

微波干制紫心甘薯片的工艺优化研究

江 宁^{1,2}, 陶明宣¹, 金邦荃¹, 刘春泉², 李大婧²

(1 南京师范大学 金陵女子学院, 江苏 南京 210097;

2 江苏省农业科学院 农产品加工研究所, 江苏 南京 210014)

[摘要] 采用三因子二次回归正交旋转组合设计, 分析发射功率、切片厚度和每次前期干燥时间 3 个变量对产品色泽及色素含量的影响, 据此导出二次回归模型, 并对变量进行响应面分析. 采用非线性规划对两指标进行目标优化, 得出各目标函数的发射功率、切片厚度、每次前期干燥时间的最优组合, 并利用功效系数法将 3 因素对 2 指标的影响进行了综合优化. 结果表明参数的最佳组合为: 微波功率 496W、切片厚度 6mm、每次前期干燥时间 35 s

[关键词] 微波, 干制, 紫心甘薯, 工艺, 优化

[中图分类号] TS215 [文献标识码] A [文章编号] 1672-1292(2009)03-0088-05

Optimizing Technical Conditions for Microwave Drying Purple Sweet Potato Slices

Jiang Ning^{1,2}, Tao Mingxuan¹, Jin Bangquan¹, Liu Chunquan², Li Dajing²

(1 Jingling College, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China

2 Institute of Processing Agriculture Product, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract A three-factor central composite rotatable design (CCRD) was adopted at variable power output, thickness of slices and every prophase drying time. Color and the pigment content were analyzed based on the experimental data, the quadratic regression model was deduced, and then variables were analyzed with response surface methodology (RSM). Nonlinear programming is adopted to optimize the parameters, the better combinations of parameters, power output, slice thickness, every prophase drying time on two indexes were obtained. Efficacy coefficient methodology optimization of 3 factors on 2 indexes was conducted, and the better combinations of parameters were also obtained. The results showed the optimum processing parameters were as that the microwave power output selected at 496 W, materials sliced to 6 mm, and every prophase drying time controlled at 35 s.

Key words microwave drying, purple sweet potato, technique, optimization

紫心甘薯又称黑薯, 薯形为长纺锤形, 薯皮紫黑光亮, 薯块切开后有紫色浆液, 因薯皮、薯肉呈紫红色而得名. 紫心甘薯含有丰富的维生素 A、维生素 B₂、胡萝卜素、维生素 C 和钙、磷、铁、硒等矿物质, 还含有甲基花青素、绿原酸和黏膜蛋白. 据日本学者须田郁夫等研究表明, 紫心甘薯具有极强的抗氧化性, 去除活性氧, 可预防高血压、改善肝功能、减少基因突变、抑制诱癌物质的产生和改善视力等保健作用^[1]. 因此紫心甘薯具有营养价值高、保健功能强的特点. 目前, 胡萝卜、生姜、大蒜和马铃薯等一些根茎类蔬菜的脱水蔬菜产品, 主要是采用分段热风干燥的加工工艺^[2], 不仅干燥时间长, 且对蔬菜的营养成分破坏严重. 微波作为一种电磁波, 可产生高频电磁场, 介质材料中的极性分子在电磁场中随着电磁场的频率不断改变极性取向, 使分子来回振动, 产生摩擦热, 从而达到干燥的目的. 在果蔬加工领域中利用微波干燥技术具有能量利用率高、干燥速度快、生产效率高、干燥品质好、产品复水性好, 兼具杀菌作用等优点, 相比于其它干燥方法, 其在对果蔬的外观、微结构及营养成分的保持等方面占很大优势^[3]. 杨芙莲、王金双和王喜鹏^[4-6]等已对马铃薯和胡萝卜等进行了微波干制研究, 尚未有关于微波干制紫心甘薯的报道. 本实验在前期单因素

收稿日期: 2007-04-18

基金项目: 江苏省农业科技自主创新基金 (CX(07)611)、(CX(08)146)资助项目.

通讯联系人: 金邦荃, 博士, 教授, 研究方向: 食品科学. E-mail: jinbangquan@njnu.edu.cn

实验基础上,采用响应曲面法对微波干制紫心甘薯片工艺进行优化,以期通过确定最佳工艺参数,生产出高品质的紫心甘薯片.

