

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2012.01.006

纳米复合薄膜及其在果蔬保鲜中的应用

尹国平, 陈志周

(河北农业大学 食品科技学院, 河北 保定 071000)

摘要: 纳米复合包装薄膜一般为聚合物基纳米复合材料, 可分为纳米材料/合成聚合物复合材料与纳米材料/天然聚合物复合材料。阐述了这2种复合材料的制备方法和性能特点, 综述了纳米TiO₂复合薄膜、纳米SiO₂复合薄膜、纳米CaCO₃复合薄膜、纳米银复合薄膜在果蔬保鲜中的应用研究, 并展望了纳米复合薄膜在果蔬保鲜应用方面的研究方向。

关键词: 纳米复合薄膜; 果蔬保鲜; 保鲜效果

中图分类号: TB484.3

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2012)01-0024-04

Nano-Composite Films and Its Application in Fruits and Vegetables Preservation

Yin Guoping, Chen Zhizhou

(College of Food Science and Technology, Agriculture University of Hebei, Baoding Hebei 071000, China)

Abstract: Nano-composite packaging films generally refer to polymer-based nano-composites, which can be divided into nano-materials / synthetic polymer composites and nano-materials / natural polymer composites. The preparation methods and performance characteristics of the two kinds of composite material were described, the specific application of nano-TiO₂ composite films, nano-SiO₂ composite films, nano-CaCO₃ composite films and nano-silver composite film in fresh fruits and vegetables were summarized, and the research direction of nano-composite films application in fruits and vegetables preservation was also prospected.

Key words: nano-composite films; fruits and vegetables preservation; preservation effect

0 引言

纳米复合材料是指尺度在纳米级(1~100 nm)结构的材料, 具有良好的力学性能、稳定性能、阻隔性能、自洁性、杀菌性等特征。在果蔬保鲜的应用中, 纳米复合薄膜正逐步替代传统的以乙烯为母料的保鲜膜。

目前, 果蔬保鲜的方法主要有冷藏、气调、辐射和调压等。冷藏保鲜法因受地理位置限制, 如贮存时间过长, 会使干耗增加, 出现冻结烧现象, 导致果蔬色泽变化, 故限制了其应用, 且冷藏冷运能力与剧增的果蔬规模难以成正比; 气调保鲜法需使用高纯度的惰性气体, 成本较高; 辐射保鲜法对辐射的计量要求严格, 操作难度较大, 限制了其应用; 调

收稿日期: 2011-12-01

基金项目: 河北省科技计划基金资助项目(10225151)

作者简介: 尹国平(1986-), 女, 河北沧州人, 河北农业大学硕士生, 主要研究方向为食品包装材料与技术,

E-mail: yin_guoping@163.com

通信作者: 陈志周(1970-), 男, 河北保定人, 河北农业大学副教授, 博士, 主要从事食品包装方面的教学与研究,

E-mail: chenzhizhou2003@yahoo.com.cn

压保鲜法成本较高,且只能起到抑制作用而不能最终杀死病菌^[1-4]。因此,寻求效率高、成本低、性能稳定的贮藏保鲜技术已然迫在眉睫。

采用纳米复合薄膜对果蔬进行保鲜处理,即配置适量浓度的薄膜水溶液或乳浊液,采用浸渍、喷洒等方法施于果蔬表面,风干成膜,或制成纳米薄膜对果蔬进行裹包处理,以达到抑制果蔬呼吸、保持果蔬的水分与色泽、防止微生物入侵的目的。相关研究表明:采用纳米复合包装材料能有效地延长果蔬贮藏保鲜寿命,保鲜效果较好^[5-6]。同时,纳米复合薄膜保鲜法操作简单,原料成本较低,对仪器设备等条件要求也较低。因此,纳米复合薄膜在果蔬保鲜中的应用发展空间较大,前景较好。

1 纳米复合薄膜

纳米复合包装薄膜一般为聚合物基纳米复合材料,即将分散均匀的纳米颗粒与高分子聚合物按一定比例以纳米合成、纳米添加、纳米改性等方式加工混合而成的包装材料。常用的纳米颗粒有金属(以纳米银为代表)、金属氧化物(纳米TiO₂、纳米ZnO、纳米Al₂O₃等)、无机聚合物(纳米硅酸盐、纳米蒙脱土等)3类。聚合物一般可分为天然聚合物与合成聚合物。因此,可将聚合物基纳米复合材料分为纳米材料/合成聚合物复合材料与纳米材料/天然聚合物复合材料。

