

# 纳米技术在果蔬产品中的应用及其安全风险

张文林<sup>1</sup>, 席万鹏<sup>1,2</sup>, 赵希娟<sup>1</sup>, 于杰<sup>1,2</sup>, 焦必宁<sup>3</sup>, 周志钦<sup>1,2,\*</sup>

(<sup>1</sup>西南大学园艺园林学院, 重庆 400716; <sup>2</sup>南方山地园艺学教育部重点实验室, 重庆 400715; <sup>3</sup>中国农业科学院—西南大学柑橘研究所, 重庆 400712)

**摘要:** 总结了纳米技术在果蔬生产中的应用, 综述了纳米技术在果蔬产品包括贮藏保鲜、加工和有害物质快速检测等方面的研究进展, 并对其安全风险做了初步分析和探讨, 旨在为纳米技术在果蔬产品中的应用提供参考。

**关键词:** 纳米技术; 果蔬产品; 应用; 安全风险

**中图分类号:** S 66

**文献标志码:** A

**文章编号:** 0513-353X (2013) 10-2067-12

## The Application of Nanotechnology in Fruits and Vegetables Products and Its Safety and Risk

ZHANG Wen-lin<sup>1</sup>, XI Wan-peng<sup>1,2</sup>, ZHAO Xi-juan<sup>1</sup>, YU Jie<sup>1,2</sup>, JIAO Bi-ning<sup>3</sup>, and ZHOU Zhi-qin<sup>1,2,\*</sup>

(<sup>1</sup>College of Horticulture and Landscape Architecture, Southwest University, Chongqing 400716, China; <sup>2</sup>Key Laboratory of Horticulture Science for Southern Mountainous Regions, Ministry of Education, Chongqing 400715, China; <sup>3</sup>Citrus Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences-Southwest University, Chongqing 400712, China)

**Abstract:** This article reviewed the application of nanotechnology in fruits and vegetables production, summarized the research progress of nanotechnology in the field of fruits and vegetables products including fruit and vegetable storage, preservation, processing, and the rapid detection of harmful substances. The safety and risk of nanotechnology were also analyzed and discussed in an attempt to provide information for the future application of nanotechnology in the fruits and vegetables products.

**Key words:** nanotechnology; fruits and vegetables products; application; safety and risk

纳米 (nanometer, nm) 是一种几何尺寸的度量单位, 1 纳米等于十亿分之一米的长度, 即  $10^{-9}$  m。纳米技术兴起于 20 世纪 80 年代末, 是指在纳米尺度 (0.1 ~ 100 nm) 上研究原子、分子结构特性及其相互作用原理, 并根据需要在纳米尺度上直接操纵分子、原子乃至电子来制造各种特定产品或创造纳米级加工工艺的一门新兴综合性技术。在结构中至少有一个相在一个维度上呈纳米级大小的材料被称为纳米材料 (Chaudhry et al., 2010)。由于其尺寸上的微观性, 纳米材料具有与传统材料不同的表面效应、小尺寸效应、量子尺寸效应及宏观量子隧道效应, 被广泛应用于原料化工、食品、农业、纺织、电子电器、机械、医学等众多领域。

本文综述了纳米技术在果蔬产品包括贮藏保鲜、加工和有害物质快速检测等方面的研究进展,

**收稿日期:** 2013-05-25; **修回日期:** 2013-08-26

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (31171930); 中央高校基本科研业务费专项 (XDJK2013A014); 重庆高校创新团队建设计划项目 (KJTD201333)

\* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: zzqswu@yahoo.com)

对其可能存在的安全风险做了初步的评估、分析和探讨,旨在为纳米技术在果蔬产品质量控制中的应用提供参考。

## 1 纳米技术在果蔬生产中的应用

纳米技术在果蔬生产中主要应用于纳米肥料制作、土壤改良、纳米农药、纳米助长器的研发等方面。

纳米肥料是利用纳米技术、化工微乳化技术和医药微胶囊技术研发的肥料。由蒙脱土(MMT)制成的纳米肥具有较强的吸水性,可形成原纳米 MMT 颗粒体积的 10~15 倍的凝胶体,从而降低水分的释放速度供作物吸收利用,有很好的抗旱和促进生长作用(刘群等,2012)。采用田间试验的方法对紫花苜蓿、黑麦草、白三叶 3 种草施用不同剂量的纳米蒙脱土,可增加 3 种草的地上部总生物量,利于果园生草(刘群等,2012)。Kottegoda 等(2011)基于改性的羟基磷灰石纳米粒吸附尿素而制成的纳米肥料,能持续缓慢的释放氮素达 60 d,而传统商业肥料释放氮素量不均匀且持续时间短(约 30 d)。王署娟等(2011)采用土培试验将纳米氢醌和纳米茶多酚添加到氮肥中,研究其对小白菜生长及氮肥利用的情况,结果表明,小白菜产量和叶片中叶绿素含量提高、氮磷钾养分吸收量增加、氮肥利用率提高。

通过纳米插层等技术制成的纳米土壤材料具有吸水、固肥、水肥缓释、改善土壤团粒结构等性能。近年来中国多个省区对粮食、油料、经济、生物质能源原料、水果、蔬菜,6 大类 30 种作物 60 多个品种使用了纳米土壤材料,进行了几千公顷的种植试验示范,实践证明在不用或少用化肥的情况下使用纳米土壤材料可增产 10%以上(薛合伦,2012)。

将纳米技术与农药相结合研制的纳米农药具有用量少、药效高、杀虫防病广谱、对人畜低毒等优点。陶希芹等(2010)以壳聚糖和月桂酸钠改性的纳米二氧化钛( $\text{TiO}_2$ )为材料,通过溶液共混法制得纳米  $\text{TiO}_2$ /壳聚糖复合膜,并与农药反应制得纳米  $\text{TiO}_2$ /壳聚糖复合膜/农药复合膜药剂,该药剂能够在作物表面形成一层薄膜,体现了长效、经济、安全等优点。运用纳米技术将生物农药纳米化,制成纳米生物农药,可以克服传统生物农药药效慢、稳定性差、防治效果差等缺点。运用纳米工艺制成的纳米生物农药 18%烟·阿 AS(烟碱和阿维菌素混剂),易溶于水、高分散的稳定均相体系、脂溶性和水溶性好,具有高效、低毒等优点,杀虫效果良好(夏先全等,2007)。Bhagat 等(2013)制备一种含有信息素和诱虫醚的纳米凝胶,该凝胶非常稳定,在开放的环境条件下能明显延缓信息素的蒸发,用于引诱橘小实蝇(*Bactrocera dorsalis* Hendel)并通过陷阱捕杀,对果园害虫管理效果良好。

强的纳米 863 生物助长器是由南昌高新技术有限公司研制并应用于农业的纳米技术产品,它是利用其核心材料的光热转换性能来提高水肥农药的能量、活化作物组织、促进新陈代谢、改善生理机能和提高抗逆性。江西省南昌市蔬菜科研所用该助长器用于蔬菜栽培,蔬菜种子发芽率比对照组高 41.40%,平均增产 35.90%。利用助长器对黄瓜、茄子、辣椒等蔬菜种子进行浸种催芽,可提高种子发芽率和芽势;用其处理的水适时浇喷蔬菜作物,可提高幼苗抗病性,减少倒伏和溢缩等病害发生率;用加入助长器的农药喷施蔬菜,可显著提高对锈病、炭疽病、小菜蛾、蚜虫等病虫害的防治效果(张明海,2005)。

