

◆ 专论:纳米农药(特约稿) ◆

纳米农药风险评价研究进展

张文博^{1,2}, 潘兴鲁^{2*}, 吴小虎², 徐 军², 董丰收², 郑永权^{2*}

(1. 天津农学院园艺园林学院, 天津 300384; 2. 中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193)

摘要: 纳米农药是纳米科技在农业领域的新突破, 在提高农药生物活性、增加农药持效性、实现智能控释、减少农药使用量等方面优势显著。与传统农药相比, 其更好的溶解度和生物利用率可能引起潜在的环境风险和健康风险。本文系统梳理了纳米农药的发展现状、存在的环境风险和健康风险, 以期对纳米农药登记管理、科学使用和安全评价提供参考和建议。

关键词: 纳米农药; 环境风险; 健康风险; 纳米载体

中图分类号: X 82; TQ 450 文献标志码: A doi: 10.3969/j.issn.1671-5284.2023.02.005

Research Advance of Nanopesticide Risk Assessment

ZHANG Wenbo^{1,2}, PAN Xinglu^{2*}, WU Xiaohu², XU Jun², DONG Fengshou², ZHENG Yongquan^{2*}

(1. College of Horticulture and Landscape, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China; 2. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract: Nanopesticide is a breakthrough of nanotechnology in agricultural science, and has remarkable advantages in improving bioactivity, increasing efficacy, controlling release, and reducing usage of pesticides. Compared with the traditional formulation, nanopesticide may induce potential environmental risk and health risk because of higher solubility and bioavailability. In this study, the current situation, environmental risk and health risk of nanopesticide were reviewed to provide reference for registration, scientific use and risk assessment.

Key words: nanopesticide; environmental risk; health risk; nanocarrier

农药是农业生产中重要的生产资料, 目前依然是控制农作物病虫害最直接、最有效的手段, 在全球粮食生产过程中发挥着不可替代的作用。据WHO统计, 到21世纪80年代全球人口将超100亿, 这要求全球粮食产量在当前的基础上至少增加50%^[1]。不断减少的耕地面积和不断增加的粮食需求, 要求更多的或更有效的植保产品投入使用。但是, 为了追求产量, 盲目、不科学地使用农药, 会给生态安全和人类健康安全带来不可估量的危害。

近年来, 纳米科技在农业领域发展迅速, 已经在新型农药制剂、肥料、生物传感器、植物生长调节剂、土壤修复等多个领域广泛应用^[2]。纳米农药是指利用纳米材料或者纳米制备技术与设备, 将原药、载

体、助剂等配制成纳米尺度的新剂型。目前, 在纳米农药制备、表征及有效性方面已有大量的研究报告。相对于传统常规农药, 纳米农药可增加农药运输储藏过程中有效成分的稳定性, 可提高田间喷施过程中有效成分的延展性、湿润性和靶标吸附性^[3]; 另外结合纳米材料可实现有效成分的智能控释。Melanie等^[4]系统分析了已经报道的78篇关于纳米农药有效性的文章, 结果表明纳米农药对靶标生物的防治效果相对传统农药提高了20%~30%。在农业生产中, 纳米农药可通过提高药效和减少流失来提高农药利用率, 减少有效成分施用量, 符合农业可持续发展的要求。

任何一项新技术都有两面性, 纳米农药也不例外

收稿日期: 2023-03-01

作者简介: 张文博(1996—), 男, 河南洛阳人, 硕士, 研究方向为农药残留与风险评估。E-mail: zhangwenbo082@163.com

通信作者: 郑永权(1962—), 男, 广东高州人, 博士, 研究员, 主要从事农药残留与环境毒理研究。E-mail: zhengyongquan@ippcaas.cn

共同通信作者: 潘兴鲁(1990—), 男, 山东莱州人, 博士, 副研究员, 主要从事农药残留与农药应用风险评价研究。E-mail: panxinglu@caas.cn

