

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.03.025

甘薯全粉滚筒干燥生产工艺*

段欣 薛文通 张泽俊 张惠 于章龙

(中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083)

【摘要】 选用甘薯(徐薯23)为原料进行滚筒干燥加工工艺的研究,以甘薯全粉的堆积密度及色差值为指标,采用响应面分析法,研究了进料温度、进料质量分数、滚筒转速、滚筒表面温度对滚筒干燥工艺的影响。确定的甘薯全粉滚筒干燥工艺最佳组合为:进料温度 42℃,进料质量分数 13.6%,滚筒转速 3.0 r/min,滚筒表面温度 143℃。该条件下生产的甘薯全粉堆积密度为 0.51 g/mL,多项验证试验值在 95% 的置信区间内很好地符合了预测值,说明利用该模型在实践中进行预测是可行的。

关键词: 滚筒干燥 甘薯全粉 响应面分析 工艺优化

中图分类号: TS235.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)03-0117-06

Production of Sweet Potato Flour with the Method of Drum Dryer

Duan Xin Xue Wentong Zhang Zejun Zhang Hui Yu Zhanglong

(College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract

The technology of processing sweet potato flour using a drum dryer was studied. Effect of the material temperature, material thickness, roller rotating speed, and roller temperature on the technology in which flour color and the cumulate density were taken as response values was analyzed with response surface methodology. For design of process requirement, optimum conditions were as follows: material temperature was 42℃, material thickness was 13.6%, roller rotating speed was 3.0 r/min, and roller temperature was 143℃. Under such conditions, the cumulate density was 0.51 g/mL, which coincided with actual values within the 95% confidence interval. Predictive models are feasible in practice.

Key words Drum dryer, Sweet potato flour, Response surface methodology, Process optimization

引言

甘薯全粉是甘薯脱水制品的一种。以新鲜甘薯为原料,经清洗、去皮、挑选、切片、漂洗、预煮、冷却、蒸煮、捣泥等工艺过程,经脱水干燥而得的细颗粒状、片屑状或粉末状产品统称为甘薯全粉^[1]。

滚筒干燥装置一般由一个或多个内部加热的旋转滚筒组成。浆糊状物料均匀涂布在滚筒外表面,基于筒体与料膜传热间壁的热阻,形成温度梯度,筒内热量传导至料膜,使料膜内的湿分向外转移,当料

膜外表面的蒸汽压力超过环境中的蒸汽分压时,即发生蒸发和扩散作用,从而得到脱水产品。本文中选用导热油为热源介质,涂布在滚筒表面的甘薯料液随滚筒转过一定角度,当含水率达到要求时,被适当位置的刮刀将干燥后的物料刮下,与滚筒分离。在众多干燥方式中,滚筒干燥装置干燥速率高,操作成本低,可连续作业,物料在滚筒表面停留仅 2~30 s^[2]。本文基于上述优点,对甘薯全粉滚筒干燥工艺进行响应面分析,最终得到生产甘薯全粉的最佳组合条件。

收稿日期:2009-03-03 修回日期:2009-03-31

*“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD05A11-3)

作者简介:段欣,硕士生,主要从事农产品加工与贮藏研究,E-mail:duanxin911@163.com

通讯作者:薛文通,教授,博士生导师,主要从事农产品加工与贮藏研究,E-mail:xwt315@hotmail.com

1 材料与方法

1.1 试验材料与设备

甘薯为徐薯 23,北京市大兴甘薯种植基地;柠檬酸,抗坏血酸,氯化钙均为分析纯;食用盐为市售;色差计,CR-300型,万能达香港有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 工艺流程

