

胡萝卜真空渗透脱水工艺试验

徐英英¹, 袁越锦¹, 张艳华¹, 李世刚², 党新安^{1*}

(1. 陕西科技大学机电工程学院, 西安 710021; 2. 北京劳动保障职业学院, 北京 100029)

摘要: 为获得真空条件下胡萝卜渗透脱水的最佳工艺条件, 通过试验探讨了切片厚度、真空度、渗透液浓度、温度等因素对胡萝卜真空渗透脱水特性的影响。结果表明: 真空条件能有效提高果蔬渗透脱水效率; 失水率、固形物增加率均随着切片厚度的减小, 真空度的提高, 渗透液浓度、温度的增大而增大; 当真空度达到 10 kPa (绝对压力) 附近时, 固形物增加率增幅明显快于失水率。胡萝卜脉冲真空渗透脱水较优的工艺参数为: 切片厚度 4 mm、真空度 30 kPa、渗透液浓度 60%、温度 40℃, 采用该组参数渗透脱水 240 min 质量损失率可达 40.1%。研究结果可为胡萝卜等蔬菜的干制加工预处理提供技术依据。

关键词: 农产品, 真空, 脱水

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2010.z1.062

中图分类号: TS255.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2010)-Supp.1-0350-06

徐英英, 袁越锦, 张艳华, 等. 胡萝卜真空渗透脱水工艺试验[J]. 农业工程学报, 2010, 26(Supp. 1): 350-355.

Xu Yingying, Yuan Yuejin, Zhang Yanhua, et al. Experiments on osmotic dehydration of carrot at vacuum pressure[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(Supp.1): 350-355. (in Chinese with English abstract)

0 引言

胡萝卜是一种质脆味美、营养丰富的家常蔬菜, 素有“小人参”之称^[1], 其干制品亦很受人们欢迎。胡萝卜干制前进行渗透脱水预处理是降低其干燥能耗、节省干燥时间、提高产品品质的一个重要手段^[2]。渗透脱水是指在一定温度下, 将水果或蔬菜浸入高渗透压的溶液中, 利用细胞膜的半渗透性使物料中水分转移到溶液中, 从而除去部分水分的一种技术^[2]。该技术早期的研究主要集中在脱水的可能性和渗透过程的物理及化学现象等, 近年来对渗透脱水的工艺与应用研究正在全面展开^[2-7]。

由于渗透脱水通常是一个非常缓慢的过程, 因此在不影响果蔬品质的前提下有必要采用一定的辅助方法, 如: 真空渗透脱水、电渗透脱水、超声渗透脱水、高流体静压渗透脱水、离心力渗透脱水等^[8-10], 加速渗透脱水过程中的质量传递, 其中真空渗透脱水因效率高、营养损失少、环保卫生等优点而日益受到人们的青睐^[3]。目前, 应用真空渗透脱水加工水果如苹果、芒果、蓝莓等的研究^[11-14]报道较多, 而对胡萝卜等蔬菜在真空条件下进行渗透脱水的研究尚不多见。因此, 本文拟对影响胡萝卜真空渗透脱水特性的因素进行试验研究, 获得真空条件下胡萝卜渗透脱水的最佳工艺条件, 从而为胡萝卜等蔬菜的干制加工预处理和相关设备的设计提供

技术依据。

1 材料与方法

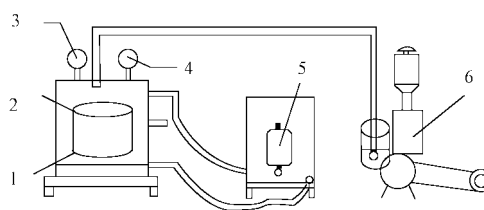
1.1 材料

胡萝卜: 购自西安市当地蔬菜市场, 要求大小均匀一致, 直径 3~4 cm;

蔗糖: 购自西安市当地超市, 食品级。

1.2 仪器及设备

试验采用自制的真空装置。其基本结构如图 1 所示, 主要由真空箱、渗透罐、加热系统和抽真空系统等组成, 最高真空度可达 0.6 kPa。



1. 真空箱 2. 渗透罐 3. 真空表 4. 温度表 5. 加热系统 6. 抽真空系统
图 1 胡萝卜渗透脱水试验真空装置示意图

Fig.1 Sketch of carrot vacuum osmotic dehydration test equipment

所需的仪器包括电子天平 (精度为 0.001g)、电热恒温鼓风干燥箱 (DHG-9240A 型, 上海浦东荣丰科学仪器有限公司)、烧杯、玻璃棒、温度计、电子秒表、滤纸、镊子等。