## 2 纳米技术与果蔬产品贮藏保鲜

聚合物基纳米复合材料是按照一定比例将分散均匀的纳米颗粒与高分子聚合物通过合成、添

加、改性等方式加工混合而形成复合包装材料（尹国平和陈志周，2012），已应用于果蔬产品贮藏保鲜。

## 2.1 纳米银系复合材料

纳米 Ag 系复合材料的制作工艺是把纳米 Ag 按照一定的剂量添加到聚酰胺 6 (PA6)、聚乙烯吡咯烷酮 (PVP)、低密度聚乙烯 (LDPE)、海藻酸钙等聚合物中制成果蔬保鲜膜、保鲜剂等。另外纳米 Ag 还可与其它纳米颗粒，如纳米氧化锌 (ZnO)、纳米 MMT、纳米 TiO<sub>2</sub> 等共同添加到聚合物中制成的抗菌保鲜材料，通过释放 Ag<sup>+</sup> 在短时间内杀死细菌 (Damm et al., 2008)，抗菌效果好且抗菌时间长。另外它还可以加速氧化果蔬中释放的乙烯，从而减少包装中乙烯的含量，以达到良好的保鲜效果。

目前纳米 Ag 系复合材料在食品工业中已有广泛的应用，在果蔬产品如芦笋、莴苣、胡萝卜、橙汁、水果沙拉等上已有相关的研究和应用 (An et al., 2008; Emamifa et al., 2010; Costa et al., 2011, 2012; 马宁 等, 2012)。纳米 Ag 在聚酰胺 6 (PA6) 中添加量为 0.06% 时，纳米 Ag/PA6 复合材料对大肠杆菌具有很好的抑制作用 (Damm et al., 2008)。用纳米 Ag 和 PVP 混合物在一定条件下对绿芦笋进行涂膜处理，并分别置于 2 °C 和 10 °C、90%~95% 相对湿度下贮藏 25 d 时发现，涂膜处理的绿芦笋在失重、色泽、质构等方面均好于对照组且对微生物有良好的控制作用 (An et al., 2008)。含有纳米 Ag 和纳米 ZnO 的 LDPE 膜可将新鲜橙汁的货架期延长至 28 d (Emamifa et al., 2010)。一定量的 Ag/MMT 纳米粒置于聚丙烯 (PP) 包装盒底部，然后对鲜切水果沙拉进行包装，在 5 °C 和黑暗条件下贮藏 3 周，沙拉的感官品质（颜色、气味纹理、坚固度等）有很大改善，保质期显著延长；该纳米粒具有极强的抗菌性，能严格控制微生物的增殖 (Costa et al., 2011)。载有纳米 Ag、纳米 MMT 的海藻酸钙涂膜，能严格控制胡萝卜储藏过程中微生物的生长以及失水，胡萝卜储藏寿命可延长到大约 70 d，对照组只有 4 d (Costa et al., 2012)。含纳米 Ag、纳米 TiO<sub>2</sub> 和高岭土的包装材料，能较好地保持莴苣在贮藏过程中的感官品质和营养成分，从而延长其贮藏时间；用该材料包装的莴苣，维生素 C、叶绿素含量显著高于对照组，质量损失率、丙二醛 (MDA) 含量、多酚氧化酶 (PPO) 比活力显著低于普通包装 (马宁 等, 2012)。

## 2.2 纳米二氧化钛复合材料

纳米 TiO<sub>2</sub> 具有抗菌杀毒、吸收紫外线、自清洁、阻隔性良好等优良特性 (孙新 等, 2012)，是目前研究最多的纳米材料之一。纳米 TiO<sub>2</sub> 复合材料加工工艺是将纳米 TiO<sub>2</sub> 或与其它纳米颗粒（纳米 Ag、纳米 MMT 等）共同添加到 LDPE、淀粉、聚乙烯 (PE)、壳聚糖等高分子聚合物中而制成保鲜膜、涂膜剂等。其保鲜机理是纳米 TiO<sub>2</sub> 的光催化特性能够将果蔬贮藏中释放的乙烯氧化分解成 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O，另外纳米 TiO<sub>2</sub> 在光照射下能产生强氧化性的自由基，使微生物蛋白质变性，从而抑制和杀死微生物，起到良好的抗菌保鲜效果。

已有研究报道，纳米 TiO<sub>2</sub> 复合材料可应用于梨、樱桃番茄、猕猴桃等果蔬产品的贮藏保鲜 (宋贤良 等, 2010; Hu et al., 2011; Bodaghi et al., 2013)。利用熔融共混法制得的纳米 TiO<sub>2</sub>/LDPE 复合物薄膜，对假单胞菌、粘质红酵母等具有极好的抗菌效果，在 3 h 的紫外光照射下分别减少了 10<sup>4</sup> cfu·mL<sup>-1</sup>、10<sup>2</sup> cfu·mL<sup>-1</sup>，相比之下 LDPE 薄膜却只减少了约 22 cfu·mL<sup>-1</sup>、4 cfu·mL<sup>-1</sup>；用该薄膜对鲜梨进行包装，在 5 °C 荧光灯照射下储藏 17 d，与 LDPE 薄膜相比，嗜温细菌和酵母菌数量显著减少 (Bodaghi et al., 2013)。当纳米 TiO<sub>2</sub> 的质量分数为 0.025% 时，纳米 TiO<sub>2</sub>/玉米淀粉复合涂膜处理对樱桃番茄的保鲜效果最佳，在 20 °C 贮藏 11 d 时，樱桃番茄的硬度、维生素 C 含量、总酸含量分别为对照组的 1.33 倍、1.12 倍、1.34 倍，其失重率、可溶性固形物含量和腐烂率分别比对照组降

低了 28.6%、12.7%、78.8% (宋贤良 等, 2010)。纳米  $\text{TiO}_2$ 、纳米 Ag、MMT 混入 PE 制备的纳米复合物包装材料对猕猴桃保鲜效果良好, 在 4 °C 贮藏 42 d 时, 该材料能显著降低氧气、水蒸气的渗透率以及抑制孢子的萌发; 猕猴桃的抗坏血酸、总多酚含量与对照组相比有所增加, 失重率、软化程度、色度、可溶性固形物含量分别比对照组降低了 22.67%、124.84%、23.46%、14.42%, 延迟了猕猴桃的成熟 (Hu et al., 2011), 此材料可用来减少果实腐烂和保持采后猕猴桃的品质。有研究显示, 纳米  $\text{TiO}_2$ /壳聚糖复合材料能有效抑制沙门氏菌、大肠杆菌、金黄色葡萄球菌等致病菌的增殖生长 (Díaz-Visurraga et al., 2010)。

