

2018 年度湖南省科学技术奖推荐公示内容

自然科学奖

项目名称：果蔬采后病害天然抑菌物质的挖掘及作用机制

推荐单位意见：

果蔬采后病害生物防治是近年来果蔬采后生物学研究热点之一。本项目紧紧围绕柑橘精油天然抑菌物质筛选、抑菌物质作用机理和果蔬采后病害防控等研究内容，取得了一系列重要的学术成果。在 Food Chemistry、Food Control 和 Postharvest Biology and Technology 等刊物上发表 SCI/EI 论文 21 篇，8 篇 SCI 代表性论文 SCI 他引 134 次，报道的工作多次被 Critical Reviews in Food Science and Nutrition、Food Chemistry、Journal of Agricultural and Food Chemistry、Postharvest Biology and Technology 等国际权威期刊引用。其中发表在 Food Chemistry (2014,153: 265-271)的论文入选 2015 年度农业科学 ESI 高被引论文（前 3%），截至目前，该文章已被 SCI 他引 42 次。陶能国教授领导的课题组学风严谨，长期从事果蔬采后病害发生与控制研究，该项目的研究课题处于该领域前沿、研究方法有突破、研究成果丰富且极具创造性，其成果已达到国际先进水平，同意推荐申报湖南省自然科学奖二等奖。

项目简介：

本项目属于果蔬贮藏与处理技术研究领域。项目组从 2008 年开始，在国家自然科学基金等资助下，紧紧围绕柑橘精油潜在抑菌组分挖掘，抑菌组分作用机理和果蔬采后病害防控等进行了系统研究，取得一系列突破性研究成果：

1、挖掘柑橘精油中天然抑菌组分。

对不同柑橘类型果实精油的化学组成和抑菌性能进行分析，发现桉柑和冰糖橙等多种柑橘果皮精油对指状青霉、意大利青霉、酸腐病菌、大肠杆菌和金黄色葡萄球菌等有不同程度的抑制，以桉柑精油的抑菌效果最佳。证实桉柑果皮精油对意大利青霉和指状青霉的抑制归因于细胞毒性伤害。发现柑橘精油所含萜烯醇（芳樟醇、 α -松油醇和香茅醇等）、萜烯醛（柠檬醛和香茅醛等）和脂肪醛（辛醛和壬醛等）等为主要抑菌组分，不同单体抑菌组分复配有协同增效作用。

2、揭示天然抑菌组分作用机理。

发现柠檬醛、 α -松油醇、辛醛和香茅醛等能通过影响意大利青霉、指状青霉和酸腐病菌细胞形态、破坏细胞膜透性、降低膜结构物质含量等**膜损伤**方式表现出抑菌性。不同组分复配能加剧膜损伤程度。首次通过组学技术分析了柠檬醛处理后指状青霉代谢通路的变化情况，结合线粒体形态和功能分析，证实柠檬醛对指状青霉的膜损伤机制主要与**麦角固醇合成途径受阻、膜脂过氧化伤害和能量代谢紊乱**有关。

3、建立天然抑菌组分防控果蔬采后病害技术体系。

创新性的提出将精油**抑菌组分（辛醛、柠檬醛和香茅醛等）**添加在柑橘果蜡中进行防腐保鲜，该技术显著降低了柑橘采后绿霉病、青霉病和酸腐病发病率，对果实外观和内在品质无影响，不仅克服了精油难溶于水、易挥发和效果不稳定等缺点，还能诱导柑橘果实抗氧化能力提升、降低果实活性氧含量，延长果实保藏时间，可为柑橘防腐保鲜提供新思路和新方法。

研究成果在 *Food Chemistry*、*BMC Genomics*、*Postharvest Biology and Technology* 和 *Food Control* 等 TOP 或权威期刊发表 SCI/EI 论文 21 篇，8 篇代表性论文 SCI 被引总频次 180 次，SCI 他引 134 次，单篇最高引用 42 次，1 篇论文入选 2015 年度农业科学 ESI 高被引论文（前 3%），研究工作多次被 *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*、*Food Chemistry*、*Journal of Agricultural and Food Chemistry*、*Postharvest Biology and Technology* 等国际权威期刊引用。

