

2019 年度海南省科学技术奖拟提名项目公示

(第四批)

项目一

项目名称: 海南滨海盐生植物耐盐机理解析及其在生态环保中的应用

提名者: 海南师范大学

提名意见:

本项目以海南滨海盐生植物为研究对象,集中于红树植物及其伴生植物耐盐分子机理研究,通过 17 年努力探索,积累了大量研究资料,特别是通过蛋白质组学和转录组技术的应用,积累了海量蛋白和基因数据,使海南滨海盐生植物的研究由过去野外调查形态观察为主,转入到耐盐分子机理研究,大大提高了研究水平。研究重点针对盐生植物海马齿和盐芥展开,获得了许多原创性重要发现,发表了相关科研论文 54 篇,其中英文 SCI 论文 23 篇。8 篇代表作水平均很高,总影响因子达 28.6,被它引 308 次,包括被 SCI 论文引用 263 次,在国内外同行中产生了较大影响力。本项目发现了海南滨海盐生植物的钠离子多级区隔化耐盐新机制,揭示钠离子是某些滨海真盐生植物的重要营养元素,并获得了宝贵的耐盐蛋白和基因资源库。在此基础上,项目团队还进一步将这些成果应用在海南生态环保应用研究上,取得了很好的推广应用示范效果,并取得了一定经济效益和良好的社会生态环保效益。进一步利用海南滨海盐生植物的特殊耐盐性能,提出分三步恢复和建设海南岛海防林的战略思想,并积极将相关成果应用于

海岛生态重建和污染生态修复工作中，取得了很好的示范效果。因此，本项目具有重要的科学价值、显著的生态环保价值和潜在的国防安全价值。

提名该项目为海南省自然科学奖一等奖。

项目简介：

土壤盐渍化是农业生产和生态环保中面临的严重问题，海南滨海盐生植物品种繁多，资源丰富。过去对盐生植物耐盐研究做了大量工作，但主要研究某个基因功能，或运用某一种方法进行研究，结果较单一。本项目创新性地整合形态学、生理学、蛋白质组学、转录组学、生物信息学、分子生物学等不同技术手段研究海南滨海盐生植物的耐盐机理，通过 17 年对海南滨海盐生植物展开耐盐机理和生理生态变化研究，对海南滨海红树植物海桑、秋茄树、木榄和拉贡木，半红树植物水黄皮、黄槿、阔苞菊、莲叶桐，红树伴生植物海马齿，及其它滨海耐盐植物榄仁、木麻黄、青皮，以及耐盐模式植物盐芥等，展开深入系统研究，发现海南滨海盐生植物的多级区隔化耐盐新机制，并揭示了通过将过量钠离子积累在中央大液泡是非泌盐植物的一种耐盐新机制。本研究结果首次证实，钠离子是某些真盐生植物如海马齿的重要营养元素，某些滨海盐生植物经过长期进化适应，已经形成了对钠离子的依赖性，一定钠离子能促进其生长发育。本项目发表科研论文 54 篇，其中英文 SCI 论文 23 篇，中文核心论文 31 篇。选取的 8 篇 SCI 论文代表作中，总影响因子 28.6，其中一篇发表在国际蛋白质组领域的顶尖杂志 MCP 上，影响因子达 7.3。这些研究成果一经发

表，立即引起了全世界同行的广泛关注，相关结果得到国际同行高度认可，在国际植物蛋白质组学研究领域产生了较大影响力。截止 2019 年 9 月 15 日，8 篇代表作共被引用 331 次，它引 308 次，SCI 论文它引 263 次，它引率达 93.1%，为该成果的推广应用奠定了很好研究基础。申报人进一步将这些科研成果应用到海南生态环保应用上，利用海南滨海盐生植物的特殊耐盐性能，提出分三步恢复和建设海南岛海防林的战略设想：第一步，首先恢复和巩固木麻黄海防林；第二步，引入海南滨海乡土盐生树种的混交林型海防林；第三步，进一步利用海马齿等红树伴生植物，促进混交林演替成具有地带性植被特征的天然林型海防林，最终达到修复海岸带生态环境的目标。最近，申报人将相关研究成果用于人工吹填海岛生态重建和修复污染海岛和海岸带生态环境，已经取得明显生态效应和一定经济价值，有望形成新的海南滨海盐生植物开发利用产业链，对国防安全有做出更大贡献。因此，该项目既有深度的学术研究基础，也有广阔的应用前景，同时还有军民融合应用开发潜力，在科学研究、生态环保、经济效益和国防安全等方面具备重要应用价值。

客观评价：

土壤盐渍化造成了农业生产减产和生态环境恶化。盐生植物是一类能够在盐渍化土地上生长的特殊高等植物，海南滨海盐生植物种类繁多，探索其特殊的耐盐分子机理，将对耐盐作物新品种培育、盐碱地有效利用提供重要的基因资源和理论依据。过去几十年，对盐生植物的耐盐机理研究主要集中于某个基因功能，或运用某一种技术方法

进行研究。本项目历时 17 年，通过对海南滨海盐生植物展开耐盐机理和生理生态变化的系统性研究，发现海南滨海盐生植物的多级区隔化耐盐新机制，揭示钠离子是某些真盐生植物如海马齿重要营养元素。本项目获得了宝贵的耐盐蛋白和基因资源库，挖掘到许多耐盐关键蛋白和基因，研究起点高，不少成果是世界上首次发现，为热带作物和其它粮食作物耐盐优质新品种培育了提供重要基因资源，具有重要科研价值和较大潜在应用价值。

该成果包括科研论文 54 篇，其中英文 SCI 论文 23 篇，8 篇代表作总影响因子达到 28.6，单篇最高影响因子 7.3，发表在国际蛋白质组领域顶尖杂志 MCP 上。相关研究结果得到国际同行高度认可，截止 2019 年 9 月 15 日为止，八篇代表共引用 331 次，它引 308 次，SCI 论文它引 263 次，它引率达到 93.1%，为该成果的推广应用奠定了很好的研究基础，在国内外同行中产生了较大影响力。在这些研究成果中，本项目在海南滨海红树伴生植物海马齿耐盐的基础研究上，做出了较为突出的贡献，发表了目前为止，在海马齿基础研究领域全世界影响因子最高的科研论文（易小平等，2014，*Journal of Proteomics* 99: 84-100）。本项目完成人在国际上首先提出，真盐生植物中，钠离子是比钾离子和氯离子更重要营养元素（王东阳等，2012，*Plant Physiology and Biochemistry* 51:53-62）。该文目前被同行引用 39 次，其中它引 38 次，中文引用 2 次，SCI 论文引用 36 次。法国科学家 Stanley Lutts 和 Isabelle Lefevre 在国际著名植物学期刊上发表综述论文，认为这是一个重要的发现（详见 Lutts and Lefevre,

2015, *Annals of Botany* 115: 509 - 528)。我国植物抗盐研究领域的权威科学家陈少良等人,在英国实验植物学杂志的发表的著名论文中,引用了本项目的研究成果(详见 Han et al., 2013, *Journal of Experimental Botany* 64: 4225-4238)。本项目进一步展开了海马齿耐盐的比较蛋白质组研究,相关结果发表在国际蛋白质组领域著名杂志 *J Proteomics* 上,同样引起广泛关注。该论文共被引用 35 次,其中它引 26 次,SCI 论文引用 34 次。在被引用的论文中,很多都发表在国际著名杂志上,例如 *Plant and Cell Physiology* (Miranda et. al., 2017, 58: 522 - 536), *Botanical Review* (Mansour et. al., 2015, 81: 416 - 451), *Scientific Reports* (Shu et. al., 2015, 5:14390), *Photosynthetica* (Wungrampha et. al., 2018, 56: 366-381)和 *Acta Physiologiae Plantarum* (Fan et. al., 2017, 39: 86)等杂志。

本项目申报人进而以耐盐模式植物盐芥为材料,进一步比较了盐芥叶片和叶绿体应答高盐胁迫的蛋白质组变化规律。本项目发现叶片钠离子多级区隔化能降低细胞质中的钠离子浓度,并显著降低细胞质中离子水平,有利于细胞增殖和维持细胞渗透压。这种调控是通过调控能量产生及翻译后修饰相关蛋白来实现。其中淀粉的积累和降解,起提供能量来源的关键作用(王旭初等, 2013, *Mol Cell Proteomics*, 12: 2174-2195)。该文章在国际蛋白质组领域顶级期刊 *Mol Cell Proteomics* 发表后,引起了国内外同行极大兴趣,引用达到 76 次,其中它引 67 次,SCI 论文引用 62 次。引用该成果的论文

绝大多数发表在国际蛋白质组和植物领域顶尖期刊上，包括：Plant and Cell Physiology (Wang et. al., 2016, 39: 2486-2497; Ruiz-Lau et. al., 2017, 58: 2166-2178), Journal of Proteomics (Santos and Balbuena, 2017, 150: 252-257; Takac et. al., 2017, 169: 165-175), Biotechnology Advances (Kirtel et. al., 2018, 36: 1524-1528), Current genomics (Xu et. al., 2016, 17: 207-214) 和 Planta (Zhang et. al., 2018, 247: 715-732) 等杂志。盐芥叶绿体应答盐胁迫比较蛋白质组研究结果发现参与光反应、碳固定、能量代谢等相关蛋白在盐胁迫条件下诱导表达，其中甘油醛 3-磷酸脱氢酶 β 亚基是应答盐胁迫的关键因子 (常丽丽等, 2015, Plant Science 236: 223-238)。该成果发表后，也被包括 Frontiers in Plant Science (Wang et. al., 2016, 17: 100), Planta (Sithtisarn et. al., 2017, 246: 843-856), Journal of Photochemistry & Photobiology (Goussi et. al., 2018, 183: 275-287), Genes (Amombo et.al., 2018, 9: 446), International Journal of Molecular Sciences (Suo et. al., 2017, 18: 1011) 等杂志引用 12 次，它引 12 次，SCI 论文引用 11 次，获得了广泛认可度。

进一步展开了红树植物耐盐的分子机制研究，获得大量红树植物叶绿体耐盐基因 (张颖, 刘强等, 2014, 549: 58-69)。同时针对木麻黄进行了系统研究，发现稀有元素在土壤和植物中的分布非常相似 (刘强 等, 2006, Environmental Geochemistry and Health 28:

3-9)。本项目还对 NaCl 胁迫下的两种典型的红树植物秋茄树和木榄的光合作用、盐离子积累和钠离子区隔化变化规律进行了比较研究，发现这两种红树植物跟海马齿和盐芥有类似的盐离子区隔化机制（李妮亚等，2008, *Aquatic Botany* 88:303-310）。进一步对这两种非泌盐红树植物进行研究，本项目发现添加外源过氧化氢、一氧化氮和钙离子能够减缓植物根部盐离子伤害，从而提高滨海植物的耐盐性（李妮亚等，2012, *Tree Physiology* 33: 81-95）。上述研究成果发表之后，同样获得了大量的引用，其中 NaCl 对红树植物秋茄树和木榄的影响一文，获得了 107 次引用的好成绩，在这盐生植物研究论文中，是很少见的引用量，足以证明国内外同行对该研究成果的重视。在此基础上，本项目进一步将这些成果应用在海南生态环保应用研究上，利用海南滨海盐生植物的特殊耐盐性能，提出分三步恢复和建设海南岛海防林的战略思想（详见《海南日报》2007-07-27）。最近，本项目申报人将相关科学成果用于海岛生态重建和污染生态修复工作中，取得了很好的示范效果，有望在不久的将来取得更重要的科学价值、生态环保价值和国防安全价值。

代表性论文专著目录：

序号	论文专著/刊名/作者	年卷页 码	发表时间(年 月日)	通讯作者 (含共 同)	第一作 者(含 共同)	国内 作者	SCI 他引 次数	他引 总次 数	论文署名 单位是否 包含国外 单位
1	Differential proteomics of Sesuvium portulacastrum/Journal of Proteomics/Xiaoping Yi, Yong Sun, Qian Yang, Anpin Guo et al.	2014, 9 9:84- 100	2014- 01-15	王旭初	易小平	易小平, 孙勇, 杨倩, 郭安平, 彭明, 常丽丽, 王丹, 仝征, 王力敏, 余剑岚, 靳文海, 谢永明, 王旭初	25	26	否

