国家自然科学奖提名书

(2018年度)

**一、项目基本情况**

学科评审组： 序号： 编号：

|  |  |
| --- | --- |
| 提 名 者 | 李家洋，张启发，韩斌 |
| 项目名称 | 中文名 | 杂交稻育性控制的分子遗传基础 |
| 英文名 | The molecular genetic bases of fertility control in hybrid rice |
| 主要完成人 | 刘耀光(华南农业大学)，王中华(华南农业大学)，罗荡平(华南农业大学)，龙云铭(华南农业大学)，唐辉武(华南农业大学) |

**二、提名意见**

（适用于提名专家）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 姓 名 | 李家洋 | 身份证号 |  |
| 院 士 | 中国科学院院士 | 学 部 | 生命科学和医学学部 |
| 生殖发育是高等植物繁育的重要环节，育性控制是作物杂交育种的关键问题。三系杂交稻育种的遗传基础是细胞质雄性不育与恢复性(CMS/RF)。籼稻和粳稻杂种具有强大杂种优势。阐明水稻细胞质雄性不育和籼粳稻杂种不育的分子遗传机理对植物分子遗传理论研究和杂种优势利用具有重要的意义。刘耀光团队系统进行了水稻细胞质雄性不育与恢复性和杂种不育与亲和性的分子遗传机理研究，取得了创新性成果：（1）在克隆了三系杂交稻育种广泛应用的孢子体型和配子体型细胞质雄性不育基因和育性恢复基因的基础上，阐明了阐明了不育发生与育性恢复的分子遗传机理，首次提出了“植物CMS/RF系统不同层次的核质互作控制不育与育性恢复”的分子模型；揭示了多种细胞质雄性不育体系拥有共同起源的不育基因*WA352*；（2）阐明了水稻杂种不育与亲和性的分子遗传机理，提出了“双基因三因子互作”和“双基因分步分化”的分子遗传模型。发现了具有育种价值的CMS新种质，提出了克服杂种不育的理论和技术方法。该成果在Nature Genetics、Plant Cell、PNAS、Molecular Plant、JIPB等刊物发表论文25篇，获发明专利7项，获全国优秀博士学位论文奖1项，广东省科学技术奖(自然科学类)一等奖1项，大北农科技创新奖一等奖1项。该成果获得学术界的高度评价，8篇代表性论文被SCI他引616次（总他引836次），标志着我国在植物细胞质雄性不育及其育性恢复和杂种不育分子机理研究领域达到国际领先水平。 |
| 提名该项目为国家自然科学奖 二 等奖。 |

**二、提名意见**

（适用于提名专家）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 姓 名 | 张启发 | 身份证号 |  |
| 院 士 | 中国科学院院士 | 学 部 | 生命科学和医学学部 |
| 提名意见：育性遗传控制是作物杂交育种的关键问题，主要涉及细胞质雄性不育及其育性恢复性，杂种不育与亲和性等性状。阐明这些性状的分子遗传机理对植物分子遗传理论研究和杂种优势利用具有重要的意义。刘耀光研究团队系统进行了水稻细胞质雄性不育与恢复性和杂种不育与亲和性的分子遗传机理研究，取得了创新性成果：克隆了三系杂交稻育种中广泛应用的野败型和包台型细胞质雄性不育与恢复性的相关基因，阐明了其分子遗传机理；克隆了水稻杂种不育与亲和性的基因，阐明了分子遗传机理，提出了克服杂种不育性的技术方法；为作物杂种优势利用提供了理论指导和遗传资源。该成果在Nature Genetics、Plant Cell、PNAS等刊物发表论文25篇，获得学术界的高度评价和广泛引用。 |
| 提名该项目为国家自然科学奖 二 等奖。 |

