

纳米材料在食品储藏领域应用的研究进展

顾广东,朱昌保,徐 浩,王 懿,余晓洋

(安徽省粮油科学研究所,安徽 合肥 230001)

摘 要:纳米技术是当今最前沿和应用最广泛的技术之一,主要列举了纳米光催化抗菌防虫材料、纳米气调保鲜材料、微胶囊喷涂材料和新型“智能”包装材料的应用,介绍了纳米技术在果蔬贮藏、粮食储藏、食品包装方面应用的研究进展和使用现状,展望了纳米材料在食品储藏领域的广阔应用前景。

关键词:纳米材料;食品;储藏;应用

中图分类号:TB 34 TS 205.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7561(2018)03-0080-07

Research progress of application of nanomaterials in food storage

GU Guang-dong, ZHU Chang-bao, XU Hao, WANG Yi, YU Xiao-yang

(Anhui Grain and Oil Science Research Institute, Hefei Anhui 230001)

Abstract: Nanotechnology is one of the most advanced and widely used technologies today. The application of nanoscale photocatalytic antiseptic and insect proof materials, nanoscale fresh-keeping materials, microcapsule spraying materials and new intelligent packaging materials were enumerated. The research progress and application of nanotechnology in the field of fruit and vegetable storage, grain storage and food package were introduced. The application of nanomaterials in food storage was prospected.

Key words: nanomaterials; food; storage; application

随着经济和科学技术的不断发展,人们对食品品质和储藏效果提出了更高要求,纳米技术作为一门新兴的技术正不断应用到人们生活的各个领域。近年来,纳米保鲜材料、纳米抗菌材料、纳米气调材料等新型材料在食品储藏保鲜领域得到了发展和应用。通过对纳米技术在果蔬贮藏、粮食储藏、食品包装材料方面的应用进行介绍,并展望了纳米材料在食品储藏领域的广阔应用前景。

1 纳米材料在果蔬保鲜贮藏领域的应用

1.1 纳米光催化抗菌、保鲜材料

果蔬在贮藏期间仍会保持一定生命活动,在正

常的代谢活动中会释放出二氧化碳、乙烯、乙醇、乙醛等气体代谢产物,这些气体对果蔬具有催熟作用,当气体达到一定的浓度时,就会促进果蔬的呼吸作用,使其加速衰变,造成果蔬变软、营养流失、以致腐烂^[1]。纳米保鲜材料可用于提高新鲜果蔬食品的保鲜效果。利用光催化技术制得纳米包装材料可以促使这些气体分解,从而达到保鲜的作用。

1.1.1 纳米银保鲜材料

由于纳米级 Ag 粉可以催化乙烯的氧化分解并且具有强抗菌性^[2]。在保鲜包装材料中加入纳米 Ag 粉,不仅可以加速乙烯的分解,达到良好的保鲜效果,同时还可以抑制细菌和微生物的生长从而达到保证食品安全,延长食品保质期的效果。朱上翔

收稿日期:2017-10-12

作者简介:顾广东,1987年生,男,硕士。

等^[3]将纳米银杀菌消毒技术和冰晶致冷技术应用到果蔬保鲜上,研发出一种新型的保鲜技术,这种技术可以显著延长果蔬保鲜期。张慙等^[4]提出了一种延长易腐烂果蔬保鲜期的方法。先利用真空快速冷却技术,在保持其水分的前提下,迅速降低果蔬温度,抑制其呼吸作用和酶的活性,最后在果蔬表面涂上一层纳米银抗菌膜,以降低其腐烂率。通过这种方法可延长易腐烂果蔬的保鲜期。

1.1.2 纳米二氧化钛保鲜材料

二氧化钛(TiO_2)是一种常见的光催化剂,它能够在紫外线照射下催化分解乙烯、乙醇、乙醛、酯类等有机气体^[5]。将纳米 TiO_2 材料应用于果蔬保鲜领域可以催化加速果蔬贮藏中产生的乙烯等气体的氧化分解,延缓果蔬的衰变速度。陈丽等^[6]制备了含有纳米 TiO_2 的 PVC 保鲜膜,并应用到富士苹果的保鲜储藏中,结果显示这种保鲜膜可以大幅降低 O_2 和 CO_2 的渗透率。宋贤良等^[7]利用超声波分散技术,将含有纳米 TiO_2 的玉米淀粉液涂抹在圣女果上,在 25°C 贮藏 11 天,其好果率提高了 78.8%。Sunada K 等^[8]和 Yang Q 等^[9]提出,将纳米 Ag 与纳米 TiO_2 结合使用能发挥更好的保鲜效果,这是由于纳米 TiO_2 的孔状结构能为纳米 Ag 提供更多的结合位点,弥补纳米 Ag 单体易流失的缺点^[10-11],可以增强纳米包装材料的安全性。余文华等^[12]研制出纳米 Ag/ TiO_2 保鲜膜,并将其应用到青椒保鲜储藏中,结果显示这种膜可以有效抑制了青椒的呼吸作用,延长青椒保鲜期且好果率达到 90% 以上。

