

# 添加剂对可食用性芹菜包装纸机械性能的影响

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2020.05.003

巩雪 马欣雨  
杜彩霞 滕菲  
刘铁铮 王凤

哈尔滨商业大学  
轻工学院  
哈尔滨 黑龙江 150028

**摘要:** 为了研究添加剂对可食用性蔬菜纸机械性能的影响,以芹菜为基材,CMC、明胶和海藻酸钠为黏结剂,甘油为增塑剂,通过制浆、抄纸、干燥,制成可食用性芹菜包装纸,并对芹菜包装纸的机械性能进行测定。根据单因素实验结果,进行多因素实验分析,并建立回归方程,分析不同复合添加剂对包装纸抗张强度的影响,得到添加剂的最佳混合比例。实验结果表明:当CMC的添加质量分数为0.68%,明胶的添加质量分数为0.62%,甘油的添加质量分数为3.3%时,抗张强度取得最优值,为26.13 MPa。与单因素实验结果相比,复合添加剂的添加有效地提高了纸张的机械性能。

**关键词:** 芹菜包装纸;增塑剂;黏结剂;抗张强度

**中图分类号:** TB484.1 **文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-7100(2020)05-0021-06

**引文格式:** 巩雪,马欣雨,杜彩霞,等. 添加剂对可食用性芹菜包装纸机械性能的影响[J]. 包装学报, 2020, 12(5): 21-26.

## 0 引言

可食性生物聚合材料以原料来源广泛、可食用且对环境无害等优点,广泛应用于食品和药品包装中<sup>[1-3]</sup>。近几年,以蔬菜为基材的蔬菜纸包装材料悄然兴起,逐渐成为研究热点<sup>[4]</sup>。黄紫娟等<sup>[5]</sup>以芹菜、卷心菜及冬瓜为原料制备蔬菜包装纸,并探讨其制作工艺条件。孙婕等<sup>[6]</sup>以韭菜为原料制备蔬菜包装纸,并对加工工艺进行了研究。隋明等<sup>[7]</sup>以魔芋、莲花白为原料制备可食用蔬菜包装纸,并探讨了蔬菜包装纸的制作工艺。T. H. Mchugh等<sup>[8]</sup>以椰菜和胡萝卜为原料制备蔬菜纸,以苹果、草莓和桃子为原料制备水果纸,并分析了各种纸的透水性。Pan Z. L.等<sup>[9]</sup>的研究结果表明,远红外热烫是最适合加工蔬菜纸的漂烫方法。

因此,本课题组拟以富含膳食纤维的芹菜为基材,

以羧甲基纤维素钠(carboxymethyl cellulose sodium, CMC)为黏合剂,以甘油为增塑剂,制备可食用蔬菜包装纸,并分析添加剂的添加量对包装纸的断裂伸长率和抗张强度的影响,进而优化芹菜包装纸的制备工艺,以期对蔬菜包装纸的生产提供参考<sup>[10]</sup>。

## 1 实验部分

### 1.1 原料与仪器

1) 原料。芹菜购买于哈尔滨市松北区大润发超市;明胶,沈阳市试剂三厂;海藻酸钠,天津市凯通化学试剂有限公司;羧甲基纤维素钠,天津市福晨化学试剂厂;甘油,天津市致远化学试剂有限公司。

2) 仪器。电子天平, I 2000型,东莞市南城长协电子制品厂;九阳多功能榨汁机, C93T型,九阳天津电器厂;电子万能试验机, KY-5KN型,上海

收稿日期: 2020-06-15

基金项目: 国家级大学生创新创业训练计划基金资助项目(201910240008)

作者简介: 巩雪(1981-),女,辽宁锦州人,哈尔滨商业大学副教授,博士,硕士生导师,主要研究方向为新型可食性及可降解包装材料的制备及性能, E-mail: gongxue@hrbcu.edu.cn

