

文章编号: 1673-2383(2015)04-0091-05

网络出版网址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/41.1378.N.20150826.1415.034.html>

网络出版时间: 2015-8-26 14:15:31

枸杞变温压差膨化干燥工艺优化研究

贾文婷¹, 赵强文², 杨 慧¹, 吴洪斌¹, 吴 宏¹, 金新文^{1*}

(1. 新疆农垦科学院 农产品加工研究所, 农产品加工重点实验室, 新疆 石河子 832000;
2. 玛纳斯县早卡子滩乡 农业技术推广站, 新疆 昌吉 832200)

摘要:为优化枸杞变温压差膨化干燥的工艺,在前期单因素试验的基础上,采用三因子二次回归正交旋转组合设计,分析预干燥含水率、膨化温度和抽空时间对产品脆度、水分含量和色泽的影响,根据试验数据得到这几个指标的二次回归模型,进行响应面分析与优化.结果表明,预干燥含水率、膨化温度、抽空时间对膨化产品的脆度、水分含量、色泽均有显著影响.枸杞变温压差膨化干燥的最佳工艺是:预干燥含水率 20%,膨化温度 66.6 °C,抽空时间 120 min.

关键词:枸杞;变温压差膨化干燥;工艺;优化

中图分类号: TS201.2 文献标志码: B

DOI:10.16433/j.cnki.issn1673-2383.2015.04.039

0 引言

枸杞是茄科植物枸杞的浆果,传统医学认为枸杞具有润肺、清肝、滋肾、益气、生精、助阳、补虚劳、强筋骨、祛风骨、明目等功能^[1-2].

枸杞是新疆地区非常具有优势特色的林果产品.目前,新疆地区枸杞除极少量鲜食外,大部分用于制干加工,另外还有少量用于枸杞饮料、枸杞酒等的生产^[3-4].从总体上看,附加值较高、增值空间较大的深加工产品所占比重较小,一些先进技术如变温压差膨化干燥技术等,尚未在新疆特色果蔬上得到应用,发展潜力较大.

近几年,变温压差膨化干燥技术逐渐兴起,作为一种新型的干燥技术,它具有环保、节能的优点,适用于生产非油炸型果蔬脆片.这种新型的果蔬干燥方式结合了热风干燥和真空冷冻干燥的优点,同时克服了油炸的缺点,在果蔬干燥中具有十分广阔的应用前景^[5-6].但由于影响果蔬变温压差膨化干燥的因素很多,膨化前原料的预干燥水分含量、膨化温度和抽真空时间等重要参数对产品品质的影响尚未完全摸清,有待进一步研究.

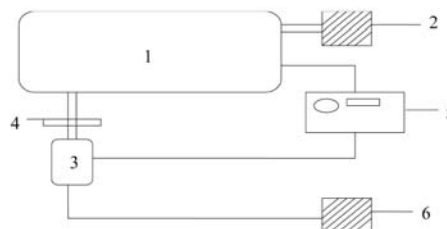
1 材料与方法

1.1 材料与仪器设备

新鲜枸杞:购自新疆石河子市农贸市场.

智能型电热恒温鼓风箱:DHG-9070B,上海琅玕实验设备有限公司;顶开式转换型冷藏冷冻柜:BC/BD-560FA,青岛澳柯玛股份有限公司;真空包装机:DZ-500/2s,山东省诸城市海诺机械有限公司;水分快速测定仪:MB45,美国奥豪斯;色彩色差仪:CR-400,柯尼卡美能达;物性分析仪:TMS-Pro,美国 FTC 公司;变温压差膨化干燥设备:QDPH-20 型,天津勤德新材料科技有限公司.

果蔬变温压差膨化干燥设备简图见图 1.



(1.真空罐;2.真空泵;3.膨化罐;4.泄压阀;5.控制面板;
6.空气压缩机)

图 1 果蔬变温压差膨化干燥设备简图
Fig. 1 Explosion puffing drying equipment for fruits and vegetables on modified temperature and pressure

收稿日期:2015-04-16

基金项目:新疆农垦科学院引导计划(71YYD201408);新疆生产建设兵团科技援疆项目(2013AB020)

作者简介:贾文婷(1987-),女,河北鹿泉人,助理研究员,主要从事农产品加工与贮藏研究.

