

文章编号:2095-7386(2023)05-0019-07

DOI:10.3969/j.issn.2095-7386.2023.05.003

响应面法优化胡萝卜缨蔬菜包装纸工艺

张乐乐^{1,2},王奕文²,汪菲菲²,楚艳艳²,武银银²,刘生杰^{1,2}

(1. 阜阳师范大学 生物与食品工程学院, 阜阳 236037;

2. 阜阳师范大学 信息工程学院, 阜阳 236041)

摘要:以胡萝卜缨为主要原料,制备蔬菜包装纸。通过单因素试验和响应面试验研究黄原胶、羧甲基纤维素钠、明胶和大豆改性磷脂的添加量对胡萝卜缨蔬菜包装纸感官评价的影响,确定蔬菜包装纸制备的最佳工艺。实验结果表明:黄原胶添加量为 0.49%、羧甲基纤维素钠添加量为 0.31%、明胶添加量为 0.21%、大豆改性磷脂添加量为 0.42% 时,胡萝卜缨蔬菜包装纸色泽均匀、翠绿有光泽、表面平整、易揭。本研究为新型胡萝卜缨蔬菜包装纸的制备提供了理论依据。

关键词:胡萝卜缨;蔬菜包装纸;响应面法

中图分类号:TS 206.4

文献标识码:A

Optimization of carrot tassel vegetable paper process by response surface methodology

ZHANG Lele^{1,2}, WANG Yiwen², WANG Feifei², CHU Yanyan², WU Yinyin², LIU Shengjie^{1,2}

(1. School of Biology and Food Engineering, Fuyang Normal University, Fuyang 236037, China;

2. School of information engineering, Fuyang Normal University, Fuyang 236041, China)

Abstract: The composite vegetable paper was made by using carrot tassel as the raw material. The single factor experiment and response surface optimization experiment were carried out, to analyze the influence of different composite additives of Xanthan gum, sodium carboxymethylcellulose (CMC-Na), gelatin and modified soybean phospholipid as adhesives. Results showed that the optimal formulation was that xanthan gum was 0.49%, CMC-Na was 0.31%, the addition of gelatin was 0.21%, and modified soybean phospholipid was 0.42%. Under these conditions, the carrot tassel vegetable paper was green, surface smooth, easy to expose. This study provides a theoretical basis for the preparation of a new type of vegetable paper.

Key words: carrot tassel; vegetable paper; response surface method

1 引言

聚乙烯及其共聚物基材料是最常见的包装材

料,已经在食品工业中使用了 50 多年。这些塑料制品的材料不仅安全、耐用、价格低廉,同时使用过程灵活多变,例如食品包装、建筑材料和各类商品均广

收稿日期:2023-09-07.

作者简介:张乐乐(1987-),女,讲师,博士,E-mail:342829042@qq.com.

通信作者:刘生杰(1971-),男,教授,博士,E-mail:451017666@qq.com.

基金项目:安徽省高校科研重点项目(编号:2023AH052852);安徽省高校优秀青年人才支持计划一般项目(编号:gxyq2022190);阜阳师范大学信息工程学院青年人才重点项目(编号:2021XGRCXM004);阜阳地方农产品食品工艺开发科研创新团队(编号:FX2020KCT02).

泛使用塑料材质。然而,塑料制品大多由石油合成而来,不能立即被生物降解,对环境造成严重威胁,已经成为全球环境问题。全球每天消费产生的垃圾大约 350 wT,预计到 2025 年,将达到 600 wT^[1]。同时食品包装材料中的化学物质向食品中迁移问题已经成为消费者关注的热点^[2]。

生物基材料和生物可降解材料能够完全分解成天然物质,借助细菌和真菌分解,又为环境提供营养物质,可以很好地解决以上问题。胡萝卜缨因有特殊香气,很少使用农药,是食品加工的优质资源。胡萝卜缨营养价值极高,含有丰富的必需氨基酸、膳食纤维、维生素等营养成分^[3]。而大量的胡萝卜缨常作为废弃物被丢弃,或是作为牛羊的饲草^[4]或是制作家常菜^[5]。因此,加大对胡萝卜缨的开发利用,提高其附加产值具有重要意义。