1.3 试验方法

1.3.1 评价指标

渗透效率的评价指标主要有失水率 (WL)、固形物增加率 (SG) 和质量损失率 (ZL):

收稿日期: 2009-12-14 修订日期: 2010-03-15

基金项目: 陕西省重大科技创新项目(2009ZKC06-08); 陕西科技大学自然科学基金项目(ZX08-18)

作者简介: 徐英英 (1980-), 女, 研究方向为农业机械及农产品加工技术, 西安 陕西科技大学机电工程学院, 710021. Email: xuyy@sust.edu.cn

*通信作者: 党新安 (1958-), 男, 教授, 研究方向为真空加工技术, 西安 陕西科技大学机电工程学院, 710021. E-mail: dangxa@sust.edu.cn

$$WL = \frac{W_{mo} - W_{mt}}{W_0} \times 100\% \quad (1)$$

$$SG = \frac{W_{st} - W_{so}}{W_0} \times 100\% \quad (2)$$

$$ZL = \frac{W_0 - W_t}{W_0} \times 100\% \quad (3)$$

其中, W_{mo} ——物料的初始含水质量, g; W_{mt} ——物料的终了含水质量, g; W_{so} ——物料的初始含固形物质量, g; W_{st} ——物料的终了含固形物质量, g; W_0 ——物料的初始总质量, g; W_t ——物料的终了总质量, g。公式(1)~(3)表明, 质量损失率等于失水率减去固形物增加率, 是二者的综合反映, 可作为综合评价指标。

在渗透脱水过程中, 水分渗出的同时渗透溶质也会向果蔬中迁移渗入, 固形物增加率越大表明溶质渗入得越多, 此时果蔬原有的风味品质会受到一定程度的影响, 如变甜、变咸等。当然, 若生产的产品对甜、咸度等没有要求, 则可不采用固形物增加率为评价指标。但大部分情况下人们都希望加工过程中最大限度地保持果蔬的原汁原味性。因此一般而言失水率、质量损失率以大为好, 而固形物增加率以小为好^[15]。

1.3.2 试验设计

1) 工艺流程

胡萝卜→预处理(清洗、去皮)→切片→测量初始参数(W_0 、 W_{m0} 、 W_{s0})→不同方式渗透脱水→后处理(沥干、吸除表湿)→测量终了参数(W_t 、 W_{mt} 、 W_{st})。

在自制真空装置中进行渗透脱水设 3 种处理方式: 连续真空渗透脱水、脉冲真空渗透脱水和常压(大气压)渗透脱水。连续真空方式即试验时同时开启加热系统和抽真空系统保持渗透罐内溶液温度和真空箱内真空度恒定; 脉冲真空方式即试验时开启加热系统保持渗透罐内溶液温度恒定, 但抽真空系统是间隔开启, 使真空箱内真空(5 min)与常压(25 min)状态交替出现; 常压方式即试验时只开启加热系统保持渗透罐内溶液温度恒定, 而真空箱内为常压状态。

2) 单因素试验

通过固定其他因素, 变动一个因素的试验方法进行单因素试验, 研究胡萝卜切片厚度、真空方式、真空度、蔗糖溶液浓度、温度等对胡萝卜真空渗透脱水特性的影响规律。单因素试验时每次取 100 g 已备好的胡萝卜片进行试验, 未注明的因素和工艺条件取值如下: 脉冲真空方式、真空度 30 kPa(绝对压力)、切片厚度 6 mm、蔗糖溶液质量分数 60%、温度 20℃。

3) 正交试验

根据单因素试验选取胡萝卜切片厚度、真空度、蔗糖溶液浓度、温度为试验因素, 以质量损失率为综合评价指标, 进行 3 水平 4 因素脉冲真空方式的胡萝卜渗透脱水正交试验。选用 $L_9(3^4)$ 正交试验表, 共进行 9 组试验, 每组试验中各取已备好的胡萝卜片 100 g, 渗透脱水时间为 240 min。各因素水平的取值如下表 1 所示。

1.4 数据分析

文中数据为 3 次试验结果的平均值。采用 Excel2003 和 SPSS11.5 软件进行数据分析处理, 包括平均值、标准误差(用误差线表示)计算、极差和方差分析等。显著性检验采用是否 $P < 0.05$ 水平进行判断。

表 1 胡萝卜真空渗透脱水正交试验因素编码表

Table 1 Orthogonal test factors and levels of carrot vacuum osmotic dehydration

水平	因素			
	切片厚度 A/mm	真空度 B/kPa	溶液浓度 C/%	温度 D/℃
1	2	10	40	20
2	6	30	50	30
3	8	60	60	40