外。虽然纳米农药可以通过减少农药有效成分施用量而减少环境和人群在农药中暴露量,但是纳米农药可能通过提高有效成分生物有效性、改变有效成分富集代谢行为或作用机制增加了潜在的环境风险和健康风险。另外,纳米材料本身以及纳米材料与农药有效成分组成的复合物对环境安全和人类健康的影响也存在不确定性。目前,我国还未有纳米农药取得登记和商业化,主要是由于目前现有的农药登记风险评价方法是否适用于纳米农药还有待商榷。本文系统梳理了目前纳米农药研发及其环境风险和健康风险研究现状,旨在为纳米农药的科学使用和准确评价提供依据。

1 纳米农药研发现状

目前研究较为充分的纳米农药主要可以根据制备方法分为2种,第1种是将农药活性成分直接加工成纳米尺度的粒子,属于非载体型纳米农药;第2种是利用有机聚合物、脂质体和二氧化硅等纳米载体,通过吸附、偶联、包裹等形式负载农药有效成分,制备成载体型纳米农药。

1.1 非载体型纳米农药

非载体型纳米农药是通过机械破碎的手段将农药有效成分研磨加工成纳米级的粒子,主要包括微乳剂、纳米乳和纳粉散体等纳米制剂。微乳剂研发于20世纪70年代,粒径最低可达30 nm,由于具有较好的分散性,药效一般优于其他传统剂型。李芸芸等^[9]研究发现5%己唑醇微乳剂对水稻纹枯病的防效显著高于商业化的10%己唑醇乳油。纳米乳与微乳剂组成成分相同,但纳米乳是热力学不稳定的胶体分散体系,粒径通常在20~200 nm之间。Feng等^[6]采用低能乳化法制备了2%阿维菌素纳米乳制剂,与阿维菌素传统剂型乳油和微乳剂相比,纳米乳剂表现出更好的润湿性和扩展性,并显著提高了对小菜蛾(*Plutella xylostella*)的杀虫活性。Lim等^[7]制备了草甘膦异丙胺盐纳米乳剂,能够显著增强草甘膦在杂草叶片的穿透性,提高除草活性。纳米分散体是农药有效成分以纳米级尺度分散于水中形成的纳米混悬剂,粒径通常为50~200 nm。Cui等^[8]采用微沉淀与冻干技术制备了阿维菌素纳米分散体,相对微乳剂来说,纳米制剂的抗光解性能提高2倍,对小菜蛾的生物活性提高1.5倍以上。

某些纳米金属及其氧化物本身具有杀虫抑菌活性,被视为一种特殊的非载体型纳米农药开发使用。Kumari等^[9]研究发现银纳米颗粒处理后的番茄

早疫病菌(*Alternaria solani*)孢子数、脂质过氧化、脯氨酸含量和超氧化物歧化酶含量分别比未处理的感病番茄植株降低了48.57%、30%、39.59%和28.57%,主要是由于银纳米颗粒能够直接杀死病原体、提高光合效率、提高植物抗性、降低胁迫参数和胁迫酶活性;Guilger-Casagrande等^[10]研究发现生物合成纳米银颗粒可以显著抑制核盘菌(*Sclerotinia sclerotiorum*)的菌丝体生长;Cruz等^[11]发现0.75 mg/mL纳米铜对小圆胸小蠹-真菌共生体的生长抑制率高达60%,小圆胸小蠹后代繁殖率与纳米铜的浓度线性相关,纳米铜被认为是控制小圆胸小蠹-真菌共生体的潜在有效防治方法。

