

纳米 SiO₂ 疏水涂层对纸和纸板性能的影响

康柳^{1,2}, 华媛^{1,2}, 母军^{1,2}, 储德森^{1,2}

(1. 木质材料科学与应用教育部重点实验室, 北京 100083;

2. 北京林业大学, 北京 100083)

摘要: **目的** 对牛皮纸及瓦楞纸板进行纳米 SiO₂ 疏水涂层处理后, 探讨其对纸或纸板性能的影响。 **方法** 将纳米 SiO₂ 和有机硅树脂混合制成疏水涂层, 浸渍、喷涂于牛皮纸及瓦楞纸板表面, 通过测试纸张接触角及可勃吸水值检验疏水效果, 并测试纸张的抗张强度、耐折度、撕裂度、耐破度及检验瓦楞纸板的边压强度、平压强度、戳穿强度等物理性能。 **结果** 经表面混合树脂处理的疏水纸张的接触角为 88.6°, 可勃吸水值大大降低。随着涂层层数的增加, 牛皮纸耐破度及瓦楞纸板平压强度均整体随之增长。经双涂层涂饰处理后瓦楞纸板的各物理性能均有较大提高, 纳米 SiO₂ 双涂层瓦楞纸板较单涂层瓦楞纸板力学性能更优良。 **结论** 纸张及纸板经纳米 SiO₂ 疏水涂层处理后, 不仅在一定程度上提高了纸张与纸板的疏水性能, 对纸张与纸板的物理性能也有一定程度的改良, 为实现纸或纸板的防水包装提供了一定的理论基础与处理方法。

关键词: 牛皮纸; 瓦楞纸板; 纳米 SiO₂; 疏水涂层

中图分类号: TB484.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)09-0021-05

Effects of Nano-silica Hydrophobic Coating on Properties of Kraft and Corrugated Cardboard

KANG Liu^{1,2}, HUA Yuan^{1,2}, MU Jun^{1,2}, CHU De-miao^{1,2},

(1. MOE Key Laboratory of Wooden Material Science and Application, Beijing 100083, China;

2. Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

ABSTRACT: This paper discussed the effects of nano-silica hydrophobic coating on properties of kraft and corrugated cardboard. The nano-silica and silicone resin were blended to prepare hydrophobic coating, which was dipped and sprayed on the surface of kraft and corrugated board. Effects of hydrophobicity were evaluated by contact angle and Cobb water absorption. Mechanical properties of kraft and corrugated board were evaluated by tensile strength, folding strength, tearing resistance, bursting strength, compression strength, flat crush strength, puncture strength. The contact angle of hydrophobic paper after treatment with blended resin was 88.6° and Cobb water absorption obviously decreased. With increasing layer number of the coating, the burst strength of kraft paper and the flat crush resistance of corrugated cardboard both showed a rising trend. After treatment with double coating, all the physical properties of the corrugated board were greatly improved, and the mechanical properties of nano-silica double-coated corrugated cardboard were better than those of the corrugated board with single layer of coating. Paper and paperboard treated by hydrophobic treatment did not only show improvement in the hydrophobic properties of paper and cardboard, but also enhancement in the physical properties of paper and cardboard, which provides a theoretical basis and treatment method for the realization of waterproof packaging of paper or paperboard.

KEY WORDS: kraft; corrugated cardboard; nano-silica; hydrophobic coating

收稿日期: 2015-08-13

基金项目: 北京市教育委员会共建项目

作者简介: 康柳(1992—), 女, 河北人, 北京林业大学硕士生, 主攻包装材料与结构。

通讯作者: 母军(1970—), 女, 河北人, 博士, 北京林业大学教授, 主要研究方向为木质复合材料与包装材料。

纸包装材料以其资源丰富、易回收和易降解的特性,在LCA(Life Cycle Assessment)的评估中被认为是最具有前途的绿色包装材料^[1]。随着人民生活水平的提高,纸包装行业发展越来越迅速,纸的应用范围也不断扩大。在蔬菜、食品、家电、工业产品用包装方面要求纸张具有一定的防水性能,因此,越来越多的研究投入到纸张的防水处理。目前,瓦楞纸板也已成为现代包装中使用最广泛的包装材料之一,瓦楞纸箱产值占包装工业制品总产值的30%以上^[2]。