1.1 纳米材料/合成聚合物复合材料

与纳米材料复合的合成聚合物主要有聚乙烯醇(polyvinyl alcohol, PVA)、聚乙烯(polyethylene, PE)、聚丙烯(polypropylene, PP)、聚氯乙烯(polyvinyl chloride, PVC)、聚对苯二甲酸乙二醇酯(polyethylene terephthalate, PET)等。由于PVA具有良好的黏附性、浆膜强韧性、耐磨性和可生物降解性等特征,因此,聚乙烯醇基纳米复合材料的应用最为广泛。

李菲等^[7]使用不同掺杂比的纳米TiO₂与PVA混合,采用钢带流延法制备PVA/TiO₂复合薄膜,并用傅里叶变换红外光谱法(FT-IR)对所制得的薄膜结构进行表征。结果表明:复合薄膜的力学性能、透光性能、透气性能均较好,且紫外线透过率随着纳米TiO₂添加量的增加明显降低。何尖等^[8]通过熔融挤出法制备了PVA/nano-SiO₂薄膜,并分别利用万能电子拉力机、透光仪、差式扫描量热仪和热重分析仪对薄膜的各项性能进行测试。结果表明:随着纳米SiO₂添加量的增加,薄膜的拉伸强度、热稳定性能、撕裂强度、硬度、透光率等不断增加,但是薄膜的

断裂伸长率以及结晶度却呈下降趋势。

以上研究表明,经纳米改性后的复合材料具有了纳米特性,成为具有特殊功能型的材料,从而可增加其应用范围与发展空间。

1.2 纳米材料/天然聚合物复合材料

与纳米材料复合的天然聚合物主要有淀粉及其衍生物、壳聚糖、丝素、大豆蛋白及其衍生物等。这些材料来源广泛,成本较低,具有较好的可降解性和可再生性,可有效地节约资源和能源。因此,以天然聚合物复合材料取代传统的塑料产品已成为包装工业的发展目标。

徐水等^[9]以丝素和纳米SiO₂为基材、乙醇为溶剂,制备了丝素/纳米SiO₂凝胶共混膜,并对其性能进行测试。测试结果表明:当丝素与纳米SiO₂的质量比为80:5时,共混膜的断裂强度最大,为94.86 MPa;当丝素与纳米SiO₂的质量比为80:3时,共混膜的断裂伸长率最大,为55.20%。结果还表明:在天然高分子材料丝素溶液中加入具补强增韧功能纳米SiO₂所制备的共混膜,具有优良的物理性能。宋贤良等^[10]采用超声波分散技术将不同掺杂比的纳米TiO₂引入大豆蛋白成膜液中,用流延法制得分散均匀的纳米复合膜,并对薄膜性能进行了测试。测试结果显示:当纳米TiO₂的质量为大豆蛋白质量的1/200时,复合膜的抗拉强度和断裂伸长率均达最大值,分别比大豆蛋白单膜提高了106%和112%;当纳米TiO₂的质量为大豆蛋白质量的1/300时,复合膜的透氧系数达到最低值,为大豆蛋白单膜的11.76%。

以上研究表明,经纳米改性后的复合薄膜具有更好的机械性能,这为其扩大应用范围与改善应用效果起到了积极的作用。

2 纳米复合薄膜在果蔬保鲜中的应用

2.1 纳米TiO₂复合薄膜在果蔬保鲜中的应用

TiO₂具有光催化氧化作用、超亲水性等特征。在紫外线照射下,其表面的空穴和电子经过一系列反应,可生成活性基团·OH、O₂⁻、Ti³⁺等,具有较稳定的杀菌性、表面自洁性和良好的阻隔性能,因此,被广泛应用于卫生保健、化妆品、纺织、食品等行业。

经纳米改性后的TiO₂具有促进乙烯分解的作用^[11]和较好的透气性和保湿性。宋贤良等^[12]研究了纳米TiO₂/玉米淀粉复合涂膜对圣女果的保鲜效果。结果表明,当纳米TiO₂与玉米淀粉的质量比为0.025%时,圣女果在室温下储藏11 d后,其失重率、可溶性固形物含量、腐烂率分别比对照组降低了28.6%、12.7%、