鲜薯→清洗→去皮→切片→护色→漂洗→蒸制→冷却→磨浆→滚筒干燥→筛分→成品。

1.2.2 操作要领

清洗去皮:采用流动水冲洗,刮去表皮及机械伤害,冲洗干净后浸入护色液中。

护色:根据前期试验得到的护色液(柠檬酸 0.5%,抗坏血酸 0.02%,氯化钙 0.2%,食盐 1.0%)进行切片护色。

蒸制:取 1 200 mL 自来水,在相同的功率下,每次蒸制 155 g 甘薯片(1 cm 厚)10 min。

磨浆:甘薯蒸制后用流动水冷却,配制不同质量分数的甘薯浆液备用。

滚筒干燥:按照一定的投料速度,在一定的滚筒温度,转速下在滚筒筒体表面上涂布成厚约 0.2 ~ 0.3 mm 的薄膜进行干燥,料液经滚筒干燥成薄片由刮刀刮下收集,得到甘薯全粉。产品含水率约为 7%。

1.2.3 料膜厚度的确定

料膜厚度 δ 根据 $\delta = G / (60\rho An)$ 来确定,其中 G 为料液处理量(kg/h), ρ 为料液的密度(kg/m³), A 为有效干燥面积(m²), n 为滚筒转速(r/min)。在本试验中,所采用的单辊筒干燥机的有效干燥面积为 0.47 m²,料膜厚度根据理论计算及实际涂膜效果确定,通过调节双滚筒之间的间隙加于控制,固定厚度后,不再进行调整。干燥物料厚度约为 0.1 ~ 0.3 mm。

1.2.4 色泽

利用色差计对甘薯全粉进行色泽评定。 L 称为明度指数, $L = 0$ 表示黑色, $L = 100$ 表示白色。 $+a$ 表示颜色接近纯红色, $-a$ 表示颜色接近绿色, $+b$ 表示黄色增加, $-b$ 表示蓝色增加。

Lab 表色系不仅可以精确地表示各种色调,也为色差(ΔE)的表示带来了方便。选择色泽评分最好的全粉,并测定其 L 、 a 、 b 值,与样品进行比较^[3], $\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$ 。

1.2.5 堆积密度

测定 10 mL 甘薯全粉的质量,换算出其堆积密度(g/mL)^[4]。

1.2.6 试验设计

在单因素的试验基础上,选择进料温度,进料质量分数,滚筒转速,滚筒表面温度为影响因素,以堆积密度 Y_1 、甘薯全粉的色差 Y_2 为指标,采用四因素三水平的试验设计,对甘薯全粉滚筒干燥工艺进行优化。试验因素编码表如表 1 所示。

表 1 响应面分析因素与水平

Tab.1 Factors and levels value of response surface analysis

水平	因素			
	进料温度 $x_1/^\circ\text{C}$	进料质量分数 $x_2/\%$	滚筒转速 x_3 /r·min ⁻¹	滚筒表面温度 $x_4/^\circ\text{C}$
-1	30	11.6	2.5	125
0	40	13.2	3.0	135
1	50	14.8	3.5	145

1.2.7 数据分析方法

使用 SAS 处理软件对数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 进料温度

控制进料质量分数 11.6%,滚筒表面温度为 150 $^\circ\text{C}$,转速为 3.0 r/min,采用不同进料温度(20、40、60 和 80 $^\circ\text{C}$),试验结果如表 2 所示。

表 2 进料温度对成膜质量的影响

Tab.2 Effect of material temperature to production

进料温度/ $^\circ\text{C}$	对成膜的影响	产粉质量
20	厚薄不均匀,有起泡现象	产粉颜色淡黄,颗粒较粗糙
40	厚薄较均匀,无起泡现象	产粉颜色黄,颗粒较细致
60	厚薄均匀,有起泡现象	产粉颜色较深,感官不好
80	厚薄均匀,无起泡现象	产粉颜色较深,感官不好

根据成膜水平及产粉质量初步选定 40 $^\circ\text{C}$ 作为进料温度。

2.2 进料质量分数

控制进料温度为 40 $^\circ\text{C}$,滚筒表面温度为 150 $^\circ\text{C}$,转速为 3.0 r/min。选用质量分数 6.6%、9.9%、13.2% 和 16.5% 的甘薯浆液,试验结果如表 3 所示。

