

胡萝卜片渗透脱水与真空油炸联合干燥动力学研究

黄生权¹, 范柳萍²

(1. 华南理工大学轻工与食品学院, 广东广州 510640) (2. 江南大学食品学院, 江苏无锡 214122)

摘要: 为降低真空油炸果蔬脆片的脂肪含量, 提高产品品质, 本文研究了胡萝卜片渗透脱水与真空油炸联合干燥动力学, 结果表明: 随着渗透时间的延长, 胡萝卜片的初始水分含量和平衡水分含量逐渐降低, 脂肪含量、平衡脂肪含量以及脂肪的吸收速率也逐渐减少, 皮尔逊积差相关分析显示: 脂肪含量与其初始水分含量具有极显著的相关性 ($P < 0.001$); 将渗透脱水 Fick 水分扩散规律和真空油炸一级反应动力学规律相结合, 获得了胡萝卜片联合干燥过程中水分与脂肪含量变化的动力学方程, 采用非线性回归法确定了方程系数, 结果表明方程具有较高的决定系数, 能够较好地预测渗透脱水与真空油炸联合干燥胡萝卜片水分和脂肪含量的变化。

关键词: 真空油炸; 渗透脱水; 水分含量; 脂肪含量; 动力学

文章编号: 1673-9078(2013)2-223-225

A Kinetics Study on the Combined Drying of the Osmotic Dehydration and Vacuum Frying for the Carrot Chips

HUANG Sheng-quan¹, FAN Liu-ping²

(1. College of Light Industry and Food Sciences, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

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

Abstract: In order to decrease the fat content and improve the quality of vacuum frying chips, the kinetics of combined drying of the osmotic dehydration and vacuum frying for the carrot chips were studied in this paper. The results showed that the initial moisture content and equilibrium moisture content decreased and fat content, equilibrium fat content and fat absorption ratio also decreased with the increasing in osmotic dehydration time. A dynamical model of combined drying for carrot chips were obtained through combined the Fick's law of diffusion and first order reaction kinetics. The model constants were determined by a nonlinear leastsquares regression program and there was good agreement between experimental and fitted values with the high determined coefficients.

Key words: vacuum frying; osmotic dehydration; moisture content; fat content; kinetics

由于食品体系的多样性和复杂性, 采用单一的干燥技术往往达不到最终产品的质量要求, 因此, 出现了各种联合干燥技术^[1-4]。关于干燥技术与油炸脱水相结合的研究, 国外主要侧重于常压深层油炸技术。To-pin 等学者使用过热蒸汽与常压油炸相结合来减少产品的脂肪含量^[5-6]。Krokida 通过渗透脱水结合常压油炸研究法式薯条^[7], Gupta 等使用热风干燥与常压油炸相结合研究法式薯条的油炸动力学及品质变化^[8-9]。目前, 对果蔬脆片最为关注的影响因素就是其脂肪含量, 减少脂肪的摄入被推荐作为提高自身健康的重要途径之一。而脂肪含量与原料初始的水分含量具有显著的相关性, 因此, 可以通过各种预干燥技术结合真空油炸达到目的。为降低果蔬脆片的脂肪含量, 提高

其品质, 本论文主要研究胡萝卜片渗透脱水和真空油炸联合干燥动力学。

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; 大豆色拉油, 市售; 蔗糖, 乙醚等均为分析纯。

真空油炸设备, 无锡南丰轻化设备有限公司; 干燥箱, 上海跃进医疗器械厂; SZC-B 脂肪测定仪, 上海纤检仪器有限公司; HH-2 数显恒温水浴锅。

1.2 试验方法

1.2.1 胡萝卜片的渗透脱水试验

胡萝卜经过清洗、切片 (2 mm)、漂烫后置于蔗糖溶液中 (浓度 50%, 温度 40 °C, 固液比为 1:10) 分别浸渍 0、15、60、180 min, 得到水分含量不同的预干制品。

收稿日期: 2013-01-14

基金项目: 中国博士后科学基金项目 (20100480753)

作者简介: 黄生权 (1977-), 男, 博士, 主要从事食品工程的研究

通讯作者: 范柳萍 (1972-), 女, 博士, 副教授, 主要从事食品科学研究

1.2.2 胡萝卜片渗透脱水与真空油炸联合干燥试验

将上述经过不同时间渗透预脱水的胡萝卜片置于油炸篮内进行真空油炸。油炸温度为 100 ℃，真空度为 0.090 Mpa，油炸 1、2、3、4、5、8、10、15、20、25 和 30 min 后，分别取样研究其水分、脂肪含量随油炸时间的变化。