78.8%，硬度、VC含量、总酸含量分别为对照组的1.33, 1.12, 1.34倍。

陶希芹等^[13]研究了纳米TiO₂/壳聚糖复合薄膜对金秋梨的保鲜效果。结果表明，经复合薄膜处理后的金秋梨，在室温贮藏至第30 d时，总糖、总酸及VC含量均明显高于壳聚糖单膜处理果，好果率达81.2%，失水率为4.9%，保鲜效果较好；复合薄膜可减少果蔬的有氧呼吸，延缓呼吸高峰的出现，可明显延长金秋梨的保鲜期。

袁志等^[14]研究了纳米TiO₂/壳聚糖复合保鲜膜的透性。结果显示，当壳聚糖的添加质量为1 g，纳米TiO₂的添加质量为0.03 g，冰乙酸的添加体积为1 mL时，复合薄膜的透O₂系数比空白膜增加了4倍，透CO₂系数比空白膜降低了24%。该复合保鲜膜对嫩姜的保鲜效果较好，经复合膜处理后的嫩姜，其VC、姜辣素含量分别比不经处理的嫩姜提高了23%，26%。

综上所述，纳米TiO₂复合薄膜对果蔬的保鲜效果较好，应用前景广阔。而纳米TiO₂/天然聚合物复合薄膜中的聚合物为生物降解的天然材料，这些材料来源广泛，价格低廉，可自行降解与再生，不会对环境造成污染，且对农业产业化生产具有重要意义，故具有较好的发展前景。

2.2 纳米SiO₂复合薄膜在果蔬保鲜中的应用

纳米SiO₂微粉又称超微细白炭黑，是一种无毒、无味、无污染且具有纳米特性和一定抗菌性的化学材料，广泛应用于橡胶、化工、纺织、机械、电子、食品、医药、农业等行业。纳米SiO₂与其他聚合物复合不仅可增强其力学性能，同时还可利用硅氧键对CO₂和O₂的吸附、溶解、扩散、释放作用，调节膜内外2种气体的交换量，从而抑制果蔬的呼吸强度和水分流失，达到对果蔬保鲜的作用。

袁志等^[15]研究了纳米SiO₂/壳聚糖复合薄膜对草莓的保鲜效果。结果显示，经复合薄膜处理后的草莓，在常温条件下贮藏6 d后，其腐烂指数比未经处理的对照组降低了5.1%；在4℃低温条件下贮藏11 d后，其腐烂指数比对照组降低了23.9%。

贾利蓉等^[16]研究了水解胶原、海藻酸钠、纳米SiO₂复合保鲜液对枇杷与樱桃的涂膜保鲜效果。结果显示，该复合保鲜液可减少枇杷的失水率，降低枇杷的呼吸强度与腐烂指数；纳米SiO₂粒子经六偏磷酸钠分散后制得的复合保鲜溶液，对枇杷的保鲜效果较明显。

张克宏^[17]研究了纳米SiO₂/PP复合保鲜膜对草莓的保鲜效果。结果显示，经复合保鲜膜处理后的草莓贮藏到第13 d时，失重率为6.9%，腐烂指数为19%，

有机酸的质量分数为0.28%，可溶性固形物的质量分数为6.1%，VC的质量分数为0.042%，保鲜效果较好。

综上所述，纳米SiO₂复合薄膜对果蔬的保鲜效果较好。随着纳米SiO₂作为食品添加剂进入食品工业，其应用空间将进一步扩大。但国内纳米SiO₂复合薄膜的工业化生产仍然较薄弱，需进一步加强。

2.3 纳米CaCO₃复合薄膜在果蔬保鲜中的应用

纳米CaCO₃又称超微细碳酸钙，具有来源广泛、成本低廉、稳定性能好等特点。在国外，晶型纳米CaCO₃已有50多年的应用历史，广泛应用于橡胶、塑料、造纸、化学建材、油墨、涂料、密封胶与胶黏剂、日化与医药等行业。作为一种新型包装材料，纳米CaCO₃改性低密度聚乙烯(low density polyethylene, LDPE)、柞蚕丝素、壳聚糖已见报道；在保鲜薄膜的应用方面，对纳米CaCO₃/壳聚糖复合薄膜对果蔬的保鲜效果研究较多。

