

项目公示信息表

一、项目基本情况

奖 种	国家技术发明奖
项目名称	特色食品加工多维智能感知技术及应用
主要完成人	邹小波、陈全胜、石吉勇、李国权、张春江、赵杰文
提名单位	中国轻工业联合会
提名单位意见	纵观我国特色食品加工业，人工经验式操控仍是主流生产模式，标准化、智能化程度低，导致产品质量不稳定。项目组聚焦我国特色食品智能化加工的瓶颈问题，在 10 多项国家和省部级项目支持下，围绕中华特色食品加工多维智能感知技术及应用开展研究，在特色食品风味的多维感官仿生评价、加工过程参量的多维分布成像化检测，及智能化加工装备创制等 3 个方面取得了原创性突破。 本项目形成了理论创新、技术突破和应用拓展三位一体的鲜明特色，构建了具有自主知识产权的核心技术体系和合理专利布局。授权中国发明专利 46 件，美国发明专利 3 件；出版专著 10 部（其中英文专著 4 部）；发表 SCI 论文 226 篇（其中 ESI 高被引论文 4 篇，单篇最高 SCI 他引 375 次），受邀为国际权威期刊撰写相关综述 6 篇，极大提升了我国在该领域的国际影响力。制（修）订国家和行业标准 2 项、企业标准 7 项，成果成功推广至香醋等特色食品行业大型龙头企业，近三年新增利润 3 亿元以上，经济效益显著。获教育部技术发明一等奖、江苏省科学技术一等奖、中国轻工业技术发明一等奖，推动了我国特色食品加工产业的信息化和智能化升级。 提名该项目为国家技术发明奖<u>二</u>等奖。

二、项目简介

纵观我国特色食品加工业，人工经验式操控仍是主流生产模式，标准化、智能化程度低，导致产品质量不稳定。而单一的通用检测技术无法实时获取食品加工过程的非线性、混沌性、时变性信息，如风味变化和成分分布等。近十年，项目组围绕中华特色食品加工多维智能感知技术及应用开展研究，首先从物理维上突破了食品加工过程风味属性的数字化多维感知技术，其次从空间维上突破了加工过程参量的多维分布实时感知技术，在此基础上创制了基于多维在线感知的特色食品智能加工新装备。主要取得以下三方面发明。

1. 发明了特色食品风味的多维感知仿生评价新方法，突破了食品风味属性的高精度数字化感知新技术，克服了人工感官评价的主观性和模糊性。研制出具有人类感知功能的光电双模态仿生传感器，提出了视觉、味觉、嗅觉三个物理维度传感信息的交互感应新思路，仿生了人类感官间的交互感应，发明了风味多维感知仿生评价新方法，将食品风味的“人工经验式”评判转变为传感智能化评价，以食醋为例，智能评价结果与专家感官评价结果吻合度达>90%，重复性提高了>10%，同时显著提高了评价的效率。

2. 发明了特色食品加工过程参量的多维分布成像化检测方法，突破了过程参量信息二维和三维分布成像化检测新技术，实现了加工过程参量信息动态变化的实时感知。突破了食品加工过程中光谱图像信息的实时捕获、数据降维和特征提取、模型构建和反演等关键技术，构建了“实时检测+动态模型+网格化计算”成像化检测方法，实现了加工过程参量信息分布的可视化在线监测，在线检测速度为每个样本<1 秒，相对误差≤4%，在满足在线检测精度的前提下，大幅提高了检测速度，同时并将检测指标从传统的一维单点表达拓展到二维、三维空间表达。

3. 创制了基于多维感知在线监测的特色食品智能加工新装备，解决了我国特色食品加工连续性差、信息化水平低的难题。通过多维仿生评价方法和多维分布成像化检测方法，构建了食品智能加工在线监测网络，实时监测加工过程品质的动态变化；提出了神经网络逆解耦和模糊控制相结合的非线性策略，实现了复杂体系下加工过程的柔性控制；创制了基于“测+网+云+控+机”一体化的食品智能加工装备。项目围绕食醋等特色食品加工过程开发出符合我国国情、且具有自主知识产权的智能化加工装备。以镇江香醋固态发酵过程智能化加工为例，人工成本减少 20%，能耗下降 15%。