序号	论文专著/刊名/作者	年卷页 码	发表时 间(年 月日)	通讯作者 (含共 同)	第一作 者(含 共同)	国内 作者	SCI 他引 次数	他引 总次 数	论文署名 单位是否 包含国外 单位
2	Comparative proteomics of Thellungiella halophila/Molecular and Cellular Proteomics/Xuchu Wang*, Lili Chang, Baichen Wang et al.	2013, 12: 2174- 219 5	2013- 05 -08	王旭初, 郭安 平	王旭初	王旭 初, 常丽 丽, 王柏 臣, 王丹 ,李 平华 ,王 力敏 ,易 小平 ,黄 启星 ,彭 明, 郭安 平	62	67	否
3	Sodium instead of potassium and chloride is an imp/Plant Physiology and Biochemistry/Dongyan g Wang, Haiyan Wang, Bing Han et al.	2012, 51:53- 62	2011- 10 -25	郭安平, 王旭 初	王东阳	王东 阳, 王海 燕, 韩冰 ,王 斌, 郭安 平, 全征 ,刘 憧憬 ,常 丽丽 ,彭 明, 王旭 初	36	38	否

序号	论文专著/刊名/作者	年卷页码	发表时间(年月日)	通讯作者(含共同)	第一作者(含共同)	国内作者	SCI他引次数	他引总次数	论文署名单位是否包含国外单位
4	Relationships among multiple trace elements in coa/Environmental Geochemistry and Health/Qiang Liu, Hua Bi, Lan Hung, Shaolin Peng et al.	2006, 28: 3-9	2006-01-01	刘强	刘强	刘强, 毕华, 黄兰, 彭少麟, 沈成德	5	5	否
5	Complete chloroplast genome sequences of Praxelis/Gene/Ying Zhang, Lei Li, Ting Liang Yan, Qiang Liu	2014, 549: 58-69	2014-07-15	刘强	张颖	张颖, 李蕾, 梁婷, 刘强	17	17	否
6	Exogenous hydrogen peroxide, nitric oxide and calcium/Tree Physiology/Yanjun Lu, Niya Li, Jian Sun, Peichen H et al.	2012, 33, 81-95	2012-12-20	陈少良	卢燕君, 李妮亚	卢燕君, 李妮亚, 孙健, 侯佩岑, 金晓苏, 朱慧鹏, 邓淑荣, 韩燕莎, 黄旭鑫, 马旭静, 陈少良	28	38	否

序号	论文专著/刊名/作者	年卷页码	发表时间(年月日)	通讯作者(含共同)	第一作者(含共同)	国内作者	SCI他引次数	他引总次数	论文署名单位是否包含国外单位
7	Effect of NaCl on photosynthesis, salt accumulatio/Aquatic Botany/Niya Li, Shaoliang Chen, Xiaoyang Zhou et al.	2008, 88, 303 - 310	2007-12-08	陈少良	李妮	李妮亚, 陈少良, 周晓阳, 李春燕, 邵杰, 王瑞刚	70	105	是
8	The beta subunit of glyceraldehyde 3-phosphate deh/Plant Science/Lili Chang, Anping Guo*, Xiang Jin et al.	2015, 236: 223-238	2015-03-23	郭安平, 王旭初	常丽丽	常丽丽, 郭安平, 靳翔, 杨倩, 王丹, 孙勇, 黄启星, 王力敏, 彭存智, 王旭初	12	12	否

主要完成人情况:

1、王旭初: 海南师范大学研究员, 是本项目中主要代表论文的通讯作者和主要课题主持人, 是研究思路制定者和主要研究成果拥有者。17年来一直在从事盐生植物耐盐研究, 主要研究海南滨海盐生植物海马齿和耐盐模式植物盐芥等耐盐的蛋白质调控机制。建立了热带

盐生植物蛋白质组研究技术体系，在盐生植物蛋白质组研究领域取得了引人注目的成绩，在滨海盐生植物海马齿和盐生植物盐芥蛋白质组及相关蛋白功能研究领域取得了国际领先的研究成果。提出了真盐生植物系统抗盐性假说，认为盐处理可以促进盐生植物肉质化、木质化和细胞膨大，促进钠离子多级区隔化，诱导抗盐蛋白表达，使盐生植物能耐极高盐渍生境，为从整合生物学角度阐明植物抗盐的机理提供了新思路。

2、刘强：海南师范大学研究员，为本项目贡献了大部分科研项目 and 主要科研论文，于 2007 年提出了分三步走恢复和建设海南岛海防林的战略思想：第一步，恢复和巩固木麻黄海防林；第二步，建立引入乡土树种的混交林型海防林；第三步，促进混交林演替成具地带性植被特征的天然林型海防林（见《海南日报》2007-07-27）。即按照海岸防护林植被发展演替过程恢复和建设海防林：海岸裸沙地→木麻黄海防林→混交林型海防林→天然林型海防林。通过实验研究，已成功完成混交海防林的构建，向人工促进演替形成天然林型海防林深入。将对海岸植被生态系统产生重大的正面影响，形成既能自我维持、自我更新的有生态防护功能海防林，又能保护海南乡土物种的生物多样性的生态带。

3、郭安平：中国热带农业科学院热带生物技术研究所研究员，领导并部分参与耐盐模式植物盐芥和海南滨海盐生植物海马齿耐盐分子机理的研究工作，指导热带盐生红树植物耐盐机理和推广应用研究工作，发现积累淀粉、可溶性糖和脯氨酸等渗透调节物， Na^+ 液泡

区隔化,以及维持正常的光合效率可能在盐芥和海马齿耐盐过程中共同发挥重要作用,明确 Na^+ 在促进海马齿生长发育方面比 K^+ 和 Cl^- 更重要,且适当的 Na^+ 浓度可以促进海马齿的生长发育;鉴定海马齿叶片中的盐响应蛋白,发现参与离子结合、质子转运、光合作用和 ATP 合成等生物学过程的蛋白在盐胁迫后诱导表达,这些差异表达的蛋白可能在海马齿耐盐过程中发挥重要功能。这些研究结果对其它作物耐盐分子机制研究具有重要的借鉴意义。

4、易小平:中国热带农业科学院热带生物技术研究副研究员,主要借助蛋白质组学和分子生物学等研究技术,研究海南滨海真盐生植物海马齿的盐生植物耐盐的分子机制和蛋白质调控机理。首先,参与对热带植物蛋白质组研究体系进行了优化改进,并将这些技术应用在将来热带盐生植物蛋白质组研究中。其次,通过比较不同盐离子对海马齿生长的影响,发现钠离子比钾离子和氯离子更能促进盐生植物生长发育。在此,对不同浓度 NaCl 处理的海马齿叶片进一步展开比较蛋白质组研究发现,300 毫摩氯化钠是海马齿生长发育的最佳盐分条件,海马齿主要通过激活液泡膜上的 V-ATP 酶来达到极端耐盐性。这是在盐生植物耐盐蛋白质机制上的新发现,具有重要的理论和潜在应用价值。

5、张颖:海南师范大学教授,用抑制差减杂交技术构建了海水诱导下海马齿差异表达的基因 cDNA,结合反向 Northern 杂交技术鉴定了一批受高盐上调表达的基因 EST 克隆,首次得到了海马齿热激蛋白基因保守片段。将海马齿热激蛋白基因进行全长克隆,并通过构建

异源转化载体,从而进行功能鉴定。为讨论海马齿抗重金属逆境能力,用不同浓度的 Zn、Pb 溶液,对海马齿的生物量指标节间长度、鲜重、干重和海马齿生理生化指标进行测定,表明叶片叶绿素含量下降,根系活力降低;同时,高浓度 Pb, Zn 对海马齿的相对生长率和节间长度存在明显抑制作用。说明海马齿对重金属 Pb, Zn 具有一定的耐受性,为研究海马齿作为一种净化水源的植物提供了重要理论依据。

6、李妮亚:海南师范大学教授,长期从事植物抗旱、耐盐生理生化基础的研究工作。在两项海南省自然科学基金“海南岛红树植物抗盐生理机制研究”(2005-2008年)、“半红树植物盐适应性的生理生化基础研究”(2010-2012年)和一项国家自然科学基金项目1项,“非泌盐红树耐盐机理研究”(2012-2015年)的支持下,一直在从事海南滨海盐生植物特别是红树植物耐盐分子机理的研究,重点涉及盐离子吸收、离子区隔化、根冠通讯、转运与分配、抗氧化体系与平衡等方面,发现红树植物主要通过植物叶片的中央大液泡积累盐离子的机制,而不是分泌盐分,来达到极端耐盐的作用。这是关于海南滨海红树植物耐盐分子机理的新发现,有较为重要的科研价值。

7、黄启星:中国热带农业科学院热带生物技术研究所副研究员,主要协助展开海南滨海植物海马齿和耐盐模式植物盐芥耐盐分子机理的部分研究工作,参与热带盐生红树林植物海马齿的耐盐分子机理的研究,明确 Na⁺在促进海马齿生长发育方面比 K⁺和 Cl⁻更重要,且适当的 Na⁺浓度可以促进海马齿的生长发育;通过 2-D-DIGE 技术鉴定海马齿叶片中的盐响应蛋白,发现参与离子结合、质子转运、光合

作用和 ATP 合成等生物学过程的蛋白在盐胁迫后诱导表达。参与发现积累淀粉、可溶性糖和脯氨酸等渗透调节物，Na⁺液泡区隔化，以及维持正常的光合效率可能在盐芥耐盐过程中共同发挥重要作用，这些研究结果对其它作物耐盐分子机制研究具有一定借鉴意义。

主要完成单位情况及主要学术贡献：

1、海南师范大学：（1）本项目以海南滨海盐生植物为研究对象，集中于红树植物及其伴生植物耐盐分子机理研究，从 2002 年至今，通过 17 年努力探索，积累了大量研究资料，提升了海南滨海盐生植物的研究水平。由于主要研究工作，特别是 2002 年到 2012 年这十年间的科技成果，都是海南师范大学为第一完成单位，主要研究成果和研究工作在海南师范大学展开；（2）本项目研究重点是海南热带滨海盐生植物，特别是红树林耐盐机理研究，许多原创性重要发现，都是海南师范大学独立完成，支持本项目的 54 篇论文，包括 SCI 论文 23 篇，中文论文 31 篇。其中 50 篇论文是海南师范大学为第一完成单位完成；（3）本项目主要支持项目为海南师范大学主持，5 个支撑课题经费 1294.5 万元，其中 1134.5 万元为海南师范大学教授主持，海南师范大学为本成果贡献了最主要项目和资金；（4）本项目主要申报人中，主要完成该部分工作的人员均为海南师范大学教授，贡献了绝大部分论文和研究成果；（5）将这些成果应用在海南生态环保应用研究上，利用海南滨海盐生植物的特殊耐盐性能，提出分三步恢复和建设海南岛海防林的战略思想，并积极将相关成果应用于海岛生态重建和污染生态修复工作中，取得了很好示范效果。这部分工作，均在海南

师范大学生命科学院完成。

2、中国热带农业科学院热带生物技术研究所：（1）本项目第一完成人及其团队在热带生物技术研究所完成了本项目中部分研究工作，通过技术改进和方法摸索，建立了热带植物蛋白质组研究的技术体系，并组建了热带作物蛋白质组研究中心，为本项目实施，提供了技术和平台条件。（2）通过蛋白质组和分子生物学等技术，对海南滨海盐生植物海马齿和盐生模式植物盐芥叶片和叶绿体的耐盐机制进行了深入研究，发现了盐生植物的一些耐盐分子新机制。（3）在此基础上，通过转基因技术验证了耐盐蛋白的具体生物学功能，获得了转基因植株，补充完善了海滨盐生植物耐盐的分子调控模式，为进一步深入研究海南滨海盐生植物的特殊耐盐性能打下了一定研究基础。（4）支持本项目的课题之一，国家万人计划青年拔尖人才支持项目，是以热带生物技术研究所为依托单位获得，并展开了万人计划研究中的大部分相关工作。

完成人合作关系说明：

王旭初经过与本项目主要合作人刘强，郭安平，易小平，张颖，李妮亚和黄启星认真协商，结合各自贡献大小，排定本次申报海南省自然科学奖的发明人排名顺序，所有申请人及未列入项目主要完成人的代表性论文相关作者，均对此排名无异议，同意并大力支持申报 2019 年海南省自然科学奖。本项目所有合作人都在海南滨海盐生植物生理生态和分子生物学研究方面做出了不同的贡献，所有人都作为作者之一发表了论文，其中绝大部分人员还参与了相关五个支持课题的项目申

