

大豆蛋白-芹菜复合纸力学性能及热封性能研究

邵才,杨传民,王心宇

(天津商业大学,天津 300134)

摘要:以芹菜纸为基材,利用喷涂设备,在芹菜纸表面喷涂一层大豆蛋白液,制备了大豆蛋白-芹菜复合纸,并对其力学性能以及热封性能进行了研究。研究表明:大豆蛋白液和芹菜纸的复合,使得芹菜纸各个部分性能差异减小,明显提高了芹菜纸力学性能的均匀性,实现了芹菜纸的热封合,平均热封强度最大值为160.560 N/m。

关键词:大豆蛋白;芹菜纸;力学性能;热封性能

中图分类号: TB484.1; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)05-0001-03

Research on Mechanical Properties and Heat Seal Performance of Soybean Protein-celery Composite Paper

SHAO Cai, YANG Chuan-min, WANG Xin-yu

(Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China)

Abstract: Soybean protein-celery composite paper was prepared by spray coating soybean protein on celery paper. The mechanical properties and hot sealing performance of the composite paper was studied. The results showed that the compound of soybean protein suspension and celery paper makes performance difference of each part of the paper decrease, which obviously improves the uniformity of its mechanical properties; hot sealing of celery paper was realized, with the maximum average heat seal strength of 160.560 N/m.

Key words: soybean protein; celery paper; mechanical property; heat seal performance

随着人们环境意识的加强,对社会的可持续发展越来越重视,包装材料作为原料和能源消耗重要组成部分,尤其是包装废弃物对环境保护带来的重大压力,使得人们亟需寻找包装新材料来替代塑料包装等一类难以降解的包装材料。绿色包装是实现包装工业可持续发展,减少因包装而带来的环境污染问题的重要途径,绿色包装要求实现包装减量化(Reduce)、重复利用化(Reuse)、循环利用化(Recycle)、可降解腐化(Degrade)^[1-3]。一些具有生物降解性、可循环利用、环境友好型的包装材料已经越来越受到研究者的关注。其中,蔬菜基材料以其原料来源丰富、可食、无污染等优越性,成为食品、药品和包装等领域研究的一大热点^[4-7]。

笔者以芹菜为原料,在中试条件下制备了芹菜

纸。由于单一芹菜纸不能进行热封合,限制了其在食品包装等领域的应用。为了实现芹菜纸的热封合,以芹菜纸为基材,利用喷涂设备,在芹菜纸粗糙面喷涂一层大豆蛋白液,制备了大豆蛋白-芹菜复合纸,对其力学性能以及热封性能进行研究。

1 试验

1.1 材料

材料采用市售芹菜、大豆蛋白、CMC、甘油等。

1.2 仪器设备

主要设备:ZQS8-300S型蔬菜纸机,DK-98-IIA电热恒温水浴锅(天津泰斯特仪器有限公司),WH7401-60型电动搅拌器(天津市威华实验仪器

收稿日期:2011-01-04

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD05A05);天津市科技支撑计划重点资助项目(09ZCGYNC00900)

作者简介:邵才(1986-),男,江西人,天津商业大学硕士生,主攻食品包装新材料。

厂),喷涂设备, XLW-200N 智能电子拉力试验机, HSG-C 热封仪。

1.3 芹菜纸的制备

抄纸工艺(专利号: ZL200710060405. 4)包括: 去叶; 蔬菜清洗; 分切; 打浆后得到蔬菜浆料; 经上浆过程到达均浆池与网笼; 经网笼过滤后, 到毛布传送带上; 经过真空吸水及一、二级压榨, 上缸干燥; 收卷得到蔬菜纸^[8-9]。

1.4 大豆蛋白-芹菜复合纸的制备

1.4.1 大豆蛋白喷涂液制备

制备流程: 大豆蛋白、蒸馏水 → 加入四口圆底瓶中(80 °C 恒温水浴加热搅拌) → 搅拌约 60 min → 加入添加剂(CMC、甘油等) → 搅拌约 30 min → 大豆蛋白喷涂液。

1.4.2 复合纸制备工艺流程

制备流程: 大豆蛋白喷涂液 → 喷涂 → 芹菜纸 → 上缸加热干燥 → 大豆蛋白-芹菜复合纸。

1.5 大豆蛋白-芹菜复合纸力学性能测试

将制备好的大豆蛋白-芹菜复合纸放置在 23 °C, 相对湿度为 50% 的条件下预处理, 不少于 40 h (ASTM Standard Method D 882-01^[10]), 以纯芹菜纸作为对照。试样裁成长 300 mm、宽 25 mm 的试样, 测量其厚度 d , 然后在 XLW-200N 智能电子拉力试验机上进行拉伸性能测试, 设定初始间距 250 mm, 夹具移动速度为 25 mm/min, 每个试样做 10 次平行试验。

