

陕西省自然科学奖公示信息

(2025年度)

一、项目基本情况

| | |
|--------|---------------------|
| 项目名称 | 功能糖与类黄酮的分子营养及互作机制研究 |
| 主要完成人 | 杨兴斌、李婷、任道远、路亚龙 |
| 主要完成单位 | 陕西师范大学 |

二、提名意见（适用于提各单位）

| | |
|---|--------|
| 提 名 者 | 陕西省教育厅 |
| <p>提名意见（不超过 600 字）：</p> <p>由杨兴斌教授主持完成的《功能糖与类黄酮的分子营养及互作机制研究》项目基于食品多成分多态共存互作的整体营养特征，以紫阳富硒绿茶、泽兰、大豆等秦巴山区特色优势农产品为主要依托，系统阐释了功能糖和类黄酮调节糖脂代谢、改善肝肠功能的生物学效应及机制，并基于此开展了以“组分结构”为功能单位的食品整体观营养物质基础及作用机理的创新研究，首次发现功能糖抑制小肠 II 相代谢酶和外排转运蛋白表达的营养新功能，揭示功能糖通过该新功能拮抗类黄酮的肠道首过代谢（类似肿瘤耐药过程）以提高其生物利用度、增强保肝活性的互作效应及分子营养新机制。该发现精准反映了食物固有共存成分之间的交互作用，揭示了机体对功能糖或类黄酮组分的共摄入利用机理、营养相互作用及互作调控机制，为科学认知功能糖与类黄酮的多成分互作整体营养效应提供了科学依据，具有重大的科学价值。</p> <p>该项目基于功能糖和类黄酮两类主组分的物质结构和营养特性，聚焦机体对食品组分的共摄取机制不明的重大科学问题，遵循“中药网络药理学”研究思路，发展了“食品网络功能学”研究新方法，提出食品营养物质基础“组分结构”理论，为完善食品成分相互作用的均衡膳食理论提供了重要的科学依据。</p> <p>经审核，该项目成果材料齐全、规范。经公示，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合 2025 年度陕西省科学技术奖自然科学奖提名条件。提名申报自然科学奖二等奖。</p> <p>说明：省科学技术奖一、二等奖项目，实行按等级标准提名、独立评审表决的机制。提名单者应严格依据省科学技术奖的标准条件，说明提名项目的贡献程度及等级建议。“提名一等奖”评审落选项目不再降格参评二等奖。项目组与提各单位沟通后，做出提名等级意见；提名项目提交后，提名等级建议不得变更。</p> | |

三、项目简介

《“健康中国 2030”规划纲要》将保健养生治未病上升为国家战略，强调坚持预防为主的健康生活方式。流行病学、体内外和临床试验结果表明，以植物性食物为主的膳食可预防心血管疾病、肝脏代谢异常、肠道功能障碍等慢性病的发生。那么，功能糖（寡糖和多糖等聚合糖）和类黄酮（含异黄酮）作为两类重要营养组分，**是否是保护血管、肝脏和肠道等损伤的关键营养物质基础？**

食品具有多组分共存并相互作用的整体营养特征，然而传统食品营养学评估多基于较大剂量纯品或提取物的“非食品生理剂量摄入或干预方式”，其结果无法准确反映食材固有的大量共存成分之间的交互影响。据此，**主组分功能糖与类黄酮是否存在营养互作调控效应？**可否构建食品成分相互作用的“整体营养观”均衡膳食理论？是亟待解决的关键科学问题。

聚焦该前沿性、交叉性关键科学问题，本项目围绕秦巴山区优势资源紫阳富硒绿茶、泽兰、大豆等，从人体、动物、细胞乃至分子水平层面，探究了功能糖与类黄酮的分子营养、互作效应及调控机制，揭示了功能性多糖、寡糖和类黄酮（含异黄酮）的肝保护、代谢稳态调控和肠益生功效、构效关系及分子机制等基本营养特征。**引人注目的是，我们首次发现功能糖有效抑制小肠 II 相代谢酶和外排转运蛋白表达的营养新功能**，并揭示功能糖通过该新功能拮抗类黄酮的小肠首过代谢（类似肿瘤耐药过程）发生以提高其生物利用度、增强保肝作用的**营养互作效应及分子新机制**。该发现揭示了食物摄取后功能因子互作的本质，为完善功能成分相互作用的均衡膳食营养理论提供了重要的科学依据，具有十分重大的科学价值与社会效益。本项目的主要创新性研究发现如下：

