

纳米材料在食品包装中的应用及安全性评价

杨龙平, 章建浩, 黄明明, 严文静

(南京农业大学, 南京 210095)

摘要: **目的** 阐述几种常用纳米材料在食品包装中的应用, 并对其安全性进行研究。 **方法** 分别阐述 Ag, TiO₂, SiO₂, ZnO, 蒙脱土等纳米材料在食品包装方面的应用。 **结论** 纳米材料能有效改善包装材料的特性, 保持食品的品质和风味, 防止微生物滋生, 具有显著的意义和广阔的发展前景。

关键词: 纳米材料; 食品包装; 应用; 安全性

中图分类号: TB487; TS206.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)01-0019-05

Application and Safety Evaluation of Nanomaterial in Food Packaging

YANG Long-ping, ZHANG Jian-hao, HUANG Ming-ming, YAN Wen-jing

(Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

ABSTRACT: The applications and safety of several common nanomaterials used in food packaging were reviewed in this paper. The applications of nanomaterials including Ag nanomaterials, TiO₂ nanomaterials, SiO₂ nanomaterials, ZnO nanomaterials and montmorillonite used for food packaging were illuminated. Nanomaterials can effectively improve the properties of packaging materials, maintain the quality and flavor of food, prevent microbial growth, and have significant meaning and bright prospects.

KEY WORDS: nanomaterial; food packaging; application; safety

纳米技术是在单个原子或分子尺度上准确识别、观测和控制物质的个数、种类和几何构型, 据此来制造特定产品或创造纳米级加工工艺的一门新兴学科。其中, 纳米材料是纳米技术最重要的基础, 是由纳米粒子组成的一种超微颗粒材料, 尺寸为 1~100 nm。在该尺寸范围内的纳米材料由于其独特的尺寸效应, 因而会呈现出许多大块材料不具备的特殊性质, 如优异的物理化学性能、较好的力学性能、优良的加工性能、较好的生态性^[1]。纳米包装材料是一种新型包装材料, 通过向原有包装材料中加入纳米材料对其进行改性、复合, 从而赋予新材料具有纳米材料的表面等离子体性质, 并表现出很好的抑菌性、力学性能和透气性等^[2], 目前已经广泛应用于食品、环境、医药等领域。

在食品包装领域, 目前研究比较多的是以聚合物为基底的纳米复合材料, 该材料是通过向柔性较好的高分子聚合物中加入纳米尺寸的分子或纳米颗粒制备而成。纳米复合材料主要包括 2 种成分: 无机纳米材料(如 Ag, TiO₂, SiO₂ 等)和有机聚合物(如聚乙烯、淀粉、聚乳酸、水溶性聚糖或酯类等)。无机纳米粒子使复合包装材料具有传统包装材料所不具备的特殊性质。根据基质材料对生物降解的承受能力可将食品包装材料分为 2 类: 不可降解的纳米复合材料和可生物降解的纳米复合材料。如果使用的基质是水溶性聚糖或酯类材料, 还能够制备得到可食性纳米复合材料^[3]。目前, 各种纳米复合包装材料中应用比较广泛的包括硅酸盐-环氧树脂纳米复合材料、尼龙 66-粘土复合材料、纳米蒙脱石粉/PA 类、纳米 SiO₂/PP 类等^[4]。

收稿日期: 2014-10-08

基金项目: 江苏省国际科技合作计划(BZ2014034); 江苏省优势学科人才引进(80900229)

作者简介: 杨龙平(1991—), 女, 重庆人, 南京农业大学硕士生, 主攻纳米抑菌材料的开发。

通讯作者: 严文静(1986—), 女, 陕西咸阳人, 博士, 南京农业大学讲师, 主要研究方向为纳米生物传感检测技术及抑菌纳米保鲜材料。

纳米技术正在取代传统的食品包装技术,纳米包装材料不仅可以改善包装材料特性,防止微生物滋生,还可以有效地保持食品的品质,具有广阔的应用前景。

纳米材料的特殊效应使其在食品包装领域得到广泛的关注和应用,但也正是其特殊效应使人们不得不面对和重视其生物安全性问题。文中阐述常用的几种纳米材料的特性以及在食品包装方面的应用,并对其生物安全性进行总结。

