

2026 年山东省科学技术奖公示内容

一、奖种：自然科学奖

二、项目名称：大白菜柱头识别并抑制远缘花粉的调控机制

三、提名者：山东省教育厅

四、提名意见：种间生殖隔离是物种演化的驱动力，也是远缘育种的瓶颈，限制了优异基因资源的开发利用。柱头如何广泛识别并排斥远缘花粉以维持物种边界，其遗传基础与调控机制至今仍是未解之谜，是十字花科作物远缘杂交领域的世界性难题。山东农业大学“十字花科蔬菜生殖机理及育种应用研究团队”长期围绕“远缘花粉的识别与抑制”这一核心科学问题，取得系列原创突破，鉴定出柱头识别远缘花粉的受体；阐明了柱头通过活性氧等下游信号通路执行生殖隔离的分子机制；创建了打破生殖隔离的关键技术。上述成果是远缘杂交领域的重要理论和技术突破，促进了野生优异基因资源的开发利用，具有广泛的科学意义和巨大的应用前景。

该项目组发表了我国白菜研究领域首篇 **Nature** 论文，入选"2024 中国农业科学重大进展"；相关研究成果也发表在 **Nature Communications**、**Current Biology** 等国际知名期刊，被誉为"里程碑式发现"；获授权发明专利 6 件，培育国审新

品种 2 个；团队培养国家级人才 7 人，为保障我国种源安全做出突出贡献。

我单位认真审阅了该项目提名书及其附件材料，确认真实有效，符合提名要求。

该项目已征求了邹学校（湖南农业大学，蔬菜学）、谢道昕（清华大学，植物生理学）、孙传清（中国农业大学，作物学）、赵建军（河北农业大学，蔬菜学）、张小兰（中国农业大学，蔬菜学）等 5 名专家意见。

提名该项目为 2026 年度山东省自然科学奖一等奖。

五、提名等级：一等奖

六、项目简介：

种间生殖隔离是物种演化的驱动力，却是远缘杂交育种的瓶颈，限制了其他物种优异基因资源的开发利用。十字花科作物涵盖大白菜、甘蓝等主要蔬菜（占我国蔬菜总栽培面积 30%以上）以及油菜（我国第一大油料作物，产油量过半），在我国农业生产中占据重要地位。对大白菜等十字花科作物而言，柱头是生殖隔离的第一道屏障，需要对不同来源的花粉精准识别并差异响应。既要抑制种内自花花粉以防止近交衰退（种内生殖隔离，也被称为自交不亲和），又要防御远缘花粉入侵以维持物种边界（种间生殖隔离），只有种内异花花粉才可以顺利萌发并通过柱头进入子房、完成受精。但种间生殖隔离的遗传基础与调控机制至今仍是未解之

谜，是十字花科作物远缘杂交领域的世界性难题。针对上述问题，该项目组以大白菜为主要研究对象，取得如下成果：

（一）率先发现柱头识别远缘花粉的受体，揭示其触发生殖隔离的分子机制，是远缘杂交领域的重大理论突破。

项目组率先揭示自交不亲和与自交亲和植物分别依赖两套受体系统识别远缘花粉。自交不亲和植物中，柱头 SRK 受体除识别自花花粉外，还能识别远缘花粉，两者均触发不亲和反应——特异性拒绝自花花粉，广泛排斥十字花科其他物种花粉。自交亲和植物因缺失 SRK，柱头依赖 FERONIA 受体对同种花粉的 PCP-Bs 信号进行物种特异性识别，优先启动亲和反应，使种内花粉萌发显著快于远缘花粉，从而维持物种边界。该成果首次阐明了柱头识别远缘花粉的受体，构建了“SRK-广谱排斥远缘”与“FERONIA-种内优先”的二元决策理论，是远缘杂交领域的重大理论突破，为攻克柱头屏障提供了理论基础，入选“2024 中国农业科学重大进展”。

（二）发现柱头执行生殖隔离的效应因子，为打破生殖隔离提供了关键靶点，是植物生殖生物学领域里程碑式的发现。

项目组阐明自花或远缘花粉被 SRK 识别后，触发柱头活性氧爆发，从而被严格抑制；清除活性氧打破生殖隔离，允许自花或远缘花粉生长；而增加柱头活性氧，就能抑制原本

可以正常生长的种内异花花粉，这表明活性氧是执行柱头生殖隔离的效应因子。进而发现，柱头生殖隔离强度并非一成不变：衰老或逆境诱导柱头乙烯积累，降低乳突细胞活性，削弱隔离强度以保障自交结籽；但过度衰老则丧失这一能力。进一步发现，柱头乳突细胞衰老进程并非同步——自噬活性较低的细胞可防止过度衰老，为迟来的花粉创造机会，实现隔离强度与繁殖保障的最优平衡。该成果系统阐明了柱头通过活性氧、乙烯及自噬等下游信号通路执行生殖隔离的分子机制，为打破种间隔离、创制远缘杂交种提供了关键靶点和理论依据。

（三）创建了基于效应因子的攻克柱头屏障技术，为解决远缘育种的世界难题提供新路径，显著加速了十字花科作物育种进程。

基于执行生殖隔离的效应因子，项目组发明了利用活性氧清除、乙烯处理或自噬抑制的技术，打破了十字花科作物的生殖隔离。在种间，成功获得大白菜与芝麻菜的远缘杂交后代，为创制具有芝麻香味的大白菜新品种提供了关键育种材料；在种内，使自交繁种效率平均提升 215%，成本降低 67%，表明该技术具有普适性，显著加速了十字花科作物育种进程。

