

□□ 农民日报·中国农网记者 王泽农

纳米农药可以称之为植保界“新贵”。2019年，在业内拥有至高权威的国际纯粹与应用化学联合会首次公布未来将改变世界的十大化学新兴技术，纳米农药位居首位。依靠自主创新技术，目前我国在纳米农药技术工业化方面走在了世界前列。

中国农业科学院植物保护研究所研究员黄啟良在参考了众多权威文献后对纳米农药进行了初步定义：纳米农药是指基于一定的有害生物防控场景，通过功能材料与纳米技术，使农药有效成分在制剂和使用分散体系中，以纳米尺度分散状态稳定存在，并在使用时能发挥出区别于原剂型应用性能的农药制剂。

2022年1月29日，农业农村部会同国家有关部门制定的《“十四五”全国农药产业发展规划》印发实施，明确指出，鼓励纳米技术在农药剂型上的创新应用，充分利用新工艺、新技术，大力发展水基化、纳米化、超低容量、缓释等制剂。

四年前，农业农村部制定的《农业绿色发展技术导则(2018—2030)》，已将纳米农兽药产品列入新型绿色投入品储备目录；去年5月，我国《农药纳米制剂产品质量标准制修订规范》由中国农业科学院植物保护研究所、农业农村部农药检定所和南京善思生态科技有限公司等单位起草，去年12月已通过专家审定，正式推出应该不会太久。

据了解，中国农业科学院在国内较早开展纳米科技与农业科学的交叉研究，在纳米药物设计原理、增效机理、制备技术与工艺集成等方面，形成了一批具有完全自主知识产权的创新成果。而南京善思公司是一家率先实现纳米农药产业化的企业，所生产的纳米农药水性制剂已在19省200余县18种作物上进行示范与应用，防效提高的同时实现了农药减量20%以上。

纳米农药时代要来了吗？植保行业正在迎来新风口？本报记者连线采访多位业内专家，对这一新生事物进行分析解读。

剑指农药滥用顽疾，完善植保托管体系

为什么说纳米农药是改变世界的新兴技术？让我们先从我国家植保体系的痛点说起。

随着农业生产经营模式不断向集约化、社会化转变，农业生产托管服务逐渐成为趋势。农业生产托管服务涉及耕地、播种、病虫害防治、收割等四个环节，即“耕种防收”。目前国内的耕、种、收环节基本实现机械化，然而病虫害防治的植保部分，却成了“卡脖子”的环节。

植保环节的技术含量最高、用工最多、劳动强度最大、风险控制最难，是全面实现农业现代化的关键一环。我国整体气候条件复杂，病虫害发生率高，而且类型多样，多数作物生长周期一般需多次防治。据统计，中国常见农业害虫有739种、病害775种、杂草109种，防治难度大，防治技术要求高。

江苏省植保植检站站长田子华认为，传统农药制剂从厂家到田间地头，整个过程就是一个商品流通过程，缺少技术服务。农药经销商和农户为了确保防治效果，随意加大农药使用量，这也是导致农药超量使用、生态环境污染、农产品农药残留超标等顽疾的重要原因。要改变这种状况，必须从根本上改革农药经营体系的商业逻辑，从“卖农药”变为“卖服务”，要把用药权集中到专业技术人员手中。因此，市场急需优质第三方服务商解决植物保护环节的痛点，补齐农业生产托管的短板。

随着以减控农药化肥施用量为特点的绿色农业发展，无人飞机植保快速进入农业托管服务中，作业量稳步增长。资料显示，2010年国内出现了首款商业化的油动单旋翼植保无人飞机，2016年“化学肥料和农药减施增效综合技术研发”重点专项项目“地面与航空高效施药技术及智能化装备”启动，推动了无人飞机植保行业装备和应用技术的全面研发。无人飞机植保技术具有高效和降低人工操作环境毒性等显著特点，深受种植户青睐，农业生产托管组织纷纷采用植保无人飞机喷洒农药的方式替代人工喷药，以节省成本、提高效率、提高病虫害防治效果。

不过，新的痛点又出现了。因需同时防治多种靶标害虫，植保无人飞机作业过程中要多种农药同时混合喷洒，但由于农药及其制剂在物质溶解上的特殊性，定制化的农药混配服务一直难以很好地解决。