1 纳米材料在食品包装中的应用

1.1 纳米 Ag

纳米 Ag 的保鲜机理来源于该材料对乙烯氧化催化作用的影响,当保鲜包装材料中加入一定量的 Ag 纳米粉,乙烯的氧化速度被大大加快,使得保鲜效果得到提高。同时,纳米 Ag 具有纳米材料特殊的耐光、耐热、化学稳定等特性,该材料对细菌和霉菌等都表现出很好的抗菌性,且抗菌作用持久。另外,纳米 Ag 不易挥发、溶出,不会因光照引起颜色改变而污染食品也是其得到广泛应用的原因之一。

刘伟^[5]等人研究了纳米 Ag 对 G⁺菌、G⁻菌及酵母菌和霉菌的抑制效果,相同浓度下,对3种菌的作用大小为 G⁺菌>G⁻菌>酵母菌和霉菌。另外,银的浓度和作用时间对纳米 Ag 的抑制作用有很大影响。陈江魁^[6]在光照条件下,分别测试了纳米 Ag 对4种细菌和1种酵母菌的抗菌性能,结果显示了理想的抑菌效果。李新林^[7]等人研究了纳米 Ag 对海参腐败中优势菌株或海参腐败中所有菌的抑制效果,发现纳米 Ag 的质量浓度为 0.05 mg/L 时,仅仅需要 12 h 就杀灭 80% 左右的细菌。

纳米 Ag 添加到包装材料中,具有很好的保鲜作用。宋益娟^[8]等人利用纳米银与聚乙烯制备的保鲜袋对新鲜酱鸭进行包装,发现该材料能较好地保持酱鸭的风味,降低鸭肉中挥发性盐基氮的产生,并抑制微生物的生长繁殖。李新林^[9]将纳米银淀粉液涂膜在鲍鱼表面,研究在微波冻干过程中,纳米银涂膜材料对鲍鱼表面细菌总数的影响,结果表明纳米银淀粉液的质量浓度为 0.3 mg/L 时,鲍鱼表面的菌落总体数量下降了 99.2%,且鲍鱼的干燥效率不受纳米银涂膜的影响。曹雪玲^[10]研究发现纳米银胶对草莓具有很好的保鲜效果。

1.2 纳米 TiO₂

TiO₂ 是一种在紫外光(340~350 nm)下激发的光催化剂,该材料通过屏蔽紫外线照射阻止肉类食品的自动氧化,从而有效防止因维生素和芳香化合物的破坏而造成食品营养价值流失及腐烂,在食品保鲜包装领域,该材料具有很广泛的应用前景。TiO₂ 作为一种新型包装材料,可降解对环境无污染,在光照射条件下,可粘污塑料或玻璃表面的油污、细菌等。

Men Long^[11]等人研究发现,在紫外光下纳米 TiO₂ 能有效杀死沙门氏菌与李斯特菌。Jiamei Wang^[12]等人发现纳米 TiO₂ 在紫外光下能导致脂质氧化、破坏细胞膜完整性并一步杀死微生物,同时发现革兰氏阳性菌比革兰氏阴性菌对纳米 TiO₂ 更敏感。熊裕华^[13]等人在室温下研究了纳米 TiO₂ 固相光催化对于聚乙烯(PE)包装薄膜的降解作用,发现 TiO₂ 能加速 PE 的失重,促使碳链断裂,从而在薄膜表面形成大量的坑洞。