根据滚筒干燥的效果,初步选定 13.2% 的进料质量分数。

2.3 滚筒转速

筒体转速一方面影响物料成膜厚度,另一方面也决定了物料的干燥时间。在各参数相同的条件下,筒体转速越快,其料膜厚度越小,越有利于提高干燥速率,但同时物料在筒体表面上停留受热时间

就越短,干燥效果越差^[5]。

表3 进料质量分数对成膜质量的影响

Tab.3 Effect of material thickness to production

进料质量 分数/%	滚筒干燥效果
6.6	易产生分层现象,且上料时起泡现象明显
9.9	分层现象不明显,但仍存在起泡现象
13.2	流动性好且无起泡现象
16.5	上料时小转筒粘结现象严重,流动性不好,不利于成膜

因滚筒转至刀口处进行物料收集,故控制滚筒干燥圈数为1,干燥时间与滚筒转速相对应,所以试验中仅将滚筒转速作为变量进行操作。控制进料温度40℃,进料质量分数13.2%,滚筒表面温度为130℃,试验选用1.0 r/min(50 s)、2.0 r/min(30 s)、3.0 r/min(20 s)和4.0 r/min(15 s)4个转速。试验结果如表4所示。

表4 滚筒转速对成膜质量的影响

Tab.4 Effect of rotate speed to production

滚筒转速 /r·min ⁻¹	滚筒干燥效果
1.0	颜色偏红,出粉率低,粉质细腻
2.0	颜色黄,出粉率比4.0 r/min略高,粉质细腻
3.0	颜色黄,出粉率高,粉质细腻
4.0	颜色偏浅,出粉率低,粉质颗粒稍大

根据滚筒干燥的效果,初步选定3.0 r/min的滚筒转速。

2.4 滚筒表面温度

控制进料温度40℃,进料质量分数13.2%,滚筒转速3.0 r/min。选用滚筒表面温度115、125、135和145℃,试验结果如表5所示。

表5 滚筒表面温度对成膜质量的影响

Tab.5 Effect of roller temperature to production

滚筒表面 温度/℃	滚筒干燥效果
115	干燥产品呈非颗粒状,水分含量高
125	干燥产品颗粒度稍大,颜色嫩黄,出粉率偏低
135	干燥产品颗粒度小,流动性好,颜色黄
145	干燥产品与135℃产品颗粒度及流动性差异不大,颜色略深

根据滚筒干燥的效果,初步选定135℃为滚筒表面温度。

2.5 响应面优化滚筒干燥工艺条件

2.5.1 响应面试验方案与结果

试验设计与结果如表6所示。

表6 响应面设计方案和试验结果

Tab.6 Design program and experimental results of RSM

试验序号	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Y ₁ /g·mL ⁻¹	Y ₂
1	-1	-1	0	0	0.382	14.148 6
2	-1	1	0	0	0.397	6.262 1
3	1	-1	0	0	0.345	10.802 4
4	1	1	0	0	0.461	7.567 7
5	0	0	-1	-1	0.325	4.851 1
6	0	0	-1	1	0.467	7.969 1
7	0	0	1	-1	0.458	2.926 2
8	0	0	1	1	0.389	0.893 9
9	-1	0	0	-1	0.421	9.527 2
10	-1	0	0	1	0.401	2.605 4
11	1	0	0	-1	0.397	1.676 5
12	1	0	0	1	0.548	2.685 8
13	0	-1	-1	0	0.310	9.121 3
14	0	-1	1	0	0.414	11.132 5
15	0	1	-1	0	0.362	5.421 4
16	0	1	1	0	0.304	3.984 8
17	-1	0	-1	0	0.369	10.821 9
18	-1	0	1	0	0.312	5.771 8
19	1	0	-1	0	0.301	6.171 8
20	1	0	1	0	0.497	10.100 7
21	0	-1	0	-1	0.433	4.462 5
22	0	-1	0	1	0.411	8.121 1
23	0	1	0	-1	0.425	7.425 3
24	0	1	0	1	0.442	0.196 8
25	0	0	0	0	0.498	3.334 8
26	0	0	0	0	0.495	3.343 2
27	0	0	0	0	0.504	3.341 8

