

# 2023 年度青岛市科学技术奖提名公示

## 一、项目名称

深远海特需益生食品高效制备与品质保持关键技术及应用

## 二、提名单位（专家）及提名意见、提名等级（不超过 600 字符）

我单位认真审阅了该项目推荐书及其附件材料，确认真实有效，相关栏目符合填写要求。

按照要求，我单位及完成人所在单位均进行了公示，确认完成人、完成单位排序无异议。

该项目针对深远海特殊人群免疫下降、肠道菌群失衡等健康突出问题，通过益生菌与后生元、新型益生元、果蔬菌等几类重要的益生食品的创制及品质保持关键技术研究，解决了严重制约深海远航人群工作力、战斗力的肠道健康问题，取得了以下科技创新：（1）突破多株益生菌复合发酵关键技术难点，制备出高浓度活性益生菌和后生元，揭示了复合益生菌协同促进的机制，并构建了具有自主知识产权的后生元菌种资源库；（2）制备出高抗性蜡质玉米淀粉以及新型 RG-I 型果胶益生元，可有效促进肠道益生菌的增殖，代谢产生短链脂肪酸，促进肠道黏膜屏障的修复，有效改善肠道健康；（3）针对果、菜、菌保质期短、品质控制难等关键技术难题，从多维度攻关，突破电磁干扰等关键技术难题研制低压

静电场保鲜装备、采用多层组装与多酚交联及纳米复合技术开发出多种防腐和抑菌复合包装膜。

项目共发表论文 15 篇（其中 SCI 论文 13 篇），授权发明专利 10 项、实用新型专利 1 项。项目成果通过转化应用，为合作企业新增产值 10.35 亿元，新增利润 1.42 亿元，新增利税 3562 万，节支总额 5866 万。此外，项目成果对于改善深海远航人群的健康，保障深海远航任务顺利执行具有重要的现实意义。

参照青岛市科学技术奖推荐条件，推荐该项目申报 2023 年度青岛市科学技术进步奖一等奖。

### **三、项目简介**

免疫下降、菌群失衡等肠道问题在深海远航人群中表现突出，成为保障深海远航任务执行亟需解决的问题。项目围绕深海远航人群的特需膳食需求，开展益生食品的创制及品质保持关键技术研究，包括：（1）基于微生物互作及代谢调控机制研究，突破多株益生菌复合发酵关键技术难点，首次揭示了复合益生菌发酵中通过特定代谢物发挥协同作用，通过抑制肺炎克雷伯菌等致病菌并增加双歧杆菌等有益菌数量，提高肠蠕动活性，缓解便秘症状；开发了高活菌数的益生菌复配工艺，益生菌活菌数提高 3 倍以上；建成了具有自主知识产权的后生元菌种资源库，创制了具肠道免疫调节功能和具菌群调节功能的高活性后生元系列产品，后生元中关

键活性成分提高 14 倍以上，并成功实现产业化。（2）针对深海远航人群胃肠蠕动弱、肠道菌群失衡的突出问题，制备耐热、高抗性蜡质玉米淀粉和新型 RG-I 型果胶益生元，可有效促进肠道益生菌的增殖，抑制病原菌生长，代谢产生短链脂肪酸，促进肠道黏膜屏障的修复，有效改善肠道健康，发挥肠道益生功效。（3）针对肠道友好食品果、菜、菌的保鲜周期短、保鲜中品质控制难等关键技术难题，从多维度攻关，突破多电极板及其交互电场效应与谐波补偿、电磁干扰等关键技术难题研制低压静电场保鲜装备；将富氢水用于果蔬加工副产品的发酵，研发天然发酵保鲜剂；采用多层组装及纳米复合技术，开发出壳聚糖（CTS）-海藻酸钠（SA）抑菌复合包装膜、基于 CuO 和 ZnO 光催化效应的 CTS-SA 双层纳米抗菌膜、 $\beta$ -乳球蛋白 SA-PVP-SA 三层复合膜；以 TEMPO 氧化的纤维素纳米晶（TOCNs）为纳米增强剂的 CTS-SA 多层纳米复合膜。上述保鲜技术（装备、产品）可以显著提高产品的保鲜品质，有效预防品质保鲜问题引起的健康问题。