行业的痛点即是机会。基于对实践应用的观察，田子华认为，“纳米农药技术的出现，完美解决了一些农药难溶、不溶于水的问题，使不同类型的农药混配服务成为可能，也满足了无人飞机这种低容量、细雾滴施药器械的要求。”

2020年8月，中国工程院院士宋宝安、中国科学院院士邓子新，以及农业农村部种植业司、农药检定所、全国农技推广服务中心、国内著名高校和科研院所等40余位专家，在中国农业科学院植物保护研究所主办的“2020年纳米农药科学论坛”上，专门论证了纳米农药技术的科学性和适用性，认为“农药纳米化是现代农业植物保护领域新兴技术，纳米农药是植保无人飞机高效作业适宜剂型和配套农药产品”。

记者在采访中了解到，定制化纳米农药混配服务已经在一些地方试验示范，正悄然改变着农民传统的农药使用方式。

“作为基层农技人员，我们认为这是一种有望彻底解决农药滥用顽疾的良方。”江苏省睢宁县植保植检站站长张欣芳说，在定制化纳米农药混配服务打药现场，看不到之前常见的各种农药瓶瓶罐罐，也没有费力搅拌各种农药的场面。只需一名无人飞机手把为这块田“量身定制”的透明纳米农药倒入水中，略加搅拌即可，20亩地的兑水配药时间只需要一分钟。而以往在打药现场，将各种传统农药进行桶混，至少需要两人花费10分钟以上的时间。

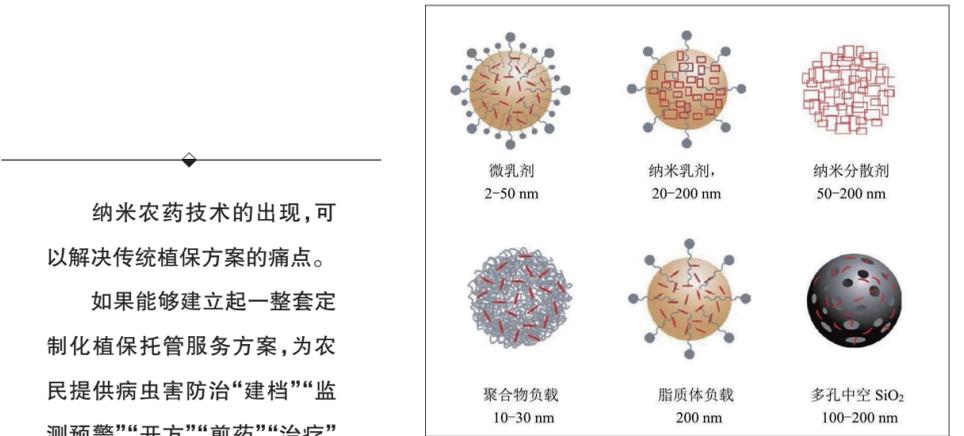
他举例说，前期经过技术专家田子华，发现某块地里的水稻处于分蘖盛期，纹枯病处于始盛期，田间有二化螟，经专业认证的“作物医生”开出“处方”，决定选用甲维盐、吡虫啉、噻虫酰胺、戊唑醇等药剂品种，

纳米农药，植保方式的一场革命？



当前正是春季麦田管理关键期。3月8日上午，河南省焦作市武陟县大虹桥乡的麦田上空，无人植保机正在将雾状除虫剂、营养剂等药物均匀地喷洒在麦苗上。

李鹏 摄



纳米农药类型示意图。

纳米农药技术的出现，可以解决传统植保方案的痛点。如果能够建立起一整套定制化植保托管服务方案，为农民提供病虫害防治“建档”“监测预警”“开方”“煎药”“治疗”的全流程植保托管服务，对传统的植保方式而言无疑是一场革命。



这种传统的人工喷药方式正在被无人植保机取代。 资料图

由农药生产车间进行“代煎”，通过纳米农药复配技术，将以上多种药剂品种的单剂合理混配，再通过物流发至田间地头。

睢宁县种植大户张勋反映，这种定制化的纳米农药混配服务非常省心，“一站式”解决病虫害防治问题，整个过程轻松省心、绿色安全，解决了以往自己不知道买什么农药，搞不清打多少药量，不知道怎么配药，以及配药过程毒性大的烦恼，“纳米农药效果好、使用简便不说，还安全环保。”

