

真空油炸过程中干燥特性和产品品质变化的研究

范柳萍, 张 敏

(江南大学食品学院, 江苏无锡 214122)

摘 要:研究了胡萝卜脆片真空油炸过程中干燥特性和产品品质的变化,结果表明:真空油炸过程属于传统的降速干燥过程,其水分和脂肪的变化符合一级反应动力学规律,利用非线性回归法求解得到了胡萝卜脆片水分和脂肪含量、干燥速率随油炸时间变化的方程;随着油炸时间的延长,胡萝卜脆片直径不断减小,厚度不断增加,油炸 20min 后,其直径和厚度皱缩度分别达到 6% 和 4.5%;真空油炸胡萝卜脆片气孔数量不断增加,细胞结构变形程度增强。真空油炸过程中胡萝卜脆片脂肪主要分布于脆片的表面,冷却过程中脂肪逐渐向中心渗透,中心脂肪含量可达到 60%。

关键词:真空油炸;基本特性;胡萝卜脆片

Study on the drying characteristics and products quality changes during vacuum frying

FAN Liu-ping, ZHANG Min

(School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: The drying characteristics and products qualities of carrot chips during vacuum frying were studied. The results showed that vacuum frying process belonged to traditional falling rate drying and corresponds with the first order reaction kinetics. The equations of moisture content, fat content, drying ratio of vacuum fried carrot chips as function of frying time were established. The value of diameter decreased and the thickness increased with the increasing in the frying time. The shrinkage of diameter and thickness reached 6% and 4.5% respectively, after frying for 20min. With the increasing in frying time, the number and size of pore increased gradually and the degree of cell deformation reinforced. During vacuum frying, the fat mostly distributed the surface of carrot chips and during the cooling process, fat gradually filtered to center and the center fat content could reached to 60%.

Key words: vacuum frying; basic characteristic; carrot chips

中图分类号: TS201.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2012)08-0194-04

真空油炸是一个同时伴随有热、质传递现象的复杂干燥方法。油炸过程中,热量首先通过对流方式从油炸介质传递到物料表面,然后通过传导方式从物料表面传递到中心。随着油炸过程的延续,水分蒸发界面逐渐向中心迁移,表面脆壳开始形成,并逐渐向中心迁移,脂肪逐渐被物料吸收;随着油炸时间的延长,油炸产品的直径、厚度、中心温度、水分和脂肪含量以及干燥速率等基本特性将会发生显著变化。但目前,国外研究主要集中在常压深层油炸领域^[1-8],国内主要集中在真空油炸工艺优化和改进方面^[9-12],缺乏对真空油炸过程中干燥特性和产品品质变化的系统研究。本论文主要以胡萝卜片为对象,深入研究真空油炸过程中,胡萝卜脆片直径、厚度、中心温度、水分和脂肪含量、干燥速率以及微观结构等基本特性的变化。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

雁脖胡萝卜 (*Daucus carota* L. var. *sativa* D.C.)

购于无锡青山市场;金龙鱼大豆色拉油。

真空油炸设备 无锡南丰轻化设备有限公司;干燥箱 上海进医疗器械厂;SZC-B 型脂肪测定仪 上海纤检仪器有限公司;CPD-030 型临界点干燥仪、SCD-005 型离子溅射仪 BAL-TEC 公司;QUANTA-200 型扫描电子显微镜 FEI 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 真空油炸过程中胡萝卜片厚度和直径的变化

研究真空油炸过程中胡萝卜片直径及厚度随时间的变化,其中油炸温度为 100℃,真空度 0.090MPa,油炸 0、1、2、3、4、5、8、10、15、20、25、30min,分别取样研究其厚度与直径的变化。采用胡萝卜片直径的皱缩度或厚度的膨化度分别用 S_t 来表示其变化趋势。

