

项目名称

寡糖植物免疫诱导剂创制关键技术研究及应用

提名者及提名意见

提名单位：中国科学院

提名意见：我单位认真审阅了该项目推荐书及附件材料，确认全部材料真实有效，相关栏目均符合国家科学技术奖励工作办公室的填写要求。该项目创制了系列寡糖植物免疫诱导剂并实现了大规模推广应用。项目首先创制了系列具有自主知识产权的高效多糖降解酶，在此基础上，发明了酶法和膜分离耦合的寡糖制备工艺，攻克了寡糖制备过程中聚合度难以调控的技术瓶颈，实现了技术创新，形成清洁高效、具我国自主知识产权的新技术和工艺路线。建立了系列寡糖单体分离技术，得到单一聚合度寡糖标准品 30 余种，制定了氨基寡糖素农药原药和母药的行业标准，并已实施。发现寡糖诱导植物抗病、抗逆等多种生物功能，深入揭示寡糖作用机制，提出糖链植物疫苗的新概念，攻克功能与机制的瓶颈问题。在上述基础上，研制出十余种寡糖植物免疫诱导剂并成功实现产业化，获得农药登记证 11 个，肥料登记证 3 个，建成一条年产寡糖百吨级原药生产线和两条年产千吨级寡糖植物免疫诱导剂生产线；在实际应用过程中研究并优化了寡糖植物免疫诱导剂在主要农作物上的田间应用技术，建立了以寡糖为核心的绿色防控技术体系，目前已在全国大规模应用推广，产生了显著的经济价值和社会效益，带动了我国生物农药产业发展，为解决我国食品安全及环境保护提供了技术和产品保障，实现了科技进步对经济和社会发展的有力推动。我院决定提名该项目为国家科学技术进步奖二等奖。

项目简介

农业与我国国民经济发展及人民健康息息相关，我国化学农药单位面积平均用量高出世界平均用量 2.5-5.0 倍，食品安全问题突出，亟需可减少农药使用量的技术和产品。**寡糖植物免疫诱导剂**，具有来源丰富、广谱高效、安全环保等优点，可部分替代或减少化学农药使用量，推动绿色农业发展。然而受到生产工艺、质量控制、作用机制及应用技术等方面限制，这类产品之前未在我国农业生产上发挥较大作用。该项目针对制约寡糖植物免疫诱导剂发展的瓶颈问题，以该类产品的创制和应用为目标，经过近二十年研究，取得如下创新成果：

1. 创制系列多糖降解酶，发明酶反应与膜分离耦合的寡糖制备技术，建立高效的聚合度可控寡糖规模化生产工艺，攻克了寡糖制备与质控瓶颈问题。创制高效多糖降解酶10余种，获得的壳聚糖酶和褐藻胶裂解酶等酶活性优于商品化酶，完成了降解酶1000L体系的规模化生产。发明了酶反应与膜分离耦合的寡糖制备技术，解决了寡糖制备中聚合度难以调控的技术难点，建立了寡糖清洁高效生产工艺，实现了壳寡糖等寡糖的产业化，建成年产百吨级寡糖生产线两条。建立了系列寡糖单体分离纯化技术，获得寡糖标准品30余种，制定了壳寡糖生物农药母药及原药的行业标准，并已实施。

2. 发现寡糖诱导植物抗病、抗逆和促生长等多种生物功能，揭示寡糖作用机制，提出糖链植物疫苗概念。研究了寡糖对30余种作物上的60余种病害的诱抗效果；发现寡糖不仅可提高植物抗病性，还具有提高植物抗逆、促生长、降农残、改善品质等功能；系统研究了寡糖激活植物免疫的作用机制，发现壳寡糖与植物细胞膜结合，激发细胞产生NO等信号分子，通过水杨酸、茉莉酸等信号传导途径传递信号，激发抗性基因表达，产生抗性酶及植保素等物质，达到抵抗病菌侵染的目的，在国际上提出糖链植物疫苗的概念并得到认可。