罗自生等^[18]在壳聚糖中添加纳米CaCO₃助剂，研究其对鲜切山药品质的影响。结果显示，经复合膜处理后，鲜切山药的总酸度、VC含量和切口亮度L值分别比对照组高10.5%、8.4%、6.9%，失重率和总酚含量分别比对照组低9.2%和8.3%。另外，壳聚糖添加纳米CaCO₃助剂后可显著抑制多酚氧化酶和过氧化物酶的活性，延缓果蔬的褐变率，延长果蔬的货架期。

徐晓玲等^[19]在壳聚糖中添加纳米CaCO₃助剂，研究其对枇杷品质的影响。结果显示，经复合涂膜处理后的枇杷，其硬度和酸度分别高于对照组11%和20%，而水分损失比对照组减少34%；复合涂膜可抑制多酚氧化酶和过氧化物酶的活性，使褐变指数比对照组减少43%，货架期比对照延长3 d。

徐庭巧等^[20]探讨了纳米CaCO₃改性壳聚糖涂膜对鲜切茄子生理生化指标的影响。结果表明，经复合涂膜处理后，鲜切茄子的硬度和总可溶性固形物的质量分别比对照组高5%和7%，而细菌总数和水分损失分别比对照组少32%和10%；复合涂膜能有效抑制鲜切茄子多酚氧化酶和过氧化物酶的活性，较好地保持了果实的切口亮度L值，有效地抑制了果蔬的褐变反应。

综上所述，纳米CaCO₃复合涂膜对果蔬具有较好的保鲜作用。纳米CaCO₃与其他聚合物复合的涂膜的保鲜性能还有待进一步研究。

2.4 纳米银复合涂膜在果蔬保鲜中的应用

Ag⁺可阻止微生物的酶合成，还可与细胞膜及膜蛋白质金属离子结合，从而对蛋白质(酶、DNA等)反应产生功能障碍；高氧化状态银的还原势极高，在光的作用下可使周围空间产生原子氧，从而杀灭细

菌,且其杀菌性具有持久性,一般可持续5~10 a;同时,Ag⁺还具有催化氧化能力,可分解乙烯,具有较好的保鲜效果。

张瑶等^[21]采用交互性实验设计方案,将聚乙烯制品混入质量分数为0.15%的Ag纳米粉中制成塑料粒子,生产出一定规格的复合保鲜盒和保鲜袋(厚度约为0.06 mm),用于杨梅保鲜。保鲜测试结果表明,纳米塑料包装对杨梅呼吸并无抑制作用,在提高杨梅好果率和延长货架期方面有正面效果,同时,还可抑制杨梅中的VC分解。

周玲等^[22]研究了PE/Ag₂O纳米包装袋对鲜切苹果的保鲜影响,并对该复合包装袋的使用安全性进行了评价。结果显示,采用复合包装袋包装的苹果切块,其感官品质、失重率变化、表面褐变速度均优于采用PE保鲜袋包装的苹果切块,故具有优良的保鲜特性;复合包装袋上负载的纳米银较稳定,故具有较好的使用安全性。

赵美华等^[23]研究了不同保鲜剂与高湿冷条件对北京33号桃果实保鲜效果的影响。结果显示,采用添加质量分数为2%的纳米银聚乙烯复合塑料袋对桃果实进行处理,在常温条件下贮藏30 d内,复合塑料袋能有效地抑制果蔬中乙烯的释放,减缓果肉硬度下降速度,降低VC损失,较好地保持了桃果实的色泽与味道。

纳米银具有较好的杀菌作用,保鲜效果明显,在包装工业中的应用不断扩大,但包装薄膜中Ag⁺的迁移问题在一定程度上限制了其应用^[24]。

3 研究展望

纳米复合薄膜在果蔬保鲜方面具有独特的优越性,其发展空间较大,发展前景较好。但从目前国内纳米复合保鲜薄膜的实际发展情况来看,实验理论研究居多,实践应用相对落后。虽然纳米复合薄膜的保鲜性能优异,但纳米技术的食品安全性仍存在争议,这在较大程度上限制了纳米复合保鲜薄膜的推广应用。提高纳米材料的使用安全性是下一步的研究重点。

另外,已进行的研究中,在果蔬品种与纳米复合保鲜薄膜种类的选择上存在偶然性。因此,纳米复合保鲜薄膜与果蔬种类的最佳匹配性研究,将是下一步的研究方向。

参考文献:

[1] Michèle Desmet, Jeroen Lammertyn, Nico Scheerlinck, et al. Determination of Puncture Injury Susceptibility of

Tomatoes[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2003, 27: 293-303.