请和具体执行过程。

在相关代表作中，郭安平和易小平，主要参与了代表作 1 和 3 中，由王旭初主导展开的海马齿耐盐生理和蛋白质组的相关工作。郭安平，易小平和黄启星，主要参与了代表作 2 和 8 中由王旭初主导展开的盐芥耐盐蛋白质组和耐盐蛋白的转基因功能验证工作。刘强，张颖和李妮亚主要合作展开了海南滨海盐生植物资源调查、种质资源筛选、红树植物耐盐生理生化，以及滨海盐生植物生态环境保护等相关工作，主要合作成果体现在代表作 4、5 和 7 上。李妮亚和刘强还在课题 1 的申请和代表作 6 和 7 写作上，有很深入合作关系。相关人员还作为主要成员进行了项目合作和科研技术合作，其中郭安平、易小平，黄启星和王旭初主要合作展开了红树植物耐盐基因和蛋白的挖掘和功能鉴定工作；李妮亚联合刘强和张颖，申报并成功主持了国家自然科学基金面上项目“非泌盐红树耐盐机理研究”课题(编号 31160150)，取得了良好的合作成果。王旭初团队人员，包括郭安平、易小平和黄启星等，在国家万人计划青年拔尖项目申报和执行中，也有很好的合作关系，一直是一个研究团队。

另外，刘强主持的相关项目，包括国家科技支撑计划项目“国际旅游岛海岸带污染控制与生态修复技术及示范”（编号 2012BAC18B04），国家 973 计划前期研究专项“海南岛青皮遗传多样性及在热带海岸人工林向本土植被恢复中的应用”（编号 2008CB117008）和海南省教育厅科研项目“海岸青皮林与木麻黄林生物地球化学比较研究”（编号 Hjkj200217）中，张颖和李妮亚也是主

要参加人。因此，本项目申报人之间研究兴趣相似，研究目标一致，合作成果显著，合作方式多样，在论文发表和项目申报等方面展开了多年合作，具有长期深厚的合作关系。

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者	合作时间	合作成果	证明材料	备注
1	合作研究	郭安平， 易小平， 王旭初	2014 年	发表论文	代表作 1	项目合作课题 2
2	合作研究	王旭初， 易小平， 黄启星， 郭安平	2013 年	发表论文	代表作 2	项目合作课题 2
3	合作研究	郭安平， 王旭初	2012 年	发表论文	代表作 3	项目合作课题 2
4	合作研究	刘强， 张颖， 李妮亚	2006 年	发表论文	代表作 4	项目合作课题 4、 5
5	合作研究	张颖， 刘强	2014 年	发表论文	代表作 5	项目合作课题 5
6	合作研究	李妮亚， 刘强	2012 年	发表论文	代表作 6	项目合作课题 1、 3
7	合作研究	李妮亚， 张颖， 刘强	2008 年	发表论文	代表作 7	项目合作课题 1、 3
8	合作研究	郭安平， 黄启星， 王旭初	2015 年	发表论文	代表作 8	项目合作课题 2

项目二

项目名称：基于半定量信息的网络安全态势预测

提名者：海南师范大学

提名意见：

本项目独创了基于半定量信息的网络安全态势预测方法，在国际上首次提出置信规则库模型的构造及学习方法，为复杂系统建模提供了有效工具；在国际上首次提出置信规则库预测模型，攻克了网络安全态势预测中如何有效利用半定量及多种类型不确定性信息的难题，首次提出隐含置信规则库预测模型，解决了将网络安全态势视为网络系统隐含行为时的预测问题，首次提出云隐含置信规则库预测模型，增强了置信规则库表达不确定性信息的能力，为复杂网络系统安全态势预测提供了强有力的理论工具；项目又提出了一系列网络安全态势预测模型的优化算法，攻克了网络安全态势预测模型优化中的高维强约束优化难题。上述成果得到了国内外学术同行的重点关注和积极评价，也已被应用于各个复杂网络系统的安全态势预测中，包括大型液体运载火箭智能健康监测与维修决策、复杂网络系统网络安全态势评估与预测、大型液化天然气储罐及相关设施故障预测及大型机电装备故障智能诊断和预报等领域。该项目在理论上取得了重大突破，在实际工程中也取得了众多创新性成果。

提名该项目为海南省自然科学奖一等奖。

项目简介：

随着人工智能技术不断发展，已有越来越多相关方法被应用到网

络安全态势预测中。想要准确实时地预测网络安全态势是非常重要的也是极其困难的，已有方法都没有充分考虑复杂网络的不确定性以及安全态势的隐含性。另外，想要建立有效的网络安全态势预测模型还面临着如下挑战：一是如何构建一套适用于复杂网络，并能有效利用同时包含定性知识与定量数据，且具有多种类型不确定性信息的建模理论；二是如何有效利用复杂网络可观测指标，构造精确的可解释网络安全态势隐含预测模型；三是如何建立有效的优化方法，使得预测模型更加精准。基于上述挑战，项目团队紧跟国家战略需求，在多个国家项目支持下，经长期协同攻关，取得了系统性的创新成果。具体发现点为：

1) 创立了基于半定量信息的智能专家系统建模方法：在国际上首次提出置信规则库（BRB）模型的构造及学习方法，为复杂网络分析提供了有效的建模工具，解决了利用半定量信息及同时处理多种类型不确定性的难题；在国际上首次提出 BRB 参数和结构迭代学习方法，攻克了如何构造结构紧凑 BRB 的难题，解决了 BRB 无法满足复杂网络分析的难题；

2) 在国际上首次提出 BRB 预测模型，并用于网络安全态势预测，攻克了如何将 BRB 应用于时间序列预测的难题；提出了隐含 BRB 预测模型（HBRB），解决了网络安全态势无法被直接观测时如何对其进行有效预测的难题；提出了将 HBRB 前提属性参考等级用云模型描述的云隐含置信规则库预测模型（CHBRB），极大地扩展了 HBRB 表达网络系统不确定信息的能力；

3) 提出了网络安全态势预测模型的优化算法：在国际上首次提出针对网络安全态势预测的云群高维差分进化算法（CPDE），利用云群和分布链的概念增加了种群的多样性和搜索精度；针对 CHBRB 提出了拉格朗日协方差矩阵自适应进化策略算法（I-CMA-ES），攻克了 CHBRB 强约束优化问题的难题；在 I-CMA-ES 基础上又提出了基于漏桶机制的算法（L-CMA-ES），使得最优解求解过程更高效。

基于上述成果的 8 篇代表作发表在 IEEE Trans. Fuzzy Systems、IEEE Transactions on Cybernetics 等国际顶级学术期刊上。4 篇关于 BRB 预测模型的开创性论文分别位居该方向被引次数的全球第 1 名。论文他引总计 70 次，其中 SCI 他引 53 次，单篇最高 SCI 他引 31 次，得到了学术同行的重点关注和积极评价。

客观评价：

项目组 8 篇代表性论文（排除 1 篇专著及 1 篇中文 EI 检索期刊论文）SCI 正面他引 70 次（单篇最高他引 31 次），多名国际顶级大学教授、科学家以及资深学者们给予了高度评价，在复杂网络系统安全态势预测方面的工作被国际知名学者扩展并应用于复杂机电网络系统、高铁通信网等多类实际工程系统。相关成果代表性评价如下：

1、针对发现点 1 的代表性评价

[代表性专著 1]：该专著在国内引起巨大反响，现已成为置信规则库研究的经典书籍，该专著中所提方法已被广泛采用，为置信规则库建模方法的理论研究奠定了基础。国防科技大学教学名师、信息系统与管理学院管理系李孟军教授评价专著中的方法“提出了统计效用

的概念来评价各规则，最终仅保留效用达到一定阈值的规则”。

[代表性引文 2]：英国阿尔斯特大学教授、国际贸易部数据科学家、数据工程师和机器学习研究员 Alberto Calzada 等发表的论文评价引文 2 成功将基于 RIMER 的置信规则库建模方法应用于各个工程领域：“RIMER results and its relevant extensions have proved to be highly positive solving decision problems applied to different areas, such as, among others, safety and risk analysis, oil pipe leak detection and some other application in engineering systems. [13]”（注：引文[13]是团队发表的文献[2]）。

[代表性引文 3]：北京交通大学自动控制系主任、先进控制系统研究所所长、无模型自适应控制理论创始人侯忠生教授，在其论文中评价引文 3 所提方法是一种新的有效的时间序列预测方法：“In addition, some researchers propose another approach based on Taylor series expansion at the operating point and neighboring data query aiming at to more efficient utilization of the I/O database. Many details remain to be studied [43, 101, 154].”（注：引文[154]是团队发表的文献[3]）。

[代表性引文 4]：日本京都大学计算机学院的正教授，美国科罗拉多大学博尔德分校终身学习与设计中心访问研究员 Ogata, Hiroaki 等发表的论文评价引文 4 所提出方法为复杂系统隐含行为分析提供了很好的思路：“We call such behaviors Observable

Learning Behaviors (OLB). However, certain learning behaviors cannot be easily observed and recorded; therefore, we call them Hidden Learning Behaviors (HLB); for example, preparing for the lessons and backtrack reading. It is difficult to observe these HLB and to determine their frequency of occurrence (Arroyo & Woolf, 2005; Zhou, Hu, Zhang, Xu, & Chen, 2013).” (注：引文[Zhou, Hu, Zhang, Xu, & Chen, 2013]是团队发表的文献[4])。

[代表性引文 5、8]：Kypo Cyber Range 项目首席调查员、网络安全、网络犯罪和关键信息基础设施卓越中心 (C4E) 联合首席执行官、马萨里克大学教授 Pavel Čeleda 与卡内基梅隆大学访问研究科学家、加拿大国家网络法医和培训联盟 (NCFTA) 研究科学家 Elias Bou Harb 合作发表在国际顶级期刊 IEEE Communications Surveys and Tutorials (影响因子 22.973) 上的综述论文评价引文 5 及引文 8 提出了一种最新的用于解决网络安全态势预测的有效方法：“A very recent approach to forecast network security situation is based on belief rule base (BRB) models and evolutionary algorithms, namely CMA-ES. This approach emerged in 2016, and was since then described and continuously improved by Hu et al. [101], [102] and Wei et al. [103]” (注：引文[101]是团队发表的文献[5]、引文[102]是团队发表的文献[8])。

[代表性引文 7]：该论文获得“陕西省第十三届自然科学优秀学

术论文”二等奖决策支持与置信函数领域的知名专家、法国航空航天研究院资深的科学家 Jean Dezert 研究员与西北工业大学自动化学学院院长，国家保密学院常务副院长，信息融合技术教育部重点实验室主任潘泉教授及西北工业大学自动化学院信息融合技术教育部重点实验室刘准钊教授共同发表的论文评价本文所提方法被成功应用与各个领域：“has already been used successfully in many fields of applications, e.g. information fusion [15], pattern recognition [16]-[21], parameter estimation [23]-[26]”（注：引文[24]是团队发表的文献[7]）。

[代表性引文 8]：国家杰出青年科学基金获得者、教育部“长江学者”特聘教授，高被引学者、福建省高校决策科学与科教管理研究基地学术委员会主任、福州大学决策科学研究所所长、福州大学经济与管理学院管理科学与工程研究院院长王应明教授发表的论文评价引文 8 所提出方法是目前最新的人工智能方法：“As one of the most visible and fastest growing branches of artificial intelligence (AI) [7], rule-based systems have been applied to handle classification problems in the past decades. The common rule-based systems include fuzzy rule-based (FRB) systems [8][9] and belief rule-based (BRB) systems [10][11][12]”（注：引文[12]是团队发表的文献[8]）。

[代表性引文 3、4、5、8]：中国人民解放军空军工程大学教授、

军队科技领军人才，全军优秀教师，全军“爱军精武标兵”，全军院校育才奖“金奖”获得者，教育部仪器类高等学校教学指导委员会委员肖明清发表的论文评价引文 3、4、5、8 所提方法可用来捕捉非线性因果关系的连续性、不完全性和模糊性，并被广泛应用于众多领域：

“BRB can be used to capture nonlinear causal relationships as well as continuity, incompleteness, and vagueness. It has been widely used in many areas, such as.....system behavior prediction [11,12], network security prediction [13-15]”（注：引文[11]是团队发表的文献[4]，引文[12]是团队发表的文献[3]，引文[13]是团队发表的文献[8]，引文[14]是团队发表的文献[5]。

代表性论文专著目录：

序号	论文专著/刊名/作者	年卷页码	发表时间(年月日)	通讯作者(含共同)	第一作者(含共同)	国内作者	SCI他引次数	他引总次数	论文署名单位是否包含国外单位
1	置信规则库专家系统与复杂系统建模/科学出版社/周志杰、胡昌华等	2011	2011-03-01	无	周志杰	周志杰、胡昌华等	0	0	否
2	专家干预下置信规则库的在线更新/Expert Systems with Applications/周志杰、胡昌华等	36(3): 7700-7709	2009-05-01	胡昌华	周志杰	周志杰、胡昌华等	31	25	是
3	基于置信规则库的系统行为预测模型/Information Sciences/周志杰、胡昌华等	80(24):4834-4864	2010-12-05	胡昌华	周志杰	周志杰、胡昌华等	17	12	是