以胡萝卜缨为基料,利用其叶绿素充当油墨,制成天然无毒、可食用、可降解的包装材料,从而避免传统食品包装中添加的油墨、抗氧化剂、抗稳定剂迁移至直接接触的食品中的安全问题,也解决了环境的“白色污染”压力,为低碳环保的蔬菜包装纸型的食品包装材料的开发提供一定的依据。

2 材料与方法

2.1 实验材料

新鲜胡萝卜缨,产自安徽省阜阳市颍泉区宁老庄镇兴隆村;黄原胶、羧甲基纤维素钠、明胶、大豆改性磷脂均为食品级,购买于浙江一诺生物科技有限公司。

2.2 仪器设备

涂层测厚仪(型号:CT-100,衢州艾普计量仪器有限公司);数显恒温水浴锅(型号:HH-4,荣华仪器有限公司);破壁机(型号:Y1,九阳股份有限公司);紫外可见分光光度计(型号:UV1950,北京普析通用仪器有限公司);超速冷冻离心机(型号:3-18KS,德国西格玛公司);电子天平(型号:JA2003,上海横平科学仪器有限公司)。智能型分光测色仪(型号:YS3060,三恩时科技有限公司)。

2.3 实验方法

2.3.1 工艺流程

胡萝卜缨→清洗、切分→烫漂→冷却→加水打浆→离心→调配(恒温水浴 60 ℃,搅拌均匀)→涂布→烘干→揭纸→成品→性能测试。

2.3.2 工艺要点

(1)原料挑选:选择色泽翠绿新鲜的胡萝卜缨,

去除枯黄部分。

(2)清洗、切分:清水洗去泥土,切分成 1~2 cm 的长条。

(3)烫漂、冷却:长条沸水烫漂 5 min,取出过冷水冲洗。

(4)打浆:置于破壁机中,加适量水打至匀浆状。

(5)离心:取出匀浆,6 000 r/min,离心 10 min,去除多余水分。

(6)调配:称取适量配方,用水完全溶解,加入胡萝卜缨匀浆中,搅拌均匀。

(7)涂布:模具上涂少量食用油,用刮刀将混合物涂布成约 1~2 mm 厚的纸状。

(8)烘干:放入烘箱中 60 ℃干燥 40 min。

(9)揭纸:成型后,蔬菜包装纸揭下,裁剪成各种尺寸,制成胡萝卜缨包装纸。

2.3.3 单因素实验

基础配方:黄原胶的添加量为 0.5%,羧甲基纤维素钠添加量为 0.3%,明胶的添加量为 0.3%,大豆改性磷脂添加量为 0.5%。在基础配方上进行优化,以其中黄原胶添加量分别为 0.2%、0.3%、0.4%、0.5%、0.6%,羧甲基纤维素钠的添加量分别是 0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%,明胶添加量分别为 0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%,大豆改性磷脂 0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%,对胡萝卜缨蔬菜包装纸进行感官评价。

2.3.4 响应面实验设计

依据单因素实验,选取黄原胶、羧甲基纤维素、明胶、大豆改性磷脂,进行 4 因素 3 水平响应面优化实验,见表 1。

表 1 响应面实验因素水平表

Table1 The factors and levels of response surface experiment

因素 添加量/%	水平		
	-1	0	1
黄原胶	0.4	0.5	0.6
羧甲基纤维素钠	0.2	0.3	0.4
明胶	0.1	0.2	0.3
大豆改性磷脂	0.3	0.4	0.5

2.4 性能测试

2.4.1 感官评价

由 10 位感官评价员,从颜色、易揭性、脆性和形状等 4 个方面对胡萝卜缨蔬菜包装纸进行感官评定,以确定各黏结剂含量对包装纸的影响。感官评价标准参照^[6]略作修改,见表 2。

表 2 胡萝卜缨蔬菜包装纸感官评分

Table 2 Standards of grading on sense

指标	标准	评分/分
颜色 (满分 20 分)	呈翠绿色,色泽分布均匀	16~20
	呈翠绿偏黄色,色泽分布较均匀	10~15
	呈黄褐色,色泽分布不均	0~9
易揭性 (满分 20 分)	易揭,无残留	16~20
	较易揭,有少量残留	10~15
	难揭,无法揭下	0~9
脆性 (满分 30 分)	可折叠,不碎	24~30
	不可折叠,可弯曲,较不易碎	18~23
	不可弯曲,易碎	0~17
形状 (满分 30 分)	表面光滑不起卷	24~30
	表面平整起卷	18~23
	表面不平整	0~17