[2] Desmond B Worrell, Sean Carrington C M, Donald J Huber. The Use of Low Temperature and Coatings to Maintain Storage Quality of Breadfruit, *Artocarpus Altilis* (Parks.) Fosb.[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2002, 25(1): 33-40.

[3] Polder G, Van Der Heijden G W A M, Young I T. Spectral Image Analysis for Measuring Ripeness of Tomatoes[J]. *Transactions of the ASAE*, 2002, 45(4): 1155-1161.

[4] Krebbers B, Matser A M, Koets M, et al. Quality and Storage-Stability of High-Pressure Preserved Green Beans [J]. *Journal of Food Engineering*, 2002, 54(1): 27-33.

[5] 周武艺.荔枝纳米保鲜剂研究及应用进展[J].*北方园艺*, 2011(1): 185-187.

Zhou Wuyi. Progress on the Application of Keeping Fresh Nano-Materials for Lichi[J]. *Northern Horticulture*, 2011 (1): 185-187.

[6] 王红娟,杨宏顺,陈复生,等.纳米技术在采后果蔬保鲜中的研究进展[J].*食品科技*, 2011, 36(6): 71-75.

Wang Hongjuan, Yang Hongshun, Chen Fusheng, et al. Application of Nanotechnology in Post-Harvest Fruits and Vegetables[J]. *Food Science and Technology*, 2011, 36 (6): 71-75.

[7] 李菲,郝喜海,王振中,等.流延法制备PVA/TiO₂复合薄膜的性能研究[J].*包装学报*, 2010, 2(4): 67-70.

Li Fei, Hao Xihai, Wang Zhenzhong, et al. Performance Research of PVA/TiO₂ Compound Film by Solution Casting [J]. *Packaging Journal*, 2010, 2 (4): 67-70.

[8] 何尖,刘恩,陈弦,等.PVA/Nano-SiO₂薄膜的性能研究[J].*塑料工业*, 2011, 39(3): 76-78.

He Jian, Liu En, Chen Xian, et al. The Study of Properties of PVA/Nano-SiO₂ Films[J]. *China Plastics Industry*, 2011, 39(3): 76-78.

[9] 徐水,张胡静,李雯静,等.丝素/纳米SiO₂凝胶共混膜的制备及性能测试[J].*蚕业科学*, 2011, 37(1): 82-87.

Xu Shui, Zhang Hujing, Li Wenjing, et al. Preparation and Property Determination of Fibro in /Nano-SiO₂ Gel Blend Membrane[J]. *Science of Sericulture*, 2011, 37(1): 82-87.

[10] 宋贤良,周家华,朱翠华,等.大豆蛋白纳米二氧化钛复合膜的制备及性能研究[J].*现代化工*, 2007, 27(12): 40-42.

Song Xianliang, Zhou Jiahua, Zhu Cuihua, et al. Preparation of Composite Film of Soy Protein and Titania Nanoparticles and its Properties[J]. *Modern Chemical Industry*, 2007, 27(12): 40-42.

[11] 王依全,崔海信,马承伟,等.乙烯分解纳米光催化反应器关键性能参数研究[J].*农业工程学报*, 2006, 22(9): 124-127.