纳米 TiO₂ 虽然具有很好的光催化作用,但是该材料很不稳定,其杀菌效能会随着放置时间的延长而减弱。由此,人们开始研究通过纳米 TiO₂ 与多种抗菌剂进行复合从而提高其抑菌性和稳定性,目前,主要包含3类:聚合物基纳米 TiO₂ 复合材料、天然高分子/纳米 TiO₂ 复合材料及纳米 TiO₂ 和 Ag 共同作用的复合材料^[14]。马龙俊^[15]等人通过添加液体石蜡和纳米 SiO₂, TiO₂ 改性,有效降低 PVA 基涂膜包装材料的透湿性能。高珊珊^[16]等人发现改性纳米 TiO₂ 相比于未改性纳米材料,可以有效提高其在纤维素膜中的分散性。陈丽^[17]等人研制的纳米 TiO₂ 母粒等多功能材料改性 SG—IV 型 PVC 树脂复合新材料能有效阻止 O₂, 该材料用于富士苹果保鲜涂膜,纵向拉伸强度可以提高 36%,透氧气率降低 18%,透湿率降低 10%。

1.3 纳米 SiO₂

纳米 SiO₂ 是目前应用比较广泛的无机非金属材料之一,该材料具有无毒、无气味、无污染、表面积大、抑菌性能好等特点,已在食品、生物、医药等领域中得到广泛应用。SiO₂ 可以在表面形成一层致密的纳米膜层,通过该膜层上丰富的硅氧键对膜内外 CO₂ 和 O₂ 的交换量进行调节,从而达到抑制果蔬呼吸强度、抑菌保鲜的效果^[18]。

通过添加纳米 SiO₂ 可以很好地改善聚合材料的力学性能。杨禹^[19]等人通过向上浆剂中添加纳米 SiO₂ 粒子,使得上浆炭纤维的强度明显增加。吴春蕾^[20]等人

通过向聚丙烯中加入接枝改性的 SiO_2 ,使其增韧显著增强。另外,利用纳米 SiO_2 独特的光学性能,由它填充的聚合物能够满足某些特种光学功能材料的要求,使复合材料在提高力学性能的同时具有良好的光学性能。张彦奇^[21]等人发现了通过向线性低密度聚乙烯中加入纳米 SiO_2 ,不仅复合材料的弹性模量显著提高,复合材料薄膜对长波红外线($7 \sim 11 \mu\text{m}$)的吸收能力也有了大幅度的提高,从而改善了聚合材料的透光效果。另外,研究发现纳米 SiO_2 能够有效提高聚合物耐热性能和耐老化性能^[22]。

1.4 纳米ZnO

纳米ZnO是一种可被紫外光($\lambda \leq 368 \text{ nm}$)激发的宽带隙半导体,具有良好的光催化活性。作为一类无机金属氧化物,ZnO具有廉价、无毒、方便和良好的生物相容性等特点,目前已被广泛应用于光催化降解有毒有机污染物、太阳能电池等领域。相比于纳米 TiO_2 ,ZnO具有更高的光催化活性和量子产率,被认为是极具应用前景的高活性光催化剂之一。

毛桂洁^[23]等人利用纳米ZnO的紫外屏蔽作用,有效提高了PVA薄膜断裂伸长率、保留率。李亚娜^[24]等人发现纳米ZnO可以显著提高HDPE的结晶度,增强复合膜的阻隔性能。通过纳米ZnO改性后的聚合物,其力学性能、紫外吸收性能、抗菌性能等方面都有了显著的提高。日本学者Sawai^[25]等发现,氧化锌粉体通过简单接触可以明显抑制大肠杆菌和金黄色葡萄球菌。高艳玲^[26]等人研究发现在自然光、室温条件下,纳米改性聚烯烃复合材料对枯草芽孢杆菌有较强的抗菌作用,其抗菌率最高达99.99%,并且对大肠杆菌、枯草芽孢杆菌、金黄色葡萄球菌等多种菌体均有抑制作用。目前关于氧化锌的抗菌机理主要有:接触吸附机理、金属离子溶出机理和光催化机理。其中,金属离子溶出机理和光催化机理是最主要的。

上述研究表明,纳米氧化锌对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌等细菌具有较好的抗菌效果,鉴于细菌与真菌的细胞构成差异性大,因此对霉菌、酵母等真菌的抗菌效果仍需要进行进一步研究。

1.5 纳米MMT

蒙脱土(MMT)是一类天然黏土矿物,通过特殊方法对蒙脱土进行改性后,以纳米片层的形式与聚合物作用分散在聚合物中,最终形成聚合物纳米复合材料。聚合物/层状硅酸盐蒙脱土纳米复合材料(PLS),