序号	论文专著/刊名/作者	年卷页码	发表时间(年月日)	通讯作者(含共同)	第一作者(含共同)	国内作者	SCI他引次数	他引总次数	论文署名单位是否包含国外单位
4	基于半定量信息的复杂系统隐藏行为预测/IEEE Transactions on Cybernetics/周志杰、胡昌华、张邦成等	43(2): 402-411	2013-08-16	胡昌华	周志杰	周志杰、胡昌华、张邦成等	4	4	是
5	用于网络安全态势预测的云置信规则库模型/IEEE Communications Letters/胡冠宇、乔佩利	20(5): 914-917	2016-02-03	乔佩利	胡冠宇	胡冠宇、乔佩利	3	3	否
6	基于云群的高维差分进化算法及其在网络安全态势预测上的应用/吉林大学学报(工学版)/胡冠宇、乔佩利	46(2): 568-577	2016-07-14	乔佩利	胡冠宇	胡冠宇、乔佩利	1	1	否
7	基于半定量信息和置信规则库的复杂系统测试影响下的隐藏行为预测/IEEE Transactions on Fuzzy Systems/周志杰、胡昌华、胡冠宇、韩晓霞等	23(6): 2371-2386	2015-04-24	胡昌华	周志杰	周志杰、胡昌华、胡冠宇、韩晓霞等	7	4	否
8	基于隐含 BRB 模型和修正 CMA-ES 算法的网络安全态势预测方法/Applied Soft Computing/胡冠宇、周志杰、张邦成等	48(2016): 404-418	2016-06-20	周志杰、张邦成	胡冠宇	胡冠宇、周志杰、张邦成等	7	4	否

主要完成人情况:

1、胡冠宇: 海南师范大学副教授, 深入研究了基于半定量信息、融入多种类型不确定性数据、以及考虑隐含行为的复杂网络系统隐含

安全态势预测问题，开创性地提出了基于云置信规则库的网络安全态势预测模型，并在此基础上提出了基于协方差矩阵自适应进化策略的约束优化算法，用于网络安全态势预测模型的优化。在理论上取得了重大突破，在实际工程中也取得了众多创新性成果。

2、周志杰：中国人民解放军火箭军工程大学教授，开创性地提出了置信规则库型的构造方法，并提出置信规则库预测模型，将时间参数引入置信规则库模型中，将复杂系统的历史行为做为规则库的前提属性，将未来行为做为后件结论；创立了隐含置信规则库预测模型，并与申请人一起提出了置信规则库预测模型的优化方法。

3、胡昌华：中国人民解放军火箭军工程大学教授，创造性地提出了置信规则库建模方法及其构造方法，首次提出了利用当前信息对置信规则库的参数（包括规则权重、前提属性权重和置信度）和结构迭代更新的学习方法，开创了置信规则库迭代学习方法理论。

4、张邦成：长春工业大学教授，深入研究了基于半定量信息、融入多种类型不确定性数据、以及考虑隐含行为的复杂网络系统隐含安全态势预测问题，开创性地提出了基于置信规则库的网络安全要素特征提取方法，为网络安全态势预测提供了有效数据，并与申请人一起首次将置信规则库预测模型应用于网络安全态势预测领域。

5、韩晓霞：中国人民解放军火箭军工程大学讲师，一起深入研究了基于半定量信息、融入多种类型不确定性数据、以及考虑隐含行为的复杂网络系统隐含安全态势预测问题，提出了基于拉格朗日约束法的协方差矩阵自适应进化策略优化算法，并应用与置信规则库的网

络安全态势预测模型参数优化。

主要完成单位情况及主要学术贡献：

1、海南师范大学：在国际上首次提出将置信规则库预测模型用于网络安全态势预测；与合作单位共同提出了隐含置信规则库预测模型（HBRB），解决了网络安全态势无法被直接观测时如何对其进行有效预测的难题；提出了将隐含置信规则库前提属性参考等级用云模型描述的云隐含置信规则库预测模型（CHBRB），极大地扩展了 HBRB 表达网络系统不确定信息的能力；提出了网络安全态势预测模型的进化策略优化算法：在国际上首次提出针对网络安全态势预测的云群高维差分进化算法（CPDE），利用云群和分布链的概念增加了种群的多样性和搜索精度；针对 CHBRB 提出了拉格朗日协方差矩阵自适应进化策略算法（I-CMA-ES），攻克了置信规则库强约束优化问题的难题；在 I-CMA-ES 基础上又提出了基于漏桶机制的算法（L-CMA-ES），使得最优解求解过程更高效；上述成果也已被应用于各个复杂网络系统的安全态势预测中，包括：大型液体运载火箭无线监测网络的安全态势预测、高铁通信网络安全态势预测等。

2、中国人民解放军火箭军工程大学：围绕上述复杂网络系统建模的科学问题，深入研究了基于半定量信息、融入多种类型不确定性数据、以及考虑隐含行为的置信规则库构造问题，开创性地提出了基于置信规则库的预测模型以及隐含置信规则库预测模型，并在此基础上发展出了模型参数和结构的迭代学习方法以及用于模型训练的高效优化算法。

3、长春工业大学：与海南师范大学共同提出了网络安全态势预测模型的进化策略优化算法；在国际上首次提出针对网络安全态势预测的云群高维差分进化算法（CPDE），利用云群和分布链的概念增加了种群的多样性和搜索精度；针对 CHBRB 提出了拉格朗日协方差矩阵自适应进化策略算法（I-CMA-ES），攻克了置信规则库强约束优化问题的难题；在 I-CMA-ES 基础上又提出了基于漏桶机制的算法（L-CMA-ES），使得最优解求解过程更高效。

完成人合作关系说明：

本项目的五位完成人之间存在非常密切的合作关系，通过合作项目、合作报奖、培养博士后、联合培养研究生、联合发表论文等多种方式开展实质性合作。

一、代表性合作项目：

1) 海南省自然科学基金，617120，基于隐含置信规则库的网络安全态势预测方法研究，5 万元，胡冠宇为负责人，周志杰为第二参与人；

2) 海南省重点研发计划，ZDYF2019007，液化天然气接收站设施结构健康管理物联网系统的研发，80 万元，胡冠宇为负责人，周志杰为第三参与人；

3) 国家自然科学基金面上基金，61773388，幂集辨识框架下置信规则库建模方法及在导弹武器故障预测中的应用，65 万元，周志杰为负责人，胡冠宇为第三参与人，韩晓霞为第六参与人；

4) 国家自然科学基金青年基金，61004069，存在环境影响下动

态系统在线故障预测与最优维护研究，26 万元，周志杰为负责人，胡昌华为第二参与者；

5) 国家自然科学基金青年——面上连续资助项目，61370031，基于半定量信息的复杂动态系统故障预测与最优维护研究，78 万元，周志杰为负责人，韩晓霞为第七参与者；

二、代表性合作报奖：

1) 2015 年获得中国电子学会科技进步二等奖，其中张邦成排名第一、周志杰排名第二、韩晓霞排名第七；

2) 2016 年获得陕西省第十三届自然科学优秀学术论文二等奖，该项目所有成员全部参与，其中周志杰排名第一、胡昌华排名第二、胡冠宇排名第三、韩晓霞排名第四、张邦成排名第五；

三、培养博士后：胡昌华为胡冠宇博士后期间导师，周志杰为副导师；

四、联合培养研究生：申请单位海南师范大学向合作单位火箭军工程大学选派 2 名军民融合硕士研究生，其中一人陈媛的导师为周志杰。合作单位长春工业大学与海南师范大学联合培训 3 名硕士研究生：张敖翔、张阳、吕仕元，长春工业大学导师为张邦成、海南师范大学导师为胡冠宇；

五、联合发表论文：项目 5 五位完成人互相合作发表了大量论文，其中本项目的 8 篇代表论文均由 5 位完成人分别合作完成。

完成人合作关系情况汇总表：

序号	合作方式	合作者	合作时间	合作成果	证明材料	备注
1	论文合著	胡冠宇, 周志杰, 张邦成	2016.6.20	代表文性 8 论	附件件 论: 文代 8 表	
2	论文合著	周志杰、 胡昌华、 胡冠宇、韩 晓霞	2015.4.24	代表性论 文 7	附件: 代 表 性论文 7	
3	专著合著	周志杰、 胡昌华	2011.3.1	代表著性 1 专	附件件 专: 著代 1 表	
4	论文合著	周志杰、 胡昌华	2009.5.1	代表文性 2 论	附件件 论: 文代 2 表	
5	论文合著	周志杰、 胡昌华	2010.12.5	代表文性 3 论	附件件 论: 文代 3 表	
6	论文合著	周志杰、 胡昌华、 张邦成	2013.8.16	代表文性 4 论	附件件 论: 文代 4 表	
7	共同获奖	张邦成、 周志杰、 韩晓霞	2015	中国电子 学会科技 进步二等 奖	附件: 中 国电子学 会科技进 步二等奖	
8	共同获奖	周志杰、 胡昌华、 胡冠宇、韩 晓霞、张 邦成	2016	陕西省第 十三届自 然科学优 秀学术论 文二等奖	附件: 陕 西省第十 三届自然 科学优秀 学术论文 二等奖	

项目三

项目名称：基于半定量信息的网络安全态势预测

提名者：海南师范大学

提名意见：

该项目主要研究算子 Löwner 偏序和矩阵不等式中几个尚未解决的问题 (Higham 猜想、Zhan 猜想、Lin 猜想)、算子 Löwner 偏序、矩阵奇异值几何算术平均值不等式的推广以及矩阵酉不变范数不等式和 Accretive-dissipative 矩阵的行列式不等式。获得了以下主要结果：

一、得到算子 Kantorovich 不等式的 p ($p \geq 2$) 次幂不等式，并且对算子 Wielandt 不等式的平方次幂的最优系数给出了一个上界。虽然没有解决 Lin 的猜想，但是对后续得到算子 Wielandt 不等式的平方次幂甚至是 p ($p \geq 2$) 次幂不等式的最优系数提供了新的方法和视角。

二、利用偏迹与单位矩阵的张量积的分解式以及充分利用行列式函数在正定矩阵组成的凸集上是严格凹函数的性质并结合已有的密度矩阵偏序的行列式不等式的结果和我们的研究基础，得到关于 $n \times n$ 分块扇形矩阵偏序的行列式不等式。

三、通过数学归纳法以及奇异值优越性质，证明出每块都是 2 阶的 2×2 分块半正定矩阵的对角块的奇异值与主对角块的几何均值的奇异值之间的不等式关系；再利用分块 PPT 矩阵的奇异值与主对角块

的代数均值 的奇异值之间的不等式关系挖掘出一般的 $n \times n$ 分块半正定矩阵的奇异值与主对角块的几何均值的奇异值之间的不等式关系；加强了已有的数学结论。

提名该项目为海南省自然科学奖三等奖。

项目简介：

矩阵（算子）不等式是矩阵分析的主要研究对象，它被应用到量子信息、控制论及图像处理等领域中。基于近年来人们对 positive partial transpose (PPT) 矩阵特别是华罗庚矩阵的奇异值不等式及 Kantorovich 算子 Löwner 偏序的研究，本项目主要研究内容是：算子 Löwner 偏序和矩阵不等式中几个未解决的问题 (Higham 猜想、Zhan 猜想、Lin 猜想)：1、算子 Löwner 偏序 2、矩阵奇异值算术几何平均值不等式的推广 3、矩阵酉不变范数不等式和 Accretive-dissipative 矩阵的行列式不等式。通过对本项目的研究，我们发现在量子信息理论里，人们对分块半正定矩阵偏序的研究较多，然而在矩阵分析里对这类矩阵的研究并不多见，本项目的科学价值就是为分块扇形矩阵偏序的研究奠定更好的数学基础。同时，关于算子 Löwner 偏序的研究也是经典的课题，特别是近几年来，人们关于算子 Kantorovich 不等式的结果的研究也是层出不穷。而对于它的孪生算子——算子 Wielandt 不等式的研究特别是该不等式的 p ($p \geq 2$) 次幂的结论并不多见，因此，本项目克服单纯代数方法推导算子不等式对一些已得到的不等式的依赖性而采取分析与代数相结合的方法得到更精确的不等式，这也是本项目研究的另一价值。在文献 [Linear