3. 创制系列寡糖植物免疫诱导剂产品，建立系统应用技术，攻克寡糖产品应用的瓶颈问题，实现产业化和大规模推广应用。开发寡糖植物免疫诱导剂十余种，获得农药和肥料登记证14项，相关产品获得后稷金奖及绿色农药博览会金奖。建成年产千吨级寡糖植物免疫诱导剂生产线两条。针对不同作物主要问题，建立了以寡糖为核心的绿色防控系统应用技术40余项，攻克了其在农业生产中的应用技术瓶颈。**寡糖植物免疫诱导剂被全国农业技术推广服务中心列为重点推广产品**，多年推广应用证明，使用寡糖能够在减少常规化学农药用量的情况下，提高作物产量，改善作物品质，取得了显著的经济和社会效益。推动了国家农药管理条例修订，**在农药登记资料要求的生物化学农药种类中新增天然植物诱抗剂类别。**

该项目集理论创新、技术发明、产业应用、示范推广于一体，创制系列寡糖植物免疫诱导剂并实现产业化及大规模推广。发表论文 152 篇（SCI50 篇），出版中英文专著 5 部，授权国家发明专利 27 项。已形成 6000 吨/年的产品生产能力，累计推广面积 8580 万亩次，取得直接和间接经济效益二百多亿元，为实

现化学农药减施增效提供了有效技术支撑，促进了我国绿色农业发展。

客观评价

1、国内外同行评价

该项目在植物保护及糖工程领域重要期刊上发表学术论文 152 篇(SCI 50 篇)，共被引用 3636 次，其中发表在糖科学主流期刊 Carbohydr. Res 上的 Preparation of chitooligosaccharides from chitosan by a complex enzyme 一文报道了壳寡糖的酶法制备工艺，被多国学者引用 137 次(Web of Science 数据)。基于该团队在寡糖方面的系统工作和糖链植物疫苗概念的提出，Springer 出版社邀请其主编出版专著《Research Progress in Oligosaccharins》，全面综述了此领域的研究进展；科学出版社、化工出版社邀请该团队出版了专著《糖链植物疫苗研究与应用》、《壳寡糖的功能研究及应用》和《糖生物工程》。

国内外同行对该团队的工作进行了评价，如我国著名糖生物学家张树政院士在《糖链植物疫苗研究与应用》序言中评价“我国在此方面的研究工作基本与国际同步”、“他们敢于创新，在国际上率先提出了糖链植物疫苗的概念”。我国著名植保学家郭予元院士在《糖链植物疫苗研究与应用》中评价“该团队在国际上率先提出了‘糖链植物疫苗’的概念，得到了植保学界一定的关注”。国际知名植保学家，寡糖应用于植物的研究先驱，美国华盛顿州立大学 Lee Hadwiger 教授在其综述文章(Plant Science 208 (2013) 42–49)等中多次引用该团队工作，认为相关工作揭示了寡糖对植物活性氧及早期细胞响应的调节，提出了新的作用机制。该项目研发的寡糖已为丹麦、英国、意大利、美国等多国学者采用，如丹麦学者 Kai Grevsen 等人将寡糖应用于植物生长与次生代谢调节(Planta, 2013, 237(4): 955-966; J Agron Crop Sci, 2013, 199(6): 395-404)。

2.验收和鉴定专家评价

(1) 中国科学院组织的成果鉴定委员会对中国科学院“九五”重点项目(KY95-S1-220)“活性寡聚糖生物农药制备及生产技术”评价：“在国内外首次研制成功并应用于防治棉花黄萎病、大豆病毒病等植物病害的寡聚糖类生防农药”“该项成果的整体水平达到了国内领先水平，在棉花黄萎病和大豆花叶病的防治应用技术达到了国际先进水平”。

(2) 中国科学院组织的成果鉴定委员会对国家科委“九五”攻关项目(96-C03-01-01)“甲壳素生物降解制备低聚氨基葡萄糖的生产工艺”评价：“该项工艺是首次利用反应分离耦合技术和纳米滤膜浓缩和纯化技术制备低聚氨基葡萄糖，经查新，国内外未见报道，具有创新性。首次开发出低聚氨基葡萄糖生物农药，并率先实现了低聚氨基葡萄糖生物农药的产业化及在植物病害防治方面的应用，达到了国际领先水平”。