是目前新兴的一种聚合物基无机纳米复合材料,其利用层状粘土矿物的吸附性、离子交换性和膨胀性等特点,将单体或聚合物嵌入到矿物的层间域而得到的。我国目前的研究主要集中在聚合物/蒙脱土纳米复合材料的制备和表征上,制备方法均采用天然土经有机改性后采取插层复合的方法。由于这种方法只能适用于部分聚合物,故存在很大的局限性^[27]。

PA6/蒙脱土纳米复合材料是最早采用蒙脱土制备的改性复合材料^[28],它的出现随即引发了研究者对聚合物/黏土纳米复合材料的极大兴趣和广泛研究。张英杰^[29]等人通过向聚乙烯醇中添加蒙脱土,较大提高PVA的热性能和弹性模量,显著降低了材料的吸水率、吸水速度和光透过率,对紫外光有很好的屏蔽作用。刘桂超^[30]等人研究了纳米MMT含量对聚乙烯醇基纳米复合膜包装性能的影响,发现PVA结晶形态和复合膜的包装性能受纳米材料含量的影响。姚娜^[31]等人研究了常温下纳米含量对PLLA/MMT,PLLA/DK2纳米复合材料阻隔性的影响。薛琼^[32]等人制备乙烯-乙醇共聚物(EVOH)/蒙脱土纳米复合膜,发现在紫外光的照射下,膜的力学性能、阻隔性能有了显著的提高,同时并没有影响复合膜的透明性。

2 纳米复合食品包装材料的安全性评价

由于纳米材料特殊的光、热、电等性质,目前已被广泛应用于食品包装领域,基于纳米材料的新型食品包装材料随处可见,人们不得不面对和重视其生物安全性问题。纳米材料的尺寸大小、溶解性、化学组成、表面结构、形状以及聚集状态等均可以影响其生物学效应。

虽然目前关于纳米颗粒在聚合物薄膜、陶瓷、玻璃和纸张等包装材料中迁移的研究比较少,但是对于消费者来说,食品包装材料中纳米颗粒的安全问题始终是人们关注的重点问题。纳米材料的安全性可以通过动物体内的经口毒性实验和体外细胞毒性实验得以证实。纳米颗粒对生物体的毒性表现为2种不同类型的效应,一种毒性效应是与纳米颗粒的组成不相关,是通过纳米颗粒产生大量的活性氧物质(ROS),该物质在生物体内会表现一定的毒性;另外一种毒性效应与纳米颗粒的组成直接相关,如某些金属或金属氧化物纳米颗粒在生物体内与蛋白的结合会导致蛋白功能的异常,而某些纳米颗粒,如金属合金、碳纳米管等则表现出直接或间接的基因毒性^[33]。田海娇^[34]等人

研究了包装材料中不同成分、温度和时间等对纳米银-聚乙烯复合包装材料中银迁移的影响。黄延敏^[35]等人研究了不同保鲜材料中纳米Ag的迁移速率,发现聚乙烯保鲜袋比聚丙烯保鲜盒中纳米银的迁出量大,迁移颗粒较小,并且发现纳米银的迁移量与浸泡时间和浸泡温度有很大关系。

目前,国内外很多课题组对常用纳米材料的安全性均展开了广泛研究,但是得到的实验结论并不相同,有些甚至相互矛盾,所以对于纳米材料的安全性至今仍没有明确的结论。另外,对于纳米材料进入到体内后的归宿如何、作用如何等问题都尚未解决。所以,要确定纳米材料是否真正安全还需要进行大量的后续研究。

3 结语

随着纳米技术的快速发展,纳米材料的抑菌效能及在食品保鲜包装方面的应用将成为科学家研究的热点。纳米材料对于食品及食品包装材料的影响具体表现为:纳米材料影响包装材料的力学、热学、光吸收率等;纳米材料能有效阻止微生物的生长,延长产品储藏期;纳米材料在延长保质期的同时能很好地维持产品的感官品质。纳米材料的安全性仍需要进一步证实,纳米材料在食品包装过程中的迁移规律及纳米材料在细胞内的生物毒性是未来研究的热点。