2.4.2 胡萝卜缨蔬菜包装纸厚度的测定

在待测蔬菜包装纸上,随机取五个点,用涂层测厚仪测其厚度。

2.4.3 胡萝卜缨蔬菜包装纸色泽的测定

色差空间用 L^* 、 a^* 、 b^* 表示。 L^* 从 0~100 表示明度系数, L^* 数值越大表示亮度越高; a^* 表示从绿色到红色,+表示红色,-表示绿色; b^* 表示从蓝色到黄色,+表示黄色,-表示蓝色^[7]。

2.4.4 胡萝卜缨蔬菜包装纸含水率的测定(WC)

参照 GB/T5009.3-2016^[8],采用直接干燥法。在 105℃ 下烘干至恒重,样品重量 G_1 ,恒重的质量为 G_2 ,按公式(1)计算。

$$R = \frac{(G_1 - G_2)}{G_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中: R ——胡萝卜缨蔬菜包装纸含水率,%;
 G_1 ——干燥前重量,g; G_2 ——干燥后的质量,g。

2.4.5 胡萝卜缨蔬菜包装纸透油系数的测定

参照文献^[9],将 5 mL 的色拉油放入试管中,以待测胡萝卜蔬菜包装纸封口,倒置于滤纸上,室温环境,湿度 50%,静置 1 d,称量滤纸质量变化,按公式(2)计算:

$$Poil = \frac{\Delta m \cdot FT}{A \cdot T} \quad (2)$$

式中: $Poil$ ——透油系数, $g \cdot mm/m^2 \cdot d$;
 Δm ——滤纸质量的变化,g; FT ——膜厚度,mm;
 A ——膜面积, m^2 ; T ——放置时间,d。

2.4.6 胡萝卜缨蔬菜包装纸透光率的测定

将制备蔬菜包装纸裁剪成 5 cm×1 cm 的大小,紧贴于 1 cm 比色皿一侧,置于紫外可见分光光度计中,以空皿为对照,以透光率为纵坐标,波长为横坐标,在 460 nm 波长处,检测胡萝卜蔬菜包装纸的百

分透光率^[10]。

2.4.7 萝卜缨不溶性膳食纤维含量的测定

参考文献^[11]稍作修改,将胡萝卜缨匀浆,离心取渣,烘干后粉碎,过 80 目筛,备用。按照 1:20 (m:v)料液比,添加 0.7% 的 α -淀粉酶,55℃ 酶解 1.5 h,80℃ 灭酶 10 min,经反复洗涤、过滤、取滤渣、干燥至恒重。按照公式(3)计算胡萝卜缨不溶性膳食纤维含量。

$$R = \frac{m_2}{m_1} \times 100\% \quad (3)$$

式中: R ——胡萝卜缨不溶性膳食纤维含量,%; m_1 ——称取的胡萝卜缨原始样品质量,g;
 m_2 ——干燥至恒重胡萝卜缨粉末的质量,g。

3 结果与分析

3.1 单因素实验结果

黄原胶添加量对胡萝卜缨蔬菜包装纸的影响结果见图 1。黄原胶是一种阴离子多糖,含有大量的羧基(COO^-)等亲水基团,可以和胡萝卜缨中的氨基酸通过静电相互作用力,提高凝胶结构的稳定性^[12],但黄原胶侧链结构导致其聚集态结构复杂,在水溶液中分散困难,易成团,溶解性较差^[13]。所以当黄原胶添加量逐渐增加时,胡萝卜缨蔬菜包装纸的感官评价分数下降。由图 1 可知,黄原胶添加量在 0.5% 时,感官评价分数最高为 83.56 ± 1.11 。

