

响应面法优化杭白菊烘干工艺研究

徐庶,周苏果,黄毓祥,李云娟

(清远加多宝草本植物科技有限公司,广东 清远 511675)

摘要: 对杭白菊蒸汽杀青-烘干工艺进行优化,以绿原酸、木犀草苷、3,5-O-二咖啡酰基奎宁酸含量为评价指标,在单因素试验基础上,采用响应面法优化菊花烘干工艺。研究表明,最优工艺条件为蒸汽杀青 80 s 后于 68 ℃ 烘干 3.9 h,室温回潮 48 h,在 58 ℃ 下复烘 2.4 h,此工艺条件下得到的菊花品质较佳,综合指标为 0.460 %,回归模型的预测值与实测值的相对误差为 0.44 %。

关键词: 杭白菊;响应面法;优化;烘干工艺;绿原酸

Optimization of Drying Process of Hangzhou White Chrysanthemum by Response Surface Methodology

XU Shu, ZHOU Su-guo, HUANG Yu-xiang, LI Yun-juan

(Qingyuan Jiaduobao Herbs Technology Co., Ltd., Qingyuan 511675, Guangdong, China)

Abstract: The steam-blanching drying process of Hangzhou white chrysanthemum was optimized. The contents of chlorogenic acid, luteolin and 3,5-O-dicaffeoyl quinic acid were used as evaluation indexes. Response surface methodology was applied to optimize the drying process on the basis of single-factor test. The results showed that the optimum conditions of drying process were: steaming time 80 s, drying temperature 68 ℃, drying time 3.9 h, then moisture regaining 48 h, re-drying temperature 58 ℃, re-drying time 2.4 h, the comprehensive index of chrysanthemum with the optimized technology was 0.460 %, in close agreement with the predictive maximum value within a relative error of 0.44 %.

Key words: hangzhou white chrysanthemum; response surface methodology; optimization; drying process; chlorogenic acid

引文格式:

徐庶,周苏果,黄毓祥,等. 响应面法优化杭白菊烘干工艺研究[J].食品研究与开发,2019,40(5):149-155

XU Shu, ZHOU Suguo, HUANG Yuxiang, et al. Optimization of Drying Process of Hangzhou White Chrysanthemum by Response Surface Methodology[J].Food Research and Development,2019,40(5):149-155

菊花为菊科植物菊 (*Chrysanthemum morifolium* Ramat.) 的干燥头状花序^[1],有散风清热、平肝明目、清热解毒等功效,主治头痛、眩晕、目赤、心胸烦热、疮痍、肿毒等症^[2]。菊花含有咖啡酰基奎宁酸类、黄酮类、三萜类、甾醇类、挥发油等化学成分^[3-4],具有抗菌、抗炎、抗病毒、抗氧化、抗突变、抗肿瘤等多种生物活性^[5-8]。按产地和加工方法不同,菊花可分为杭菊、亳菊、贡菊、滁菊、祁菊、怀菊、济菊、黄菊八大品种,其中杭菊产量

最大。菊花品质与其品种、种植环境、产后加工方式有关,菊花的加工方式有蒸制晒干、硫熏晒干、热风干燥、微波干燥、真空干燥、远红外干燥等^[9-11]。晒干工艺简单易行,但耗时长,产品品质受环境影响大;硫熏可提高干燥速率,但是会对产品造成污染,此方法已被禁用于菊花的生产;微波、真空、远红外干燥菊花品质较好,但设备投资大、成本高,而菊花生产厂家以小型散户为主,对设备投资能力较小;热风干燥法投资小、干燥快速、统一、卫生,目前广泛应用于菊花加工^[12]。

菊花烘干过程是一个失水与功效成分损失并存的过程,其质量与烘干温度、烘干时间、回潮时间、复烘

作者简介:徐庶(1984—),男(汉),工程师,硕士,从事功能性新产品研究与开发。

温度、复烘时间。绿原酸、木犀草苷、3,5-O-二咖啡酰基奎宁酸等功效指标含量常用于菊花质量评价。响应面分析法通过建立数学模型来解决受多种因素影响的最优组合问题,用于确定各因素及其交互作用在工艺过程中对响应值的影响^[13-17]。本研究以杭白菊为原料,探讨菊花蒸汽杀青-烘干工艺,首次应用响应面法对菊花烘干工艺进行优化,以期杭白菊工业化生产提供一定的科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料及试剂