(1) 发现小肠 II 相代谢酶和外排转运蛋白是限制类黄酮肠吸收的关键调控靶点，阐明食物类黄酮的代谢动力学特征和护肝等营养效应。

(2) 发现紫阳富硒绿茶多糖、泽兰水苏糖等功能糖抑制小肠 II 相代谢酶和外排转运蛋白表达的营养新功能，明晰功能糖的肠益生及代谢稳态调控的生物学作用。

(3) 率先揭示功能糖有效抑制类黄酮的肠道降解，拮抗类黄酮肠道首过代谢进而增强其肠吸收和营养作用的互作效应机制。

(4) 基于“中药网络药理学”的营养成分互作增效理论指导开发复方功能食品或健康产品。

四、客观评价

营养与健康是关系国计民生的重大热点问题。近年来，食品营养学领域单一营养素或活性物质的系列研究解决了营养素缺乏症的问题。然而，大量临床研究表明，长期补充单一营养素会造成营养不均衡、身体代谢负担加重、癌症等慢病风险增加等不利影响。基于食物本质的整体观营养学研究已凸显为我国大健康产业发展的迫切需求。本项目系统研究了功能糖与小肠互作的营养新功能，并基于此深入探讨了功能糖与类黄酮的营养互作效应及调控机制，取得了一系列重要的原创性科学发现，具有国际前沿性和创新性，项目成果被国内外知名专家和应用企业高度评价和广泛引用。

(1)发现小肠 II 相代谢酶和外排转运蛋白是限制类黄酮肠吸收的关键调控靶点，阐明食物类黄酮的代谢动力学特征和护肝等营养效应。

膳食类黄酮是一大类植物次级代谢产物，具有多重生物学活性，作为营养补充剂备受青睐。然而，类黄酮低口服生物利用度的本质严重制约了其应用。我们发现小肠 II 相代谢酶（SULT 和 UGT）和外排转运蛋白（P-gp 和 MRP1）是限制类黄酮肠吸收的关键调控靶点，其表达上调促进类黄酮肠首过代谢发生，降低其生物利用度。本项目在类黄酮代谢特征方面的研究新发现完善了其公共营养科学认知，被发表在 *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, *J. Agric. Food Chem.*, *Food Funct.* 等国际传统权威期刊上的多项科学研究论证与引用。

(2)发现功能糖抑制小肠 II 相代谢酶和外排转运蛋白表达的营养新功能，明晰功能糖的肠益生及代谢稳态调控的生物功能。

随着功能糖营养效应的不断揭示，由糖到功能糖的演变成为大健康时代发展的必然趋势。本项目系统揭示了功能糖改善糖脂代谢、保护肝脏及肠道功能的营养效应及作用靶标，发现功能糖抑制小肠 II 相代谢酶和外排转运蛋白表达的营养新功能，为功能糖新资源开发奠定基础，其成果得到国内外同行专家的高度认可。江南大学陈卫院士团队在功能因子缓解肝脏炎症损伤研究中高度认可我们关于紫阳富硒绿茶多糖通过抗氧化机制缓解小鼠肝损伤机理（*J. Agric. Food Chem.*）的研究发现。中国农业大学天然功能成分研究专家李全宏教授在水苏糖通过肠益生作用改善胰腺炎的相关研究中高度评价我们关于水苏糖作为经典益生元改善机体脂质代谢平衡的科学论点（*Mol. Nutr. Food Res.*）。浙江大学茶叶研究所徐平教授（*Trends Food Sci. Tech.*）、山东大学糖生物学研究专家陈靠山教授（*Carbohydr. Polym.*）等在综述多糖生物学功效时高度认可我们关于“紫阳富硒绿茶多糖调控机体糖代谢稳态、改善胰岛素抵抗、缓解肝脏损伤”的基础研究发现。