项目共发表论文 15 篇（其中 SCI 论文 13 篇），授权发明专利 10 项、实用新型专利 1 项。项目成果通过转化应用，新增产值 10.35 亿元，新增利润 1.42 亿元，新增利税 3562 万，节支总额 5866 万。项目成果对于改善深海远航人群的健康状况，保障深海远航任务顺利执行具有重要的现实意义。

## 四、客观评价

### （一） 查新报告

2022年11月由教育部科技查新工作站对“高密度复合益生菌及其代谢物（后生元）制备关键技术与应用”“功能型淀粉绿色制备关键技术与产业化应用”“生鲜果、菜、菌品质及营养保持关键技术与应用”进行了查新，在检索到的国内外文献中，除委托查新项目课题组成员获得授权的发明专利和公开发表的研究成果外，未见有基于微生物互作及代谢调控机制，多株益生菌复合发酵技术制备具有肠道免疫调节功能的高活性后生元的文献报道；未见有酶解结合重结晶绿色制备高抗性淀粉的文献报道；未见有低压静电场保鲜装备、联合富氢水与微酸性电解水研发天然保鲜剂、采用多层组装与多酚交联及纳米复合技术开发壳聚糖—海藻酸钠抑菌复合包装膜的文献报道。

### （二） 项目已通过科技成果评价 3 项

1.“高密度复合益生菌及其代谢物（后生元）制备关键技术与应用”达到国际领先水平。该成果于2023年通过了青岛市食品科学技术学会组织的专家评价，由中国工程院院士、食品工程领域权威专家单杨研究员领衔的专家组一致认为：该成果基于微生物互作及代谢调控机制研究，首次揭示了复合益生菌中通过特定代谢物发挥协同效应，突破多株益生菌复合发酵关键技术难点，益生菌活菌数提高3倍以上，创制

具肠道免疫调节功能的高活性后生元制备工艺，关键活性成分提高 14 倍以上，取得良好市场反馈和经济效益。

**2.“高抗性淀粉绿色制备及功能性主食加工关键技术与应用”达到国际领先水平。**该成果于 2022 年通过了青岛市食品科学技术学会组织的专家评价：采用普鲁兰酶酶解结合中温回生法，创新了蜡质玉米高抗性淀粉生产关键技术，抗性淀粉含量高达 51.7%，远高于市售产品。酶解结合回生制备的慢消化淀粉产生的丙酸、丁酸、异丁酸、戊酸、异戊酸含量均显著升高，有利于肠道健康，同时具有明显的降血糖效果，符合大健康产业发展方向。此外，制备出新型 RG-I 型果胶益生元，可有效促进肠道益生菌的增殖，抑制病原菌生长，代谢产生短链脂肪酸，促进肠道黏膜屏障的修复，有效改善肠道健康，发挥肠道益生功效。

**3.“生鲜果、菜、菌品质及营养保持关键技术与应用”达到国内先进水平。**该成果于 2022 年通过了青岛市食品科学技术学会组织的专家评价：创制了一种新型的低压静电场协同微真空技术，冷藏条件下延长生鲜果蔬保鲜期 40%以上，常温条件下延长生鲜果蔬保鲜期 20%以上；同时，建立了富氢水与微酸性电解水复合保鲜技术，显著提高了猕猴桃和双孢蘑菇的绿色保鲜方法；采用层层组装与多酚交联及纳米复合技术，开发壳聚糖—海藻酸钠抑菌复合包装膜，显著提高生鲜果、菜、菌的保鲜品质。