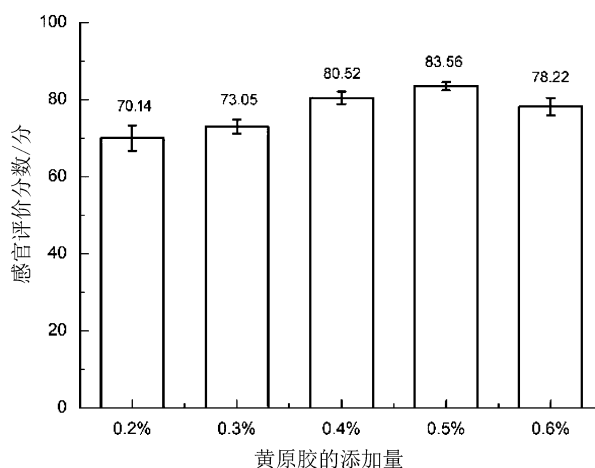


图 1 黄原胶添加量对蔬菜包装纸的影响

Fig. 1 Influence of xanthan gum dosage on sense of vegetable paper

羧甲基纤维素钠添加量对胡萝卜缨蔬菜包装纸的影响结果见图 2。羧甲基纤维素钠结构中含有大量的亲水基团,持水性和分散性强,是薄膜的成膜材料。羧甲基纤维素可以提高纸张的力学性能,改善纸张涂料的流变性和稳定性^[14]。袁明昆等^[15]研究

发现羧甲基纤维素可以增强纸张的强度。由图 2 可知,当羧甲基纤维素钠添加量达到 0.3% 时,感官评分达到 83.56 ± 1.11 。

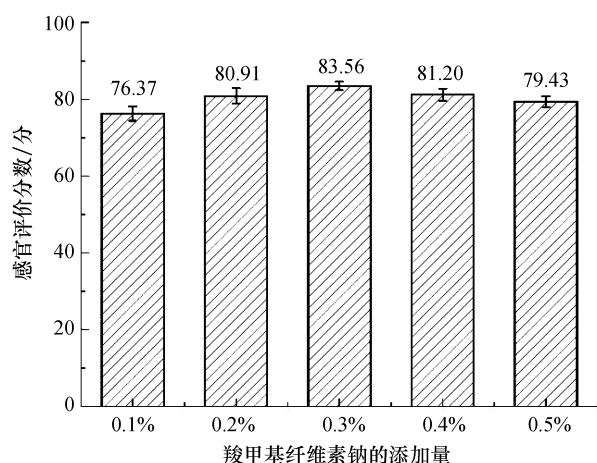


图2 羧甲基纤维素钠添加量对蔬菜包装纸的影响

Fig. 2 Influence of CMC-Na dosage on sense of vegetable paper

明胶添加量对蔬菜包装纸的影响结果见图 3。明胶是胶原水解后产生的蛋白质分子,虽然其成膜后不具有较强的热稳定性和机械强度,但是和羧甲基纤维素复合可以提高膜的其他性能^[16]。Mahdiyari 等^[17]研究发现,明胶和羧甲基纤维素复合可以提升复合膜的柔软度,提高复合膜的断裂伸长率^[18]。由图 3 可知,添加量为 0.2% 时,感官评价分数最高为 85.32 ± 1.64 。

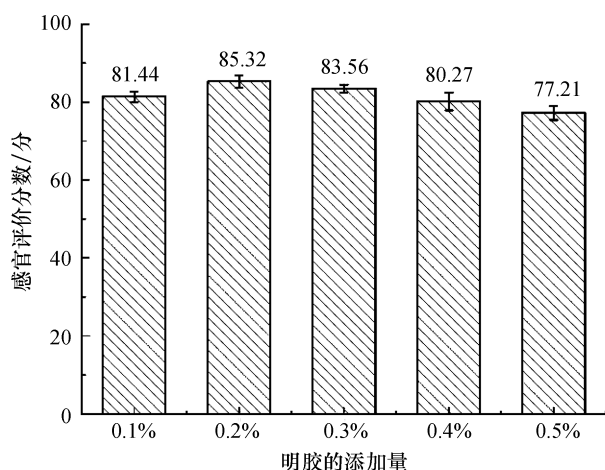


图3 明胶添加量对蔬菜包装纸的影响

Fig. 3 Influence of gelatin dosage on sense of vegetable paper

大豆改性磷脂对蔬菜包装纸的影响见图 4。大豆改性磷脂作为天然的表面活性剂,具有降低水分,降低黏度的作用,同时具有良好的润滑效果及保水性。由图 4 可知,大豆改性磷脂添加量为 0.4% 时

