

速冻薯条制备工艺优化

吴洪成, 胡卓炎^{*}, 余 恺, 余小林

(华南农业大学食品学院, 广州 510642)

摘 要: 采用三因子二次正交旋转组合设计, 建立速冻薯条加工工艺中的干燥温度、干燥时间和预油炸时间对薯条的颜色、含水率和含油率影响的二次多项式响应曲面模型。参试因子对薯条的颜色、含水率和含油率影响显著 ($p < 0.05$), 利用期望函数途径同时对薯条的颜色、含水率和含油率的响应曲面模型进行模拟预测, 获得优化的工艺条件: 108~110℃热空气干燥 11~12 min, 180℃预油炸 38 s。薯条经速冻和油炸 (180℃, 2 min) 后, 色差值为 3.99~4.45, 含水率为 37.50%~38.50%, 含油率为 14.34%~14.85%, 各响应变量同时达到商品薯条的指标值。

关键词: 速冻薯条; 响应曲面; 期望函数; 工艺优化

中图分类号: TS255

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2007)5-0214-06

吴洪成, 胡卓炎, 余 恺, 等. 速冻薯条制备工艺优化[J]. 农业工程学报, 2007, 23(5): 214-219.

Wu Hongcheng, Hu Zhuoyan, Yu Kai, et al. Optimization of processing parameters for preparation of frozen French-fried potatoes[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(5): 214-219. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

马铃薯是国际市场上重要的农产品, 世界大多数国家均有种植。中国马铃薯的种植面积、总产量和消费量, 均居世界前列^[1]。马铃薯除用于鲜食外, 还用作食品加工的原料, 主要加工产品包括马铃薯淀粉及其系列产品、薯片、速冻(油炸)薯条等。近年来, 由于西方快餐业的迅速发展, 薯条是其中必不可少的食品, 需求量日增。在美国, 用于加工薯条的马铃薯比例达 44%^[2]。中国过去由于缺乏适合加工薯条的马铃薯品种, 薯条加工业落后, 国内能够生产速冻薯条生产厂仅有数家, 且多为中外合资企业。目前快餐业用薯条主要依赖进口^[3]。近年来, 中国已重视薯条加工的专用马铃薯品种的引进和改良, 同时也对生产速冻薯条的国产化设备和工艺开展研究, 中国农业机械化科学研究院在完成相关的国家课题后开发出第一条国产化生产线, 并已投入生产。但在马铃薯深加工工艺方面, 与国际水平相比较还存在差距。除设备本身的问题外, 马铃薯薯条的色泽、形状和回软等是目前研究中存在的主要问题^[4]。李韵涛等对速冻薯条的加工工序中的护色、预煮、干燥和预油炸工艺进行了探讨, 获得了预处理的工艺参数, 原料经切分、护色和预煮后, 60℃、5 min 预干燥, 再 80~90℃干燥 20 min,

170~175℃油炸 35~40 s, 产品的含水率为 65%~70%, 含油率 4.8%~5.7%^[4]。但商业薯条通常还需要经过冻藏以及最后油炸工序, 因此还需要明确预处理工序工艺参数对终产品质量的影响, 进一步优化工艺参数。

薯条的制备一般包括原料选择、清洗、去皮、切分、热烫、冷却、干燥、预油炸、冷冻保藏、油炸等操作工序^[2,5,6]。质地、颜色和含油率是薯条的主要质量参数。优质薯条具有吸引人的金黄色, 酥脆的外层同时保持内部湿软状态, 并且含油率要低^[2,6-8], 丙烯酰胺生成量要少^[9]。影响薯条质量的因素除了原料品种外, 制备工序中的热烫、干燥、油炸、速冻等工艺参数是重要的影响因素。Agblor 等描述了薯条加工的预干燥和预油炸工序, 采用 70℃预干燥后, 升温至 120℃干燥 11 min, 然后 182℃预油炸 1 min, -20℃速冻, 包装和贮藏^[6]。Bunger 和 Morieira 等对原料薯条进行表面改性, 如采用 NaCl 溶液浸渍、表面涂膜等处理, 再经干燥、预油炸, 使原料薯条表面水分减少, 形成一层淀粉糊化层, 可降低产品的含油率, 减少油炸时间^[7,8]。但各工序工艺参数对薯条质量影响的工艺优化研究还不多见。