(3) 中国科学院组织的成果鉴定委员会对农业部“948”项目(981046)“系列寡聚糖生物农药及其应用”评价：“研制成功新型系列寡聚糖生物农药，该系列生物

农药通过诱导植物免疫反应作用或抑制病原微生物，具有不产生抗药性，安全无毒，使用剂量低等特点。建立了具有自主知识产权的寡聚糖生物农药生产工艺技术路线和产品质控方法，实现了中试成果的产业化转化，**本项研究成果已达到国际领先水平**”。

(4)国家 863 项目验收专家组(2009)对“海洋生物农药及植物促生长剂产业化关键技术研究(2007-2010)”的中期现场验收评价：“**海洋寡糖对于增强梨树花期抗寒性、增加坐果率、提高产量有明显作用，对于防控苹果早期落叶病和腐烂病有良好效果。**”

(5)科技部(2011)对“海洋生物农药及植物促生长剂产业化关键技术研究(2007-2010)”的验收评价：“**课题在海洋寡糖制备的生产技术与工艺、海洋寡糖分离纯化及检测技术、海洋寡糖在生物农药、肥料、饲料添加剂等领域的应用技术研究方面取得了创新性成果**”。

(6)农业部验收专家组(2012)对“公益性行业(农业)科研专项新型寡糖植物疫苗的研制与产业化开发(200903052)”现场观摩意见：“**海洋寡糖复合制剂在小麦上使用具有：提高功能叶的叶绿素含量及光合速率，小麦次生根增加 5.9%-50.0%，I 级分蘖增加 2.4%-22.2%；穗粒数增加 0.26-2.7 粒，增产 3.1% -10.2%，并在一定程度上改善籽粒的部分品质指标和粉质参数。海洋寡糖应用于小麦生产是一项新技术，应用前景广阔。**”

3、行业标准

完成氨基寡糖素原药化工行业标准（**HG/T 4926-2016**）和母药农业行业标准（**NY/T 2889.1-2016**）的制定，两项标准已实施。

4、产品品质及降农残检测报告

农业部枸杞产品质量监督检测测试中心等第三方检测机构对寡糖农用制剂处理后的农产品品质及农残情况进行检测，结果显示产品品质提升、农残降低。

5、政府评价与采用

寡糖产品被国家农业技术推广服务中心列为**2012-2014年重点推广产品**。农业部农药登记资料要求的生物化学农药种类中新增了天然植物诱抗剂类别。

6、奖励

“海洋功能寡糖农用生物制剂研究及应用”获**2013年“海洋科技奖”一等奖**，授奖单位：国家海洋局，证书编号：**HKJ2013-D-1-B10-01**。核心专利“酶法制备不同聚合度低聚糖的调控方法”获**2017年中国专利优秀奖**。

7、媒体评价

寡糖植物免疫诱导剂研发应用，受到了多家媒体的报道与好评：**CCTV-10 走进科学、科技之光**分别报道了寡糖生物农药的制备和应用效果；**人民日报、中国科学报、人民网**等媒体报道了氨基寡糖素生物农药的开发为开展绿色防控技术体系提供了新产品，开辟了新途径。

推广应用情况

1. 推广应用情况

该项目研发的寡糖**植物免疫诱导剂**，已在大连中科格莱克生物科技有限公司、海南正业中农高科股份有限公司和大连凯飞化学股份有限公司实现产业化，分别建成了年产百吨的寡糖原料生产线、年产五千吨与千吨的寡糖植物免疫诱导剂生产线两条，获得国家农药登记证 11 个，肥料登记证 3 个，相关产品获得后稷金奖及绿色农药博览会金奖。5%氨基寡糖素产品已纳入农业部全国绿色防控和统防统治体系。目前已在全国范围内 30 多种粮食、经济作物上推广应用，推广面积达 8580 万亩次。多年推广应用显示寡糖植物免疫诱导剂具有抗病、抗逆、增产及改善品质等多重功效。

