

山东省科学技术奖成果公示

成果名称：改性植物源材料包膜缓控释肥的创制与应用

提名单位：山东农业大学

项目简介：

缓控释肥是国家鼓励发展的新型肥料，已成为化肥减施增效、减少面源污染的有效途径。植物源膜材代替石化类膜材是国内外缓控释肥发展的必然趋势，目前植物源材料包膜缓控释肥的研发与应用存在以下三个问题：一是成膜机理不清、膜材改性技术缺乏，二是传统滴流式包膜工艺落后及装备包膜不匀、膜材浪费严重，三是区域性作物专用产品及高效施用技术研究较少。针对上述问题，课题组在国家科技支撑计划等项目的支持下，历经十余年攻关，创制了一系列改性植物源材料包膜缓控释肥产品，使我国跃居该研发领域的国际领先水平，取得以下创新：

1. 揭示了基于植物源材料创制的生物基聚氨酯膜材成膜机理，并提出了 3 项膜材改性技术，为植物源膜材的高效利用奠定了基础。

研究明确了秸秆、回收植物油等通过液化或醇化后制备出多羟基化合物，与异氰酸酯反应，生成生物基聚氨酯膜材的成膜机理，为生物基缓控释膜材的应用提供了理论依据；创新了在植物源膜材表面嫁接疏水有机硅化合物或纳米材料的技术，制备出超疏水生物基膜材，延长了养分控释期，进一步揭示了超疏水及养分控释机理；研发了高分子“网络互穿”改性技术，制备了“高致密”生物基控释膜，提高了其控释质量；明确了膜材缺乏韧性是导致膜壳易破裂的主要因素，研发了“膜材增韧”改性技术，制备了高弹性生物基控释膜，有效防止了膜壳破裂。上述研究为提高植物源膜材的养分控释质量提供了理论与技术支撑。

2. 发明了肥料颗粒表面优化、植物源膜材的高效雾化包膜技术，研制了相应装备，创建了连续、自动、精准化生产线。

发明了“以喷涂熔融尿素为底涂层的肥料表面处理技术”，节省膜材 30%；创新了高粘包膜液高效雾化的包膜技术，包膜均匀度提高 2 倍以上，颗粒粘连率由 3% 降低到 0.2%；创建了连续、自动、精准化的生产线，生产效率提升 20% 以上，综合能耗降低 20%。

3. 创制了纤维素和回收植物油两类改性植物源材料包膜缓控释肥，研发了系列区域作物专用肥及其施用方法，推动了新产品的大面积应用。

发明了以改性纤维素和回收植物油为主要膜材的两类包膜缓控释肥，实现了生物基膜材替代石化类膜材的技术飞跃；开发了与区域作物需肥规律相匹配的专用肥料产品，提出了其高效施用技术；制定了区域作物专用缓控释肥料推荐施用方法及田间肥效评价技术规程，为科学合理施肥及其评价提供了科学依据。

项目获授权发明专利 15 项，实用新型专利 3 项、中国专利优秀奖 1 项、软件著作权 4 项，发表论文 57 篇，SCI 收录 29 篇；制定行业标准 3 项、山东省地方标准 1 项、山东省农业技术规程 3 项；农业部缓释肥登记证 2 个，山东省缓释掺混肥登记证 39 个。近三年累计生产改性植物源材料包膜缓控释肥产品 69 万吨，配成作物专用缓释掺混肥

286 万吨，新增经济效益 70.6 亿元，在全国多种作物上累计推广 7150 万亩，节本增效 85.8 亿元，有力推动了新型肥料的产业技术进步，经济、社会和生态效益显著。

客观评价：

项目历经 10 余年攻关研究，在植物源膜材成膜机理和改性技术、工艺装备研发建设以及产品高效应用技术研发等三个方面取得了重大突破，形成了系统创新成果，得到广泛应用和普遍认可。