1.1.3 纳米氧化锌保鲜材料

将纳米 ZnO 粒子添加到聚合物内制备的纳米 ZnO 复合材料不仅具有较好的力学性能还具有非常优异抗菌特性^[13-14],广泛应用到食品抗菌包装中。高艳玲等^[15]研制的纳米 ZnO/LDPE 抗菌型复合膜对枯草芽孢杆菌等 4 种食品中常见的污染菌有明显的抗菌作用。李亚娜等^[16]研制的纳米 ZnO/HDPE 复合材料可以对奶酪上生长的微生物有很强的抑制作用,在常温下放置 7 天后,纳米 ZnO/HDPE 复

合材料上的菌落数下降了 60%。

1.2 纳米气调保鲜材料

气调保鲜技术是当今国内外最先进的农产品保鲜技术,包括标准气调(CA)和限制气调(MA)。CA 是利用气调设备人为控制贮藏环境中 O_2 和 CO_2 气体的浓度,使其保持在一定范围内,并去除环境中乙烯、乙醇、乙醛等有害气体,通过调节贮藏环境中各气体的浓度和比例,达到气调保鲜的作用。MA 是依靠农产品自身呼吸作用,降低 O_2 的含量,提高 CO_2 的浓度,从而自发地调节自身的呼吸代谢,同时还可以利用低浓度 O_2 和高浓度 CO_2 的协同作用抵抗乙烯等激素对农产品的催熟作用,达到延长保鲜期的效果。研究表明,当 CO_2 的浓度在 10% 以下时能抑制果蔬的呼吸强度,若 CO_2 的浓度高于 10% 则会造成果蔬的呼吸障碍,使果蔬“中毒”,而当 O_2 浓度在 1% 以下时又会造成果蔬缺氧。同时,控制气体比例还可抑制各种霉菌的成长活动。如当 O_2 浓度低于 10% 且 CO_2 浓度高于 10% 时,几乎各种贮藏霉菌的生长活动均会受到抑制。所以可以根据不同果蔬对 O_2 的需求,调节储藏环境气体的比例,这样既可减缓果蔬的呼吸作用,又可抑制各种害虫、霉菌的繁殖与生长,从而达到保鲜储藏的效果。一般将 O_2 浓度控制在 2% ~ 10%, CO_2 浓度控制在 10% 以上^[1]。

1.2.1 纳米分子筛保鲜材料

纳米材料因其具有高比表面积和多微孔结构,对气体透过具有选择性,可作为气调保鲜材料使用。纳米分子筛保鲜材料就是利用其对 O_2 和 CO_2 气体具有独特的气体选择性来调节储藏环境中这两种气体的浓度比例,达到对果蔬的保鲜效果。王雪莲等^[17]以 H- β 分子筛、LDPE、LLDPE、EVA 等为原料,制得了新型聚乙烯复合膜保鲜材料,并以樱桃为保鲜对象,研究了 H- β 分子筛含量对复合膜保鲜效果的影响。在加入 H- β 分子筛后复合膜对樱桃呼吸作用有很强的抑制作用,进而可以延长其保鲜期。研究显示,分子筛含量为 7.5% 的复合

膜在室温下对樱桃的保鲜效果最好,保鲜期可达10天以上。郭玉花等^[18]通过在LDPE/LLDPE材料中添加A型纳米活性分子筛,研制出可用于对草莓、生菜、油麦菜和菠菜进行气调保鲜的复合膜。