采用SAS程序对所得数据进行回归分析,经回归拟合后,得到回归模型为

$$Y_1 = 0.499 + 0.022 25X_1 + 0.008X_2 + 0.02X_3 + 0.016 583X_4 - 0.044 417X_1^2 + 0.025 25X_1X_2 + 0.063 25X_1X_3 + 0.042 75X_1X_4 - 0.062 542X_2^2 - 0.040 5X_2X_3 + 0.009 75X_2X_4 - 0.084 792X_3^2 - 0.052 75X_3X_4 - 0.008 667X_4^2 \quad (1)$$

$$Y_2 = 3.339 933 - 0.844 342X_1 - 2.244 192X_2 - 0.795 558X_3 - 0.699 725X_4 + 2.904 108X_1^2 + 1.162 95X_1X_2 + 2.244 75X_1X_3 + 1.982 775X_1X_4 + 2.967 183X_2^2 - 0.861 95X_2X_3 - 2.721 775X_2X_4 + 1.782 183X_3^2 - 1.287 575X_3X_4 - 1.446 017X_4^2 \quad (2)$$

2.5.2 响应面试验方差分析

方差分析验证模型及各参数的显著度如表7、8所示。

表7 Y_1 回归模型方差分析

Tab. 7 Variance analysis of items of regression equation

来源	自由度	平方和	均方	比值 F	$P_r > F$	显著性
X_1	1	0.005 941	0.005 941	7.194 913	0.019 951	*
X_2	1	0.000 768	0.000 768	0.930 134	0.353 862	
X_3	1	0.004 800	0.004 800	5.813 337	0.032 848	*
X_4	1	0.003 300	0.003 300	3.996 770	0.068 752	
X_1^2	1	0.010 522	0.010 522	12.743 100	0.003 854	**
X_1X_2	1	0.002 550	0.002 550	3.088 638	0.104 298	
X_1X_3	1	0.016 002	0.016 002	19.380 520	0.000 862	**
X_1X_4	1	0.007 310	0.007 310	8.853 531	0.011 582	*
X_2^2	1	0.020 861	0.020 861	25.265 150	0.000 296	**
X_2X_3	1	0.006 561	0.006 561	7.946 106	0.015 492	*
X_2X_4	1	0.000 380	0.000 380	0.460 525	0.510 254	
X_3^2	1	0.038 345	0.038 345	46.439 700	0.000 100	**
X_3X_4	1	0.011 130	0.011 130	13.479 980	0.003 198	**
X_4^2	1	0.000 401	0.000 401	0.485 162	0.499 364	
模型	14	0.110 380	0.007 884	9.548 718	0.000 186	
误差	12	0.009 908	0.000 826			
总和	26	0.120 288				

表8 Y_2 回归模型方差分析

Tab. 8 Variance analysis of items of regression equation

来源	自由度	平方和	均方	比值 F	$P_r > F$	显著性
X_1	1	8.554 954	8.554 954	2.641 798	0.130 043	
X_2	1	60.436 750	60.436 750	18.663 070	0.000 996	**
X_3	1	7.594 957	7.594 957	2.345 348	0.151 585	
X_4	1	5.875 381	5.875 381	1.814 337	0.202 876	
X_1^2	1	44.980 510	44.980 510	13.890 130	0.002 890	**
X_1X_2	1	5.409 811	5.409 811	1.670 568	0.220 516	
X_1X_3	1	20.155 610	20.155 610	6.224 119	0.028 182	*
X_1X_4	1	15.725 590	15.725 590	4.856 113	0.047 822	*
X_2^2	1	46.955 610	46.955 610	14.500 050	0.002 494	**
X_2X_3	1	2.971 831	2.971 831	0.917 711	0.356 980	
X_2X_4	1	29.632 240	29.632 240	9.150 533	0.010 565	*
X_3^2	1	16.939 610	16.939 610	5.231 009	0.041 144	*
X_3X_4	1	6.631 398	6.631 398	2.047 798	0.177 950	
X_4^2	1	11.151 810	11.151 810	3.443 716	0.088 208	
模型	14	291.653 100	20.832 370	6.433 104	0.001 296	
误差	12	38.859 690	3.238 307			
总和	26	330.512 790				