抗张强度是指最大负荷值除以试样截面积:

$$T_s = F/A \quad (1)$$

式中: T_s 为抗张强度(MPa); F 为平均抗张力(N); A 为试样横截面积(mm²)。

断裂延伸率的计算:

$$E = \Delta L/L_0 \times 100\% \quad (2)$$

式中: $\Delta L = L - L_0$; L 为变形后的断裂长度; L_0 为初始长度。

1.6 大豆蛋白-芹菜复合纸热封强度测试

大豆蛋白-芹菜复合纸热封强度测定采用 ASTM Standard Method F88-00^[11] 的方法。利用 HSG-C 热封仪对大豆蛋白-芹菜复合纸进行热封处理, 在 XLW-200N 智能电子拉力试验机上进行测定。试样裁成长 80 mm、宽 25 mm 的试样, 将复合纸经过喷涂大豆蛋白液的一面重叠在一起进行热封。将制备好的大豆蛋白-芹菜复合纸放置在 23 °C, 相对湿度为

50% 的条件下预处理, 不少于 40 h。设定初始间距 100 mm, 夹具移动速度为 250 mm/min。每个试样做 10 次平行试验。

2 结果与讨论

2.1 大豆蛋白喷涂液对芹菜纸力学性能的影响

制备 6 组不同大豆蛋白浓度、添加剂比例的大豆蛋白-芹菜复合纸试样, 分别编号为 S1—S6, 以纯芹菜纸作对照试验, 分别记为 S1', S2', S3', S4', S5', S6'。以卷的缠绕方向为纵向, 垂直方向为横向, 测定其力学性能, 测试结果见表 1。

表 1 芹菜纸与复合纸力学性能对比

Tab.1 Mechanical properties comparison between celery paper and composite paper

试样号	厚度/mm	抗张力/N		抗张强度/MPa		断裂延伸率/%	
		纵向	横向	纵向	横向	纵向	横向
S1	0.195	67.323	69.292	14.326	13.723	1.6	1.6
S1'	0.206	74.683	72.709	14.865	13.782	1.6	1.6
S2	0.180	58.476	72.243	12.869	16.210	1.6	1.6
S2'	0.192	70.656	73.182	14.676	15.331	1.6	1.6
S3	0.193	61.093	56.446	12.250	12.232	1.6	1.6
S3'	0.194	70.931	76.952	14.633	16.454	1.6	1.6
S4	0.151	60.813	49.442	15.767	13.401	1.6	1.6
S4'	0.178	62.882	63.875	14.075	14.364	1.6	1.6
S5	0.156	64.136	62.845	16.449	16.338	1.6	1.6
S5'	0.159	64.338	70.291	16.529	17.316	1.6	1.6
S6	0.184	57.891	64.730	12.456	14.183	1.6	1.6
S6'	0.180	70.962	75.417	15.688	16.813	1.6	1.6

根据表 1 可知: 在芹菜纸表面喷涂大豆蛋白液后所制备的大豆蛋白-芹菜复合纸的厚度小于喷涂前的纯芹菜纸(S6, S6' 除外), 其主要原因是芹菜纸经喷涂大豆蛋白液, 大豆蛋白液渗透到芹菜纸内部, 经过二次上缸加热干燥, 使得复合纸的结构更加紧密。杨传民等^[8-9]人利用 Olympus 测量显微镜对芹菜纸的介观结构了表征, 其研究表明, 纯芹菜纸表面存在不同程度的微小缺陷。在芹菜纸粗糙面喷涂大豆蛋白液, 不仅可以弥补微小缺陷对芹菜纸的应用带来影响, 而且可以使得芹菜纸粗糙面变得更加光滑。大豆蛋白-芹菜复合纸的抗张力低于纯芹菜纸的抗张力。试样 S4' 与 S4 的横向抗张力分别为 62.882 N 和 60.813 N, 大豆蛋白-芹菜复合纸的横向抗张力略小于纯芹菜

纸的横向抗张强度,但是纵向抗张强度 $S4'$ 是 $S4$ 的 1.291 9 倍;大豆蛋白-芹菜复合纸的最大抗张强度为纵向 $S2:72.243\text{ N}$,最小抗张强度为纵向 $S4:49.442\text{ N}$ 。由表 1 知,纵向抗张强度 $S2 > S2'$,横向抗张强度 $S4 > S4'$,是大豆蛋白-芹菜复合纸与芹菜纸厚度不均匀引起的,但总的来说,纯芹菜纸的抗张强度要大于大豆蛋白-芹菜复合纸的抗张强度。另外,大豆蛋白浓度和添加剂比例的差异,对大豆蛋白-芹菜复合纸的力学性能都有影响。试样的断裂延伸率均为 1.6%,表明大豆蛋白液在芹菜纸表面的复合对芹菜纸的延伸率没有影响。