作为一种新型绿色产品，寡糖**植物免疫诱导剂**具有多功能、广谱高效、环境友好、不产生抗药性等优点，多年来在全国的推广应用证明能够在减少杀菌剂使用的情况下，提高作物产量，改善作物品质，确保农民增收节支，目前已得到政府部门、农业生产部门、植物保护部门、农民群众的一致认可，取得了显著的经济及社会效益。

主要应用单位情况表

应用单位名称	应用技术	应用的起止时间	应用单位联系人/电话	应用情况
大连中科格莱克生物科技有限公司	寡糖原料生产	2006-2017	崔刚 0411-84696551	近三年新增销售额 3804 万元，新增利润 1372 万元。
海南正业中农高科股份有限公司	寡糖农用制剂生产	2010-2017	张善学 0898-66781739	近三年新增销售额 18055.9 万元，新增利润 1856.2 万元。
大连凯飞化学股份有限公司	寡糖农用制剂生产	2000-2017	张益先 0411-87511189	近三年新增销售额 2360 万元，新增利润 550 万元。
全国农技推广服务中心	寡糖农用制剂使用技术	2011-2017	朱景全 010-59194531	累计推广面积达 3635 万亩次，增收节支 122.05 亿元。
海南省植物保护总站	寡糖农用制剂使用技术	2014-2017	李鹏 0898-65222753	累计推广面积达 1693 万亩次，增收节支 56.8 亿元。
山东省植物保护总站	寡糖农用制剂使用技术	2014-2017	王增君 13506416348	累计推广面积达 632 万亩次，增收节支 21.25 亿元。
新疆生产建设兵团农业技术推广总站	寡糖农用制剂使用技术	2014-2017	赵冰梅 13999979136	累计推广面积达 379 万亩次，增收节支 12.69 亿元。
长春国信现代农业科技发展股份有限公司	寡糖农用制剂使用技术	2014-2017	杨柏明 15143151091	近三年新增销售额 4920 万元，新增利润 2296 万元。
山东省寿光蔬菜产业集团有限公司	寡糖农用制剂使用技术	2014-2017	张强 18553626826	近三年新增销售额 8525.4 万元，新增利润 2131.3 万元。
寿光市春江蔬菜专业合作社	寡糖农用制剂使用技术	2014-2017	王冠杰 13375366993	近三年新增销售额 4716 万元，新增利润 1179 万元。
寿光市正霖蔬菜瓜果专业合作社	寡糖农用制剂使用技术	2014-2017	朱慧 15169582209	近三年新增销售额 4059.8 万元，新增利润 1015 万元。
陕西省蒲城县植保植检站	寡糖农用制剂使用技术	2009-2017	李小虎 15319160011	近三年推广面积 35 万亩，增收 3.5 亿元。
陕西省大荔县农业技术推广中心	寡糖农用制剂使用技术	2013-2017	王娟玲 13991645918	近三年累计示范推广 28.35 万亩，小麦增产 876.5 万 kg，增收 1840.7 万元。
陕西省三原县农业科技服务中心	寡糖农用制剂使用技术	2011-2017	姚广平 13892993326	近三年累计示范推广 24.6 万亩，小麦增产 538.1 万 kg，增收 1130 万元。

陕西省蓝田县农业技术推广中心	寡糖农用制剂使用技术	2013-2017	侯宇 13991315283	近三年累计示范推广 20.8 万亩， 小麦增产 498.3 万 kg，增收 1046.3 万元。
----------------	------------	-----------	-------------------	--