近年来,已有一些学者对纸张及瓦楞纸板的疏水性能进行了研究。疏水性能通过接触角及可勃吸水量来表征^[3]。袁志庆^[4]等采用石蜡浸渍法在普通纸的表面成功制备了超疏水表面层,使得超疏水纸具有极好的防水防潮和易于清洁的性能;吴云影^[5]等采用十六烷基三甲氧基硅烷为表面修饰剂,使用有机酸催化剂,在温度低于60℃的条件下,制备了超疏水纸;章伟伟^[6]通过纸张的内部添加、表面涂布和纤维改性的方法,将蜂蜡乳化后进行湿部添加或表面涂布,结合热处理和抛光等后续处理,考察了它们对纸张水蒸气阻隔效率和抗水性能的影响;贺伦英^[7]探讨了多功能悬浮剂和羟甲基脲对淀粉胶粘剂性能的影响,实验证明该淀粉胶粘剂性能稳定,不分层、不沉淀,循环使用数日其黏度适宜。纸张与瓦楞纸板的疏水处理可以通过多种方法实现,但是对于纸张及瓦楞纸板经疏水处理之后的力学性能鲜有学者涉及。

疏水涂料的制备也是广大学者所研究的热点。赵玺浩^[8]等用去离子水、分散剂、消泡剂,加入颜料、超疏水填料后高速分散,最后低速搅拌下加入成膜助剂、防腐剂、疏水乳液、纯丙乳液、增稠剂,制得了疏水自清洁涂料;谭家政^[9]通过表面激光加工构建微米网格形貌,用溶胶凝胶法以硅树脂为基体、纳米二氧化硅为填料,并用低表面能物质修饰,制备了超疏水铁合金表面。文中借鉴王东等^[10]超疏水涂层的制备方法,制得疏水涂层后,对牛皮纸和瓦楞纸板进行单涂层及双涂层疏水处理,并测试其防水性能及疏水处理前后的纸张力学性能,探究表面疏水处理对纸张及瓦楞纸板的影响,为后续疏水涂层在纸行业的应用提供相关依据。

1 疏水涂层制备及纸张纸板性能测试

1.1 材料与仪器

材料:环己烷、无水乙醇,北京化工厂,分析纯;纳米SiO₂,粒径为20 nm,南京天行新材料有限公司;有机硅树脂(固含量为(40±2)%)、固化剂,江西永修县

虬津福利化工厂;定量为197.5 g/m²的牛皮纸;定量为566.4 g/m²的B楞瓦楞纸板。

仪器:DC-KZ300C电脑测控抗张试验机,DCP-NPY200电脑测控纸张耐破度仪,DC-MIT135B电脑测控耐折度仪,J-SLY1000A纸张撕裂度仪,DCP-KY3000电脑测控压缩试验机,FQ-CBD125可勃吸收试样取样器,J-CBY100纸与纸板吸收性测定仪,四川长江造纸仪器有限公司;接触角仪,OCA 20, Dataphysics Instruments GmbH; KY-BT2202S 电子天平,北京鸿睿天维科技有限责任公司;JA2003N电子分析天平,上海精密仪器科技有限公司。

1.2 方法

1.2.1 疏水涂层制备

纳米SiO₂与液体混合容易团聚。实验中,先加入有机硅树脂,然后滴加环己烷,最后加入纳米SiO₂,此混合体系搅拌过程中不会团聚。纳米SiO₂、环己烷和有机硅树脂的质量比为1:40:400,在常温、密闭环境下搅拌4~6 h,加入质量分数为4%的固化剂。制备时以环己烷为溶剂,有机硅树脂利用硅原子上的羟基进行缩水聚合交联形成网状结构,纳米SiO₂为疏水填料,固化剂起到加速固化作用,最终制得疏水涂层^[10]。