1.2.2 纳米SiO_x保鲜材料

SiO_x是一种无毒、无污染的无机非金属材料。纳米SiO_x中含有的硅氧键对空气中CO₂和O₂气体有吸附、溶解、扩散和释放的作用,利用这种特性制备的纳米SiO_x材料可于调节储藏环境中CO₂和O₂气体的浓度,从而抑制果蔬呼吸强度,达到保鲜的效果。张克宏等^[19]将纳米SiO₂粉末涂覆在PP基材表面,研制的SiO₂/PP复合保鲜膜用于草莓保鲜贮藏中,可降低草莓的失水率和腐烂率。研究结果显示,当草莓贮藏到第13天时,失水率仅为6.9%、腐烂率降低到19%。徐俐等^[20]研发的纳米SiO_x壳聚糖涂膜对青椒具有良好的保鲜效果,在常温条件下贮藏30天,青椒的好果率、腐烂率和失水率分别为70%,29.9%和0.12%。张永茂等^[21]研制出纳米SiO_x保鲜果蜡,将其涂覆于富士苹果表面会形成一层完整的蜡膜,可控制单个苹果表面气体的吸收和释放。在室温条件下贮藏3个月后,与未涂覆纳米SiO_x保鲜果蜡的苹果进行对比发现,失水率减少了23%,硬度下降减少了21%。

2 纳米材料在粮食储藏领域的应用

粮食在贮存、运输和流通过程中,由于受到温度和环境湿度等因素的影响会发生霉变、虫蛀。目前为防止霉变、虫蛀和鼠患,主要是采用熏蒸、驱避和杀灭等化学手段。但这些化学试剂或多或少会给粮食造成污染,食用后会对人体造成伤害。在进入21世纪以后,随着人类对生态环境和自身保健意识的增强,再加上有些储粮害虫对化学杀虫剂产生了抗药性和免疫力。因此,仅靠使用化学手段无法满足粮食保鲜储藏领域的需求。随着纳米技术和光催化技术的不断发展,纳米光催杀虫防霉技术、微胶囊杀虫技术和纳米材料气调保鲜技术已经开始应用到粮食保鲜储藏领域。

2.1 纳米TiO₂光催化防虫、防霉材料

TiO₂是一种半导体光催化材料,在常温条件下,TiO₂材料在有光源照射的情况会发生光化学反应,产生具有强氧化分解能力的氧化物离子和游离氢氧基,其氧化活性是臭氧的20倍以上,能破坏虫类和霉菌的生存条件,具有杀菌、防虫、分解异味的功能。熊鹤鸣等^[22]通过使用TiO₂光触媒薄膜袋储藏早籼稻可达到较好的防虫、杀菌效果。日本丸正公司利用光触媒技术制备的聚乙烯防虫袋在大米储藏中可大幅降低害虫和霉菌存活率^[23-24]。白旭光等^[25]人研究了光触媒聚乙烯薄膜对粮食储藏中常见害虫的杀灭、驱避效果,研究结果显示,这种光触媒薄膜对储粮害虫有良好的驱避效果,对特定害虫有较好的杀灭效果。

2.2 纳米气调保鲜材料

稻谷、小麦等粮食作物在储藏初期都会发生一定的后熟作用。在储藏中,利用粮食自身的呼吸作用可降低储藏空间的O₂浓度、提高CO₂浓度进行自发的气调作用(MA),从而达到防虫、防霉的效果,同时这种气调作用反过来又起到抑制粮食的呼吸,延缓陈化的作用。利用微孔膜技术制成的聚烯烃膜对气体具有一定的选择透过性,可用做气调储粮膜,通过人为改变储藏环境中各气体的浓度比例可达到气调杀虫、灭菌,绿色储粮的效果。研究表明,高浓度的CO₂气体能刺激害虫呼吸,使害虫的气门持续张开,增加体内氧气的消耗,直至体内氧耗尽而死亡。当贮藏环境中O₂<2%维持48h以上时,大谷盗、锯谷盗、玉米象、麦蛾等害虫均可致死,当O₂<10%时,害虫将处于休眠状态,CO₂浓度为17%~18%时,保持3d则可抑制或杀死害虫。当O₂<1%和CO₂>10%时,几乎所有的贮粮霉菌均会受到抑制^[1]。金春媚等^[26]人研制的聚乙烯粮食防虫气调膜对谷蠹、玉米象、杂拟谷盗等主要储粮害虫的驱避效果显著。李喜宏等^[27]人将研发的低密度聚乙烯薄膜袋应用到粮食储藏中,研究结果显示,这种储粮袋具有良好的防虫、防霉效果,可作