主要知识产权证明目录

知识产权类别	知识产权具体名称	国家(地区)	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人	发明专利有效状态
专利	酶法制备不同聚合度低聚糖的调控方法	中国	01136841.1	2004年9月1日	170076	中国科学院大连化学物理研究所	杜昱光 白雪芳 曲天明 李曙光	有效
专利	一种壳寡糖单体的分离纯化方法	中国	200810012096.8	2011年8月10日	820881	中国科学院大连化学物理研究所	杜昱光, 拓亚琴, 熊川男, 魏鹏, 白雪芳	有效
专利	一种用于防治植物真菌病和促进植物生长发育的生物制剂	中国	00110358.X	2005年3月30日	201791	中国科学院大连化学物理研究所	白雪芳 杜昱光 刘晓 林晓蓉 王毓福	有效
专利	一种用固定化酶生产壳寡糖的方法	中国	200410087507.1	2007年6月13日	329894	中国科学院大连化学物理研究所	杜昱光, 李曙光, 赵静玫, 原晓华, 曲天明	有效
专利	黄杆菌属菌株与内切褐藻胶裂解酶编码基因及制备与应用	中国	201110424529.2	2014年10月29日	1507841	中国科学院大连化学物理研究所	杜昱光 黄李淑馨 李曙光 赵小明 曹海龙 刘航	有效
专利	曲霉属新菌株与内切壳聚糖酶 CsnW2 的编码基因、制备方法与应用	中国	201310074715.7	2014年8月6日	1457228	中国科学院大连化学物理研究所	杜昱光 张建平 曹海龙 岳敏 黄李淑馨 李曙光	有效

							赵勇 刘航	
专利	一种卡拉胶降解菌及其发酵方法和应用	中国	201210223996.3	2015年5月20日	1675131	中国科学院大连化学物理研究所	杜昱光 孟彦羽 傅赞彬 赵勇 尹恒 王文霞 拓亚琴	有效
专利	一种植物诱抗剂	中国	99122582.1	2003年10月1日	124618	中国科学院大连化学物理研究所	杜昱光 白雪芳 余露 张铭俊 刘晓	有效
专利	含褐藻胶寡糖的叶面肥组合物及其应用	中国	201210562654.4	2014年11月26日	1526215	中国科学院大连化学物理研究所	赵小明 张运红 杜昱光 尹恒 王文霞 刘启顺	有效
专利	一种以壳寡糖为有效成分的农药残留降解剂及其应用	中国	201110390949.3	2014年9月24日	1488335	中国科学院大连化学物理研究所	杜昱光 王文霞 赵小明 刘启顺 尹恒	有效

主要完成人情况

杜昱光，项目负责人，提出了项目总体设计方案，对科技创新内容 1-3 有重要贡献。建立了寡糖的酶法膜分离耦合制备工艺，揭示了寡糖植物免疫诱导剂作用规律及分子机制，在国际上率先提出了糖链植物疫苗概念，开发了系列寡糖植物免疫诱导剂产品并实现了其在农业生产中推广应用，3 本专著、3 项核心授权发明专利的第一完成人。在本项目中获发明专利 16 项，发表论文 132 篇。

杨普云，项目主要完成人，对科技创新内容 2 和 3 均有重要贡献，重点进行了寡糖植物免疫诱导剂田间应用实验示范与推广应用，并进行了寡糖植物免疫诱导剂应用技术的开发，发现了寡糖植物免疫诱导剂具有促生长、防寒、改善作物品质、提高农产品耐贮藏性、减少杀菌剂等作用并在多种农作物上进行了验证。

赵小明，项目主要完成人，对科技创新内容 2 和 3 有重要贡献。主要负责寡糖植物免疫诱导剂的研发、应用技术研究和推广。重点开发了寡糖植物免疫诱导剂的多种使用技术，针

对不同作物实现了绿色防病技术集成及应用，发现了寡糖植物免疫诱导剂防寒、保花保果、降解农残等作用并对其作用规律进行了研究。首次报道了植物细胞有壳寡糖结合位点，及壳寡糖诱导 NO、H₂O₂的产生及机理。在本项目中获发明专利 5 项，发表文章 82 篇，作为技术骨干进行了寡糖植物疫苗应用技术与推广应用。

张善学，项目主要完成人，对科技创新内容 2 和 3 均有重要贡献。重点负责寡糖植物免疫诱导剂生产线建设以及寡糖植物免疫诱导剂产业化开发相关工作，制剂研发、复配产品研发、产品标准化登记，应用技术开发及产业化示范。