1.2 载体型纳米农药

载体型纳米农药主要利用纳米载体通过吸附、偶联、包裹等方式装载农药,制备纳米微囊、纳米微球、纳米胶束、纳米凝胶等农药剂型。纳米微球是农药活性成分均匀地分布在纳米载体材料中,而纳米微囊则是农药有效成分被纳米材料组成的外壳包裹其中;纳米胶束是过量表面活性剂在水中自组装形成的胶体溶液,纳米凝胶是具有三维结构的交联聚合物纳米颗粒^[12]。载体型纳米农药最突出的特点就是利用纳米材料特殊的物理化学性质改变农药有效成分本身的行为特征,实现靶向运输和可控制释放。Xiang等^[13]以多孔碳酸钙为载体制备了扑草净纳米微球,与传统剂型相比,纳米微球载药体系减少了有效成分的淋溶,提高了农药的有效利用率;Xu等^[14]利用羧甲基壳聚糖制备了咪菌酯纳米微囊,实现了基于环境pH控制释放,在酸性环境下释放速率最慢,对番茄晚疫病病菌(*Phytophthora infestans*)的抑制活性显著优于有效成分本身;Zhang等^[15]利用两亲性嵌段共聚物-(环氧乙烷)-*b*-聚(己内酯)(PEO-PCL)作为胶束载体,制备了一种植物源农药蓖麻碱纳米制剂,其能减小与朱砂叶螨(*Tetranychus cinnabarinus*)的接触角,从而表现出优异的杀螨活性。

2 纳米农药环境风险

农药登记使用之前,都要经过严格的环境风险评价,包括环境归趋,对非靶标生物影响,对水生生物、鸟类、蜜蜂、家蚕和节肢动物等非靶标生物进行急性毒性、短期毒性、慢性毒性、生殖毒性、种群丰度和生态系统稳定性等系统性的评价。相对于常规农药剂型,纳米农药对环境的毒性效应可能会受到纳米材料本身的毒性及理化性质、暴露途径和环境行为等因素的影响而发生改变。目前还没有建立纳

米农药环境风险评价方法和程序,但国内外关于纳米农药毒性效应的研究逐渐受到重视。

2.1 纳米农药对土壤生物的影响

纳米农药对土壤生物的影响主要与纳米制剂在土壤中的迁移性、生物有效性、降解能力、纳米材料和有效成分本身的毒性相关。当纳米农药进入土壤后,纳米农药在土壤中的迁移性主要取决于其表面的电荷、阳离子种类以及土壤类型,另外土壤对农药的吸附能力也会发生改变,这可能会影响农药对土壤生物的毒性。Jacques等^[16]以秀丽隐杆线虫(*Caenorhabditis elegans*)为模式生物,评价了由固体脂质纳米颗粒、聚合物纳米颗粒和壳聚糖/三聚磷酸盐等3种材料制备的莠去津纳米微囊的环境风险,结果发现3种纳米制剂对秀丽隐杆线虫的发育毒性是由纳米颗粒本身引起的,与是否负载农药无关,固体脂质纳米颗粒毒性最大,壳聚糖/三聚磷酸盐毒性最小,可能是由于壳聚糖的生物相容性最好导致的。另一项研究证明,由蛋白基纳米材料制备的苦楝油纳米制剂对秀丽隐杆线虫的毒性显著小于常规制剂^[17];Gomes等^[18]通过长期和短期暴露研究发现莠去津微囊所导致的陆栖线虫的回避行为和发育毒性显著高于传统制剂,可能与纳米制剂在其体内的高富集能力有关;Firdaus等^[19]发现联苯菊酯微囊在赤子爱胜蚓(*Eisenia fetida*)和普通蚯蚓(*Lumbricus terrestris*)的富集量均比常规剂型高50%;Neves等^[20]研究证明纳米Cu(OH)₂对土壤中白符桃(*Folsomia candida*)的毒性显著高于常规商业化制剂,主要是由于纳米Cu(OH)₂能够释放更多的活性铜离子。