试样抗张强度见图 1。图 1a,c 分别表示大豆蛋

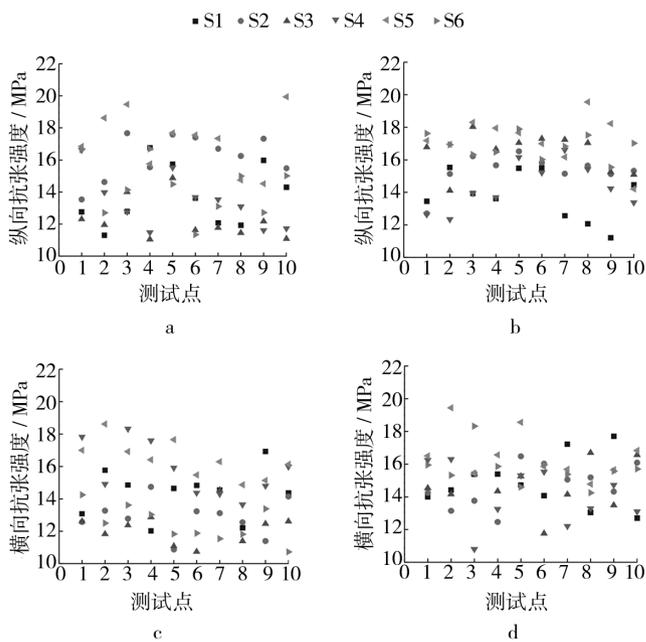


图 1 试样抗张强度变化情况

Fig. 1 Change of tensile strength of samples

白-芹菜复合纸纵向抗张强度、横向抗张强度;图 1b,d 分别表示芹菜纸纵向抗张强度、横向抗张强度。图 1a,c 中各测试点的分布比较均匀,而图 1b,d 中测试点的分布相对集中,有的测试点抗张强度值太大或太小。结合表 1 可知:虽然大豆蛋白-芹菜复合纸的抗张强度及抗张强度较纯芹菜纸有所降低,但是大豆蛋白液在芹菜纸粗糙表面的复合,使得芹菜纸各个部分性能差异减小,明显提高了芹菜纸机械性能的均匀性。

2.2 大豆蛋白-芹菜复合纸热封性能研究

热封强度是指在恒温、恒湿条件下,标准试样的热封界面被剥离所需消耗的能量,其数值反映了封合

部位所能达到的最高耐压能力。为了使复合纸能更好地封合,在热封前,先用少量的水润湿有大豆蛋白喷涂液的表面,然后将喷有大豆蛋白液的两面重叠在一起封合。在研究大豆蛋白-芹菜复合纸热封性能过程中发现,若将封合好的复合纸立即进行热封强度测试,得到的热封强度值较小($<40\text{ N/m}$),封合效果不好,因此需要将封合好的试样放置在恒温恒湿条件下一段时间。另外,当热封温度低于 $100\text{ }^\circ\text{C}$ 时,复合纸的热封强度不理想,这是由于复合纸在热封合前润湿的原因,热封温度低时,水分仍然封合在试样重叠的部位,降低了复合纸的热封强度;当热封温度高于 $130\text{ }^\circ\text{C}$ 时,复合纸的热封强度很低,在进行热封强度测试时,复合纸与封合交界部位会出现脆性断裂,这是热封温度太高引起的,由于复合纸本身的断裂延伸率较小(1.6%),使得热封后的封合处复合纸脆性增加,降低了复合纸的热封强度。

实验热封参数:温度 $115\text{ }^\circ\text{C}$;压力 30 N ;封合时间 7.0 s 。封合好的试样在恒温恒湿条件下放置 4 h 后,进行复合纸的热封强度测试。

试样热封强度变化情况见图 2。在 6 组试样中热

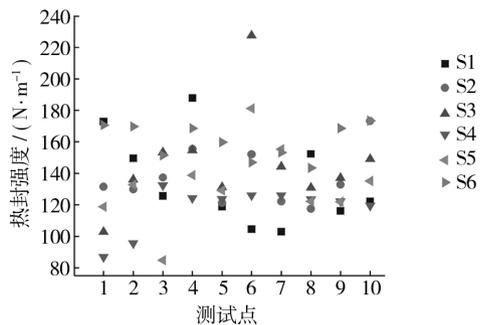
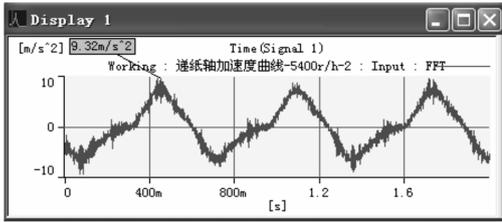