本文利用从国外引入的马铃薯品种“荷兰 15”为原料, 研究速冻薯条加工工艺中预处理的干燥温度、干燥时间和预油炸时间对产品的颜色、含水率和含油率的影响, 并以优质薯条的质量为目标, 利用期望函数途径, 对速冻薯条的制备工艺进行优化, 以提高速冻薯条的质量, 为实际生产提供依据。

收稿日期: 2006-05-18 修订日期: 2007-04-29

作者简介: 吴洪成(1978-), 男, 主要从事农产品加工与贮藏工程专业。福建 泉州出入境检验检疫局, 362000

^{*}通讯作者: 胡卓炎(1961-), 教授。广州 华南农业大学食品学院, 516042。Email: zyhu@scau.edu.cn

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料

马铃薯:“荷兰 15”,由浩丰国际有限公司广东廉江种植基地提供。

棕榈油(食用级)。

1.1.2 仪器与设备

热风循环干燥箱(湖北省黄石市医疗器械厂);

全自动测色色差计(TC-P II G 型,北京市奥依克仪器公司);

超低温冻结器(SANYO MDF381 型,日本);

电热油炸锅(自行改装的实验室设备)。

1.2 试验方法

1.2.1 样品制备

原料经挑选,清洗,去皮,切条(7 mm×7 mm×70 mm),浸泡于由柠檬酸(0.1%)和 CaCl₂(0.15%)组成的混合护色液中 30 min。然后于 95~100℃热水烫漂 2.5 min,在 1.5%葡萄糖溶液中迅速冷却 2 min 后沥干,按试验设计的干燥温度和时间进行干燥后,于 180℃的棕榈油中预油炸(按试验设定时间),冷却和沥干表面油层,-20℃速冻,密封,包装和冻藏。冻藏的薯条在 180℃的棕榈油中油炸 2 min,冷却和沥干表面油层,作为冷冻油炸薯条测试样品^[2,5,6]。

用于对照(标准)参考样品的薯条,在当地某国外品牌快餐店购得。

1.2.2 指标测定

颜色:利用 TC-P II G 型全自动测色色差计测定薯条的 L^* 、 a^* 和 b^* 值。以色差值(ΔE)表示。色差值指样品薯条的颜色值与标准参考样品的颜色值之间的差异: $\Delta E = [(L_i^* - L_0^*)^2 + (a_i^* - a_0^*)^2 + (b_i^* - b_0^*)^2]^{1/2}$ 式中 L_i^* 、 a_i^* 、 b_i^* ——分别为试验样品薯条的 L^* 、 a^* 和 b^* 值; L_0^* 、 a_0^* 和 b_0^* ——分别为市售对照参考薯条样品的 L^* 值、 a^* 值和 b^* 值。

含水率(%):干燥恒重法^[10]。

含油率(%):酸性乙醚提取法^[11]。

1.2.3 试验设计

根据 Agblor 描述的薯条加工工艺条件^[6],在预备试验的基础上,选择和确定试验设计的工艺参数和因素水平。采用三因子二次正交旋转组合设计,以响应曲面法(Response Surface Methodology)^[12]探讨干燥温度(X_1)、干燥时间(X_2)和预油炸时间(X_3)三个因子,对最终样品的颜色(Y_1)、含水率(Y_2)和含油率(Y_3)的影响。试验因素水平编码和参量见表 1。

表 1 三因子二次正交旋转组合试验因素水平编码和参量

Table 1 Coded variable levels and experimental parameters of central rotatable composite design

编码 X_i	干燥温度/℃ X_1	干燥时间/min X_2	预油炸时间/s X_3
-1.682	74.8	10	35
-1	85	12	45
0	100	15	60
+1	115	18	75
+1.682	125.2	20	85

1.2.4 统计分析

将试验所得数据,使用 SAS 统计分析软件编写计算程序,对下列二次多项式响应曲面模型进行 RSREG 分析和拟合:

$$Y = b_0 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2 + b_{11}X_1 + b_{22}X_2 + b_{33}X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3$$