为防虫气调保鲜膜使用。

2.3 微胶囊喷涂材料

微胶囊技术是近年来迅速发展起来的一种利用高分子材料作为壁材,将固体、液体或气体物质包裹在其中,形成一种球型胶囊物的新型材料技术。这种技术可保护被包裹的物质免受或降低外界环境的影响,延长挥发性物质的储存时间,同时可降低药物毒性和残留量,达到持久有效的效果。微胶囊杀虫技术的开发为研究新型杀虫涂料开辟了一条新途径,农药在制成微胶囊后可降低农药的分解速度,稳定性大幅提高。据 Yang^[28] 报道,应用微胶囊技术研发的杀虫涂料有效期长达5年。李文辉等^[29] 人运用微胶囊技术将氰戊菊酯与毒死蜱原药包裹在聚合物材料中制得的杀虫涂料对谷蠹、玉米象、赤拟谷盗等储粮害虫的杀灭率在90%以上。以溴氰菊酯和马拉硫磷为芯料制备的微胶囊杀虫剂对储粮害虫的药效可维持在1年以上,且杀虫率在95%以上^[30]。据报道,中国粮食储藏年损失约15%,而其中因鼠害造成的损失为5%~10%^[1]。因此,驱鼠、灭鼠对粮食储藏显得尤其重要。环己酞亚胺具有优秀的防鼠特性,但其毒性较大,药性释放时间短,在使用过程中如果保护不当会对人体造成不必要的伤害。若利用高分子材料把环己酞亚胺类物质包裹起来制成微胶囊,并采用喷涂技术将其涂布在储粮膜的外层,不仅可以大幅降低环己酞亚胺的毒性,还可以延长药物释放时间,达到低毒、长效的防鼠效果。长期以来,防治鼠害主要是采用化学试剂急性灭鼠,但急性灭鼠剂具有剧毒和广谱性会同时杀灭鼠类天敌,破坏生态平衡,这样反而为害鼠生存、繁殖提供更有利的条件,使其种群能够快速恢复,甚至可能超过原来的密度水平^[31]。研究人员通过在聚烯烃储粮膜上涂布鼠类驱避剂,依靠调节气味、光色等方法达到驱鼠的目的^[1]。江德洪等^[32] 人利用印楝油对鼠类具有很好的抗生育作用,研制的绝育型微胶囊灭鼠剂可以减少鼠类的繁殖,控制鼠群密度。

3 纳米技术在食品包装领域的应用

3.1 纳米增强型包装材料

纳米增强型包装材料主要是利用纳米颗粒物具有高比表面积和特殊活性的特点,可显著提高包装材料的性能,如塑料包装的柔韧性、气体阻隔性、温度和湿度稳定性、抗紫外线辐射、防火性和抗拉伸性能等。Wang 等人^[33] 通过将聚乙烯(PE)、蒙脱土(MMT)和二氧化硅(SiO_2)进行复合制备出具有优异抗拉伸性能的纳米包装材料。Kotsilkova 等人^[34] 报道,在包装材料中添加蒙脱土(MMT)可以大幅提高包装袋的耐热性能。马龙俊等人^[35] 通过在PVA材料表面添加纳米 SiO_2 、 TiO_2 和液体石蜡,对PVA基材进行改性,可有效降低涂膜包装材料的透湿性能。Schartel 等^[36] 研发的聚酰胺-多壁碳纳米管复合材料具有优异的防火性能。Wan 等人^[37] 研发的聚氯乙烯-蒙脱土纳米复合材料具有良好的抗紫外线性。聚酯因其具有化学性质稳定、气体阻隔性好、可回收利用等特点被广泛应用于饮料包装领域。中科院化学所工程塑料研究人员利用聚酯聚合插层复合技术,在聚酯单体中添加有机蒙脱石,成功地制备了具有优异阻隔性能的聚酯纳米塑料。将啤酒灌装在这种聚酯纳米塑料瓶里常温保存4~5个月后,其口感与新鲜啤酒相比基本没有区别^[38]。辽阳石化研究院利用纳米复合技术通过在聚酯合成过程中加入改性的纳米溶胶开发出具有气体高阻隔性的聚酯专用材料,其阻隔性能为普通聚酯的2倍,可应用于啤酒、奶制品等饮料产品的包装领域^[39]。另外,由于MMT颗粒具有类似于石墨的层状结构,因此,以MMT为基础的复合包装材料可以表现出良好的气体阻隔性能^[40-41]。Xu 等人^[42] 报道的MMT复合聚合物材料具有优异的气体阻隔性能。