$$S_t = \left| \frac{d_0 - d_t}{d_0} \right| \times 100\% \quad \text{式(1)}$$

其中, d_0 为胡萝卜片初始厚度或直径 (mm), d_t

收稿日期: 2011-08-02

作者简介: 范柳萍 (1972-), 女, 博士, 研究方向: 农产品加工与贮藏工程。

为油炸时间为 t 时刻胡萝卜片的厚度或直径 (mm)。

1.2.2 真空油炸过程中胡萝卜片水分含量、干燥速率和中心温度的变化 实验方法同 1.2.1。真空油炸过程中胡萝卜片水分含量按照 GB5009.3-85 进行测定。干燥速率根据每分钟物料的降水率 $\Delta W/\Delta t$ (min^{-1}) 来表示,其中, W 为物料水分含量, t 为油炸时间。中心温度的测定采用把热电偶探头小心插入胡萝卜片中心,封闭油炸锅,当温度与真空度均达到要求时,把胡萝卜片放入油中,开始记录不同时间的温度变化。

1.2.3 真空油炸过程中胡萝卜片表面与中心脂肪含量的变化 胡萝卜片表面与中心的脂肪含量测定按照 Moreira 提供的方法^[13]。

1.2.4 动力学模型的建立及系数的求解 按照 Olivier Vitrac 等学者的理论以及对实验数据的分析^[14-15],水分含量 (W)、干燥速率 (dW/dt) 以及脂肪含量 (F) 随时间的变化规律符合一级动力学方程,即:

$$W, -\frac{dW}{dt}, F = a_i e^{-b_i t} c_i$$

$$(a_i, b_i, c_i)_{i=1,2,3} > 0$$

$$a_3 < 0 \text{ 对于 } F$$
式(2)

上述模型同样适合于分析干燥速率随水分含量的变化规律:

$$\frac{dW}{dt} = a_4 e^{b_4 W} - c_4$$

$$(a_4, b_4, c_4) > 0$$
式(3)

式中, W 为物料水分含量, F 为其脂肪含量, a_i 、 b_i 均为方程系数, t 为油炸时间。采用 SAS 计算机程序中非线性回归 (马柯特迭代) 法进行参数 (a_i 、 b_i 、 c_i) _{$i=1, \dots, 4$} 的求解。并根据决定系数 (R^2) 值来判断方程的回归效果。

2 结果与分析

2.1 真空油炸时间对胡萝卜脆片直径和厚度的影响

真空油炸过程中,胡萝卜片直径的皱缩度和厚度的膨化度 (S_i) 的变化如图 1 所示。从图 1 中可以看出,随着油炸时间的延长,胡萝卜片的直径不断减小,直径皱缩度不断增加,油炸前 5min 内,水分大量蒸发,其直径减小较快,油炸 20min 后,其直径皱缩度达到 6%,之后逐渐趋于稳定。油炸 10min 后,由于真空的膨化作用,以及表面脆壳的不断形成,胡萝卜的厚度开始缓慢增加,油炸 20min 后,其厚度膨化度达到 4.5%,之后趋于稳定。

2.2 真空油炸时间对胡萝卜脆片水分含量、干燥速率的影响

真空油炸过程中,胡萝卜片的水分含量急剧变化,油炸 30min 内胡萝卜的水分含量变化如图 2 所示。从图 2 可以看出,当油炸 15min 时,胡萝卜片的水分含量已经下降为初始水分的 5%。真空油炸过程水分含量的变化曲线没有明显的直线段,即没有清晰的恒速干燥段,胡萝卜片的水分变化规律符合干燥一级动力学方程 ($R^2 = 0.9983$)。由 SAS 的非线

性回归程序求解其回归方程如下:

$$W = 1.6303e^{-0.30887t} + 0.0355$$
式(4)

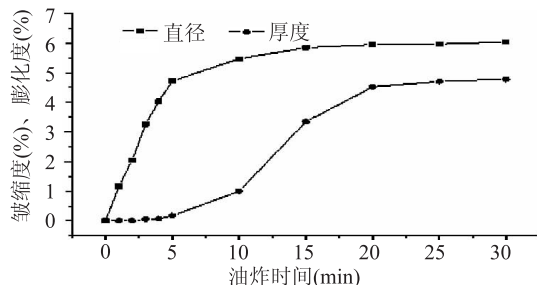


图1 胡萝卜片直径的皱缩度和厚度的膨化度随油炸时间的变化

Fig.1 Degree of shrinkage/puffing (diameter and thickness) of carrot chips as function of frying time