### 2.3 纳米硅氧化物复合材料

纳米硅氧化物 ( $\text{SiO}_x$ ) 是一种具有纳米特性的无味、无污染、具一定抗菌性的非金属材料, 已广泛应用于化工、食品、医学等领域。纳米  $\text{SiO}_x$  复合材料制作工艺一般是将纳米  $\text{SiO}_x$  添加到一定浓度的壳聚糖溶液中, 通过匀质分散制成果蔬涂膜剂或者吹干成膜用于果蔬包装。纳米  $\text{SiO}_x$  复合材料用于贮藏保鲜的机理是该复合物材料的硅氧键对  $\text{CO}_2$  和  $\text{O}_2$  具有吸附、溶解、扩散和释放作用, 可以调节膜内外这两种气体的交换量, 这样在一定程度上抑制了果蔬的呼吸强度, 起到良好的保鲜作用。壳聚糖是一种具有良好成膜性、生物降解性、生物相容性、广谱抗菌性、无毒性 and 独特理化性质的氨基类多糖 (Aider, 2010)。壳聚糖和其它材料复合而形成的材料可有效的控制果蔬的腐烂率、失水率和呼吸强度。通过纳米  $\text{SiO}_x$  对壳聚糖的修饰, 来提高纳米  $\text{SiO}_x$ /壳聚糖涂膜的力学性能和持水率, 从而达到较为理想的贮藏保鲜效果 (Azeredo, 2009)。

目前纳米  $\text{SiO}_x$  复合材料已成功应用于枣、龙眼、荸荠等果蔬产品的贮藏保鲜 (徐庭巧 等, 2011; Yu et al., 2012; Shi et al., 2013)。用 0.04% 纳米  $\text{SiO}_2$  和 1% 壳聚糖混合液对大枣进行涂膜, 在室温保存 32 d 时, 大枣的色度、腐烂率、呼吸速率均低于对照组, 苯丙氨酸解氨酶 (PLA) 的活性降低, 抗氧化酶 (AOEs) 的活性升高, 丙二醛 (MDA) 的增加受到抑制, 大枣总类黄酮含量显著升高 (Yu et al., 2012)。利用原位溶胶—凝胶法制备的纳米  $\text{SiO}_2$ /壳聚糖杂化膜可显著延长龙眼的保质期, 减少褐变指数, 延迟质量损失和抑制丙二醛 (MDA) 含量和多酚氧化酶 (PPO) 活性的增加, 显著抑制总可溶性固形物、可滴定酸和抗坏血酸含量的减少 (Shi et al., 2013)。徐庭巧等 (2011) 研究了 10 °C 下纳米  $\text{SiO}_x$ /壳聚糖复合物涂膜处理对鲜切荸荠品质的影响, 结果发现, 该涂膜可有效延缓荸荠在贮藏过程中失水率的增加和切割亮度 L 值的下降, 且延缓总酚含量和褐变指数的增加, 抑制苯丙氨酸解氨酶 (PLA)、多酚氧化酶 (PPO)、过氧化物酶 (POD) 的活性, 从而达到了较好的保鲜效果, 延长鲜切荸荠的货架期。

## 3 纳米技术与果蔬汁加工

### 3.1 纳米果蔬汁生产

为了保持果蔬汁独特的色香味, 防止褐变而将果蔬汁制成纳米胶囊, 稳定性好, 加到饮料中而得到的产品品质与新鲜果蔬汁相似。利用纳米技术可对果汁进行分子、原子级的修饰, 使得某些物质结构发生改变, 从而加快营养成分在体内的运输, 提高人体对营养成分的吸收利用率。有报道, 用天然脂类把苹果汁包装成纳米微粒, 制成的纳米苹果汁进入人体后具有缓慢释放功能, 比传统技术生产的苹果汁在体内滞留时间延长 2 ~ 3 倍; 另外, 纳米苹果汁容易吸附在胃肠道上且不受酶等生物因子的破坏, 易被有机体吸收且其生物利用率是普通苹果汁的 1.8 ~ 2.2 倍 (刘彩云 等, 2005)。德国的巴斯夫 (Badische Anilin und SodaFabrik, 简称 BASF) 公司生产的一种食品添加剂——纳米

级类胡萝卜素,既能促进人体吸收,又能延长食品货架期,该技术申请了专利后将产品供应给全球知名的食品与饮料公司用于制作柠檬汁等果汁产品。

### 3.2 果蔬汁浓缩和脱盐

果蔬汁浓缩可以减少果蔬汁体积,提高其储藏运输的稳定性。理想的果蔬汁浓缩工艺应保持新鲜果蔬的风味品质及营养价值,纳滤技术应用于果蔬汁浓缩具有很大优势。纳滤技术是介于超滤与反渗透之间的一种截留分子量在 100~1000 D 范围内的膜分离技术,其滤膜可以去除纳米级的溶质粒子(杨安树和陈红兵,2007)。果蔬汁纳滤主要目的是浓缩、脱盐、调味和脱色等。纳滤技术可常温操作,既不发生相变化,又减少了营养成分损失,且可除去酸和不良气味的成分以及调节各种组分的含量,避免出现过高或过低的现象,从而提高了果蔬汁品质(杨安树和陈红兵,2007)。利用纳滤膜的耐盐性可将橘子汁和洋李酸浸液进行浓缩和脱盐,可将浸液浓缩至原体积 1/10 以下,洋李酸浸液的脱盐率达 54.5%,有机酸脱除率可达 80%(Guu,1996)。利用纳滤、反渗透、渗透蒸馏集成膜来浓缩血橙汁和胡萝卜汁,首先用纳滤膜去除果胶、纤维素等大分子物质,再经反渗透、渗透蒸馏工艺,最终得到的良好品质的果蔬汁(Cassano et al.,2003)。松散纳滤膜可以用来浓缩和澄清梨汁,提高梨汁的稳定性和延长其贮藏时间(Vivekanand et al.,2012)。Warczok 等(2004)利用管状膜(AFT80)和平板膜(MPT-34)对梨汁和苹果汁进行浓缩工艺研究,发现纳滤膜可以用于果汁浓缩,效果较好。

## 4 纳米技术与果蔬产品安全快速检测

### 4.1 重金属检测

比重大于 5 的金属被称为重金属,包括汞、铜、铅、镉、铁、锌等。果蔬产品中含量超标的重金属,可通过食物链对人体造成潜在的危害,引发癌症和畸形等慢性疾病。以纳米技术为基础的检测技术可以对重金属进行快速检测。Behbahani 等(2012)用双硫脲功能化修饰纳米多孔 SiO<sub>2</sub>(SBA-15)制备了一种新的吸附剂,结合固相萃取来分离和测定食品和农产品中微量的镉、铜、镍、铅离子,萃取效率均大于 97%,检测限分别为 0.09、0.16、0.21、0.45  $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ,提供了一种简单、快速、重复性好、选择性高的检测方法。Tan 等(2012)研制了一种基于 2-巯基异烟酸功能化的金纳米粒子表面增强拉曼散射(SERS)的纳米传感器,用于检测水溶液中的重金属离子  $\text{Hg}^{2+}$  和  $\text{Pb}^{2+}$ ,检测限分别为  $3.4 \times 10^{-8} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $1.0 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,具有很高的选择性和灵敏度。Wu 等(2010)用量子点标记脱氧核酶制备了一种检测重金属离子的高敏感性和特异性的纳米传感器,对  $\text{Pb}^{2+}$  和  $\text{Cu}^{2+}$  的检测限分别为  $2 \times 10^{-10} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $5 \times 10^{-10} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,且检测可以在 25 min 之内完成,大大缩短了检测所需要的时间。