1.2.2 疏水纸张与疏水瓦楞纸板制备

疏水涂层的涂饰定量为100 g/m²。用无水乙醇擦拭待处理纸张及纸板,纸张晾干后,将涂层通过滚动法均匀地涂于纸张与纸板表面(见图1),放入温度为40~70℃的烘箱中30 min,待温度降至常温时放入相对湿度为50%、温度为25℃的恒温恒湿箱中24 h。



图1 牛皮纸滚涂表面

Fig.1 Surface of kraft paper obtained by rolling

1.2.3 纸张及瓦楞纸板性能测试

文中通过纸张的接触角及可勃吸水量来评价其防水性能,纸张的机械强度宏观上表现为抗张强度、耐破度、耐折度、撕裂度等^[11],瓦楞纸板则通过平压强度、边压强度、耐破度、戳穿强度评价其力学性能。

牛皮纸接触角测试液体为蒸馏水,水滴体积为1.5 μL ,挤出速度为0.5 $\mu\text{L/s}$,每个试件表面随机选取5个位置测试,重复测试5个试件;可勃吸水量测试方法参考GB/T 1540—1989。

牛皮纸力学性能测试时,分别对无涂层牛皮纸、单涂层牛皮纸、双涂层牛皮纸3种处理条件下的纸张进行测试,其中抗张强度测试方法参考GB/T 12914—1991,试件大小为15 mm $\times$ 250 mm,每组测试纵、横向试样各6条;耐破度测试方法参考GB/T 454,试件大小为70 mm $\times$ 70 mm,每组各10条;耐折度测试方法参考GB/T 2679.5—81,试件大小为150 mm $\times$ 15 mm,每组纵、横向试样各10条;撕裂度测试方法参考GB/T 455—2002,试件大小为63 mm $\times$ 50 mm,纵、横向各20条。以上试样均置于标准环境中预处理24 h,预处理条件参考GB 4857.2。

瓦楞纸板应用性能测试时,同样对无涂层瓦楞纸板、单涂层瓦楞纸板、双涂层瓦楞纸板3种处理条件下的试件进行测试。平压强度测试方法参考GB 2679.6—81,试件为65 cm²(直径(91 $\pm$ 0.5) mm)的圆形试样;边压强度测试方法参考GB 6546,试件长(100 $\pm$ 0.5) mm、宽(25 $\pm$ 0.5) mm,每组各10条;耐破度测试方法参考GB 6545—86,试样大小为100 mm $\times$ 100 mm,每组各10条;戳穿强度测试方法参考GB 2679.7,试件大小为175 mm $\times$ 175 mm,每组各8条。以上试样均置于标准环境中预处理24 h,处理方法参考GB 4857.2。

2 结果与分析

2.1 疏水处理牛皮纸性能测试

采用可勃法测量纸张表面的吸水量,可勃吸水值是指单位面积的纸和纸板在一定压力、温度下,在规定时间内表面所吸收的水量,纸由纤维、胶料、填料、色料组成。如图2所示,双涂层牛皮纸表面的吸水量明显小于无涂层牛皮纸。由于纤维具有极强的吸水性,纤维与纤维之间有间隙,水与纸接触后,表面张力产生作用,自由水会快速填充纤维与纤维之间的间隙。试验测得无涂层牛皮纸的可勃吸水值为24.3 g/m²,双涂层牛皮纸的可勃吸水值为2.04 g/m²,说明纳米SiO₂不溶于自由水的特性很好地隔离了水与纤维之间的接触,并且涂层在一定程度上填充了纸张纤维之间的孔隙,因此起到了良好的防水效果。