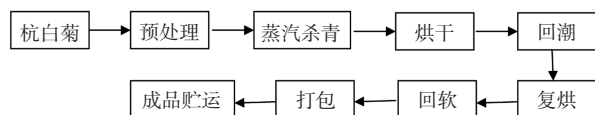
新鲜杭白菊:浙江桐乡;绿原酸、木犀草苷、3,5-O-二咖啡酰基奎宁酸:中国药品生物制品检定所;甲醇、乙腈、磷酸(均为色谱纯):霍尼韦尔(中国)有限公司。

1.2 仪器及设备

FD115 热风循环烘箱:德国 Binder 公司;XL-10B 密封型摇摆式粉碎机:广州市旭朗机械设备有限公司;Agilent 1260 HPLC 色谱仪:安捷伦科技(中国)有限公司;BSA224S-CW 电子天平:赛多利斯科学仪器(北京)有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 菊花加工工艺流程



1.3.2 蒸汽杀青工艺

常见杀青方法有高温杀青、蒸汽蒸制杀青、微波杀青等。高温杀青时间长、微波杀青菊花易烤焦,且设备改良投资大,蒸汽杀青时间短、效率高、品质好,本研究主要考察蒸汽杀青对菊花品质的影响。将煮锅中放入 2/3 的水,在电磁炉上烧开沸腾后并有水蒸气溢出时,取一定量花瓣完整、无霉变、褐变的新鲜菊花,平铺于隔板上蒸制,平铺厚度控制为 2~3 朵花,计时,分别杀青 20、40、60、80、100 s 后,关闭电磁炉,打开锅盖,取出菊花,均匀平摊在托盘内,取适量测定绿原酸的含量,同时观察杀青后菊花感官品质,考察杀青时间对菊花品质的影响。

1.3.3 菊花烘干工艺

以绿原酸、木犀草苷、3,5-O-二咖啡酰基奎宁酸含量为指标,设计单因素试验考查烘干温度、烘干时间、回潮时间、复烘温度、复烘时间对菊花品质的影响,并在单因素试验结果基础上,采用响应面法确定菊花

的最佳烘干条件。

1.3.3.1 单因素试验

在 1.3.2 确定的菊花蒸汽杀青工艺下,进一步对菊花烘干工艺进行研究。烘干温度采用 50、60、70、80 ℃ 4 个水平,烘干时间采用 3、4、5、6 h 4 个水平,回潮时间采用 24、48、72 h 3 个水平,复烘温度采用 50、60、70 ℃ 3 个水平,复烘时间采用 1、2、3、4 h 4 个水平,以绿原酸、木犀草苷、3,5-O-二咖啡酰基奎宁酸含量为评价指标,分别考察烘干温度、烘干时间、回潮时间、复烘温度、复烘时间对菊花品质的影响。

1.3.3.2 响应面试验

根据单因素试验结果,控制回潮时间为 48 h,采用四因素三水平响应面法,以烘干温度、烘干时间、复烘温度、复烘时间 4 个因素为自变量,以综合指标为响应值(其中综合指标/%=0.4×绿原酸含量+0.3×木犀草苷含量+0.3×3,5-O-二咖啡酰基奎宁酸含量),应用 Box-Behnken 设计模型优化和预测菊花最佳烘干条件。试验因素和水平设计见表 1。

表 1 响应面试验设计表

Table 1 Experimental design of RSM

水平	因素			
	A 烘干 温度/℃	B 烘干 时间/h	C 复烘 温度/℃	D 复烘 时间/h
-1	60	3	50	1
0	70	4	60	2
1	80	5	70	3

1.3.4 菊花指标测定

1.3.4.1 水分测定

参考《中华人民共和国药典-2015 版》(通则 0832 第二法)检测方法进行测定^[1]。

1.3.4.2 绿原酸、木犀草苷、3,5-O-二咖啡酰基奎宁酸含量测定

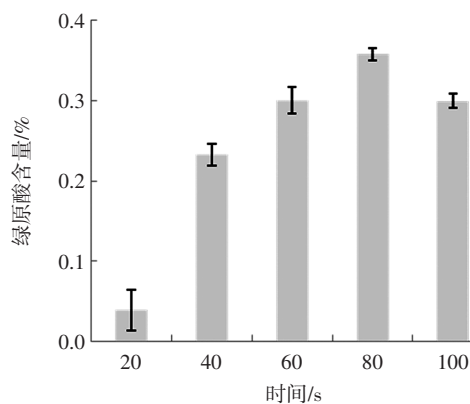
参考《中华人民共和国药典-2015 版》(高效液相色谱法(通则 0512))检测方法进行测定^[1],绿原酸、木犀草苷、3,5-O-二咖啡酰基奎宁酸含量均以干基计。