参考文献:

- [1] 邢明,罗亚明. 食品纳米包装与防伪技术综合应用的探究[J]. 包装工程, 2007, 28(5): 182—184.
XING Ming, LUO Ya-ming. Integrated Application of Food Nano Packaging and Anti-counterfeiting Technology[J]. Journal of Packaging Engineering, 2007, 28(5): 182—184.
- [2] 李倩,刘晨光. 纳米技术在食品科学中的应用研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2009(6): 24—29.
LI Qian, LIU Chen-guang. Research Progress of Application of Nanotechnology in Food Science[J]. China's Agricultural Science and Technology Leader, 2009(6): 24—29.
- [3] 何培健,王大志,陈利琴,等. 纳米技术在药品与食品包装中的应用[J]. 海峡药学, 2006(3): 197—199.
HE Pei-jian, WANG Da-zhi, CHEN Li-qin, et al. Application of Nanotechnology in Medicine and Food Packaging[J]. Journal of Pharmacy Channel, 2006(3): 197—199.
- [4] 李华佳,辛志宏,胡秋辉. 食品纳米技术与纳米食品研究进展[J]. 食品科学, 2006, 27(9): 271—274.
LI Hua-jia, XIN Zhi-hong, HU Qiu-hui. Research Progress of Food Nanotechnology and Nanofood[J]. Journal of Food Science, 2006, 27(9): 271—274.
- [5] 刘伟,张子德,王琦,等. 纳米银对常见食品污染菌的抑制作用研究[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(5): 135—137.
LIU Wei, ZHANG Zi-de, WANG Qi, et al. The Inhibition Study of Nano Ag for Common Food Bacteria Pollution[J]. Journal of Food Research and Development, 2006, 27(5): 135—137.
- [6] 陈江魁,孔彬彬,陈丽梅,等. 2种纳米材料抗菌性能的研究[J]. 中国酿造, 2010(4): 55—59.
CHEN Jiang-kui, KONG Bin-bin, CHEN Li-mei, et al. Research of 2 Kinds of Antibacterial Properties of Nanomaterials[J]. China Brewing, 2010(4): 55—59.
- [7] 李新林,段续,张懋,等. 纳米银对海参腐败中优势菌种的抑制作用[J]. 食品与生物技术学报, 2010, 29(3): 359—364.
LI Xin-lin, DUAN Xu, ZHANG Min, et al. The Inhibition of Nano Ag for Advantaged Bacteria in Sea Cucumber Corruption[J]. Journal of Food and Biotechnology, 2010, 29(3): 359—364.
- [8] 宋益娟,关荣发,芮昶,等. 纳米包装材料对酱鸭贮藏品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(32): 15913—15914.
SONG Yi-juan, GUAN Rong-fa, RUI Chang, et al. Effects of Nano-packaging on the Preservation of Sauced Duck[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2012, 40(32): 15913—15914.
- [9] 李新林,张懋,段续,等. 纳米银涂膜对微波冻干鲍鱼微生物的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2010, 29(1): 44—49.
LI Xin-lin, ZHANG Min, DUAN Xu, et al. Effect of Nano-silver Coating on Microorganism Control of Microwave Freeze-dried Abalone[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2010, 29(1): 44—49.
- [10] 曹雪玲,刘发现,金丽,等. 纳米银胶的制备及对草莓的保鲜性能研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(5): 327—329.
CAO Xue-ling, LIU Fa-xian, JIN Li, et al. The Preparation of Nanometer Silver Glue and Research on Strawberry Preservation Performance[J]. Journal of Food Industry Science and Technology, 2014, 35(5): 327—329.
- [11] LONG M, WANG J, ZHUANG H, et al. Performance and Mechanism of Standard Nano-TiO₂ (P-25) in Photocatalytic Disinfection of Foodborne Microorganisms—salmonella Typhimurium and Listeria Monocytogenes[J]. Food Control, 2014, 39: 68—74.
- [12] WANG J, ZHUANG H, HINTON A, et al. Photocatalytic Disinfection of Spoilage Bacteria Pseudomonas Fluorescens and Micrococcus Caseolyticus by Nano-TiO₂[J]. LWT Food Science and Technology, 2014, 59(2): 1009—1017.