Wang Yiquan, Cui Haixin, Ma Chengwei, et al. Key

- Performance Parameters of Nanophotocatalytic Reactor for Ethylene Decomposition in Controlled-Atmosphere Storage [J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(9): 124-127.
- [12] 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.
- Song Xianliang, Ye Shengying, Huang Wei, et al. Fresh-Keeping Effect of Nano-Titania/Corn Starch Compound Coating on Cherry Tomato[J]. Food Science, 2010, 31(12): 255-259.
- [13] 陶希芹, 王明力, 袁 志, 等. 壳聚糖/纳米 TiO₂复合涂膜保鲜金秋梨的研究[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(5): 210-213.
- Tao Xiqin, Wang Mingli, Yuan Zhi, et al. Study on Storage Jinqiu Pear with Chitosan/Nano-TiO₂[J]. Food and Fermentation Industries, 2009, 35(5): 210-213.
- [14] 袁 志, 王明力, 王丽娟, 等. 改性壳聚糖纳米 TiO₂复合保鲜膜透性的研究[J]. 中国农业通报, 2010, 26(11): 67-72.
- Yuan Zhi, Wang Mingli, Wang Lijuan, et al. Modification of Chitosan Nano-TiO₂ Composite Membrane Permeability of Research[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(11): 67-72.
- [15] 袁 志, 王明力, 李 霞. 纳米 SiO₂壳聚糖复合膜保鲜草莓的研究[J]. 现代食品科技, 2011, 27(1): 11-15.
- Yuan Zhi, Wang Mingli, Li Xia. Fresh-Keeping Property of Chitosan Nano-SiO₂ Composite Membrane for Strawberry[J]. Modern Food Science and Technology, 2011, 27(1): 11-15.
- [16] 贾利蓉, 夏 娟, 周 南, 等. 水解胶原/海藻酸钠/纳米粒子复合保鲜液用于水果涂膜保鲜的研究[J]. 食品与机械, 2008, 24(1): 46-50.
- Jia Lirong, Xia Juan, Zhou Nan, et al. Preservation of Fruits by Hydrolyzed Collagen/Sodium Alginate Nanoparticles Latex[J]. Food and Machinery, 2008, 24(1): 46-50.
- [17] 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): 104-109.
- Zhang Kehong. Study on Preparation and Properties Study of Nano-SiO₂/PP Composite Fresh-Keeping Film[J]. China Plastics Industry, 2011, 39(2): 104-109.
- [18] 罗自生, 徐晓玲, 徐庭巧, 等. 壳聚糖添加纳米碳酸钙助剂对鲜切山药品质的影响[J]. 农业机械学报, 2009, 40(4): 125-128.
- Luo Zisheng, Xu Xiaoling, Xu Tingqiao, et al. Effect of Chitosan Coating with Nano-CaCO₃ Appendix on Quality of Fresh Cut Yam[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2009, 40(4): 125-128.
- [19] 徐晓玲, 梅安待, 罗自生, 等. 壳聚糖添加纳米碳酸钙助剂涂膜对枇杷品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2008, 34(4): 142-145.
- Xu Xiaoling, Mei Andai, Luo Zisheng, et al. Effect of Chitosan Coating with Nano-CaCO₃ Appendix on Postharvest Quality and Physiology of Loquat Fruits[J]. Food and Fermentation Industries, 2008, 34(4): 142-145.
- [20] 徐庭巧, 罗自生, 徐晓玲, 等. 纳米碳酸钙改性壳聚糖涂膜对鲜切茄子生理生化指标的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(4): 264-267.
- Xu Tingqiao, Luo Zisheng, Xu Xiaoling, et al. Effects of Nano-CaCO₃-Modified Chitosan Coating on Physiological and Biochemical Indexes of Fresh-Cut Eggplant Fruits[J]. Food Science, 2009, 30(4): 264-267.
- [21] 张 瑶, 杨京平, 杨莹跃, 等. 添加纳米粒子的塑料包装材料在杨梅保鲜中的作用[J]. 农机化研究, 2007(3): 111-114.
- Zhang Yao, Yang Jingping, Yang Yingyue, et al. The Application of Ag Nanometer Antimicrobial on the Preservation of Waxberry[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007(3): 111-114.
- [22] 周 玲, 何贵萍, 阎梦索, 等. PE/Ag₂O 纳米包装袋对苹果切块品质的影响[J]. 食品科技, 2010, 35(6): 56-59.
- Zhou ling, He Guiping, Yan Mengying, et al. Effect of PE/Ag₂O Nano-Packaging on the Quality of Apple Slice[J]. Food Science and Technology, 2010, 35(6): 56-59.
- [23] 赵美华, 张云川, 刘 威, 等. 不同保鲜剂与高温冷条件对北京 33 号桃果实保鲜效果的影响[J]. 保鲜与加工, 2009(4): 29-31.
- Zhao Meihua, Zhang Yunchuang, Liu Wei, et al. Effects of Different Preservative on Storage Property of Peach Beijing No.33 under High Humidity and Low Temperature Condition[J]. Storage & Process, 2009(4): 29-31.
- [24] 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): 110-113.
- Huang Yanmin, Zhu Chenfu, Chen Shuxiang, et al. Micro/Nano-Silver Migration into Food Simulations from Micro/Nano Polypropylene Chambers[J]. Journal of Shandong University: Engineering Science, 2010, 40(2): 110-113.

(责任编辑: 徐海燕)