尹恒，项目主要完成人，对科技创新内容 1 和 2 均有重要贡献。获得了多个具有自主知识产权的多糖高效降解酶，系统进行了寡糖植物免疫诱导剂作用机制研究，协助提出糖链植物疫苗概念。在本项目中获发明专利 4 项，主编出版专著 1 部，参与编著专著 3 部，发表文章 48 篇，作为技术骨干进行了寡糖植物免疫诱导剂创制与作用机制研究。

王文霞，项目主要完成人，对科技创新内容 1 和 2 有重要贡献，重点进行了寡糖植物免疫诱导剂质量标准研究，建立了不同性质的寡糖，分析分离和纯化制备方法，获得寡糖单体近 30 种。作为技术骨干进行了寡糖植物免疫诱导剂的作用机理及使用技术研究。在本项目中获发明专利 6 项，参与出版专著 4 部，发表文章 23 篇。

张益先，项目主要完成人，对科技创新内容 2 和 3 有重要贡献。重点负责寡糖植物免疫诱导剂生产线建设以及寡糖植物免疫诱导剂产业化开发相关工作，包括制剂研发、产品登记，应用技术开发、产业化及推广示范。

陆红霞，项目主要完成人，对科技创新内容 2 有重要贡献，在瓜菜作物上进行了寡糖植物免疫诱导剂的示范试验与应用技术研究，确定了寡糖植物免疫诱导剂的田间最佳使用浓度、最佳使用时间、使用次数和使用方式。

崔刚，项目主要完成人，对科技创新内容 3 有重要贡献，重点进行了寡糖植物免疫诱导剂中试制备工艺研究，开发了寡糖植物免疫诱导剂的低成本规模化制备工艺，同时进行了寡糖植物免疫诱导剂产业化与推广应用工作。

朱景全，项目主要完成人，对科技创新内容 2 和 3 有重要贡献，重点进行了寡糖植物免疫诱导剂田间应用实验示范与推广应用，在多种作物上开展寡糖植物免疫诱导剂的多效作用规律研究，开展了与其配套的物理防治、化学防治和生物防治技术研究。

主要完成单位及创新推广贡献

中国科学院大连化学物理研究所，项目第一完成单位和组织单位。以开发

绿色生物农用制剂为目标，以寡糖具有调节植物免疫系统抗病的功能为基础，创制了系列具有自主知识产权的高效多糖降解酶，研究攻克了寡糖植物免疫诱导剂创制的关键酶法与膜分离耦合技术，建立了寡糖植物免疫诱导剂的选控制备技术并将其产物应用于诱导农作物抗病、抗逆和增产，系统进行了寡糖诱导植物抗病性的研究，并在国际上提出糖链植物疫苗概念。发表学术论文 152 篇（SCI 收录 50 篇），出版中英文学术专著 4 部，获得授权专利 17 项。针对生物农药行业发展的关键技术瓶颈-质量控制与使用技术问题，在对不同寡糖分析分离方法研究的基础上，建立相关寡糖植物免疫诱导剂的质量标准，为寡糖免疫诱导剂产业化过程中的质量控制提供了解决方案；同时针对不同作物实现了寡糖植物免疫诱导剂绿色防病技术集成及应用。目前已投产年产 120 吨寡糖植物免疫诱导剂原料生产线和年产千吨的寡糖植物免疫诱导剂生产线，合作企业获得农药登记证 11 个，肥料登记证 3 个，在全国 20 多个省市 30 多种作物上推广应用，近三年已取得直接和间接经济效益一百多亿元，为我国农业优质、高产可持续发展提供了有力技术支撑。上述全部实验研究工作和绝大部分的应用技术研究工作都是在中国科学院大连化学物理研究所完成的，在实施研究过程中，研究所对该项目组给予了各方面条件的保证，包括人力、场地、经费和设备等。

