橘红果脯的研制工艺

刘影

（茂名职业技术学院化学工程系，广东茂名 525000）

摘要：本研究采用响应面法优化了橘红果脯加工工艺。以感官评分、总糖含量为响应值，研究了柠檬酸、氯化钙、糖液质量分数等因素对果脯工艺的影响，并用 Box-Behnken 响应面法对影响因素进行了优化，采用四因素三水平的响应面分析方法，建立二次多项式回归方程的预测模型，研究各变量交互作用对橘红果脯研制工艺的影响,确定橘红果脯的最佳研制工艺。经响应面法优化橘红果脯的最佳工艺条件为：柠檬酸质量分数 0.30%、氯化钙含量 0.50%、微波功率 210 W、糖液质量分数 50%，在此条件下，橘红果脯感官评分为 96.85 分，总糖含量为 46.13%，接近理论值，说明采用响应面法优化所得到的橘红果脯研制工艺参数准确可靠，具有一定的实用价值。

关键词：响应面法；橘红果脯；柠檬酸质量分数；微波功率

文章篇号：1673-9078(2020)06-256-263 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.6.0148

Optimization of the Processing Technology of Orange Preserved Fruit

Liu Ying

(Department of Chemical Engineering Maoming Polytechnic, Maoming 525000, China)

Abstract: Response surface method was used to optimize the processing technology of preserved orange fruit in this work. The sensory score and total sugar content were used as response values, and the effects of citric acid, calcium chloride and sugar concentration on preserved fruit technology were investigated. The box Behnken was used to optimize the influencing factors. The response surface analysis method of four factors and three levels were used, and the prediction model of quadratic polynomial regression equation was established. The influence of each variable interaction on the development process of tangerine preserves was studied to optimize the best development process of tangerine preserves. The optimum processing conditions of orange red preserved fruit were as follows: citric acid concentration of 0.30%, calcium chloride of 0.50%, microwave power of 210 W and sugar solution concentration of 50%. Under this condition, the sensory score and the total sugar content were 96.85, 46.13%, respectively, which were close to the theoretical value. It was proved that the parameters of the technology were accurate and reliable, which had a certain practical value.

Key words: response surface methodology; candied orange; citric acid concentration; microwave power

引文格式：

刘影.橘红果脯的研制工艺[J].现代食品科技,2020,36(6):256-263

Liu Ying. Optimization of the processing technology of orange preserved fruit [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(6): 256-263

橘红果属于橘科植物中的一种，典籍记载中橘红、橘皮均来源于芸香科植物橘的子实，因两者加工方式不同分为橘红、橘皮，当橘成熟采摘后将果皮剥取后做阴干处理被称为橘皮，对橘进一步加工将橘皮内白色部分去除后做晒干处理被称为橘红[1-3]。橘红的药用部位为其成熟干燥的果皮和未成熟的果实，内层被称为橘白、外层被称为橘红[4,5]。《本草纲目》中记载：“橘红温燥之性胜于橘皮，并兼发表散寒，外感风寒咳嗽痰多者用之为宜”。现代药理研究已经证实，橘红中含有肌醇、黄酮甙、挥发油、维生素 B1 等，具有促进消化、利于排痰、降胆固醇、预防微血管出血等药理作用[6,7]。

果脯属于一种我国特有的传统食品，拥有悠久的历史，外观光亮透明，味道较佳，目前随着人们生活水平和生活习惯的不断改变,基于营养和健康的原则，人们对于含糖量较高的食物逐渐失去兴趣，对果脯的品质也有了更高的要求[8,9]。因此在现有工艺的基础上进行优化对果脯品质具有重要的作用。目前国内外均广泛关注于低糖果脯的加工工艺，响应面分析法将统计方法与数学方法相结合，是利用合理的试验设计，采用多元二次回归方程的分析来寻求最优工艺参数，

收稿日期：2020-02-20

基金项目：茂名市科技计划项目（茂科字[2019]47 号）

作者简介：刘影（1980-），女，讲师，研究方向：食品加工和功效研究

解决多变量问题的一种统计分析方法[10]。目前响应面法已经广泛应用于化学工业、工程学、生物学、食品行业等方面，且应用响应面法优化各种工艺已经有了较为成熟的实验基础[11,12]。在本文试验中使用橘红果为原料，采用单因素法评价影响橘红果脯品质的参数，采用响应面法优化橘红果脯加工工艺参数，以对橘红果脯最佳工艺进行明确，提高橘红果脯品质，使其符合人们的要求。