2.2 纳米农药对水生生物的影响

纳米农药进入水体后,其释放的有效成分的量理论上不会超过同等剂量的常规农药制剂。同时,大多数对鱼类毒性的研究证明,与传统制剂相比,使用纳米制剂可以显著降低有效成分的水生毒性。Blewett等^[21]系统评价了联苯菊酯纳米微囊对虹鳟鱼(*Oncorhynchus mykiss*)的毒性,结果发现联苯菊酯原药对虹鳟鱼的急性毒性比纳米微囊高2倍,原药处理的虹鳟鱼H⁺-ATP酶活是对照和纳米制剂处理组的2.2倍,表明纳米制剂是一种减少有效成分对水生生物毒性的潜在途径;Mishra等^[22]采用拟除虫菊酯类农药纳米乳液防治蚊虫,在推荐剂量下使用对斑马鱼无毒性效应;Andrade等^[23]评估了莠去津纳米微囊对斑马鱼的毒性,结果发现纳米化后可以显著降低莠去津对斑马鱼氧化应激和碳酸酐酶的影响,

从而降低对斑马鱼的急性毒性,但是噁菌酯纳米微囊对斑马鱼胚胎的毒性显著高于噁菌酯原药^[24]。纳米农药对水生藻类的毒性与鱼类相似,拟除虫菊酯纳米乳在防治蚊虫用量下对水藻无毒性,而关于金属基纳米制剂的研究结果与其他类型纳米农药不同,表现出明显的增毒效应,CuO纳米制剂可以通过改变小球藻脂肪酸氧化水平从而抑制小球藻的光合作用产生毒性,Cu纳米颗粒可以与鱼鳃结合,通过降低扩散电导、鳃上皮透明膜增生和退化,降低血氧水平,导致全身缺氧^[25]。

2.3 纳米农药对陆生昆虫的影响

目前关于纳米农药对飞行蚊虫有效性研究较多,但是对蜜蜂、节肢动物等非靶标生物研究较少,仅有一项研究评估了溴氰菊酯纳米农药对蜜蜂的潜在影响。Oliveira等^[26]研究发现空负载固体脂质纳米材料、亚致死剂量溴氰菊酯以及负载的纳米制剂均使蜜蜂消化道细胞发生改变,但暴露于负载溴氰菊酯的纳米制剂对蜜蜂消化道细胞影响小于其他2个处理,可能是由于纳米材料本身具有引起毒性反应的活性位点,但负载后的纳米制剂的反应活性位点被溴氰菊酯覆盖导致毒性降低。另外,溴氰菊酯暴露可以显著缩短蜜蜂的寿命,但通过纳米材料负载后其对蜜蜂寿命的影响与对照组无显著差异,表明溴氰菊酯纳米微囊可以降低其对蜜蜂的毒性。

3 纳米农药健康风险

农药在登记过程需要进行严格的健康风险评估,主要包括职业健康暴露风险和膳食暴露风险。职业健康暴露风险主要是指在农药生产过程中和使用过程中对生产工人及农事操作人员的暴露风险。纳米农药由于其小尺度效应,在穿透靶标的同时,容易通过皮肤、呼吸等方式穿透人体组织和质膜,对人体产生不可估量的毒性。目前关于纳米农药对人体健康暴露风险研究较少,但是关于纳米材料毒性效应的研究有很多报道。TiO₂纳米颗粒可以通过皮肤、呼吸和消化系统进入大鼠体内,并通过血液循环进入卵巢和睾丸,导致生殖系统损伤^[27];纳米材料进入生物体内还容易引起细胞氧化应激反应,造成机体损伤^[28]。农药膳食风险是指残留在农产品中的农药通过饮食进入人体导致的风险,纳米材料具有较强的穿透性,容易在可食部分引起农药有效成分富集从而增加膳食风险,但纳米材料本身具有催化功能,也可能在植物体内催化农药有效成分降解从而减少膳食暴露。Zhao等^[29]研究发现由非