接触角的大小与表面自由能、粗糙度有关,接触

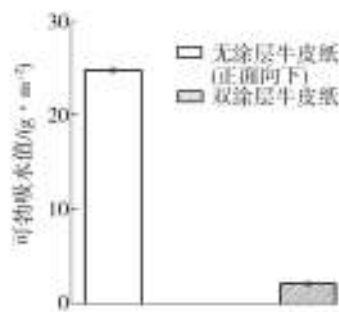


图2 不同纸张可勃吸水值

Fig.2 Cobb water absorption values of different paper

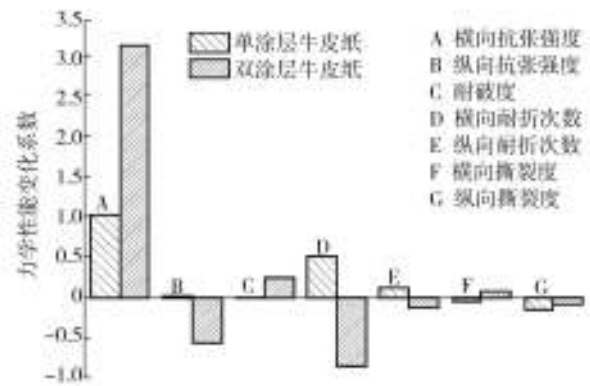
角是3个相界面自由能的函数,它既与矿物表面性质有关,也与液相、气相的界面性质有关。王东^[10]在玻璃基片上测得的接触角大于150°,达到了超疏水要求,而文中所测得最大初始接触角为88.6°,说明有机硅树脂及纸张纤维的表面能均对纳米SiO₂的疏水性能产生了较大的影响,还可能与制备的表面不够平整有关。成培芳^[12]等通过苯乙烯马来丁酯共聚物处理纸张后得到的初始接触角为84°,苯乙烯马来酰胺共聚物处理纸张的初始接触角为77°,说明经不同种类的疏水涂料处理后,纳米SiO₂涂层纸张的疏水性能优于常用施胶聚合物纸张的疏水性能。

纸张的强度性能与纤维之间及纤维内部的结合力有直接关系^[13]。纳米SiO₂与有机高分子产生接枝和键合作用,使材料韧性增加^[14],抗拉强度和抗冲击强度提高,牛皮纸横向抗张强度主要受纤维之间的交叉作用影响,因此涂层涂覆处理后对牛皮纸性能影响较大的3个方面为:纤维自身强度对纸张强度的决定性作用、涂层自身形成的网状结构对纸张强度的影响、纳米SiO₂与高分子(有机硅树脂及纤维)之间的作用。纳米SiO₂与有机高分子产生接枝和键合作用,会在一定程度上使纤维间及涂层间形成网格,使得横向强度增加;而在纵向方向,纵向抗张强度主要受纤维自身强度影响,涂层涂覆后在碾压及干燥过程中可能会对纤维产生破坏,因此纵向抗张强度在一定程度上会有降低的趋势,见表1与图3。由表1可发现,涂层牛皮纸与无涂层牛皮纸的抗张强度在横向和纵向的差异都较大,对比于瓦楞纸板的力学性质的各向异性^[15],牛皮纸张的各向异性则在较大程度上取决于纤维的排列方式。陈显非^[16]经过防水剂、聚乙烯醇和阳离子淀粉处理得到的纸张,同样不仅防水性能有很大提高,拉伸强度与文中单涂层牛皮纸的横向抗张强度的变化系数相近,提高了约100%,说明适量的疏水处理对纸张的抗张强度会有较大程度的提高。