1 材料与方法

1.1 试验材料

紫心甘薯:品种宁紫薯 1号,由江苏省农业科学院农产品加工研究所提供.

1.2 仪器与设备

微波炉:MA—2270EGC型,青岛海尔微波制品有限公司;数显电热鼓风干燥箱:101A—2型,上海浦东荣丰科学仪器有限公司;电子天平:CBC—6200型,昆山钰恒电子衡量器有限公司;色差仪:WSC—S型,上海精密科学仪器有限公司.

1.3 试验方法

1.3.1 工艺流程

紫心甘薯→清洗→去皮→切片→烫漂→沥干→微波干燥.微波干燥过程按微波加热—间歇—加热—间歇反复进行.间歇阶段打开微波炉门,以利于水分扩散^[7],每次间歇时间 60 s,直至湿基含水量在 10% 以下.

1.3.2 水分含量测定

按国家标准 (GB/T8858—88) 进行.在干燥过程中,定时称量,直至湿基含水为 10% (安全贮藏水分) 左右为止^[8].

1.3.3 花色苷含量测定

采用消光系数法^[9],测定结果换算成干基中的花色苷含量.

1.3.4 色值的测定

采用色差计测定,以白板色泽为标准,依 CIELAB 表色系统测量紫心甘薯的明度指数 L^* ^[10]. L^* 间接反映色泽.

1.3.5 优化试验设计

经过前期的预试验确定,微波发射功率在 120~700W 范围内,切片厚度在 2~8mm 范围内,每次前期干燥时间在 10~50 s 范围内时对紫心甘薯的色泽及花色苷含量有显著的影响.为了对微波干制紫心甘薯片工艺进行优化研究,试验采用三因子二次回归正交旋转组合设计,选取发射功率 (X_1)、切片厚度 (X_2)、每次前期干燥时间 (X_3) 三因子,分析它们对产品色泽 (Y_1)、花青素含量 (Y_2) 的影响规律各个因子的水平设置及编码见表 1 试验设计见表 2

表 1 因素水平编码表

Table 1 Coding of factors and levels

水平	发射功率 /W	切片厚度 /mm	每次前期干燥时间 /s
1.68	700	8	50
+ 1	582	7	42
0	410	5	30
- 1	237	3	18
- 1.68	120	2	10

1.3.6 统计分析

采用 DPS V3.01 对试验数据进行处理分析,应用 Design expert 7.0 进行响应面分析.

表 2 试验设计与结果

Table 2 Experimental designs and results

序号	X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2 (mg/100g 干基)
1	1	1	1	39.95	103.75
2	1	1	- 1	39.93	82.58
3	1	- 1	1	43.40	87.54
4	1	- 1	- 1	36.48	67.12
5	- 1	1	1	35.03	69.05
6	- 1	1	- 1	24.70	48.95
7	- 1	- 1	1	23.15	55.32
8	- 1	- 1	- 1	26.73	42.56
9	- 1.68	0	0	15.93	29.09
10	1.68	0	0	36.33	104.33
11	0	- 1.68	0	22.23	85.14
12	0	1.68	0	39.93	119.14
13	0	0	- 1.68	22.08	83.23
14	0	0	1.68	31.48	130.33
15	0	0	0	40.28	123.75
16	0	0	0	40.13	123.19
17	0	0	0	42.35	125.23
18	0	0	0	41.35	123.35
19	0	0	0	41.60	123.02
20	0	0	0	41.40	124.66
21	0	0	0	41.08	123.55
22	0	0	0	40.93	124.45
23	0	0	0	41.40	124.49

注: X_1 为微波输出功率编码; X_2 为切片厚度编码; X_3 为每次前期干燥时间编码; Y_1 为干燥产品色泽; Y_2 为干燥产品花色苷含量

2 结果与讨论

2.1 回归方程及其参数分析

微波干燥紫心甘薯片的试验结果见表 2 对表 2 中的试验数据进行分析,得到各个因素与产品色泽及花色苷含量的多元二次回归方程式为 (已去除不显著项):

$$Y_1=16.41086388+2.473736110X_1+1.160376687X_2+0.864294708X_3-1.590060128X_1^2-1.498135937X_3^2$$
$$Y_2=124.4039634+18.42574032X_1+7.97885579X_2+11.25157068X_3-24.45565479X_1^2-11.93097837X_2^2-10.28985937X_3^2$$