2 结果与分析

2.1 菊花杀青工艺确定

鲜菊花在采摘以后会在内源酶的作用下发生品质劣变,如褐变、功效成分降低等,需采取一定的措施遏制这种劣变趋势,研究表明蒸汽杀青可灭活绝大部分的过氧化物酶和多酚氧化酶^[18],显著降低菊花因褐变导致的功效成分降低,极大的改善干燥菊花品质,且可使菊花组织软化有利于后续干燥的进行;杀青不

足,残存酶活力大,使菊花发生酶促褐变,功效成分酶解损失,杀青过度,菊花有过熟味,菊花香气损失殆尽;因此适宜的杀青时间有助于提高菊花干制品品质。图1为不同杀青时间下菊花绿原酸含量结果。



鲜花绿原酸含量为 0.387%, 蒸汽温度 > 98 °C。

图1 不同杀青时间下菊花绿原酸含量

Fig.1 Variations of chlorogenic acid of chrysanthemum steam-blanching for different streaming time

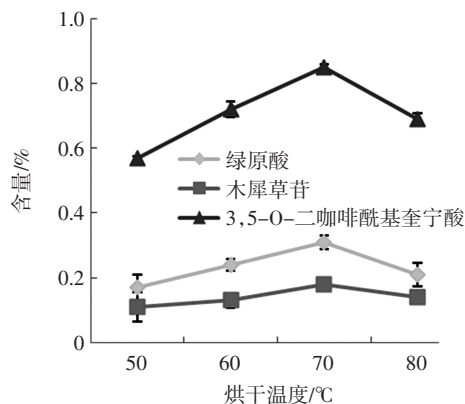
图1可知,蒸汽杀青80 s,绿原酸含量最高(0.356%),此时菊花绿原酸保留率为92%,杀青后菊花香气突出,无过熟味,放置后无褐变,从能耗和效率考虑,杀青工艺确定为蒸汽杀青80 s。

2.2 菊花烘干工艺的确定

2.2.1 单因素试验结果

2.2.1.1 烘干温度对菊花品质的影响

不同烘干温度对菊花品质的影响结果见图2。



烘干时间 4 h, 回潮时间 48 h, 复烘温度 60 °C, 复烘时间 2 h。

图2 不同烘干温度对菊花品质的影响

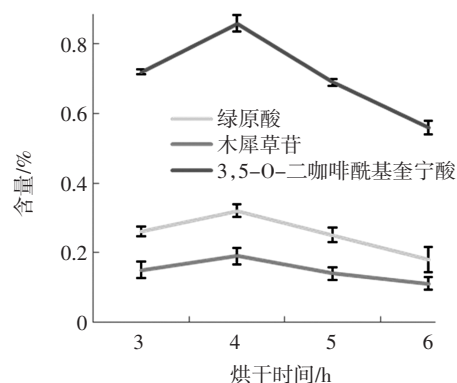
Fig.2 Variations of quality of chrysanthemum for different drying temperatures

由图2可知,菊花绿原酸、木犀草苷、3,5-O-二咖啡酰基奎宁酸含量随烘干温度升高逐渐增加,70 °C时达最大,此后随烘干温度继续增加,含量下降。可能原因是低温下,菊花失水速度慢,高湿环境且温度适宜

情况下,在残余酶活的作用下菊花功效成分酶解损失,此后随温度升高,菊花失水速率增加,同时高温对残余酶形成一定的抑制作用,菊花功效成分损失降低,随着温度进一步增加,菊花功效成分受热分解损失含量降低;所以,70 °C烘干,菊花品质保存较好。