Multilinear Algebra. 63 (2015) 571–577]中，我们重点研究了正算子的 Kantorovich 不等式的 p ($p \geq 2$) 次幂的问题，我们利用代数与分析相结合的方法证明了相关结果。此文章被引用 27 次 (google 学术)，为解决算子 Wielandt 不等式的 p ($p \geq 2$) 次幂问题以及反向算子算术—几何均值不等式的界的估计问题提供了可行性的方法和理论基础，在国际会议上，线性代数著名学者 M. Lin 曾评价该文章是首次提出了 Kantorovich 算子的 p ($p \geq 2$) 次幂问题。在文献 [Linear Multilinear Algebra. 64 (2016) 105–109] 中，我们得到了俄罗斯数学家 Rotfel'd 不等式的简约形式，该文献在几个月内被引用了 10 次，曾在 2017 年国际矩阵分析会议上得到了著名数学家、世界顶级杂志编委 Chi-Kwong Li 的好评，称该结果为后续应用 Rotfel'd 不等式提供了非常方便的工具。

客观评价：

关于算子 Löwner 偏序的研究也是一个经典的课题，特别是近几年来，人们关于算子 Kantorovich 不等式的结果的研究也是层出不穷。而对于它的孪生算子——算子 Wielandt 不等式的研究特别是该不等式的 p ($p \geq 2$) 次幂的结论并没有像算子 Kantorovich 不等式的结论那样精确优美，因此，本项目试图克服单纯代数方法推导算子不等式对一些已得到的不等式的依赖性而采取分析与代数相结合的方法得到更精确的算子不等式，这是本人一直努力解决的问题。

得到的结果的创新性：

一、得到算子 Wielandt 不等式的平方次幂的比较优的系数，对

算子 Wielandt 不等式的 p 次幂的最优系数 (M. Lin 的猜想) 的解决有重要启发。

二、改进或加强已有的数学结论。比如, 利用分块 PPT 矩阵的奇异值与主对角块的代数均值的奇异值之间的不等式关系挖掘出一般的分块半正定矩阵的奇异值与主对角块的几何均值的奇异值之间的不等式关系。

三、结合已有的密度矩阵偏序的行列式不等式的结果和我们的研究基础得到关于 $n \times n$ 分块扇形矩阵偏序的行列式不等式。

所有成果都发表在国际学术顶尖级别代数期刊《Linear Algebra and its Applications》、《Linear and Multilinear Algebra》、《Banach Journal of Mathematical Analysis》等上, 收到一些很好的评价 (列举附件中, 主要来源于 MathSciNet 和学术会议上的评价)。

例如在 [Linear Multilinear Algebra. 63 (2015) 571–577] 中, 我们重点研究了正定矩阵 (算子) 的 Kantorovich 不等式的 p 次幂的不等式问题, 我们利用代数与分析相结合的方法证明了我们的结论。此文章被引用 27 次, 其中被 SCI 所收录的文章引用 18 次, 也是本人认为最值得骄傲的文章之一, 该结果为我们在后续解决算子 Wielandt 不等式的 p 次幂的不等式以及反向算子算术—几何均值不等式的界的估计问题提供了一个可行性的方法和理论基础。在 2016 年国际矩阵与算子会议中, 著名数学家 Minghua Lin 曾评价该论文是第一次提出了算子 Kantorovich 不等

式的 p - $p(2) \geq$ 次幂的问题，为后续学术研究奠定了重要的基础。

在 [Linear Algebra Appl. 2015] 中，我们重点研究了算子 Pölya-Szegö 和 Diaz-Metcalf 型不等式的 p - $p(2) \geq$ 次幂的不等式问题，我们通过构造特殊函数的方法证明了算子 Pölya-Szegö 和 Diaz-Metcalf 型不等式的 p - $p(2) \geq$ 次幂的结论。此文章的方法被后续很多文献所使用。该方法为后续解 Lin 的猜想提供了可行的思路。加拿大皇家科学院院士 Man-Duen Choi 先生曾在国际会议和本人讨论该文章，给出了很好的评价，提出后续可以做的课题。

在 [Banach J. Math. Anal. 9 (2015) 243-247] 中，我们利用分析中的数学归纳方法，给出了 n 个实矩阵作 Hadamard 积和 Fan 积的行列式不等式。这为我们把关于分块正定矩阵偏序的行列式不等式推广到扇形矩阵的情形提供了思路。

在 [Linear Multilinear Algebra. 64 (2016) 105 - 109] 中，我们利用分块矩阵的 Schur 补的方法研究了 Rotfel'd 不等式，具体得到了分块矩阵的酉不变范数不等式，给出了 Rotfel'd 不等式的简约形式。在 MathSciNet 中，评论者评论该结果是 Rotfel'd 不等式中目前最简单的形式，为后续使用该不等式解决别的不等式问题提供了很好的工具。

在 [J. Math. Inequal. 7 (2013) 727-737] 中，我利用凸函数 $g_r(A, XB, A, XB) = \frac{1}{r} \left(\frac{A+B}{2} \right)^r - \frac{1}{2} \left(\frac{A+B}{2} \right)^{2-r}$ 在区间 $[0, 2]$ 上的性质给出了矩阵 Heinz 不等式以及矩阵算术-几何均值不等式

的改进。该方法为我们本项目中研究算子 Wielandt 不等式的 p p
 (2) \geq 次幂的不等式提供了方法。伊朗数学家国际著名期刊
 《Banach Journal of Mathematical Analysis》 Mohammad Sal
 Moslehian 曾评价这个文章是应用分析的手段解决代数问题最好的
 例子。

代表性论文专著目录

序号	论文专著/刊名/作者	年卷页 码 ($\times\times$ 年 $\times\times$ 卷 - $\times\times$ 页)	发表时间 (年 月 日)	通讯作者 (含共同)	第一 作者 (含 共同)	国内 作者	SCI 他 引次 数	他引 总次 数	论文 署名 单位 是否 包含 国外 单位
1	Some operator inequalities for positive linear map/Linear and Multilinear Algebra/符小惠 何传江	63, 571- 577 , 2015 年 3 月	2015- 03 -04	符小惠	符小惠	符小惠 何传江	18	27	否
2	Rotfel' d inequality for partitioned matrices with/Linear and Multilinear Algebra/符小惠 刘阳	64, 105 - 109 2016 年 1	2016- 10 -01	符小惠	符小惠	符小惠 刘阳	9	10	否
3	on some inequalities for unitarily invariant norms/Journal of Mathematical inequalities/符小惠 何传江	7, 727- 737, 2013 年 12 月	2013- 12 -31	符小惠	符小惠	符小惠 何传江	5	5	否

序号	论文专著/刊名/作者	年卷页 码 ($\times\times$ 年 $\times\times$ 卷 - $\times\times$ 页)	发表时 间 (年 月 日)	通讯作者 (含共同)	第一 作 者 (含 共 同)	国内 作 者	SCI 他 引 次 数	他引 总 次 数	论文 署 名 单 位 是 否 包 含 国 外 单 位
4	some generalizations of operator inequalities/Journal of Mathematical inequalities/符小惠 何传江	9, 101-105, 2015年3月	2015-03-05	符小惠	符小惠	符小惠 何传江	4	7	否
5	On some inequalities with matrix means/Linear and Multilinear Algebra/符小惠 Dinh Trung Hoa	63, 2373-2378, 2015年10月	2015-10-31	符小惠	符小惠	符小惠	4	6	否
6	On some Fischer-determinantal inequalities for acc/Journal of inequalities and applications/符小惠 何传江	316, 1-6, 2013年10月	2013-10-02	符小惠	符小惠	符小惠 何传江	2	4	否
7	Determinantal inequalities for Hadamard product of/Banach Journal of Mathematical Analysis/符小惠 何传江	9, 243-247, 2015年9月	2015-09-03	符小惠	符小惠	符小惠 何传江	0	2	否
8	An operator α -geometric mean inequality/Journal of Mathematical inequalities/符小惠	9, 947-950, 2015年3月	2015-03-01	符小惠	符小惠	符小惠	2	2	否

主要完成人情况：

符小惠：海南师范大学副教授，对本项目主要学术贡献：

一、得到算子 Kantorovich 不等式的 p ($p \geq 2$) 次幂不等式，并且对算子 Wielandt 不等式的平方次幂的最优系数给出了一个上界。虽然没有解决 Lin 的猜想，但是对后续得到算子 Wielandt 不等式的平方次幂的最优系数提供了新的方法和视角。

二、结合已有的密度矩阵偏序的行列式不等式的结果和我们的研究基础，得到关于 $n \times n$ 分块扇形矩阵偏序的行列式不等式。

三、利用分块 PPT 矩阵的奇异值与主对角块的代数均值的奇异值之间的不等式关系挖掘出一般的分块半正定矩阵的奇异值与主对角块的几何均值的奇异值之间的不等式关系；加强了已有的数学结论。

主要完成单位情况及主要学术贡献：

海南师范大学：

一、得到算子 Kantorovich 不等式的 p ($p \geq 2$) 次幂不等式，并且对算子 Wielandt 不等式的平方次幂的最优系数给出了一个上界。虽然没有解决 Lin 的猜想，但是对后续得到算子 Wielandt 不等式的平方次幂甚至是 p ($p \geq 2$) 次幂不等式的最优系数提供了新的方法和视角。

二、利用偏迹与单位矩阵的张量积的分解式以及充分利用行列式函数在正定矩阵组成的凸集上是严格凹函数的性质并结合已有的密度矩阵偏序的行列式不等式的结果和我们的研究基础，得到关于 $n \times n$ 分块扇形矩阵偏序的行列式不等式。

三、通过数学归纳法以及奇异值优超性质，证明出每块都是 2 阶的 2×2 分块半正定矩阵的对角块的奇异值与主对角块的几何均值的奇异值之间的不等式关系；再利用分块 PPT 矩阵的奇异值与主对角块的代数均值的奇异值之间的不等式关系挖掘出一般的 $n \times n$ 分块半正定矩阵的奇异值与主对角块的几何均值的奇异值之间的不等式关系；加强了已有的数学结论。

项目四

项目名称：随机生物种群模型动力学性质的研究

提名者：海南师范大学

提名意见：

本项目主要研究了种群模型在白噪声驱动下以及白噪声和电报噪声共同干扰下平稳分布的存在性和遍历性问题，并得到种群持久的条件；利用随机不等式和鞅论等分析方法，研究生物模型中的捕食者在白噪声干扰下持久与消失的阈值，得到了系统在时间均值意义下解的渐近行为，从而揭示了种群的持久和灭绝；利用 Has'minskii 周期解理论，研究周期种群系统在随机白噪声干扰下正周期解的存在性问题，并赋予较强的生物意义。

本项目在研期间的研究成果发表在国际知名的 SCI 学术期刊 Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation 和 Journal of Mathematical Analysis and Applications 上，并在东北师范大学出版社出版 17 万字的独立专著一部。2 篇代表性论文的 JCR 分区为 2 区，其中一篇为 Top2 区，1 篇入选美国情报所 ESI 前 1% “高被引用论文”。2 篇代表性论文 SCI 他引 71 次，其中单篇最高 SCI 他引达 42 次。项目完成人入选“海南省 515 人才工程第三层次”人选。

提名该项目为海南省自然科学奖三等奖。

项目简介：

本项目属于生物数学领域。主要研究随机生物数学模型平稳分布

的存在性、遍历性以及种群持久与灭绝的阈值，研究非自治随机周期系统周期解的存在性等动力学性质。生物种群的可持续发展一直是我国乃至全世界关注的热门问题。目前，从理论层面上研究具有白噪声和电报噪声干扰的种群模型遍历平稳分布的存在性和持久-灭绝的阈值以及周期系统正周期解的存在性问题研究内容并不多，所以研究多种噪声对种群以及周期系统动力学行为的影响是很有意义的工作。3篇代表性论文著作主要发现点如下：

(1) 稳定性是种群动力学性质研究中的核心问题之一，而平稳分布是一种弱稳定性。本项目研究了生物种群模型在环境白噪声 (Brown 运动) 和电报噪声 (Markov 链) 驱动下的平稳分布和遍历性问题。利用 Has'minskii 的遍历性理论，构造与 Markov 链状态相关的 Lyapunov 泛函，得到平稳分布的存在性和遍历性，揭示了噪声影响系统的本质规律。国内外知名专家学者刘胜强教授、崔景安教授、考永贵教授，以及巴西的 F. A. Dorini、M. S. Cecconello 等给出了高度评价。详见代表性论文 1 及他人引用 1, 2, 3。