感官评价最高为 87.75 ± 1.43 。在实验中,黄原胶、羧甲基纤维素钠、明胶和大豆改性磷脂共同作用,克服了其机械强度低的缺陷。

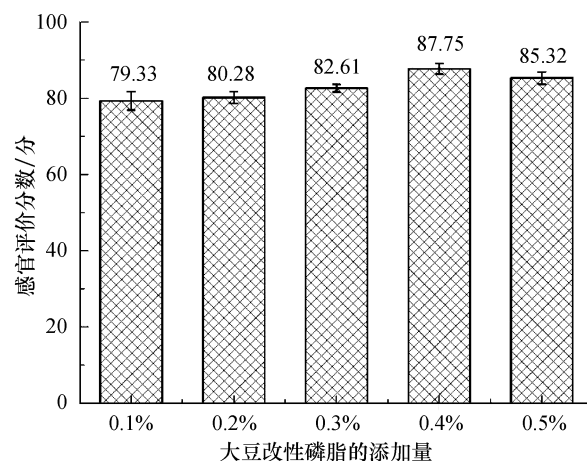


图4 大豆改性磷脂对蔬菜包装纸的影响

Fig. 4 Influence of modified soybean phospholipid dosage on sense of vegetable paper

3.2 响应面实验结果

响应面试验设计及结果见表 3,利用 Design expert 8.0.6 软件进行二次线性回归拟合,得到二次多项回归模型方程,见公式(4): $Y = 87.75 - 0.79 \times A + 0.22 \times B + 0.94 \times C + 0.96 \times D + 0.37 \times AB - 0.76 \times AC - 0.51 \times AD + 0.13 \times BC + 0.18 \times BD - 0.028 \times CD - 6.04 \times A^2 - 1.80 \times B^2 - 3.61 \times C^2 - 2.13 \times D^2$ 。

(4)

表3 响应面试验设计及结果

Table 3 Response surface test design and results

试验号	黄原胶 /%	羧甲基纤 维素/%	明胶 /%	大豆改性 磷脂/%	感官 评分/分
1	0.4	0.2	0.2	0.4	81.34
2	0.6	0.2	0.2	0.4	78.39
3	0.4	0.4	0.2	0.4	81.15
4	0.6	0.4	0.2	0.4	79.67
5	0.5	0.3	0.1	0.3	80.86
6	0.5	0.3	0.3	0.3	82.09
7	0.5	0.3	0.1	0.5	82.44
8	0.5	0.3	0.3	0.5	83.56
9	0.4	0.3	0.2	0.3	78.61
10	0.6	0.3	0.2	0.3	77.43
11	0.4	0.3	0.2	0.5	81.88
12	0.6	0.3	0.2	0.5	78.67
13	0.5	0.2	0.1	0.4	80.92
14	0.5	0.4	0.1	0.4	81.25
15	0.5	0.2	0.3	0.4	82.34
16	0.5	0.4	0.3	0.4	83.17
17	0.4	0.3	0.1	0.4	76.33

续表					
试验号	黄原胶 /%	羧甲基纤 维素/%	明胶 /%	大豆改性 磷脂/%	感官 评分/分
18	0.6	0.3	0.1	0.4	77.49
19	0.4	0.3	0.3	0.4	80.62
20	0.6	0.3	0.3	0.4	78.75
21	0.5	0.2	0.2	0.3	83.11
22	0.5	0.4	0.2	0.3	82.95
23	0.5	0.2	0.2	0.5	84.71
24	0.5	0.4	0.2	0.5	85.28
25	0.5	0.3	0.2	0.4	88.34
26	0.5	0.3	0.2	0.4	87.03
27	0.5	0.3	0.2	0.4	85.58
28	0.5	0.3	0.2	0.4	89.13
29	0.5	0.3	0.2	0.4	88.67

表 4 响应面实验方差分析

Table 4 Variance analysis of response surface test

来源	离差平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	314.11	14	22.44	21.70	<0.0001	* *
A	7.57	1	7.57	7.32	0.0171	*
B	0.59	1	0.59	0.57	0.4627	
C	10.53	1	10.53	10.18	0.0065	* *
D	11.00	1	11.00	10.64	0.0057	* *
AB	0.54	1	0.54	0.52	0.4817	
AC	2.30	1	2.30	2.22	0.1585	
AD	1.03	1	1.03	1.00	0.3352	
BC	0.062	1	0.062	0.060	0.8094	
BD	0.13	1	0.13	0.13	0.7250	
CD	0.0030	1	0.0030	0.0029	0.9576	
A ²	236.83	1	236.83	229.02	<0.0001	* *
B ²	20.99	1	20.99	20.29	0.0005	* *
C ²	84.36	1	84.36	81.57	<0.0001	* *
D ²	29.57	1	29.57	28.59	0.0001	* *
残差	14.48	14	1.03			
失拟项	6.15	10	0.62	0.30	0.9463	
纯误差	8.33	4	2.08			
总和	328.59	28				