2.2.1.2 烘干时间对菊花品质的影响

不同烘干时间对菊花品质的影响结果见图3。



烘干温度 70 °C, 回潮时间 48 h, 复烘温度 60 °C, 复烘时间 2 h。

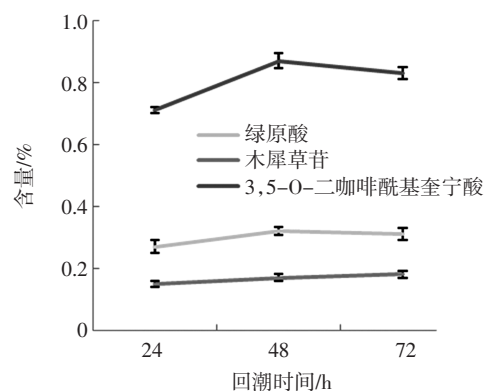
图3 不同烘干时间对菊花品质的影响

Fig.3 Variations of quality of chrysanthemum for different drying time

由图3可知,70 °C下烘干4 h菊花功效成分含量最高,可见适宜的烘干时间有助于菊花品质的保存。

2.2.1.3 回潮时间对菊花品质的影响

不同回潮时间对菊花品质的影响结果见图4。



烘干温度 70 °C, 烘干时间 4 h, 复烘温度 60 °C, 复烘时间 2 h。

图4 不同回潮时间对菊花品质的影响

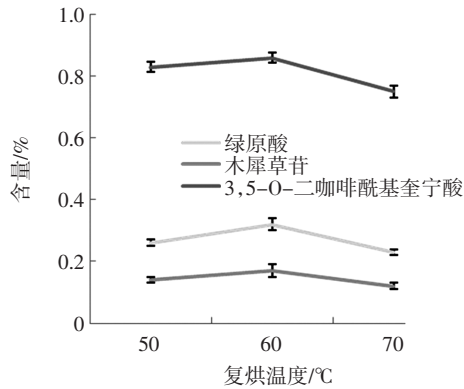
Fig.4 Variations of quality of chrysanthemum for moisture regaining time

由图4可知,菊花功效成分随回潮时间延长含量增加,回潮48 h后,含量变化不大,所以,选择回潮时间为48 h。

2.2.1.4 复烘温度对菊花品质的影响

菊花各部位因含水量及组织结构不同,干燥过程

失水速率不一,张晓辛等^[10]研究表明,失水速率:花瓣>整花>花芯。若连续干燥可造成菊花花瓣因过干而剥落,影响菊花整体品质,工厂上一般将菊花干燥一定时间后进行回潮,使花瓣、花芯水分均一后再进行复烘,达到菊花品质要求。可见,复烘有助于保持菊花良好的品质。不同复烘温度对菊花品质的影响结果见图5。