由于二次回归正交旋转组合试验具有正交性,因此可以直接剔除式(1)、(2)中对试验指标影响不显著的项,得到

$$Y_1 = 0.499 + 0.022 25X_1 + 0.02X_3 - 0.044 417X_1^2 + 0.063 25X_1X_3 + 0.042 75X_1X_4 - 0.062 542X_2^2 - 0.040 5X_2X_3 - 0.084 792X_3^2 - 0.052 75X_3X_4 \quad (3)$$

$$Y_2 = 3.339 933 - 2.244 192X_2 + 2.904 108X_1^2 + 2.244 75X_1X_3 + 1.982 775X_1X_4 + 2.967 183X_2^2 - 2.721 775X_2X_4 + 1.782 183X_3^2 \quad (4)$$

从方差分析表7中可以看出, X_1^2 、 X_1X_3 、 X_2^2 、 X_3^2 、 X_3X_4 的影响高度显著 ($p < 0.01$); X_1 、 X_3 、 X_2X_3 、 X_1X_4 的影响显著 ($p < 0.05$)。由 F 值可以看出,影响滚筒干燥工艺因素从大到小依次为:进料温度、滚筒转速、滚筒表面温度、进料质量分数。

模型的相关系数为 0.917 6,调整复相关指数为 0.821 5。因而该模型拟合程度良好,试验误差小。

从方差分析表8中可以看出, X_2 、 X_1^2 、 X_2^2 的影响高度显著 ($p < 0.01$); X_3^2 、 X_1X_4 、 X_2X_4 、 X_1X_3 的影响显著 ($p < 0.05$)。由 F 值可以看出,以色差为响应

值影响滚筒干燥工艺因素从大到小依次为：进料质量分数、进料温度、滚筒转速、滚筒表面温度。

模型的相关系数为 0.882 4, 调整复相关指数为 0.745 3。因此该模型拟合程度良好, 试验误差小。

2.5.3 响应面交互作用分析与优化

为了进一步研究相关变量之间的交互作用以及确定最优点, 绘制响应面曲线进行直观分析。本文将没有显著性影响的自变量设为零, 观察具有显著性因素间的交互作用。

图 1 反映了在进料质量分数为 13.2%, 滚筒表面温度为 135℃ 的条件下, 进料温度和滚筒转速对甘薯全粉堆积密度影响的响应面曲线。从图 1 中可以看出, 随着进料温度 (X_1) 的提高, 所得甘薯全粉的堆积密度随之增大, 但当自变量编码值大于 0.5 时 (即自变量真实值大于 45℃), 堆积密度随着进料温度的提高而降低。同时, 当滚筒转速的编码值 (X_3) 取 0 ~ 0.5 时 (自变量真实值为 3.0 ~ 3.25 r/min) 所得甘薯全粉的堆积密度得到最大值。从图 1 中可以看出, 甘薯全粉生产的优化条件是: 进料温度为 40 ~ 47℃; 滚筒转速为 3.0 ~ 3.25 r/min。

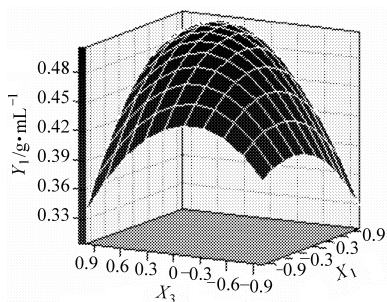


图 1 进料温度和滚筒转速对甘薯全粉堆积密度影响的响应面曲线

Fig. 1 Response surface of the effects of material temperature and roller rotate speed to the cumulate density of sweet potato flour