南京善思生态科技有限公司总裁梁冰说：“从实践看，纳米农药不仅能实现单剂型农药的升级，还能实现多元农药的稳定复配，复配后的农药制剂表现透明、热力学稳定，可储存一到两年以上，这就为农药的远程定制化生产提供了可能。”

业界人士认为，如果能够建立起一整套定制化植保托管服务方案，为农民提供病虫害防治“建档”“监测预警”“开方”“煎药”“治疗”的全流程植保托管服务，对传统的植保方式而言无疑是一场革命。

由此判断，植保行业的风口已来临。据估算，这是一个千亿级的市场蓝海。谁能率先抓住机会？让我们拭目以待。

把农药微粒“研碎揉细”，在害虫的视界里铺天盖地

相同的农药有效成分，纳米化后防治效果就能大幅提高；不同类型农药难以混配使用，纳米化后难题就迎刃而解。这其中的道理是什么呢？不妨先让我们把视线转到荷塘——

不少人对《爱莲说》里的名句“予独爱莲之出淤泥而不染，濯清涟而不妖”耳熟能详，但你知道为什么莲叶具备这么“清新脱俗”的自洁效应吗？现代科学研究发现，这种自洁效应与莲叶表面的结构有关。

在超高分辨率显微镜下可以看到，莲叶表面上有许多微小的乳突。乳突的平均大小约为10微米，平均间距约12微米，每个乳突由许多直径为200纳米左右突起组成。就好像叶面上布满隆起的小疙瘩，上面又长满更小的疙瘩，这种结构使凹陷部分充满着空气，这样就在紧贴叶面上形成一层极薄、只有纳米级厚的空气层。在尺寸上远大于这种结构的灰

尘、雨水等降落在叶面上后，隔着一层极薄的空气，只能同叶面上的若干点接触。雨点在自身的表面张力作用下形成球状，水球在滚动中吸附灰尘，并滚出叶面——这就是自洁效应的奥妙所在。

莲叶的这种自洁效应跟纳米农药有一个相同的关键词：纳米。纳米是长度的度量单位，是毫米的百万分之一。1纳米比单个细菌的长度还要小得多，而水分子直径大约0.4纳米。物质在纳米级别的微观世界可以发生很多奇妙的变化，正是因为出现了让农药有效成分微粒缩减到原来的百分之一、千分之一的纳米技术，才使得治理农药滥用顽疾的愿景成为可能。

暨南大学博士生导师、南京知行纳米科学研究院纳米农药首席科学家张子勇教授接受记者采访时解释说，“影响农药制剂发挥药效高低的一个的重要因素，就是有效成分在喷洒以后，最终形成的微粒尺寸的大小。农药微粒尺寸越小，表面积越大，在作物叶面上分散越均匀，接触生物靶标越充分，药效发挥就越高。”随着农药微粒的尺寸减小，微粒数量和表面积会急剧增加，例如，农药微粒由一微米减小到一纳米，相同质量农药的微粒数量就会增加十亿倍，表面积增加一千万倍。

想象一下，在害虫的视界里，巨大而稀疏的农药颗粒远远比不上铺天盖地的细小农药粉尘那么可怕；同样的空间、同样的投药量，覆盖范围突然多出了千倍的差别，那是一个多么“令虫窒息”的存在啊！

张子勇教授表示，发展纳米农药是时代的需要，它可助力实现农业生产“安全、经济、环境友好”，实现农药用量“零增长”和绿色防控，某种程度上，也是飞防药剂发展的未来方向。“农药减量增效可以有不同的途径，比如使用高效低毒来代替高毒低效的农药。但是当农药的品种不变时，如何增效？最有效的途径应该是尽可能减小农药有效成分的微粒尺寸，从通常的微米量级减小至尽可能小的尺寸——纳米量级。”传统农药的载药粒子粗大，有分散性差、稳定性差、生物活性低、降解缓慢等缺点，靶标作物利用率不到30%，有害生物受药量不足0.1%。有数据统计，在田间喷洒过程中，因药滴滚落、粉尘飘移、雨水冲刷等造成的药剂流失高达70%以上。