### 4.2 农药残留检测

Alizadeh(2012)制备了一种基于分子印迹聚合物(MIP)纳米粒子的电化学传感器,用于番茄、葡萄、苹果和白菜样品中超痕量对硫磷的检测,结果表明,在对硫磷浓度为  $5 \times 10^{-11} \sim 1.5 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  范围内,该传感器的响应是线性的,检测限低( $2 \times 10^{-11} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ),具有较高的选择性和精度。Zheng 等(2011)用碲化镉(CdTe)量子点和乙酰胆碱酯酶(AChE)通过层层组装技术集成的一种光学生物传感器,用于检测果蔬中有机磷农药残留,检测限低至  $1.05 \times 10^{-11} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (对氧磷)和  $4.47 \times 10^{-12} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (对硫磷),与传统的检测方法相比,具有灵敏度高、稳定性好、准确度高、重复性好等特点。Liu 等(2012)报道了一种高灵敏度的用罗丹明 B 覆盖的金纳米粒子为基础的试

验, 结合荧光和比色双重显示方法, 检测混合溶液中的有机磷和氨基甲酸酯类农药, 西维因、二嗪农、马拉硫磷、甲拌磷的最低检测浓度分别为 0.1、0.1、0.3、1.0  $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ , 均低于欧盟农药数据库和美国农业部 (USDA) 报告的最大残留限量。

### 4.3 致病微生物检测

以纳米技术为基础的致病微生物的检测目前已涉及大肠杆菌、沙门氏菌、李斯特氏菌、黄曲霉等。Oaew 等 (2012) 研制一种由聚苯乙烯磺酸钠 (PSS) 封装纳米金和辣根过氧化物酶 (HRP) 的纳米胶囊, 纳米胶囊 PSS 壳上连有抗体, 通过酶联免疫吸附法 (ELISA) 检测食物传染的病原体单核细胞增生李斯特氏菌, 在一定数量抗体的情况下, 与常规使用 HRP 标记抗体的 ELISA 相比, 纳米胶囊表现出 30 倍的灵敏度和更短的检测时间 (5 min), 大大增强了免疫测定中的信号。Yang 等 (2013) 研发了一种纳米磁珠分离结合单叠氮丙啶处理和多重 PCR 同时检测食品中的鼠伤寒沙门氏菌、大肠杆菌 O157: H7 和单核细胞增生李斯特氏菌的方法。该方法的检测限约为  $10^2 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$  (纯培养) 和  $10^3 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$  (加标的莴苣、西红柿、牛肉样品), 提供了一种快速可靠的可同时检测以上 3 种微生物的新方法。Zhang 等 (2011) 用新方法筛选纳米金标记的单克隆抗体, 通过免疫层析, 用于花生基质中总黄曲霉毒素的快速检测, 结果显示, 花生基质中黄曲霉毒素 B1, B2, G1 和 G2 的视觉检测上限分别为 0.03、0.06、0.12 和  $0.25 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ , 具有很高的灵敏度。虽然此方法是定性检测, 但为总黄曲霉毒素的现场检测提供了一种灵敏、快速、低廉、简便的新方法。

## 5 纳米技术在果蔬产品中应用的安全风险

近年来, 纳米技术在国内外的迅速发展和应用, 该技术对生物和环境造成的安全风险已经引起世界各国的广泛关注。2003 年 Service (2003) 和 Brumfiel (2003) 相继撰文讨论了纳米尺度物质的生物效应以及对环境和健康的影响。2009 年由美国、欧盟、日本、韩国和中国等共同提出的科学报告表明, 纳米材料对健康和环境的毒性是由其物理化学性质, 比如尺寸、形态和表面效应等引起的。

### 5.1 环境安全

许多材料或产品中的纳米尺度物质会不同程度地进入大气、水体和土壤中, 对环境造成一定的潜在影响。

Song 等 (2009) 报道了一些曾在印刷厂工作 5~13 个月的年轻女工, 暴露于含有纳米聚丙烯酸酯的工作环境, 均表现出气短、心包积液、胸腔积液等临床症状, 检查发现在这些女工的支气管肺泡灌洗液、肺和胸水组织以及工作场所均能找到直径为 30 nm 的纳米颗粒。

对进入水环境的污染物通常用藻类等水生生物作为受试对象, 进行生物毒性的监测, 以此来评价环境安全效应 (Farré et al., 2009)。纳米  $\text{TiO}_2$  悬浮液对普生轮藻 (*Chara vulgaris* L) 具有一定毒性效应, 随着其浓度增加和时间的延长, 叶绿素 a 含量、超氧化物歧化酶 (SOD) 和过氧化氢酶 (CAT) 活性呈下降趋势, 脂质过氧化物 (LPO)、丙二醛 (MDA) 含量呈上升趋势, 并呈现剂量效应 (侯东颖 等, 2012)。另外纳米粒子很容易以极快的速度扩散到地下水中, 从而造成严重的水污染且难以净化 (Lecoanet et al., 2004)。

进入土壤中的纳米粒子对土壤中微生物产生毒性影响 (Dinesh et al., 2012), 威胁土壤中微生物的生物量, 另外氧化物纳米粒子在土壤中有较低的溶解度, 并聚集在土壤空隙间 (Antisari et al., 2013)。

## 5.2 生态安全

纳米材料在生产、运输和使用等过程中, 不可避免地进入由生物群落和无机环境组成的生态系统中。Ag、CuO、ZnO 等纳米粒会产生一定程度的生态毒理 (Roh et al., 2009; Blinova et al., 2010)。纳米粒子可以在多种基质中扩散和迁移, 通过多种暴露途径进入生物体并在体内蓄积, 产生毒理效应 (Aschberge et al., 2011; Cockburn et al., 2012)。微生物、动植物体内积累的纳米粒子, 很可能会通过食物链传递给下一个营养级并造成危害, 从而对整个生态系统造成一定的负面影响, 对生态安全造成威胁。

有研究显示, 食品包装材料中的纳米粒子会向食品中迁移, 从而对人产生健康方面的问题。Avella 等 (2005) 研究了纳米 MMT/马铃薯淀粉复合薄膜向莴苣和菠菜进行迁移的矿质元素水平, 40 °C 下进行 10 d 的试验表明, Mg 和 Fe 的迁移水平很低, 而 Si 表现出 3 ~ 5 倍较高的迁移量 (MMT 主要成分是 SiO<sub>2</sub>), 符合欧盟规定的迁移量。Cushen 等 (2013) 通过用纳米 Ag/PVC 复合材料包装储藏鸡肉, 从复合材料中纳米 Ag 的直径、含量以及包装储藏时间、温度 4 个方面研究了该材料中 Ag 的迁移量, 发现均有 Ag 的迁移, 其中 Ag 的含量是决定 Ag 迁移量的关键因素, 并以此评估了人体摄入迁移有 Ag 的鸡肉而产生的危害。