1 材料与方法

1.1 材料

原辅料：橘红果（市售、色泽饱满、无腐烂）、柠檬酸、氯化钙、葡萄糖、食盐、白砂糖等均为食品级。

主要仪器：XPR2 型电子天平，上海臣莲生物科技发展有限公司；YHG 型恒温干燥箱，上海跃进医疗器械厂；G80F23YCN3L-C3(RO)型微波炉，广东格兰仕。

1.2 方法

1.2.1 工艺流程

原料→清洗→去皮→护色→硬化→漂洗→烫漂→微波多次渗糖→沥干→烘干→冷却→包装。

操作要点：原料：选取成熟度 80%左右、无损伤、无腐烂、中等大小橘红果实；清洗：使用自来水将橘红果表面的污物、泥沙冲洗干净；去皮：用刀划开橘红果表皮，剥去橘红果皮；护色、硬化：将去皮后的橘红果浸入柠檬酸中进行护色处理 2 h，之后在氯化钙溶液中浸泡 6 h；漂洗、烫漂：将护色、硬化后的橘红果使用蒸馏水将残留的化合物洗净、脱去，在沸水（95 ℃）中热烫 3~5 min 后，立即放入水中恢复至常温，避免热烫过度；微波多次渗糖：按照葡萄糖:蔗糖=7:3 的比例加 0.3%明胶、水配置为糖液，进行微波多次渗糖处理；沥干、烘干、冷却：在橘红果微波多次渗糖后沥干，将沥干后的橘红果放置于干燥盘中在干燥箱中进行干燥处理，干燥箱温度为 68 ℃，干燥处理 16 h；包装：选用常规密封袋，保证封口严密，不透气。

1.2.2 感官评分

请 15 名经过培训的鉴评员对橘红果果脯样本进行感官评价，参照下列评分标准进行感官评分评价，采取百分制，取 15 名鉴评员评分的均值。

表 1 感官评分表

Table 1 Sensory score

感官评分项目	评分标准
色泽（总分 20 分）	0~10 分：不透明、色泽不均匀 11~15 分：不透明、色泽较均匀 16~20 分：半透明、色泽一致
外观（总分 20 分）	0~10 分：肉质软化、明显干缩、饱满度较差 11~15 分：肉质疏松、无返砂、有一定的饱满度、轻微粘手 16~20 分：肉质致密、无破损、饱满度好、不粘手
气味（总分 20 分）	0~10 分：无橘红果果香气，存在异味 11~15 分：橘红果果香气一般、无异味 16~20 分：橘红果果香气较为浓郁、无异味
口感（总分 40 分）	0~15 分：过酸或者过甜、无原果味、不适口、口感较为粗糙、硬度过低 16~29 分：酸度不协调、原果味不浓、口感偏软或者偏硬、硬度较低 30~40 分：酸度适中、原果味浓郁、有一定的嚼劲、硬度适中

1.2.3 总糖含量测定

参照李国胜等[13]研究中操作方法测定橘红果果脯总糖含量，在 620 nm 处对吸光度 Y 进行测定，以 Y 对葡萄糖浓度 X 进行回归处理，回归方程：Y=0.0074X-0.0042（R^2=0.9929），说明葡萄糖在 10 μg/mL~80 μg/mL 范围内呈现为良好的线性关系。

样本含糖量=从标准曲线查得的糖质量浓度×稀释倍数×10^{-4}×100%。

1.2.4 单因素试验

表 2 单因素试验表

Table 2 Single factor test table

因素	水平				
柠檬酸质量分数/%	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
氯化钙含量/%	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
微波功率/W	70	140	210	280	350
糖液质量分数/%	30	40	50	60	70

采用单因素试验法，选择柠檬酸质量分数、氯化钙含量、微波功率、糖液质量分数 4 个因素，分析考

察上述因素对橘红果脯总糖含量、感官评分的影响，试验因素水平设计见表 2。

1.3 统计学处理

采用 Design-Expert 8.0.6 统计软件进行响应面实验分析，采用 SPSS 20.0 统计软件进行显著性分析处理。

2 结果与讨论

2.1 护色条件对橘红果脯总糖含量、感官评分的影响

护色为柠檬酸的主要作用，当柠檬酸达到一定的浓度后，果脯呈现出最佳外观，但并不是柠檬酸质量分数越高，果脯外观、口感越好[14]。在果脯加工过程中，柠檬酸除了具有护色之外还可降低甜度、加强保藏性、改进风味[15]。研究发现，当柠檬酸的浓度较高时可在一定程度上影响果脯品质，导致果脯口感过酸或者过甜。当柠檬酸质量分数为 0.3%时，橘红果脯感官评分为（94.43 分），为感官评分最大值，总糖含量为（90.25%），为最高糖含量，可见在柠檬酸质量分数为 0.3%时橘红果脯品质最优，综合认为 0.3%为最佳柠檬酸质量分数。