本项目形成了理论创新、技术突破和应用推广三位一体的鲜明特色，构建了具有自主知识产权的核心技术体系。授权中国发明专利 46 件，美国发明专利 3 件；出版专著 10 部（其中英文专著 4 部）；发表 SCI 论文 226 篇（其中 ESI 高被引论文 4 篇，单篇最高他引 375 次），极大提升了我国在该领域的国际影响力。制订国家和行业标准各 1 项、企业标准 7 项，成果成功推广至多家传统食品龙头企业，近三年新增利润 3 亿元以上，经济效益显著。获教育部技术发明一等奖、江苏省科学技术一等奖、中国轻工业联合会技术发明一等奖，推动了我国特色食品加工产业的信息化和智能化升级。

三、客观评价

(一) 项目新颖性与创造性评价

1. 本项目从关键理论突破、关键技术发明到关键产品开发，形成了具有自主知识产权的技术发明链(表 1)。授权国际专利 4 件(美国发明专利 US8,564,769B2、US9,347,029B2、US9,778,663 B2、德国专利 Nr.212010000225.6)，中国发明专利 46 件，获中国发明专利优秀奖 1 项。

表 1 自 2008 年来项目组获得的知识产权情况

授权国际专利	4 件 (美国发明专利 3 件、德国 1 件)	中国发明专利	46 件
申请国际专利	PCT7 件 (2 件已进入美国)	授权软件著作权	11 件

2. 项目鉴定与验收意见：1) 2014 年中国机械工业联合会组织专家对项目成果进行了鉴定，鉴定结论为“在国内外首次建立了成像化无损检测新方法，创制了具有自主知识产权的新装备，成功应用于食品生产过程的在线监测，成果达到国际领先水平”。2) 2016 年庞国芳院士为首的专家对项目成果进行了验收，结论为“实现了食品品质指标分布的成像化、高精度检测，在检测方法和检测手段上取得了突破性进展”。3) 2018 年中国轻工业联合会对项目成果进行了鉴定，结论为“基于物联网和云平台开发了镇江香醋固态发酵过程智能化监测系统，实现了香醋生产工艺由手工到机械化再到智能化的三级跨越”。

3. “教育部科技查新工作站”的结论：1) 食品风味评价中的跨感知信息交互仿生方法；2) 食品成分信息的二维分布检测，以及“实时检测+动力模型+有限元计算”的食品加工参量信息多维分布成像检测方法；3) 基于上述技术开发的固态发酵、红茶发酵过程智能化加工装备，除项目组的科研成果外，在国内公开发表的文献中未见其他相关报道。

4. 本项目研究成果具有创新性，先后获省部级一等奖 3 项：

2012 年“食品质量智能化评判和数据处理研究”江苏省科学技术一等奖；

2014 年“食品质量与安全指标可视化无损检测新技术”教育部技术发明一等奖；

2018 年“传统食品加工过程智能化检测关键技术与自动化装备”中国轻工业联合会技术发明一等奖。

5. 本项目相关理论成果被国内外知名学者多次引用，得到高度关注和认可，其中美国科学院院士 KS Suslick 和 TM Swager 分别在他们发表的论文(*Anal Chem* 2015, 87, 7810, *Angew Chem Int Ed* 2015, 54, 6554) 中，对本项目的发明成果给予高度评价。世界应用光谱协会杰出贡献奖获得者，光谱分析学家 HW Siesler 教授在 *Appl Sepc* 封面文章中对项目成果给予了高度评价。

(二) 行业及用户评价

1. 本项目开发的特色食品检测装备，由于快速、便携、可操作性强和性价比高特点，现已在多家企业得到广泛应用，并得到同行高度认可，获得中国食品产学研创新发展高峰论坛优秀成果奖和中国好设计金奖。

2. 2008 年以来，该项目成果除在恒顺醋业股份有限公司得到应用外，还在相关传统食品龙头企业得到推广应用。应用单位反映“提高了食品加工和检测的智能化水平，保证了产品质量，降低了生产过程能耗和人力成本，显著提高了企业

的盈利水平和声誉”，取得良好的经济和社会效益。

3.本项目研究成果在行业内引起极大的关注，其中青岛啤酒委托项目组开发啤酒品质智能化评价系统；世界 500 强企业，英国联合利华公司、英国贝尔法斯特女王大学与本项目组开展合作，就夏秋茶深加工过程在线监控新技术展开研究；世界百强高校，英国利兹大学与本项目组共建食品无损检测中英联合实验室，共同承担国际化合作项目。