(2) 利用随机不等式和鞅论等分析方法，得到随机种群模型持久-灭绝的阈值是生物学家和数学家长期以来关注的主要问题之一。我们提出并探讨了时间均值意义下的持久性，分析确定阈值，揭示了种群何时持久，何时灭绝。孟新柱教授、原三领教授等引用了该文，并对研究方法给予了充分的肯定。详见代表性论文 1 及他人引用 4, 5。

(3) 受季节更替、生命周期等因素的影响，各物种总会表现出

一定的周期性。因此研究随机周期生物模型有很强的实际意义。利用 Has'minskii 周期解理论, 研究非自治周期系统正周期解的存在性, 并赋予较强的生物意义。知名学者王稳地教授、法国波尔多大学的 Xiaoming Fu, 以及台湾高雄医学院的 WenHsien Ho 等肯定了该论文的研究结果, 确立了其广泛的适用性。详见代表性论文 2 及他人引用 6, 7, 8。

(4) 自然环境、资源等的分布不均匀导致种群斑块扩散现象的发生, 它对种群的持续, 空间结构分布和稳定性等方面有着深远的影响。本项目研究了带有线性扩散和定性扩散的随机单种群模型、捕食-食饵模型在白噪声和电报噪声干扰下的动力学性质。详见代表性专著 3。

客观评价:

该项目在 2015 年 1 月到 2016 年 8 月期间取得了较好的研究成果。2 篇代表性论文均为 JCR 分区 2 区, 其中一篇为 Top 2 区。2 篇代表性论文 SCI 他引 67 次, 其中单篇最高 SCI 他引达 42 次, 1 篇入选美国情报所 ESI 前 1% “高被引用论文”。在东北师范大学出版社出版 17 万字的独立专著一部。代表性论文被国内外的知名学者(如: 刘胜强、崔景安、考永贵、F. A. Dorini、M. S. Ceconello、孟新柱、原三领、王稳地、Xiaoming Fu、Wen-Hsien Ho 等) 引用, 并给予正面评论。具体如下:

发现点一他人引用 (代表性论文 1 及他人引用 1, 2, 3):

(1) 哈尔滨工业大学刘胜强教授(中国数学会生物数学分会副秘

书长、常务理事)，北京建筑大学理学院院长崔景安教授(北京市学术创新团队负责人，中国数学学会理事，中国生物数学学会副理事长)等在其发表在 *Journal of Differential Equations* (2018) 的论文中引用了代表性论文 1，肯定了具有状态切换人口模型的研究意义和广泛适用性，得到了系统持久、灭绝的充分条件及不变测度的概率分布。部分原文如下：“In the existing literatures, stochastic population models in a regime switching framework have been studied by several authors using different approaches: ... Dang, Du and Yin [9], Zu, Jiang and O’Regan [10], etc.” 详见代表性论文 1 及他人引用 1。

(2) 考永贵教授(美国《数学评论》评论员。国家基金委项目评审专家，教育部学位与研究生教育发展中心学位论文评议专家，科技部专家库入选)和高存臣教授(中国海洋大学数学科学学院副院长，山东省中青年学术骨干与学科带头人;国内核心期刊《自动化学报》、《控制理论与应用》、《控制与决策》的特约审稿员与山东省高评委委员;国家科技部对外合作项目评审员)等在其发表在 *IET Control Theory & Applications* (2017) 的文章中引用了代表性论文 1，肯定了研究具有白噪声和电报噪声 Lotka Volterra 模型的重要意义。部分原文: For example, if we don’ t consider the influence of time-delays, there are the famous logistic population model governed by a Markovian chain[38] and the stochastic Lotka Volterra predator prey model [39]. 详见代表性论文 1 及

他人引用 2。

(3)巴西帕拉纳联邦大学 F. A. Dorini 教授和马托格罗索联邦大学 M. S. Cecconello 教授在其发表在 *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 的论文中 (2017) 引用了代表性论文 1, 并指出在人口模型中环境噪声的重要影响。分情况讨论了一类 Logistic 模型的概率分布情况。部分原文:

“Uncertainties are inherent in ecological system modeling and must be taken into account to improve the predictability and accuracy of the estimates. In this context, many authors have introduced stochastic population models to investigate the effect of environmental variability and perturbation [1-16].” 详见代表性论文 1 及他人引用 3。

发现点二他人引用 (代表性论文 1 及他人引用 4、 5) :

(4)孟新柱教授(山东科技大学数学学院数学所所长, 美国《数学评论》特邀评论员, 中国生物数学学会常务理事, 国际 SCI 数学杂志《Mathematical Problems in Engineering》常务编委, 《ISRN Applied Mathematics》编委)等在其发表在 *Advances in Difference Equations* (2017)的论文中引用了代表性论文 1, 肯定了该文取得了研究结果。 研究了一类具有脉冲的随机竞争系统的持久和灭绝, 并得到两者之间的阈值。部分原文:“ Some scholars have studied the dynamics behaviors of various kinds of stochastic systems and obtained many good results [24-42].” 详见代表性论文 1 及

他人引用 4。

(5)原三领教授（上海理工大学博士生导师，中国数学会生物数学学会常务理事，中文国际刊物《数学研究期刊》编委）等发表在 *Commun Nonlinear Sci Numer Simulat* (2016)的文章中引用了代表性论文 1，并对均值意义下持久和灭绝的阈值以及平稳分布的研究方法和研究结果给予了充分的肯定. 利用 Lyapunov 函数方法研究了一类浮游植物的动力学性质。部分原文：“And recent years, the stochastic population models under regime switching have attracted great attention of many scholars [22–30]. Zu et al. [25] discussed the threshold between persistence in mean and extinction, and established the sufficient conditions for the stationary distribution and positive recurrent of the solution.” 详见代表性论文 1 及他人引用 5。

发现点三他人引用（代表性论文 2 及他人引用 6、7、8）：

(6)王稳地教授(重庆市名师，享受国务院特殊津贴，中国生物数学学会副理事长，重庆市应用数学学科带头人，*International Journal of Biomathematics* 和 *Journal of Biological systems* 编委)等在其发表在 *Applied Mathematics Letters* (2016) 的论文中引用了代表性论文 2，给出了捕食者受季节影响且具有内部捕食特征模型的持久性和灭绝性。指出代表性论文 2 为捕食-食饵模型建立了正周期解存在的充分条件，得到了系统均值意义下持久且至少存在一个正的 T-周期解，充分肯定了该文的研究结果，确立了其广泛的

适用性。部分原文：“Zu et al. [2] established sufficient conditions for the existence of a positive periodic solution in system (1.1). Furthermore, Zu et al. in [2] concluded that the system is persistent in mean, and has at least one positive T -periodic solution...” 详见代表性论文 2 及他人引用 6。19

(7) 法国波尔多大学 Xiaoming Fu 在其发表在 *Physica A* (2018) 的论文中引用了代表性论文 2，文字肯定了在有周期系数的动力学模型中考虑环境噪声的影响具有重要意义。得到了一类具有时滞的 SIRS 模型不变测度是唯一的且遍历的。部分原文：There are still some topics which deserve further research. For example, one can consider the stochastic noise to be a mean-reverting stochastic process. One can also consider the existence of periodic solutions for epidemic models under random perturbations [36, 43].” 详见代表性论文 2 及他人引用 7。

(8) 台湾高雄医学院的 Wen-Hsien Ho, Yu-Hsien Chiu, Yenming J. Chen 在其发布于 *Applied Mathematical Modelling* (2018) 的论文中引用了代表性论文 2，并将模型应用于玻璃透镜生产中的批量问题中。明确了捕食-食饵模型在其他领域中的广泛应用性。部分原文：“In contrast, the nonautonomous Lotka -Volterra (NLV) equation [30 - 34] is a pair of first-order, non-linear, differential equations that are widely used to describe the

dynamics of biological systems in which two species interact, one as predator and the other as prey. Therefore, the subpopulations adaptively change through predator-prey competition. Thus, the NLV equation is used in the IAIA to accelerate and adapt the subpopulation computation.” 详见代表性论文 2 及他人引用 8。

代表性论文专著目录：

序号	论文专著/刊名/作者	年卷页码 (××年××卷-××页)	发表时间 (年月日)	通讯作者 (含共同)	第一作者 (含共同)	国内作者	SCI 他引次数	他引总次数	论文署名单位是否包含国外单位
1	Conditions for persistence and ergodicity/COMMUNICATIONS IN NONLINEAR SCIENCE AND NUMERICAL/祖力, 蒋达清, Donal O' Regan	2015年29卷1-11页	2015-12-01	蒋达清	祖力	祖力, 蒋达清	42	42	是
2	Periodic solution for a non-autonomous Lotka-Volt/Journal of Mathematical Analysis and Applications/祖力, 蒋达清, Donal O' Regan, 葛斌	2015年43卷428-437页	2015-10-01	蒋达清	祖力	祖力, 蒋达清, 葛斌	25	25	是
3	随机扩散种群模型动力学行为研究/东北师范大学出版社/祖力	2016年8月	2015-08-01	祖力	祖力	0	0	否	

主要完成人情况：

祖力，海南师范大学副教授，(1) 对发现点一、二、三、四有突

出贡献，具体体现在：提出环境白噪声和电报噪声扰动下的随机 Lotka-Volterra 捕食-食饵模型和白噪声干扰下的 Lotka-Volterra 非自治周期系统模型及随机斑块扩散模型。利用随机微分方程理论研究了持久性、灭绝性，以及平稳分布的存在性、遍历性等，得到了模型在何种条件下持久，何种条件下灭绝，并得到持久-灭绝的阈值；利用 Has'minskii 周期解理论，得到非自治周期模型正周期解的存在性；系统研究了具有斑块扩散的单种群和捕食-食饵模型，得到存在平稳分布的充分条件。

(2) 代表性论文 1, 2 的第一作者，独立完成代表性专著 3。

(3) 在该研究中的工作量占 80%。

主要完成单位情况及主要学术贡献：

海南师范大学：具有较好的学科基础和人才储备。海南省数学研究中心和院士工作站设立在海南师范大学数学与统计学院，每年聘请多位国内外知名专家学者来校交流访问；学校图书馆具有比较齐全的图书资料和中外杂志；数学与统计学院的科学计算和高仿真重点实验室拥有先进的计算机设备，为数值解的研究提供了技术保障。良好的工作条件为该项目的顺利开展提供了全面的软硬条件。

项目五

项目名称：岛状区域社会生态系统脆弱性时空演变和调控多尺度研究

提名者：海南师范大学

提名意见：

本项目获多个重要基金的支持，是多年来该课题组凝练的结果。以多尺度角度、宏观微观结合、系统论为基础对承载区域人地关系的岛状社会生态系统（岛屿和湖泊流域）在旅游开发和其他经济活动下所呈现的结构演变、脆弱性趋势变化及其驱动因素进行系统分析，并提出修改调控对策，对目前我国乃至世界应对全球变化和可持续发展具有重大的理论意义和现实意义。该课题视角独特，立意新奇，以向上凸的岛屿和向下凹的湖泊两种相似又区别的岛状区域为研究对象，进行社会生态系统的多尺度分析、模拟和调控研究，研究成果和研究方法对于未来生态学和人地关系理论研究以及可持续发展研究都具有重要的指导意义。该研究的多项成果已在国内外权威刊物发表，以及获得多个奖项，得到多个基金（包括国家基金和省重点项目）的支持。并形成了博士论文和专著。该研究具有重要的学术价值和应用前景。

提名该项目为海南省自然科学奖三等奖。

项目简介：

本项目以社会生态系统为视角，构建多尺度分析框架和脆弱性评价模型，对岛状地域（海岛或湖泊流域）社会生态系统进行点（农户）、面（小流域）和体（岛屿或湖泊流域）的多尺度、多要素的脆弱性研

究，分析脆弱性的形成机理、时空演变规律和驱动因素，构建岛状区域社会生态系统脆弱性多尺度调控机制和适应性管理模式。

本项目：1) 从点（农户，岛状地域脆弱性细胞）、面（小流域，岛心到海岸的扇形面，具有相对独立性和内在联系的紧密性）和体（整个岛屿或湖泊流域）三个不同级别的尺度构建社会生态系统脆弱性综合评价模型可以对岛状地域社会生态系统总体特征、结构功能、脆弱性时空演变进行多尺度分析。2) 构建驱动模型，对不同层级的脆弱性评价结果进行相关分析，剖析不同尺度脆弱性之间的时间相关性和空间相关性可以分析岛屿社会生态系统不同尺度脆弱性之间的相互作用机制。3) 依据各尺度脆弱性驱动机制和脆弱性要素在跨尺度间的作用机制，进行从点到面，从面到体进行尺度跨越，提出岛状地域社会生态系统脆弱性多尺度调控思路和区域协调发展对策措施和政策建议。

