以上、2017年新增196.7万斤以上；2015-2017年累计新增销售额22384.22万元以上，新增利润6718.08万元以上。

本项目技术应用后，珍珠龙胆石斑鱼生长速度快，成活率高。珍珠龙胆石斑鱼养殖过程中饲料系数1.1，饲料利用率高；珍珠龙胆石斑鱼饲料全程可替代冰鲜鱼投喂，养殖成本下降，且安全环保；珍珠龙胆石斑鱼苗（8公分）育成率达85%以上，提高10%，化学药物使用降低20%；珍珠龙胆石斑鱼成鱼养成率95%以上，提高15%，化学药物使用降低25%。

本项目技术的应用促进了石斑鱼配合饲料的推广和应用，有利于发展现代石斑鱼渔业产业，有助于降低石斑鱼养殖风险，促进渔民脱贫或远离贫困，有利于维护石斑鱼养殖产品质量安全，保障消费者健康，有助于渔业资源和渔业生态的恢复，有助于降低石斑鱼养殖对水环境的污染。

本项目技术应用大大促进了石斑鱼养殖行业的科技进步，产生了巨大的经济效益、社会效益和环境效益。

**代表性成果**

1. Mingjuan Wu, **Xiaoyi Wu**\*, Senda Lu, Yujie Gao, Wei Yao, Xiaojun Li, Yu Dong and Zibo Jin. 2018. Dietary arginine affects growth, gut morphology, oxidation resistance and immunity of hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus♀ ×Epinephelus lanceolatus♂*) juveniles. British Journal of Nutrition, 3(120):269-282. （IF 3.657, SCI II区）

2. Zhenzhu Sun, Xiaohong Tan, Huaqun Ye, Cuiyun Zou, Chaoxia Ye\*, Anli Wang\*. 2018. Effects of dietary Panax notoginseng extract on growth performance, fish composition, immune responses, intestinal histology and immune related genes expression of hybrid grouper (Epinephelus lanceolatus ♂ × Epinephelus fuscoguttatus ♀) fed high lipid diets. Fish and Shellfish Immunology 73,234-244. （IF 3.185, SCI I区）

3. Xiaohong Tan, Zhenzhu Sun, Qingying Liu, Huaqun Ye, Cuiyun Zou, Chaoxia Ye\*, Anli Wang\*\*, Heizhao Lin\*\*\*. 2018. Effects of dietary ginkgo biloba leaf extract on growth performance, plasma biochemical parameters, fish composition, immune responses, liver histology, and immune and apoptosis-related genes expression of hybrid grouper (Epinephelus lanceolatus♂ × Epinephelus fuscoguttatus♀) fed high lipid diets. Fish and Shellfish Immunology 72, 399-409. （IF 3.185, SCI I区）

4. Cuiyun Zou, Xiaohong Tan, Huaqun Ye, Zhenzhu Sun, Shu Chen, Qingying Liu, Minglei Xu, Chaoxia Ye\*, Anli Wang\*\*. 2018. The hepatoprotective effects of Radix Bupleuri extracts against Dgalactosamine/lipopolysaccharide induced liver injury in hybrid grouper (Epinephelus lanceolatus♂ × Epinephelus fuscoguttatus♀). Fish and Shellfish Immunology 83, 8-17. （IF 3.185, SCI I区）

5. Shuntian Jiang, Wu, X.Y\*, Weifeng Li, Mingjuan Wu, Yuan Luo, Senda Lu, Haoran Lin, 2015. Effects of dietary protein and lipid levels on growth, feed utilization, body and plasma biochemical compositions of hybrid grouper (Epinephelus lanceolatus ♂ × Epinephelus fuscoguttatus ♀) juveniles. Aquaculture, 446, 148-55. （IF 2.71, SCI II区，Top期刊）  
 6. Shuntian Jiang, Xiaoyi Wu\*, Yuan Luo, Mingjuan Wu, Senda Lu, Zibo Jin, Wei Yao.  2016. Optimal dietary protein level and protein to energy ratio for hybrid grouper (Epinephelus fuscoguttatus ♀ ×Epinephelus lanceolatus♂) juveniles. Aquaculture, 465, 28-36. （IF 2.71, SCI II区，Top期刊）  
 7. Mingjuan Wu, Xiaoyi Wu\*, Senda Lu, Shuntian Jiang, Yuan Luo, Wei Yao, Zibo Jin. 2017. Effects of dietary amino acid patterns on growth, feed utilization and hepatic IGF-I, TOR gene expression levels of hybrid grouper (Epinephelus lanceolatus♂×Epinephelus fuscoguttatus♀) juveniles. Aquaculture 468: 508-514. （IF 2.71, SCI II区，Top期刊）