（三）项目学术水平的评价

1.论文方面：2008 年以来，项目组成员在食品无损检测领域累计发表 SCI 论文 226 篇，论文分布在 62 种期刊，其中 58 篇论文 IF>4.0，SCI 他引 3639 次，高被论文 4 篇，单篇最高他引 375 次（表 2）。论文被来自美国、英国、德国、日本、韩国、俄罗斯、西班牙和澳大利亚等 59 国的学者引用，得到国内外同行高度关注。

表 2 自 2008 年来项目组发表相关论文情况

收录情况	SCI 收录	235 篇 ⁽¹⁾	国际著名杂志撰写综述		6 篇 ⁽²⁾
	EI 收录	202 篇	他引情况	SCI 期刊他引	3639 次
	ESI 高被引	4 篇		他引最高前 10 篇	平均被引 117 次

⁽¹⁾2011 年发表在 *Anal Chim Acta*, 2011, 706: 105-112 上的论文被国际著名搜索引擎 Biomedlib 评为本领域最佳 20 论文（Top20）之一，并排第一位。

⁽²⁾项目组先后应受国际著名期刊 *Anal Chim Acta* (IF=5.123), *Analyst* (IF= 3.864), *TrAC* (IF=7.030), *Trends Food Sci Technol* (IF=6.609)主编邀请，作专题综述。

2. 专著方面：共出版专著 10 本（英文专著 4 本），其中《现代食品检测技术》已成为该领域的主要参考书，多次再版印刷。

（四）对项目组成员学术贡献的评价

表 3 自 2008 年来项目组成员获得的人才称号和学术荣誉

奖项及荣誉	获奖人	奖项及荣誉	获奖人
何梁何利科技创新奖	赵杰文	长江学者特聘教授	邹小波
国家百千万人才“有突出贡献中青年专家”	邹小波	科技部中青年科技领军人才	陈全胜 邹小波
国家高层次人才特支持计划领军人才	邹小波	霍英东青年教师奖	邹小波
江苏省 333 二层次	李国权	中国青年科技奖	邹小波
亚太地区青年科学家银奖	陈全胜	江苏省优秀博士论文	石吉勇

四．应用情况

（不超过 2 页，应就本项目技术应用的对象（如应用的单位、产品、工艺、工程、服务等）及规模情况进行概述。

本项目所进行的中华特色食品加工多维智能感知技术及应用研究，不但理论上有创新、技术上有突破，并且在多家单位得到推广应用，取得了良好的经济效益和社会效益，促进了企业科技进步。

本项目的成果推广应用有三种情况，一是所开发的检测仪器与装备连同专利直接转让，由企业生产销售，产生经济效益，如高光谱检测设备已直接由五铃光学股份有限公司、苏州晓创光电科技有限公司生产、销售。二是将专利技术转让给企业并共同开发新的仪器与装备，提升产品的档次，促进了经济效益增长，如格瑞生物工程公司将在线检测视觉数据处理系统用于开发带有智能控制系统的发酵装备。三是将项目组开发的智能检测装置与企业现有生产线结合，提高生产效率，保证产品的质量和稳定性，提高了公司的经济效益。如为我国最大的食醋生产企业江苏恒顺醋业股份有限公司开发的固态发酵信息化提升装备，用于香醋固态发酵过程监控，保证了香醋质量。该技术属于平台技术，在镇江香醋成功应用后，同类技术成果先后还在丹阳黄酒、肴肉、腊肉、挂面、红茶等特色食品的龙头企业得到应用。2016-2018年三年在 15 家主要应用单位新增利润 3 亿元以上，经济效益显著。相关技术提升了我国特色食品生产企业信息化、智能化水平，促进了我国特色食品生产向优质化、标准化方向发展；产生了显著的社会效益。