3.2 纳米可降解包装材料

在聚乳酸材料中添加纳米颗粒物制备的纳米复合生物可降解材料是一种新型食品包装材料,这种包装材料能够进行生物降解,可回收再利用,有

效降低了食品包装对环境的污染程度^[46]。目前, MMT 与聚乳酸(PLA)复合的纳米材料在生物可降解材料中应用最为广泛^[47-49]。MMT 是一种天然存在的生物可降解黏土物质。MMT-PLA 复合材料已在糖果、肉制品和乳制品包装材料以及谷物储藏领域得到广泛应用。McGlashan 小组研制的纳米复合食品包装材料具有良好的生物降解性能,可进行回收重新利用^[48]。熊裕华^[50]等人在室温下,通过纳米 TiO₂ 对聚乙烯(PE)包装薄膜进行光催化降解,研究发现 TiO₂ 能促使 PE 材料中碳链断裂,加速 PE 薄膜的分解。利用这种技术可以制备聚乙烯可降解包装材料。

3.3 新型“智能”包装材料

“智能、活性”食品包装是近年来比较流行的新型包装技术。所谓“活性”是指在包装材料中加入具有表面积大和吸附气体能力强的纳米颗粒物,可起到去除异味,增加食品色泽和感官指标的效果^[45]。例如,在食品包装材料中添加多壁碳纳米管(MWNT)颗粒后,包装袋可以吸附食品中释放的异味气体。若在 MWNT 包装材料中添加一定的香料物质可以提高食品的色泽和感官指标^[51-53]。“智能”包装是指在包装材料中添加一些纳米材料后可以起到类似于智能控制作用的包装技术。例如,将食品防腐剂添加到纳米微球中,在食品存储和运输过程中纳米微球防腐剂通过缓慢释放防腐剂可以对食品起到定时、定量防腐保鲜的作用^[45]。另外,在包装材料中添加纳米级别的阵列传感器后,食品的基本安全情况便可在食品包装袋上显示^[54]。美国 Georgin 科技公司,研发了基于多壁碳纳米管(MWNT)技术的生物传感器,能够监测食品中的微生物、有毒蛋白质和腐烂成分的含量,当食品变质时包装袋会发生颜色变化^[45]。这种技术在食品的加工、运输、存储、质量监管等领域都具有巨大的应用价值。卡夫食品(Kraft)利用基于“电子舌”概念的纳米传感器技术,能够“尝”出包装袋内的气味含量并引导化学物质的释放,可根据个人消费需求控制包装袋内气味和营养保健物质的含量^[45]。

4 纳米材料的性能对比及经济性分析

4.1 纳米材料的性能对比

纳米材料的性能对比见表 1。

表 1 常见的食品保鲜材料性能对比

材料分类	原理	性能作用	应用实例
纳米光催化抗菌、防虫材料	利用光催化技术分解果蔬代谢的有机气体同时抑制微生物的生长繁殖	具有杀菌、防虫、分解异味的功能	纳米 TiO ₂ 保鲜材料、纳米 ZnO 保鲜材料
纳米气调保鲜材料	利用纳米材料对气体进行选择透过,达到气调保鲜效果	保鲜、杀虫、灭菌,绿色储粮的效果	纳米分子筛保鲜材料、纳米 SiO _x 保鲜材料
微胶囊材料	利用高分子材料作为壁材,将固体、液体或气体杀虫剂包裹在其中,形成一种球型胶囊物的新型材料技术	杀虫,灭鼠	微胶囊喷涂材料
纳米功能型包装材料	利用纳米颗粒物具有高比表面积和特殊活性的特点,提高包装材料的性能	具有柔韧性好、高气体阻隔性、抗紫外线辐射、防火性和抗拉伸性能、抗菌、可降解等功能	MMT 与 PLA 复合的纳米材料、MWNT 包装材料

4.2 常见保鲜材料的经济效益分析

常见的食品保鲜包装材料有聚乙烯(PE)、聚氯乙烯(PVC)、聚丙烯(PP)等,价格为 1.3 ~ 3.0 万元/t 不等,见表 2。但其性能较为单一,一般只能作为食品的外包装材料使用。常见的纳米光催化保鲜材料有纳米二氧化钛(TiO₂)保鲜材料和纳米氧化锌(ZnO)保鲜材料,气调保鲜材料有纳米 SiO_x 保鲜材料,储粮杀虫材料有微胶囊杀虫剂,价格约为 1 ~ 5 万元/t 不等,较一般塑料包装材料略高,但其性能和保鲜、杀虫效果是一般塑料材料无法比拟的。例如纳米二氧化钛(TiO₂)保鲜材料不仅可以作为一般的果蔬包装材料来使用,还可以利用光催化技术分解果蔬代谢过程中产生的乙烯、乙炔和酯类等有机气体,延长果蔬的保鲜期,同时还可以抑制果蔬中微生物的繁殖与生长。在果蔬运输储藏期间使用纳米保鲜膜可以大大减少保鲜剂的使用和低温储藏的成本,同时又可以延长果蔬的保质期。按每吨使用 30 ~ 80 元的纳米保鲜膜计算,每吨可节省低温储藏和保鲜剂的使用成本约 3 ~ 8 元/d。