烘干温度 70 °C, 烘干时间 4 h, 回潮时间 48 h, 复烘时间 2 h。

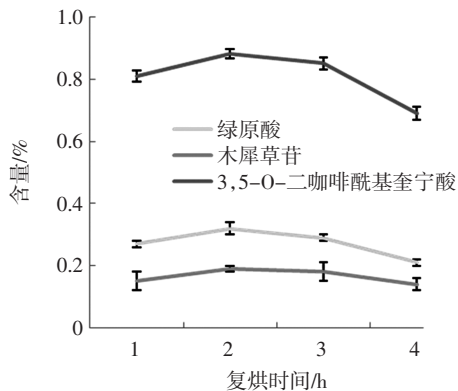
图5 不同复烘温度对菊花品质的影响

Fig.5 Variations of quality of chrysanthemum for re-drying temperature

由图5可知,复烘温度对菊花功效成分有一定的影响。因高温导致菊花功效成分受热分解,70 °C复烘时菊花功效成分含量降低,而60 °C复烘时菊花品质保存较好。

2.2.1.5 复烘时间对菊花品质的影响

不同复烘时间对菊花品质的影响结果见图6。



烘干温度 70 °C, 烘干时间 4 h, 回潮时间 48 h, 复烘温度 60 °C。

图6 不同复烘时间对菊花品质的影响

Fig.6 Variations of quality of chrysanthemum for re-drying time

由图6可知,复烘1 h~3 h,菊花功效成分含量相差不大,超过3 h,菊花功效成分显著降低,可见,复烘时间控制在3 h内有助于菊花品质的保留。

2.2.2 响应面法优化菊花烘干工艺

根据单因素试验的结果,控制回潮时间为48 h,以

烘干温度、烘干时间、复烘温度、复烘时间作为因素,以综合指标为响应值,用Box-Behnken设计试验,试验方案及结果见表2。

表2 响应面分析试验及结果

Table 2 Design and results of RSM

试验号	A 烘干温度	B 烘干时间	C 复烘温度	D 复烘时间	Y 综合指标
1	-1	0	-1	0	0.363
2	0	0	-1	-1	0.372
3	0	-1	-1	0	0.345
4	-1	0	0	1	0.399
5	0	0	1	1	0.354
6	1	0	0	1	0.265
7	0	1	0	-1	0.387
8	0	1	0	1	0.311
9	0	1	-1	0	0.333
10	1	0	-1	0	0.260
11	1	-1	0	0	0.293
12	0	0	0	0	0.447
13	-1	0	1	0	0.321
14	0	-1	1	0	0.337
15	0	-1	0	-1	0.332
16	0	0	0	0	0.436
17	0	0	0	0	0.442
18	0	-1	0	1	0.409
19	-1	0	0	-1	0.331
20	0	0	-1	1	0.410
21	1	0	0	-1	0.333
22	-1	1	0	0	0.318
23	0	1	1	0	0.317
24	0	0	0	0	0.440
25	0	0	1	-1	0.369
26	1	1	0	0	0.265
27	-1	-1	0	0	0.299
28	0	0	0	0	0.443
29	1	0	1	0	0.289

2.2.2.1 模型建立及显著性分析

所得的试验数据采用Design Expert 6.15软件进行多元回归拟合,以综合指标为响应值,得到以综合评价指标为目标函数的二次回归方程:

$$Y=0.45-0.027A-6.950\times10^{-3}B-8.000\times10^{-3}C+1.942\times10^{-3}D-0.091A^2-0.065B^2-0.049C^2-0.024D^2-0.012AB+0.018AC-0.034AD-2.000\times10^{-3}BC-0.038BD-0.013CD。$$

该方程的相关系数 $R^2=0.9833$,变异系数(C.V.)为3.05,在可接受范围内。方差分析见表3。

由表3分析结果可知,整体模型极为显著($P<0.0001$),失拟项不显著($P=0.0835>0.05$),说明方程和

表 3 响应面方差分析

Table 3 Analysis of variance of RSM

项目	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	0.096	14	0.006 857	58.978 67	<0.000 1	**
A	8.786×10 ⁻³	1	0.008 786	75.566 49	<0.000 1	**
B	5.796×10 ⁻⁴	1	0.000 58	4.985 363	0.042 4	*
C	7.680×10 ⁻⁴	1	0.000 768	6.605 521	0.022 2	*
D	4.524×10 ⁻⁵	1	4.52×10 ⁻⁵	0.389 114	0.542 8	
AB	5.476×10 ⁻⁴	1	0.000 548	4.709 53	0.047 7	*
AC	1.260×10 ⁻³	1	0.001 26	10.839 33	0.005 3	**
AD	4.604×10 ⁻³	1	0.004 604	39.595 48	<0.000 1	**
BC	1.600×10 ⁻⁵	1	1.6×10 ⁻⁵	0.137 615	0.716 2	
BD	5.852×10 ⁻³	1	0.005 852	50.334 85	<0.000 1	**
CD	7.022×10 ⁻⁴	1	0.000 702	6.040 01	0.027 6	*
残差	1.628×10 ⁻³	14	0.000 116			
失拟项	1.492×10 ⁻³	10	0.000 149	4.387 439	0.083 5	
纯误差	1.360×10 ⁻⁴	4	0.000 034			
总和	0.098	28				