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 真空与常压胡萝卜渗透脱水的比较

连续真空、脉冲真空和常压下对胡萝卜渗透脱水影响的试验结果如图 2 所示。从图中可以看出, 真空条件下胡萝卜渗透脱水效率较之常压条件下有明显的改善($P=0.008$), 失水率提高了约 14% 以上; 但同时固形物增加率也大大上升, 这对于要求生产低糖产品时是不利的。另一方面, 由图 2 也可看出, 连续真空和脉冲真空对胡萝卜渗透脱水的差别不大($P=0.221$); 因此, 从生产角度考虑到节能应优先选用脉冲真空方式。

2.1.2 真空度对胡萝卜渗透脱水的影响

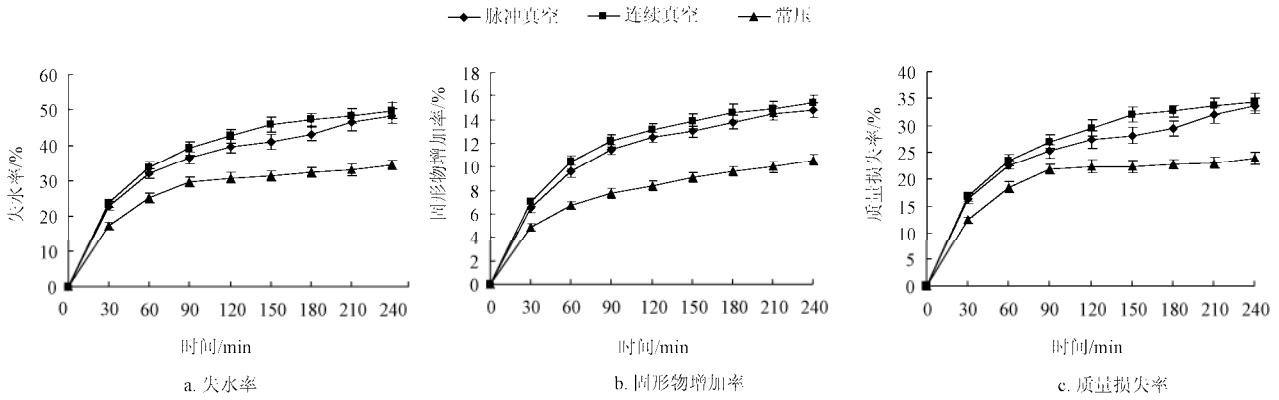
不同真空度对胡萝卜渗透脱水影响的试验结果如图 3 所示。从图中可以看出, 真空度越高(即绝对压力越低), 失水率越大, 固形物增加率也越大; 当绝对压力降低到 10 kPa 附近时, 固形物增加率增幅明显快于失水率, 质量损失率增幅减慢。这可能与胡萝卜孔隙细胞壁结构被破坏的程度有关^[2], 具体原因有待进一步研究。在本试验条件下, 真空度为 30 kPa 时脱水后期质量损失率最大, 因此真空度选 30 kPa 较好。

2.1.3 切片厚度对胡萝卜渗透脱水的影响

切片厚度对胡萝卜真空渗透脱水影响的试验结果如图 4 所示。从图中可以看出, 切片厚度对真空渗透脱水性能的影响显著($P=0.026$), 厚度越薄, 失水率和固形物增加率越大, 二者增幅相当, 综合表现为质量损失率也越大。因此, 在工艺条件允许的情况下胡萝卜切片厚度越薄越好, 本文选切片厚度为 4 mm。