并对模型进行失拟性和显著性检验。运用 Statistica 软件描绘出 3D 图,分析各因子对薯条控制指标的影响。

1.2.5 工艺优化

利用 Derringer 等描述的期望函数途径同时优化多个响应变量的方法^[13,14]。

对于响应变量色差值 Y_1 和含油率 Y_3 ,期望有一个较小的色差值和低的含油率,有期望值 $d_i(0 \leq d_i \leq 1)$:

$$d_i = \begin{cases} 0 & Y_i \geq Y_i^+ \\ [(Y_i - Y_i^-)/(Y_i^+ - Y_i^-)]^r & Y_i^+ < Y_i < Y_i^- \\ 1 & Y_i \leq Y_i^- \end{cases}$$

式中 Y_i^+ ——期望目标的响应变量 Y_i 的值; Y_i^- ——可接受的响应变量 Y_i 的值; r ——转化数值。当 Y_i 由 Y_i^+ 向 Y_i^- 增加时, d_i 均匀减少,转化参数 $r = 1/d_i$ 值越大,越接近所期望得到的响应变量值 Y_i 。

对于响应变量含水率 Y_2 ,期望能有一个适宜的含水率范围,以保证有酥脆的外表层和湿软的内层,有期望值 $d_j(0 \leq d_j \leq 1)$:

$$d_j = \begin{cases} [(Y_j - Y_i^-)/(C_i - Y_i^-)]^s & Y_i^- \leq Y_j \leq C_i \\ [(Y_j - Y_i^+)/(C_i - Y_i^+)]^t & C_i < Y_j \leq Y_i^+ \\ 0 & Y_j < Y_i^- \text{ 或 } Y_j > Y_i^+ \end{cases}$$

式中 Y_i^- 和 Y_i^+ ——可接受的响应变量 Y_j 的值; C_i ——响应变量 Y_j 处于目标值(标准参考样品的含水率)时的 Y_j 的值; s 、 t ——转化参数,当 Y_j 由 Y_i^- 向 C_i 增加时, d_j 均匀增大, $s = 1$,当 Y_j 由 C_i 向 Y_i^+ 增加时, d_j 均匀减小, $t = 1$, d_j 值越大,越接近所期望得到的响应变量值 Y_j 。

各个响应变量同时接近目标值或达到最佳值时,有总体期望值 D ,此时 D 等于各个期望值的几何平均数

(0 ≤ D ≤ 1):

$$D = (d_1 \cdot d_2 \cdot d_3)^{1/3}$$

通过 SAS 统计系统模拟预测, 寻找出薯条的颜色、含水率和含油率同时达到一个高的总体期望值的干燥温度、干燥时间和预油炸时间的 3 个因子优化组合的工艺条件。

2 结果与分析

2.1 干燥和预油炸条件与薯条颜色、含水率和含油率的响应曲面模型

不同干燥温度、干燥时间和预油炸时间 3 个参试因子对薯条的颜色、含水率和含油率的响应结果见表 2。

利用 SAS 统计软件对表 2 的数据经回归分析得到薯条颜色、含水率和含油率的响应曲面模型并对各响应变量模型进行失拟性与显著性检验, 见表 3。

结果表明, 薯条的颜色 Y_1 、含水率 Y_2 和含油率 Y_3 的失拟性检验 F_1 在 10% 水平不显著($p_1 > 0.10$, $p_2 > 0.10$, $p_3 > 0.10$), 说明模型无失拟性因素存在; 而各响应曲面模型的显著性 F_2 在 5% 水平显著($p_1 < 0.05$, $p_2 < 0.05$, $p_3 < 0.05$), 说明各模型较好地拟合薯条的颜色、含水率和含油率与 3 个参试因子之间的关系, R^2 分别为 0.876、0.893、0.884。

表 2 组合试验设计的因素水平对薯条颜色、含水率和含油率的响应结果

Table 2 Central rotatable composite design and response of Y_1 color difference (ΔE), Y_2 moisture and Y_3 oil uptake obtained for frozen French-fried potatoes