## 5.3 生物安全

生物安全是指对微生物、植物、动物和人体等生物体构成的可能危害。Baek 和 An (2011) 研究了纳米氧化铜 (CuO)、氧化镍 (NiO)、ZnO 和三氧化二锑 (Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 对大肠杆菌、枯草芽孢杆菌、金黄色葡萄球菌的毒性, 结果显示培养基中细菌的 cfu 数值减小与粒子浓度成剂量关系。有学者研究碳纳米管、Al、Zn、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、ZnO 纳米粒对 6 种植物莴苣、萝卜、甘蓝型油菜、黑麦草、玉米、黄瓜的毒性, 结果发现 Zn 和 ZnO 抑制种子萌发和根系生长, 表现出最高毒性 (Lin & Xing, 2007)。纳米 CuO 颗粒能够诱导农作物和草地植物的 DNA 损伤, 并强烈抑制萝卜、多年生和一年生黑麦草的生长 (Atha et al., 2012)。纳米 ZnO 粒子会对洋葱的根尖细胞造成细胞毒性和遗传毒性, 引起脂质过氧化, 减少有丝分裂指数, 增加微核及染色体畸变指数 (Kumari et al., 2011)。

Sharma 等 (2012) 连续 14 d 对小鼠亚急性口服纳米 ZnO (300 mg · kg<sup>-1</sup>), 发现纳米 ZnO 在肝脏中大量沉积, 丙氨酸氨基转移酶 (ALT) 和碱性磷酸酶 (ALP) 含量显著升高, 引起肝脏病变, 诱导小鼠氧化应激反应, 导致 DNA 损伤和肝脏细胞凋亡。对黑腹果蝇 (*Drosophila melanogaster*) (F<sub>0</sub>) 饲喂含金纳米粒的食物, 发现在 F<sub>0</sub> 的随后几代均有明显的表型修饰, 表明金纳米粒子可诱导果蝇的致突变效应, 可能会遗传给后代 (Vecchio et al., 2012)。纳米 CuO 粒子能诱导皮肤炎症细胞因子的分泌和细胞坏死, 使皮肤失去保护性的角膜 (Cohen et al., 2013)。有文献报道, 纳米颗粒可能通过简单扩散或渗透作用经皮肤和肺血屏障进入体内, 导致体内一些重要酶活性丧失和激素的分泌紊乱; 可能透过血脑和血睾屏障, 对中枢神经系统、精子产生不良影响; 还可能使遗传物质突变, 促进细胞老化, 增高肿瘤发病率等 (于燕 等, 2006)。

人体食用迁移有纳米粒子的食物, 可能会导致纳米粒子在胃肠部位积累, 并通过胃肠壁的吸收进入其它器官和组织中而造成危害。一般研究纳米粒子对人体的影响是以动物 (小鼠) 模型试验来评估的。Awasthi 等 (2013) 对瑞士小白鼠口服单一剂量 60 和 100 mg · kg<sup>-1</sup> 多碳纳米管, 7、14、21 和 28 d 分别对小鼠尸检, 发现小鼠肝脏病变, 包括巨噬细胞损伤, 细胞肿胀、非特异性炎症、细胞坏死及血液凝固, 过氧化物酶 (CAT) 和超氧化物歧化酶 (SOD) 的活性显著下降。Esmaeillou 等 (2013) 研究了纳米 ZnO 粒子对健康成年小鼠的口服毒性, 结果显示, 小鼠表现出呕吐、食欲不振、严重嗜睡等症状, 小鼠血清中高密度脂蛋白和低密度脂蛋白水平降低, 病理组织学检查发现小鼠的肺、肝和肾有严重的损伤。

目前对纳米粒子从复合包装材料迁移到食品中的研究很少, 缺乏试验方法和模型, 以致很难评价其安全性。可以用扫描电子显微镜 (SEM)、透射电子显微镜 (TEM) 以及原子力显微镜 (AFM) 对复合材料中的纳米粒子进行形貌表征和监测, 这对研究纳米粒子的迁移很重要。此外, 在使用含有纳米粒的复合材料作为果蔬产品包装材料时, 除了考虑其中的纳米粒迁移带来的危害, 还要考虑该纳米材料在发挥抗菌保鲜作用时释放的重金属离子对人体的伤害。有文献报道 (Xiu et al., 2012), 纳米 Ag 在抗菌时通常会释放出  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Ag}^+$  为人体必需元素离子, 虽然人体内允许存在一定量的 Ag, 但是如果长期使用纳米 Ag 材料, 就需要考虑是否会有 Ag 引起慢性中毒的问题。

## 6 问题与展望

首先, 在纳米材料工艺方面。大部分研究都是基于重金属合成的纳米材料, 重金属在人体超过一定的量就会产生毒性, 另外大部分聚合物生物可降解性差, 可能造成一定的环境安全问题。应该用一些果蔬类提取物合成银纳米粒子或用人体必需金属合成纳米粒子, 开发有机绿色材料构成的纳米复合材料。也可从天然产物中提取相关生物活性物质来代替金属或金属氧化物材料, 选择生物降解性好的淀粉、壳聚糖、天然纤维等作为合成复合纳米材料的聚合物。未来的研究可以柑橘提取物 (香精油、果胶等) 为原料合成纳米材料, 用作抗菌保鲜剂或包装材料, 应用于果蔬产品的贮藏保鲜。

其次, 在应用领域与应用技术方面。纳米技术在果蔬生产方面应用较少。应该重点研发果蔬纳米专用肥和纳米专用农药等。由于每种果蔬采后生理特点不同, 同一种纳米复合材料对大部分果蔬的保鲜效果不同, 可针对每一种果蔬采后生理特征研发保鲜效果最好的专用纳米复合材料。此外, 目前果蔬加工技术注重常规品质的提高, 对产品在人体的吸收效果关注较少, 人体对产品营养吸收利用率不高。运用纳米胶囊技术将果蔬营养物质包覆, 可以明显促进人体对营养物质的吸收, 通过纳米修饰提高果蔬产品吸收效果是未来主要的研究方向之一。传统的果蔬安全检测的方法, 如化学分析法、色谱法等存在灵敏度低、检测限高、检测时间长等缺点, 以纳米技术为基础的检测技术可以有效克服这些缺点。未来的研究可加强与生物学技术、电化学技术等相结合, 研发一些高灵敏度、高通量、高特异性、快速的实时在线检测技术, 开发能同时检测多种重金属或农药残留以及致病微生物的专用纳米检测技术和产品。为减轻对环境的危害, 开发的产品最好能重复使用。

第三, 在安全风险方面。对纳米粒子从复合包装材料迁移到食品中的研究很少, 缺乏有效的安全评估模型和试验方法, 以致很难评价纳米复合材料的安全性。用 SEM、TEM 和 AFM 对复合材料中的纳米粒子进行形貌表征和监测, 弄清其向食物中迁移的原理, 建立定量的方法和模型。另外对使用过的纳米复合材料要进行统一的处理, 可以通过酸溶液的腐蚀, 使纳米粒子反应生成相应的离子并进行回收处理, 以防止纳米粒子释放到环境中造成危害。由于不同的纳米材料可能会具有不同环境和生物效应, 其效应可能与其粒子大小、结构、环境介质、浓度等相关, 相关的毒性机理研究不够深入, 大多只是对一些现象做的一些描述。应对每一种应用于果蔬产品的纳米材料的毒性进行监测, 综合多方面的因素和结合多学科 (医学、生物学等) 进行评价, 开发毒理监测的新方法和仪器, 弄清其毒性作用的原理, 开发一些切实有效的减少其毒性, 同时增强其防腐保鲜效果的方法, 为其安全应用提供保障。

## References

- Aider M. 2010. Chitosan application for active bio-based films production and potential in the food industry: Review. *LWT Food Science and Technology*, 43 (6): 837 - 842.