(3)揭示功能糖有效抑制类黄酮的肠道降解，拮抗类黄酮肠道首过代谢进而增强其肠吸收和营养作用的互作效应机制。

目前营养学研究多针对单一营养素进行功能性评价，其结果无法准确反映原始食品固有大量共存成分之间的交互作用。聚焦该科学问题，本研究团队基于食物多成分互作的整体营养本质和多组分、多靶点的互作理论，深入解析了食物中两类重要营养素功能糖与类黄酮的体内营养互作效应，揭示了功能糖通过调控 II 相代谢过程拮抗类黄酮的小肠首过代谢而增强肠吸收的互作调控分子新机制，为食品的整体营养观理论提供科学依据。中国医学科学院药物研究所抗糖尿病药物研究专家申竹芳教授同样揭示了水苏糖协同增强黄连素的糖代谢调节功效的研究发现 (*Life Sci.*)。日本京都大学 Kawada 教授在探索功能糖营养效应研究中高度认可我们关于“低聚糖增强多酚类组分肠吸收”的科学论点，其论文同样发表在权威期刊 *Mol. Nutr. Food Res.*。渤海大学功能因子互作研究专家朱丹实教授和根特大学 Wiele 教授在综述大豆多糖构效关系和茶多酚代谢调节作用研究进展 (*Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*) 时高度认同我们关于“功能糖通过抑制小肠 II 相代谢酶和外排转运蛋白表达提高类黄酮生物利用度并增强其营养作用”的原创性科学发现。

本项目在前期关于食物类黄酮与功能糖的化学与分子营养的应用基础研究（陕西省科学技术二等奖、陕西高等学校科学技术一等奖）基础上，发现功能糖通过调控 II 相代谢过程提高类黄酮生物利用度和营养作用的互作效应机制，研究成果得到了众多农业领域国际著名权威专家，如陈卫院士、赵谋明教授、李全宏教授等的广泛认可与高度评价，突显出十分显著的科学意义与应用价值。引用本成果的学术论文多发表在 *Trends Food Sci. Tech.* (IF 15.3), *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* (IF 10.2), *Biofabrication* (IF 9), *Mol. Nutr. Food Res.* (IF 5.2), *J. Agric. Food Chem.* (IF 6.1), *Food Funct.* (IF 6.1), *Carbohydr. Polym.* (IF 11.2) 等农业相关领域中极具国际影响力的专业权威期刊。其中 *Trends Food Sci. Tech.*, *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 和 *Mol. Nutr. Food Res.* 为功能成分研究与应用领域国际顶级期刊。

五、代表性论文专著目录

(不超过 8 条。其中代表性论文不超过 5 篇，代表性专著不超过 3 部，应公开发表 2 年以上，即 2023 年 8 月 1 日前)

| 序号 | 论文专著名称 | 刊名 | 作者 | 年卷页码 (xx 年 xx 卷 xx 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 | 他引总次数 | 检索数据库 | 知识产权是否归国内所有 |
|----|--|-------------------------------------|--|--------------------------|-----------|-----------------------|------------|---------------------------|-------|----------|-------------|
| 1 | Stachyose increases absorption and hepatoprotective effect of tea polyphenols in high fructose-fed mice | Molecular Nutrition & Food Research | Wenfeng Li, Di Huang, Anning Gao, Xingbin Yang | 2016 年 60 卷 502-510 页 | 20160301 | Xingbin Yang | Wenfeng Li | 李文峰, 黄迪, 郜安宁, 杨兴斌 | 31 | WOS 核心合集 | 是 |
| 2 | Enhancing the hepatic protective effect of genistein by oral administration with stachyose in mice with chronic high fructose diet consumption | Food & Function | Wenfeng Li, Zhao Li, Xiao Han, Di Huang, Yalong Lu, Xingbin Yang | 2016 年 7 卷 2420-2430 页 | 20160622 | Xingbin Yang, Zhao Li | Wenfeng Li | 李文峰, 李照, 韩笑, 黄迪, 路亚龙, 杨兴斌 | 21 | WOS 核心合集 | 是 |
| 3 | Evaluation of clinical safety and beneficial effects of stachyose-enriched α -galacto-oligosaccharides on gut microbiota and bowel function in humans | Food & Function | Ting Li, Xinshan Lu, Xingbin Yang | 2017 年 8 卷 262-269 页 | 20170101 | Xingbin Yang | Ting Li | 李婷, 卢昕山, 杨兴斌 | 47 | WOS 核心合集 | 是 |