表 3 回归系数及变量分析

Table 3 Regression coefficient and variable analysis

回归方程	$Y=b_0+b_1X_1+b_2X_2+b_3X_3+b_{11}X_1^2+b_{22}X_2^2+b_{33}X_3^2+b_{12}X_1X_2+b_{13}X_1X_3+b_{23}X_2X_3$	
变异来源	Y_1	Y_2
常数项	16.41086388	124.4039634
X_1	2.473736110**	18.42574032**
X_2	1.160376687*	7.97885579*
X_3	0.864294708**	11.25157068*
X_1X_1	-1.590060128**	-24.45565479**
X_2X_2	-0.890022058	-11.93097837*
X_3X_3	-1.498135937*	-10.28985937*
X_1X_2	-0.492500000	1.442791899
X_1X_3	0.0100000000	1.092701969
X_2X_3	0.350000000	1.011755044
R^2	0.849146	0.937086

注: * 显著水平 < 0.05 ** 显著水平 < 0.01 *** 显著水平 < 0.001

方程的决定系数 R^2 值 > 0.8 说明此方程在本试验中有意义. 方差分析结果表明: 微波功率和每次前期干燥时间对产品色泽及色素含量影响均极其显著 ($P < 0.01$), 切片厚度对产品色泽及色素含量的影响显著 ($P < 0.05$). 这可能与微波对紫心甘薯中花色苷的破坏有关. 当微波功率较大时, 干燥所需要的时间缩短, 从而减少了微波对花色苷的破坏机会; 同样, 当每次前期干燥时间较短时, 整体干燥时间反而增加了, 从而增加了微波对花色苷破坏的机会; 当切片厚度较小时微波很容易穿透物料, 从而对花色苷破坏较大, 而厚度过大时由于干燥时间的延长, 又增加了微波对花色苷破坏的机会.

2.2 工艺参数的效应分析

2.2.1 3因素对产品色泽的影响

图 1a b c 分别为微波功率 (X_1) 和切片厚度 (X_2); 微波功率 (X_1) 和每次前期干燥时间 (X_3) 以及切片厚度 (X_2) 与每次前期干燥时间 (X_3) 对产品的色泽 (Y_1) 的交互作用的响应面分析图. 图 1a 可以看出, 随着 X_1 、

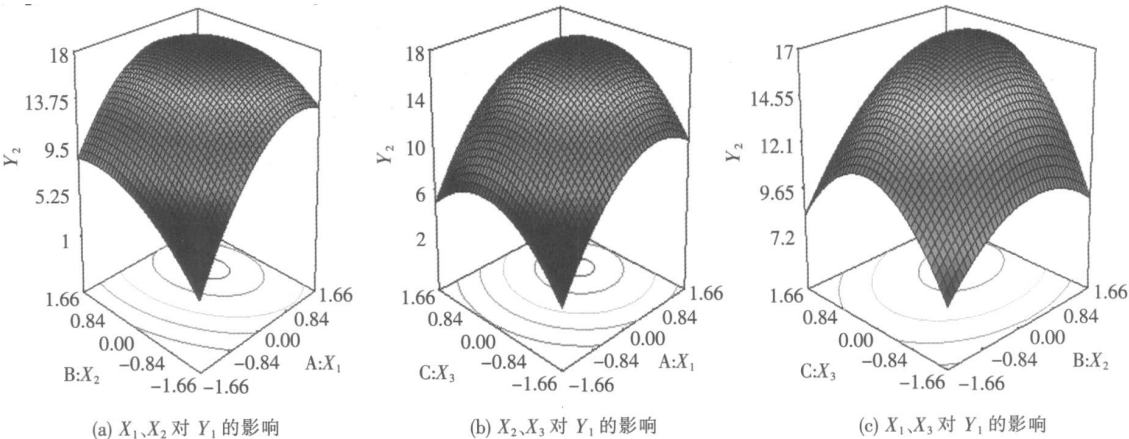


图 1 3 因素对微波干燥产品色泽的影响

Fig.1 Effect of three factors on the color of microwave drying product

X_2 组合编码值的升高, 色泽 (Y_1) 升高, 在达到最大值后略有下降. 由图 1b、c 可以看出, 色泽 (Y_1) 随着 X_1 、 X_3 编码值的增加呈先升高后降低的趋势, 说明各交互因子均有一个最佳编码组合使色泽 (Y_1) 达到最高.