1.2.3 真空油炸过程中物料水分蒸发与脂肪吸收动力学模型

真空油炸过程中，随着油炸时间的延长，水分含量逐渐下降，而脂肪含量逐渐上升。按照 Baumann 等人的研究，油炸过程中的传质规律符合一级反应动力学方程^[10~11]。可以得到水分与脂肪含量的方程为：

$$m - m_e = (m_0 - m_e) \exp(-K_m t) \quad (1)$$

$$F = F_e (1 - \exp(-K_f t)) \quad (2)$$

注： m_e 为平衡水分含量， m_0 为油炸前初始水分含量， K_m 为水分蒸发速率常数， F_e 为平衡脂肪含量， K_f 为脂肪吸收速率常数， t 为油炸时间。水分蒸发和脂肪吸收的速率常数 (K_m 、 K_f) 与渗透脱水时间相关，满足以下经验方程：

$$K_m = K_{m0} \left(\frac{t_d}{T \times B}\right)^{K_{m1}} \quad (3)$$

$$m_e = m_{e0} \left(\frac{t_d}{T \times B}\right)^{m_e} \quad (4)$$

$$K_f = K_{f0} \left(\frac{t_d}{T \times B}\right)^{K_{f1}} \quad (5)$$

$$F_e = F_{e0} \left(\frac{t_d}{T \times B}\right)^{F_e} \quad (6)$$

注：式中 t_d 为渗透脱水时间， T 为渗透液温度， B 为渗透液浓度， K_{m1} 、 m_{e1} 、 K_{f1} 、 F_{e1} 均为无量纲常数。模型系数采用 SAS 非线性回归分析法求解。

2 结果与分析

2.1 渗透脱水与真空油炸联合干燥对胡萝卜片水分和脂肪含量的影响

渗透脱水与真空油炸联合干燥过程中，胡萝卜片水分含量的变化如图 1 所示。可以看出：渗透预干燥降低了真空油炸胡萝卜片初始水分含量与平衡水分含量，随着渗透时间的延长，胡萝卜片初始水分含量、平衡水分含量、自由水分含量逐渐降低。

渗透脱水与真空油炸联合干燥过程中，胡萝卜片脂肪含量的变化如图 2 所示。随着渗透时间的延长，其脂肪含量与平衡脂肪含量也逐渐减少，脂肪的吸收速率也随着渗透时间的延长而降低。胡萝卜片脂肪含量与初始水分含量的皮尔逊积差相关分析显示（相

关系数为 0.95338）：脂肪含量与其初始水分含量具有极显著的相关性 ($P < 0.001$)，即随着胡萝卜片初始水分含量的降低，其脂肪含量逐渐减少。Gamble 等人在研究常压深层油炸过程中也得出了相似的结果^[11~15]。

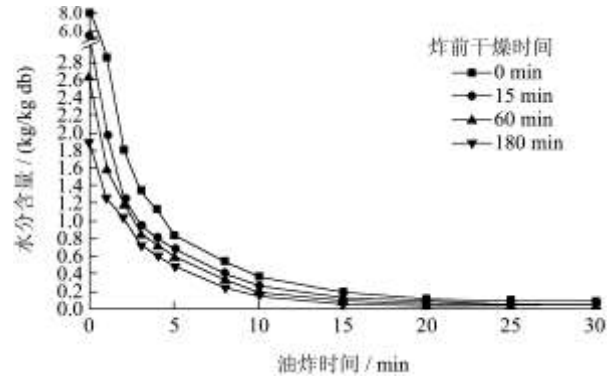


图 1 渗透脱水与真空油炸联合干燥对胡萝卜片水分含量的影响

Fig.1 Effect of the combined drying of the osmotic dehydration and vacuum frying on the water content of carrot chips

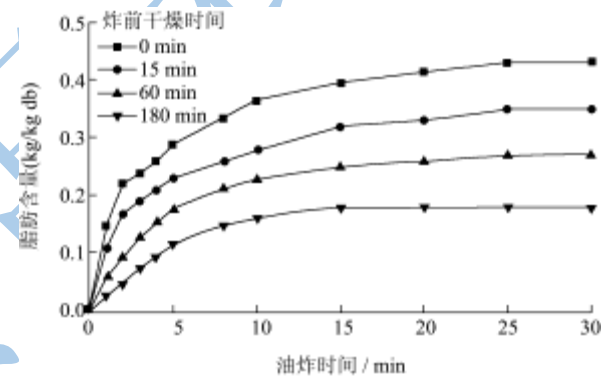


图 2 渗透预干燥对真空油炸胡萝卜片脂肪含量的影响

Fig.2 Effect of the combined drying of the osmotic dehydration and vacuum frying on the fat content of carrot chips