注:* 为显著, $P<0.05$;** 为极显著, $P<0.000 1$ 。

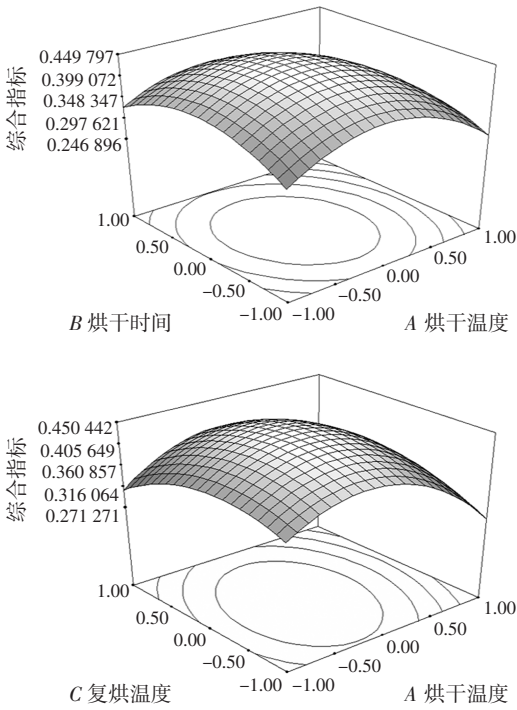
试验拟合较好,可用于菊花最佳烘干工艺的预测^[19-20]。回归模型的校正决定系数 R^2_{Adj} 为 0.966 7,说明有 96.67 %的数据的变异性可由此模型来解释。Adeq Precision 用来检测噪音信号的比率,反映模型的信噪比,比值大于 4 是可行的,本试验 Adeq Precision 为 25.933,信号适中,说明此模型可对试验结果进行准确预测。一次项 A、B、C 对菊花综合指标影响显著,其中 A 因素影响极显著,D 对菊花综合指标影响不显著,此结果与单因素试验结果吻合。二次项 AB、AC、AD、BD、CD 对菊花综合指标均有显著影响,其中 AD、AC、BD 交互影响极显著,BC 交互影响不显著,说明各具体试验因素对响应值的影响不是简单的线性关系,除烘干时间与复烘温度外,其他因素间均存在一定的交互作用,其中烘干温度与复烘时间、烘干时间与复烘时间对菊花综合指标极显著,说明菊花品质与首次烘干温度和总体烘干时间关系密切。由 F 判断,在试验条件范围内:4 个因素对菊花综合指标影响次序为:烘干温度>复烘温度>烘干时间>复烘时间;各因素间交互作用影响次序为:烘干时间与复烘时间>烘干温度与复烘时间>烘干温度与复烘温度>复烘温度与复烘时间>烘干温度与烘干时间>烘干时间与复烘温度。