*通信作者

1.2 试验方法

1.2.1 工艺流程

挑选原料→清洗→预干燥→除去不可食部分→回软→变温压差膨化干燥→冷却→充氮气包装.

1.2.2 操作要点

(1)原料的选择:选择新鲜、饱满且色泽鲜艳的枸杞.

(2)清洗:用流动水清洗枸杞表面的灰尘和杂质.

(3)预干燥:采用热风干燥,干燥温度 60 ℃,预干燥至枸杞含水率在 20%~40%.

(4)除去不可食部分:用鼓风机吹走枸杞叶片和杂质.

(5)回软:将预干燥好的枸杞装入密封袋,放置于 0~4 ℃条件下回软 12 h.

(6)包装:采用充氮气包装,避免产品回潮.

1.3 检测方法

1.3.1 含水率的测定

采用 GB/T 5009.3—2003 直接干燥法^[7].

1.3.2 脆度的测定

采用质构仪.球型探头,测试前速率 6.0 mm/s,测试速率 4.0 mm/s,测试后速率 2.0 mm/s,测试距离 4.0 mm,测试时间 60 s,数据采集速度 400 次/s.产品的脆度由测试峰数的多少来表示,峰数越多,产品的脆度越好^[8].

1.3.3 色泽的测定

采用色彩色差计.用白板校正仪器,测量样品的明度指数 L^* . L^* 表示明暗,其值越大,产品的亮度越好,它能间接地反映产品色泽的好坏^[9].

1.4 试验设计

选取原料预干燥后含水率(X_1)、膨化温度(X_2)及抽真空时间(X_3)作为自变量,产品的脆度(Y_1)、水分含量(Y_2)及色泽(Y_3)作为因变量,其他工艺参数固定为:膨化时间 30 min,抽空温度 50 ℃,膨化压力差 0.2 MPa.根据前期单因素试验的结果,确定最佳值,将其编码值设定为 0 水平,进行三因子二次回归正交旋转组合试验,各因子的水平设置及编码值见表 1.

表 1 因素与水平编码

Table 1 Coding of factors and levels

编码值	X_1 (预干燥含水率)/%	X_2 (膨化温度)/℃	X_3 (抽真空时间)/min
-1	20	50	60
0	30	60	90
1	40	70	120

1.5 统计分析

采用 Design expert 8.0.6 对试验数据进行处理分析.

2 结果与分析

2.1 试验方案及结果

取新鲜枸杞干燥至不同含水率,在冰箱内回软 12 h 后均匀地摆放于托盘上,放入膨化罐内,关闭罐门,在控制面板上设置好膨化温度,之后通入蒸汽对管道进行加热,当升至所需的膨化温度时开始计时,加热 30 min 后,开启泄压阀,原料瞬间被抽真空,将抽空温度降至 50 ℃,在此温度下抽真空处理 60~120 min,然后关闭泄压阀,停止抽真空,同时关闭蒸汽加热,通入冷却循环水将温度降至 25~30 ℃,维持 10 min,让产品定型,之后打开常压阀,待压力恢复到常压状态后打开膨化罐舱门,取出样品.测定膨化产品的脆度、水分含量和色泽,其结果见表 2.

表 2 试验设计及结果

Table 2 Experimental designs and results

序号	X_1 /%	X_2 /℃	X_3 /min	Y_1 /个	Y_2 /%	Y_3
1	-1	-1	0	142.79	10.51	77.06
2	1	-1	0	45.38	25.10	64.40
3	-1	1	0	192.17	12.39	73.57
4	1	1	0	162.81	13.18	75.49
5	-1	0	-1	119.01	14.40	74.48
6	1	0	-1	32.84	16.70	67.40
7	-1	0	1	228.90	6.04	76.49
8	1	0	1	211.59	10.15	80.20
9	0	-1	-1	12.79	29.70	63.05
10	0	1	-1	21.62	25.49	63.38
11	0	-1	1	187.57	13.30	74.45
12	0	1	1	211.63	10.15	80.18
13	0	0	0	234.42	8.58	83.59
14	0	0	0	213.19	8.52	82.79
15	0	0	0	204.59	8.79	84.63
16	0	0	0	205.21	8.74	82.75
17	0	0	0	203.00	8.97	81.51