试 验 号	因素水平			响应变量		
	干燥 温度 X_1	干燥 时间 X_2	预油炸 时间 X_3	色差值 (ΔE) Y_1	含水率 /% Y_2	含油率 /% Y_3
1	- 1	- 1	- 1	3.65	47.15	12.85
2	- 1	+ 1	+ 1	9.64	40.07	16.46
3	+ 1	- 1	+ 1	8.36	37.55	15.44
4	+ 1	+ 1	- 1	7.89	30.91	18.10
5	- 1	- 1	+ 1	8.92	42.36	17.98
6	- 1	+ 1	- 1	6.60	45.78	13.72
7	+ 1	- 1	- 1	5.53	38.40	15.01
8	+ 1	+ 1	+ 1	11.91	35.51	19.19
9	- 1.682	0	0	9.31	47.57	13.40
10	+ 1.682	0	0	12.48	38.61	16.83
11	0	- 1.682	0	7.47	41.46	14.13
12	0	+ 1.682	0	11.90	32.86	19.02
13	0	0	- 1.682	5.03	38.57	15.36
14	0	0	+ 1.682	7.88	40.38	15.92
15	0	0	0	4.67	46.47	14.25
16	0	0	0	6.03	45.16	15.30
17	0	0	0	6.41	40.55	14.66

表 3 干燥温度、干燥时间和预油炸时间与薯条颜色、含水率和含油率的响应曲面模型

Table 3 Regression models of Y_1 color difference (ΔE), Y_2 moisture and Y_3 oil uptake with independent variables of X_1 drying temperature, X_2 drying time and X_3 pre-frying time

响应变量	二次多项式模型	失拟性 F_1	显著性 F_2	R^2
色差值(ΔE)	$Y_1 = 5.864 + 1.552X_1^2 + 1.060X_2^2 - 0.082X_3^2 + 0.792X_1 + 1.247X_2 + 1.461X_3 + 0.280X_1X_2 - 0.183X_1X_3 - 0.130X_2X_3$	3.906 < $F_{0.10}(5, 2)$	5.477 [*] > $F_{0.05}(9, 7)$	0.876
含水率/%	$Y_2 = 44.056 - 0.330X_1^2 - 2.426X_2^2 - 1.608X_3^2 - 3.519X_1 - 2.025X_2 - 0.271X_3 - 0.734X_1X_2 + 1.781X_1X_3 + 0.566X_2X_3$	0.439 < $F_{0.10}(5, 2)$	6.504 [*] > $F_{0.05}(9, 7)$	0.893
含油率/%	$Y_3 = 14.720 + 0.190X_1^2 + 0.706X_2^2 + 0.376X_3^2 + 0.915X_1 + 1.055X_2 + 0.756X_3 + 0.936X_1X_2 - 0.794X_1X_3 - 0.216X_2X_3$	4.549 < $F_{0.10}(5, 2)$	5.939 [*] > $F_{0.05}(9, 7)$	0.884

注: * 显著水平 $p < 0.05$ 。

2.2 干燥温度、干燥时间和预油炸时间对薯条颜色、含水率和含油率的影响

采用降维法, 固定干燥温度、干燥时间和预油炸时间中一个因素在平均编码(零水平)值, 考察其他两个因素对薯条的颜色、含水率及含油率的影响, 其双因子效应可通过 3D 图表达。

当预油炸时间处于平均编码值时, 干燥温度和时间与薯条颜色、含水率和含油率的关系, 见图 1。结果表明, 干燥温度和时间处于 -1~0 水平编码值时色差最小, 干燥温度过高或过低, 干燥时间过长或过短, 则引起薯条的色差值增大。薯条的含水率则随着干燥温度和时间增加而减少, 尤其在高温区, 时间的增加引起水分

减少明显, 薯条内部失水严重, 质地变硬。低温短时间和高温长时间会引起薯条含油率增加, 尤其高温长时间时较明显。

当干燥温度处于平均编码值时, 干燥时间和预油炸时间对薯条颜色、含水率和含油率的影响, 见图 2。结果表明, 薯条的色差值在干燥时间过短或过长时增大明显, 随预油炸时间增加时有小幅度的增大。薯条的含水率在预油炸时间和干燥时间都短时, 含水率较高, 薯条达不到酥脆的质地。薯条含油率则在干燥时间过长同时预油炸时间不足时较大。