### （三） 用户反馈

本项目基于微生物互作及代谢调控机制研究，突破多株益生菌复合发酵关键技术难点，创制具免疫调节功能的高活性后生元制备工艺，开发了完善的益生菌复配工艺和后生元精制工艺，关键活性成分提高 14 倍以上；制备出高抗性蜡质玉米淀粉以及新型 RG-I 型果胶益生元，可有效促进肠道益生菌的增殖，抑制病原菌生长，代谢产生短链脂肪酸，促进肠道黏膜屏障的修复，有效改善肠道健康；攻克电磁干扰等关键技术难题研制低压静电场保鲜装备、联合富氢水与微酸性电解水研发天然保鲜剂、采用多层组装与多酚交联及纳米复合技术开发壳聚糖—海藻酸钠抑菌复合包装膜，显著提高产品的保鲜品质。相关技术成果多家企业推广应用并取得了良好的市场反馈和经济效益，应用企业近 2 年累计新增产值 10.35 亿元，新增利润 1.42 亿元，新增利税 3562 万。项目成果转化产品也在北部战区海军相关部队按照 GJB《军用食品鉴定试验规程》进行了试吃接受性评价，满意率达到了部队相关要求。

### （四） 同行评价

1.项目研究成果在 SCI 收录杂志《Gut Microbes》中发表的文章 Probiotics maintain the intestinal microbiome homeostasis of the sailors during a long seavoyage 基于远洋航行船员体内微生物结构变化，提出了益生菌维持

水手肠道微生物群的稳态化技术。美国约翰霍普金斯大学微生物学家 Jotham Suez 教授在 *Nature Microbiology* (IF: 30.9) 引用本项目成果中益生菌维持水手肠道微生物群的稳态化数据证明其提出的益生菌以个体特异性和抗生素依赖性的方式影响人类胃肠道中的抗生素耐药性基因库新发现。

2.项目研究成果在 SCI 收录杂志《*Journal of Hazardous Materials*》中发表的文章 *Antibacterial properties and mechanism of biopolymer-based films functionalized by CuO/ZnO nanoparticles against Escherichia coli and Staphylococcus aureus* 构建了壳聚糖—海藻酸钠抑菌复合包装膜，入选 ESI 前 1%高被引论文。国际纺织化学界最高荣誉奥尔尼奖获得者，加州大学戴维斯分校 Gang Sun 教授在“*Materials Science and Engineering R: Reports*” (IF: 31)发表综述 (2021, 145: 100626)中对项目成果中抗菌包装成果进行了亮点引用和评述；国家杰出青年基金获得者，上海电力大学校长李和兴教授在“*Chem Catalysis*” (IF: 9.4) 期刊发表综述 (2022, 2: 1315-1345)，对项目成果中光诱导的 ROS 与细胞内部功能大分子相互作用机理进行了深入探讨和亮点引用。

3.项目研究成果在 SCI 收录杂志《*International Journal of Biological Macromolecules*》中发表的文章 *Resistant starch nanoparticles prepared from debranched starch by medium-temperature recrystallization*，采用酶解结合中温自组装技术制备了耐热加工的高抗性淀粉。碳水化合物领域知名

专家金征宇教授团队在其综述文章（Trends in Food Science & Technology, 2022, 119,90-100）进行了大篇幅报道，高度评价了该技术制备的抗性淀粉具有抗消化的良好潜力。

## 五、推广应用情况

免疫下降、肠道菌群失衡等健康问题在深海远航人群中表现突出，成为保障深海远航任务顺利执行亟需解决的问题。项目围绕深海远航人群的特需膳食需求，开展益生食品的创制及品质保持关键技术研究：制备具肠道免疫调节功能的高活性后生元、创制高抗性蜡质玉米淀粉和新型 RG-I 型果胶益生元，研发果蔬菌防腐保鲜及品质控制关键技术。项目成果在多家食品企业示范和推广应用，拓宽了深加工新产品种类，提高了产品的高科技附加值，提升了产品质量安全，减少能源消耗，平均增加其附加值 20%以上。