凯晏检测仪器有限公司；增力电动搅拌器，JJ-1型，江苏省金坛市恒丰仪器制造有限公司；电子数显外径千分尺0~25 mm，211-101型，日本株式会社三丰；USB数码显微镜，500X型，深圳市金恒宇科技有限公司；恒温恒湿控制仪，GSD-150型，苏州易维仪器设备有限公司；电热恒温鼓风干燥箱，101-0型，上海喆钛机械制造有限公司；电热恒温水浴锅，HH-11-2型，上海助蓝仪器科技有限公司；电子纸张耐折度测定仪，ZZD-50型，长春市月明小型试验机有限公司。

## 1.2 芹菜包装纸的成型原理与制备

蔬菜纤维的化学结构中含有很多亲水基团，如羟基等，因而蔬菜的吸水能力较强，吸水后其容易膨胀<sup>[11]</sup>。芹菜纤维在打浆过程中被分丝帚化，使纤维呈细丝状，因而纤维具有较好的可塑性<sup>[12]</sup>。丝状纤维素通过氢键等相互交织，形成网状结构，加入的黏结剂、增塑剂等进一步加快了各蔬菜成分间的胶黏，使蔬菜纸具有纸的各种性能<sup>[13]</sup>。

先制备芹菜浆料，准备质量分数为0.3%、0.6%、0.9%、1.2%、1.5%的黏结剂和质量分数为2%、4%、6%、8%、10%的增塑剂，将黏结剂或增塑剂加入浆料中搅拌均匀，流延成型于300目的筛网上，并在65℃的烘干箱中恒温干燥5~6 h，干燥后用湿布浸润筛网，揭片，得到厚度约为0.174 mm的芹菜包装纸。将芹菜包装纸裁剪为20 mm×100 mm的条状，并置于温度为25℃、相对湿度为50%的恒温恒湿箱中预处理24 h，随后对芹菜包装纸的性能进行分析。

## 1.3 测试方法

### 1.3.1 断裂伸长率

断裂伸长率是指材料从产生张力到断裂时长度变化与试样原长度的比值<sup>[14]</sup>。芹菜包装纸的断裂伸长率采用抗张强度测定仪测定。断裂伸长率越高，则韧性越好。断裂伸长率 $E$ 公式为

$$E = \frac{L_1 - L_0}{L_0}$$

式中： $L_1$ 为试样断裂时的长度，mm； $L_0$ 为试样测试前的长度，mm。

### 1.3.2 抗张强度

抗张强度是指蔬菜纸单位横截面所受的抗张力，也表示抵抗外力拉伸的能力<sup>[13]</sup>，其单位是MPa。

根据GB 13022—1991《塑料薄膜拉伸性能试验方法》，采用电子拉伸试验机测定芹菜包装纸的抗张

强度。抗张强度 $T_s$ 计算公式为

$$T_s = \frac{F}{A}$$

式中： $F$ 为试样断裂时受到的最大张力，N； $A$ 为试样的面积， $m^2$ 。

## 2 实验结果与分析

### 2.1 单因素实验

#### 2.1.1 黏结剂对包装纸机械性能的影响

不同黏结剂（CMC、明胶、海藻酸钠）对芹菜包装纸机械性能的影响如图1所示。

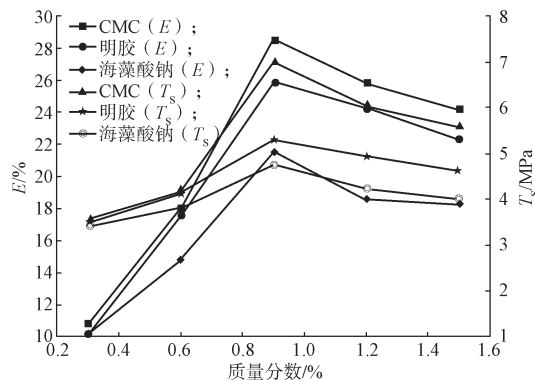


图1 黏结剂添加量对芹菜包装纸机械性能的影响

Fig. 1 Effects of the amount of binder added on mechanical strength of celery paper