2.2.2 3 因素对产品色素含量的影响

如图 2a、b、c 分别为微波功率 (X_1) 和切片厚度 (X_2); 微波功率 (X_1) 和每次前期干燥时间 (X_3) 以及切片厚度 (X_2) 和前期干燥时间 (X_3) 对产品色素含量 (Y_2) 的交互作用的响应面分析图. 由图 2a、b 可以看出, 随着 X_1 的升高, 色素含量 Y_2 先升高后降低; 在 X_1 处于中间水平时, Y_2 值较大, 且不受 X_2 、 X_3 影响, 而 X_1 处于较低和较高水平时, Y_2 值较小, 仍不受 X_2 、 X_3 影响. 由图 2c 可以看出, 随着 X_2 、 X_3 组合编码值的升高, 色素含量 Y_2 升高, 在达到一定组合值后, Y_2 开始降低, 说明色素含量在此条件下有一个最高点.

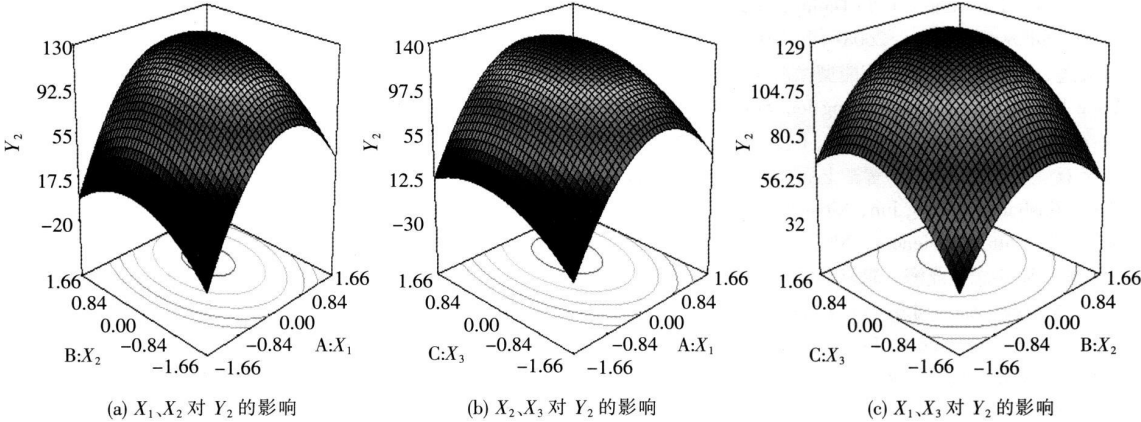


图 2 3 因素对微波干燥产品色素含量的影响

Fig.2 Effect of three factors on the pigment content of microwave drying product

2.3 微波干制紫心甘薯片工艺的优化

2.3.1 各指标的优化计算

各指标的优化采用非线性规划程序, 进行计算. 目标函数的建立: 色泽: $\text{Max } F = Y_1$; 色素含量: $\text{Max } F = Y_2$, 约束条件: $-1.68 \leq X_i \leq 1.68 (i = 1, 2)$, 优化结果见表 3

表 3 优化结果

Table 3 Results of optimization

目标	微波功率 /W		切片厚度 /mm		每次前期干燥时间 /s		目标优化值
	编码值	真实值	编码值	真实值	编码值	真实值	
Y_1	0.69	530	0.53	6	0.35	34	44.33
Y_2	0.40	479	0.38	6	0.58	37	132.93

2.3.2 综合优化计算

微波干制紫心甘薯片时, 在保证达到安全贮藏水分含量的情况下, 综合考虑产品的色泽及花青素的含量, 因此需要进行综合优化. 首先利用线性型功效系数法将两个目标函数统一量纲, 分别得到一个功效系数函数, 再求两个功效系数乘积的最优解^[11], 综合优化结果表明: 当微波功率为 496W、切片厚度为 6mm、前期干燥时间为 35s 时, 得到两个函数综合最优值. 为了进一步验证微波干制紫心甘薯片的最佳工艺参数, 采用上述条件进行了 3 次重复试验, 结果紫心甘薯片的色泽 L 值为 42.67, 色素含量达到了 131.52mg/100g 干基, 优化效果显著.