**二、提名意见**

（适用于提名专家）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 姓 名 | 韩斌 | 身份证号 |  |
| 院 士 | 中国科学院院士 | 学 部 | 生命科学和医学学部 |
| 提名意见：雄性不育及其育性恢复是杂交水稻育种关键的理论和技术问题。三系杂交稻育种的遗传基础是细胞质雄性不育及其育性恢复(CMS/RF)，阐明水稻细胞质雄性不育和籼粳稻杂种不育的分子遗传机理对杂种优势利用具有重要意义。刘耀光研究团队围绕杂交稻育性调控机理的科学问题，系统地进行了细胞质雄性不育与育性恢复、籼粳杂种不育的分子遗传研究，取得了一系列创新性成果：针对应用于三系杂交水稻育种的孢子体型（野败型为代表）和配子体型（包台型为代表）细胞质雄性不育及其育性恢复的分子机理开展了系统研究，揭示了由WA352/Rf4和由ORF79/Rf1遗传系统所构成的核质互作雄性不育和育性恢复的分子机理；阐明了水稻籼粳杂交不育与亲和性的分子遗传机理，提出了克服杂种不育的理论和技术方法。该成果在Nature Genetics、Plant Cell、PNAS、JIPB、Annu. Rev. Plant. Biol、科学通报等刊物发表论文25篇，获授权发明专利7项，得到学术界的高度评价和广泛引用。 |
| 提名该项目为国家自然科学奖 二 等奖。 |

**三、项目简介**

本报奖项目属生命科学领域。**生殖发育是高等植物繁育的重要环节**。**杂交稻的培育与大规模推广应用是我国在农业领域最重要的科技成果之一，育性控制是杂交稻遗传育种的关键问题，阐明其分子机理有重要理论和实践意义。**

**主要研究内容：**本项目围绕杂交稻育性遗传控制的关键问题系统地开展研究：（1）分析孢子体型和配子体型细胞质雄性不育与恢复性的遗传规律，克隆细胞质雄性不育基因和恢复基因，揭示其功能和相互作用的分子机理，发掘新不育细胞质在杂交稻育种中的应用；（2）定位和克隆籼粳杂种雄性不育和亲和基因，阐明等位基因相互作用的分子机理模型，追溯相关等位基因的不亲和性与亲和性的分化模式，探索在杂交稻育种中克服籼粳杂种不育性的技术方法。

**科学发现点**：（1）克隆了以野败型为代表的孢子体细胞质雄性不育（CMS）基因*WA352*和恢复基因*Rf4*。发现*WA352*是由4个不同线粒体DNA片段重组产生的新基因，揭示了多种孢子体细胞质雄性不育体系拥有共同起源的*WA352*；发现WA352蛋白和核基因编码的线粒体蛋白COX11互作控制绒毡层提前降解产生雄性不育;*Rf4*和另一个恢复基因*Rf3*分别抑制*WA352* mRNA表达和蛋白积累而导致育性恢复。**提出了“植物CMS/RF系统不同层次的核质互作控制不育与育性恢复”的分子模型**;（2）克隆了以包台型为代表的配子体CMS基因*orf79*，揭示其编码的细胞毒素膜蛋白产生不育。克隆并揭示了**恢复基因座*Rf-1* 是由2个编码 PPR蛋白的基因*Rfla*和*Rflb*组成的复合座位**。RF1A和RF1B蛋白定位到线粒体，分别以位点特异切割和完全降解*orf79* mRNA 的不同机制恢复育性；揭示了RF1A的原始功能为参与线粒体RNA编辑。**提出了“植物CMS 基因毒蛋白在花粉积累导致不育，同源恢复基因以不同的转录后沉默抑制CMS 基因而恢复育性”的CMS/RF 互作模型。**（3）克隆了籼粳稻杂种雄性不育基因座*Sa*的基因，揭示***Sa*是由2个相邻基因*SaM*和*SaF*组成的复合座位，此类复合座位被证实为植物杂种不育的普遍性分子基础**；发现*SaM*和*SaF*分别编码的SUMO E3连接酶和F-box蛋白通过相互作用控制籼粳杂种不育与亲和性，**建立了*Sa*不育系统的“双基因分步突变分化”和“双基因三因子互作”分子遗传机理模型，**在植物中为经典的生殖隔离进化Dobzhansky–Muller模型提供了分子证据。为不育系和恢复系选育提供了理论基础和新种质资源；发现*Sa*亲和型水稻种质，提出利用这些种质和基因工程克服水稻杂种不育的技术方法。