由图1可知：随着黏合剂添加量的增加，断裂伸长率呈先增大后减小的趋势，这是由于黏结剂的加入提高了包装纸的强度，使断裂伸长率随之增加，但当黏结剂的添加质量分数超过0.9%时，纸浆的黏度增大，使芹菜包装纸的成型性变差、韧性减弱，断裂伸长率也随之降低<sup>[15]</sup>。抗张强度随着黏合剂的添加量也是呈先增大后减小的趋势，其原因是黏合剂使芹菜纤维间的作用力增大，提高了纤维的稳定性。不同的黏合剂和纤维之间产生氢键的能力是不同的，这导致增加的抗张强度存在差异。3种黏合剂对芹菜包装纸抗张强度的影响由大到小为CMC、明胶、海藻酸钠。

#### 2.1.2 增塑剂对包装纸机械性能的影响

不同添加量的甘油对包装纸机械性能的影响如图2所示。由图2可知，随着甘油添加量的增加，包装纸的断裂伸长率和抗拉强度均呈现先增大后减小的趋势；当甘油的添加质量分数为6%时，包装纸的抗张强度和断裂伸长率达到最大值，3.01 MPa和

15.05%，可见甘油的加入对芹菜包装纸的机械性能影响不显著，这是因为甘油主要是改善纸张的延展性和韧性；当甘油的添加质量分数大于 6% 时，甘油会在纸浆中饱和、沉淀，并在包装纸的表面形成晶体，从而降低包装纸的机械性能。

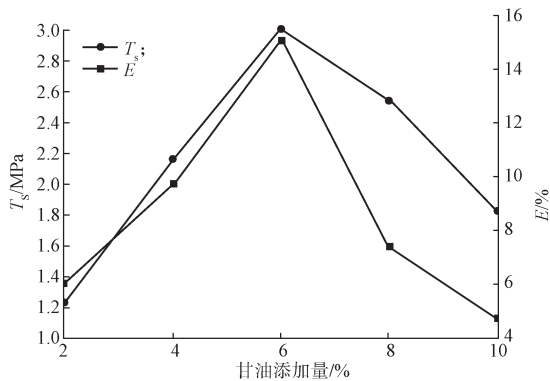


图 2 甘油添加量对包装纸机械强度的影响

Fig. 2 Effect of glycerol addition on mechanical strength of packing paper

根据上述单因素实验结果，当 CMC 的添加质量

分数为 0.9% 时，芹菜包装纸的抗张强度最大，为 7.02 MPa，断裂伸长率为 28.55%；当甘油的添加质量分数为 6% 时，包装纸的抗张强度和断裂伸长率达到最大值，为 3.01 MPa 和 15.05%。可见，仅仅加入黏合剂或增塑剂，包装纸的机械性能还存在不足，无法满足包装工业生产的要求。因此，本文考虑在芹菜包装纸中加入复合添加剂，通过黏合剂和增塑剂的相互作用，以提高纸张的机械性能。

## 2.2 复合添加剂的添加量优化

### 2.2.1 复合添加剂与包装纸抗张强度的回归方程

根据单因素实验结果，黏合剂对芹菜包装纸抗张强度的影响由大到小依次为 CMC、明胶、海藻酸钠。因此，本课题组选择 CMC 和明胶作为黏合剂、甘油作为增塑剂，以芹菜包装纸的抗张强度为目标值进行优化实验。各实验因素的质量分数设置如下：CMC 0.3%~0.9%、明胶 0.3%~0.9%、甘油 2%~6%（如表 1 所示）。