图 2 反映了在进料温度为 40℃, 滚筒表面温度为 135℃ 的条件下, 进料质量分数和滚筒转速对甘薯全粉色差影响的响应面曲线。从图 2 可以看出, 随着进料质量分数 X_2 的提高, 所得甘薯全粉的色差值与标准全粉的差异就越小, 但当自变量编码值达到 0.3 ~ 0.5 时 (自变量真实值为 13.68% ~ 14%) 色差值最好, 当进料质量分数大于 14% 时, 鉴于滚筒干燥过程中相对干燥量增大, 与对照样品的色泽差异也会增大。同时从图中可以看出, 当滚筒转速的编码值 (X_3) 取 0 ~ 0.5 时 (自变量真实值为 3.0 ~ 3.25 r/min) 所得甘薯全粉色差值与对照样品取值相近。当滚筒转速大于 3.25 r/min 或小于 3.0 r/min 时, 产品的干燥时间均相对过短或过长, 使其色

差值与对照样品有较大差异。由于从图 2 中可以得到, 甘薯全粉生产的优化条件是: 进料质量分数为 13.68% ~ 14%; 滚筒转速为 3.0 ~ 3.25 r/min。

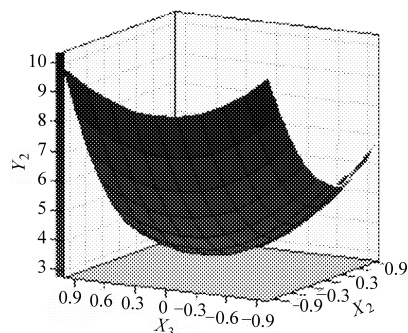


图 2 进料质量分数和滚筒转速对甘薯全粉色差影响的响应面曲线

Fig. 2 Response surface of the effects of material thickness and roller rotate speed to the color of sweet potato flour

图 3 反映了在进料质量分数为 13.2%, 滚筒表面温度为 135℃ 的条件下, 进料温度和滚筒转速对甘薯全粉色差影响的响应面曲线。从图 3 可以看出, 随着进料温度 (X_1) 的提高, 所得甘薯全粉的色差与标准全粉的差异先减小后增大, 当自变量编码值达到 0 ~ 0.2 时 (自变量真实值为 40 ~ 41℃) 色差值最好。同时从图中可看出, 当滚筒转速编码值 (X_3) 取 0 ~ 0.3 时 (自变量真实值为 3.0 ~ 3.15 r/min) 所得甘薯全粉的色差值与对照样品取值相近。当滚筒转速大于 3.15 r/min 或小于 3.0 r/min 时, 产品的干燥时间均相对过短或过长, 使其色差值与对照样品有较大差异。因此, 从图 3 可以得出, 甘薯全粉生产的优化条件是: 进料温度为 40 ~ 41℃; 滚筒转速为 3.0 ~ 3.15 r/min。

要使两个响应值同时对各个条件分别进行独立的优化从而达到最优是不能实现的。为了进一步确

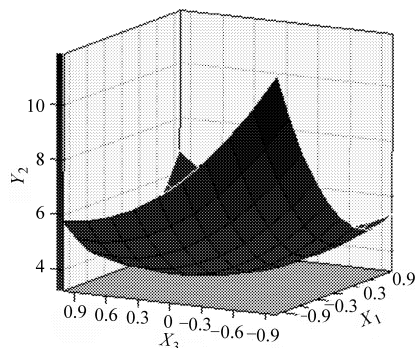


图 3 进料温度和滚筒转速对甘薯全粉色差影响的响应面曲线

Fig. 3 Response surface of the effects of material temperature and roller rotate speed to the color of sweet potato flour

证最佳点的值,分别对回归方程取一阶偏导数等于零并整理得到:

堆积密度为指标的最佳点: $X_1 = 0.52499$, $X_2 = 0.18536$, $X_3 = 0.00938$, $X_4 = 0.83063$ 。换算得到进料温度 45.2°C , 进料质量分数 13.5% , 滚筒转速 3.0 r/min , 滚筒表面温度 143.3°C 。