| | | | | | | | | | | | |
|-------------|---|-----------------------------|--|-------------------------|----------|--------------|-------------|--------------------|-----|----------|---|
| 4 | Selenium-containing polysaccharide from Ziyang green tea ameliorates high-fructose diet induced insulin resistance and hepatic oxidative stress in mice | Food & Function | Daoyuan Ren, Yuanyuan Hu, Yiyang Luo, Xingbin Yang | 2015 年 6 卷, 3342-3350 页 | 20150101 | Xingbin Yang | Daoyuan Ren | 任道远, 胡园园, 罗懿洋, 杨兴斌 | 67 | WOS 核心合集 | 是 |
| 5 | Soybean soluble polysaccharide enhances absorption of soybean genistein in Mice | Food Research International | Yalong Lu, Wenfeng Li, Xingbin Yang | 2018 年 108 卷 273-279 页 | 20180101 | Xingbin Yang | Yalong Lu | 路亚龙, 李文峰, 杨兴斌 | 16 | WOS 核心合集 | 是 |
| 合 计 | | | | | | | | | 182 | | |
| 补充说明（视情填写）: | | | | | | | | | | | |

六、主要完成人情况表

| | | | |
|--|--------|------|--------|
| 姓 名 | 杨兴斌 | 排 名 | 1 |
| 行政职务 | 无 | 技术职称 | 教授 |
| 工作单位 | 陕西师范大学 | 完成单位 | 陕西师范大学 |
| <p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>项目主持人。揭示了功能糖与类黄酮的系统营养学效应，深入解析了功能糖对类黄酮吸收与代谢的互作调控效应及分子机制，是代表性论文 1-5 的通讯作者。</p> | | | |

| | | | |
|--|--------|------|--------|
| 姓 名 | 李婷 | 排 名 | 2 |
| 行政职务 | 副院长 | 技术职称 | 教授 |
| 工作单位 | 陕西师范大学 | 完成单位 | 陕西师范大学 |
| <p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>揭示了功能糖泽兰低聚糖的临床安全性与人体肠道益生功效，是代表性论文 3 的第一作者。</p> | | | |

| | | | |
|---|--------|------|--------|
| 姓 名 | 任道远 | 排 名 | 3 |
| 行政职务 | 无 | 技术职称 | 副教授 |
| 工作单位 | 陕西师范大学 | 完成单位 | 陕西师范大学 |
| <p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>揭示了紫阳富硒绿茶多糖保肝和调节代谢稳态的生物功效；是代表性论文 4 的第一作者。</p> | | | |

| | | | |
|--|--------|------|--------|
| 姓 名 | 路亚龙 | 排 名 | 4 |
| 行政职务 | 无 | 技术职称 | 副教授 |
| 工作单位 | 陕西师范大学 | 完成单位 | 陕西师范大学 |
| <p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>解析了功能糖调控类黄酮吸收、代谢并增强其肝保护作用的互作效应；是代表性论文 2 的参与作者和代表性论文 5 的第一作者。</p> | | | |

七、主要完成单位情况表

| | |
|---|--------|
| 单位名称 | 陕西师范大学 |
| <p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>陕西师范大学作为项目主要完成单位，为本项目的研究与实施工作提供了充分的人力、物力和财力支持，保证了项目成果的顺利完成。具体体现在以下四个方面：</p> <p>（1）组建了食品营养研究小组，以秦巴山区优势资源为主要研究对象，切实开展了功能糖与类黄酮两大类食品功能因子的分子营养及互作机制研究，为高性能复合型功能食品的研究与开发奠定了基础；</p> <p>（2）为本项目所有参与人员提供了必要的办公条件、试验场所、仪器设备和图书资料，全方位保障项目研究工作的顺利开展；</p> <p>（3）学校具有设备先进、管理规范、细胞实验室和动物实验室，具备从整体动物到分子营养研究所需的各种实验条件，为本项目的顺利实施提供了有效的硬件保障；</p> <p>（4）对项目日常工作进行有效监督，保证项目顺利开展。如对经费使用的管理和监督确保了科研经费效用的最大化。</p> | |

八、完成人合作关系说明

项目完成人杨兴斌、李婷、任道远、路亚龙均为陕西师范大学教师，是食品营养研究小组的核心成员。项目第一完成人杨兴斌与完成人李婷、任道远、路亚龙长期合作多年，完成多篇合著论文和研究项目，共同获得 2019 年度**陕西省高等学校科学技术二等奖**。

代表性论文 3 是基于人体试验评估富含水苏糖的泽兰低聚糖改善人体肠道内稳态的创新性研究，由杨兴斌与李婷合作完成；**代表性论文 4** 揭示了紫阳富硒绿茶多糖保护肝脏功能和调节代谢稳态的生物功效，由杨兴斌与任道远合作完成；**代表性论文 2 和 5** 阐明了水苏糖等功能糖通过调控小肠 II 相代谢过程促进类黄酮肠吸收并增强其肝保护效应的创新发现，由杨兴斌与路亚龙等合作完成。