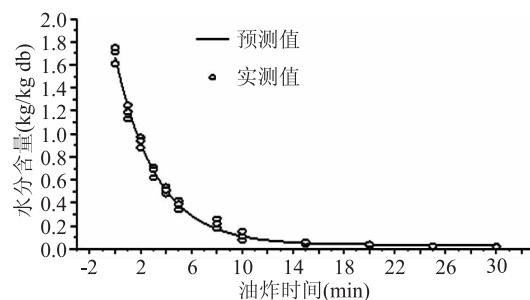


图2 真空油炸过程中胡萝卜片中水分含量随油炸时间的变化

Fig.2 Moisture content of carrot chips as function of frying time during vacuum frying

真空油炸过程中胡萝卜片的干燥速率呈不断下降趋势 (图 3), 在油炸 15min 内, 干燥速率由最初的 $0.50 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 迅速降低到 $0.005 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。随着油炸过程的继续, 其干燥速率几乎恒定, 水分含量也达到平衡, 速率回归方程如下:

$$-\frac{dW}{dt} = 0.5036e^{-0.30887t}$$
式(5)

胡萝卜片的中心温度随油炸时间的变化趋势如图 3 所示, 其过程可以分为以下两个阶段。第一阶段包括最初的快速升温以及随后的近似恒温阶段 (水分蒸发温度)。时间大约持续 10min, 其水分含量降到 $0.1 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 左右。在第二阶段, 胡萝卜片中心温度迅速从蒸发温度提高到油温, 该阶段具有较低的干燥速率。

2.3 真空油炸时间对胡萝卜脆片脂肪含量的影响

在油炸过程中, 脂肪的吸收是一个复杂的过程, 其含量和分布与预处理技术以及油炸工艺参数有关^[16]。Ufheil 等人研究土豆油炸过程中脂肪的吸收规律表明, 脂肪首先吸附在其表面, 最终的脂肪含量决定于冷却过程中粘附和沥除的平衡作用^[17]。随着真空油炸时间的延长, 胡萝卜脆片的脂肪含量逐渐上升, 当油炸时间超过 15min 后, 其上升趋势逐渐变缓 (见图 4)。经 SAS 非线性回归程序拟合求解, 胡萝卜片脂肪变化规律符合一级反应动力学方程 ($R^2 = 0.9979$), 其回归方程如下:

$$F = -0.2608e^{-0.2080t} + 0.2661$$
式(6)

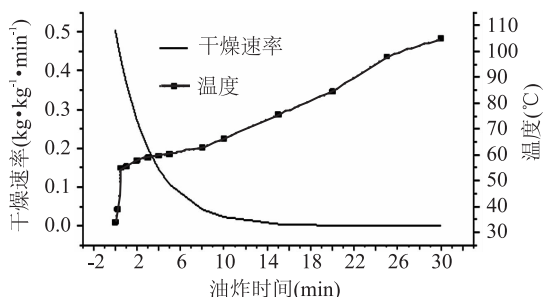


图3 胡萝卜片干燥速率以及中心温度随油炸时间的变化

Fig.3 Drying rate and center temperature of carrot chips as function of frying time