项目成果转化产品已在北部战区海军相关部队进行了 16 次大规模试吃试用，结果表明，对于深海远航人群的肠道健康具有明显的改善作用，具体表现在血清 IL-6、TNF- $\alpha$  等促炎症因子显著下降，而 IL-10 等抗炎因子显著升高，肠道菌群的多样性升高，双歧杆菌等益生菌数量显著升高，便秘症状显著改善。据统计，主要应用单位的新增经济效益累计可达 10 多亿元，取得了显著的经济和社会效益。以后随着推广用力度的不断加大，可有效推动我国特种食品产业高质量发展，助力国防建设和经济发展实现双提升。

## 六、主要知识产权和标准规范等目录

| 知识产权（标准）类别 | 知识产权（标准）具体名称                                                                                      | 国家（地区） | 授权号（标准编号）        | 授权（标准发布）日期 | 证书编号（标准批准发布部门）                     | 权利人（标准起草单位）                         | 发明人（标准起草人）                             | 发明专利（标准）有效状态 |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|------------------|------------|------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|--------------|
| 发明专利       | 一种载体组合及其应用                                                                                        | 中国     | ZL201910441545.9 | 2020.09.01 | 3967493                            | 青岛农业大学                              | 赵金山，张宁，李和刚，秦怀远，辛京京                     | 有效           |
| 论文         | Probiotics maintain the intestinal microbiome homeostasis of the sailors during a long sea voyage | 美国     |                  | 2020.2.20  | DOI: 10.1080/19490976.2020.1722054 | 内蒙古农业大学、青岛农业大学、海南大学、中国人民解放军第 971 医院 | 张家超，赵金山，靳昊，吕瑞瑞，石慧文，Guozhong De，孙志宏，张和平 | 有效           |
| 发明专利       | 一种具有肠道益生功能的柑橘果胶及其制备方法与应用                                                                          | 中国     | ZL202010041951.9 | 2021.11.16 | 4799965                            | 中国农业科学院农产品加工研究所                     | 郑金铠；崔洁芬；王凤忠；赵成英；赵少杰；田桂芳；陆畅             | 有效           |
| 发明专利       | Nanocomposite hydrogel, and preparation method and use there of                                   | 美国     | US11214654       | 2022.1.4   |                                    | 青岛农业大学                              | 孙庆杰；熊柳；葛胜菊；卢浩；李曼；赵梅                    | 有效           |
| 发明专利       | 一种秸秆纳米纤维素及高含量抗性淀粉的制备方法                                                                            | 中国     | ZL201711091051.X | 2020.7.17  | 3893602                            | 青岛农业大学                              | 孙庆杰，熊柳，姬娜，卢浩，李曼，赵梅                     | 有效           |
| 发明专利       | 一种具有护肤功效的复合益生菌发酵产品及其制备与应用                                                                         | 中国     | ZL202110228770.1 | 2022.07.05 |                                    | 青岛元达生物科技有限公司                        | 彭传涛，王习振                                | 有效           |
| 发明专利       | 一种利用发酵金针菇制备鲜切果蔬保鲜剂的方法及其应用                                                                         | 中国     | ZL202110324267.6 | 2022.07.19 | 5316068                            | 青岛农业大学                              | 李文香，张智超，赵晓妹，吴昊，程凡升，唐若琪，朱               | 有效           |

|      |                                                                                                                                                               |    |                  |            |                                   |                 |                             |    |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|------------------|------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------------------|----|
|      |                                                                                                                                                               |    |                  |            |                                   |                 | 俊向                          |    |
| 发明专利 | 一种可食用复合膜及其制备方法和用途                                                                                                                                             | 中国 | ZL201810508790.2 | 2020.6.12  |                                   | 青岛农业大学          | 吴昊, 张立楠, 管桂林                | 有效 |
| 论文   | Orange Pectin with Compact Conformation Effectively Alleviates Acute Colitis in Mice                                                                          | 美国 |                  | 2022.1.13  | DOI: org/10.1021/acs.jafc.1c07951 | 中国农业科学院农产品加工研究所 | 崔洁芬, 王凤, 赵成英, 周帅帅, 郑金铠      | 有效 |
| 论文   | Prebiotic effects of resistant starch nanoparticles on growth and proliferation of the probiotic <i>Lactiplantibacillus plantarum</i> subsp. <i>plantarum</i> | 美国 |                  | 2021.10.09 | DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112572    | 青岛农业大学          | 王梦薇、陈晓煜、周历阳、李杨、杨洁、姬娜、熊柳、孙庆杰 | 有效 |