岛状地域相对独立和相对隔离，社会生态系统相对封闭，具有社会生态系统的天然脆弱性倾向。海岛具有很高的安全、经济和环境价值。湖泊流域人地关系矛盾尖锐，资源环境问题突出，社会生态系统脆弱。随着经济开发热的兴起，岛屿受到的人类活动的干扰也日益严重，湖泊流域受到严重的环境污染和生态破坏。由于管理体制不健全和管理法规不完善、资源权属不清，在开发利用中出现了岛状地域生物多样性丧失，淡水资源紧张，环境污染等问题。土地利用等人类活动是岛状地域社会生态系统脆弱性形成的重要驱动因素。本研究从社会生态系统角度对岛状地域社会生态系统脆弱性的形成机制和演化

趋势和生态的监管调控进行多尺度研究，对岛屿型社会生态系统脆弱性治理和岛屿型社会经济与生态环境协调发展具有重要意义。

相关成果在生态学报、经济地理、人文地理、农业现代化研究、资源与产业、国土资源科技管理、生态科学、生态经济等国内外权威期刊上发表文章，形成博士论文《多尺度社会生态系统脆弱性研究——以滇池流域为例》，出版著作《多尺度社会生态系统脆弱性研究——以滇池流域为例》。获得了省级科研成果三等奖 2 项。获海南省高等学校科研成果三等奖 3 项，被编入 2012《社科专家建言》一书，应邀在国家战略与国际旅游岛建设——海南省庆祝新中国成立六十周年理论研讨会发言

客观评价：

1. 对岛状区域社会生态系统进行多尺度的评价和分析

1) 岛屿社会生态系统脆弱性多尺度评价。在社会生态系统理论分析和海南岛社会生态系统分析的基础上，研究海南岛社会生态系统的风险因素，选取脆弱性评价因子，从点（农户，岛屿脆弱性细胞）、面（流域，岛心到海岸的扇形面，具有相对独立性和内在联系的紧密性）和体（整个岛屿）三个不同级别的尺度构建社会生态系统脆弱性综合评价模型，对岛屿社会生态系统总体特征、结构功能、脆弱性时空演变进行多尺度分析。

2) 脆弱性驱动机制的多尺度分析。通过对各级尺度社会生态系统脆弱性要素的主成分分析，根据其因子载荷，评价这些因子对脆弱性形成的相对重要性。提取驱动因子，构建驱动模型。分析岛屿尺度、

农户尺度、流域尺度社会生态系统的脆弱性驱动机制。对不同层级的脆弱性评价结果进行相关分析，剖析不同尺度脆弱性之间的时间相关性和空间相关性。分析岛屿社会生态系统不同尺度脆弱性之间的相互作用机制。

3) 构建了湖泊流域社会生态系统脆弱性的分析框架和评价指标体系。从农户、剖面、流域、区域不同尺度，由小到大，由点到线，再到面构建了湖泊流域多尺度的社会生态系统脆弱性及调控机制研究的分析框架和评价指标体系与评价模型。实现了利用熵值法确定权重，处理多指标、多评价对象，多时段，多尺度的社会生态系统脆弱性评价。

2. 对岛状区域社会生态系统进行了从剖面到区域的尺度跨越和转换

依据各尺度脆弱性驱动机制和脆弱性要素在跨尺度间的作用机制，进行从点到面，从面到体的尺度跨越，提出流域脆弱性多尺度调控思路和区域协调发展对策措施和政策建议。本项目在滇池流域的研究中，构建了湖泊流域社会生态系统圈层分区管理机制，并对四个典型剖面进行了土地生态化调控模式设计。基于生态服务价值的典型剖面土地利用的生态效应研究，进行从剖面到区域尺度的转换，在脆弱性机制分析基础上提出自组织调控、尺度跨越、变革策略和适应性治理的湖泊脆弱性调控的思路，基于土地生态化利用对社会生态系统设计脆弱性调控和适应性管理模式。首次提出在湖泊流域构建生态圈管理模式和剖面管理模式，研究基于生态功能分异和土地利用分异的湖

泊流域社会生态系统圈层分区管理机制，实现了从剖面到流域，从微观机理到宏观脆弱性管理的尺度跨越。

3. 将尺度原理、自组织理论和适应性循环理论用于岛状区域社会生态系统脆弱性治理中本项目在滇池流域研究中自下而上，基于农户调查和剖面分析探讨了区域社会生态系统脆弱性的调控机制。提出了自组织调控、适应性治理和尺度跨越和变革策略的脆弱性调控思路，从区域尺度、景观（剖面）尺度和农户尺度提出滇池流域基于土地生态化利用的社会生态系统脆弱性调控措施。

4. 构建国际旅游岛建设旅游用地生态效应调控机制

本项目构建海南国际旅游岛旅游产业用地的生态效应评估和生态监管机制。(1)加强国际旅游岛建设生态效应的研究,预测国际旅游岛建设生态效应发展趋势。(2)设立旅游用地生态准入制度,建立旅游用地生态效应评估机制。(3)设计生态系统管理优化范式,制订旅游产业生态效应调控政策。(4)制订旅游用地生态安全评价指标体系,建立生态安全预警模型。以有效调控旅游用地生态效应,为旅游用地生态监管、旅游产业结构调整奠定科学基础与决策依据,改善海南省生态环境质量,提高生态安全等级,提升海南国际旅游岛建设综合效益。

5. 设计旅游用地生态效应及调控研究框架

旅游产业的快速发展和不合理的土地利用方式对资源环境的可持续发展带来了潜在的威胁,对环境造成一定的破坏和污染。旅游行业急需建立旅游用地生态效应评估和监管制度。本项目针对理论与实践的需要,设计旅游用地生态效应及调控机制系统研究框架(基础研

究层面、技术层面、政策建议)和研究内容计划(旅游用地分类体系研究、旅游用地生态效应机制研究、生态效应调控机制研究、旅游用地生态效应调控政策建议、成果展示与推广),对规范我国旅游产业用地生态效应研究起到引领作用。

本项目获得的基金支持:

1 国家自然科学基金,基于年龄图谱的旅游用地景观格局、生态效应演变和模拟研究——以海南岛为案例区,202001-202312

2 海南自然科学基金,旅游发展战略下岛屿社会-生态系统脆弱性时空演变和调控多尺度研究-以海南岛为例,417098,201701-201912

3 高等学校科学研究项目,海岛社会生态系统脆弱性多尺度分析及驱动机制研究,201701-201912

4 海南省自然科学基金重点项目,海南旅游用地生态效应测评、生态监管及生态化利用机制、模式和关键技术研究,201501-201612

5 海南自然科学基金,高铁背景下海南旅游用地生态安全格局演变及调控机制研究,201401-201512

6 海南省高等学校科学研究项目,国际旅游岛建设背景下海南省资源与生态承载力和生态安全研究,201101-201312

7 海南省高等学校科学研究项目,高铁背景下海南旅游用地生态安全评价及预警模型构建,Hkj2013-26,2013.01-2015.12

本项目发表文章

[1],全域旅游发展背景下旅游用地概念及分类——社会生态系

统视角[J]. 生态学报, 2019.

[2] 社会生态系统及脆弱性驱动机制分析[J]. 生态学报, 2014.

[3] 湖泊流域社会生态系统脆弱性及其驱动机制分析——以滇池为例[J]. 农业现代化研究, 2014.

[4] 湖泊流域社会生态系统脆弱性分析——以滇池为例[J]. 经济地理, 2014.

[5] Characteristic and Analytic Framework of Vulnerability of Social Ecological System of Lake Basin", Advanced Materials Research, Vols 955-959, pp. 1622-1625, Jun. 2014

[6] 湖泊流域社会生态系统脆弱性时空演变及调控研究——以滇池为例[J]. 人文地理, 2015.

[7] 高铁运营前后海南省生态环境效益及其演变研究[J]. 生态科学, 2015.

[8] 岛屿型流域目的地社会生态系统演变及可持续发展研究[J]. 资源与产业, 2015.

[9] 高铁背景下旅游用地生态效应机制研究_以海南为例[J]. 海南师范大学学报, 2015, 03.

[10] 《多尺度社会生态系统脆弱性研究——以滇池流域为例》中国环境出版社 2014. 6

本项目获得奖项

1 海南省第九次社会科学优秀成果三等奖, 社会生态系统及脆弱

性驱动机制分析， 2017

2 海南省第五届高等学校优秀科研成果二等奖，社会生态系统视角下区域土地利用生态效应及调控机制研究，2016

代表性论文专著目录：

序号	论文专著/刊名/作者	年卷页码 (××年 ××卷- ××页)	发表时间 (年月日)	通讯作者 (含共同)	第一作者 (含共同)	国内作者	SCI 他引次数	他引总次数	论文署名单位是否包含国外单位
1	社会生态系统及脆弱性驱动机制分析/生态学报/余中元, 李波, 张新时	2014, 34(07):1870-1879.	2014-01-08	余中元	余中元, 李波, 张新时	0	74	否	
2	湖泊流域社会生态系统脆弱性时空演变及调控研究——以滇池为例/人文地理/余中元, 李波, 张新时	2015, 30(02):110-116	2015-04-15	余中元	余中元, 李波, 张新时	0	17	否	
3	湖泊流域社会生态系统脆弱性分析——以滇池为例/经济地理/余中元, 李波, 张新时	2014, 34(08):143-150	2014-08-26	余中元	余中元, 李波, 张新时	0	11	否	
4	国际旅游岛建设旅游用地生态效应调控机制研究/生态经济/余中元	2012(01):166-170	2012-01-01	余中元	余中元	0	14	否	

序号	论文专著/刊名/作者	年卷页码 (××年 ××卷- ××页)	发表时间 (年 月 日)	通讯作者 (含共 同)	第一作者 (含共 同)	国内作者	SCI 他引 次数	他引 总次 数	论文名 单位 是否 包含 国外 单位
5	Design of the Research on Ecological Effect of Tourism Land Use/Advanced Materials Research/余中元	2012 (518-523) : 5873-5876	2012-01-24	余中元	余中元	0	0	否	
6	旅游用地生态效应及调控研究框架设计/生态科学/余中元,赵志忠	2013, 32(04):523-528	2013-07-15	余中元	余中元,赵志忠	0	2	否	
7	高铁运营前后海南省生态环境效益及其演变研究/生态科学/余中元	2015, 34(05):187-195	2015-09-30	余中元	余中元	0	3	否	
8	多尺度社会生态系统脆弱性研究——以滇池流域为例/中国环境出版社/余中元	978751118844	2014-06-06	余中元	余中元	0	0	否	

主要完成人情况:

1、余中元：海南师范大学教授，(1) 构建 海岛社会生态系统脆弱性分析框架和评价模型，对海南岛进行点（农户）、面（流域）和体（全岛）的多尺度、多要素脆弱性研究；(2) 分析国际旅游岛建设以来脆弱性时空演变规律和驱动因素；(3) 探索岛屿社会生态系统脆弱性多尺度调控机制和适应性管理模式。旨在于岛屿社会生态系统

脆弱性多尺度评价、多尺度管理方面有所突破；为海南旅游发展生态效应调控、生态经济协调发展奠定实践基础与决策依据。

2、李波：北京师范大学教授，顶层设计、宏观把控、咨询参谋、检查督促。

3、张新时：北京师范大学教授，顶层设计、宏观把控、咨询参谋、检查督促

主要完成单位情况及主要学术贡献

1、海南师范大学：负责对项目的具体实施。主要从事环境意识调查、土地利用生态效应、实验检测，脆弱性驱动机制分析，土地利用数据库、遥感解译、ARCG IS 软件应用 、数字化信息平台、生态安全预警模型的构建和运行，旅游用地资料收集、综合分析，旅游用地生态安全监管的目标、对策措施、生态安全调控政策建议。

2、北京师范大学：提供理论支撑和技术支持。

完成人合作关系说明：

余中元主要从事环境意识调查、土地利用生态效应、实验检测，脆弱性驱动机制分析，土地利用数据库、遥感解译、ARCG IS 软件应用 、数字化信息平台、生态安全预警模型的构建和运行，旅游用地资料收集、综合分析，旅游用地生态安全监管的目标、对策措施、生态安全调控政策建议。