2.2 渗透脱水与真空油炸联合干燥动力学

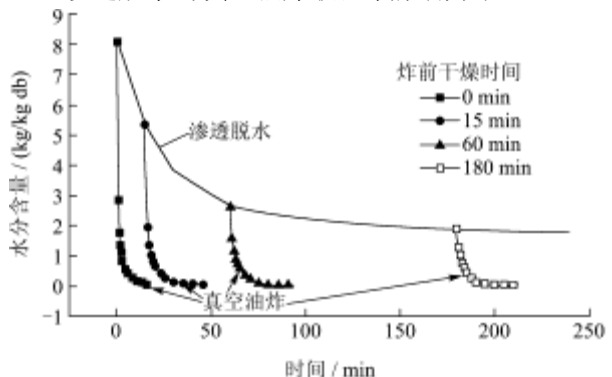


图 3 渗透脱水与真空油炸胡萝卜片的干燥曲线

Fig.3 The drying curve of the carrot chips treated by the combined drying of the osmotic dehydration and vacuum frying

胡萝卜片渗透脱水与真空油炸联合干燥过程（干燥曲线如图 3 所示）可分为两个阶段。第一阶段渗透

脱水过程,胡萝卜片水分含量的变化遵循Fick水分扩散规律。第二阶段真空油炸过程,其水分含量变化符合一级反应动力学规律。胡萝卜片真空油炸前的初始水分含量与渗透脱水浓度、温度以及时间有关,而胡萝卜脆片的脂肪含量与其初始水分含量具有显著的正相关,因此,真空油炸动力学参数也与渗透脱水浓度、温度及时间密切相关。

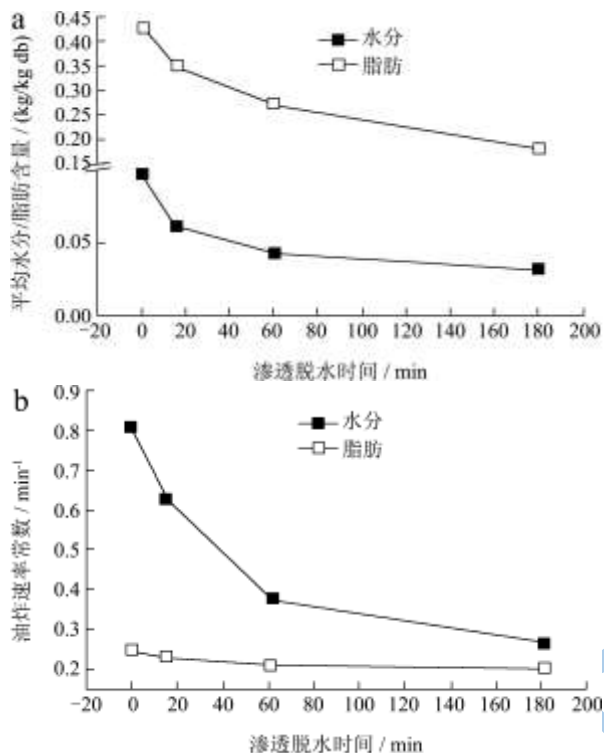


图4 渗透与真空油炸联合干燥胡萝卜片平衡水分/脂肪含量 (a) 以及油炸速率常数 (b)

Fig.4 The equilibrium water, fat contents (a) and frying rate (b) of the carrot chips treated by the combined drying of the osmotic dehydration and vacuum frying

将上述经过不同时间渗透和真空油炸处理,胡萝卜片水分含量与脂肪含量的数据与动力学模型(方程1和2)进行拟合,通过非线性回归分析求解模型系数(图4)。可以看出,随着渗透时间的延长,胡萝卜片平衡水分、脂肪含量逐渐降低(图4a)。而干燥速率一方面与其自由水分含量有关,另一方面与样品表面吸收糖分和内部溶解糖渗透脱水有关。油炸脱水时样品表面吸收的糖分产生结晶,传热受阻,水分在样品表面的扩散能力减弱;溶解糖又使内部的水蒸气压下降,导致与外界蒸气压差减小。这种传热和传质推动力的弱向变化,使油炸脱水速率下降。因此,渗透预干燥降低了油炸过程中的干燥速率,即渗透时间越长,其油炸脱水速率越小,其变化趋势如图4b所示。真空油炸结合不同渗透时间的胡萝卜脆片的平衡水分、脂肪含量以及水分蒸发、脂肪吸收速率与系列经验方程