中国农业科学院植保所研究员、农药剂型专家黄啟良说，纳米乳剂、纳米悬浮剂及纳米分散剂，均可适用于植保无人飞机等低容量喷雾。另外，通过纳米技术和控释技术制备的缓释颗粒剂，可结合农艺模

式，进行药种同播、药肥同施、精量撒施等根部隐蔽控释给药。也可在生长期根据病虫害防治需要精量定点撒施，从而共同构建以作物健康为中心的解决方案，或以有害生物全程协同防控为目标的技术体系。

业内人士普遍认可，飞手比喻“好枪配上了好子弹”

“植保站提供了纳米农药，让我做一个500亩的水稻试验示范。用了才知道，既节约了配药时间，防治效果又好。用了纳米农药，好比给一把好枪配上了好子弹。”云南西双版纳的植保无人飞机飞手庄林海说，“以前用传统农药，常遇到喷头堵塞、喷洒不均匀的问题，有时候配好药装好后刚飞出去，就被塞住，不得不返回来清理。本来一架飞机一天可以作业300亩，因为不时要清理喷头，就只能作业150亩了，不仅拖慢了作业速度，还影响了病虫害的及时防治。”

在黑龙江五常乔府大院农业现代产业园育种基地，技术员老刘高兴地说：“纳米农药解决了稻花香水稻抗病抗倒伏问题，提高了出米率。水稻收获季节，感受特别明显，稻穗上下一样，哪儿都没有瘪粒；再看稻秆，都是活秆、绿的、有弹性，不容易倒。种稻花香有几件愁人的事，一是容易倒伏，二是好得稻曲病，容易起污霉，还容易得纹枯病。这不，都解决了！”

“纳米材料因其尺寸小、结构特殊，而具有许多新的理化特性，这些特性使纳米科技给农业药物领域带来革命性的变化。”中国农业科学院农业纳米研究中心主任、农业环境与可持续发展研究所研究员崔海信说，利用纳米载体的小尺寸效应、界面效应、隧道效应、靶向传输与控释功能，可将药物定时、定量或动态地传递到作用靶标，最大限度地提高利用率。

农业农村部南京农业机械化研究所副研究员秦维彩披露的纳米农药在水稻的室内测试具体数据，专业而又直观：1升传统农药脲菌酯·戊唑醇水分散剂药液加入5毫升助剂，在水稻叶面上的附着展开时间是1.8秒，而不加助剂的脲菌酯·戊唑醇纳米农药则会非常迅速地铺附附着，说明纳米农药药液的表面张力很低，更容易在作物叶面上均匀分散；对小

麦白粉病防治喷药后7天调查显示，纳米农药80%、100%用量防效均好于常规农药防效。

经过测试，对油菜菌核病的防治效果，植保无人飞机施药防治菌核病效果总体要高于人工背负式弥雾机防治效果，不同药剂及剂型条件下，植保无人飞机每秒时5米的效果要优于每秒时4米的效果；雾滴大小对防治效果有较大影响，小雾滴总体要优于大雾滴；植保无人飞机施纳米农药航空植保专用药剂能更好地喷施小雾滴，有利于药液对靶沉积，药效更好。

纳米农药的优势在多地试验中得到反复验证——云南省农业科学院研究员赵雪晴说，2018年在勐海试验示范纳米农药防控水稻病虫害，对稻飞虱和水稻螟虫的防效为98%，对水稻穗颈稻瘟的防效为80%至90%，每亩水稻全季减少3次用药，亩用药成本减少45元。

江西省植保植检局王希说，纳米农药水性制剂在水稻分蘖盛期和破口抽穗初期施药二次，能较好地防治水稻主要病虫害。瑞昌市稻飞虱、稻纵卷叶螟、二化螟、纹枯病的防效均高于对照药剂和农民自防区，且和农民自防区的差异显性明显。说明纳米农药可以有效减少农药使用量，试验药剂对水稻生长安全，对天敌及有益生物未见明显不良影响。

江苏省土地流转程度达到60%，拥有飞防无人飞机近万架，纳米农药的应用场景相对较多。田子华说，制剂水性化、纳米化，不使用或少使用有机溶剂，将纳米农药和无人飞机结合起来，是当前很好的植保方式，实际使用中可减少农药使用量30%以上。在稻麦病虫害防治关键期，将药剂进行二元、三元甚至更多元复配进行飞防，传统农药会出现很多问题，但纳米农药多元混配技术就可以解决。近几年，纳米农药在扬州、泰州、淮安等地都进行了试验示范，防治效果都不错。