- [13] 熊裕华,李凤仪. TiO_2 光催化降解聚乙烯薄膜[J]. 应用化学, 2005, 22(5): 534—537.
XIONG Yu-hua, LI Feng-yi. Polyethylene Film of TiO_2 Photocatalytic Degradation[J]. Journal of Applied Chemistry, 2005, 22(5): 534—537.
- [14] 黄瑜. 纳米 TiO_2 保鲜包装材料的研究进展[J]. 包装与食品机械, 2012, 30(4): 58—61.
HUANG Yu. The Research Progress of Fresh-keeping Packaging Materials of Nano TiO_2 [J]. Journal of Packaging and Food Machinery, 2012, 30(4): 58—61.
- [15] 马龙俊,刘瑶,章建浩,等. 纳米 SiO_2 、 TiO_2 改性PVA基液体石蜡复合涂膜保鲜包装材料[J]. 食品科学, 2013, 34(16): 341—346.
MA Long-jun, LIU Yao, ZHANG Jian-hao, et al. The Composite Film Materials of Nano SiO_2 , TiO_2 Modified PVA Modified Atmosphere Packaging of Liquid Paraffin[J]. Journal of Food Science, 2013, 34(16): 341—346.
- [16] 高珊珊,王建清. 改性纳米 TiO_2 对纤维素包装膜性能及结构的影响[J]. 中国印刷与包装研究, 2012, 4(2): 67—72.
GAO Shan-shan, WANG Jian-qing. Performance of Modified Nano TiO_2 for Cellulose Packaging Film and the Influence of the Structure[J]. Journal of China Printing and Packaging Research, 2012, 4(2): 67—72.
- [17] 陈丽,李喜宏,胡云峰,等. 富士苹果PVC/ TiO_2 纳米保鲜膜研究[J]. 食品科学, 2001, 22(7): 74—76.
CHEN Li, LI Xi-hong, HU Yun-feng, et al. The Study of PVC/ TiO_2 Nanometer Film of Fuji Apple[J]. Journal of Food Science, 2001, 22(7): 74—76.
- [18] 黄晓英,刘天模. 纳米包装材料及其应用[J]. 包装工程, 2006, 27(5): 304—305.
HUANG Xiao-ying, LIU Tian-mo. Nano Packaging Materials and Its Application[J]. Journal of Packaging Engineering, 2006, 12: 304—305.
- [19] 杨禹,吕春祥,王心葵,等. 纳米 SiO_2 改性乳液上浆剂对碳纤维抗拉强度的影响[J]. 新型炭材料, 2006, 21(3): 263—268.
YANG Yu, LYU Chun-xiang, WANG Xin-kui, et al. Nanometer SiO_2 Modified Emulsion Sizing Agent for Carbon Fiber Tensile Strength[J]. The Influence of New Carbon Materials, 2006, 21(3): 263—268.
- [20] 吴春蕾,章明秋,容敏智,等. 纳米 SiO_2 表面接枝聚合改性及其聚丙烯基复合材料的力学性能[J]. 复合材料学报, 2002, 19(6): 61—67.
WU Chun-lei, ZHANG Ming-qiu, RONG Min-zhi, et al. Nano SiO_2 Surface Graft Polymerization Modification and Mechanical Properties of Polypropylene Matrix Composites[J]. Journal of Composite Materials, 2002, 19(6): 61—67.
- [21] 张彦奇,华幼卿. LLDPE/纳米 SiO_2 复合材料的力学性能和光学性能研究[J]. 高分子学报, 2003(5): 683—687.
ZHANG Yan-qi, HUA You-qing. Research of Mechanical Properties and Optical Properties of LLDPE/Nanometer SiO_2 Composite Materials[J]. Journal of Polymer, 2003(5): 683—687.
- [22] 陈海锋,王智宇,陈建军,等. 原位分散法制备纳米 SiO_2 改性涂料及其光老化性能[J]. 稀有金属材料与工程, 2004, 33(s1): 9—12.
CHEN Hai-feng, WANG Zhi-yu, CHEN Jian-jun, et al. Preparation of Nano SiO_2 Modified Coatings and Light Aging Properties[J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2004, 33(s1): 9—12.
- [23] 毛桂洁. 聚乙烯醇/淀粉/ ZnO 纳米复合材料的制备及性能研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007.
MAO Gui-jie. The Preparation and Performance Study of Pva/Starch/ ZnO Nanocomposite[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2007.
- [24] 李亚娜,车庆浩,贺庆辉,等. 纳米 ZnO /HDPE复合膜的制备和性能研究[J]. 中国印刷与包装研究, 2010, 11(s1): 398.
LI Ya-na, CHE Qing-hao, HE Qing-hui, et al. The Preparation and Performance Study of Nanometer ZnO /HDPE Composite Membrane[J]. Journal of China Printing and Packaging Research, 2010, 11(s1): 398.
- [25] SAWAI J, IGARASHI H, HASHIMOTO A, et al. Evaluation of Growth Inhibitory Effect of Ceramic Powder Slurry on Bacteria by Conductance Method[J]. Journal of Chemical Engineering of Japan, 1995, 28(3): 288—293.
- [26] 高艳玲,姜国伟,张少辉. 纳米 ZnO /LDPE抗菌食品包装材料研制[J]. 食品科学, 2010(2): 102—105.
GAO Yan-ling, JIANG Guo-wei, ZHANG Shao-hui. Research of Nanometer ZnO /LDPE Antibacterial Food Packaging Materials[J]. Journal of Food Science, 2010(2): 102—105.
- [27] 李春生,周春晖,李庆伟,等. 聚合物/蒙脱土纳米复合材料的研究进展[J]. 化工生产与技术, 2002(4): 22—26.
LI Chun-shen, ZHOU Chun-hui, LI Qing-wei, et al. The Research Progress of Polymer/Montmorillonite Nanocomposite[J]. The Research Progress of Chemical Production and Technology, 2002(4): 22—26.
- [28] OKADA A, KAWASUMI M, KURAUCHI T, et al. Synthesis and Characterization of a Nylon 6-clay Hybrid[J]. American Chemical Society, 1987, 28(2): 447—449.
- [29] 张英杰. 聚乙烯醇/蒙脱土纳米复合材料的研究[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2005.
ZHANG Ying-jie. The Research of Poly (Vinyl Alcohol)/Montmorillonite Nanocomposites[D]. Qingdao: Qingdao University, 2005.