五、主要知识产权和标准规范等目录（不超过 10 件）

知识产权类别	知识产权具体名称	国家	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人	专利有效状态
发明专利	Multi-sensor based automatic brewing mass overturn machine	美国	US9,347,029 B2	2016.05.24	US9,347,029 B2	江苏大学	邹小波、石吉勇、赵杰文 等	有效专利
发明专利	Method for optimizing flight speed of remotely sensed scan imaging platform	美国	US9,778,663 B2	2017.10.03	US9,778,663 B2	江苏大学	邹小波、石吉勇、赵杰文 等	有效专利
发明专利	Hyperspectral imaging light source system	美国	US8,564,769 B2	2013.10.22	US8,564,769 B2	江苏大学	邹小波、石吉勇、赵杰文 等	有效专利
发明专利	一种食品智能化仿生评价中的跨感知信息交互感应融合方法	中国	ZL201310408989.5	2015.03.04	1599481	江苏大学	陈全胜、赵杰文、欧阳琴 等	有效专利
实用新型	A new packaging material could sensing the food freshness	德国	Nr. 21 2010 000 225.6	2013.02.11	Nr. 21 2010 000 225.6	江苏大学	邹小波、赵杰文、石吉勇 等	有效专利
发明专利	一种固态发酵过程状况的实时监控系统与监控方法	中国	ZL2015106735612	2018.08.21	3040892	江苏大学	邹小波、朱瑶迪、石吉勇 等	有效专利
发明专利	食品批量发酵过程中菌群结构稳定性的定量检测方法	中国	ZL201310636340.9	20170412	2449252	江苏大学	邹小波、朱瑶迪、石吉勇 等	有效专利
发明专利	一种遥感扫描成像平台飞行速度的优化方法	中国	ZL201310715095.0	2016.06.22	2122705	江苏大学	邹小波、石吉勇、赵杰文 等	有效专利
发明专利	线扫描成像过程中扫描目标移动速度均匀性的检测方法	中国	ZL201310713918.6	2015.12.30	1888541	江苏大学	邹小波、石吉勇、赵杰文 等	有效专利
发明专利	一种微波干燥机的自动控制方法	中国	ZL201310166223.0	2014.12.10	1536756	江苏大学	邹小波、石吉勇、赵杰文 等	有效专利

注：应填写直接支持本项目主要技术发明成立且已批准或授权的知识产权（包括发明专利、植物新品种权等）和标准规范等。应按与主要技术发明点的密切和重要程度排序，列表前 3 项视为核心知识产权。

六、主要完成人情况表

姓 名	邹小波	排 名	1	技术职称	教授
工作单位	江苏大学			行政职务	院长
完成单位	江苏大学				
对本项目技术创造性贡献： 项目第一完成人，对发明点 1、2 和 3 做出了创造性贡献：（1）创新性提出食品风味多维感官仿生评价新理论；（2）建立基于食品加工过程参量信息的多维分布评价体系；（3）发明了基于多维感知的智能化加工新装备，使代代沿袭的香醋生产工艺完成了由手工到机械化再到智能化的三级跨越。仅 2008 年后，授权发明专利 32 件，是其中 20 件发明专利的第一发明人。2015 年获教育部长江学者特聘教授和国家高层次人才特殊支持计划。					

姓 名	陈全胜	排 名	2	技术职称	教授
工作单位	江苏大学			行政职务	副院长
完成单位	江苏大学				
对本项目技术创造性贡献： 项目第二完成人，对创新点 1 和 3 做出了创造性贡献：（1）提出并构建基于多维仿生传感器信息仿生的智能评价系统；（2）开创了农产品深加工过程智能在线监控系统，实现了传统加工工艺的智能化升级；是 9 件中国发明专利的第一发明人；是 4 项国家自然科学基金的主持人；获“全国百篇优秀博士论文提名奖”和 “亚太青年科学家奖”。					

姓 名	石吉勇	排 名	3	技术职称	副教授
工作单位	江苏大学			行政职务	无
完成单位	江苏大学				
对本项目技术创造性贡献： 项目第三完成人，对以下工作做出了创造性贡献：（1）攻克了食品加工过程参量的多维分布成像检测关键技术；（2）提出了从海量高光谱数据特征变量提取新方法；以第二发明人授权美国专利 3 件、中国发明专利 9 件；主持国家、省部级科研项目 8 项；获“江苏省优秀博士论文”。					

姓 名	李国权	排 名	4	技术职称	高级工程师
工作单位	江苏恒顺醋业股份有限公司			行政职务	总经理
完成单位	江苏恒顺醋业股份有限公司				
对本项目技术创造性贡献： 项目第四完成人，在以下方面做出了创造性贡献：（1）建立了香醋的自动化生产模式；（2）研制了基于物联网与云计算平台的固态发酵过程智能化加工新装备。制定企业标准 7 项，授权专利 3 项，主持国家省部级科研项目 1 项，获中国轻工业科学技术发明奖 1 项（第 2）。					