8. Wei Yao, Xiaoyi Wu\*, Yujie Gao, Mingjuan Wu, Senda Lu, Xiaojun Li, Yu Dong, Zibo Jin, Zhiyu Zhou. 2018. Effects of replacing fishmeal protein by hemoglobin powder protein on growth performance, food intake, feeding-related gene expression and gut histology of hybrid grouper (Epinephelus fuscoguttatus×Epinephelus lanceolatus) juveniles. Aquaculture 488: 235-243. （IF 2.71, SCI II区，Top期刊）

9. Ying Sun, Yu Huang, Guojun Hu, Xinhui Zhang, Zhiqiang Ruan, Xiaomeng Zhao Chuanyu Guo, Zhujing Tang, Xiaofeng Li, Xinxin You, Haoran Lin\*, Yong Zhang\*, Qiong Shi\*. 2016. Comparative Transcriptomic Study of Muscle Provides New Insights into the Growth Superiority of a Novel Grouper Hybrid. PLOS ONE. DOI:10.1371/journal.pone.0168802. （IF 2.766, SCI III区）

10. 2016 Yuan Luo, Xiaoyi Wu\*, Weifeng Li, Shuntian Jiang, Senda Lu & Mingjuan Wu. Effects of Different Corn Starch Levels on Growth, Protein Input, and Feed Utilization of Juvenile Hybrid Grouper (male Epinephelus lanceolatus × female E. fuscoguttatus). North American Journal of Aquaculture 78:168–173. （IF 0.737, SCI IV区）

11. Yujie Gao, Yuan Luo, Xiaojun Li, and Yu Dong, Yan Liao, Wei Yao, Zibo Jin, and Xiaoyi Wu. 2018. Effects of Dietary Carbohydrate/Lipid Ratios on Growth, Feed Utilization, Hematology Parameters, and Intestinal Digestive Enzyme Activities of Juvenile Hybrid Grouper (Brown-Marbled Grouper Epinephelus fuscoguttatus ♀ × Giant Grouper E. lanceolatus ♂). North American Journal of Aquaculture. DOI: 10.1002/naaq.10057. （IF 0.737, SCI IV区）

12. 国家发明专利。名称：一种小水体培育石斑鱼苗的方法。发明人：张勇、黄文、王翔、王庆、李水生、肖玲、杨宇晴、张海发、林浩然。授权号：ZL 201310366324.2。授权日期：2015-03-11

13. 国家发明专利。名称：一种石斑鱼全价配合饲料。发明人：张勇、周立斌、李水生、卢丹琪、姚谧、孟子宁、刘晓春、林浩然。授权号：ZL 201210502650.7。授权日期：2014-04-16

**主要完成单位对项目的创造性贡献**

**海南大学（第一完成单位）**

（1）承担相关的海南省国际科技合作重点项目和国家自然科学基金项目各1项

（2）研究确定了珍珠龙胆石斑鱼饲料适宜脂肪添加水平和饲料脂肪配伍技术；研究确定了珍珠龙胆石斑鱼饲料蛋白最适需求量和饲料蛋白配伍技术；研究确定了珍珠龙胆石斑鱼饲料适宜蛋白质能量比和饲料能量配伍技术；研究确定了珍珠龙胆石斑鱼饲料氨基酸参考模式；研究确定了珍珠龙胆石斑鱼饲料精氨酸需求量，阐述了精氨酸在珍珠龙胆石斑鱼体内的功能特征，建立了珍珠龙胆石斑鱼饲料精氨酸配伍技术；研究确定了喷雾干燥猪血球粉蛋白在珍珠龙胆石斑鱼饲料替代鱼粉蛋白的适宜水平和其应用技术；研究确定了珍珠龙胆石斑鱼饲料淀粉应用技术；研究确定了珍珠龙胆石斑鱼饲料适宜糖脂比和糖脂混合配伍技术；研究成果为开发高效环保珍珠龙胆石斑鱼配合饲料奠定了基础，推动了配合饲料在珍珠龙胆石斑鱼养殖中的应用。

（3）相关研究成果发表SCI论文7篇，其中Top期刊论文4篇，SCI二区期刊论文5篇

**中山大学（第二完成单位）**

（1）承担相关的国家高技术研究发展计划(863计划)课题1项

（2）开发了小水体高效石斑鱼苗培育技术，为本项目进一步开发高密度集约化珍珠龙胆石斑鱼育苗技术奠定了基础；开发了促石斑鱼消化、免疫全价配合饲料配制技术；研究发现了珍珠龙胆石斑鱼肌肉生长优势的功能基因。