2.2 回归方程及参数分析

采用 Design expert 8.0.6 对表 2 的数据进行分析,得到 X_1 、 X_2 、 X_3 编码值与 Y_1 、 Y_2 、 Y_3 编码值之间的多元二次回归方程式,如式(1)~(3)所示.

$$Y_1 = 212.08 - 28.77X_1 + 24.95X_2 + 81.68X_3 + 17.00X_1X_2 + 17.25X_1X_3 + 3.80X_2X_3 - 18.32X_1^2 - 57.96X_2^2 - 45.71X_3^2; \quad (1)$$

$$Y_2=8.73+2.73X_1-2.18X_2-5.83X_3-3.45X_1X_2+0.46X_1X_3+0.27X_2X_3-0.64X_1^2+7.19X_2^2+3.73X_3^2; \quad (2)$$

$$Y_3=83.08-1.76X_1+1.71X_2+5.38X_3+3.64X_1X_2+2.69X_1X_3+1.36X_2X_3-3.05X_1^2-7.42X_2^2-5.40X_3^2. \quad (3)$$

分析多元二次回归方程式的回归系数与变量,结果见表 3.

表 3 二次回归方程的回归系数及变量分析

Table 3 Regression coefficients and variable analysis of quadratic regression equations

变异来源	脆度 Y_1	水分含量 Y_2	色泽 Y_3
	212.08	8.73	83.08
X_1	-28.77**	2.73*	-1.76
X_2	24.95*	-2.18*	1.71
X_3	81.68***	-5.83***	5.38***
X_1X_1	-18.32	-0.64	-3.05*
X_2X_2	-57.96**	7.19***	-7.42***
X_3X_3	-45.71**	3.73*	-5.40**
X_1X_2	17.00	-3.45*	3.64*
X_1X_3	17.25	0.46	2.69*
X_2X_3	3.80	0.27	1.36
决定系数 R^2	0.961 9	0.938 9	0.958 3

注:*代表显著水平 <0.05;**代表显著水平 <0.01;***代表显著水平 <0.001.

从表 3 可以看出,所有方程的决定系数 R^2 均大于 0.9,说明自变量与应变量之间的多元回归关系显著,因此该试验的结果具有意义且误差较小^[10].通过对表 3 的分析可知,影响 Y_1 的主次顺序为 $X_3>X_1>X_2$,其中 X_1 、 X_3 极显著, X_2 显著;影响 Y_2 的主次顺序为 $X_3>X_1>X_2$,其中 X_3 极显著, X_1 、 X_2 显著;影响 Y_3 的主次顺序为 $X_3>X_1>X_2$,其中 X_3 极显著, X_1 、 X_2 不显著.

2.3 优化试验的响应面分析

利用专业数据分析软件,依次输入试验结果,

固定其中 1 个因素为 0 水平,得到其他 2 个因素的回归方程及响应面图.得出的交互效应方程式(4) — (12) 所示.

$$Y_1(1,2)=192.83-28.77X_1+24.95X_2+17.00X_1X_2-20.72X_1^2-60.37X_2^2; \quad (4)$$

$$Y_1(1,3)=187.67-28.77X_1+81.68X_3+17.25X_1X_3-21.37X_1^2-48.77X_3^2; \quad (5)$$

$$Y_1(2,3)=204.37+24.95X_2+81.68X_3+3.80X_2X_3-58.93X_2^2-46.68X_3^2; \quad (6)$$