胡萝卜片在真空油炸及冷却过程中脂肪含量的变化见图5。从图5中可以看出,胡萝卜片的脂肪含量随着油炸时间的延长而逐渐提高。油炸5min内,胡萝卜片表面具有较高的脂肪含量(约占全部脂肪含量的75%左右),随着油炸时间的延长,其内部水分含量逐渐减少,而中心脂肪含量逐渐提高。当油炸30min时,其内部脂肪含量占到全部脂肪含量的38%左右。在随后的冷却阶段中,表面脂肪含量逐渐减少,内部脂肪含量逐渐增加,在冷却30min时,其内部脂肪含量达到60%左右。在胡萝卜片的脂肪吸收过程中,其脂肪含量与水分含量具有极显著的负相关性。真空油炸过程中,当样品置于炸用油中时,由于对流传热作用,其表面温度迅速升高,水分开始蒸发,随着油炸过程的继续,样品表面逐渐变干,一方面增加了其疏水性,另一方面水分的蒸发留下许多大的气孔(图6),从而使脂肪可以进入其空隙中去。当样品中含有较高的水分时,其较高的蒸气压能够阻止脂肪的吸收,因此,油炸开始阶段,内部脂肪含量较低。油炸结束后以及随后的冷却阶段中,样品气孔中的蒸气开始冷凝,样品内外蒸气压差使更多表面粘附的脂肪进入其内部,使其内部含有较高的脂肪。

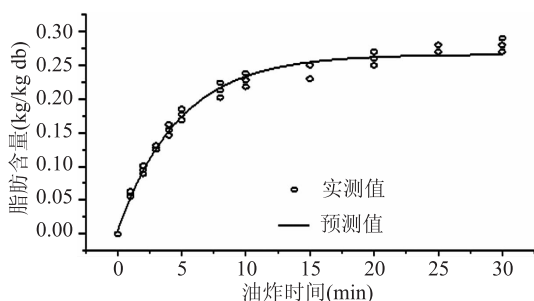


图4 真空油炸过程中胡萝卜片中总脂肪含量随油炸时间的变化

Fig.4 Fat content of carrot chips as function of frying time during vacuum frying

2.4 真空油炸时间对胡萝卜脆片微观结构的影响

图6显示了胡萝卜脆片在真空油炸过程中不同油炸时间的扫描电镜图。从图6中可以看出,油炸5min时,水分蒸发速率较快,小气孔开始形成,但数目较少且呈随机分布。油炸10min时,出现大量的圆形小气孔以及少数椭圆形的大气孔,此时,胡萝卜片的边缘地区开始形成脆壳。油炸20min时,水分

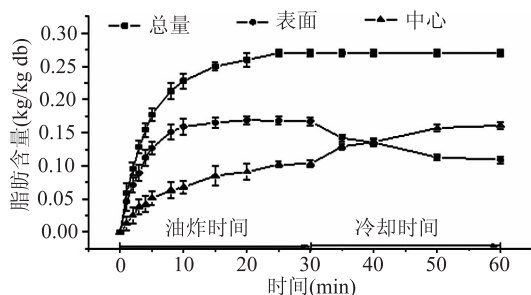


图5 胡萝卜片在真空油炸及冷却过程中脂肪的分布

Fig.5 Fat distribution of carrot chips during vacuum frying and cooling

蒸发速率较低,此时,随着细胞壁的塌陷,椭圆形的气孔也开始变大,同时,由于脆壳的不断增长,出现了大量的小气孔,且分布比较均匀,组织状态最好。油炸30min时,气孔变大,数目增加,分布极不规则。油炸过程中正是由于水分蒸发而出现的大量气孔导致了样品中脂肪的进一步吸收。电镜图中也可以看到其明暗对比越来越明显,凸凹不平程度增大,表明其细胞结构随油炸时间的延长变形程度增强。

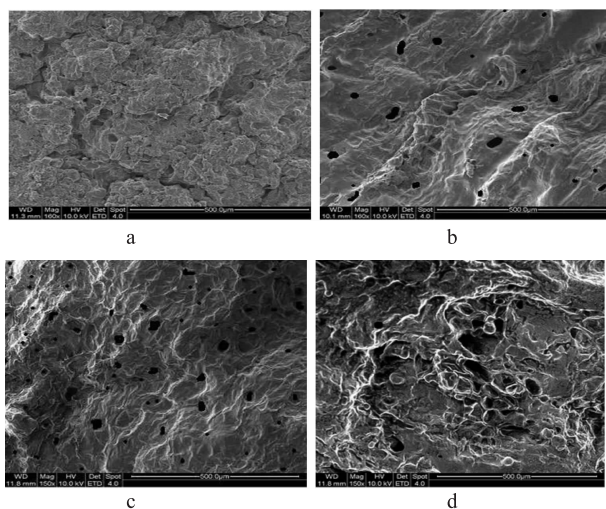


图6 真空油炸不同时间胡萝卜脆片的扫描电镜图(160×)