（3）相关研究成果发表SCI论文2篇，一级学报2篇；获授权国家发明专利2项

**华南师范大学（第三完成单位）**

（1）承担相关的广州市科技计划项目1项

（2）研究确定了三七提取物（三七皂苷含量80%）和银杏叶提取物（含有24%银杏黄酮和6%银杏内酯）作为珍珠龙胆石斑鱼免疫功能增强剂的应用技术；在体外和体内均成功建立了D-GalN / LPS诱导的珍珠龙胆石斑鱼肝细胞损伤实验模型。

（3）相关研究成果发表SCI I区期刊论文3篇

**海南晨海水产有限公司（第四完成单位）**

（1）为项目开展提供石斑鱼育苗实验场所条件和研究人员生活条件

（2）建立了高密度集约化珍珠龙胆石斑鱼育苗技术和养成技术；2015年海南推广销售石斑鱼苗40万尾、广东推广销售10万尾，2016年海南推广销售55万尾、广东推广销售25万尾，2017年海南推广销售75万尾、广东推广销售45万尾。珍珠龙胆石斑鱼苗（8公分）育成率达85%以上，提高10%，化学药物使用降低20%。2015年推广养殖珍珠龙胆石斑鱼成鱼15万斤；2016年推广养殖成鱼20万斤；2017年推广养殖成鱼35万斤。珍珠龙胆石斑鱼成鱼养成率95%以上，提高15%，化学药物使用降低25%。

**广东粤海饲料集团股份有限公司 （第五完成单位）**

（1）为项目开展提供石斑鱼养殖实验场所条件和研究人员生活条件

（2）研究确定了珍珠龙胆石斑鱼配合饲料最适膨化温度、调质时间、切割速度，建立了高效珍珠龙胆石斑鱼配合饲料加工技术。2015年海南市场推广应用珍珠龙胆石斑鱼饲料600吨、广东400吨；2016年海南市场推广应用珍珠龙胆石斑鱼饲料1500吨、广东1000吨；2017年海南市场推广应用珍珠龙胆石斑鱼饲料2500吨、广东1500吨。饲料系数1.1。石斑鱼生长速度快，成活率高，全程可替代冰鲜鱼投喂，养殖成本下降，且安全环保。

**主要完成人对项目的创造性贡献**

**吴小易 （排名第1）**：系统性研究了珍珠龙胆石斑鱼营养，开发了高效环保珍珠龙胆石斑鱼配合饲料配方技术；主持相关的省级和国家级科研项目各1项；以通讯作者发表相关SCI论文7篇，其中Top期刊论文4篇，SCI二区期刊论文5篇。

**张勇 （排名第2）**：开发了小水体高效石斑鱼苗培育技术；开发了促石斑鱼消化、免疫全价配合饲料配制技术；研究发现了珍珠龙胆石斑鱼肌肉生长优势的功能基因；主持相关的国家高技术研究发展计划(863计划)课题1项；以通讯作者发表SCI论文2篇，一级学报2篇；以第一发明人获授权国家发明专利2项。

**叶超霞（排名第3）**：开发了三七提取物（三七皂苷含量80%）作为珍珠龙胆石斑鱼免疫功能增强剂的应用技术；开发了银杏叶提取物（含有24%银杏黄酮和6%银杏内酯）作为珍珠龙胆石斑鱼免疫功能增强剂的应用技术；在体外和体内均成功建立了D-GalN / LPS诱导的珍珠龙胆石斑鱼肝细胞损伤实验模型；主持相关的市级科技计划项目1项；以通讯作者发表SCI I区期刊论文3篇。

**蔡春有（排名第4）**：为项目开展提供石斑鱼育苗实验场所条件和研究人员生活条件；建立了高密度集约化珍珠龙胆石斑鱼育苗技术和养成技术；负责本项目产品（珍珠龙胆石斑鱼苗）的推广和应用

**程开敏（排名第5）**：为项目开展提供石斑鱼育苗实验场所条件和研究人员生活条件；研究确定了珍珠龙胆石斑鱼配合饲料最适膨化温度、调质时间、切割速度，建立了高效珍珠龙胆石斑鱼配合饲料加工技术；负责本项目产品（珍珠龙胆石斑鱼配合饲料）的推广和应用。

**高煜杰（排名第6）**：参与了珍珠龙胆石斑鱼营养研究和高效环保珍珠龙胆石斑鱼配合饲料配方技术开发；以第一作者发表相关SCI论文1篇。

**林浩然（排名第7）**：指导开发了高效石斑鱼苗培育技术；参与开发了促石斑鱼消化、免疫全价配合饲料配制技术；指导研究并发现了珍珠龙胆石斑鱼肌肉生长优势的功能基因。

**马学坤（排名第8）**：参与了珍珠龙胆石斑鱼配合饲料加工工艺研究和加工技术开发；参与了本项目产品（珍珠龙胆石斑鱼配合饲料）的推广和应用。