李波教授和张新时院士是我读博士时的老师，主要从宏观进行把握，检查督促、文章修改、研究计划的制定、实验方案的设计等。

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者	合作时间	合作成果	证明材料	备注
1	指导	李波	2012-2016	文章	<p>[1]余中元,李波,张新时.湖泊流域社会生 态系统脆弱性时空演变及调控研究 —— 以滇池为例[J].人文地 理,2015,30(02): 110-116.</p> <p>[2]余中元,李波,张新时.湖泊流域社会 生 态系统脆弱性分析——以滇池为例 [J]. 经济地理,2014,34(08):143-150.</p> <p>[3]余中元,李波,张新时.社会生态系统 及 脆弱性驱动机制分析 [J]. 生态学 报,2014,34(07):1870-1879.</p>	
2	指导	张新时	2012-2016	文章	<p>[1]余中元,李波,张新时.湖泊流域社会 生 态系统脆弱性时空演变及调控研究 —— 以滇池为例[J].人文地 理,2015,30(02): 110-116.</p> <p>[2]余中元,李波,张新时.湖泊流域社会 生态系统脆弱性分析——以滇池为 例 [J].经济地理,2014,34(08):143-150.</p> <p>[3]余中元,李波,张新时.社会生态系统 及 脆弱性驱动机制分析 [J]. 生态学 报,2014,34(07):1870-1879.</p>	

项目六

项目名称：海口城市化进程对气候环境的影响

提名者：海南师范大学

提名意见：

一、项目应用领域和技术原理

1、项目主要应用于城市规划及城市建设管理

2、项目的技术原理：运用气候学、环境学、社会学等学科知识，项目采用文献法、统计法分析海口城市发展过程中气候要素变化的趋势，并通过实验法检验城市下垫面变化对气温和相对湿度的影响程度，同时采用回归分析法，对海口市建省前后温度、湿度与同期城市化水平、城市硬化面积之间的相关关系进行分析，建立气候要素与城市发展中相关因素的数学模型，通过对区域时空差异的量化研究，揭示了城市发展与气候环境变化趋势的内在规律

二、项目研究的意义

在城市化进程中，伴随着城市人口的急剧膨胀、城镇土地的快速扩张和经济的集聚发展，所造成气候环境的变化已危及到人们的生活、生产。项目通过对海南建省以来海口城市人口、城市建筑面积及气候资料的调查、同时通过对海口市进行分时段布点观测，采集相应的大气要素及大气相关成分，建立城市发展与城市气候环境变化之间的回归模型，对城市化进程中所引发的气候现象及空气环境问题，进行定性和定量分析，通过实证研究，提出城市化与气候环境变化之间的正相关关系，指出绿化带对改善空气环境质量的作用，弥补了城市化进

程中所引发的气候环境问题研究的不足。为海口创造宜居环境提供建设性意见和建议

三、项目推广应用的范围及成果的引用情况

项目的研究为城市化发展过程中加强城市用地结构调控,扩大城市绿地覆盖面积,控制城市硬化面积的增长,加强环境整治,保持优质大气环境,提供了科学的理论依据。

项目研究成果被广泛引用,其中“海南岛气候资源特征及其开发利用”被引用 61 次,“1961-2007 年海口市气候环境变化及其对城市发展的响应”被引用 5 次;“城市发展对城市气候环境影响分析——以海口市为例”被引用 8 次,“基于国际旅游岛的城市人居环境分析”被引用 2 次。

提名该项目为海南省自然科学奖二等奖。

项目简介:

一、项目主要研究内容

- 1、分析城市下垫面变化对气候环境的影响程度;
- 2、定量分析城市绿化树木的降温增湿效应;
- 3、探讨城市发展与气候环境变化趋势的内在规律。

二、科学发现点

1、城市化过程改变大气的成分,酸雨呈现上升趋势随着城市化程度的加剧,生产和生活过程中所排放的废气、烟尘不断增加,2006 年与 2000 年相比,废气排放量的增加了 30%,烟尘排放量增加了 40.3%;2006 年酸雨中的 pH 值与 1991 年的相比,增加了 64%。

2、城市化的进程导致城市气温比郊区气温明显升高

研究表明：海口市城郊夏半年最高气温正差平均为 0.574°C ，城郊最高气温正差最高值达 2.1°C ；城郊冬半年最高气温正差平均也有 0.349°C ，城郊最高气温正差最高值达 1.8°C ；全年城郊最高气温正差的概率达 69%，全年城郊最高气温正差平均为 0.461°C 。

3、城市化的水平越高，城市平均气温也越高

2006 年海口的城市化水平达 59.59%，而琼海只有 30.48%，从两市多年月均温的对比分析可见，海口市多年各月均温，明显高于位于其东南面的琼海市，尤其是每年雨季之前的 5、6 月，5 月份比琼海高 1.3°C ，6 月份高 1.1°C ，多年平均高于琼海 0.7°C

4、公园植被对城市有明显的降温增湿作用

城市绿化对城市气温、湿度具有明显的调节作用，其中绿地的降温效应以夏季晴天最佳，夏季，海边的日均温比市内低 0.75°C ，城市绿地的日均温比硬化地表低 0.89°C ，城市绿地的相对湿度则比硬化地表的高 5.7%。而阴天和冬季则不明显。

5、近 20 年的资料显示气温与城市化呈明显的正相关性，而相对湿度与城市化呈明显的负相关性与 1961~1990 年相比，1995~2007 年年均增温 0.93°C ，冬半年增温较大，1 月增温达 1.29°C ；相对湿度则明显降低，年均降低 3 个百分点，夏半年降幅较大，6、8、10 月的相对湿度比同期减少 4 个百分点以上。海口城市年平均相对湿度与城市化水平、城市硬化面积存在明显的负相关关系；城市年平均气温与城市化水平、城市硬化面积存在明显的正相关关系，海口市多年相对湿

度、多年平均气温与城市化水平的回归效果呈极显著、显著水平。

三、项目成果

根据项目研究结果，发表了 5 篇论文，其中国内核心期刊 3 篇，省内期刊 1 篇，E I 检索 1 篇。

客观评价：

一、项目的创新性

1. 揭示了城市化对气候环境的影响规律；
2. 定量分析城市绿化树木的降温增湿效应。

二、项目的先进性

项目运用气候学、环境学、社会学等多学科知识，采用文献法、统计法分析海口城市发展过程中气候要素变化的趋势，并通过实验法检验城市下垫面变化对气温和相对湿度的影响程度，同时采用回归分析法，对海口市建省前后温度、湿度与同期城市化水平、城市硬化面积之间的相关关系进行分析，建立气候要素与城市发展中相关因素的数学模型，通过对区域时空差异的量化研究，揭示了城市发展与气候环境变化趋势的内在规律。

三、项目对行业科技进行的作用：

项目主要应用于城市规划及城市建设管理。在城市化进程中，伴随着城市人口的急剧膨胀、城镇土地的快速扩张和经济的集聚发展，所造成气候环境的变化已危及到人们的生活、生产。项目通过对海南建省以来海口城市人口、城市建筑面积及气候资料的调查、同时通过对海口市进行分时段布点观测，采集相应的大气要素及大

气相关成分,建立城市发展与城市气候环境变化之间的回归模型,对城市化进程中所引发的气候现象及空气环境问题,进行定性和定量分析,通过实证研究,提出城市化与气候环境变化之间的正相关关系,指出绿化带对改善空气环境质量的作用,弥补了城市化进程中所引发的气候环境问题研究的不足。项目的研究为海口今后城市化发展过程中加强城市用地结构调控,扩大城市绿地覆盖面积,控制城市硬化面积的增长,加强环境整治,保持优质大气环境,提供了科学的理论依据。

四、应用效果: 项目研究共发表 5 篇论文

1、唐少霞, 赵志忠, 毕华, 谢跟踪, 海南岛气候资源特征及其开发利用[J], 海南师范大学学报(自然科学版), 2008年9月第3期

2、唐少霞, 毕华, 赵志忠, 沈丹丹. 基于国际旅游岛的城市人居中环境分析[J], 生态经济(核心), 2010年第1月1期

3、唐少霞, 赵从举, 袁建平, 毕华, 赵志忠, 兰新荣. 1961—2007年海口市气候环境变化及其对城市发展的响应[J], 应用生态学报(核心), 2010年10月第10期

4、唐少霞, 赵从举, 毕华, 赵志忠. 城市发展对城市气候环境影响分析[J], 经济地理(核心), 2010年10月第10期

5、唐少霞, 王思翀, 毕华*, 赵志忠, 等. 城市下垫面差异对空气质量的影响研究. 2011能源、环境与发展国际学术会议, EI收录, 文章出版检索时间: 201310, 页码: 435—443, 201312,

收录类别为： E I ， 成果的项目来源代码： 0104

代表性论文专著目录

序号	论文专著/刊名/作者	年卷页码 (××年××卷-××页)	发表时间 (年月日)	通讯作者 (含共同)	第一作者 (含共同)	国内作者	SCI他引次数	他引总次数	论文署名单位是否包含国外单位
1	城市下垫面差异对空气质量的影响研究/2011 能源、环境与发展国际学术会议 (E I 检索)/唐少霞, 王思翀, 毕华, 赵志忠	2014, 43 5-443	2014-06-29	毕华	唐少霞	毕华, 赵志忠	0	5	否
2	基于国际旅游岛的城市人居环境分析/生态经济/唐少霞, 毕华, 赵志忠, 沈丹丹	96-101	2010-01-01	唐少霞	毕华, 赵志忠, 沈丹丹	0	2	否	
3	展 1961-2007 年海口市气候环境变化及其对城市发展的响应/应用生态学报/唐少霞, 赵从举, 袁建平, 毕华, 赵志忠	2721-2726	2010-10-31	赵从举	唐少霞	赵从举, 袁建平, 毕华, 赵志忠	0	5	否

序号	论文专著/刊名/作者	年卷页码 (××年××卷-××页)	发表时间 (年月日)	通讯作者 (含共同)	第一作者 (含共同)	国内作者	SCI他引次数	他引总次数	论文署名单位是否包含国外单位
4	城市发展对城市气候环境影响分析/经济地理/唐少霞, 赵从举, 毕华, 赵志忠	1647-1652	2010-10-15	唐少霞	赵从举, 毕华, 赵志忠	0	8	否	
5	海南岛气候资源特征及其开发利用/海南师范学报/唐少霞, 毕华, 赵志忠, 谢跟踪	343-346	2008-09-15	唐少霞	毕华, 赵志忠, 谢跟踪	0	61	否	

主要完成人情况:

1, 唐少霞: 海南师范大学教授, 负责项目前期的准备及申报, 项目立项后负责组织收集研究区城市化进程中人口数据、城市用地面积等数据的收集, 负责组织对研究区温度、湿度的跟踪监测, 并负责撰写项目研究论文及项目后期的总结。

2、赵从举: 海南师范大学教授, 主要是对项目收集的数据进行统计分析, 并参与撰写项目论文, 作为通讯作者发表的论文有“唐少霞, 赵从举, 袁建平, 毕华, 赵志忠, 兰新荣. 1961—2007年海口市气候环境变化及其对城市发展的响应[J], 应用生态学报(核心), 2010年10月第10期”“唐少霞, 赵从举, 毕华, 赵志忠. 城市发展对城市气候环境影响分析[J], 经济地理(核心), 2010年10月第10

期”

3、赵志忠：海南师范大学教授，主要参与项目资料的收集及统计分析，并参考撰写项目论文，参与的论文有“唐少霞，赵志忠，毕华，谢跟踪，海南岛气候资源特征及其开发利用[J]，海南师范大学学报（自然科学版），2008年9月第3期”“唐少霞，毕华，赵志忠，沈丹丹. 基于国际旅游岛的城市人居中环境分析[J]，生态经济（核心），2010年第1月1期”

主要完成单位情况及主要学术贡献：

海南师范大学：对“海口城市化进程与气候环境研究”项目进行管理，以保证项目开展期间的正常经费使用支持，还为项目的开展提供了大量的实验仪器设备及场地，此外还为项目的完成提供了大量参考文献的查阅。

完成人合作关系说明：

“海口城市化进程与气候环境研究”项目由海南师范大学地理与环境科学学院唐少霞、赵从举、赵志忠等人共同合作完成，其中唐少霞为项目主持人，赵从举、赵志忠为协作者，共同的研究志趣将大家凝聚在一起，构成优势互补的协作研究群体，从而保证了项目研究的科学水平。

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者	合作时间	合作成果	证明材料	备注
1	项目主持	唐少霞	2008-1-30至 2014-12-31	主笔5篇论文及 结题报告	已发表的 论文	论文见 备注

2	协作	赵从举	2008-1-30至 2014-12-31	通讯作者完成 1 篇 论文,参与完成1篇	已发表的 论文	论文见 备注
3	协作	赵志忠	2008-1-30至 2014-12-31	参与完成 5 篇	已发表的 论文	论文见 备注