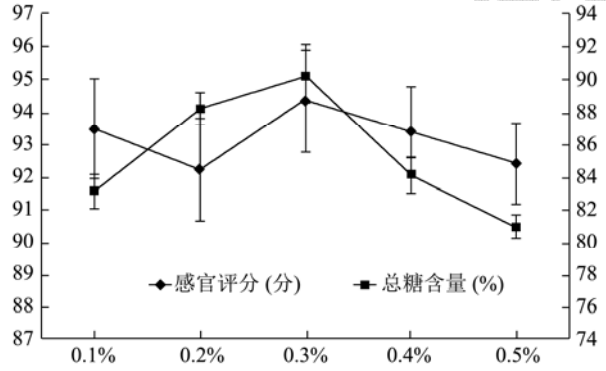


图 1 护色条件对橘红果脯总糖含量及感官评分的影响

Fig.1 Effects of color protection conditions on total sugar content and sensory score of preserved orange fruits

2.2 硬化条件对橘红果脯总糖含量及感官评分的影响

研究发现[16,17]，在果脯加工过程中，硬化条件会严重影响着果脯的品质，而氯化钙含量的高低与果脯的总糖含量相关，在氯化钙达到一定的含量后，果脯的总糖含量、感官评分出现逐渐下降趋势。当氯化钙含量为 0.5%时，橘红果脯感官评分为（94.25 分），为感官评分最大值，总糖含量为（98.98%），为最高糖含量，可见在氯化钙含量为 0.5%时橘红果脯品质最优，综合认为 0.5%为最佳氯化钙含量。

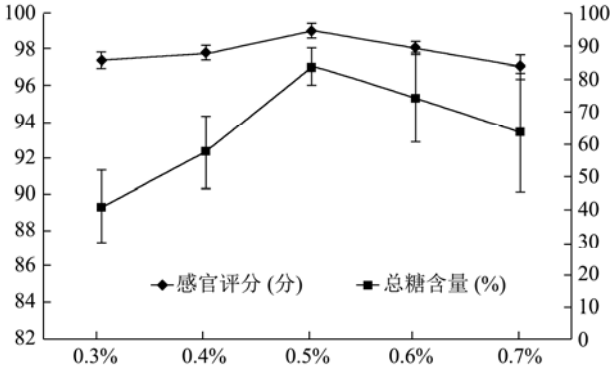


图 2 硬化条件对橘红果脯总糖含量及感官评分的影响

Fig.2 Effect of hardening conditions on total sugar content and sensory score of preserved orange fruit

2.3 微波功率对橘红果脯总糖含量及感官评分的影响

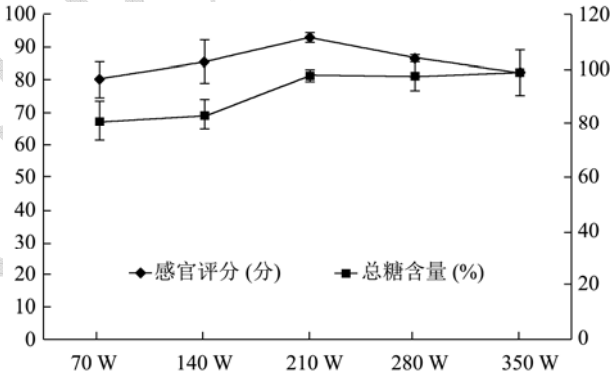


图 3 微波功率对橘红果脯总糖含量及感官评分的影响

Fig.3 Effect of microwave power on total sugar content and sensory score of preserved orange fruit

微波功率的大小会影响果脯的口感，随着微波功率的不断增加，果脯的吸糖量不断接近于饱和状态，表现为总糖含量逐渐趋近于水平状态[17]。研究发现[18]，在制作果脯的过程中，随着微波功率的不断升高，糖含量逐渐趋近于水平，但果脯色泽不断加深，甚至会出现破损，严重影响着果脯品质，进而降低感官评分。当微波功率为 210 W 时，橘红果脯感官评分为（93.25 分），为感官评分最大值，总糖含量随着微波功率的增加而增加，在微波功率达到 210 W 时，橘红果脯总糖含量逐渐趋于平衡，而橘红果脯感官评分开始出现下降，且当微波功率越来越高时，会破坏橘红结构，导致果香挥发，橘红中所含的大量维生素 C 会被破坏，进而失去橘红的营养价值，进而会影响果脯口感。综合认为 210 W 为最佳微波功率。