2.2.2.2 烘干工艺的响应面分析与优化

响应面图形是响应值对各试验因子 A、B、C、D 所

构成的三维空间的曲面图,反应最佳参数及各参数之间的相互作用。用 Design Expert 6.15 软件,依回归方程式绘制响应面图 7。

从图 7 中可以看出,6 个响应面均为开口向下的凸型曲线,说明响应值(综合指标)存在极大值。



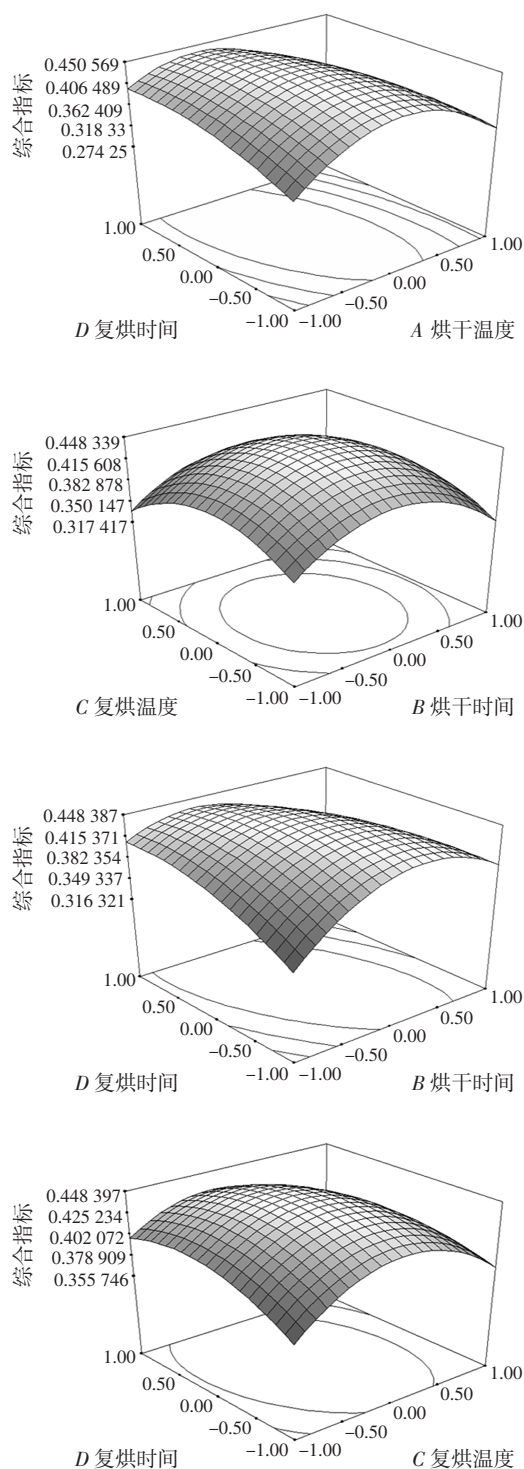


图7 交互因素对菊花综合指标的影响响应面曲线图

Fig.7 Chart on effects of interaction factors on the comprehensive index of chrysanthemum

2.2.2.3 烘干工艺的确定

在选取的各因素范围内,由 Design Expert 6.15 软件分析得出,菊花最佳烘干工艺为:烘干温度 67.8°C ,烘干时间 3.86 h ,复烘温度 58.33°C ,复烘时间 2.35 h ,综合指标预测值为 0.458% 。考虑实际操作的可性,

确定菊花最佳烘干工艺为烘干温度 68°C ,烘干时间 3.9 h ,复烘温度 58°C ,复烘时间 2.4 h 。为验证预测结果的可信度,在该最佳条件下重复3次,得菊花平均综合指标为 0.460% (菊花含绿原酸 0.34% 、木犀草苷 0.2% 、 $3,5\text{-O-}$ 二咖啡酰基奎宁酸含量 0.88% ,水分含量 10.5%),与预测值 0.458% 基本一致(相对误差 0.44%),较单因素最佳烘干工艺得到的菊花综合指标提高了 4.07% 。说明回归方程与实际情况拟合很好,能够真实地反映筛选因素对菊花综合指标的影响,且对菊花品质有一定改善,对菊花烘干工艺的研究具有指导意义。

3 结论

菊花蒸汽杀青 80 s ,菊花绿原酸含量最高,保留率在 92% 。响应面法可用于菊花最佳工艺的优化,通过响应面法得到菊花最佳烘干工艺为:蒸汽杀青 80 s 后于 68°C 烘干 3.9 h ,室温回潮 48 h ,然后再在 58°C 下复烘 2.4 h ,得到的菊花品质较佳,综合指标为 0.460% ,其中绿原酸含量 0.34% ,木犀草苷含量 0.2% , $3,5\text{-O-}$ 二咖啡酰基奎宁酸含量 0.88% ,水分含量 10.5% 。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国药典委员会. 中华人民共和国药典(2015年版):第一部[M]. 北京: 中国医药科技出版社,2015
- [2] 江苏新医学院. 中药大辞典:下册[M]. 上海:上海科技出版社,1997
- [3] Lin L Z, Hamly J M. Identification of the phenolic components of chrysanthemum flower (*Chrysanthemum morifolium* Ramat)[J]. Food Chemistry, 2010, 120(1): 319–326
- [4] 张健,李友宾,钱大伟,等. 菊花化学成分及药理作用研究进展[J]. 时珍国医国药, 2006, 17(10): 1941–1942
- [5] Miyazawa M, Hisama M. Antimutagenic activity of flavonoids from *Chrysanthemum morifolium* [J]. Bioscience Biotechnology and Biochemistry, 2003, 67(10): 2091–2099
- [6] 孔琪,吴春. 菊花黄酮的提取及抗氧化活性研究[J]. 中草药, 2004, 35(9): 1001–1002
- [7] Rajic A, Akihisa T. Inhibition of trypsin and chymotrypsin by anti-inflammatory triterpenoids from Compositae flowers[J]. Planta Medica, 2001, 67(7): 599–604
- [8] Ukiya M, Akihisa T, Tokuda H, et al. Constituents of compositae plants III. anti-tumor promoting effects and cytotoxic activity against human cancer cell lines of triterpene diols and triols from edible chrysanthemum flowers[J]. Cancer Letters, 2002, 177(1): 7–12
- [9] 黄风格, 贡嫣茹, 卫世乾. 菊花干制工艺研究[J]. 南阳师范学院学报, 2012, 11(6): 41–46
- [10] 张晓辛, 肖宏儒, 曹曙明, 等. 利用微波-气流组合干燥技术干燥菊花的试验研究[J]. 农业工程学报, 2000, 16(4): 129–131
- [11] 马桂云, 马艳玲, 吕洁, 等. 不同干燥方法对菊花含量的影响[J].