$$Y_2(1,2)=10.31+2.73X_1-2.18X_2-3.45X_1X_2-0.44X_1^2+7.39X_2^2; \quad (7)$$

$$Y_2(1,3)=11.76+2.73X_1-5.83X_3+0.46X_1X_3-0.26X_1^2+4.11X_3^2; \quad (8)$$

$$Y_2(2,3)=8.46-2.18X_2-5.83X_3+0.27X_2X_3+7.16X_2^2+3.70X_3^2; \quad (9)$$

$$Y_3(1,2)=80.80-1.76X_1+1.71X_2+3.64X_1X_2-3.33X_1^2-7.70X_2^2; \quad (10)$$

$$Y_3(1,3)=79.95-1.76X_1+5.38X_3+2.69X_1X_3-3.44X_1^2-5.79X_3^2; \quad (11)$$

$$Y_3(2,3)=81.79+1.71X_2+5.38X_3+1.36X_2X_3-7.58X_2^2-5.56X_3^2. \quad (12)$$

2.3.1 3 个因素对膨化产品脆度的影响

预干燥含水率、膨化温度及抽空时间对膨化产品脆度的影响如图 2 所示.从图 2(a)可以看出,当 X_3 编码值一定时, Y_1 随 X_1 的增大呈缓慢减小趋势,随 X_2 的升高呈增大趋势,到最大值时,又开始降低;从图 2(b)可以看出,当 X_2 编码值一定时, Y_1 随 X_1 的增大呈减小趋势,随 X_3 的增大呈单调递增趋势;从图 2(c)可以看出, X_2 与 X_3 交互作用显著, Y_1 随 X_2 、 X_3 的增大而升高.综合分析这可能是因为产品预干燥含水率越大,膨化产品的脆度越小,随膨化温度和抽空时间的升高,产品的脆度逐渐增大,膨化温度和抽空时间到达一定高度时,产品发生焦糊硬化,最终脆度降低.

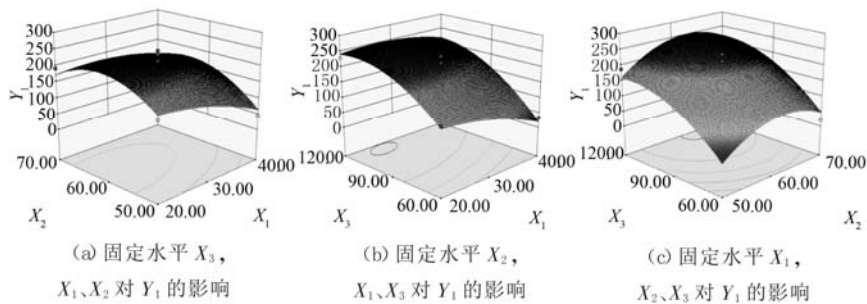


图 2 三因素对膨化产品脆度的影响

Fig. 2 Effect of three factors on the crisp of explosion puffed products

2.3.2 3 个因素对膨化产品水分含量的影响

预干燥含水率、膨化温度、抽空时间对膨化产

品水分含量的影响如图 3 所示.从图 3(a)可以看出,当 X_3 编码值一定时, Y_2 随 X_1 的增大呈升高趋

势, 随 X_2 的增大呈先降低后升高的趋势; 从图 3 (b) 可以看出, 当 X_2 编码值一定时, Y_2 随 X_1 的增大而增大, 随 X_3 的增大而减小; 从图 3 (c) 可以看出, 当 X_1 编码值一定时, Y_2 随 X_2 的增大呈先下降后上升趋势, 随 X_3 的增大呈先下降后升高的趋势。

综合分析得出, 产品预干燥含水率越高, 最终膨化产品的水分含量越高; 随膨化温度的上升和抽空时间的延长, 膨化产品水分含量呈逐渐降低的趋势, 这是因为物料在膨化过程中, 细胞中的水分逐渐转变为水蒸气, 物料中的水分含量不断减少^[11]。