表 2 几种常见的保鲜材料经济效益分析

材料类型	纳米光催化抗菌、保鲜材料	纳米气调保鲜材料	微胶囊杀虫材料	常用塑料包装材料
市场价/(元/t)	2.1~5	0.6~3.2	0.8~2.5	1.3~3.0

注:以上市场价参考阿里巴巴等几大知名材料购物网站,由于市场价格与具体材料的功能和制作工艺以及材质有关,因此以上价格只是参考特定常用的几类材料制定。

在粮食储藏中使用的储粮薄膜必须具有气密性好、耐低温、防潮、拉力强、韧性好等特性。一般的塑料薄膜的价格为 1.5~2.7 万元/t,但在透气性、耐低温、拉力和韧性等方面的性能较差,无法达到储粮使用的要求,而纳米增强型储粮薄膜是利用纳米颗粒物具有高比表面积和特殊活性的特点,增加了储粮膜的使用效果和重复利用率,同时还可以在薄膜中添加微胶囊等杀虫剂,对储粮害虫有很好的杀虫效果,可以达到一膜多用、一膜多效的效果。以常用的尼龙储粮膜为例,每吨的价格约为 2.0 万元,按照 0.08 kg/m² 计算^[55],每平方米的价格约为 1.6 元,一般使用周期为 2~3 年,每吨粮食每年利用熏蒸杀虫消耗的药剂、薄膜以及人工成本等费用约 0.3~1.0 元/t,而使用含有微胶囊杀虫剂的储粮膜可以达到几乎同样的杀虫效果,但耗费的成本较一般熏蒸杀虫低 10%~15%,而且这种储粮膜还可以重复利用。其它功能的纳米包装材料根据原料、生产工艺、功能效果的不同价格有高有低,但使用效果都优于普通包装材料。

5 小结与展望

通过对不同应用领域纳米材料的研究介绍、性能对比及经济效益分析,可以得出这样的结论,在果蔬贮藏领域,推荐使用利用光催化技术制备的纳米二氧化钛(TiO₂)保鲜材料和纳米氧化锌(ZnO)保鲜材料;在粮食储藏领域,推荐利用微胶囊杀虫剂进行杀虫、灭鼠;在食品包装材料中,推荐使用添加蒙脱土(MMT)的复合纳米包装材料,具有很好的保鲜除异味效果,且有良好的生物降解性能等。

随着纳米技术的快速发展,纳米材料在食品保鲜储藏领域的应用开始成为研究热点,具有广阔的应用前景。但是目前对于纳米技术在食品保鲜储藏领域应用的研究尚处于起步阶段,存在许多问题需要解决,例如纳米材料的稳定性不高、防虫防菌

效果不明显、在食品保鲜领域的应用较少,更重要的是纳米材料对人体的安全性还有待研究。相信随着科技的发展和纳米技术研究的不断深入,纳米材料一定能安全高效应用于食品储藏领域。

参考文献:

[1] 许晓秋,段梦林,常津,等. 保鲜膜技术综述[J]. 塑料加工,2002,37(3):1-5.

[2] 徐绍虎. 纳米材料在食品包装中的应用研究进展[J]. 包装工程,2011,32(13):108-111.

[3] 朱上翔,谢一鹏. 荔枝保鲜储运技术及装置[P]. 中国:CN1714657,2006-01-04.

[4] 张魁,安建申. 一种延长易腐烂果蔬保鲜期的三段复合预处理方法[P]. 中国:CN1709075,2005-12-21.

[5] 翟滨,田晶,徐龙权,等. 用于食品保鲜的二氧化钛光催化体系中乙烯含量的分析[J]. 食品科学,2004,25(7):140-142.

[6] 陈丽,李喜宏,胡云峰,等. 富士苹果 PVC/TiO₂ 纳米保鲜膜研究[J]. 食品科学,2001,22(7):74-76.