客观评价：

本项目在果蔬采后病害生物防治方面共发表论文 24 篇，其中 SCI/EI 论文 21 篇，大部分发表在 *Food Chem*、*BMC Genomics*、*Postharvest Biol Tec* 和 *Food Control* 等国际权威刊物。8 篇代表性论文 SCI 他引总次数达 134 次，根据教育部学位与研究生教育发展中心 2016 年数据显示，我们发表在 *Food Chem* 期刊上 2014 年 153 卷 265-271 页（代表作 1），被 ESI 收录为 2015 年度农业科学全球高被引论文（前 3%），截至目前，该文章已分别被 SCI 他引 42 次（附件引用证明）。这些研究成果得到了积极的评价，现列举部分例子如下：

科学发现点 1：柑橘精油潜在天然抑菌组分挖掘：

美国诺贝基金会植物生物学研究所 Lloyd W Sumner 教授（国际知名植物学家，*Plant Physiol* 执行编辑）和西南大学周志钦教授（国务院学位委员会第七届园艺学科组成员）在农林科学 TOP 期刊 *J Agr Food Chem* 发表综述文章，高度认可代表论文 1 和代表论文 2 的学术观点(--- the antifungal activity of mandarin essential oils against *P. italicum* and *P. digitatum* was attributed to the monoterpenes --such as limonene, octanal, and citral. They also suggested that mandarin essential oils generated cytotoxicity --. -- reported that Bingtang sweet orange essential oil--)(附件引文 1)。日本果树科学研究所 NIFTS Takehiko Shimada 教授（国际知名园艺学家）在发表于农林科学 I 区期刊 *Tree Physiol* 中提出桉柑精油是一种有效的生物杀菌剂（The essential oil of Ponkan mandarins has been proposed as an effective fungicide owing to ----). (附件引文 2)。华中农业大学邓秀新教授（中国工程院院士，国际柑橘学会执行主席，美国园艺学会杰出国际园艺学奖）课题组发表于园艺 I 区期刊 *Hortic Res-England* 文章指出香精油的主要萜烯类化合物可作为防腐保鲜剂来提高水果在贮藏过程中的安全性和货架期（As the major component of essential oil, terpenes have been employed ---, and they are also used as antiseptic preservative agents to improve the safety and shelf-life of fruit during storage）（附件引文 3）。

代表论文 1 得到了 *Food Chem* 编辑的积极评价，认为此项工作是非常有意义的（This is a very interesting paper, which is of value not only for the researchers but also for the industry.-----）。此外，英国曼彻斯特大学 Lagunes 教授、摩洛哥 IbnZohr 大学 H. Boubaker 教授以及巴西、泰国、土耳其等国和国内多名专家学者在 *Bioresource Technol*、*Plant Biotechnology J*、*Int J Food Microbiol* 和 *Ind Crop Prod* 等权威期刊发表的多篇论文中对该部分工作进行了积极评价和引用。

科学发现点 2：天然抑菌物质作用机理探讨：

西班牙 Susana Ribes 教授在食品 TOP 期刊 *Crit Rev Food Sci* 综述文章中高度认可代表作 5 主要结果，基于柠檬醛抑菌结果认为精油组分积累会导致膜通透性、细胞质颗粒化和胞质膜破坏的变化（Accumulation of EO compounds in the cell membrane because of --- and variations in membrane permeability, granulation of the cytoplasm and cytoplasmic membrane disruption）（附件引文 4）。巴西 Antonio Jorge R. da Silva 教授发表于农林科学 I 区期刊 *Ind Crop Prod* 论文中将代表作 5 的实验结果作为研究柑橘精油与病原菌生长的作用关系研究的重要理论支撑（Citral was also included in the experiment although not present in significant concentration in

the headspace, due to its recognized antimicrobial effect) (附件引文 5)。西北农林科技大学岳田利教授(国务院学位委员会食品科学与工程学科评议组成员)课题组多次引用代表论文 3、4 和 5 的观点,并依此推断出肉桂醛和柠檬醛复合对扩展青霉的抑菌机理(Ouyang et al. 2016 have demonstrated that Cit ---- decreasing the expression levels of ---. Therefore, -, Cin/Cit probably reduced the drug resistance development in *P. expansum*) (附件引文 6)。