- Alizadeh T. 2012. Molecularly imprinted nanoparticles-based electrochemical sensor for determination of ultratrace parathion in real samples. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 92 (15): 1742 – 1760.
- An J S, Zhang M, Wang S, Tang J M. 2008. Physical, chemical and microbiological changes in stored green asparagus spears affected by coating of silver nanoparticles-PVP. *LWT-Food Science and Technology*, 41 (6): 1100 – 1107.
- Antisari L V, Carbone S, Gatti A, Vianello G, Nannipieri P. 2013. Toxicity of metal oxide (CeO<sub>2</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, SnO<sub>2</sub>) engineered nanoparticles on soil microbial biomass and their distribution in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 60 (5): 87 – 94.
- Aschberger K, Micheletti C, Sokull-Klüttgen B, Christensen F M. 2011. Analysis of currently available data for characterising the risk of engineered nanomaterials to the environment and human health-lessons learned from fourcase studies. *Environment International*, 37 (6): 1143 – 1156.
- Atha D H, Wang H H, Petersen E J, Cleveland D, Holbrook R D, Jaruga P, Dizdaroglu M, Xing B S, Nelson B C. 2012. Copper oxide nanoparticle mediated DNA damage in terrestrial plant models. *Environmental Science and Technology*, 46 (3): 1819 – 1827.
- Avella M, De Vlieger J J, Errico M E, Fischer S, Vacca P, Volpe M G. 2005. Biodegradable starch/clay nanocomposite films for food packaging applications. *Food Chemistry*, 93 (3): 467 – 474.
- Awasthi K K, John P J, Awasthi A, Awasthi K. 2013. Multi walled carbon nano tubes induced hepatotoxicity in Swiss albino mice. *Micron*, 44: 359 – 364.
- Azeredo H. 2009. Nanocomposites for food packaging applications. *Food Research International*, 42 (9): 1240 – 1253.
- Baek Y W, An Y J. 2011. Microbial toxicity of metal oxide nanoparticles (CuO, NiO, ZnO and Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) to *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, and *Streptococcus aureus*. *Science of the Total Environment*, 409 (8): 1603 – 1608.
- Behbahani M, Salarian M, Amini M M, Sadeghi O, Bagheri A, Bagheri S. 2012. Application of a new functionalized nanoporous silica for simultaneous trace separation and determination of Cd ( II ), Cu ( II ), Ni ( II ) and Pb ( II ) in food and agricultural products. *Food Analytical Methods*, 1 – 10.
- Bhagat D, Samanta S K, Bhattacharya S. 2013. Efficient management of fruit pests by pheromone nanogels. *Scientific reports*, 3.
- Blinova I, Ivask A, Heinlaan M, Mortimer M, Kahru A. 2010. Ecotoxicity of nanoparticles of CuO and ZnO in natural water. *Environmental Pollution*, 158 (1): 41 – 47.
- Bodaghi H, Mostofi Y, Oromiehie A, Zamani Z, Ghanbarzadeh B, Costa C, Conte A, del Nobile M A. 2013. Evaluation of the photocatalytic antimicrobial effects of a TiO<sub>2</sub> nanocomposite food packaging film by *in vitro* and *in vivo* tests. *LWT-Food Science and Technology*, 50 (2): 702 – 706.
- Brumfiel G. 2003. Nanotechnology: A little knowledge. *Nature*, 424 (17): 246 – 248.
- Cassano A, Drioli E, Galaverna G. 2003. Clarification and concentration of citrus and carrot juices by integrated membrane processes. *Journal of Food Engineering*, 57 (2): 153 – 163.
- Chaudhry Q, Castle L, Watkins R. 2010. *Nanotechnologies in food*. London: Royal Society of Chemistry: 1 – 11.
- Cockburn A, Bradford R, Buck N, Constable A, Edwards G, Haber B, Hepburn P, Howlett J, Kampers F, Klein C, Radomski M, Stamm H, Wijnhoven S, Wildemann T. 2012. Approaches to the safety assessment of engineered nanomaterials (ENM) in food. *Food and Chemical Toxicology*, 50 (6): 2224 – 2242.
- Cohen D, Soroka Y, Ma'or Z, Oron M, Portugal-Cohen M, Brégégère F M, Berhanu D, Valsami-Jones E, Hai N, Milner Y. 2013. Evaluation of topically applied copper ( II ) oxide nanoparticle cytotoxicity in human skin organ culture. *Toxicology in Vitro*, 27 (1): 292 – 298.
- Costa C, Conte A, Buonocore G G, Del Nobile M A. 2011. Antimicrobial silver-montmorillonite nanoparticles to prolong the shelf life of fresh fruit salad. *International Journal of Food Microbiology*, 148 (3): 164 – 167.
- Costa C, Conte A, Buonocore G G, Lavorgna M, del Nobile M A. 2012. Calcium-alginate coating loaded with silver-montmorillonite nanoparticles to prolong the shelf-life of fresh-cut carrots. *Food Research International*, 48 (1): 164 – 169.
- Cushen M, Kerry J, Morris M, Cruz-Romero M, Cummins E. 2013. Migration and exposure assessment of silver from a PVC nanocomposite. *Food Chemistry*, 139 (1): 389 – 397.
- Damm C, Münstedt H, Rösch A. 2008. The antimicrobial efficacy of polyamide6/silver-nano and microcomposites. *Materials Chemistry and Physics*, 108 (1): 61 – 66.
- Díaz-Visurraga J, Meléndrez M F, García A, Paulraj M, Cárdenas G. 2010. Semitransparent chitosan-TiO<sub>2</sub> nanotubes composite film for food package