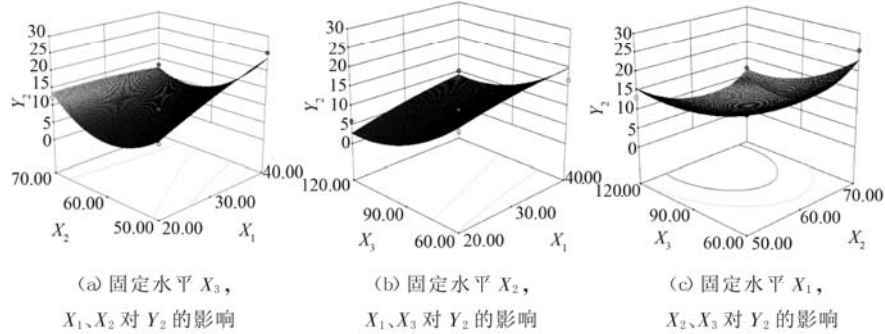


图 3 三因素对膨化产品水分含量的影响

Fig. 3 Effect of three factors on water content of explosion puffed products

2.3.3 3 个因素对膨化产品色泽的影响

预干燥含水率、膨化温度、抽空时间对膨化产品色泽的影响如图 4 所示. 从图 4 (a) 可以看出当 X_3 编码值一定时, Y_3 随 X_1 的增大无显著变化, 随 X_2 的增大呈先升高后降低的趋势; 从图 4 (b) 可以看出, 当 X_2 编码值一定时, Y_3 随 X_1 的增大无显著变化, 随 X_3 的增大而增大, 到一定编码值时, 又逐渐降低; 从图 4 (c) 可以看出, 当 X_1 编码值一定时,

X_2 与 X_3 的交互作用显著, Y_3 随 X_2 、 X_3 的增大呈先上升后下降趋势, 在较低编码水平上有交互最小值. 通过以上分析得出, 随着预干燥含水率的上升, 产品的色泽无显著变化. 随着膨化温度的升高, 产品的 L^* 值先上升后下降, 这可能是因为过高的温度会造成产品糊化, 使 L^* 值降低. 随抽空时间的不断延长, 产品 L^* 值呈上升趋势, 达到最大值后又开始下降.

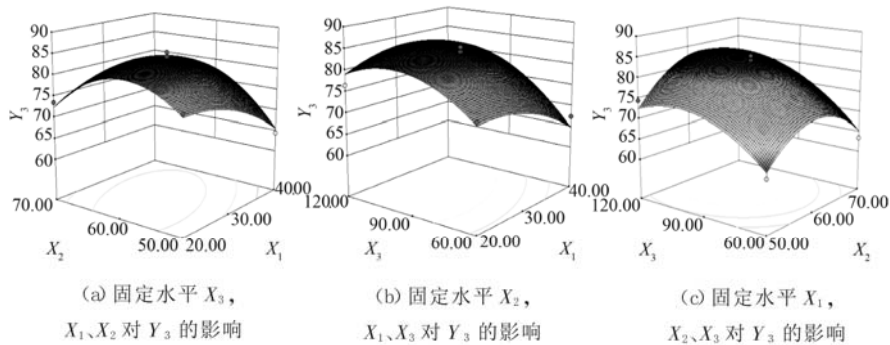


图 4 三因素对膨化产品色泽的影响

Fig. 4 Effect of three factors on the color of explosion puffed products

3 讨论与结论

(1) 本试验中, 二次回归方程的决定系数 R^2 值接近 1, 说明方程对试验的拟合程度较高, 试验误差较小, 精确度较高; 方程中自变量与应变量之间的多元回归关系显著, 说明该模型对本试验有意义^[12-14]。

(2) 通过响应面分析得出结论: 在试验设定的范围内, 随产品预干燥含水率的升高, 脆度降低, 水分含量增加, 代表产品色泽的明度指数 L^* 值

无显著变化; 随膨化温度的升高, 产品的脆度增加, 水分含量降低, L^* 值先上升后下降; 随抽空时间的增加, 产品脆度增大, 水分含量降低, L^* 值上升. 根据感官评价的优先顺序, 产品色泽 > 脆度 > 水分含量^[15], 通过专业数据软件对膨化产品的脆度 Y_1 、水分含量 Y_2 、色泽 Y_3 进行优化, 控制膨化产品的水分含量在 7% 以下, 得到一系列的水平编码组合, 从中选出最佳的工艺参数组合, 即预干燥含水率 $X_1=20\%$, 膨化温度 $X_2=66.6\text{ }^\circ\text{C}$, 抽空时间 $X_3=120\text{ min}$.