[7] 宋贤良,叶盛英,黄苇,等. 纳米 TiO₂/玉米淀粉复合涂膜对圣女果保鲜效果的研究[J]. 食品科学,2010,31(12):255-259.

[8] SUNADA K, WATANABE T, HASHIMOTO K. Bactericidal Activity of copper-deposited TiO₂ thin film under weak UV light illumination[J]. Environmental Science and Technology, 2003, 37(20):4785-4789.

[9] YANG Q, KAPOOR M P, INAGAKI S. Sulfuric acid-functionalized mesoporous benzene-silica with a molecular-scale periodicity in the walls[J]. Journal of the American Chemical Society, 2002, 124(33):9694-9695.

[10] TIAN B, YANG H, LIU X, et al. Fast preparation of highly ordered nonsiliceous mesoporous materials via mixed inorganic precursors[J]. Chemical Communications, 2002, 8(17):1824-1825.

[11] ZHANG S, FU R, DING W, et al. Preparation and characterization of antibacterial silver-dispersed activated carbon aerogels[J]. Carbon, 2004, 42(15):3209-3216.

[12] 余文华,李洁芝,陈功,等. 果蔬纳米保鲜膜的研制及其在青椒保鲜中的应用研究[J]. 四川食品与发酵, 2008, 44(5):28-31.

[13] FANG Ming, CHEN Ji-hua, XU Xiu-li, et al. Antibacterial activities of inorganic agents on six bacteria associated with oral infections by two susceptibility tests[J]. International Journal of Antimicrobial Agents, 2006, 27(6):513-551.

[14] LI Shu-cai, LI Ya-na. Mechanical and antibacterial properties of modified Nano-ZnO/high-density polyethylene composite films with a low doped content of Nano-ZnO[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2010, 116(5):2965-2969.

[15] 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,2010,31(2):102-105.