- applications. *Journal of Applied Polymer Science*, 116 (6): 3503 – 3515.
- Dinesh R, Anandaraj M, Srinivasan V, Hamza S. 2012. Engineered nanoparticles in the soil and their potential implications to microbial activity. *Geoderma*, 173: 19 – 27.
- Emamifar A, Kadivar M, Shahedi M, Soleimani-Zad S. 2010. Evaluation of nanocomposite packaging containing Ag and ZnO on shelf life of fresh orange juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11 (4): 742 – 748.
- Esmacillou M, Moharamnejad M, Hsankhani R, Tehrani A A, Maadi H. 2013. Toxicity of ZnO nanoparticles in healthy adult mice. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 35 (1): 67 – 71.
- Farré M, Gajda-Schrantz K, Kantiani L, Barceló D. 2009. Ecotoxicity and analysis of nanomaterials in the aquatic environment. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 393 (1): 81 – 95.
- Guo Y K. 1996. Desalination of spent brine from prune picking using a NF membrane system. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44 (8): 2384.
- Hou Dong-ying, Feng Jia, Xie Shu-lian. 2012. Toxic effects of nanoparticle TiO<sub>2</sub> stress on *Chara vulgaris* L. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 32 (6): 1481 – 1486. (in Chinese)
- 侯东颖, 冯 佳, 谢树莲. 2012. 纳米二氧化钛胁迫对普生轮藻的毒性效应. *环境科学学报*, 32 (6): 1481 – 1486.
- Hu Q H, Fang Y, Yang Y T, Ma N, Zhao L Y. 2011. Effect of nanocomposite-based packaging on postharvest quality of ethylene-treated kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) during cold storage. *Food Research International*, 44 (6): 1589 – 1596.
- Kottegoda N, Munaweera I, Madusanka N, Karunaratne V. 2011. A green slow-release fertilizer composition based on urea-modified hydroxyapatite nanoparticles encapsulated wood. *Current Science*, 101 (1): 73 – 78.
- Kumari M, Khan S S, Pakrashi S, Mukherjee A, Chandrasekaran N. 2011. Cytogenetic and genotoxic effects of zinc oxide nanoparticles on root cells of *Allium cepa*. *Journal of Hazardous Materials*, 190 (1): 613 – 621.
- Lecoanet H, Bottero J, Wiesner M. 2004. Laboratory assessment of the mobility of nanomaterials in porous media. *Environmental Science & Technology*, 38 (19): 5164 – 5169.
- Lin D H, Xing B S. 2007. Phytotoxicity of nanoparticles: Inhibition of seed germination and root growth. *Environmental Pollution*, 150 (2): 243 – 250.
- Liu Cai-yun, Zhou Wei, Bi Yang, Gan Bo-zhong, Li Wei-qiang. 2005. The applications of nanotechnology in food industry. *Science and Technology of Food Industry*, 26 (4): 185 – 186. (in Chinese)
- 刘彩云, 周 围, 毕 阳, 甘伯中, 李维强. 2005. 纳米技术在食品工业中的应用. *食品工业科技*, 26 (4): 185 – 186.
- Liu D B, Chen W W, Wei J H, Li X B, Wang Z, Jiang X Y. 2012. A highly sensitive, dual-readout assay based on gold nanoparticles for organophosphorus and carbamate pesticides. *Analytical Chemistry*, 84 (9): 4185 – 4191.
- Liu Qun, Wang Yi, Zhang Xin-zhong, Han Zhen-hai. 2012. Effect of PAM aquasorbent and nano-montmorillonite on the aboveground biomass of planting herbage in orchard. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 30 (6): 168 – 173. (in Chinese)
- 刘 群, 王 忆, 张新忠, 韩振海. 2012. PAM 保水剂及纳米蒙脱土对果园生草地上部生物量的影响. *干旱地区农业研究*, 30 (6): 168 – 173.
- Ma Ning, Shi Xue-bin, Fang Yong, Tang Xiao-zhi, Yang Qin, Yang Yan-ting, Hu Qiu-hui. 2012. Effect of nano-packaging material on quality preservation of lettuce (*Lactuca sativa*). *Food Science*, 33 (18): 281 – 285. (in Chinese)
- 马 宁, 石学彬, 方 勇, 汤晓智, 杨 芹, 杨燕婷, 胡秋辉. 2012. 纳米包装材料对生菜保鲜品质的影响. *食品科学*, 33 (18): 281 – 285.
- Oaew S, Charlermroj R, Pattarakankul T, Karoonuthaisiri N. 2012. Gold nanoparticles/horseradish peroxidase encapsulated polyelectrolyte nanocapsule for signal amplification in *Listeria monocytogenes* detection. *Biosensors and Bioelectronics*, 34 (1): 238 – 243.
- Roh J, Sim S J, Yi J, Park K, Chung K H, Ryu D, Choi J. 2009. Ecotoxicity of silver nanoparticles on the soil nematode *Caenorhabditis elegans* using functional ecotoxicogenomics. *Environmental Science & Technology*, 43 (10): 3933 – 3940.
- Service R F. 2003. Nanomaterials show signs of toxicity. *Science*, 300 (11): 243 – 243.
- Sharma V, Singh P, Pandey A K, Dhawan A. 2012. Induction of oxidative stress, DNA damage and apoptosis in mouse liver after sub-acute oral exposure to zinc oxide nanoparticles. *Mutation Research*, 745 (1): 84 – 91.