表1 牛皮纸力学性能
Tab.1 Mechanical properties of kraft paper

纸张 类型	横向抗张 强度/kPa	纵向抗张 强度/kPa	耐破度/ kPa	横向耐 折次数	纵向耐 折次数	横向撕 裂度/mN	纵向撕 裂度/mN
无涂层牛皮纸	3860 (664.32)	14030 (508.67)	714.9 (44.18)	259.2 (24.36)	89.2 (34.91)	240 (3.83)	289.9 (11.1)
单涂层牛皮纸	7780 (628.94)	14230 (401.39)	707.2 (26.79)	390 (94.85)	98.7 (45.71)	227 (4.06)	250.4 (8.00)
双涂层牛皮纸	15880 (733.73)	6450 (204.16)	891.6 (45.16)	38.9 (13.67)	77.3 (25.64)	256 (16.45)	264.9 (6.06)

注:括号内数据为测试均值的标准偏差。



注:力学性能变化系数=(疏水处理后力学性能-未处理力学性能)/未处理力学性能。

图3 牛皮纸处理结果对比

Fig.3 Comparison of kraft paper with different treatments

随着涂层层数的增加,耐破度整体呈上升趋势,无涂层耐破强度主要由原纸纤维决定。耐破度与纤维长度和纤维间的结合力有关,而祝婧超发现纳米材料的添加可以增加纸张的结合^[17],因此纳米SiO₂涂层量充足时,可使纤维间结合力大,耐破度也随之提高。有机硅树脂在表面形成网状交织结构,也可提高纸张的耐破度。

单、双涂层涂覆对横向耐折次数的影响趋势相反,可能是由于涂层程度不同,牛皮纸的脆性受到不同程度的影响,因而对耐折次数也产生了一定的影响,涂覆量合适时可提高纸张韧性,涂覆量较大时也会提高脆性。如表1与图3所示,纳米SiO₂疏水涂层对纸张的撕裂度影响不大,而陈显非^[16]经过防水剂、聚乙烯醇和阳离子淀粉处理得到的纸张撕裂度性能提高了50.0%,文中纳米SiO₂疏水涂料处理对纸张的撕裂度影响并不明显,说明纳米SiO₂虽然在一定程度上提高了各纤维之间的联接能力,但是对于纤维自身的性质并未产生影响。

2.2 疏水处理的瓦楞纸板性能测试

由表2及图4可知,随着涂层层数的增加,瓦楞纸板平压强度随之增加。纳米SiO₂可以改善涂料的悬浮稳定性差、触变性差等问题,使涂膜结合强度提高。瓦楞纸板平压强度及边压强度主要受楞峰均匀度及原纸与芯纸的胶接质量的影响,说明纳米SiO₂涂层可能会增强胶黏剂的胶合强度,从而在一定程度上提高了瓦楞纸板的平压强度及边压强度。随着涂层层数的增加,瓦楞纸板的戳穿强度逐步提高,由图4可知,其戳穿强度的波动率比较稳定。

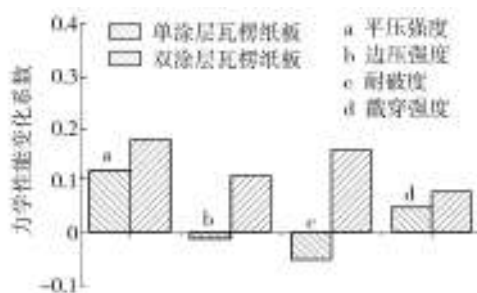
表2 瓦楞纸板力学性能

Tab.2 Mechanical properties of corrugated board with different treatments

纸张 类型	平压 强度/kPa	边压强度/ (N·m ⁻¹)	耐破度/ kPa	戳穿 强度/J
无涂层瓦楞纸板	1713.7 (99.70)	296 (23.81)	1042.3 (100.25)	8.893 (0.41)
单涂层瓦楞纸板	1913.9 (88.57)	292 (42.21)	990.4 (46.99)	9.351 (0.32)
双涂层瓦楞纸板	2017.2 (93.66)	328 (40.68)	1212.7 (43.87)	9.642 (0.28)