表 1 实验设计与结果

Table 1 Experimental design and results

序号	因素质量分数 /%			抗张强度 /MPa
	CMC	明胶	甘油	
1	0.6	0.6	4.0	20.93
2	0.6	0.6	4.0	21.32
3	0.6	0.6	4.0	19.84
4	0.9	0.3	6.0	17.43
5	0.6	0.6	4.0	20.17
6	0.1	0.6	4.0	10.77
7	0.3	0.3	6.0	12.09
8	0.6	0.6	7.4	12.50
9	1.1	0.6	4.0	16.93
10	0.6	0.6	0.6	28.93
11	0.6	0.6	4.0	20.82
12	0.6	0.6	4.0	20.73
13	0.3	0.9	6.0	14.36
14	0.9	0.9	6.0	18.76
15	0.3	0.3	2.0	16.29
16	0.9	0.3	2.0	21.43
17	0.3	0.9	2.0	18.27
18	0.6	0.1	4.0	11.86
19	0.6	1.1	4.0	15.31
20	0.9	0.9	2.0	27.47

根据表 1，建立添加剂与包装纸抗张强度的回归方程，即

$$Y=20.55+2.52X_1+1.28X_2-3.55X_3+0.39X_1X_2-0.57X_1X_3-0.55X_2X_3-1.87X_1^2-1.97X_2^2+0.55X_3^3,$$

式中： $Y$ 为包装纸的抗张强度； $X_1$ 为CMC的质量分数； $X_2$ 为明胶的质量分数； $X_3$ 为甘油的质量分数。

对本回归方程进行方差分析，结果如表2所示。

表2 方差分析表  
Table 2 Variance analysis

来源	平方和	自由度	均方和	F值	P值	显著性
$X_1$	86.85	1	86.85	18.54	0.001 5	显著
$X_2$	22.23	1	22.23	4.74	0.054 4	不显著
$X_3$	169.79	1	169.79	36.69	0.000 1	显著
$X_1X_2$	1.22	1	1.22	0.26	0.621 4	不显著
$X_1X_3$	2.64	1	2.64	0.56	0.469 7	不显著
$X_2X_3$	2.44	1	2.44	0.52	0.486 8	不显著
$X_1^2$	50.57	1	50.57	10.79	0.008 2	显著
$X_2^2$	55.76	1	55.76	11.90	0.006 2	显著
$X_3^2$	4.42	1	4.42	0.94	0.354 3	不显著
$Y$	395.92	9	43.99	9.39	0.000 8	显著
残差	46.85	10	4.86			
失拟项	45.40	5	9.08	31.36	0.090 0	不显著
误差	1.45	5	0.29			
总和	442.77	19				

注：总和为方程与残差之和； $P < 0.01$ 为极显著， $P > 0.05$ 为不显著。

方差分析结果表明，所建立的抗张强度回归方程为极显著 ( $P=0.0008 < 0.01$ )，因素  $X_1$ 、 $X_3$  为极显著 ( $P < 0.01$ )， $X_2$  为不显著 ( $P > 0.05$ )，相关系数  $R=0.95$ ，趋近于1，这说明本回归方程的拟合度良好，可以较好地说明复合添加剂与纸张抗张强度之间的关系。