$R^2=0.9559$

$Adj R^2=0.9119$

注: $P<0.01$ 为极显著,用 * * 表示, $P<0.05$ 为显著,用 * 表示

3.2.2 各因素的交互作用

图 5 为响应面分析拟合的二次多元回归方程的曲面图,响应面曲面越陡峭,表明拟合的因素对响应值越显著^[19]。由图 5 可知,羧甲基纤维素钠添加量与明胶添加量、羧甲基纤维素钠添加量与大豆改性磷脂添加量、明胶添加量与大豆改性磷脂添加量的响应面拟合模型较为平缓,而黄原胶添加量与羧甲基纤维素钠添加量、黄原胶添加量与明胶添加量、黄

3.2.1 蔬菜包装纸感官评分模型建立与分析

从表 4 方差分析结果可知:回归模型 $P<0.0001$,说明模型极显著;其失拟项 $P=0.9463>0.05$,不显著;相关系数 $R^2=0.9559$ (大于 0.8000),校正系数 $R^2=0.9119$,说明方程可靠性较高,可以利用该模型分析预测胡萝卜缨蔬菜包装纸的感官评价。根据 P 值,其中一次项 C、D,二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 、 D^2 ,对结果影响极显著($P<0.01$);一次项 A 对结果影响显著($P<0.05$),交互项 AB、AC、AD、BC、BD、CD 对结果影响不显著($P>0.05$),说明胡萝卜缨蔬菜包装纸感官评价与各因素之间不是简单的线性关系。

原胶添加量与大豆改性磷脂添加量的响应面拟合模型较为陡峭,表明其对感官评价的影响显著性关系越强。表现为 $AC>AD>AB>BD>BC>CD$ 。

图 6 是响应面拟合的等高线图。响应面坡度较陡峭,等高线较为密集,表明两因素的交互作用对于响应值有较大影响,反之,等高线越稀疏,表明两因素的交互作用对于响应值影响较小^[20]。由图 6 可知,明胶添加量与大豆改性磷脂添加量交互作用不显著。

3.2.3 验证实验结果

根据回归方程模型,得到预测的最优条件为:黄原胶添加量为 0.49%、羧甲基纤维素钠添加量为 0.31%、明胶添加量为 0.21%、大豆改性磷脂添加

量为 0.42%,预测的感官评分数为 87.97 分。为验证模型的准确性,选择最优条件,重复 3 次得到蔬菜包装纸感官评分为 87.15 ± 1.26 ,与预测值接近,证实了模型的可行性。