西南大学李长明教授(H-影响因子 71, ESI 高被引科学家, ESI “全球前百分之一科学家”)、南非茨瓦尼科技大学 T. Regnier 教授(国际知名生物防治专家)、中国科学院华南植物园蒋跃明教授(国家杰青获得者, ESI 高被引科学家和 973 项目首席科学家)、甘肃农业大学陈佰鸿教授(甘肃农业大学园艺学院院长)以及泰国、葡萄牙、巴西和阿根廷等国内外学者多篇发表在 *Chem Commun*、*Food Chem*、*Postharvest Biol Tec*、*Ind Crop Prod*、*Applied Microbiol Biot*、*Int J Food Microbiol* 和 *Front Microbiol* 等权威期刊的论文多次引用和积极评价我们的研究成果。

科学发现点 3: 果蜡添加天然抑菌物质防控果蔬采后病害技术体系:

意大利知名专家 Strano 教授将我们的研究成果写入其撰写的专著《*Citrus Pathology*》第 7 章节,认为精油+果蜡控制柑橘采后病害是一个积极的研究领域(--, the development of novel antifungal edible coatings for citrus fruit is a very active research field and a considerable number of studies are available, including ----- and commercial waxes with essential oils (附件引文 7)。宁波大学邵兴锋教授(浙江省杰出青年基金获得者)在多篇研究论文中引用我们代表论文 7 和 8 实验结果,认为作为合成杀菌剂的替代品,精油添加在果蜡在果蔬采后病害防控领域前景非常广泛。One promising approach is to combine essential oils with other treatments, such as chitosan and wax, to enhance their effects (附件引文 8)。

浙江大学郑晓冬教授(资深生物防治专家, 973 和 863 项目主持人)课题组认为柠檬醛和辛醛可作为有效方法降低柑橘果实病害发生,延长果实货架期----These treatments include ----, citral, or octanal application (Lu et al., *Postharvest Biol Tec*, 2018, 140: 93-99)。西班牙 IVIA 中心 Lluís Palou 教授(国际知名生物防治专家)、华南农业大学陈维信教授(国内知名园艺学家、中国园艺学会采后科学与技术分会副理事长)以及摩洛哥、巴西和国内多名专家学者在 *Postharvest Biol Tec*、*Ind Crop Prod*、*Applied Microbiol Biot* 和 *Front Microbiol* 等权威期刊多次引用和高度评价了此工作。

代表性论文专著目录：

序号	论文专著名称/刊名/作者	影响因子	年 卷 页码	发表时间年月日	通讯作者	第一作者	国内作者	SCI 他 引 次 数	他 引 总 次 数	知 识 产 权 是 否 归 国 内 所 有
1	Anti-fungal activity of <i>Citrus reticulate</i> Blanco essential oil against <i>Penicillium italicum</i> and <i>Penicillium digitatum</i> /Food Chemistry/Tao NG*,Jia L, Zhou HE	4.529	2014, 153:2 65-27 1	2014年 6月15 日	陶能国	陶能国	陶 能 国 ， 贾 雷 ， 周 海 恩	42	68	是
2	Chemical composition and antimicrobial activities of essential oil from the peel of bingtang sweet orange (<i>Citrus sinensis</i> Osbeck)/International Journal of Food Science & Technology/Tao NG*,Liu YJ, Zhang ML	1.64	2009, 44(7) :1281 -1285	2009 年 6 月 15 日	陶能国	陶 能 国	陶 能 国 ， 刘 跃 进 ， 张 妙 玲	19	42	是
3	Transcriptional profiling analysis of <i>Penicillium digitatum</i> , the causal agent of citrus green mold, unravels an inhibited ergosterol biosynthesis pathway in response to citral/BMC Genomics/Ouyang QL, Jing GX, Tao NG*	3.729	2016, 17: 599	2016 年 8 月 11 日	陶能国	欧 阳 秋 丽	欧 阳 秋 丽 ， 敬 国 兴 ， 陶 能 国	4	9	是
4	Citral exerts its antifungal activity against <i>Penicillium digitatum</i> by affecting the mitochondrial	4.529	2015, 178: 76-81	2015 年 7 月 1 日	陶 能 国、敬 国 兴	郑世 菊	郑 世 菊 ， 敬 国 兴 ， 王	8	18	是