## 七、主要完成人情况

1.赵金山，青岛农业大学，教授。负责项目总体实施，主持技术推广应用。

2.王振吉，北部战区海军保障部物资供应处，处长。负责项目成果转化，具体负责项目成果在深海远航人群中的试吃试用。

3.孙庆杰，青岛农业大学，教授。负责抗性淀粉的制备。

4.郑金铠，中国农业科学院农产品加工研究所，研究员。负责果胶益生元的制备及功效评价。

5.李守林，青岛农业大学，副教授。负责项目外联合作，

与企业对接及成果转化。

6. 彭传涛，青岛农业大学，副教授。负责后生元乳酸菌菌种资源库构建，负责益生菌及后生元的制备。

7. 吴昊，青岛农业大学，教授。负责果蔬菌的保鲜控制技术研究及项目成果在深海远航人群的试吃试用。

8. 车广杰，青岛农业大学，副教授。负责项目 3 各个子任务的协同配合，负责项目成果的成果转化。

9. 李兆杰，青岛农业大学，教授。负责益生菌及后生元的功效评价及其产业化应用，以及对接产品在深海远航人群的试吃试用。

10. 朱俊向，青岛农业大学，副教授。负责多层保鲜复合膜的制备。

11. 秦洋，青岛农业大学，教授。负责抗性淀粉的制备及功效评价

12. 崔洁芬，青岛农业大学，讲师。负责果胶的制备。

13. 邓阳，青岛农业大学，副教授。负责项目的定期调度实施，负责项目的成果转化。

14. 臧金红，青岛农业大学，副教授。负责后生元乳酸菌菌种资源库构建。

15. 丁婷，青岛农业大学，副教授。负责项目管理、资料整理、文献查阅及成果查新。

八、主要完成单位及创新推广贡献

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |        |    |   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----|---|
| 单位名称                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 青岛农业大学 | 排名 | 1 |
| <p>对本项目应用推广情况的贡献：</p> <p>青岛农业大学是本项目的第一完成单位。主要在以下方面取得创新性成果：系统研究了益生菌与后生元、新型纤维素抗性淀粉、果蔬菌等几类重要的肠道益生食品的创制及品质保持关键技术，揭示了复合益生菌协同促进的机制，制备出高浓度活性益生菌和后生元，并构建了具有自主知识产权的后生元菌种资源库；制备出高抗性蜡质玉米淀粉，可有效促进肠道菌群平衡；突破电磁干扰等关键技术难题研制低压静电场保鲜装备、采用多层组装与多酚交联及纳米复合技术开发出多种防腐和抑菌复合包装膜。发表学术论文 10 篇，授权专利 8 项。通过转化应用，取得了巨大的经济、社会和生态效益。项目成果对于改善深海远航人群的健康，保障深海远航任务顺利执行具有重要的现实意义。</p> |        |    |   |

|                                                                                                               |                |    |   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----|---|
| 单位名称                                                                                                          | 北部战区海军保障部物资供应处 | 排名 | 2 |
| <p>对本项目应用推广情况的贡献：</p> <p>北部战区海军保障部物资供应处是本项目的第二完成单位。主要在以下方面做出贡献：积极对接 BD 营养健康需求，对项目开发的益生菌、后生元、益生元等相关产品在深海远航</p> |                |    |   |