(方程3至方程6)进行非线性拟合,回归方程系数如表1所示。可以看出,方程具有较高的相关系数,对于真空油炸结合不同条件的渗透脱水过程中胡萝卜水分、脂肪含量的变化具有较好的预测性。

表1 真空油炸结合渗透脱水胡萝卜脆片的模型系数

Table 1 The model coefficients of the carrot chips treated by the combined drying of the osmotic dehydration and vacuum

frying			
	系数常数	指数常数	决定系数
水分蒸发速率	0.25	-0.35	0.9987
平衡水分	0.031	-0.27	0.9981
脂肪吸收速率	0.20	-0.057	0.9894
平衡脂肪	0.19	-0.25	0.9981

3 结论

胡萝卜片渗透脱水与真空油炸联合干燥过程中,随着渗透时间的延长,胡萝卜片的初始水分含量和平衡水分含量逐渐降低,脂肪含量、平衡脂肪含量以及脂肪的吸收速率也逐渐减少,皮尔逊积差相关分析显示:脂肪含量与其初始水分含量具有极显著的相关性(P<0.001)。探讨了胡萝卜片真空油炸结合渗透脱水动力学,确定了其水分与脂肪含量随渗透脱水与油炸时间的方程分别为:

$$m = 0.031\left(\frac{t_d}{200}\right)^{-0.27} + (m_0 - 0.031\left(\frac{t_d}{200}\right)^{-0.27})\exp(-0.25\left(\frac{t_d}{200}\right)^{-0.35}t) \quad (7)$$

$$F = 0.19\left(\frac{t_d}{200}\right)^{-0.25} (1 - \exp(-0.20\left(\frac{t_d}{200}\right)^{-0.057}t)) \quad (8)$$

参考文献

- [1] Alibas I. Microwave, air and combined microwave-air-drying parameters of pumpkin slice [J]. LWT - Food Science and Technology, 2007, 40(8): 1445-1451
- [2] 李瑜,许时婴.不同干燥方法对干燥大蒜品质的影响[J].食品与发酵工业,2006,7:32-36
- [3] 李伟荣,任爱清,陈国宝.响应面法优化真空油炸-热风联合干燥桃脆片工艺[J].食品科学,2011,32(4):117-120
- [4] 黄略略,张懋.草莓冻干-真空微波联合干燥节能保质研究[J].干燥技术与设备,2010,8(3):105-110
- [5] Topin F, Tadriss L. Analysis of transport phenomena during the convective drying in superheated steam [J]. Drying Technology, 1997, 15: 2239-2261
- [6] Li Y B, Seyed-Yagoobi J, Moreira RG, et al. Superheated steam impingement drying of tortilla chips [J]. Drying Technology, 1999, 17: 191-213
- [7] Krokida M K, Oreopoulou V, Maroulis Z B, et al. Effect of

- osmotic dehydration pretreatment on quality of French fries [J]. *Journal of Food Engineering*, 2001, 49: 339-345
- [8] Krokida M K, Oreopoulou V, Maroulis Z B, et al. Effect of pre-drying on quality of French fries [J]. *Journal of Food Engineering*, 2001 49: 347-354
- [9] Gupta P, Shivhare US, Bawa A S. Studies on frying kinetics and quality of French fries [J]. *Drying Technology*, 2000, 18: 311-321.
- [10] 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
- [11] Krokida M K, Oreopoulou V. Water loss and oil uptake as a function of frying time [J]. *Journal of Food Engineering*, 2000, 44: 39-46
- [12] Vitrac O, Dufour D, Trystram G, 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
- [13] Gamble M H, Rice P, Selman J D. Relationship between oil uptake and moisture loss during frying of potato slices from c.v. Record U.K.tubers [J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 1987, 22: 233-241
- [14] Southem C R, Chen X D, Farid M M, et al. Determining internal oil uptake and water content of fried thin potato crisps [J]. *Food and Bioproducts Processing*, 2000, 78: 119-125
- [15] Moreira R G, Palau J E, Sun X. Deep-fat frying of tortilla chips-an engineering approach [J]. *Food Technology*, 1995, 49: 146-150