内吸性的杀菌剂咪鲜胺制备二氧化硅载药颗粒,可以通过蒸腾作用在整个植物组织内传递,相对传统农药咪鲜胺在可食部分的残留量有所增加,但仍小于其最大残留限量标准;Yan等^[30]利用性状聚合物纳米材料制备蛇床子素纳米农药用于防治草莓蚜虫和叶螨,结果发现施用纳米制剂3 d和5 d后,蛇床子素纳米制剂的残留量分别是施用常规制剂的79.41%和70.59%,性状聚合物纳米材料加速了蛇床子素的降解,减少了其在草莓上的膳食风险。

4 结论与展望

近年来,纳米科技在农业领域发展迅速,其中纳米农药在提高药效、智能控释和农药减量等方面优势显著,纳米农药的商业化推广势在必行,但是现有的农药登记风险评价体系可能不适用于纳米农药,导致纳米农药缺乏全面系统性的风险评估。另外,上述的纳米农药环境风险和健康风险的研究结果也并不一致,存在相反的结论。因此,未来的研究需要构建一套完善的纳米农药风险评估技术和标准程序,并加强对环境友好性、生物相容性纳米材料开发,建立完善的监管体系,保障公众的健康和生态环境的可持续发展。

参考文献

- [1] FAO. The future of food and agriculture: trends and challenges [R/OL]. (2017-02-27) [2023-02-15]. https://reliefweb.int/report/world/future-food-and-agriculture-trends-and-challenges?gclid=EA-IaIQobChMlue_RxcLb_QIVgYWWCh0RAgq7EAAYAiAAEgI8b-vD_BwE.
- [2] KAH M, JOHNSTON L J, KOOKANA R, et al. Comprehensive framework for human health risk assessment of nanopesticides[J]. *Nature Nanotechnology*, 2021, 16(9): 955-964.
- [3] 闫硕, 蒋沁宏, 沈杰. 纳米农药及载体材料的增效机理研究现状[J]. *植物保护学报*, 2022, 49 (1): 366-373.
- [4] KAH M, KOOKANA R S, GOGOS A, et al. A critical evaluation of nanopesticides and nanofertilizers against their conventional analogues[J]. *Nature Nanotechnology*, 2018, 13(8): 677-684.
- [5] 李芸艺, 陈旺, 陈麒丞, 等. 5%己唑醇微乳剂配方的研究开发[J]. *现代农药*, 2020, 19 (4): 26-29.
- [6] FENG J G, CHEN W, LIU Q, et al. Development of abamectin-loaded nanoemulsion and its insecticidal activity and cytotoxicity[J]. *Pest Management Science*, 2020, 76(12): 4192-4201.
- [7] LIM C J, BASRI M, OMAR D, et al. Green nanoemulsion-laden glyphosate isopropylamine formulation in suppressing creeping foxglove (*A. gangetica*), slender button weed (*D. ocimifolia*) and buffalo grass (*P. conjugatum*)[J]. *Pest Management Science*, 2013, 69(1): 104-111.
- [8] CUI B, WANG C X, ZHAO X, et al. Characterization and evaluation of avermectin solid nanodispersion prepared by microprecipitation and lyophilisation techniques[J]. *PLoS One*, 2018, 13(1): e0191742.
- [9] KUMARI M, PANDEY S, BHATTACHARYA A, et al. Protective role of biosynthesized silver nanoparticles against early blight disease in *Solanum lycopersicum*[J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2017, 121: 216-225.
- [10] GUILGER-CASAGRANDE M, GERMANO-COSTA T, PASQUOTO-STIGLIANI T, et al. Biosynthesis of silver nanoparticles employing *Trichoderma harzianum* with enzymatic stimulation for the control of *Sclerotinia sclerotiorum*[J]. *Scientific Reports*, 2019, 9(1): 14351.
- [11] CRUZ L F, CRUZ J C, CARRILLO D, et al. *In-vitro* evaluation of copper nanoparticles as a potential control agent against the fungal symbionts of the invasive ambrosia beetle *Euwallacea fornicatus* [J]. *Crop Protection*, 2021, 143(1): 105564.
- [12] 郭勇飞, 张小军. 纳米农药研究进展[J]. *世界农药*, 2021, 43(4): 1-7.
- [13] XIANG Y B, HAN J, ZHANG G L, et al. Efficient synthesis of starch-regulated porous calcium carbonate microspheres as a carrier for slow-release herbicide[J]. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 2018, 6(3): 3649-3658.
- [14] XU C L, CAO L D, ZHAO P Y, et al. Emulsion-based synchronous pesticide encapsulation and surface modification of mesoporous silica nanoparticles with carboxymethyl chitosan for controlled azoxystrobin release[J]. *Chemical Engineering Journal*, 2018, 348: 244-254.
- [15] ZHANG Y Q, CHENG J, YANG S, et al. Enhanced acaricidal activity of ricinine achieved by the construction of nano-formulation using amphiphilic block copolymer[J]. *RSC Advances*, 2017, 7(10): 5970-5978.
- [16] JACQUES M T, OLIVEIRA J L, CAMPOS E V R, et al. Safety assessment of nanopesticides using the roundworm *Caenorhabditis elegans*[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2017, 139: 245-253.
- [17] PASCOLI M, JACQUES M T, AGARRAYUA D A, et al. Neem oil based nanopesticide as an environmentally-friendly formulation for applications in sustainable agriculture: an ecotoxicological perspective[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 677: 57-67.
- [18] GOMES S I L, SCOTT-FORDSMAN D J J, CAMPOS E V R, et al. On the safety of nanoformulations to non-target soil invertebrates—an atrazine case study[J]. *Environmental Science: Nano*, 2019, 6(6): 1950-1958.
- [19] MOHD F M A, AGATZ A, HODSON M E, et al. Fate, uptake, and distribution of nanoencapsulated pesticides in soil-earthworm systems and implications for environmental risk assessment [J].