Fig.6 SEM vacuum frying carrot chips at different frying time
注:a、b、c、d分别为真空油炸5、10、20、30min的电镜图。

3 结论

真空油炸过程中,随着油炸时间的延长,胡萝卜片直径的皱缩度不断增加,油炸前5min内,直径减少较快,油炸20min后,其变化趋于稳定。油炸10min后,其厚度开始缓慢增加,膨化度达到4.5%,油炸20min后趋于稳定。

真空油炸过程属于传统的降速干燥过程,符合一级动力学降解规律。胡萝卜脆片水分、脂肪含量、干燥速率与油炸时间的方程分别为:

$$W = 1.6303e^{-0.030887t} + 0.0355$$

$$F = -0.2608e^{-0.2080t} + 0.2661$$

$$-\frac{dW}{dt} = 0.5036e^{-0.30887t}$$

真空油炸过程中胡萝卜片脂肪主要分布于脆片的表面,冷却过程中脂肪逐渐向中心渗透,中心脂肪含量可达到60%。

随着油炸时间的延长,真空油炸胡萝卜脆片气孔数量不断增加且气孔的周长、面积均逐渐增大,细胞结构变形程度增强。

参考文献

- [1] Rossi M, Alamprese C, Ratti S. Tocopherols and tocotrienols as free radical-scavengers in refined vegetable oils and their stability during deep-fat frying [J]. Food Chemistry, 2007, 102 (3): 812-817.
- [2] Ngadi M O, Wang Y, Adedeji A A, et al. Effect of microwave pretreatment on mass transfer during deep-fat frying of chicken nugget [J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42 (1): 438-440.
- [3] Moreira R G, Sun X, Chen Y. Factors affecting oil uptake in tortilla chips in deep-fat frying [J]. Journal of Food Engineering, 1997, 31: 485-498.
- [4] Baik O D, Mittal G S. Heat and moisture transfer and shrinkage simulation of deep-fat tofu frying [J]. Food Research International, 2005, 38 (2): 183-191.
- [5] Tseng Y C, Moreira R, Sun X. Total frying-use time effects on soybean-oil deterioration and on tortilla chip quality [J]. International Journal of Food Science and Technology, 1996, 31: 287-286.
- [6] Farinu A, Baik O D. Heat transfer coefficients during deep fat frying of sweet potato: Effects of product size and oil temperature [J]. Food Research International, 2007, 40 (8): 989-994.
- [7] Diaz A, Trystram G, Vitrac O, et al. Kinetics of moisture loss and fat absorption during frying for different varieties of plantain [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1999, 79: 291-299.

(上接第 193 页)

Sephadex G-100 柱层析纯化,得两种糖蛋白组分 PDGP'-1、PDGP'-2。两种玉竹糖蛋白均含有能够测定的氨基酸,并具有相同的氨基酸种类。经气相色谱及红外光谱分析测定,PDGP'-1、PDGP'-2 都含有吡喃型糖环,PDGP'-1 中的糖链主要由葡萄糖、半乳糖和鼠李糖组成,PDGP'-2 中的糖链主要由葡萄糖、半乳糖组成,含少量的果糖和阿拉伯糖。

参考文献

- [1] 全国中草药汇编编写组. 全国中草药汇编 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 1978: 84.
- [2] Rees D A. Estimating of the relative amounts of isomeric sulphate esters in some sulphated Polysaccharides [J]. Chem Soc, 1961, 32: 5168-5171.
- [3] 彭秧锡, 刘士军, 郭军, 等. 玉竹的研究开发现状与展望 [J]. 食品研究与开发, 2005, 26 (6): 120-122.
- [4] 江苏新医学院. 中药大辞典 [M]. 上海: 上海人民出版社, 1977: 1156.
- [5] 林厚文, 韩公羽, 廖时首. 中药有效成分研究 [J]. 药学报, 1994, 29 (3): 215.
- [6] Ihami Gülçin, Münir Oktayb, Ekrem Kireç Ö, et al. Screening antioxidant and antimicrobial activities of anise (Pimpinella Anilum L.) seed extracts [J]. Food Chemistry, 2003, 83 (3): 371-382.