2.4 糖液质量分数对橘红果脯总糖含量及感官评分的影响

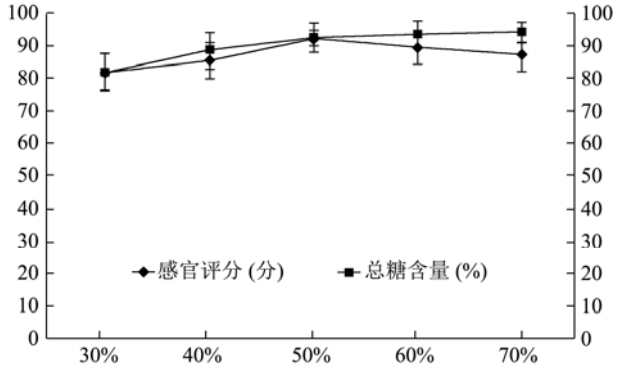


图 4 糖液质量分数对橘红果脯总糖含量及感官评分的影响

Fig.4 Effect of sugar concentration on total sugar content and sensory score of preserved orange fruit

果脯属于一种经过一系列的工艺所制成的表面无糖霜、略有透明感的产品，且果脯的制作需要糖的参与，而糖溶液的浓度直接影响果脯的品质[19]。李斌等[20]在其研究中采用响应面法用于蓝莓果脯真空渗糖工艺的优化，其研究结果中在响应面法优化下发现，蓝莓果脯糖液质量分数为33.77%时产品品质最优，此研究说明，糖液质量分数越高会在一定程度上影响果脯中水分的析出，影响果脯饱满度，进而影响感官和口感。当糖液质量分数为50%时，橘红果脯感官评分为（92.68 分），为感官评分最大值，总糖含量随着糖液质量分数的升高而升高，在糖液质量分数为50%时，橘红果脯总糖含量逐渐趋于平衡，而橘红果脯感官评分开始出现下降，糖液质量分数过高会导致橘红果脯中的水分析出，影响果脯饱满度，进而降低果脯饱满度。综合认为50%为最佳的糖液质量分数。

2.5 响应面优化试验结果与分析

表 3 响应面分析因素与水平编码表

Table 3 Response surface analysis factors and horizontal coding table

因素	水平		
	-1	0	+1
X1 柠檬酸质量分数/%	0.2	0.3	0.4
X2 氯化钙含量/%	0.4	0.5	0.6
X3 微波功率/W	140	210	280
X4 糖液质量分数/%	40	50	60

表 4 响应面优化试验结果与分析

Table 4 Response surface optimization test results and analysis

序号	X1 柠檬酸质量分数/%	X2 氯化钙含量/%	X3 微波功率/W	X4 糖液质量分数/%	Y 感官评分	Z 总糖含量
1	0.10	0.10	298.65	42.15	83.59	41.02
2	0.25	0.25	300.25	32.05	80.45	42.35
3	0.20	0.46	265.31	45.36	83.68	40.26
4	0.25	0.43	168.25	58.46	82.57	42.25
5	0.10	0.05	142.12	53.46	83.46	43.69
6	0.16	0.32	198.69	57.52	90.33	42.15
7	0.26	0.47	210.29	59.68	81.25	43.28
8	0.35	0.23	232.45	70.65	83.15	41.57
9	0.25	0.16	210.98	62.35	86.59	40.69
10	0.10	0.12	222.25	45.69	82.65	42.18
11	0.30	0.06	146.35	25.25	92.56	45.63
12	0.30	0.25	140.00	35.50	92.32	45.28
13	0.38	0.31	286.69	55.14	94.72	45.39
14	0.42	0.32	285.35	50.52	92.48	45.06
15	0.28	0.39	225.49	53.49	93.56	45.23
16	0.26	0.42	262.35	50.68	94.15	45.28
17	0.28	0.46	209.68	49.86	96.68	46.59
18	0.35	0.43	225.34	52.49	93.00	46.25
19	0.39	0.41	265.49	56.25	95.59	46.13
20	0.42	0.12	270.12	52.16	94.65	46.27

在单因素试验的基础上参照 Box-Behnken 试验设计原理以柠檬酸质量分数（X1）、氯化钙含量（X2）、微波功率（X3）、糖液质量分数（X4）作为 4 个自变量，以+1 表示自变量高水平、0 表示自变量的中水平、-1 表示自变量的低水平，以 $x_i=(X_i-X_0)/\triangle X$ 对自变量进行编码，其中 x_i 为自变量编码值，X_i 为自变量真实值，X_0 为试验中心点处自变量的真实值，△X 为自变量的变化，以橘红果脯感官评分（Y）、总糖含量（Z）作为响应值，设计响应面试验，采用 Design Expert 8.0.6 软件对试验数据进行处理分析。