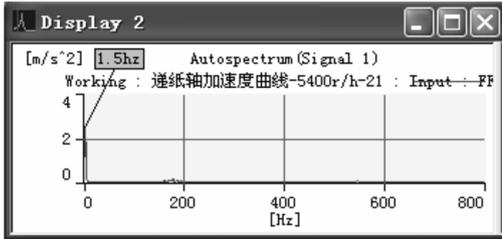
图 2 试样热封强度变化情况

Fig. 2 Changes of heat seal strength of samples

封强度最大值为 $S3$ 的第 6 个测试点 227.52 N/m ,热封强度最小值为 $S5$ 的第 3 个测试点 84.8 N/m ,相差 2.683 倍。 $S2$ 和 $S6$ 的热封强度变化程度较小,分布比较均匀,平均值分别为 137.370 N/m 和 160.560 N/m ,由图 2 可以看出, $S6$ 的热封强度整体上都比 $S2$ 的热封强度高。6 组试样热封强度的平均值见表 2。试样的平均热封强度大小依次为 $S6 > S3 > S2 > S1 > S5 > S4$ 。 $S4, S5, S6$ 大豆蛋白喷涂液的浓度依次增大,平均热封强度也增大,这表明大豆蛋白喷涂液中大豆蛋白浓度的增加可以提高复合纸的热封强度。



a 时域图



b 频域图

图8 递纸牙改进设计后的振动加速度曲线

Fig. 8 Acceleration curve of paper-transferring gear after improving design

验证了该推断的正确性。

(上接第3页)

表2 试样平均热封强度

Tab.2 Samples' mean heat seal strength

试样号	平均热封强度/($\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$)
S1	135.306
S2	137.370
S3	146.644
S4	118.018
S5	132.002
S6	160.560

3 结论

1) 大豆蛋白-芹菜复合纸的抗张力及抗张强度较纯芹菜纸有所降低,但是大豆蛋白液在芹菜纸粗糙表面的复合,使得芹菜纸各个部分性能差异减小,明显提高了芹菜纸机械性能的均匀性。

2) 大豆蛋白与芹菜纸的复合,实现了芹菜纸的热封合,平均热封强度最大值为 160.560 N/m。

参考文献:

- [1] AARNIO T A. Hämäläinen Resources, Conservation and Recycling[J]. 2008(52):612-621. (余不详)
- [2] 王建清. 包装材料学[M]. 北京:中国轻工业出版社, 2009.

3) 本方法对印刷机其他结构的动态设计提供了参考。

参考文献:

- [1] 王仪明,蔡吉飞,赵吉斌. 高速胶印机关键技术研究进展[J]. 中国机械工程, 2005(16):381-384.
- [2] 蔡吉飞. 偏心回转摆动式递纸机构的运动分析[J]. 北京印刷学院学报, 1996(1):25-26.
- [3] 何振亚. 数字信号处理与应用[M]. 北京:人民邮电出版社, 1983.
- [4] DUCEYJ M. Matching Paper to Press, Graphic[J]. Arts Monthly, 2004, 76(10):50-53.
- [5] BATHE K J. Finite Element Procedures[M]. Prentice-Hall, New Jersey, 1996.
- [6] 杨家华,管华. 印刷机振动测试与分析[J]. 北京工业大学学报, 2004, 30(1):35-37.
- [7] 郭宁军. BEIREN300 胶印机印刷单元的振动特性分析及结构优化设计[D]. 北京:北京工业大学, 2004.

- [3] BELGACEM M, GANDINI A. Monomers Polymers and Composites from Renewable Resources [M]. Elsevier, 2008. (余不详)
- [4] KIM S W, LEE S H, KANG J S, et al. Thermal Conductivity of Thermoplastics Reinforced with Natural Fibers [J]. Int J Thermophys, 2006, 27(6):1873-1881.
- [5] 姜燕. 大白菜纤维的形态及其与大豆分离蛋白复合可食膜的研究[D]. 长春:吉林大学, 2008.
- [6] MARTINS I M G. New Biocomposites Based on Thermoplastic and Bacterial Cellulose[J]. Composites Science and Technology, 2009(69):2163-2168.
- [7] 王心宇,陈翠辉,杨传民. 干白菜蔬菜纸的制备及性能的研究[J]. 包装工程, 2009, 30(7):1-2.
- [8] 杨传民,王心宇,寇金宝. 制浆处理方法对芹菜纸机械性能的影响[J]. 农业机械学报, 2010, 41(6):160-164.
- [9] 杨传民,王心宇,邵才,等. 去叶芹菜纸的介观结构及机械性能研究[J]. 农业机械学报, 2010, 41(S1):216-219.
- [10] ASTM. Standard Test Methods for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting (D 882-01) Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia [K]. PA: American Society for Testing and Materials, 2002.
- [11] ASTM. Standard Test Method for Seal Strength of Flexible Barrier Materials (F 88-00) Annual Book of ASTM Standards [K]. PA: American Society for Testing and Materials, 2002.