- [8] Gazmuri A M, Bouchon P. Analysis of wheat gluten and starch matrices during deep-fat frying [J]. Food Chemistry, 2009, 115: 999-1005.
- [9] 张炳文, 郝真红. 利用低温真空油炸技术研发酥脆枣产品 [J]. 现代科技, 2002 (10): 12-14.
- [10] 范柳萍, 王维琴, 孙金才, 等. 预处理技术对真空油炸脆蚕豆品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2008 (7): 108-113.
- [11] 李伟荣, 任爱清, 陈国宝. 响应面法优化真空油炸-热风联合干燥脆片工艺 [J]. 食品科学, 2011, 32 (4): 117-120.
- [12] 范友丙, 张慤, 周祥, 等. 富硒海芦笋的真空油炸工艺研究 [J]. 食品科学, 2009, 30 (12): 82-85.
- [13] Moreira R G, Palau J, Castell-Perez M E, et al. Moisture loss and oil absorption during deep fat frying of tortilla chips [C]. // In 1991 international winter meeting of the American Society of Agricultural Engineering. Chicago: American Society of Agricultural Engineers, 1991: 1-18.
- [14] Olivier Vitrac, Dominique Dufour, Gilles Trystram, et al. Characterization of heat and mass transfer during deep-fat frying and its effect on cassava chip quality [J]. Journal of Food Engineering, 2002, 53: 161-176.
- [15] Baumann B, Escher F. Mass and heat transfer during deep-fat frying of potato slices. I. Rate of drying and oil uptake [J]. Lebensmittel - Wissenschaft und - Technologie, 1995, 28 (4): 395-403.
- [16] Lamberg I, Hallstrom B, Olsson H. Fat uptake in a potato drying frying process [J]. Lebensmittel - Wissenschaft und - Technologie, 1990, 23: 295-300.
- [17] Ufheil G, Escher F. Dynamics of oil uptake during deep fat frying of potato slices [J]. Lebensmittel - Wissenschaft und - Technologie, 1996, 29: 640-644.

- [7] 陈双. 玉竹糖蛋白的分离纯化及抗氧化作用研究 [D]. 西安: 陕西师范大学, 2009.
- [8] 张龙翔. 生化实验方法与技术 [M]. 第二版. 北京: 高等教育出版社, 1997: 138-140.
- [9] 詹玲, 潘思轶. 大豆糖蛋白的分离纯化及结构分析 [J]. 食品科学, 2006, 27 (12): 594-596.
- [10] Ei-dondity S E, Khalifatl, Ammar Ha, et al. Chemical and biological study of Sophora japonica Growin in Egypt [J]. Al-Azhar J Pharm Sci, 1999, 24: 230.
- [11] 王应强. 丹参糖蛋白的分离纯化与生物活性研究 [D]. 西安: 陕西师范大学, 2007.
- [12] Santanam N, Ramachandran S, Parthasarathy S. Oxygen radicals, antioxidants, and lipid peroxidation [J]. Semin Reprod Endocrinol, 1998, 16: 275-80.
- [13] 张惟杰. 糖复合物生化研究技术 [M]. 第二版. 杭州: 浙江大学出版社, 1999: 124.
- [14] 阙建全. 甘薯糖蛋白的糖链结构与保健功能研究 [D]. 重庆: 西南农业大学, 2003.
- [15] 童朝阳, 林福生, 张守兰, 等. 褶纹冠蚌 *Cristaria plicata* 提取物抗肿瘤作用的实验研究 [J]. 中国海洋药物, 2003 (3): 20-23.
- [16] 张卫明. 玉竹儿童洁肤护肤品的配方设计 [J]. 中国野生植物资源, 2001, 20 (3): 28-29.