2.6 以感官评分 Y 为响应值回归方程模型的方差分析

表 5 以 Y 为响应值回归方程模型的方差分析

Table 5 Variance analysis of regression equation model with y as response value

方差来源	平方和	自由度	均方	*F* 值	*p* 值(Prob>*F*)
X_1	4.12	1	4.12	10.36	0.0038
X_2	55.63	1	55.63	139.68	<0.0001
X_3	18.65	1	18.65	43.39	<0.0001
X_4	7.13	1	7.13	16.79	0.0085
X_1X_2	0.12	1	0.12	0.25	0.2453
X_1X_3	0.53	1	0.53	0.98	0.4529
X_1X_4	0.98	1	0.67	1.11	0.5876
X_2X_4	1.21	1	1.21	1.25	0.6897
X_3X_4	1.06	1	1.11	1.05	0.7568
X_3X_4	1.09	1	1.09	1.03	0.6580
X_1^2	11.96	1	11.96	35.44	<0.0001
X_2^2	78.96	1	78.96	213.24	<0.0001
X_3^2	21.02	1	21.02	32.15	<0.0001
X_4^2	15.69	1	15.69	26.34	<0.0001
模型	25.69	9	2.96	42.16	<0.0001
残差	0.72	11	0.075		
失拟	0.46	5	0.093	1.59	0.3569
纯误差	0.28	4	0.054		
总和	26.98	20			

由表 5 可知，感官评价总分的回归模型 $p\leq0.0001$，表明该回归模型显著。失拟项 $p=0.3569>0.05$，不显著，表明检验结果和模型的计算差异不显著。以感官评分为响应值回归方程为：

$Y=45.3-0.59X_1+2.10X_2+1.15X_3+0.79X_4-0.14X_1X_2-0.36X_1X_3-0.68X_1X_4+0.89X_2X_3+0.53X_2X_4-0.026X_3X_4-1.40X_1^2-3.44X_2^2-1.78X_3^2-1.58X_4^2$。复相关系数 $R=0.9638$，表明此模型试验误差较小、拟合程度良好。由各参数估计值可以判断出各因素影响顺序为：氯化钙含量>微波功率>柠檬酸质量分数>糖液质量分数。

2.7 以总糖含量 Z 为响应值回归方程模型的方差分析

表 6 以 Z 为响应值回归方程模型的方差分析

Table 6 Variance analysis of regression equation model with Z as response value

方差来源	平方和	自由度	均方	*F* 值	*p* 值(Prob>*F*)
X_1	25.46	1	25.46	15.34	0.0057
X_2	11.34	1	11.34	9.65	<0.0001
X_3	46.98	1	46.98	65.49	<0.0001
X_4	1.06	1	1.06	0.85	0.0854
X_1X_2	0.32	1	0.32	0.15	0.1258

转下页

接上页

X_1X_3	0.65	1	0.65	0.28	0.3215
X_1X_4	0.98	1	0.98	0.34	0.3698
X_2X_3	1.35	1	1.35	0.98	0.1248
X_2X_4	1.68	1	1.68	1.23	0.0967
X_3X_4	2.13	1	2.13	6.12	0.0259
X_1^2	15.36	1	15.36	15.34	<0.0001
X_2^2	59.68	1	59.68	55.46	<0.0001
X_3^2	112.24	1	112.24	98.67	<0.0001
X_4^2	51.24	1	51.24	43.25	<0.0001
模型	376.28	10	41.69	153.29	<0.0001
残差	2.26	11	0.30		
失拟	0.65	4	0.15	0.30	0.9536
纯误差	2.15	6	0.43		
总和	379.68	20			

由表 6 可知，总糖含量的回归模型 p<0.0001，表明该回归模型显著。失拟项 p=0.9536>0.05，不显著，表明检验结果和模型的计算差异不显著。以总糖含量为响应值回归方程为：

$Z=93.00-1.43X_1+0.95X_2+1.93X_3+0.79X_4+0.50X_1X_2-0.15X_1X_3-0.79X_1X_4-0.16X_2X_3+0.25X_2X_4-1.29X_3X_4-1.46X_1^2-3.5X_2^2-4.3X_3^2-2.76X_4^2$。复相关系数 R=0.9865，表明此模型试验误差较小、拟合程度良好。由各参数估计值可以判断出各因素影响顺序为：微波功率>氯化钙含量>柠檬酸质量分数>糖液质量分数。