	morphology and function/ <i>Food Chemistry</i> /Zheng SJ, Jing GX*, Wang X, Ouyang QL, Jia L, Tao NG*						笑, 欧阳秋丽, 贾雷, 陶能国			
5	Citral inhibits mycelial growth of <i>Penicillium italicum</i> by a membrane damage mechanism/ <i>Food Control</i> /Tao NG*, Ouyang QL, Jia L	3.496	2014, 41: 116-121	2014 年 7 月 1 日	陶能国	陶能国	陶能国, 欧阳秋丽, 贾雷	20	32	是
6	Antifungal activity of citral, octanal and α -terpineol against <i>Geotrichum citri-aurantii</i> / <i>Food Control</i> / Zhou HE, Tao NG*, Jia L	3.496	2014, 37: 277-283	2014 年 3 月 1 日	陶能国	周海恩	周海恩, 陶能国, 贾雷	17	41	是
7	Use of citral incorporated in postharvest wax of citrus fruit as a botanical fungicide against <i>Penicillium digitatum</i> / <i>Postharvest Biology and Technology</i> / Fan F, Tao NG*, Jia L, He XL	3.248	2014, 90: 52-55	2014 年 4 月 1 日	陶能国	凡凤	凡凤, 陶能国, 贾雷, 何湘丽	17	34	是
8	Octanal incorporated in postharvest wax of Satsuma mandarin fruit as a botanical fungicide against <i>Penicillium digitatum</i> / <i>Food Control</i> / Tao NG*, Fan F, Jia L, Zhang ML	3.496	2014, 45: 56-61	2014 年 11 月 1 日	陶能国	陶能国	陶能国, 凡凤, 贾雷, 张妙玲	7	15	是
合计								134	259	

主要完成人情况

姓名	排名	职务	职称	工 作 单 位	完 成 单 位	对本项目技术创造性贡献
陶 能 国	1	副院 长	教授	湘 潭 大 学	湘 潭 大 学	项目总负责人，指导课题组系统开展了柑橘精油化学成分鉴定和抑菌性能研究，揭示了萜类物质抑制柑橘采后致病菌的作用机制，开发了柑橘果蜡添加萜类物质防控柑橘果实采后病害的技术体系。对科学发现点1、科学发现点2和科学发现点3做出创造性贡献。担任8篇代表性论文的第一作者或通讯联系人，该研究工作占据本人当时工作量约80%
敬 国 兴	2	无	讲师	湘 潭 大 学	湘 潭 大 学	参与了主要发现点2中萜类物质影响指状青霉能量代谢和麦角固醇代谢部分的实验设计和论文撰写工作，参与本项目工作量占本人总工作量的50%，是代表性论文4的共同通讯作者，代表性论文3的主要贡献作者。
欧 阳 秋丽	3	无	无	湘 潭 大 学	湘 潭 大 学	硕博连读研究生，完成主要发现点2中萜类物质抑制指状青霉的分子机制部分内容，参与本项目的工作量占本人总工作量的80%，是代表性论文3的主要完成人，代表性论文4和5的主要贡献作者
郑 世 菊	4	无	无	山 西 鑫 中 大 生 物 科 技 有 限 公 司	湘 潭 大 学	主要负责创新点2中柠檬醛对指状青霉能量代谢影响的实验内容，参与本项目的工作量占本人总工作量的80%，是代表性论文4的主要完成人。
凡 凤	5	无	无	湖 南 天 氟 新 材 有 限 公 司	湘 潭 大 学	主要负责创新点3中果蜡添加柠檬醛和辛醛对果实病害发生和品质影响部分的实验内容，参与本项目的工作量占本人总工作量的80%，是代表性论文7和代表性论文8的主要完成人。

完成人合作关系说明：

本项目所有完成人陶能国、敬国兴、欧阳秋丽、郑世菊和凡凤在承担本项目时工作或学习单位均为湘潭大学。项目完成人属于同一课题组，第一完成人是第二完成人的博士后合作导师、第三完成人的博士生导师、第四、五完成人的硕士生导师。完成人项目主要合作方式为合作完成科研项目，合作发表学术论文等方式。各完成人之间的合作成果体现在代表性论文上。