2015 年至 2017 年，杨兴斌与任道远合作开展了富硒茶与地黄资源的高值化利用及功能食品开发研究（**陕西省科技统筹创新工程计划项目**），揭示了富硒茶和地黄中富含的功能糖与类黄酮的营养功效；杨兴斌、任道远、李婷合作开展了关于食物类黄酮与功能糖的化学与分子营养的应用基础研究，共同获得 2017 年度**陕西省科学技术二等奖**和 2016 年度**陕西高等学校科学技术一等奖**。目前，作为功能糖与类黄酮互作营养研究创新团队（**陕西省创新人才推进计划—科技创新团队**）的核心成员，杨兴斌、李婷、任道远、路亚龙正聚焦功能糖与类黄酮的营养互作效应及分子机制开展更深入的创新性探索研究。

项目完成人严格按照对成果的实际贡献大小依次排名。经项目组成员充分协调，按完成人承担研究任务、对创新点贡献度等综合实际绩效依次排名，各完成人一致同意其排名。

完成人合作关系情况汇总表

| 序号 | 合作方式 | 合作者/项目排名 | 合作时间 | 合作成果 | 证明材料 |
|------|------|-------------------------------------|-------------------------------|--|---------|
| 1 | 共同获奖 | 杨兴斌(1) 李婷(2) 任道远(3) 路亚龙(4) | 2014.01. 01-2017. 12.31 | 陕西省高等学校科学技术二等奖（功能糖与类黄酮的分子营养及互作机制研究） | 获奖证书 |
| 2 | 论文合著 | 杨兴斌(1) 李婷(2) | 2013.07. 01-2016. 12.07 | Evaluation of clinical safety and beneficial effects of stachyose-enriched α -galacto-oligosaccharides on gut microbiota and bowel function in humans | 代表性论文 3 |
| 3 | 论文合著 | 杨兴斌(1) 任道远(3) | 2013.09. 01-2015. 07.24 | Selenium-containing polysaccharide from Ziyang green tea ameliorates high-fructose diet induced insulin resistance and hepatic oxidative stress in mice | 代表性论文 4 |
| 4 | 论文合著 | 杨兴斌(1) 路亚龙(4) | 2014.09. 01-2016. 04.21 | Enhancing the hepatic protective effect of genistein by oral administration with stachyose in mice with chronic high fructose diet consumption | 代表性论文 2 |
| 5 | 论文合著 | 杨兴斌(1) 路亚龙(4) | 2015.01. 01-2016. 10.24 | Soybean soluble polysaccharide enhances absorption of soybean genistein in Mice | 代表性论文 5 |
| 不限条目 | 共同获奖 | 杨兴斌(1) 李婷(2) 任道远(3) | 2014.01. 01-2017. | 陕西省科学技术二等奖（食物类黄酮 | 获奖证书 |

| | | | | | |
|----------|------|---------------------------|-------------------------------|--|--------|
| | | | 03.31 | 与功能糖的化学与分子营养的应用基础研究) | |
| 不限条 目 | 共同获奖 | 杨兴斌(1) 李婷(2) 任道远(3) | 2014.01. 01-2016. 03.31 | 陕西高等学校科学技术一等奖(食物类黄酮与功能糖的化学与分子营养的应用基础研究) | 获奖证书 |
| 不限条 目 | 共同立项 | 杨兴斌(1) 任道远(3) | 2015.01. 01-2017. 12.31 | 陕西省科技统筹创新工程计划项目(富硒茶与地黄资源的高值化利用及功能食品开发) | 项目验收证书 |
| 不限条 目 | 共同立项 | 杨兴斌(1) 李婷(2) 路亚龙(4) | 2019.01. 01-2022. 12.31 | 国家自然科学基金面上项目(大豆功能糖提高异黄酮生物利用度的组-效关系及互作调控机制) | 项目批准通知 |
| 不限条 目 | 共同立项 | 杨兴斌(1) 李婷(2) 任道远(3) | 2019.01. 01-2021. 12.31 | 陕西省创新人才推进计划—科技创新团队(功能糖与类黄酮互作营养研究创新团队) | 项目任务书 |