如图4所示,平压强度性能变化系数较边压强度性能变化系数提高程度大,除去楞峰的影响,在较大程度上是由于平压强度与边压强度所受粘结方向的影响不同导致了差异的产生。三层瓦楞纸板单防水涂饰处理后瓦楞纸板耐破度及边压强度稍微降低,其平压强度及戳穿强度在一定程度上得到了增强;双涂饰防水涂层后瓦楞纸板的各物理性能均有较大提高,说明纳米SiO₂双涂层瓦楞纸板的力学性能较单涂层好。原纸是制造瓦楞纸板的原材料,原纸的性能对瓦楞纸板的强度有直接的影响^[18],戳穿强度的增加说明

纳米SiO₂疏水涂层在一定程度上提高了原纸的耐破度,使得瓦楞纸板的戳穿强度得到了一定的提高。付云岗^[19]在对AB型双瓦楞纸板的物理性能进行研究时,在不同湿度条件下得到戳穿强度在9.93~10.54 J之间波动,而文中经纳米SiO₂涂层处理过的B型单瓦楞纸板的戳穿强度已经达到9.5 J左右。



注:力学性能变化系数=(疏水处理后力学性能-未处理力学性能)/未处理力学性能

图4 瓦楞纸板处理结果对比

Fig.4 Comparison of corrugated board with different treatments

3 结语

有机硅树脂流动性较差,且固化时间较短,相较于手动刮膜机及浸渍法的涂膜效果,滚涂法成膜比较均匀。疏水处理后的牛皮纸,得到最大接触角为88.6°,其表面吸水量相比于无涂层牛皮纸下降了10倍左右,很好地阻隔了水与牛皮纸的接触,具有良好的防水性能。

纳米SiO₂疏水涂层涂饰得到的涂层牛皮纸及涂层瓦楞纸板,经分析可以得到,单涂层牛皮纸的纸张耐破度及撕裂度稍有降低,但是抗张强度及耐折度在较大程度上得到了增强;双涂层涂饰后除横向抗张强度有较大提升,其他强度及物理性能均产生了较大程度的降低。随着涂层层数的增加,牛皮纸耐破度整体呈上升趋势,瓦楞纸板平压强度及戳穿强度也随之增大。瓦楞纸板单涂层涂饰处理后其耐破度及边压强度稍微降低,而平压强度及戳穿强度在一定程度上得到了增强;双涂层涂饰处理后瓦楞纸板的各物理性能均有较大提高,纳米SiO₂双涂层瓦楞纸板的力学性能优于单涂层瓦楞纸板。

参考文献:

- [1] 吴伟,陶德良,贺全国.绿色包装材料和技术的应用及展望[J].包装工程,2007,28(3):30—34.
WU Wei,TAO De-liang,HE Quan-guo. The Application and