海南正业中农高科股份有限公司，国家级高新技术企业，对本项目主要贡献为实现了寡糖植物免疫诱导剂产品产业化及应用推广，建成了年产 5000 吨的产品生产线，产品获得 9 个生物农药登记证，获得两个首届绿色农药博览会金奖。目前已累积销售千余吨，近三年产值上亿元。研究了寡糖在荔枝、脐橙等多种作物上的应用技术，并将寡糖植物免疫诱导剂产品推广到海南、陕西、湖南、湖北、河北、江西、安徽、辽宁、黑龙江、四川、甘肃、广东、福建、四川、吉林等 20 余个省市的 30 多种作物。与农业部农技中心合作推广面积 6000 多万亩次。推广应用情况显示寡糖植物免疫诱导剂是多功能的生物农药，可提高植物的抗病性、抗寒抗旱力，降低农药残留，提高农作物产量 5-15%，产生了大的社会效益。

中国农业技术推广服务中心，农业部直属单位，负责农业技术试验、示范和推广和农业信息服务等。对本项目主要贡献为大范围推广了利用寡糖植物免疫

诱导剂的生物防治技术，组织寡糖植物免疫诱导剂防控技术在全国 20 余个省市的推广应用，探索其应用技术并召开应用技术培训班、考察活动和现场交流会，参与编写有关技术推广手册，出版专著《植物免疫诱抗剂氨基寡糖素应用技术》，目前已在全国示范面积达 3635 万亩次，累计减少农药支出 8.55 亿元，增加产值约 113.5 亿元，合计经济效益达 122.05 亿元。推动了寡糖植物免疫诱导剂防控技术的提升和发展。

中国科学院过程工程研究所，对本项目的主要贡献为壳寡糖绿色清洁化生产制备技术的开发、壳寡糖植物表面受体研究并协助进行了应用推广。筛选、克隆及优化表达高效壳聚糖降解酶基因；在中科院过程工程所国家生化工程中心苏州转化基地进行了从甲壳素原料到系列产品的规模制备，并与企业合作建立 200 吨壳寡糖新工艺生产线；深入研究壳寡糖植物免疫诱导分子机理，以小麦为目标作物筛选发现壳寡糖植物表面受体；针对广西地区香蕉抗冻及甘蔗抗病问题，开发针对性寡糖免疫调节防治集成技术，推广了寡糖植物疫苗免疫诱导剂产品及应用。

大连凯飞化学股份有限公司，民营高新技术企业。对本项目主要贡献为大力示范推广了寡糖植物免疫诱导剂。率先建成年产千吨的寡糖植物免疫诱导剂生产线，实现了寡糖植物免疫诱导剂的产业化，获得了 2 个生物农药登记证书，产品获得后稷金奖一项，近三年共销售寡糖植物免疫诱导剂 590 吨，产值 2360 万元，在全国 20 余个省市推广面积 2000 多万亩次，确保农民增收节支，取得了很好的经济效益和社会效益。

大连中科格莱克生物科技有限公司是以开发生物技术相关产品为主的高新技术企业。在本项目的研究与推广过程中，重点开展寡糖植物免疫诱导剂原药制备工作。目前利用固定化酶多糖降解技术，建成了具有我国自主知识产权的壳寡糖生产线，年产量可达 120 吨。主要用于下游生物农药和肥料等产业链的关键原料，通过与全国多地的大型农业企业合作，现产品已成功推广到海南、湖南、湖北、河北、江西、陕西、安徽、辽宁、黑龙江、四川、甘肃、广东、福建、浙江、河南等 17 余个省市，具有一定影响力。公司和项目主持单位合作研制的寡糖植物免疫诱导剂农肥产品，具有促进植物发芽和根系生长、增加作物产量的作用，获得 3 个肥料登记证，显现出良好的应用前景。