各因素间交互作用对感官评价及总糖含量的响应面图见图 5、图 6。由图 5 和图 6 可知，其他两个因素条件固定的情况下，另外两个因素条件的变动，都会在一定程度上提高产品的感官评分和总糖含量，而超过一定的浓度比例之后，会导致品质降低，从而使得感官评分降低。

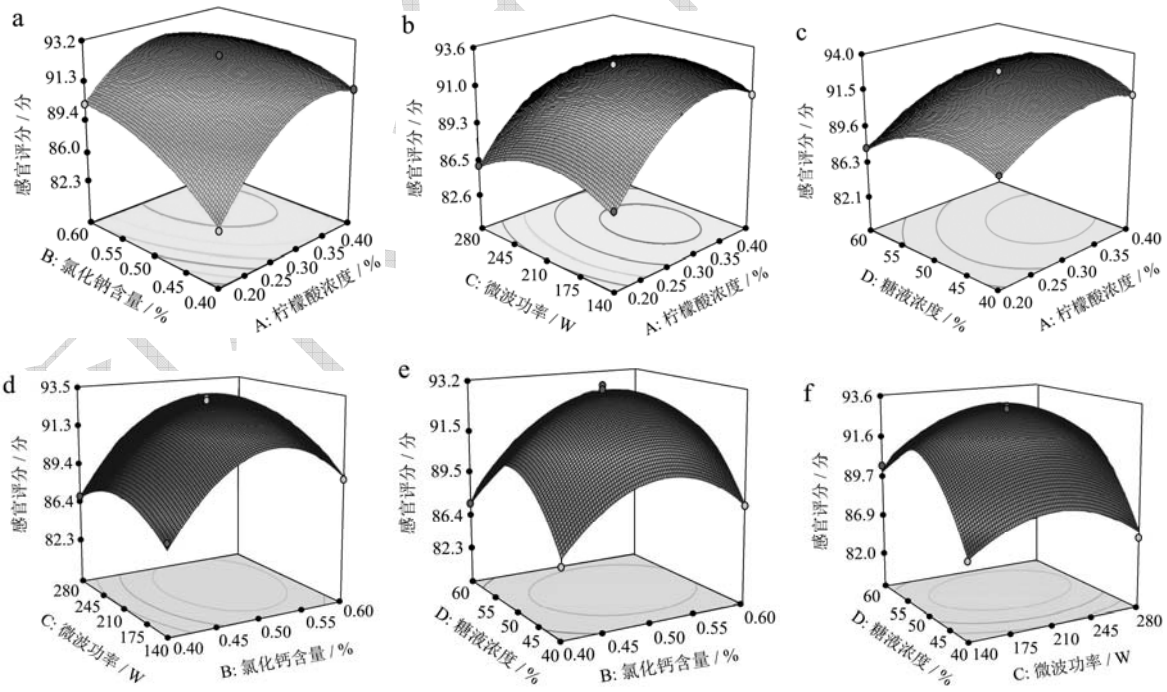


图 5 各因素交互作用对感官评分的影响

Fig.5 The effect of interaction of various factors on sensory score

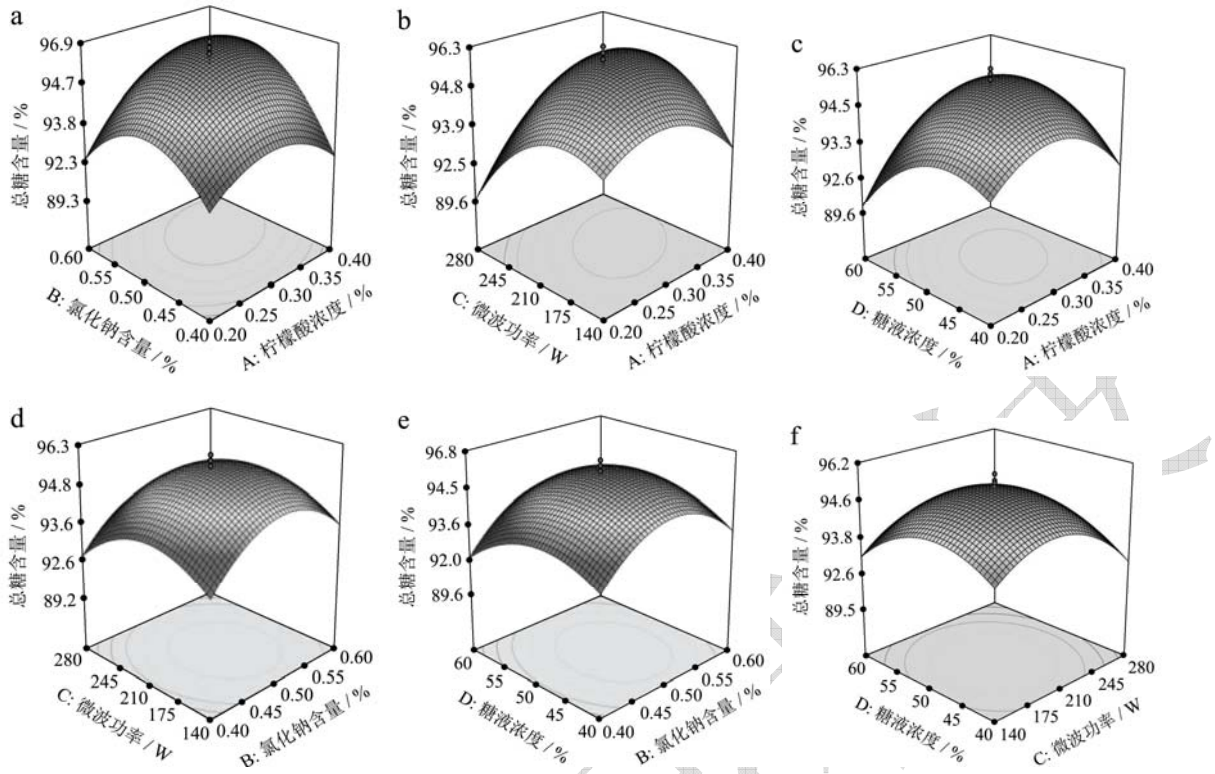


图 6 各因素交互作用对总糖含量的影响

Fig.6 Effect of interaction of various factors on total sugar content

2.8 验证实验

经响应面法优化橘红果脯的最佳工艺条件为：柠檬酸质量分数 0.28%、氯化钙含量 0.46%、微波功率 209.68 W、糖液质量分数 49.86%，此条件下理论预估橘红果脯感官评分为 96.68 分、总糖含量为 46.59%。考虑实际操作的局限性，调整为柠檬酸质量分数 0.30%、氯化钙含量 0.50%、微波功率 210 W、糖液质量分数 50%，经过 3 次重复试验进行验证。得到橘红果脯感官评分为 96.85 分，总糖含量为 46.13%，接近理论值，说明采用响应面法优化所得到的橘红果脯研制工艺参数准确可靠，具有一定的实用价值。

3 结论

采用响应面法优化橘红果脯研制工艺，以感官评分和总糖含量分别为响应值，计算回归方程模型的方差，得到优化条件下的因素组合方程，该方程模型试验误差较小、拟合程度良好，经响应面法分析橘红果脯最佳工艺为柠檬酸质量分数为 0.3%、氯化钙含量为 0.5%、微波功率为 210 W、糖液质量分数为 50%，其所获得的橘红果脯色泽一致、原果味浓、酸甜可口。

参考文献

[1] Liu C, He M, Wang Z, et al. Integrative analysis of terpenoid profiles and hormones from fruits of red-flesh *Citrus* mutants and their wild types [J]. Molecules,2019, 24(19): 3456