- [14] DELOSSANTOS M, BATLLE R, SALAFRANCA J, et al. Sub-critical Water and Dynamic Sonication-assisted Solvent Extraction of Fluorescent Whitening Agents and Azodyes in Paper Samples[J]. J Chromatogr A, 2005, 1064(2): 135—141.
- [13] 邓凯芬, 任佳丽, 彭湘莲, 等. ASE/HPLC测定纸塑包装中荧光增白剂VBL[J]. 食品与机械, 2012, 28(11): 96—100.
- DENG Kai-fen, REN Jia-li, PENG Xiang-lian, et al. Determination of Fluorescent Whitening Agents VBL in Food Paper-plastic Packaging Materials Using Accelerated Solvent Extraction/High-performance Liquid Chromatography[J]. Food & Machinery, 2012, 28(11): 96—100.
- [14] OGURA I, DUVALD L, MIYAJIMA K. Characterization of Brighteners in Detergents by High-performance Liquid Chromatography/Mass Spectrometry/Ultraviolet/Fluorescence and Three-dimensional High-performance Liquid Chromatography[J]. J Am Oil Chem Soc, 1995, 72(7): 827—833.
- [15] 杜志峰, 洗燕萍, 刘付建, 等. 液相色谱-高分辨飞行时间质谱法测定食品接触纸包装材料中的7种荧光增白剂[J]. 分析化学, 2014, 42(5): 636—642.
- DU Zhi-feng, XIAN Yan-pin, LIU Fu-jian, et al. Simultaneous Determination of Seven Fluorescent Whitening Agents in Food Contact Paper Package Materials by High Performance Liquid Chromatography Tandem Triple TOF-high Resolution Mass Spectrometry[J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 2014, 42(5): 636—642.
- [16] 王绪卿, 吴永宁, 陈君石. 食品污染物监测低水平数据处理问题[J]. 中华预防医学杂志, 2002, 36(4): 278—279.
- WANG Xu-qing, WU Yong-ning, CHEN Jun-shi. Food Contaminants Monitoring Low Data Processing Problems[J]. Chinese Preventive Medical Journal, 2002, 36(4): 278—279.
- [17] 马亚平. 影院爆米花纸桶暗藏隐患[J]. 中国消费者, 2011(6): 26—27.
- MA Ya-ping. Movie Theater Popcorn Paper Barrels of Hidden Dangers[J]. Consumer Report, 2011(6): 26—27.
- [18] 刘勇, 兰青. 康师傅、香飘飘等食品外包装检出致癌荧光物[J]. 农村经济与科技, 2012, 23(8): 68—68.
- LIU Yong, LAN Qing. Food Packaging Detection Fluorescence of Cancer in Kang Shi-fu, Xiang Piao-piao et al[J]. Rural Economy and Science-technology, 2012, 23(8): 68—68.