1. 成果评价

2019 年 11 月 8 日，山东农学会邀请朱兆良院士和张福锁院士等国内同行专家，对山东农业大学主持完成的“改性植物源材料包膜缓控释肥的创制与应用”成果进行了评价。评价委员会听取了课题组的汇报，审阅了有关资料，进行了质询和讨论，一致认为，该研究坚持理论与技术创新并重，创新了以秸秆、废旧纸板箱、回收植物油等为原料制备植物源缓控释膜材的技术并明确了其成膜机理；研发了超疏水、网络互穿和膜材增韧改性技术并揭示了其提高养分控释性能的机制；发明了核芯肥料表面处理技术，创制了植物源包膜液高效雾化包膜工艺技术，建成了连续、自动、精准控制的生产装置，为产业化生产提供了技术支撑，实现了改性植物源包膜缓控释肥替代石化类包膜缓控释肥的科技进步；创制了改性纤维素和改性植物油包膜的两类缓控释肥，在此基础上研发了系列作物专用缓控释肥产品，构建了区域作物专用缓控释肥推荐施用方法。经多年试验结果表明，项目产品具有增效、节肥、省工、环保等优点，经济、社会和生态效益显著。成果总体达到国际同类研究先进水平，在植物源缓控释膜材研发与改性方面处于国际领先水平。

2. 科技查新报告显示该成果具有 8 个方面的新颖性

经山东省农业科学院科技信息研究所对本项目的创新点进行了查新，显示具有以下创新点：（1）利用作物秸秆、废旧纸板箱、植物油等改性技术制备生物基包膜缓控释肥料；（2）研发了超疏水改性技术，揭示了由于水和膜壳界面“空气膜”的存在，是导致膜内养分释放减缓的机制；（3）提出了“网络互穿”改性技术并揭示了其机制；（4）研发了膜材增韧改性技术并揭示了其提高膜材养分控释特性的机制；（5）发明了以喷涂熔融尿素为底涂层的肥料核芯表面预处理技术；（6）研发了高粘生物基包膜液高效雾化包膜工艺技术；（7）制订了水稻种肥接触型控释氮肥全量施用技术规程（DB37/T 2555-2014）等；（8）开展了区域作物专用缓释肥料施用方法研究，制定了区域作物专用缓控释肥料推荐施用方法（软著登字第 3378244 号；登记号：2018SR1049149）及田间肥效评价技术规程 NY/T 3181-2018）。

3. 项目验收意见

2016 年 6 月 24 日，科技部组织专家对“十二五”国家科技支撑计划课题“缓控释肥关键共性技术与提升”（2011BAD11B01）进行了验收。专家组认为：项目研制出腐植酸与植物油脂复合包膜材料、水基聚合物反应包膜材料、秸秆液化树脂等新型膜材及系列产品；创立了缓控释肥释放率和释放期快速测定方法及低温模拟预测和田间实测相结

合的检测方法，完善了新型缓控释肥质量标准和检测评价体系。

4. 重要科技奖励

2014年12月获得第十六届全国专利优秀奖，“以喷涂尿素为底涂层的改性环氧树脂包膜控释肥料的制备方法”。

5. 检测报告

(1) 项目产品经山东省产品质量检验研究院检测，符合 Q/370900NDF017-2015《缓释肥料》标准，检验合格；经沈阳产品质量监督检验院检测，符合 GB/T21633-2008 要求。

(2) 经国家塑料制品质量监督检验中心和广东中科英海科技有限公司检测，项目产品的树脂包衣材料，其生物分解率均符合要求，证明该项目产品包膜材料易生物降解。

6. 行业及专家评价

(1) **中国植物营养与肥料学会评价：**项目组揭示了利用植物源材料制备生物基聚氨酯膜材的成膜机理，并研发了超疏水、网络互穿、膜材增韧 3 项膜材改性技术，为植物源膜材的高效利用奠定了理论与技术支撑；发明了肥料颗粒表面优化、植物源膜材的高效雾化包膜技术，研制了相应装备，创建了连续、自动、精准化生产线；创制了纤维素和回收植物油两类改性植物源材料包膜缓控释肥，研发了系列区域作物专用肥及其高效施用方法，推动了新产品的大面积应用及行业科技进步。

(2) 美国农业部 Gilbert. Sigua(美国农学会和土壤学会的 Fellow)评价：项目组在利用农业有机废弃物等研发缓控释肥料膜材领域的技术处于领先水平：They developed the novel approach to chemically functionalize organic wastes (e.g. palm oil, cotton seed oil, cotton straw, animal fat) from the agricultural industry as coating materials for producing controlled release fertilizers. Characteristics of coated fertilizers with these new materials were improved greatly. Their research progress is far ahead than any research groups including chemical companies on fertilizer technology which I have known.