- [16] 李亚娜, 贺庆辉. 纳米 ZnO/HDPE 膜对奶酪的抗菌保鲜性[J]. 食品科学, 2011, 32(4): 237 - 240.
- [17] 王雪莲, 黄震, 张静, 等. 聚乙烯-分子筛复合膜用于樱桃的保鲜包装研究[J]. 食品科技, 2010, 35(4): 44 - 47.
- [18] 郭玉花, 黄震, 滕立军, 等. 新型纳米活性果蔬气调包装保鲜膜的研制[J]. 包装工程, 2008, 29(3): 47 - 48.
- [19] 张克宏. 纳米 SiO₂/PP 复合保鲜膜的制备与性能研究[J]. 塑料工业, 2011, 39(2): 104 - 108.
- [20] 徐俐, 谭书明, 叶方. 纳米 SiO_x 对青椒常温贮藏保鲜的影响[J]. 农产品加工, 2008(8): 22 - 25.
- [21] 张永茂, 颜敏华, 田世龙, 等. 纳米硅基氧化物(SiO_x)保鲜果蜡研究与开发[J]. 农业工程技术, 2010(5): 42 - 46.
- [22] 熊鹤鸣, 张忠柏, 田智军. 光触媒薄膜储粮应用技术初步试验[J]. 粮食储藏技术, 2001, 30(4): 21 - 24.
- [23] 王颖. 光触媒技术在粮食防虫防霉保鲜上的应用[J]. 农业科技通讯, 2000(5): 40.
- [24] 王旭辉. 粮防虫防霉新技术-光触媒米袋[J]. 四川粮油科技, 2002(2): 31 - 32.
- [25] 白旭光, 郭静, 李志刚. 光触媒聚乙烯膜对储粮害虫的防治[J]. 中国粮油学报, 2005, 20(1): 73 - 76.
- [26] 金春媚, 李喜宏, 刘倩. 聚乙烯粮食防虫气调膜的研制与性能研究[J]. 粮食工程技术, 2009(6): 85 - 87.
- [27] 李喜宏, 金春媚, 等. 粮食防虫气调保鲜膜[P]. 中国专利: CN200810153814.3, 2009-08-12.
- [28] Yang Da-cheng. Research and application of a new microencapsulated grain protectant[C]. //Proceedings of the 7th international working conference on stored-product protection, Beijing, 1998: 896 - 899.
- [29] 李文辉, 陈德坚, 陈嘉东, 等. 高效储粮杀虫涂料的研究[J]. 昆虫天敌, 2005, 27(2): 91 - 96.
- [30] 李文辉, 华德坚, 陈新府, 等. 新型谷物保护剂“储粮安”的研制及应用[J]. 储藏技术, 2005, 13(4): 9 - 10.
- [31] 张美文, 郭聪, 王勇, 李波, 陈安国. 鼠害对长江中下游可持续农业发展的影响及防治对策[J]. 中国农业科学, 2003, 36(2): 223 - 227.
- [32] 江德洪, 高平, 殷中琼, 等. 植物源绝育型灭鼠剂的微胶囊化技术研究[J]. 四川大学学报, 2004, 41(3): 680 - 683.
- [33] Wang K K, Koo C M, Chung I J. Physical properties of polyethylene/silicate nanocomposite blown films[J]. Appl Polym Sci, 2003, 89: 2131 - 2136.
- [34] Kotsilkova R, Petkova V, Pelovski Y. Thermal analysis of polymer-silicate nanocomposites[J]. J Therm Anal Calorim, 2001, 64: 591 - 598.
- [35] 马龙俊, 刘瑶, 章建浩, 等. 纳米 SiO₂/TiO₂ 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.
- [36] Schartel B, Ptschke P, Knoll U, et al. Fire behaviour of polyamide 6/multiwall carbon nanotube nanocomposites[J]. Eur Polym J, 2005, 41: 1061 - 1070.
- [37] Wan C, Qiao X, Zhang Y, et al. Effect of different clay treatment on morphology and mechanical properties of PVC-clay nanocomposites[J]. Polym Test, 2003, 22: 453 - 461.
- [38] 徐晓娟. 食品与药品包装中的纳米技术[J]. 包装工程, 2008, 29(2): 191 - 194.
- [39] 钱伯章. 纳米复合高阻隔聚酯专用料研制成功[J]. 橡胶技术与装备, 2008, 34(9): 39.
- [40] Ke Z, Yong-ping B. Improve the gas barrier property of PET film with montmorillonite by in situ interlayer polymerization[J]. Mater Lett, 2005, 59: 3348 - 3351.
- [41] Kostas S T, Peter C L, In P, et al. Epoxy-clay fabric film composites with unprecedented oxygen-barrier properties[J]. Chem Mater, 2006, 18: 4393 - 4398.
- [42] Xu B, Zheng Q, Song Y, et al. Calculating barrier properties of polymer/clay nanocomposites: Effects of clay layers[J]. Polymer, 2006, 47: 2904 - 2910.
- [43] 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.
- [44] 李新林, 张慙, 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.
- [45] 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, 56(3): 198 - 209.
- [46] Jin-Hae C, Yeong Uk A, Dong-wan C, et al. Poly(lactic acid) nanocomposites: Comparison of their properties with montmorillonite and synthetic mica (II). Polymer[J], 2003, 44: 3715 - 3720.
- [47] Chow W S, Lok S K. Thermal properties of poly(lactic acid)/organo-montmorillonite nanocomposites[J]. J Therm Anal Calorim, 2009, 95: 627 - 632.
- [48] McGlashan S A, Halley P J. Preparation and characterisation of biodegradable starch-based nanocomposite materials[J]. Polym Int, 2003, 52: 1767 - 1773.
- [49] Avella M, De Vlieger J J, Errico M E, et al. Biodegradable starch/clay nanocomposite films for food packaging applications[J]. Food Chem, 2005, 93: 467 - 474.
- [50] 熊裕华, 李凤仪. TiO₂ 光催化降解聚乙烯薄膜[J]. 应用化学, 2005, 22(5): 534 - 537.
- [51] Del N M, Cannarsi M, Altieri C, et al. Effect of Ag-containing nano-composite active packaging system on survival of alicyclobacillus acidoterrestris[J]. J Food Sci, 2004, 69: E379 - E383.
- [52] La Coste A, Schaich K, Zumbrennen D, et al. Advancing controlled release packaging through smart blending[J]. Packag Technol Sci, 2005, 18: 77 - 87.
- [53] Lopez-Rubio A, Cavara R, Lagaron J. Bioactive packaging: Turning foods into healthier foods through biomaterials[J]. Trends Food Sci Technol, 2006, 17: 567 - 575.
- [54] Nachay K. Analyzing nanotechnology[J]. Food Technol, 2007, 61: 34 - 36.
- [55] 周正亚, 邢文. 新型粮食储藏膜——尼龙复合膜[J]. 现代塑料加工应用, 1999(2): 40 - 41. ☞