参考文献:

- [1] 贾树铭.药食同源的枸杞和山药[J].医古文知识,2000(3):16-17.
- [2] 谢月英.枸杞子的药用价值及资源开发[J].特种经济动植物,2003,8(7):25-29.
- [3] 邹燕.新疆三地州特色林果业产业化发展中的问题及对策探析[J].绵阳师范学院学报,2011(6):42-45.
- [4] 薛立文,李以暖.枸杞子的营养和保健功能[J].广东微量元素科学,2000(6):1-4.
- [5] Varnalis A I, Brennan J G, MacDougall D B. A proposed mechanism of high-temperature puffing of puffing. Part I. The influence of blanching and drying condition on the volume of puffed cubes [J]. Journal of Food Engineering, 2001, 48:361-367.
- [6] Andres A, Bilbao C, Fito P. Drying kinetics of apple cylinders under combined hot air microwave dehydration [J]. Journal of Food Engineering, 2004, 63:71-78.
- [7] GB/T 8858—1988, 水果、蔬菜产品中干物质和水分含量的测定方法[S].
- [8] 张余.花生蛋白挤压组织化技术及其机理研究[D].杨凌:西北农林科技大学食品学院,2007.
- [9] Nath A, Chattopadhyay P K. Optimization of oven toasting for improving crispness and other quality attributes of ready to eat potato-soy snack using response surface methodology [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80:1282-1292.
- [10] 毕金峰,于静静,丁媛媛,等.响应面法优化冬枣变温压差膨化干燥工艺研究[J].中国食品学报,2011(6):121-128.
- [11] Peleg M. A mathematical model of crunchiness/crispness loss in breakfast cereals [J]. Journal of Texture Studies, 1994, 25:403-410.
- [12] Sullivan J F, Craig J C. The development of explosion puffing [J]. Food Technology, 1984, 38(2):52-55.
- [13] Sullivan J F, Egoville M J, Konstance R P, et al. Storage stability of continuous explosion puffed potatoes [J]. Food Science and Technology, 1983, 16(2):76.
- [14] 毕金峰,魏益民.果蔬变温压差膨化干燥技术研究进展[J].农业工程学报,2008,24(6):308-312.
- [15] Sullivan J F, Craig J C, Konstance R P, et al. Continuous explosion-puffing of apples [J]. Journal of Food Science, 1980, 45(1):1550-1555.

OPTIMIZATION OF THE PROCESS OF VARIABLE TEMPERATURE AND PRESSURE EXPLOSION PUFF DRYING TECHNOLOGY FOR WOLFBERRY

JIA Wen-ting¹, ZHAO Qiang-wen², YANG Hu¹, WU Hong-bin¹, WU Hong¹, JIN Xin-wen¹

(1. Institute of Agro-Products Processing, Key Laboratory of Agro-Products Processing, Xinjiang Academy of Agricultural and Reclamation Science, Shihezi 832000, China;

2. Agricultural Technology Extension Station of Manasi County, Changji 832200, China)

Abstract: Variable temperature and pressure explosion puffing drying technology, which combines the advantages of hot-air drying and vacuum freeze drying, is a new drying technology and applicable to the production of non-fried fruit and vegetable chips. The present study was to investigate the optimized process of explosion puffing drying technology on wolfberry at variable temperature and pressure. Based on the single factor experiment, central composite rotatable design (CCRD) was adopted to analyze the effect of water content before puffing (X_1), puffing temperature (X_2) and vacuum drying time (X_3) on the crispness (Y_1), water content after puffing (Y_2) and color (Y_3) of products. The quadratic regression model of these indexes were deduced and the variables were analyzed with response surface methodology (RSM). The results showed that the water content before puffing, puffing temperature and vacuum drying time had significantly effect on the crisp degree, water content and color of the puffed products. The optimized process of variable temperature and pressure explosion puffing drying technology for wolfberry were as follows: water content of 20% before puffing, puffing temperature of 66.6 °C and vacuum drying time of 120 min.

Key words: wolfberry; explosion puffing drying; technology; optimization