- Prospect of Green Packaging Material & Technology[J]. Packaging Engineering,2007,28(3):30—34.
- [2] 王春华,许瀚文,王仲娴.滚筒防冻粘涂层的理论研究[J].表面技术,2015,44(5):77—82.
WANG Chun-hua,XU Han-wen,WANG Zhong-xian. Theoretical Study of the Anti-freezing Adhesive Coating of Roller[J]. Surface Technology,2015,44(5):77—82.
- [3] 高妹芬,王宁红,吴国荣.瓦楞纸箱业历史、现状和发展[J].机电信息,2004(5):28—31.
GAO Mei-fen,WANG Ning-hong,WU Guo-rong. Industry History, Current Situation and Development of Corrugated Box [J]. Electromechanical Information,2004(5):28—31.
- [4] 顾惕人,马季铭.表面化学[M].北京:科学出版社,2001.
GU Xi-ren,MA Ji-ming. Surface Chemistry[M]. Beijing: Science Press,2001.
- [5] 袁志庆,陈洪,汤建新,等.石蜡浸渍法制备超疏水纸[J].中国造纸,2007,26(10):12—14.
YUAN Zhi-qing,CHEN Hong,TANG Jian-xin, et al. Superhydrophobic Paper Prepared by Paraffin Impregnation[J]. China Pulp,2007,26(10):12—14.
- [6] 吴云影,赖鹤鋈,倪泽萍,等.表面分子修饰方法制作超疏水纸[J].造纸科学与技术,2011,30(5):19—22.
WU Yun-ying,LAI He-yun,NI Ze-ping, et al. Surface Molecular Modification Method of Making Superhydrophobic Paper[J]. Paper Science and Technology,2011,30(5):19—22.
- [7] 章伟伟.环保型超疏水抗潮功能纸张的研究[D].广州:华南理工大学,2014.
ZHANG Wei-wei. Environmentally Friendly Functional Paper with Superhydrophobic Surface and Moisture Resistance[D]. Guangzhou:South China University of Technology,2014.
- [8] 贺伦英,向宝坚,何新快,等.高强度耐水瓦楞纸板淀粉胶粘剂的研制[J].包装工程,2003,24(6):30—32.
HE Lun-ying,XIANG Bao-jian,HE Xin-kui, et al. Study on High Strength Anti-water Corrugated Paper Board Starch Adhesive[J]. Packaging Engineering,2003,24(6):30—32.
- [9] 赵玺浩,桂学,张超,等.一种建筑外墙用泡沫水泥保温板用疏水自清洁涂料及其制备方法:中国,10304031.1[P].2013.
ZHAO Xi-hao,GUI Xue,ZHANG Chao, et al. Hydrophobic Self-cleaning Paint of Building Exterior Cement Foam Insulation Board and Preparation Method: China, 10304031.1 [P]. 2013.
- [10] 谭家政.船用金属材料超疏水表面的制备及其防污性能研究[D].大连:大连海事大学,2013.
TAN Jia-zheng. Superhydrophobic Surfaces Preparation and Antifouling Properties of Marine Metal[D]. Dalian: Dalian Maritime University,2013.
- [11] 王东,贺军辉,刘红缨.SiO₂纳米颗粒/硅树脂复合超疏水功

(下转第30页)