2.1.4 渗透液温度对胡萝卜渗透脱水的影响

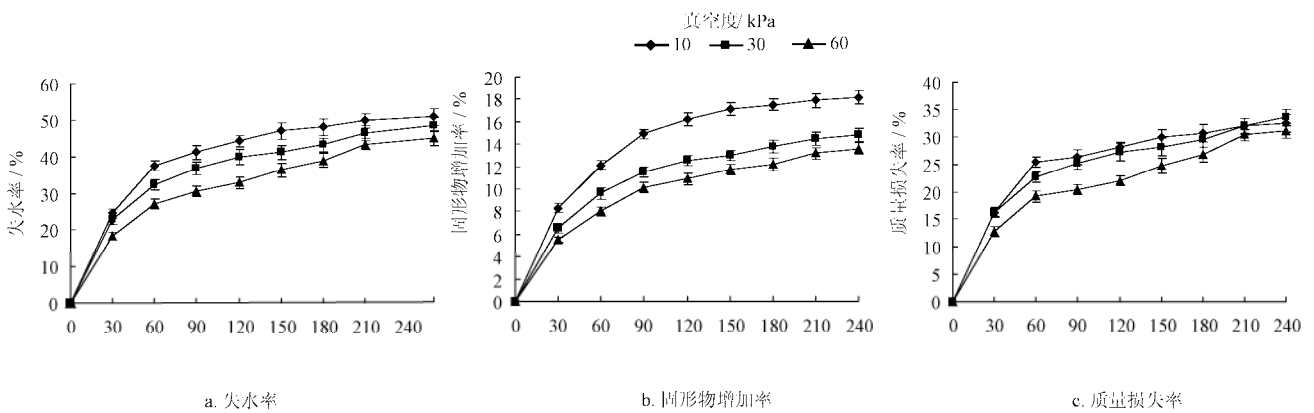
不同渗透液温度对胡萝卜真空渗透脱水影响的试验结果如图 5 所示。从图中可以看出, 温度对胡萝卜真空渗透脱水性能的影响显著($P=0.023$), 失水率、固形物增加率和质量损失率均随着温度的升高而增大, 且温度越高, 固形物增加率增幅有快于失水率的趋势。综合考虑, 胡萝卜脉冲真空渗透脱水应在高于室温的条件下进行, 但不宜太高, 因为过高的渗透温度易引起 β -胡萝卜素氧化, 使产品品质下降。在本试验条件下, 渗透液温度选择 40℃ 较好。



注：真空度 30kPa、切片厚度 6mm、渗透液质量分数 60%、温度 20℃

图 2 真空方式对胡萝卜渗透脱水的影响

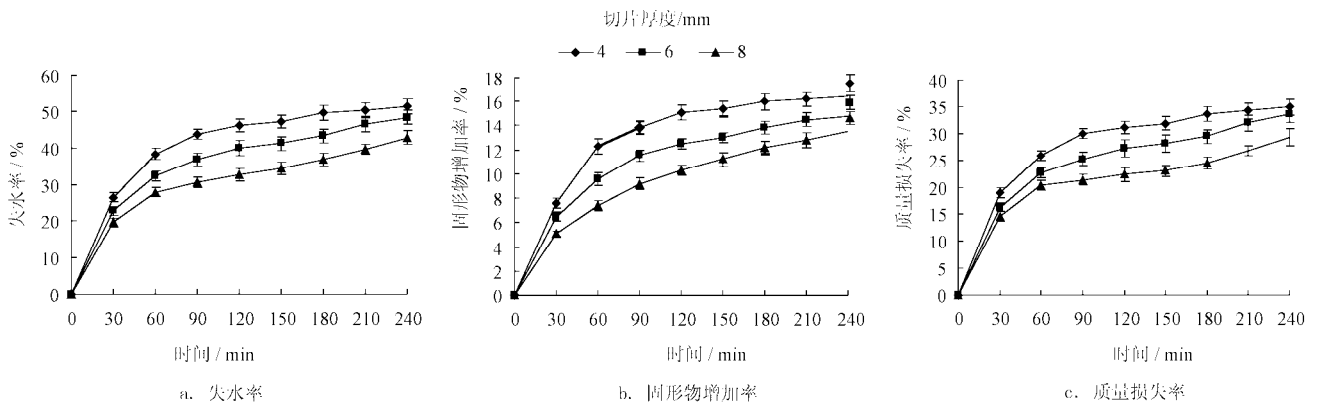
Fig. 2 Effects of vacuum mode on carrot osmotic dehydration