人群中进行试吃试用，先后开展试吃试用 16 次，多款研发的产品被 BD 采购试用。项目成果对于改善深海远航人群的健康，保障深海远航任务顺利执行具有重要的现实意义。

|                                                                                                                                                                                                        |                 |    |   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|----|---|
| 单位名称                                                                                                                                                                                                   | 中国农业科学院农产品加工研究所 | 排名 | 3 |
| <p>对本项目应用推广情况的贡献：</p> <p>中国农业科学院农产品加工研究所是本项目的第三完成单位。主要在以下方面做出贡献：制备新型 <b>RG-I</b> 型果胶益生元，并证明可有效促进肠道益生菌的增殖，抑制病原菌生长，代谢产生短链脂肪酸，促进肠道黏膜屏障的修复，有效改善肠道健康，发挥肠道益生功效。依托农科院平台优势，对本项目在特需人群试吃试用、转化应用方面提供了重要的技术指导。</p> |                 |    |   |

|                                                                                                              |                           |    |   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|----|---|
| 单位名称                                                                                                         | 青岛海军食品与营养创新研究院（青岛特种食品研究院） | 排名 | 4 |
| <p>对本项目应用推广情况的贡献：</p> <p>青岛海军食品与营养创新研究院（青岛特种食品研究院）是本项目的第四完成单位。主要在以下方面做出贡献：研制果蔬保鲜设备、开发果蔬保鲜多层复合膜。该单位与北部战区积</p> |                           |    |   |

极对接协调项目成果在部队特需人群的试吃试用，对促进项目成果转化起到了重要的推动作用。

|                                                                                                       |              |    |   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----|---|
| 单位名称                                                                                                  | 青岛元达生物科技有限公司 | 排名 | 5 |
| 对本项目应用推广情况的贡献：<br>青岛元达生物科技有限公司是本项目的第五完成单位。主要在以下方面做出贡献：将项目研发的益生菌及后生元产品进行成果转化，并积极在市场推广，对项目的经济效益做出了重要贡献。 |              |    |   |

## 九、完成人合作关系说明

该项目由青岛农业大学主持完成。自 2020 年起，课题组即开展有关肠道益生食品的研究工作，并依托农业农村部特种食品加工重点实验室（部省共建）、山东省特种食品技术创新中心、山东省特种食品协同创新中心，组建了肠道益生食品的开发及产业化应用平台及相关团队。团队以肠道健康为靶点，从高活性益生菌与后生元制备、抗性淀粉制备、果蔬保鲜及品质保持 3 个方面开展研究。先后承担《鲜切果蔬品质与营养保持工艺及设备研究》《具有改善睡眠和提高免疫力后生元食品的创新和应用》《高抗性淀粉绿色制备及功能性主食加工关键技术与应用》等多个国家、省、市级项目。参与项目研究的所有科技人员专业交叉、优势互补，同

心协力，促进了该成果的转化与应用。尤其项目利用平台优势，与北部战区海军保障部物资供应处深度合作，将成果极大的在深海远航人群中进行了推广。项目团队成员围绕肠道益生食品开展了大量深入系统的研究，发表了系列论文，申请了系列发明专利，成为该成果的关键支撑材料。项目组成员定期召开组会，围绕项目中心任务进行工作分工。赵金山作为项目主持人，负责总体项目实施，并统筹项目分工合作；王振吉具体协调成果在深海远航人群的试吃试用；郑金铠、崔洁芬负责果胶益生元的制备、功效评价；李守林、车广杰、邓阳负责项目的管理以及成果转化；彭传涛、李兆杰、臧金红负责益生菌及后生元产品的制备及其产业化应用；孙庆杰、秦洋负责抗性淀粉的绿色制备、功效评价；吴昊、朱俊向负责果蔬保鲜技术/产品/装备及品质控制技术的创制及应用；丁婷负责项目的管理、平台管理、资料整理、文献查阅及成果查新。总之，项目是在“一个课题、多项任务、不同分工、紧密合作”的良好团队运作下通过所有完成人的共同努力完成的。