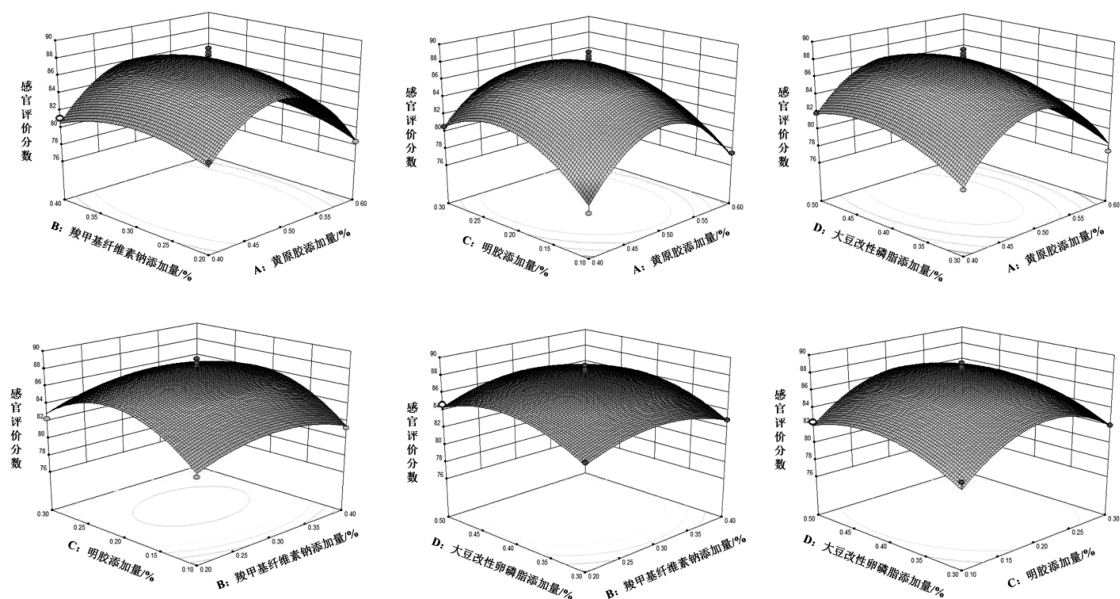


图5 胡萝卜蔬菜包装纸感官评分的响应曲面图

Fig. 5 Response surface of the effect of xanthan gum dosage,CMC-Na dosage,gelatin dosage and modified soybean phospholipid dosage on sense of vegetable paper

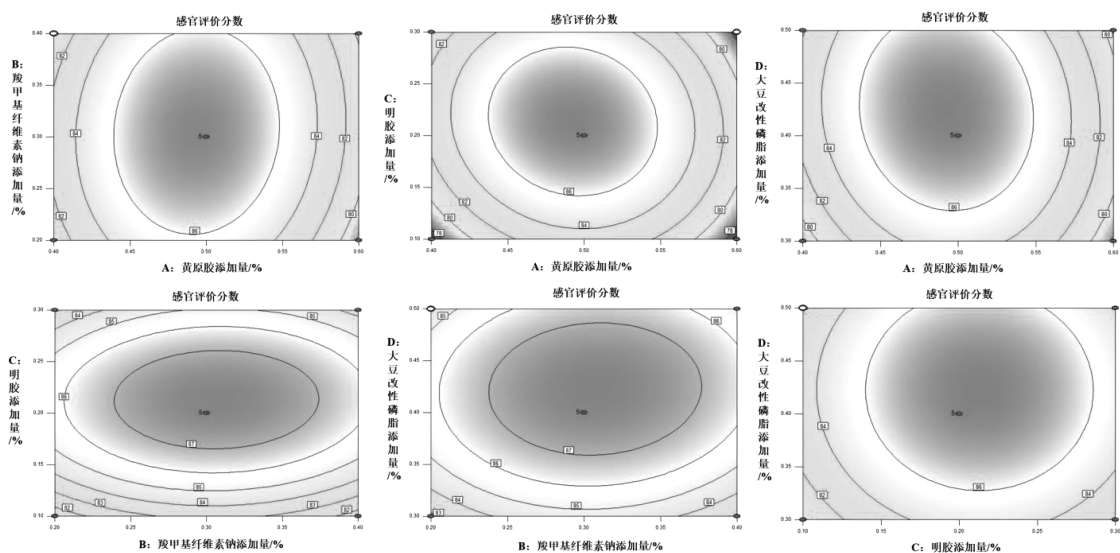


图6 胡萝卜蔬菜包装纸感官评分的等高线图

Fig. 6 Contour diagram of the effect of xanthan gum dosage,CMC-Na dosage,gelatin dosage and modified soybean phospholipid dosage on sense of vegetable paper

3.3 蔬菜包装纸的质量评价

经实验测定胡萝卜缨中不溶性膳食纤维提取率为 $75.75\% \pm 1.91\%$,含水量为 $6.53\% \pm 0.92\%$,低于普通食品纸水分含量 9% ^[21],透油系数为 $0.88 \pm 0.12 \text{ g} \cdot \text{mm}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$,相比于王晓璇^[22]南瓜纸透油系

数 $3.23 \pm 0.52 \text{ g} \cdot \text{mm}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$,具有较好的透油性,包装纸透光率为 $35.50\% \pm 3.0\%$,色度 $L^* : 44.80 \pm 0.07, a^* : -7.00 \pm 0.11, b^* : 20.78 \pm 0.40$,颜色翠绿均匀,纸厚度为 $145.88 \pm 13.64 \mu\text{m}$,大于 0.1 mm ,表明胡萝卜缨蔬菜包装纸还有待于进一步改进。

4 结论

通过单因素实验和响应面实验分析胡萝卜缨蔬菜包装纸最佳工艺为:黄原胶添加量为 0.49%、羧甲基纤维素钠添加量为 0.31%、明胶添加量为 0.21%、大豆改性磷脂添加量为 0.42%,此条件下制备的蔬菜包装纸颜色均匀,表面平整,较柔软可折性更强。以胡萝卜缨为原材料,促进胡萝卜缨进一步的开发与利用,提高了胡萝卜缨的附加产值,为蔬菜基包装纸的研究提供一定的依据。