当干燥时间处于平均编码值时, 干燥温度和预油炸时间对薯条颜色、含水率和含油率的影响, 见图 3。结果

表明,薯条的色差值在干燥温度过高或过低,预油炸时间过长时有所增大。薯条的含水率在干燥温度和预油炸时间处于1~2水平编码值时减少较多。而薯条的含油

率则在干燥温度和预油炸时间0水平编码值或以下时较低。

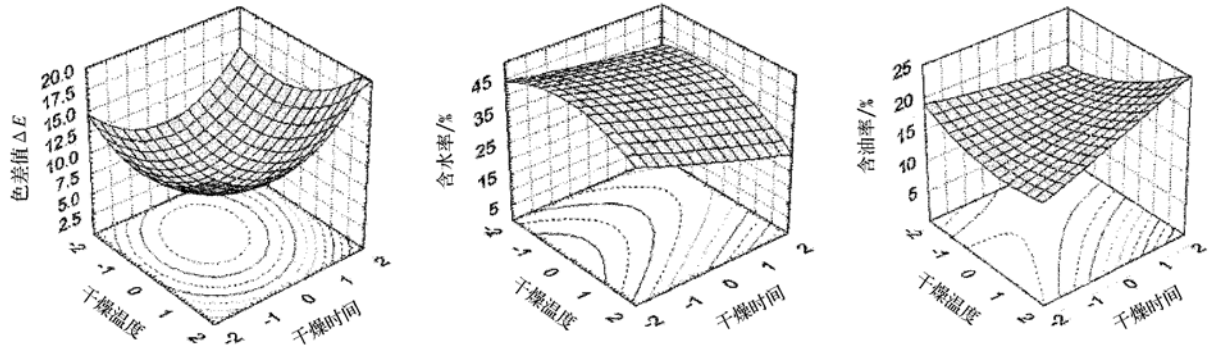


图1 干燥温度和干燥时间对薯条颜色、含水率和含油率的响应曲面和等高线轮廓图

Fig. 1 Response surfaces and contour plots of color difference (ΔE), moisture and oil uptake levels as a function of interactions of drying temperature and drying time when pre-frying time at coded zero level value

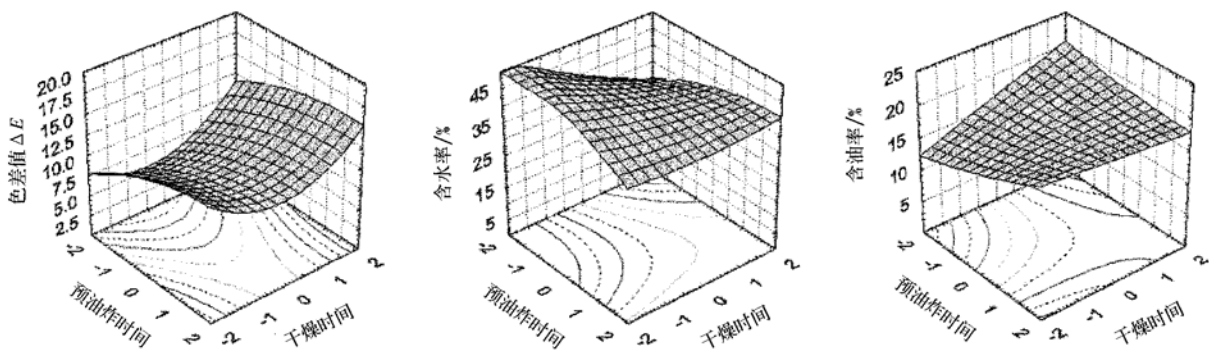


图2 干燥时间和预油炸时间对薯条颜色、含水率和含油率的响应曲面和等高线轮廓图

Fig. 2 Response surfaces and contour plots of color difference (ΔE), moisture and oil uptake levels as a function of interactions of pre-frying time and drying time when drying temperature at coded zero level value