姓 名	张春江	排 名	5	技术职称	高级工程师
工作单位	中国农业科学院农产品加工研究所			行政职务	研究室副主任
完成单位	中国农业科学院农产品加工研究所				
对本项目技术创造性贡献： 项目第五完成人，在以下方面做出了创造性贡献：（1）建立了传统腊肉制品品质的智能化评价方法；（2）研制了腊肉智能化分级与品质特征鉴别与加工装备。建立《NY/T 2783-2015 腊肉制品加工技术规范》标准，授权发明专利 2 项，软件著作权 1 项，主持国家省部级科研项目 1 项。					

姓 名	赵杰文	排 名	6	技术职称	教授
工作单位	江苏大学			行政职务	无
完成单位	江苏大学				
对本项目技术创造性贡献： 项目第六完成人，在以下方面做出了贡献：（1）创新性提出食品风味的多维感官仿生评价新理论；（2）提出了海量数据中特征变量分步筛选及非线性建模思路。仅 2008 年后，授权发明专利 32 件，是其中 8 件发明专利的第一发明人。是“2008 年全国百篇优秀博士论文”和“2010 年全国百篇优秀博士论文提名”和 6 篇江苏省优秀博士论文获得者的指导老师。					

注：前三位完成人应为“主要知识产权和标准规范等目录”所列授权发明专利的发明人。
参与项目验收、鉴定的专家组成员不能作为完成人。

- 1. 排名：**应按照贡献大小排序，一等奖、二等奖单项授奖人数不超过 6 人。
- 2. 工作单位：**根据人事关系填写完成人现工作的单位，已退休的填写退休前的工作单位，在国外工作的，填写国外单位。
- 3. 完成单位：**填写完成人参与本项目主要研究工作时所在单位，应为国内法人单位。如涉及多个单位，应根据贡献大小填写一个单位。完成单位与奖励证书关联，请根据实际情况审慎填写。
- 4. 对本项目技术创造性贡献：**不超过 300 字。

七、完成人合作关系说明

近年来，本人（邹小波，第一完成人）与江苏大学无损检测团队核心成员陈全胜（第二完成人）、石吉勇（第三完成人）、赵杰文（第六完成人）以及江苏恒顺醋业股份有限公司李国权（第四完成人）、中国农业科学院农产品加工研究所张春江（第五完成人）在特色食品加工过程智能化提升方面取得了创新成果。

江苏大学（第一完成单位）于上世纪 80 年代末在国内率先开展了食品无损检测技术研究，二十多年来，研究团队一直坚持着这个方向，团队成员相对稳定，研究水平一直处于国际前沿。本人作为团队带头人，与团队成员陈全胜、石吉勇、赵杰文就特色食品风味多维仿生评价、加工过程参量信息多维分布成像以及智能化生产加工装备研制方面开展了密切合作，取得了一系列合作成果。如本人与陈全胜、石吉勇、赵杰文共同获教育部技术发明一等奖 1 项、授权美国发明专利 2 项；本人与陈全胜、赵杰文共同获江苏省科学技术一等奖 1 项；本人与石吉勇、赵杰文共同授权美国发明专利 1 项、中国发明专利 4 项。

江苏恒顺醋业股份有限公司（第二完成单位）是最大的镇江香醋生产企业，也是中国最大制醋企业、中国食醋业首家上市公司、国家级农业产业化重点龙头企业。项目第四完成人李国权为江苏恒顺集团醋业股份有限公司董事、总经理。本人 2006 年在恒顺做博士后期间开始与李国权总经理（当时任技术部经理）开展合作，双方共同推动我国传统食醋生产过程的智能化，并签署了相关的合作与知识产权协议。双方共同发表论文 1 篇，并共同获中国轻工业联合会科技发明奖一等奖。

中国农业科学院农产品加工研究所（第三完成单位）是中国农产品加工领域的公益类国家级科研机构。项目第五完成人张春江为中国农业科学院农产品加工研究所高级工程师，长期从事肉制品品质形成机理、加工关键技术研究。自 2013 年开始，本人与张春江研究团队签署合作研发协议，就腊肉分级与品质特征鉴别联合攻坚，为制定农业部相关标准提供检测手段和技术，双方共同推动了传统腊肉生产过程的智能化，并联合申请中国发明专利 1 项。