- drocolloids, 2005, 19(1): 157—164.
- [3] 王长安, 邹永德, 陈晓翔. 抗菌食品包装研究进展[J]. 包装工程, 2009, 30(10): 121—124.
WANG Chang-an, ZOU Yong-de, CHEN Xiao-xiang. Advances in Research of Antimicrobial Food Packaging[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(10): 121—124.
- [4] BURT S. Essential oils: Their Antibacterial Properties and Potential Applications in Foods: A Review[J]. International Journal of Food Microbiology, 2004, 94(3): 223—253.
- [5] ATAR S L, DEJES S C, TALENS P, et al. Characterization of SPI-based Edible Film Incorporated with Cinnamon or Ginger Essential Oils[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 99(3), 384—391.
- [6] KECHICHIAN V, DITCHFIELD C, VEIGA-SANTOS P, et al. Natural Antimicrobial Ingredients Incorporated in Biodegradable Films Based On Cassava Starch[J]. LWT—Food Science and Technology, 2010, 43(7): 1088—1094.
- [7] GHASEMLOU M, ALIHEIDARIC N, FAHMID R, et al. Physical, mechanical and barrier properties of Corn Starch Films Incorporated with Plant Essential Oils[J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 98(1): 1117—1126.
- [8] 张慧芸, 郭新宇, 康怀彬, 等. 添加适量丁香精油提高大豆分离蛋白膜性能[J]. 农业工程学报, 2014, 30(4): 247—255.
ZHANG Hui-yun, GUO Xin-yu, KANG Huai-bin, et al. Characteristics of Isolate Soy Protein Films Incorporated with Clove Essential Oil[J]. Transaction of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(4): 247—254.
- [9] 王利强, 贾超, 卢立新, 等. 添加麝香草酚和丁香油的马铃薯淀粉基抗菌膜的制备及性能研究[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(1): 86—90.
WANG Li-qiang, JIA Chao, LU Li-xin, et al. The Preparation and Property Study of Potato Starch-Based Antimicrobial Film Added with Thymol and Clove Essential Oil[J]. Food and Fermentation Industry, 2013, 39(1): 86—90.
- [10] 梁治齐. 微胶囊技术及其应用[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1999.
LIANG Zhi-qi. Microcapsule Technology and Application[M]. Beijing: Chinese Light Industry Press, 1999.
- [11] 钱军浩. 在包装中运用微胶囊技术的研究[J]. 包装工程, 2000, 21(2): 128—132.
QIAN Jun-hao. The Study on New Methods of Microencapsulation Technology Using in Packaging[J]. Packaging Engineering, 2000, 21(2): 128—132.
- [12] 邓婧, 谭兴和, 薛琼. 丁香精油 β -环糊精微胶囊制备工艺条件的优化[J]. 包装工程, 2010, 31(11): 19—22.
DENG Jing, TAN Xing-he, XUE Qiong. Optimization of Microcapsule Preparation Technology Condition of Clove Oil- β -Cyclodextrin[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(11): 19—22.
- [13] 孟令, 曹龙奎. 高速混合条件下不同增塑剂对热塑性淀粉结构及性能的影响[J]. 食品工业科技, 2011, 32(1): 112—114.
MENG Ling, CAO Long-kui. Effect of Plasticizers on the Structure and Properties of TPS Under the Condition of High-speed Mixing[J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(1): 112—114.
- [14] 贾超, 王利强, 卢立新, 等. 增塑剂对马铃薯淀粉基复合膜物理机械性能的影响[J]. 包装工程, 2012, 33(13): 48—52.
JIA Chao, WANG Li-qiang, LU Li-xin, et al. Effect of Plasticizers on Physical and Mechanical Properties of Potato Starch-based Composite Films[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(13): 48—52.
- [15] 邱轶兵. 试验设计与数据处理[M]. 第2版. 北京: 中国科技大学出版社, 2008.
QIU Yi-bin. Experiment Design and Data Processing[M]. Second Edition. Beijing: China Science and Technology University Press, 2008.

(上接第25页)

- 能涂层的制备和性能研究[J]. 影像科学与光化学, 2011, 29(5): 372—382.
WANG Dong, HE Jun-hui, LIU Hong-ying. Preparation and Properties of Superhydrophobic Composite Coatings of SiO₂ Nanoparticles/Silicone Resin[J]. Imaging Science and Photochemistry, 2011, 29(5): 372—382.
- [12] 翟玉福. 浅析纸张的力学性能及其对印刷的影响[J]. 今日印刷, 2007(9): 71—72.
ZHAI Yu-fu. Mechanical Properties of the Paper and Its Impact on Printing[J]. Print Today, 2007(9): 71—72.
- [13] 成培芳, 王秋利, 王立军. 接触角法测评纸张表面施胶聚合物的性能[J]. 试验研究, 2006, 25(2): 27—31.
CHENG Pei-fang, WANG Qiu-li, WANG Li-jun. Characterization of Polymers for Paper Surface Sizing Using Contact Angle Methods[J]. Trial and Research, 2006, 25(2): 27—31.
- [14] 张雪. 纤维表面改性对纸张性能的影响[J]. 国际造纸, 2013, 32(5): 73—79.
ZHANG Xue. The Impact of Cellulose Fibre Surface Modification on Some Physico-chemical Properties of the Ensuing Papers[J]. World Pulp and Paper, 2013, 32(5): 73—79.
- [15] 赵苏, 王倩, 富尔康, 等. 纳米 SiO₂ 改性环氧树脂增强抛光磨料性能的研究[J]. 材料与冶金学报, 2012(3): 212—216.
ZHAO Su, WANG Qian, FU Er-kang, et al. Performance of Nano SiO₂ Modified Epoxy Resin Polishing Abrading Agent[J]. Journal of Materials and Metallurgy, 2012(3): 212—216.