[2] Pan D, Dou W, Yuan GR, et al. Monitoring the resistance of the *citrus* red mite (Acari: *Tetranychidae*) to four acaricides in different *Citrus* orchards in China [J]. J Econ Entomol, 2019, 10: 335

[3] Rodriguez J, Anoruo A, Jifon J, et al. Physiological effects of exogenously applied reflectants and anti-transpirants on leaf temperature and fruit sunburn in *Citrus* [J]. Plants (Basel), 2019, 8(12): 549

[4] Zheng X, Zhu K, Sun Q, et al. Natural variation in CCD4 promoter underpins species-specific evolution of red coloration in *Citrus* peel [J]. Mol Plant, 2019, 12(9): 1294-1307

[5] Wu D, Wang J, Liu D, et al. Computational and spectroscopic analysis of interaction between food colorant *Citrus* red 2 and human serum albumin [J]. Sci Rep, 2019, 9(1): 1615

[6] Livingston G, Hack L, Steinmann KP, et al. An ecoinformatics approach to field-scale evaluation of insecticide effects in california Citrus: Are *Citrus* thrips and *Citrus* red mite induced pests [J]. J Econ Entomol, 2018, 111(3): 1290-1297

[7] Ling L, Li Z, Jiao Z, et al. Identification of novel endophytic yeast strains from *Tangerine* peel [J]. Curr Microbiol, 2019,