参考文献:

- [1] Shubham C, Dharmender K. Edible coating and edible film as food packaging material: A Review[J]. *Journal of Packaging Technology and Research*, 2022, 6 (1): 1-10.
- [2] 侯晓阳. 新型食品包装材料的发展概况及趋势[J]. *食品安全质量检测学报*, 2018, 9 (24): 6400-6405.
- [3] 张晓宇, 李建新, 杨联芝等. 胡萝卜缨的营养保健功能综合利用研究现状及前景展望[J]. *农产品加工*, 2015(15): 64-65, 69.
- [4] 刘金平, 张德生. 胡萝卜缨在畜禽养殖业中的应用[J]. *当代畜牧*, 2013, (8): 62.
- [5] 陆海燕, 李久进, 薛小勤, 等. 胡萝卜缨周年生产及加工技术[J]. *上海农业科技*, 2006(2): 61, 34.
- [6] 田晶. 胡萝卜卷心菜复合蔬菜纸生产工艺研究[J]. *吕梁学院学报*, 2021, 11(2): 32-35.
- [7] 张乐乐, 崔婧, 黄林玉, 等. 模糊数学法在糖醋排骨感官评价中的应用[J]. *阜阳师范大学学报(自然科学版)*, 2021, 38(2): 51-56.
- [8] 食品安全国家标准委员会. GB/T5009.3—2016, 食品中水分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [9] 张乐乐, 茆成娟, 楚艳艳, 等. 响应面法优化竹笋蔬菜纸的加工工艺[J]. *信阳农林学院学报*, 2023, 33(1): 107-113.
- [10] Jiang S J, Zhang T, Song Y, et al. Mechanical properties of whey protein concentrate based film improved by the coexistence of nanocrystalline cellulose and transglutaminase[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2019, 126: 1266-1272.
- [11] 沈小芬, 张乐乐, 王彩虹, 等. 晚秋黄梨水不溶性膳食纤维的提取工艺优化[J]. *阜阳师范学院学报(自然科学版)*, 2020, 37(3): 36-40.
- [12] 徐丽敏, 陈季旺, 崔璐璐, 等. 亲水胶体对油炸外裹糊鱼块品质的影响[J]. *武汉轻工大学学报*, 2022, 41(4): 1-7, 15.
- [13] 苏璐, 张江辉, 董明, 等. 黄原胶及其改性产物的应用研究进展[J]. *山东化工*, 2020, 49 (24): 76-79.
- [14] 陈子健, 唐艳军, 朱鹏, 等. 羧甲基纤维素的制备及其应用进展[J]. *中国造纸学报*, 2022, 37 (3): 144-154.
- [15] 袁明昆, 丁子栋, 周景辉. CMC-SCPI 二元增强体系在废纸造纸中的应用研究[J]. *中国造纸*, 2015, 34(9): 11-16.
- [16] 姚曜, 孙振炳, 李晓宝, 等. 羧甲基纤维素复合膜的研究现状[J]. *包装工程*, 2022, 43(1): 10-16.
- [17] Mahdiyar S, Seysd J A, Amirhossein S, et al. Carboxymethylcellulose film modification through surface photo-crosslinking and chemical crosslinking for food packaging applications [J]. *Food Hydrocolloids*, 2016 (61): 378-389.
- [18] Tabari M. Investigation of carboxymethyl cellulose (CMC) on mechanical properties of cold water fish gelatin biodegradable edible films. [J]. *Foods*, 2017, 6(6): 41-50.
- [19] 赵海兵, 张剑, 郝逸林, 等. 响应面优化微波辅助碱法提取黑木耳粗多糖工艺[J]. *武汉轻工大学学报*, 2022, 41(5): 26-33.
- [20] 徐素吟, 龙鹏程, 王丽玲, 等. 响应面法优化薄膜-超声法制备红曲色素脂质体[J]. *武汉轻工大学学报*, 2022, 41(3): 8-14, 38.
- [21] 中华人民共和国工业和信息化部. QB/T 1014—2010, 食品包装纸[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [22] 王晓璇. 可食性南瓜纸的研制[D]. 长春: 吉林大学, 2014.