**科学价值：**该成果是我国杂交水稻分子遗传基础研究上的突破性进展：（1）对植物细胞质雄性不育和育性恢复性的研究，阐明植物核质互作的分子机理有普遍的科学意义；（2）在阐明生物进化中生殖隔离形成的分子机理上具有重要理论价值；（3）对作物杂交育种、杂种育性障碍的克服以及杂种优势利用提供理论和技术方法指导。

**同行引用及评价**：该成果在*Nature Genetics*、*Plant Cell*、*PNAS*、*Molecular Plant*、*JIPB*等刊物发表论文25篇，获得广东省科学技术奖一等奖1项，大北农一等奖1项，获发明专利7项，获全国优秀博士学位论文奖1项，并入选科技部“973 计划”十周年纪念活动的代表性成果。该成果受到学术界的高度评价，被4篇文章专题评述,被“F1000”推荐评论5次。代表论文被包括*Nature*, *Science*, *Nature Reviews Genetics, Annual Review Plant Biolog*等SCI他引616次，总他引836次。

**四、客观评价**

**1. 学术界的总体评价**

该项目在杂交稻最重要的遗传基础---育性控制的分子遗传机理的突破性发现在国际国内学术界产生了很大的影响，获得广东省科学技术奖（自然科学）一等奖1项，大北农一等奖1项，获发明专利7项，获全国优秀博士学位论文奖1项，并入选科技部“973 计划”十周年纪念活动的代表性成果。本成果得到了国际国内同行的高度评价和大量引证及正面评述，包括4篇专门针对本项目成果的专题评述，以及被 “F1000”推荐和评论5次。本项目发表的代表性论文被SCI刊物他引616次，总他引836次（附件3）。经第三方科技成果评价机构评价，本项目成果达到国际领先水平（其他附件1-3）。

**2. 关于细胞质雄性不育与恢复性分子遗传机理成果的部分评价和引证**

Nature Genetics在发表**代表论文1**时邀请国际著名植物育性发育生物学家H Ma（马红，美国滨州州立大学，复旦大学）教授撰写了评论文章（A battle between genomes in plant male fertility），以专题新闻形式在News and Views栏目同期出版(其他附件7)。马教授将该研究成果高度评价为植物细胞质雄性不育分子机理研究的一个里程碑(These results make this study a milestone in the understanding of the mechanism underlying plant CMS)。**代表论文1**分别被耶鲁大学/北京大学的邓兴旺教授和上海交通大学张大兵教授在F1000推荐评述，认为“该成果提供了野败型CMS系统研究的新视点，在作物杂交育种和发展育种新策略具有实践意义”(This study provides insight in the CMS-WA system and has practical applications for hybrid crop breeding and may serve to develop future breeding strategies); “刘耀光等发现了令人兴奋的水稻野败型CMS的分子控制机制，通过新的线粒体蛋白WA352与核编码的保守线粒体蛋白COX11互作而产生CMS”(Liu and his colleges uncover the exciting molecular control of rice CMS-WA, in which a new mitochondrial protein, WA352, interacts with the conserved nuclear-encoded mitochondrial protein COX11, causing CMS-WA) (其他附件8)。**代表论文1**成果还被写进高校教材《遗传学》（李再云/杨业华主编，其他附件9）。

Plant Cell 在发表**代表论文2**时，由新闻评论编辑Eckardt博士在该刊当期的“In This Issue”栏目专门对该论文做了评论(其他附件10)，指出“Wang et al. describe details of the molecular basis of CMS and fertility restoration in the CMS Boro II system in rice, which are likely to have far-reaching implications for CMS systems in general”; “The results of Wang et al have important implications for other CMS systems”。**代表论文2**被国际著名植物分子生物学家Schmidt教授（德国IPK Gatersleben研究所）和邓兴旺教授分别在F1000中推荐为必读论文并给予高度评价（其他附件11）: This article sheds light on a phenomenon that has long been exploited for hybrid breeding---cytoplasmic male sterility and restoration of fertility by genes encoded in the nucleus. …… ; This study by Wang et al. offers some fresh insight into the molecular mechanism underlying this kind of cytoplasmic-nuclear interaction”.