76(9): 1066-1072

[8] Maleki S, Karimi-Jashni A. Optimization of Ni(II) adsorption onto cloisite Na(+) clay using response surface methodology [J]. Chemosphere, 2019, 246: 125710

[9] Atukuri J, Odong B B, Muyonga J H. Multi-response optimization of extrusion conditions of grain amaranth flour by response surface methodology [J]. Food Sci Nutr, 2019, 7(12): 4147-4162

[10] Villasante J, Pérez-Carrillo E, Heredia-Olea E, et al. *In vitro* antioxidant activity optimization of nut shell (*Carya illinoinensis*) by extrusion using response surface methods [J]. Biomolecules, 2019, 9(12): 883

[11] Ghosh A, Samadhiya K, Kashyap M, et al. The use of response surface methodology for improving fatty acid methyl ester profile of *Scenedesmus vacuolatus* [J]. Environ Sci Pollut Res Int, 2019, 29: 1019-1025

[12] Ecer Ü, Yılmaz Ş, Şahan T. Highly efficient Cd(II) adsorption using mercapto-modified bentonite as a novel adsorbent: An experimental design application based on response surface methodology for optimization [J]. Water Sci Technol, 2018, 78(5-6): 1348-1360

[13] 李国胜,陈小碗.响应面法优化低糖火龙果果脯加工工艺[J].食品工业,2015,36(8):68-73
LI Guo-sheng, CHEN Xiao-wan. Optimization of processing technology of low sugar preserved fruit of *Pitaya* by response surface methodology [J]. Food Industry, 2015, 36(8): 68-73

[14] Eça K S, Machado M T, Hubinger M D, et al. Development of active films from pectin and fruit extracts: Light protection, antioxidant capacity, and compounds stability [J]. J Food Sci, 2015, 80(11): C2389-2396

[15] Preciado-Iñiga G E, Amador-Espejo G G, Bárcenas ME. Blanching and antimicrobial mixture (potassium sorbate-sodium benzoate) impact on the stability of a tamarillo (*Cyphomandra betacea*) sweet product preserved by hurdle technology [J]. J Food Sci Technol, 2018, 55(2): 740-748

[16] Crowley S, Mahony J, van Sinderen D. Comparative analysis of two antifungal *Lactobacillus plantarum* isolates and their application as bioprotectants in refrigerated foods [J]. J Appl Microbiol, 2012, 113(6): 1417-27

[17] Xin J, Feinstein D L, Hejna M J, et al. Beneficial effects of blueberries in experimental autoimmune encephalomyelitis [J]. J Agric Food Chem, 2012, 60(23): 5743-5748

[18] Benlloch-Tinoco M, Kaulmann A, Corte-Real J, et al. Chlorophylls and carotenoids of kiwifruit puree are affected similarly or less by microwave than by conventional heat processing and storage [J]. Food Chem, 2015, 187: 254-62

[19] Jiang B, Mantri N, Hu Y, et al. Evaluation of bioactive compounds of black mulberry juice after thermal, microwave, ultrasonic processing, and storage at different temperatures [J]. Food Sci Technol Int, 2015, 21(5): 392-399

[20] Santos JLPD, Samapundo S, Biyikli A, et al. Occurrence, distribution and contamination levels of heat-resistant moulds throughout the processing of pasteurized high-acid fruit products [J]. Int J Food Microbiol, 2018, 281: 72-81

[21] 李斌,矫馨瑶,孟宪军,等.蓝莓果脯真空渗糖工艺研究[J].沈阳农业大学学报,2014,45(5):552-558
LI Bin, JIAO Xin-yao, MENG Xian-jun, et al. Study on the technology of vacuum sugar infiltration for preserved blueberry fruit [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2014, 45(5): 552-558

（上接第 248 页）

[22] Jean Cadet, Kelvin Davies. Oxidative DNA damage & repair: An introduction [J]. Free Radical Biology & Medicine, 2017, 106: 100-110

[23] Gu Hye-Jung, Song In-Bong, Han Hye-Ju, et al. Antioxidant activity of royal jelly hydrolysates obtained by enzymatic treatment [J]. Korean Journal for Food Science of Animal Resources, 2018, 38(1): 135-142

[24] Manquian-Cerda K, Cruces E, Escudey M, et al. Interactive effects of aluminum and cadmium on phenolic compounds, antioxidant enzyme activity and oxidative stress in blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) plantlets cultivated *in vitro* [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2018, 150: 320-326

[25] Gao Xian-Li, Lin Er-Meng, Zhang Jun-Ke, et al. Eects of sonication during moromi fermentation on antioxidant activities of compounds in raw soy sauce [J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 116: 108605