(上接第23页)

- versity of Science and Technology, 2005.
- [30] 刘桂超, 龙门, 宋野, 等. 纳米蒙脱土含量对聚乙烯醇基纳米复合膜包装性能的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(14): 216—222.
- LIU Gui-chao, LONG Men, SONG Ye, et al. The Effect of Nanometer Montmorillonite Content on the Properties of Polyvinyl Alcohol Based Nano Composite Film Packaging[J]. Journal of Food Science, 2014, 35(14): 216—216.
- [31] 姚娜. 生物可降解纳米复合材料的气体渗透性研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2013.
- YAO Na. The Research of Biodegradable Nanocomposites of Gas Permeability[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2013.
- [32] 薛琼, 刘跃军, 向贤伟, 等. 紫外辐照对EVOH/蒙脱土纳米复合材料性能影响的研究[J]. 塑料工业, 2009, 37(5): 71—74.
- XUE Qiong, LIU Yue-jun, XIANG Xian-wei, et al. The Performance Impact Study of Ultraviolet Irradiation of EVOH/Montmorillonite Nanocomposite[J]. Journal of Plastic Industry, 2009, 37(5): 71—74.
- [33] 韩伟, 于艳军, 李宁涛, 等. 纳米复合材料在食品包装中的应用及其安全评价[J]. 科学通报, 2011(3): 198—209.
- HAN Wei, YU Yan-jun, LI Ning-tao, et al. The Application of Nano Composite Material in Food Packaging and Its Safety Evaluation[J]. Chinese Science Bulletin, 2011(3): 198—209.
- [34] 田海娇, 林勤保, 郭捷, 等. 纳米银-聚乙烯复合包装中助剂对银向食品模拟物迁移的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(5): 8—12.
- TIAN Hai-jiao, LIN Qin, GUO Jie, et al. The Effect of Deposition of Silver to Food in Simulating of Nano Silver-Polyethylene Composite Packaging Additives[J]. Journal of Food Science, 2014, 35(5): 8—12.
- [35] 黄延敏, 主沉浮, 陈淑祥, 等. 微纳米聚丙烯保鲜盒中微纳米银向食品模拟液中的迁移研究[J]. 山东大学学报(工学版), 2010, 40(2): 110—112.
- HUANG Yan-min, ZHU Chen-fu, CHEN Shu-xiang, et al. The Study of Migration in the Micro/Nano Polypropylene Crisper of Micro/Nano Silver to Food Simulate Fluid[J]. Journal of Shandong University (Engineering Science), 2010, 40(2): 110—112.