(下转第 44 页)

- [17] LIANG W, YU A, WANG G, et al. Chitosan-based nanoparticles of avermectin to control pine wood nematodes[J]. Journal of Biological Macromolecules, 2018, 112: 258-263.
- [18] BILAL M, XU C L, CAO L D, et al. Indoxacarb-loaded fluorescent mesoporous silica nanoparticles for effective control of *Plutella xylostella* L. with decreased detoxification enzymes activities[J]. Pest Management Science, 2020, 76(11): 3749-3758.
- [19] ZENG Q H, YU C, CHANG X L, et al. CeO₂ nanohybrid as a synergist for insecticide resistance management[J]. Chemical Engineering Journal, 2022, 146: 137074.
- [20] 孙雅雯, 郑彬. 昆虫表皮与化学杀虫剂抗性机制关系的研究进展[J]. 中国病原生物学杂志, 2015, 10(11): 1055-1059.
- [21] CZARNIEWSKA E, NOWICKI P, KUCZER M, et al. Impairment of the immune response after transcuticular introduction of the insect gonadoinhibitory and hemocytotoxic peptide nebcollostatin: a nanotech approach for pest control[J]. Scientific Reports, 2019, 9: 10330.
- [22] BENELLI G. Mode of action of nanoparticles against insects[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2018, 25(13): 12329-12341.
- [23] GAO Y, ZHANG Y, HE S, et al. Fabrication of a hollow mesoporous silica hybrid to improve the targeting of a pesticide[J]. Chemical Engineering Journal, 2019, 364: 361-369.
- [24] SHOAIB A, ELABASY A, WAQAS M, et al. Entomotoxic effect of silicon dioxide nanoparticles on *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) under laboratory conditions[J]. Toxicological and Environmental Chemistry, 2018, 100(1): 80-91.
- [25] Chen S, Guo X, Zhang B, et al. Mesoporous silica nanoparticles induce intracellular peroxidation damage of *Phytophthora infestans*: a new type of green fungicide for late blight control[J]. Environmental Science and Technology, 2023, 57(9): 3980-3989.
- [26] LU X, SUN D, ROOKES J E, et al. Nanoapplication of a resistance inducer to reduce phytophthora disease in pineapple (*Ananas comosus* L.)[J]. Frontiers in Plant Science, 2019, 10: 1238.
- [27] HAO L, LIN G, LIAN J, et al. Carboxymethyl cellulose encapsulated zein as pesticide nano-delivery system for improving adhesion and anti-UV properties[J]. Carbohydrate Polymer, 2020, 231: 115725.