相关成果系统阐明了柱头生殖隔离的遗传基础和调控

机制，突破了远缘育种瓶颈，是植物生殖生物学和育种学交叉领域的原创性发现。以通讯作者在 **Nature**、**Nature Communications**、**Current Biology** 等期刊发表论文 16 篇，授权发明专利 6 件，制定标准 3 项，培育国审大白菜新品种 2 个；培养长江学者、泰山学者青年专家等 7 人，成员获中国青年女科学家奖、**Wiley** 新锐科学家奖-生命科学奖项、齐鲁最美科技工作者等荣誉，具有重要国际影响力，为保障我国种源安全做出了突出贡献。

七、代表性论文专著目录：

序号	论文（专著）名称	刊名（出版社）	Doi /ISSN (ISBN)	发表（出版）时间	作者（按刊物发表顺序）	通讯作者（含共同）	第一作者（含共同）	他引总次数	检索数据库	通讯/一作(主编)是否为第一完成人	第一署名单位是否为第一完成单位
1	Stigma receptors control intraspecies and interspecies barriers in Brassicaceae	Nature	10.1038/s41586-022-05640-x	2023-02-09	Huang, JB; Yang, L; Yang, L; Wu, XY; Cui, XS; Zhang, LL; Hui, JY; Zhao, YM; Yang, HM; Liu, SJ; Xu, QL; Pang, MX; Guo, XP; Cao, YY; Chen, Y; Ren, XR; Lv, JZ; Yu JQ; Ding, JY; Xu, G; Wang, N; Wei, XC; Lin, QH; Yuan, YX; Zhang, XW; Ma, CZ; Dai, C; Wang, PW; Wang, YC; Cheng, F; Zeng, WQ; Palanivelu, R; Wu, HM; Zhang, XS; Cheung, AY; Duan, QH.	Cheung, AY; Duan, QH.	Huang, JB; Yang, L	113	Web of Science	是	是

序号	论文（专著）名称	刊名（出版社）	Doi /ISSN (ISBN)	发表（出版）时间	作者（按刊物发表顺序）	通讯作者（含共同）	第一作者（含共同）	他引总次数	检索数据库	通讯/一作(主编)是否为第一完成人	第一署名单位是否为第一完成单位
2	FERONIA receptor kinase-regulated reactive oxygen species mediate self-incompatibility in Brassica rapa	Current Biology	10.1016/j.cub.2021.04.060	2021-07-26	Zhang, LL; Huang, JB; Su, SQ; Wei, XC; Yang, L; Zhao, HH; Yu, JQ; Wang, J; Hui, JY; Hao, SY; Song, SS; Cao, YY; Wang, MS; Zhang, XW; Zhao, YY; Wang, ZY; Zeng, WQ; Wu, HM; Yuan, YX; Zhang, XS; Cheung, AY; Duan, QH.	Huang, JB; Yuan, YX; Duan, QH	Zhang, LL; Huang, JB; Su, SQ; Wei, XC; Yang, L	116	Web of Science	是	是
3	Exo84c interacts with VAP27 to regulate exocytotic compartment degradation and stigma senescence	Nature Communications	10.1038/s41467-023-40729-5	2023-08-14	Zhang, T; Li, YF; Li, CY; Zang, JZ; Gao, EL; Kroon, JT; Qu, XL; Hussey, PJ; Wang, PW.	Wang, PW.	Zhang, T	12	Web of Science	否	否

序号	论文(专著)名称	刊名(出版社)	Doi /ISSN (ISBN)	发表(出 版)时间	作者(按刊物发表顺序)	通讯作者 (含共 同)	第一作者 (含共 同)	他引 总次 数	检索 数据库	通讯/一 作(主编) 是否为第 一完成人	第一署 名单位 是否为 第一完 成单位
4	Programmed Cell Death in Stigmatic Papilla Cells Is Associated With Senescence-Induced Self-Incompatibility Breakdown in Chinese Cabbage and Radish.	Front Plant Sci	10.3389/fpls.2020.586901	2020-12-07	Huang J , Su S, Dai H, Liu C, Wei X , Zhao Y, Wang Z, Zhang X, Yuan Y , Yu X, Zhang C, Li Y, Zeng W, Wu HM, Cheung AY, Wang S , Duan Q .	Duan, QH	Huang, JB; Su, S	11	Web of Science	是	是
5	不同品种大白菜自交不亲和强度与柱头 ROS 含量的关系	山东农业大学学报(自然科学版)	10.3969/j.issn.1000-2324.2022.0	2022-10-28	赵欢欢, 张丽丽 , 黄家保 , 段巧红	段巧红	赵欢欢	5	中国知网	是	是
合计								257			

八、主要完成人：

段巧红、山东农业大学

原玉香、河南省农业科学院

杨琳、山东农业大学

王淑芬、山东省农业科学院

黄家保、浙江大学

张彤、山东农业大学

魏小春、河南省农业科学院

张丽丽、扬州大学

曹芸运、山东农业大学

主要完成单位：

山东农业大学

河南省农业科学院

山东省农业科学院

浙江大学

扬州大学