3 结论

设计了 3 因素 (微波功率、切片厚度、每次前期干燥时间) 2 指标 (色泽、色素含量) 二次正交回归试验, 得出各回归方程, 进行因子显著性检验. 采用非线性规划对各目标函数进行目标优化, 得出各目标函数的微波功率、切片厚度、每次前期干燥时间的最优组合. 色泽, 微波发射功率在 530W, 切片厚度为 6mm, 每次前期干燥时间在 34s 时达到最优值. 色素含量, 微波发射功率在 479W, 切片厚度为 6mm, 前期干燥时间在 37s 时达到最优值. 运用功效系数法进行综合优化, 获得最佳工艺组合为: 微波功率 496W、切片厚度 6mm、每次前期干燥时间 35s

[参考文献] (References)

- [1] 明兴加, 李坤培, 张明, 等. 紫色甘薯的生理活性及开发应用研究进展 [J]. 食品研究与开发, 2007, 8(7): 144
Ming Xingjia, Li Kunpei, Zhang Ming, et al. Advance in research of physiological activity of purple sweet potato [J]. Food Research and Exploitation, 2007, 8(7): 144 (in Chinese)
- [2] 毕阳, 葛永红. 蔬菜制品加工工艺与配方 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2006
Bi Yang, Ge Yonghong. Vegetable Product Processing Technology and Formulations [M]. Beijing: Chemistry Industry Press, 2006 (in Chinese)
- [3] 江宁, 刘春泉, 李大婧, 等. 果蔬微波干燥技术研究进展 [J]. 江苏农业科学, 2008(1): 216-219
Jiang Ning, Liu Chunquan, Li Dajing, et al. Review of studies on microwave drying vegetables and fruits technology [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2008(1): 216-219 (in Chinese)
- [4] 杨芙莲, 代春吉, 张洁. 节能型微波干燥马铃薯片的特性研究 [J]. 食品研究与开发, 2005, 6(25): 81-83
Yang Fuliang, Dai Chunji, Zhang Jie. Study on the characteristic of the energy-saving microwave drying potato slices [J]. Food Research and Exploitation, 2005, 6(25): 81-83 (in Chinese)
- [5] 王金双, 王俊, 熊永森, 等. 土豆片的微波干燥规律研究 [J]. 浙江农业学报, 2002, 14(1): 42-45
Wang Jinshuang, Wang Jun, Xiong Yongsen, et al. The drying characteristic of potato slices by microwave [J]. Zhejiang Journal of Agricultural Sciences, 2002, 14(1): 42-45 (in Chinese)
- [6] 王喜鹏, 张进疆, 成海. 胡萝卜的真空微波干燥特性研究及工艺优化 [J]. 现代农业装备, 2005(10): 84-88
Wang Xipeng, Zhang Jinjiang, Cheng Hai. The drying characteristics of carrot by vacuum microwave and improving the craft [J]. Modern Agricultural Equipment, 2005(10): 84-88 (in Chinese)
- [7] 王玫, 陈璧州, 伍军, 等. 微波干燥桃脯、苹果脯的影响因素和节能效果的研究 [J]. 农业工程学报, 1998, 14(3): 253-255
Wang Mei, Chen Bizhou, Wu Jun, et al. The research on influencing factors and energy saving effect of microwave in dehydration of candied peach and apple [J]. Journal of Agricultural Engineering, 1998, 14(3): 253-255 (in Chinese)
- [8] Rodriguez S, Fernandez A N. Dehydration of melons in a ternary system followed by air-drying [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80: 678-687.
- [9] 尹晴红, 陈明, 李荣林, 等. 甘薯块根花色苷的比较研究 [J]. 南京农专学报, 2003, 19(2): 17-20
Yin Qinghong, Chen Ming, Li Ronglin, et al. Comparative study on anthocyanin contents of the tubers of purple sweet potatoes [J]. Journal of Nanjing Agricultural Technology College, 2003, 19(2): 17-20 (in Chinese)
- [10] 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(4): 1282-1292
- [11] 韩轶, 唐小我. 一种新多指标综合评价方法的优化选择思路 [J]. 电子科技大学学报, 1999, 3(28): 316-319
Han Yi, Tang Xiaowo. On choice of an optimum synthetically evaluation method for targets with indicatrixes distributed in a certain pattern [J]. Journal of UEST of China, 1999, 3(28): 316-319 (in Chinese)

[责任编辑: 刘 健]