### 2.2.2 复合添加剂的添加量与包装纸抗张强度的响应面和等高线

根据所建立的回归方程，本课题组得到不同复合添加剂对包装纸抗张强度的响应面和等高线，如图3~5所示。

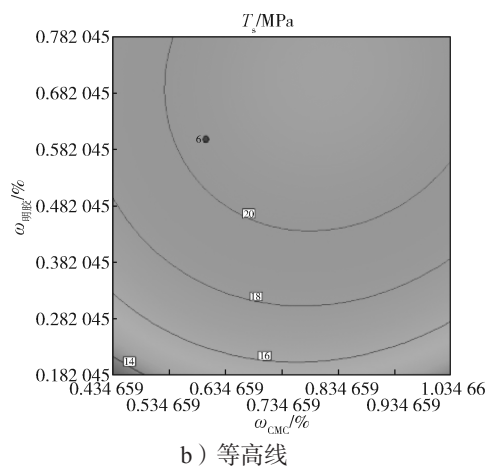
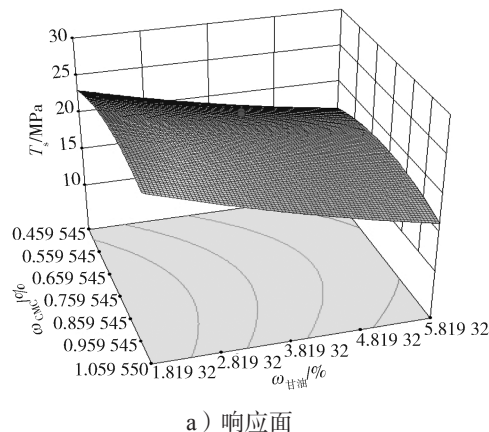
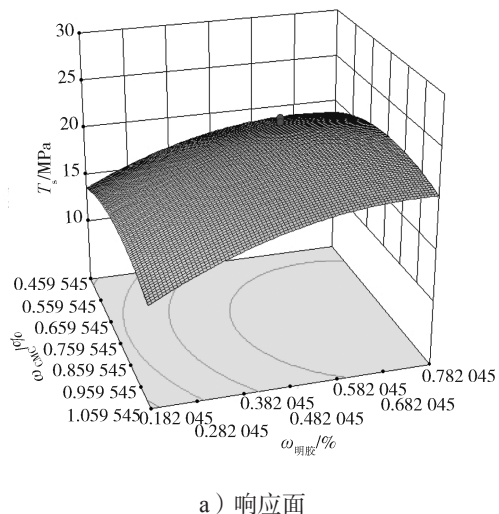


图3 CMC与明胶对抗张强度的影响

Fig. 3 The effects of CMC and gelatin on tensile strength



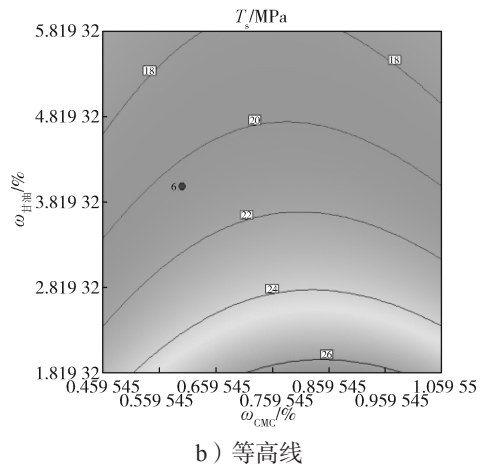


Fig. 4 CMC 与甘油对抗张强度的影响

Fig. 4 The effects of CMC and glycerol on tensile strength

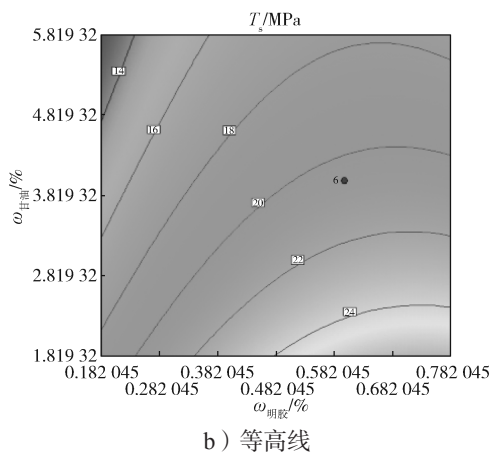
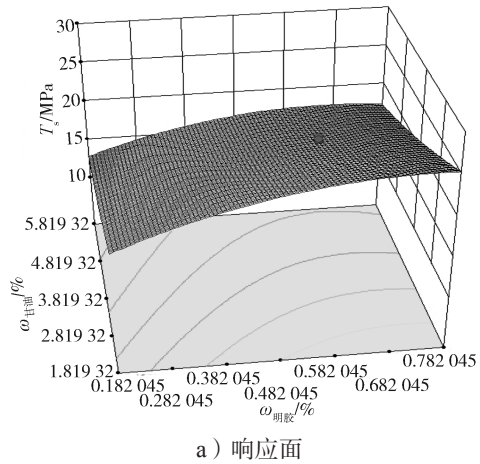