These newly developed bio-based coating materials have many advantages compared to the petroleum-based coating materials which are currently used for controlled released fertilizers on the market. They are environmentally friendly, biodegradable and low-cost. They can easily be adopted by the fertilizer industry.

应用情况：

项目技术分别在山东农大肥业科技有限公司和金正大生态工程集团股份有限公司进行了整体转化，建成了生产装置 4 套。近三年累计生产改性植物源材料包膜缓控释肥产品 69 万吨，配成作物专用缓释掺混肥 286 万吨，新增销售额 70.6 亿元，新增利润 5.2 亿元，新增税收 7895.8 万元；在全国 30 多个省（区）的小麦、玉米、水稻、果树、蔬菜等作物上进行了大面积的推广应用，累计推广 7150 万亩。多年试验示范结果表明，减肥 20%-30%不减产，并可减少施肥次数，总节本增效 85.8 亿元。

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	农业有机废弃物改性为可降解膜的控释肥料及其制备方法	中国	ZL201610124899.7	2019.03.01	3274534	山东农业大学	杨越超, 张淑刚
发明专利	一种废旧纸改性包膜控释肥料及其制备方法	中国	ZL201410230859.1	2015.07.08	1721911	山东农业大学	杨越超, 张民, 耿毓清, 马丽
发明专利	种子保姆肥及其制备方法与应用	中国	ZL201210339551.1	2014.06.25	1427776	金正大生态工程集团股份有限公司	王敏, 陈剑秋, 李博, 刘文龙
发明专利	一种可降解缓释肥料	中国	ZL200910230290.8	2013.04.03	1168191	金正大生态工程集团股份有限公司	解玉洪, 陈剑秋, 李广涛, 陈德清
发明专利	大颗粒包膜控释肥料及其生产方法	中国	ZL201010151836.3	2012.06.27	982628	山东农业大学	杨越超, 张民, 张德志, 耿毓清, 马丽
发明专利	以尿素改性为易降解膜的包膜控释肥料及其生产方法	中国	ZL201310512970.5	2014.08.27	1469238	山东农业大学	张民, 陆盘芳
发明专利	一次性全量施用的水稻育苗控释氮肥及其制备方法	中国	ZL201110091052.0	2013.03.20	1154848	山东农业大学	杨越超, 张民, 耿毓清, 马丽, 陈剑秋
发明专利	一种氨基缓释复混肥料及其生产工艺	中国	ZL200910230531.9	2012.09.05	1040675	金正大生态工程集团股份有限公司	解玉洪, 陈剑秋, 陈德清, 李广涛
行业标准	聚合物包膜尿素	中国	HG/T 5517-2019	2019.08.02	中华人民共和国工业和信息化部	山东农大肥业科技有限公司 上海化工院检测有限公司 上海化工研究院有限公司 山东农业大学	刘赟, 丁方军, 郭新送, 张民, 孟庆羽, 吴昊, 刘卫, 刘琳琳
山东省地方标准	水稻种肥接触型控释氮肥全量施用技术规程	中国	DB37/T 2555-2014	2014.08.09	山东省质量技术监督局	山东农业大学 金正大生态工程集团股份有限公司 山东省产品质量检验研究院 临沂市产品质量检验研究所 山东农大肥业科技有限公司 临沂市产品质量检验研究所	杨越超, 张民, 张娟, 郑树林, 侯斌, 解兴元, 丁方军, 陈宝成, 李成亮

主要完成人情况:

序号	姓名	性别	出生年月	技术职称	文化程度	工作单位	对成果创造性贡献
1	杨越超	男	1974-03	教授	研究生/博士	山东农业大学	研究了膜材的成膜技术及机理，创新了改性技术，研发了系列产品，组织项目的整体实施
2	马学文	男	1963-04	教授	本科/学士	山东农大肥业科技有限公司	研发了首尾相连的多级连续包膜装置，对生产线的建设、产品的生产及销售推广有贡献
3	程冬冬	男	1983-02	副教授	研究生/博士	山东农业大学	研发了高效雾化喷涂包膜装置，攻克了生物基膜材难以喷涂包膜的技术瓶颈，并制定了新产品施用的地方技术规程 3 项
4	陈剑秋	男	1979-08	高级农艺师	研究生/博士	金正大生态工程集团股份有限公司	开展了可降解缓控释肥料的研制；研发了作物专用产品种子保姆肥参与生产线的建设等
5	马强	男	1961-07	高级农艺师	本科/学士	德州市农业科学研究院	对新产品高效施用技术及推广有贡献
6	胡斌	男	1978-09	高级农艺师	研究生/博士	山东省土壤肥料总站	对新产品高效施用技术、肥效评价及推广有贡献
7	张民	男	1958-07	教授	研究生/博士	山东农业大学	对膜材的制备技术及其肥效评价有贡献
8	刘之广	男	1987-06	副教授	研究生/博士	山东农业大学	包膜缓控释肥料肥芯颗粒表面改性装置的研究有贡献
9	徐洋	男	1988-10	农艺师	研究生/硕士	全国农业技术推广服务中心	对田间试验标准的制定和项目产品的推广有贡献
10	解加卓	男	1991-01	副教授	研究生/博士	山东农业大学	对膜材改性技术有贡献
11	申天琳	女	1985-04	副教授	研究生/博士	山东农业大学	研究了新产品对直播稻上的增产及其机制
12	王淳	男	1986-12	实验师	研究生/硕士	山东农业大学	对产品的室内测试、大田施用技术及肥效评价有贡献

主要完成单位及创新推广贡献:

(1) 山东农业大学是该项目的第一完成单位

研制出作物纤维素、植物油两类改性植物源材料包膜缓控释肥系列新产品；研发了3项膜材改性技术并揭示了其机理；突破了专用包膜工艺设备的核心技术创新；研发了多种作物专用缓控释肥产品，使产品养分释放与作物需求匹配更精准；研发了区域作物专用缓控释肥推荐及生产反馈系统，实现了产品需求和生产联动；创新了缓控释肥在多种作物上的高效施用技术，制定了多项地方标准和技术规程，为项目产品的产业化生产及推广应用提供了技术支撑；建立了多处田间试验示范基地，培养了大批农技人员，为产品的大面积推广应用做出了贡献；整体技术在多家单位转化后，取得了显著的经济、社会和生态效益。

(2) 山东农大肥业科技有限公司为项目第二完成单位

山东农大肥业科技有限公司为该项目的完成提供了优越的科研条件、部分资金和技术支持，建设了2套改性植物源材料包膜缓控释肥产业化生产装置，对自动化控制系统进行了深入研究，针对进料喷涂设备进行了部分改进，对肥料颗粒表面预处理技术进行了技术更新等。制定了聚合物包膜尿素的行业标准（HG/T 5517-2019），规范市场和产品的质量；借助公司已有销售网络在全国粮食主产区进行了推广应用，近三年在全国多种作物上累计推广控释掺混肥产品30万吨，直接销售改性植物源材料包膜缓控释尿素15万吨。推广应用结果表明，与等量的常规肥料相比，项目产品在减量1/3的条件下不减产，并可减少施肥次数，具有显著的经济和社会效益。

(3) 金正大生态工程集团股份有限公司为项目第三完成单位

金正大生态工程集团股份有限公司对改性植物源材料包膜缓控释肥工艺技术及产业化生产装置进行了系统性的研究，针对传统包膜装置难以适配生物基包膜工艺，自动化、规模化生产难等问题，研发了包膜溶液连续精准配制、膜材自动计量与输送一体化装置、可调式交叉喷涂、多段式变频转鼓等核心设备，开发了多点交叉喷涂多段式变频转鼓连续包膜生产装备，构建了连续化、精准化、信息化生产技术体系，建成了连续化、精准化、信息化程度较高的包膜缓控释肥生产工艺与装置，推动了我国化肥产业转型升级和行业技术进步；借助公司已有销售网络在全国粮食主产区进行了推广应用，近三年在全国多种作物上累计推广控释掺混肥产品196万吨。联合全国农技推广中心和多个省市土肥站，在全国进行了试验示范与推广，取得了显著的经济、社会和生态效益。

完成人合作关系说明：

自项目实施以来，山东农业大学、山东农大肥业科技有限公司、金正生态工程集团股份有限公司三家单位就包膜缓控释肥料进行了深入合作研究，形成了基础理论研究-产业化开发-推广应用的产学研协同创新体系，推动了国内包膜缓控释肥产业的发展和科技进步。针对缓控释肥包膜材料主要来源于石化产品，存在价格高、资源不可再生、难降解等问题，三家单位整体布局，组织骨干人员全面开展了以植物源材料为原料替代石化类膜材的研究，并深入和系统开展了植物源膜材的成膜机理、改性技术、关键工艺装备研发以及产品高效施用技术研究，最终在项目、论文、知识产权、标准、产品、高效施用及推广等方面取得了一系列的合作成果。