- Shi S Y, Wang W, Liu L Q, Wu S J, Wei Y Z, Li W C. 2013. Effect of chitosan/nano-silica coating on the physicochemical characteristics of longan fruit under ambient temperature. *Journal of Food Engineering*, 118 (1): 125 - 131.
- Song Xian-liang, Ye Sheng-ying, Huang Wei, Zhou Yi. 2010. Fresh-keeping effect of nano-titania/corn starch compound coating on cherry tomato. *Food Science*, 31 (12): 255 - 259. (in Chinese)
- 宋贤良, 叶盛英, 黄 苇, 周 奕. 2010. 纳米 TiO<sub>2</sub>/玉米淀粉复合涂膜对圣女果保鲜效果的研究. *食品科学*, 31 (12) : 255 - 259.
- Song Y, Li X, Du X. 2009. Exposure to nanoparticles is related to pleural effusion, pulmonary fibrosis and granuloma. *European Respiratory Journal*, 34 (3): 559 - 567.
- Sun Xin, Huang Jun-yan, Wu Shuang-ling, Sun Cheng-lun. 2012. Study and application progress of nano-composite packaging materials. *Plastics Science and Technology*, 40 (12): 100 - 103. (in Chinese)
- 孙 新, 黄俊彦, 吴双岭, 孙成伦. 2012. 纳米复合包装材料的研究与应用进展. *塑料科技*, 40 (12): 100 - 103.
- Tan E Z, Yin P G, Lang X F, Zhang H Y, Guo L. 2012. A novel surface-enhanced Raman scattering nanosensor for detecting multiple heavy metal ions based on 2-mercaptoisonicotinic acid functionalized gold nanoparticles. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 97: 1007 - 1012.
- Tao Xi-qin, Wang Ming-li, Lai Hong, Yuan Zhi. 2010. Application research of chitosan pesticide composite films. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 26 (17): 246 - 250. (in Chinese)
- 陶希芹, 王明力, 赖 红, 袁 志. 2010. 壳聚糖复合膜农药剂型的应用研究. *中国农学通报*, 26 (17): 246 - 250.
- Vecchio G, Galeone A, Brunetti V, Maiorano G, Rizzello L, Sabella S, Cingolani R, Pompa P P. 2012. Mutagenic effects of gold nanoparticles induce aberrant phenotypes in *Drosophila melanogaster*. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 8 (1): 1 - 7.
- Vivekanand V, Iyer M, Ajlouni S. 2012. Clarification and stability enhancement of pear juice using loose nanofiltration. *Journal of Food Processing and Technology*, 3 (6): 1 - 6.
- Wang Shu-juan, Liu Qiang, Song Hai-xing, Rong Xiang-min, Peng Jian-wei, Wang Xiao-juan, Zhang Zhen-hua, Chen Li-jun. 2011. Effects of nano-preparation on growth and nitrogen fertilizer use efficiency of cabbage. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 27 (13): 264 - 267. (in Chinese)
- 王曙娟, 刘 强, 宋海星, 荣湘民, 彭建伟, 王小娟, 张振华, 陈利军. 2011. 纳米制剂对小白菜生长及氮肥利用率的影响. *中国农学通报*, 27 (13): 264 - 267.
- Warczok J, Ferrando M, López F, Güell C. 2004. Concentration of apple and pear juice by nanofiltration at low pressures. *Journal of Food Engineering*, 63 (1): 63 - 70.
- Wu C S, Khaing Oo M K, Fan X D. 2010. Highly sensitive multiplexed heavy metal detection using quantum-dot-labeled DNAzymes. *ACS Nano*, 4 (10): 5897 - 5904.
- Xia Xian-quan, Liu Xu, Yao Ge, Hou Tai-ping, Gong Bao-hong, Hou Yong. 2007. Preventing experiments by nicotine type nano-pesticide-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-nicotine-avermectin 18% AS. *Agrochemicals*, 46 (7): 500 - 502. (in Chinese)
- 夏先全, 刘 旭, 姚 革, 侯太平, 龚葆红, 侯 勇. 2007. 纳米烟碱类生物农药——18%烟·阿 AS 防治试验. *农药*, 46 (7): 500 - 502.
- Xiu Z M, Zhang Q B, Puppala H L, Colvin V L, Alvarez P J. 2012. Negligible particle-specific antibacterial activity of silver nanoparticles. *Nano Letters*, 12 (8): 4271 - 4275.
- Xu Ting-qiao, Luo Zi-sheng, Xie Jing. 2011. Effects of nano-SiO<sub>2</sub>/chitosan complex (NSCC) on the shelf life and quality of fresh-cut Chinese Water Chestnut. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 11 (4): 123 - 128. (in Chinese)
- 徐庭巧, 罗自生, 解 静. 2011. 纳米 SiO<sub>2</sub>/壳聚糖复合物对鲜切荸荠品质和生理的影响. *中国食品学报*, 11 (4): 123 - 128.
- Xue He-lun. 2012. The applications of nanotechnology in crop production. *Farmer Daily*, 2012 - 11 - 27 (3). (in Chinese)
- 薛合伦. 2012. 纳米技术在农作物生产中的应用. *农民日报*, 2012 - 11 - 27 (3).
- Yang An-shu, Chen Hong-bing. 2007. Application of nanotechnology in food processing. *Food Science and Technology*, 32 (9): 12 - 15. (in Chinese)
- 杨安树, 陈红兵. 2007. 纳米技术在食品加工中的应用. *食品科技*, 32 (9): 12 - 15.
- Yang Y J, Xu F, Xu H Y, Aguilar Z P, Niu R J, Yuan Y, Sun J C, You X Y, Lai W H, Xiong Y H, Wan C X, Wei H. 2013. Magnetic nano-beads based separation combined with propidium monoazide treatment and multiplex PCR assay for simultaneous detection of viable *Salmonella*

- typhimurium*, *Escherichia coli* O157: H7 and *Listeria monocytogenes* in food products. Food Microbiology, 34 (2): 418 - 424.
- Yin Guo-ping, Chen Zhi-zhou. 2012. Nano-composite films and its application in fruits and vegetables preservation. Packaging Journal, 4 (1): 24 - 28. (in Chinese)
- 尹国平, 陈志周. 2012. 纳米复合薄膜及其在果蔬保鲜中的应用. 包装学报, 4 (1): 24 - 28.
- Yu Yan, Yan Hong, Hu Sen-ke, Sun Zhen-jun. 2006. Security assessment of nano-particles. Chinese Journal of Clinical Rehabilitation, 10 (1): 151 - 153. (in Chinese)
- 于 燕, 颜 虹, 胡森科, 孙振军. 2006. 纳米材料的安全性评价. 中国临床康复, 10 (1): 151 - 153.
- Yu Y W, Zhang S Y, Ren Y Z, Li H, Zhang X N, Di J H. 2012. Jujube preservation using chitosan film with nano-silicon dioxide. Journal of Food Engineering, 113 (3): 408 - 414.
- Zhang D H, Li P W, Zhang Q, Zhang W. 2011. Ultrasensitive nanogold probe-based immunochromatographic assay for simultaneous detection of total aflatoxins in peanuts. Biosensors and Bioelectronics, 26 (6): 2877 - 2882.
- Zhang Ming-hai. 2005. The application of strong nano 863 in pest control of fruits and vegetables. Agricultural Knowledge: Fruits and Vegetable, (5): 54. (in Chinese)
- 张明海. 2005. 强的纳米 863 在蔬菜苗期病虫害防治上的应用. 农业知识: 瓜果菜, (5): 54.
- Zheng Z Z, Zhou Y L, Li X Y, Liu S Q, Tang Z Y. 2011. Highly-sensitive organophosphorous pesticide biosensors based on nanostructured films of acetylcholinesterase and CdTe quantum dots. Biosensors and Bioelectronics, 26 (6): 3081 - 3085.

## 信 息

# 第 29 届国际园艺大会将于 2014 年在澳大利亚召开

**时间:** 2014 年 8 月 17—22 日 **地点:** 澳大利亚布里斯班

**会议主题:** 可持续生活、生计与环境美化 **副主题:** 可持续生活、可持续生计、可持续环境美化、热带园艺

**会议内容:** 水果蔬菜对人类健康的影响、园艺与人类、园艺在发展中国家和世界农产品生产中的地位、园艺提高发展中国家人民的生活水平、多年生果树生理与全球环境变化中的果树生产体系、推动本土蔬菜的科研与生产, 高附加值蔬菜、块根块茎类作物及食用菌的生产、销售与需求, 温室观赏园艺、机械化、精准园艺与机器人, 水果无损检测、植物保护新技术、未来采后技术, 园艺教育、研究、培训及咨询, 保护地栽培新技术、园艺作物育种、园艺作物分子生物学、园艺作物脱毒快繁及组织培养技术、植物遗传资源、园林及城郊型园艺、运动场草皮管理、园艺资源的有机废物处理, 生物安全、害虫检疫及市场进入, 城市树木的可持续管理、热带水果及观赏植物等。

**会议形式:** 大会、分组会、专题讨论会。

**提交论文摘要时间:** 2013 年 4 月 1 日 **提交论文摘要截止时间:** 2013 年 11 月 1 日

**通知论文摘要接收时间:** 2014 年 1 月 14 日

**会议报告人(包括墙报)注册截止时间:** 2014 年 2 月 17 日

**注册开放时间:** 2013 年 9 月 30 日

**提前注册截止时间:** 2014 年 2 月 17 日

**注册方式:** 网上注册或从网上下载注册表填写后寄至大会秘书处

**注册联系方式:** IHC2014 Secretariat

PO. Box 3599

South Brisbane QLD 4101

Telephone: +61 (0) 7 3255 1002

Facsimile: +61(0) 7 3255 1004

E-mail: registration@ihc2014.org

**大会网站:** www.ihc2014.org