完成人合作关系说明

中国科学院大连化学物理研究所于 1996 年开始进行寡糖制备关键技术及寡糖植物免疫诱导剂创制推广研究，与大连凯飞化学股份有限公司于 1999 年签订了技术开发合同书，进行了中科 6 号寡聚糖生防农药的生产工艺及其应用研究，共同完成了国家“九五”攻关项目甲壳素生物降解制备低聚氨基葡萄糖的生产工艺研究（96-C03-01-01），之后又于 2004 年对大连凯飞化学股份有限公司进行了海洋寡糖抗植物病毒新农药研制的技术转让，签订了技术转让合同。建成生产线，推广应用。主要参与人员有**杜昱光、赵小明、张益先**。

2005 年中国科学院大连化学物理研究所专利酶法制备壳寡糖的工艺技术（一种酶法降解壳聚糖与膜分离相耦合生产壳寡糖的方法）进行作价入股**大连中科格莱克生物科技有限公司**，之后共同承担了国家 863 项目海洋生物农药及植物促生长剂产业化关键技术研究（2007AA091601）和农业部公益性行业科研专项新型寡糖植物疫苗的研制与产业化开发(200903052)，并建成了年产 120 吨壳寡糖原粉制剂生产线，共同研制了奇善宝等 3 个寡糖水溶性肥料，均已获得了肥料登记证。主要参与人员有**杜昱光、赵小明、尹恒、王文霞、崔刚**。

2007 年中国科学院大连化学物理研究所与**海南正业中农高科股份有限公司**共同承担了国家 863 项目海洋生物农药及植物促生长剂产业化关键技术研究（2007AA091601）和农业部公益性行业科研专项新型寡糖植物疫苗的研制与产业化开发(200903052)，又于 2012 年对海南正业中农高科股份有限公司进行了酶法制备不同聚合度低聚糖的调控方法的专利实施许可，指导其建成了年产 5000 吨的寡糖免疫诱导剂生产线。与海南正业中农高科股份有限公司共同开发了 10 余种寡糖在农业领域的新产品方案，并实现了产业化，并与海南正业中农高科股份有限公司等单位共同制定完成了氨基寡糖素原药的行业标准，目前已颁布实施。主要参与人员有**杜昱光、赵小明、张善学、尹恒、王文霞、陆红霞**。

在寡糖植物免疫诱导剂推广过程中，中国科学院大连化学物理研究所、中国过程工程研究所、海南正业与**全国农技推广中心**合作，于 2011 年起在全国 10 个省 12 种作物上开展了海岛素（5%氨基寡糖素水剂）的 19 个示范试验，总结出海岛素抗病、抗逆、促生长、改善品质、增产和提高农产品耐贮性等 6 大功能特点，并将其列为全国农业技术推广服务中心 2012-2014 年全国重点推广产品。第一完成单位与上述合作单位在寡糖植物免疫诱导剂创制推广方面的研究成果于 2013 年获得了海洋科技奖一等奖。主要参与人员有**杜昱光、赵小明、尹恒、张善学、杨普云、王文霞、朱景全、陆红霞、张益先、崔刚**。

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：

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	共同立项	杜昱光/1, 赵小明/3, 张善学/4, 尹恒/5, 王文霞/6, 崔刚/10	2009-2013	农业部公益性行业科研专项新型寡糖植物疫苗的研制与产业化开发(200903052)		
2	产业合作	杜昱光/1, 张益先/8	2004-2013	技术转让合同-海洋寡糖抗植物病毒新农药研制		
3	标准制定	赵小明/3, 张善学/4, 尹恒/5, 张益先/8, 陆红霞/9	2014	中华人民共和国化工行业标准-氨基寡糖素原药		
4	论文合著	杜昱光/1, 赵小明/3, 尹恒/5, 王文霞/6	2014	《糖链植物疫苗研究新进展》		
5	出版专著	杜昱光/1, 赵小明/3, 尹恒/5, 王文霞/6	2012	《糖链植物疫苗研究与应用》		
6	产业示范	杨普云/2, 张善学/4, 朱景全/7, 陆红霞/9	2012-2014	全国农业技术推广服务中心重点推广产品证书		
7	出版专著	杜昱光/1, 赵小明/3, 尹恒/5, 王文霞/6	2016	《Research Progress in Oligosaccharins》		