马铃薯饼干的工艺优化

买玉花,王彩霞,贺晓光*

(宁夏大学 农学院,宁夏 银川 750021)

摘要:为得出最佳马铃薯饼干的工艺条件,试验选取低筋面粉与马铃薯全粉的质量比、黄油的添加量、白砂糖的添加量3个因素,先进行单因素试验确定优化区间,再通过主成分分析法对多个马铃薯饼干品质指标综合建立马铃薯饼干品质评价模型,再以规范化综合评分为评价标准进行响应面试验得出马铃薯饼干的最佳工艺条件。最终优化结果:低筋面粉与马铃薯全粉的质量比7:3,黄油35%,白砂糖35%;在此条件下获得马铃薯饼干的综合得分值为0.81,与理论综合评分值0.7875接近。建立的二次多项式回归模型效果显著且拟合度较好($p<0.001$, $R^2=0.9872$)。说明响应面结合主成分分析法优化主成分分析法对马铃薯饼干的品质的综合优化具有较好的效果。

关键词:马铃薯全粉;响应面方法;主成分分析;饼干;工艺优化

Optimizing of Potato Biscuits Process

MAI Yu-hua, WANG Cai-xia, HE Xiao-guang*

(School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, Ningxia, China)

Abstract: The optimal conditions for three-factor potato biscuits were established. The quality ratio of low gluten flour and potato flour, the amount of sugar, the amount of butter were selected as independent variables. In the first step, the ranges of the variables were determined by one-factor-at-a-time method for optimization. Subsequently, a mathematical model was developed for comprehensive evaluation of the using potato biscuits principal component analysis (PCA). Finally, optimization experiments were carried out based on the comprehensive evaluation using response surface methodology. As a result, the optimal drying conditions were determined as follows: the quality ratio of low gluten flour and potato flour was 7:3, butter 35%, white granulated sugar 35%. The actual measured value was 0.81 which was consistent with the model predicted value was 0.7875. The regression coefficient of the two polynomial regression model established was significant, and had better fit degree ($p<0.0001$, $R^2=0.9872$). In conclusion, the application of principal component analysis combined with response surface method was effective in the optimization of potato.

作者简介:买玉花(1991—),女(回),在读硕士研究生,研究方向:农产品加工。

*通信作者:贺晓光(1963—),男,教授,主要从事食品加工与食品机械方面的教学和科研工作。

- 中国中医药现代远程教育,2012,10(22): 98-99
- [12] 王珊,李友连,苏靖,等. 中国药用菊花品种及加工方法变迁的研究[J]. 中国药理学杂志,2017,52(7): 539-542
- [13] 张明珠. 一种混合植物饮料浸提工艺[J]. 食品研究与开发,2015,36(12): 76-78
- [14] 吕长鑫,纪秀凤,刘苏苏,等. 响应面优化与粒径分析法复配南果梨乳饮料稳定剂[J]. 中国食品学报,2018,18(5): 159-166
- [15] 刘国荣,邱爽,王落琳. 一种双歧杆菌发酵沙棘汁活菌饮料的研制[J]. 食品科技,2018,43(1): 8-14
- [16] 钱镭,任德财,姜涛,等. 响应面法优化紫薯中花色苷的提取工艺[J]. 中国调味品,2018,43(10): 170-175
- [17] 尹琳琳,陈银玲,刘萍. 苋菜红色素的超高压提取工艺及稳定性研究[J]. 食品科技,2018,43(9): 314-320
- [18] 覃珊. 产后加工、采收期和花序不同部位对菊花质量影响的研究[D]. 济南:山东大学,2011
- [19] 刘剑,罗仓学,伍贤密,等. 响应面法优化金花葵籽多糖提取工艺研究[J]. 食品研究与开发,2018,39(1): 25-29
- [20] 邱岚,梁琨,邱学云,等. 响应面分析法优化槐米中芦丁提取工艺[J]. 食品研究与开发,2018,39(2): 97-102

收稿日期:2018-11-14