图5 明胶与甘油对抗张强度的影响

Fig. 5 The effects of gelatin and glycerol on tensile strength

由图 3~5 可知: 响应面的斜率均较大, 这表明复合添加剂对纸张的抗张强度影响显著; 等高线呈椭圆

形, 这表明两因素的交互作用比较明显。由 Design-Expert 软件得出, 当复合添加剂各组分质量分数为 CMC 0.68%、明胶 0.62%、甘油 3.3% 时, 包装纸的抗张强度达到最大, 为 26.13 MPa。与单因素实验结果相比, 复合添加剂的加入使芹菜包装纸的机械强度得到大幅提高。

### 3 结语

本课题组分析了以 CMC、明胶和海藻酸钠作为黏结剂、甘油作为增塑剂的芹菜包装纸的机械性能。实验结果表明: 当黏合剂的添加质量分数为 0.9% 时, 包装纸的抗张强度最大为 7.02 MPa, 断裂伸长率为 28.55%; 当增塑剂的添加质量分数为 6% 时, 包装纸的抗张强度和断裂伸长率达到最大值, 分别为 3.01 MPa 和 15.05%; 当 CMC、明胶和甘油的添加质量分数分别为 0.68%、0.62%、3.3% 时, 芹菜包装纸的抗张强度达到最大值, 为 26.13 MPa, 与用单一添加剂制备的纸张相比, 机械强度有显著提高。

### 参考文献:

- [1] 刘丹凤, 王松林, 王旭. 芹菜蔬菜纸的加工工艺研究[J]. 造纸化学品, 2011, 23(2): 31-34.  
LIU Danfeng, WANG Songlin, WANG Xu. Study on Processing Technique of Celery-Based Vegetable Paper[J]. Paper Chemicals, 2011, 23(2): 31-34.
- [2] YIN S W, TANG C H, CAO J S, et al. Effects of Limited Enzymatic Hydrolysis with Trypsin on the Functional Properties of Hemp (Cannabis Sativa L.) Protein Isolate[J]. Food Chemistry, 2008, 106(3): 1004-1013.
- [3] RODRÍGUEZ A, BATLLE R, NERÍN C. The Use of Natural Essential Oils as Antimicrobial Solutions in Paper Packaging: Part II[J]. Progress in Organic Coatings, 2007, 60(1): 33-38.
- [4] 刘仁庆. 关于蔬菜纸的生产与前景[J]. 天津造纸, 2010, 32(4): 47-48.  
LIU Renqing. The Production and Prospect of Vegetable Paper[J]. Tianjin Paper Making, 2010, 32(4): 47-48.
- [5] 黄紫娟, 陆宁. 蔬菜可食性包装纸加工方法的研究[J]. 农产品加工(学刊), 2009(12): 60-62, 65.  
HUANG Zijuan, LU Ning. Study on the Technology Method of Edible Wrapping Paper[J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2009(12): 60-62, 65.