张启发院士对**代表论文2**发表的专题评述（其他附件12）中称“这是中国科学家对植物细胞质雄性不育及育性恢复研究的最新贡献；该成果标志中国在植物细胞质雄性不育及其恢复性的分子机理研究领域已跻身国际先进行列”。日本东北大学的Toriyama教授在关于细胞质雄性不育和恢复基因的分子遗传研究综述中多次评述了**代表论文2** (其他附件13)。**代表论文2**成果还入选科技部973计划十周年纪念活动农业领域的代表性成果并在《中国基础科学》中被重点介绍（其他附件14）。该成果被写进高校教材《细胞生物学》（翟中和主编）（其他附件15）。袁隆平院士（国家杂交稻研究中心）和陈温福院士（沈阳农业大学）利用**代表论文2**提供的基因信息研究杂草稻的恢复基因功能和育种(其他附件16)。以**代表论文2**为主要内容的博士论文获得全国优秀博士学位论文奖1项（其他附件5）。

**3. 关于杂种不育与亲和性分子机理的部分评价和引证**

李家洋院士针对**代表论文3**撰写了专题评论，称“这是中国科学家继2006年阐明BoroII（包台）型水稻细胞质雄性不育和育性恢复的分子机理以后，在植物杂种不育机理研究方面又一次做出的重要贡献” (其他附件17)。该代表论文被著名的进化遗传学家Willis教授在F1000中推荐为必读论文并给予高度评价“To explain the surprising result that epistasis among three alleles is required for abortion of japonica SaM-carrying microspores, the authors propose a complicated model,…. Indeed, the current geographic distribution of SaM/F haplotypes in Oryza sativa and its wild ancestor, O. rufipogon, is consistent with this scenario” (其他附件18)。著名的水稻遗传育种学家Khush博士（国际水稻所）评述**代表论文3**指出：“the introgression of these wide-compatibility genes may provide a means to break the sterility barrier between indica and japonica subspecies” (其他附件19)。哈佛大学Bomblies教授在论述植物生殖隔离与不亲和性机理的综述论文中，均多处引用和详细介绍了**代表论文3**的研究成果(其他附件20)。