记者了解到，近年来我国农业纳米创新研发团队开发了一批绿色纳米农药新剂型，并结合国家重点科研专项化肥农药“两减”项目实施，开展了一系列试验示范，实验效果证明纳米农药可增强药效功能、提高防效、减少农药用量、延长持效期，具有良好的推广应用前景。

全国农技推广服务中心首席专家王凤乐建议，加强科研单位、生产企业、推广部门等对接协作，开展纳米农药应用技术集成优化，探索我国主要农作物纳米农药使用技术集成解决方案。

纳米农药不是PM2.5，规范管理可确保农产品及环境安全

据张子勇教授介绍，2007年以前，可称为纳米农药的起步探索阶段，到2015年是实验室创新研究阶段。在一个时间段中，国际刊物发表纳米农药学术论文的统计表明，美国、印度各占24%，我国则占到28%，处于国际领先水平。2015年至今属于第三个发展阶段，这一时期我国纳米农药发展出现质的飞跃，纳米农药的产业化进程加快。由于纳米农药技术应用到无人飞机航空植保领域，完美解决了现有农药剂型的短板——超低容量喷雾稀释药液的不稳定性、多靶标防治所需多元农药复配过程与稀释药液的不稳定性等关键难题。

然而，纳米农药毕竟是个新生事物，社会各界了解不多、疑问不少。有人会问，纳米农药会不会像PM2.5那样长时间悬浮在空气中，危害人们的健康呢？纳米农药微粒尺寸那么小，无人飞机喷施时的雾滴又那么细，不是更容易产生飘移吗？使用效果会好吗？

对此，张子勇教授解释说，PM2.5是指环境空气中直径小于或等于2.5微米的颗粒物，它的分散介质是空气，属于气溶胶。纳米农药乳液的分散介质是水，属于胶体溶液。纳米农药微粒尺寸虽然比PM2.5小，但它是分散在至少也在80微米的液滴中，这一尺寸要比PM2.5大30倍以上，因此更容易下落，难以悬浮在空气中。

“其实，纳米农药微粒的尺寸再小，也在1纳米以上，总是还大于溶于水中的农药分子的尺寸。假设纳米农药的尺寸是2纳米，则雾滴尺寸是它的4万倍。这就像2毫米的米粒包含在一个80米直径的大液滴中，里面分散了无数米粒。球的表面排满了吸附的表面活性剂分子，里面的纳米农药粒子即使想逃出都难。”

2018年生态环境部南京环境科学研究所曾对纳米农药水性制剂全程植保水稻进行了全程跟踪和检测。对无人飞机喷洒纳米农药过程的测试结果显示，以无人飞机飞行的中线为准，喷洒的药液有90%降落在10米以内，使用效果也是可以保证的。

那么，纳米农药的安全性有保证吗？“农药制剂本身就具有生物学和环境毒性，我们就是利用这一特性对防治对象进行杀灭和控制，只不过希望在对防治对象杀灭的同时，对其他生物和环境的毒性要小或在合理范围。”张子勇教授告诉记者，纳米农药和传统农药制剂一样，都要使用助剂、溶剂，包括水、有的还要使用载体物质。这样，纳米农药制剂是否对环境友好和安全，就取决于使用的助剂、溶剂以及载体物质的毒性。“只要做到除农药原药之外使用的所有物质都是低毒、无毒，环境友好，可生物降解的，甚至农药原药本身对环境风险也低，那么就可以实现绿色纳米农药的发展。”

中国科学院院士宋宝安、中国科学院院士邓子新、欧洲科学院院士兰玉彬等专家都表示，为推动我国纳米农药的健康发展，需要加大政策引导与扶持力度，规范纳米农药管理，强化纳米农药的质量控制、风险评估和安全管理。

张子勇教授表示，事实上，纳米技术在保持农业产量的同时使得农药明显减量本身，就降低了对生态环境的安全隐患。对纳米农药使用的跟踪资料显示，连续5年全程纳米农药植保水稻生产的大米，对所有使用的农药品种进行检测，均为农残“未检出”。这表明纳米农药在减量的同时，完全可以生产出安全农产品。