- [6] 孙 婕, 尹国友, 邓聪慧, 等. 韭菜包装纸加工工艺[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(20): 49-52.  
SUN Jie, YIN Guoyou, DENG Conghui, et al. Study on Processing Technique of Leek Packaging Paper[J]. Food Research and Development, 2013, 34(20): 49-52.
- [7] 隋 明, 魏明英. 魔芋基材可食用蔬菜包装纸生产工艺的研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(8): 89-91.  
SUI Ming, WEI Mingying. Study on Manufacturing Technique of an Edible Vegetable Konjac Packaging Paper[J]. Food Research and Development, 2017, 38(8): 89-91.
- [8] MCHUGH T H, OLSEN C W, OLSON D A. New Technologies in Fruit and Vegetable Processing in Proceedings of the United States-Japan Cooperative Program in Natural Resources[J]. Food and Agricultural Panel America, 2004(3): 430-436.
- [9] PAN Z L, OLSON D A, AMARATUNGA K S P, et al. Feasibility of Using Infrared Heating for Blanching and Dehydration of Fruits and Vegetables[C]//2005 ASAE Annual Meeting. St. Joseph: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2005: 056086.
- [10] 邵 才. 芹菜基可食性包装纸性能及其食品品质评价的研究[D]. 天津: 天津商业大学, 2012.  
SHAO Cai. Edible Wrapper Based on Celery and Evaluation of Food Quality[D]. Tianjin: Tianjin University of Commerce, 2012.
- [11] 胡宇枫, 巩 雪, 刘喜纯, 等. 添加剂对可食性蔬菜纸耐折度的影响[J]. 包装工程, 2018, 39(11): 54-59.  
HU Yufeng, GONG Xue, LIU Xichun, et al. Effect of Additives on the Folding Resistance of Edible Vegetable Paper[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(11): 54-59.
- [12] 许学勤, 舒 枝, 夏文水, 等. 水芹菜叶蔬菜纸成型工艺研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(8): 308-311, 330.  
XU Xueqin, SHU Zhi, XIA Wenshui, et al. Research of the Shaping Process of Vegetable Paper Made by Cress Leaves[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(8): 308-311, 330.
- [13] 舒 枝, 许学勤, 叶宏宇. 水芹叶蔬菜纸储藏期品质变化的研究[J]. 食品工业, 2013, 34(7): 42-45.  
SHU Zhi, XU Xueqin, YE Hongyu. Research of Quality Change During Storage Period of Vegetable Paper Made by Cress Leaves[J]. The Food Industry, 2013, 34(7): 42-45.
- [14] 李佩蕊, 张美云, 常会军, 等. 可食性豆渣包装纸膜的研究[J]. 陕西科技大学学报(自然科学版), 2014, 32(4): 14-18.  
LI Peiyi, ZHANG Meiyun, CHANG Huijun, et al. Development of Edible Dietary Paper Films of Bean Dregs[J]. Journal of Shaanxi University of Science & Technology (Natural Science Edition), 2014, 32(4): 14-18.
- [15] 王新伟. 胡萝卜基可食性纸包装材料的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2007.  
WANG Xinwei. Edible Wrapper Based on Carrot[D]. Changchun: Jilin University, 2007.

(责任编辑: 邓 彬)

## Effects of Additive Amount on Mechanical Properties of Edible Celery Packaging Paper

GONG Xue, MA Xinyu, DU Caixia, TENG Fei, LIU Tiezheng, WANG Feng

(College of Light Industry, Harbin University of Commerce, Harbin 150028, China)

**Abstract:** In order to study the effects of additives on the mechanical properties of edible vegetable paper, celery packaging paper was prepared by pulping, papermaking and drying with celery as substrate, CMC, gelatin and sodium alginate as binder and glycerol as plasticizer. According to the results of single factor experiment, the multi-factor experimental analysis was carried out, and regression equation was established to analyze the influence of different composite additives on tensile strength, and the best mixing ratio of additives was obtained. The experimental results showed that when the addition of CMC was 0.68%, the addition of gelatin was 0.62%, and the addition of glycerol was 3.3%, the optimal tensile strength was 26.13 MPa. Compared with the results of single factor experiment, the mechanical properties of the paper were improved effectively by adding composite additives.

**Keywords:** celery packaging paper; plasticizer; binder; tensile strength