(责任编辑:徐娟)

(上接第39页)

- Environmental Toxicology and Chemistry, 2018, 37(5): 1420-1429.
- [20] NEVES J, CARDOSO D, MALHEIRO C, et al. Copper toxicity to *Folsomia candida* in different soils: a comparison between nano and conventional formulations[J]. Environmental Chemistry, 2019, 16(6): 419-429.
- [21] BLEWETT T A, QI A A, ZHANG Y Y, et al. Toxicity of nanoencapsulated bifenthrin to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. Environmental Science: Nano, 2019, 6(9): 2777-2785.
- [22] MISHRA P, DUTTA S, HALDAR M, et al. Enhanced mosquitocidal efficacy of colloidal dispersion of pyrethroid nanometric emulsion with benignity towards non-target species[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2019, 176: 258-269.
- [23] ANDRADE D L L, SANTO PEREIRA A E, FRACETO L F, et al. Can atrazine loaded nanocapsules reduce the toxic effects of this herbicide on the fish *Prochilodus lineatus*? A multibiomarker approach[J]. Science of the Total Environment, 2019, 663: 548-559.
- [24] ZHANG Y Y, SHEEDY C, NILSSON D, et al. Evaluation of interactive effects of UV light and nano encapsulation on the toxicity of azoxystrobin on zebrafish[J]. Nanotoxicology, 2020, 14(2): 232-249.
- [25] GUPTA Y R, SELLEGOUNDER D, KANNAN M, et al. Effect of copper nanoparticles exposure in the physiology of the common carp (*Cyprinus carpio*): biochemical, histological and proteomic approaches[J]. Aquaculture and Fisheries, 2016, 1: 15-23.
- [26] OLIVEIRA C R, DOMINGUES C E C, MELO D N F S, et al. Nanopesticide based on botanical insecticide pyrethrum and its potential effects on honeybees[J]. Chemosphere, 2019, 236: 124282.
- [27] 高国栋. 纳米二氧化钛暴露致小鼠生殖毒性及其基因表达的变化[D]. 苏州: 苏州大学, 2013.
- [28] MAURER-JONES M A, GUNSOLUS I L, MURPHY C J, et al. Toxicity of engineered nanoparticles in the environment[J]. Analytical Chemistry, 2013, 85(6): 3036-3049.
- [29] ZHAO P Y, CAO L D, MA D K, et al. Translocation, distribution and degradation of prochloraz-loaded mesoporous silica nanoparticles in cucumber plants[J]. Nanoscale, 2018, 10(4): 1798-1806.
- [30] YAN S, HU Q, JIANG Q, et al. Simple osthole/nanocarrier pesticide efficiently controls both pests and diseases fulfilling the need of green production of strawberry[J]. ACS Applied Materials and Interfaces, 2021, 13(30): 36350-36360.

(责任编辑:金兰)

农药登记信息(2023年第8期)

根据《农药管理条例》《农药登记管理办法》等有关规定,经技术审查、全国农药登记评审委员会评审,批准浙江宇龙生物科技股份有限公司等56家企业的70个非新农药产品登记,江苏东宝农化股份有限公司等35家企业的43个农药产品登记变更。对批准登记及登记变更产品颁发《农药登记证》、不再核发纸质标签。

(来源:农业农村部农药管理司)