项目立项：项目完成人杨越超、张民、马学文等人共同合作开展“十二五”国家科技支撑计划项目研究（2011BAD11B01）；杨越超、张民、陈剑秋，胡斌，王淳、刘之广，申天琳等共同合作开展农业科技成果转化基金项目“水稻育苗专用控释氮肥的中试与示范”（鲁科字[2014] 183 号）的研究；杨越超、张民、马强、胡斌、陈剑秋等共同承担并完成了“水稻育苗专用控释氮肥的研制与应用”（验收证书 2009GG10006002）。

研究论文：杨越超、程冬冬、解加卓共同完成了研究论文“Magnetic-Sensitive Nanoparticle Self-Assembled Superhydrophobic Biopolymer-Coated Slow-Release Fertilizer: Fabrication, Enhanced Performance, and Mechanism”；杨越超、申天琳共同完成了研究论文“One-Step Synthesis of Superhydrophobic and Multifunctional Nano Copper-Modified Bio-Polyurethane for Controlled-Release Fertilizers with “Multilayer Air Shields”: New Insight of Improvement Mechanism”；张民、刘之广、王淳共同完成了研究论文“Combined application of polymer coated potassium chloride and urea improved fertilizer use efficiencies, yield and leaf photosynthesis of cotton on saline soil”；其余论文均有成果完成人员之间的相互合作。

知识产权：张民、杨越超等共同完成了发明专利“以淀粉液化改性的热固性树脂包膜控释肥料及其制备方法”；杨越超、张民共同完成了发明专利“一种废旧纸改性包膜控释肥料及其制备方法”；杨越超、张民、陈剑秋共同完成了发明专利“一次性全量施用的水稻育苗控释氮肥及其制备方法”；其余大部分知识产权均有完成人员之间的合作。

制定标准：张民、徐洋等共同完成了“缓释类肥料田间评价技术规程”的农业行业标准制定；杨越超、张民等共同完成了“水稻种肥接触型控释氮肥全量施用技术规程”的地方标准制定；张民与山东农大肥业科技有限公司的有关人员等共同完成了“聚合物包膜尿素”的行业标准制定；程冬冬与山东农大肥业科技有限公司的有关人员等共同完成了“夏玉米应用腐殖酸缓控释使用技术规程”制定。

成果奖励：杨越超、张民共同完成了专利“以喷涂尿素为底涂层的改性环氧树脂包膜控释肥料的制备方法”，并获得 2014 年中国专利优秀奖。

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者	合作时间	合作成果
1	共同立项	杨越超、张民、马学文	2011-2015	缓控释肥关键共性技术研究与提升
2	共同立项	杨越超、张民、陈剑秋，胡斌，刘之广，申天琳	2014-2016	水稻育苗专用控释氮肥的中试与示范
3	共同立项	杨越超、张民、马强，胡斌，陈剑秋	2009-2014	水稻育苗专用控释氮肥的研制及应用研究
4	论文合著	杨越超、程冬冬、解加卓	2017-2019	Magnetic-Sensitive Nanoparticle Self-Assembled Superhydrophobic Biopolymer-Coated Slow-Release Fertilizer: Fabrication, Enhanced Performance, and Mechanism
5	论文合著	杨越超、申天琳	2017-2019	One-Step Synthesis of Superhydrophobic and Multifunctional Nano Copper-Modified Bio-Polyurethane for Controlled-Release Fertilizers with "Multilayer Air Shields": New Insight of Improvement Mechanism
6	论文合著	张民、刘之广、王淳	2014-2016	Combined application of polymer coated potassium chloride and urea improved fertilizer use efficiencies, yield and leaf photosynthesis of cotton on saline soil
7	共同知识产权	杨越超, 张民	2012-2015	一种废旧纸改性包膜控释肥料及其制备方法
8	共同知识产权	张民,杨越超	2011-2014	以淀粉液化改性的热固性树脂包膜控释肥料及其制备方法
9	共同知识产权	杨越超、张民、陈剑秋	2009-2013	一次性全量施用的水稻育苗控释氮肥及其制备方法
10	制定标准	张民、徐洋	2015-2018	缓释类肥料田间评价技术规程