色差为指标的最佳点: $X_1 = -0.16664$, $X_2 = 0.42157$, $X_3 = 0.27765$, $X_4 = 0.84701$ 。换算得到进料温度 38.3°C , 进料质量分数 13.8% , 滚筒转速 3.1 r/min , 滚筒表面温度 143.4°C 。

对回归模型进行数学分析,可得到两个响应值

所对应的因素条件,达到最大的堆积密度和最好的色泽的因素条件并不完全一致。这说明两个响应值之间相互制约。考虑各因素对响应值的影响顺序选择最优工艺条件为:进料温度 42°C , 进料质量分数 13.6% , 滚筒转速 3.0 r/min , 滚筒表面温度 143°C 。

2.5.4 验证试验

采用上述优化后的工艺条件进行验证试验,并对式(3)、(4)在不同条件下进行模型正确性的验证,本试验选取3个不同条件,依次为编码值 $X_1 = X_2 = X_3 = X_4 = 0.5$, $X_1 = X_2 = X_3 = X_4 = 0.1$ 及 $X_1 = X_2 = X_3 = X_4 = -0.5$,如表9所示。

表9 验证试验结果

Tab.9 Results of validate experiment

试验序号	模型计算值		试验值		模拟绝对误差/%		模拟相对误差/%	
	$Y_1/\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$	Y_2	$Y_1/\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$	Y_2	Y_1	Y_2	Y_1	Y_2
1	0.4754	4.5076	0.4673	4.6005	0.0081	0.0929	1.70	2.02
2	0.5014	3.1893	0.5102	3.1699	0.0088	0.0194	1.75	0.61
3	0.4331	6.7518	0.4289	6.6979	0.0042	0.0539	0.97	0.80
4(优化条件)	0.5149	2.5511	0.5124	2.5002	0.0025	0.0509	0.48	1.99

在3个任选条件下得出的验证结果与理论值拟合均较好,且优化条件下的验证试验在95%的置信区间内也很好地符合了预测值。说明采用响应面优化得到的工艺条件参数准确可靠,按照建立的模型进行预测在实践中是可行的。

3 结论

(1)各因素对甘薯全粉堆积密度的影响顺序依次为:进料温度、滚筒转速、滚筒表面温度、进料质量

分数;各因素对甘薯全粉色泽的影响顺序依次为:进料质量分数、进料温度、滚筒转速、滚筒表面温度。

(2)利用响应面分析优化滚筒干燥甘薯全粉的工艺条件为:进料温度 42°C , 进料质量分数 13.6% , 滚筒转速为 3.0 r/min , 滚筒表面温度为 143°C 。该条件下制备的甘薯全粉与样品色差小,堆积密度为 0.51 g/mL ,试验值在95%的置信区间内很好地符合预测值。说明利用本文建立的模型的优化结果与实际情况吻合。

参 考 文 献

- 周虹,张超凡.甘薯全粉的加工与应用[J].湖南农业科学,2006(5):106~108.
- 凌恩福.单辊筒蒸汽干燥机干燥苦荞麦片机理及工艺探讨[J].食品与机械,1995,48(4):29~31.
Ling Enfu. Principle and technology to dry India buckwheat groots by single roller steam dryer[J]. Food & Machinery, 1995, 48(4): 29~31. (in Chinese)
- 李里特.食品物性学[M].北京:中国农业出版社,1998:323~324.
- 马先英,赵世明,林艾光.不同干燥方法对胡萝卜复水性及品质的影响[J].大连水产学院学报,2006,21(2):158~161.
Ma Xianying, Zhao Shiming, Lin Aiguang. Effects of different drying methods on rehydration and quality of carrots[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2006, 21(2):158~161. (in Chinese)
- 叶云花,刘成梅,刘伟.高膳食纤维速溶藕粉的加工工艺[J].食品科技,2004(3):34~36.
Ye Yunhua, Liu Chengmei, Liu Wei. Drum-dried processing of high dietary-fibered lotus root power[J]. Food Science & Technology, 2004(3):34~36. (in Chinese)