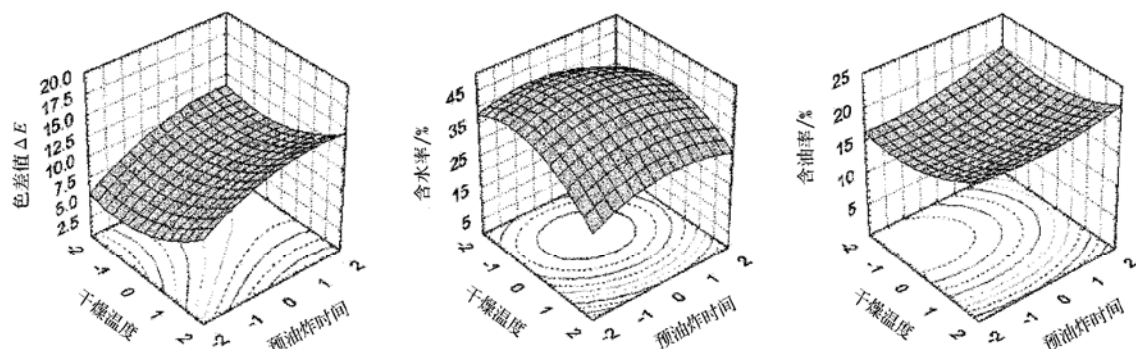


图3 干燥温度和预油炸时间对薯条颜色、含水率和含油率的响应曲面和等高线轮廓图

Fig. 3 Response surfaces and contour plots of color difference (ΔE), moisture and oil uptake levels as a function of interactions of drying temperature and pre-frying time when drying time at coded zero level value

油炸薯条在质量特性上要求有吸引人的金黄色,有一层厚度为1~2 mm 酥脆的外表层,同时保持内部湿润状态,低的含油率^[2,6~8],丙烯酰胺生成量要少^[9]。速

冻薯条经短时间的油炸,表层水分迅速蒸发,温度升高导致美拉德反应,使产品外表显色,酥脆,有香味。要达到这种质量要求,除了选择合适的马铃薯原料(品种)以

外,还应制定合理的工序工艺参数。研究结果表明干燥、预油炸等工序操作条件不同会影响最终产品的质量。从上述的响应曲面可知,在原料、热烫、冷冻等相同的条件下,干燥和预油炸的条件不同,最终产品的颜色、含水率和含油率也不同。经过热烫处理的薯条,再经适当的干燥和预油炸处理,会降低原料表面水分的含量,进一步形成一层糊化的淀粉层外壳,有利于冷冻薯条经短时间的油炸后迅速进行美拉德反应和减少最终产品的含油率,达到产品的质量要求。

2.3 薯条制备工艺中干燥和预油炸条件的优化

2.3.1 优化参数

测定用作对照参考样品的薯条平均颜色值 $L^* = 64.90$ 、 $a^* = 7.27$ 、 $b^* = 31.69$,同时测得对照样品存在的色差 ΔE 在 5 以下,含水率为 37.5%,含油率不高于 15.0%,以此指标为目标,选取的优化参数见表 4。

表 4 优化参数

Table 4 Parameters used for optimization by desirability function approach

指标	目标期望值参数	可接受期望值参数	转化参数
色差值 (ΔE)	≤ 5.0	< 10.0	$r = 1$
含水率 /%	37.5	$> 35.0; < 40.0$	$s = 1, t = 1$
含油率 /%	≤ 15.0	< 20.0	$r = 1$

2.3.2 优化结果

利用 SAS 软件编程,使 X_1 、 X_2 、 X_3 在 $[-1.682, +1.682]$ 内取步长 0.1,运行程序,寻求出获得总体期望值 $D = 0.999$ 时的 X_1 、 X_2 、 X_3 的优化组合,结果见表 5。

表 5 优化的干燥和预油炸工艺条件编码水平值及预测值

Table 5 Coded variable levels and predicted responses under optimum conditions for frozen French-fried potatoes

优化组合	干燥温度 X_1	干燥时间 X_2	预油炸时间 X_3	色差值 (ΔE) Y_1	含水率 /% Y_2	含油率 /% Y_3
1	0.618	-0.882	-1.582	3.99	37.51	14.68
2	0.518	-1.382	-1.482	4.32	37.50	14.34
3	0.718	-0.782	-1.482	4.45	38.50	14.85

由表 5 可看出,在速冻薯条制备工艺中,干燥和预油炸优化的工艺条件为:干燥温度 X_1 在 0.518~0.718 水平(108~110℃);干燥时间 X_2 在-1.382~-0.782 水平(11~12 min);预油炸时间在-1.482 水平(38 s)。选择优化组合 3 进行试验验证,即干燥温度 110℃,干燥时间 12 min 和预油炸 38 s,由此制备的速冻薯条,测得终产品的色差值、含水率和含油率分别为 4.41,37.93% 和 14.79%。预测值和试验值同时达到商品薯条的目标值。

由于设备条件所限,未能测定薯条的质构、感官特

性和丙烯酰胺的响应值,以及用于参与工艺条件的优化。但试验中观察到样品的含水率在 35%~40% 时,薯条有外脆内软的质地,一定程度上反映了薯条的质构特性。因此,上述获得的工艺优化条件还需在实际生产中检验和修正。