**五、代表性论文专著目录**（不超过8篇）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 论文专著名称/刊名/作者 | 影响因子（五年） | 年卷页码（xx年xx卷xx页） | 发表时间年月 日 | 通讯作者 | 第一作者 | 国内作者 | SCI他引次数 | 他引总次数 | 知识产权是否归国内所有 |
| 1 | A detrimental mitochondrial-nuclear interaction causes cytoplasmic male sterility in rice/ Natural Genetics/ Luo D , Xu H, Liu Z, Guo J, Li H, Chen L, Fang C, Zhang Q, Bai M, Yao N, Wu H, Ji C, Zheng H, Chen Y, Ye S, Li X, Zhao X, Li R, Liu Y-G\* | 31.694 | 2013年45卷573-U157页 | 2013年5月 | 刘耀光 | 罗荡平 | 罗荡平，徐虹，刘振兰，郭晶心，李合英，陈乐天，方策，张群宇，白玫，姚楠，吴豪，纪宠辉，郑慧琦，陈远玲，叶珊，李晓瑜，赵秀彩，李日清，刘耀光 | 109 | 149 | 是 |
| 2 | Cytoplasmic male sterility of rice with Boro II cytoplasm is caused by a cytotoxic peptide and is restored by two related PPR motif genes via distinct modes of mRNA silencing/ The Plant Cell/ Wang Z, Zou Y, Li X, Zhang Q, Chen L, Wu H, Su D, Chen Y, Guo J, Luo D, Long Y, Zhong Y, Liu Y-G\* | 9.996 | 2006年18卷676-687页 | 2006年3月 | 刘耀光 | 王中华 | 王中华，邹艳姣，李晓瑜，张群宇，陈乐天，吴豪，苏弟华，陈远玲，郭晶心，罗荡平，龙云铭，钟扬刘耀光 | 288 | 397 | 是 |
| 3 | Hybrid male sterility in rice controlled by interaction between divergent alleles of two adjacent genes/ Proceedings of the National Academy of Sciences/ Long Y, Zhao L, Niu B, Su J, Wu H, Chen Y, Zhang Q, Guo J, Zhuang C, Mei M, Xia J, Wang L, Wu H, Liu Y-G\* | 10.414 | 2008年105卷18871-18876页 | 2008年12月 | 刘耀光 | 龙云铭 | 龙云铭，赵利锋，牛百晓，苏菁，吴豪，陈远玲，张群宇，郭晶心，庄楚雄，梅曼彤，夏继星，王兰，吴鸿，刘耀光 | 93 | 121 | 是 |
| 4 | The rice restorer Rf4 for Wild abortive cytoplasmic male sterility encodes a mitochondrial-localized PPR protein that functions in reduction of WA352 transcripts/ Molecular Plant/ Tang H, Luo D, Zhou D, Zhang Q, Tian D, Zheng X, Chen L\*, Liu Y-G\* | 7.429 | 2014年7卷1497-1500页 | 2014年9月 | 刘耀光，陈乐天 | 唐辉武 | 唐辉武，罗荡平，周德贵，张群宇，田东生，郑杏梅，陈乐天，刘耀光 | 29 | 33 | 是 |
| 5 | Male Sterility and Fertility Restoration in Crops/ Annual Review in Plant Biology/ Chen L and Liu Y-G\* | 25.141 | 2014年65卷579-606页 | 2014年 | 刘耀光 | 陈乐天 | 陈乐天，刘耀光 | 82 | 96 | 是 |
| 6 | 野败型水稻细胞质雄性不育恢复基因Rf-4的分子标记定位/遗传学报/张群宇, 刘耀光\*, 张桂权, 梅曼彤 |  | 2002年29卷 (11), 1001-1004页 | 2002年6月 | 刘耀光 | 张群宇 | 张群宇，刘耀光，张桂权，梅曼彤 | 0 | 21 | 是 |
| 7 | Structural and expressional variations of the mitochondrial genome conferring the Wild Abortive type of cytoplasmic male sterility in rice/ Journal of Integrative Plant Biology/ Liu Z, Xu H, Guo J, Liu Y-G\* | 3.956 | 2007年49卷908-914页 | 2007年6月 | 刘耀光 | 刘振兰 | 刘振兰，徐虹，郭晶心，刘耀光 | 9 | 11 | 是 |
| 8 | Rice mitochondrial genes are transcribed by multiple promoters that are highly diverged/ Journal of Integrative Plant Biology/ Zhang Q and Liu Y-G\* | 3.956 | 2006年48卷1473-1477页 | 2006年12月 | 刘耀光 | 张群宇 | 张群宇，刘耀光 | 6 | 8 | 是 |
| 合 计 | 220 | 836 |  |