3 结 论

响应曲面法建立速冻薯条加工工艺中的干燥温度、干燥时间和预油炸时间 3 个因子对薯条的颜色、含水率和含油率影响的二次多项式响应曲面模型,经 F 检验,无失拟性因素存在,参试因子对薯条的颜色、含水率和含油率影响显著,并较好地拟合薯条的颜色、含水率和含油率与各参试因子之间的关系。

利用期望函数途径,同时对薯条的颜色、含水率和含油率的响应曲面模型进行模拟预测,得到的优化条件为:干燥温度在 108~110℃;干燥时间在 11~12 min;预油炸时间 38 s。薯条的色差值为 3.99~4.45,含水率为 37.50%~38.50%,含油率为 14.34%~14.85%,各响应变量同时达到商品薯条的指标值。

[参 考 文 献]

[1] 赵 萍,李春雷,张 轶. 马铃薯生产加工现状及发展前景[J]. 甘肃工业大学学报, 2003, 29(1): 76- 80.

[2] Moreira R G, Castell-Perez M E, Barrufet M A. Deep fat frying: fundamentals and applications [M]. Maryland, USA: Aspen Publishers, 1999: 12- 115.

[3] 李树君,林亚玲. 马铃薯加工业发展现状与对策[J]. 农产品加工, 2003, (1): 10- 12.

[4] 李韵涛. 马铃薯薯条及其余料加工工艺的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.

[5] Kerri Midson. 油炸土豆条的生产工艺流程[J]. 中国食品工业, 1999, 6(1): 36- 38.

[6] Agblor A, Scanlon M G. Processing conditions influencing the physical properties of French fried potatoes [J]. Potato Research, 2000, 43: 163- 178.

[7] Moreira R G, Barrufet M A. A new approach to describe oil absorption in fried foods: a simulation study [J]. Journal of Food Engineering, 1998, 35(1): 1- 22.

[8] Bunger A, Moyano P, Riosco V. NaCl soaking treatment for improving the quality of french-fried potatoes [J]. Food Research International, 2003, (36): 161- 166.

[9] Pedreschi F, Kaack K, Granby K. Acrylamide content and color development in fried potato strips [J]. Food Research International, 2006, 39(1): 40- 46.

[10] 无锡轻工学院, 天津轻工学院. 食品分析[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1994: 75- 193.

[11] 刘云佩. 食品成分分析手册[M]. 北京: 中国轻工业出版

- 社, 1998.
- [12] Myers R H, Montgomery D C. Response Surface Methodology [M]. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2002.
- [13] Derringer G, Suich R. Simultaneous optimization of several response variables [J]. Journal of Quality Technology, 1980, 12(4): 214– 219.
- [14] Hu Zhuoyan, Liang H H, Yu Xiaolin, et al. Optimization of preparing condition for microwave popcorn[J]. 农业工程学报, 2001, 17(1): 119– 124.

Optimization of processing parameters for preparation of frozen French-fried potatoes

Wu Hongcheng, Hu Zhuoyan^{*}, Yu Kai, Yu Xiaolin

(College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Response surface methodology was applied to analyze the effects of processing conditions including drying temperature and time and pre-frying time on color difference value (ΔE), moisture and oil uptake of the product in the preparation of frozen French-fried potatoes. The conditions of preparation were established by means of a central rotatable composite design for drying temperature, drying time and pre-frying time in the range of 74.8~ 125.2℃, 10~ 20 min and 35~ 85 s at 180℃, respectively. The response variables were fitted to predictive models using multiple regression analysis. Results show that drying temperature, drying time and pre-frying time have significant effects ($p < 0.05$) on ΔE , moisture and oil uptake of French-fried potatoes. Applying the approach of desirability function, the parameters of processing were optimized in 108~ 110℃, 11~ 12 min for drying, and 38s at 180℃ for pre-frying. After frozen storage at - 20℃ and finish frying, the product has less ΔE of 3.99~ 4.45, moisture of 37.50%~ 38.50% and oil uptake of 14.34%~ 14.85%, which can meet the requirement of commercial products.

Key words: frozen French-fried potatoes; response surface methodology; desirability function; processing optimization