**六、主要完成人情况表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 姓 名 | 刘耀光 | 性别 | 男 | 排 名 | 1 | 国 籍 | 中国 |
| 技术职称 | 研究员 | 最高学历 | 博士研究生 | 最高学位 | 博士 |
| 工作单位 | 华南农业大学 | 行政职务 | 国家重点实验室副主任 |
| 二级单位 | 亚热带农业生物资源保护与利用国家重点实验室 | 党 派 | 群众 |
| 完成单位 | 华南农业大学 | 所 在 地 | 广州市 |
| 单位性质 | 高等学校 |
| 参加本项目的起止时间 |  1998-01-01 至 2017-12-31  |
| 对本项目主要学术贡献：全面主持本项目各课题的工作，制定研究计划和指导实施，构建和培育研究材料，分析实验结果，总结提炼新发现和提出分子遗传机理模型，作为责任作者撰写论文和专利申请书。是8篇代表论文的责任作者，7项授权发明专利的第一发明人。 |
| 曾获国家科技奖励情况：无 |
| 姓 名 | 王中华 | 性别 | 男 | 排 名 | 2 | 国 籍 | 中国 |
| 技术职称 | 教授 | 最高学历 | 博士研究生 | 最高学位 | 博士 |
| 工作单位 | 陕西杨凌西北农林科技大学 | 行政职务 | 无 |
| 二级单位 | 农学院 | 党 派 | 群众 |
| 完成单位 | 华南农业大学 | 所 在 地 | 广州市 |
| 单位性质 | 高等学校 |
| 参加本项目的起止时间 |  2000-9-1 至 2006-2-28  |
| 对本项目主要学术贡献：对水稻细胞质雄性不育及恢复的机理进行了系统的研究，克隆了2 个恢复基因。研究了水稻BT 型细胞质雄性不育基因的功能；阐明了核质基因互作控制花粉育性的分子遗传机理。本人100%工作时间投入到本项目。是代表论文2的第一作者。2006年获得广东省优秀博士学位论文奖；2007年获得全国百篇优秀博士学位论文奖。 |
| 曾获国家科技奖励情况：无 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 姓 名 | 罗荡平 | 性别 | 男 | 排 名 | 3 | 国 籍 | 中国 |
| 技术职称 | 助理研究员 | 最高学历 | 博士研究生 | 最高学位 | 博士 |
| 工作单位 | 华南农业大学 | 行政职务 | 无 |
| 二级单位 | 亚热带农业生物资源保护与利用国家重点实验室 | 党 派 | 群众 |
| 完成单位 | 华南农业大学 | 所 在 地 | 广州市 |
| 单位性质 | 高等学校 |
| 参加本项目的起止时间 |  2005-09-01 至 2013-12-31  |
| 对本项目主要学术贡献：对水稻野败型细胞质雄性不育基因的功能和分子机理进行了深入的研究，阐明了核质基因互作控制雄性不育的分子遗传机理。本人100%工作时间投入到本项目。是代表论文1的第一作者。2014年获得广东省优秀博士学位论文奖。 |
| 曾获国家科技奖励情况：无 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 姓 名 | 龙云铭 | 性别 | 男 | 排 名 | 4 | 国 籍 | 中国 |
| 技术职称 | 助理研究员 | 最高学历 | 博士研究生 | 最高学位 | 博士 |
| 工作单位 | 华南农业大学 | 行政职务 | 无 |
| 二级单位 | 亚热带农业生物资源保护与利用国家重点实验室 | 党 派 | 群众 |
| 完成单位 | 华南农业大学 | 所 在 地 | 广州市 |
| 单位性质 | 高等学校 |
| 参加本项目的起止时间 |  2003-9-1 至 2008-10-30  |
| 对本项目主要学术贡献：精细定位和克隆了水稻*Sa*座位杂种雄性不育基因*SaF*和*SaM*，遗传转化确认了这两个基因的功能和作用机理，分析了*SaF*和*SaM*在野生稻和栽培稻的进化。本人在该项目研发工作中投入的工作量占本人总工作量的百分比为100%。是代表性论文3的第一作者。 |
| 曾获国家科技奖励情况：无 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 姓 名 | 唐辉武 | 性别 | 男 | 排 名 | 5 | 国 籍 | 中国 |
| 技术职称 | 副研究员 | 最高学历 | 博士研究生 | 最高学位 | 博士 |
| 工作单位 | 华南农业大学 | 行政职务 | 无 |
| 二级单位 | 亚热带农业生物资源保护与利用国家重点实验室 | 党 派 | 中国共产党 |
| 完成单位 | 华南农业大学 | 所 在 地 | 广州市 |
| 单位性质 | 高等学校 |
| 参加本项目的起止时间 |  2010-09-01 至 2017-12-31  |
| 对本项目主要学术贡献：精细定位和克隆了水稻野败型细胞质雄性不育恢复基因*Rf4*，遗传转化确认了*Rf4*的功能和作用机理，分析了*Rf4*在恢复系与非恢复系之间的变异。本人在该项目研发工作中投入的工作量占本人总工作量的百分比为100%。是代表性论文4的第一作者。 |
| 曾获国家科技奖励情况：无 |

**七、完成人合作关系说明**

该项目五位完成人工作单位均为华南农业大学，长期合作，共同承担完成国家重要科研项目。其中第二完成人王中华为第一完成人刘耀光研究员的博士研究生，合作发表代表性论文2；第三完成人罗荡平为第一完成人刘耀光研究员的博士研究生，合作发表代表性论文1；第四完成人龙云铭为第一完成人刘耀光研究员的博士研究生，合作发表代表性论文3；第五完成人唐辉武为第一完成人刘耀光研究员的博士研究生和博士后，合作发表代表性论文4。

**承诺：**本人作为项目第一完成人，对本项目完成人合作关系及上述内容的真实性负责，特此声明。

 **第一完成人签名：**

 