注：脉冲真空方式、切片厚度 6mm、渗透液质量分数 60%、温度 20℃

图 3 真空度对胡萝卜渗透脱水的影响

Fig. 3 Effects of vacuum degree on carrot osmotic dehydration



注：脉冲真空方式、真空度 30kPa、渗透液质量分数 60%、温度 20℃

图 4 切片厚度对胡萝卜真空渗透脱水的影响

Fig. 4 Effects of slice thickness on carrot vacuum osmotic dehydration

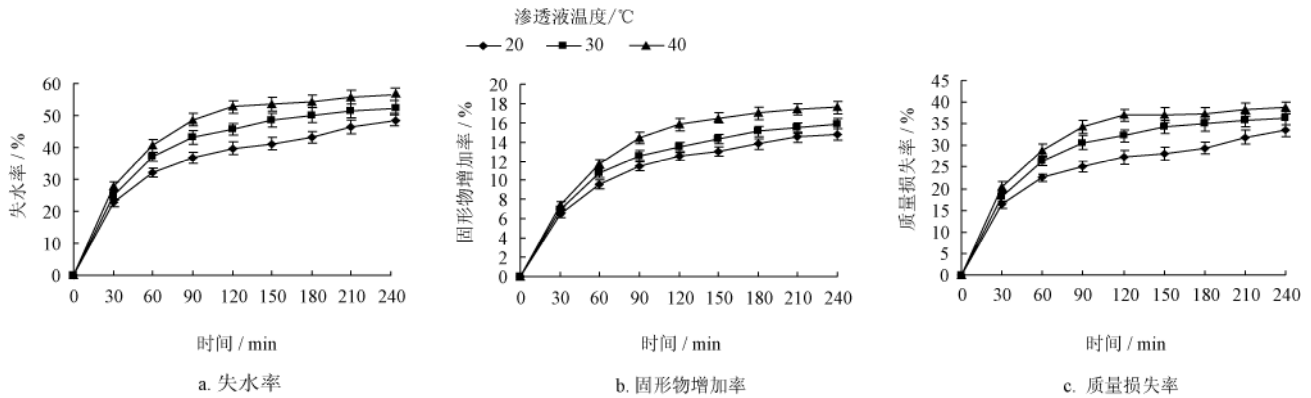
2.1.5 渗透液质量分数对胡萝卜渗透脱水的影响

不同渗透液浓度对胡萝卜真空渗透脱水影响的试验结果如图 6 所示。从图中可以看出，渗透液质量分数对真空渗透脱水性能有很大影响，失水率、固形物增加率和质量损失率均随着渗透液质量分数的增大而增大；渗透液质量分数越高，失水率越大，固形物增加率也越大，二者增幅相当。因此从生产角度考虑，若要生产低糖产

品，则选用的渗透液质量分数不能太高。在本试验条件下，渗透液质量分数选择 60% 较好。

2.2 正交试验结果

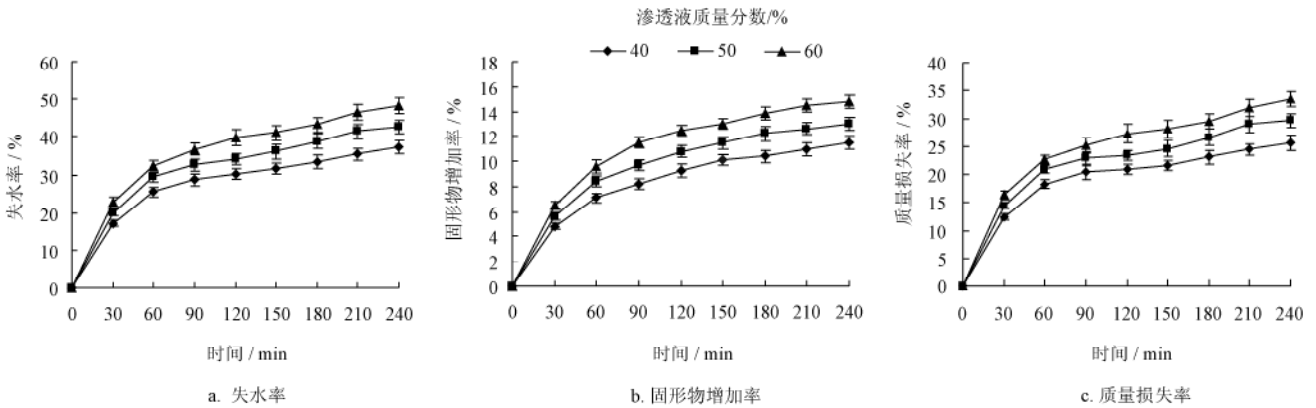
胡萝卜真空渗透脱水正交试验安排及结果如表 2 所示。利用极差分析法对质量损失率指标进行分析得到：影响胡萝卜脉冲真空渗透脱水特性的主次因素依次为 C、A、D、B，最佳组合为 A₁B₂C₃D₃；即当胡萝卜切片厚度



注：脉冲真空方式、真空度 30kPa、切片厚度 6mm、渗透液质量分数 60%

图 5 渗透液温度对胡萝卜真空渗透脱水的影响

Fig. 5 Effects of solution temperature on carrot vacuum osmotic dehydration



注：脉冲真空方式、真空度 30kPa、切片厚度 6mm、渗透液温度 20℃

图 6 渗透液质量分数对胡萝卜真空渗透脱水的影响

Fig. 6 Effects of solution concentration on carrot vacuum osmotic dehydration

为 4 mm、真空度 30 kPa、溶液浓度 60%、温度 40℃时脉冲真空渗透脱水效果最好；验证试验表明，采用该组参数渗透脱水 240 min 质量损失率可达 40.1%，即失水率 (57.6%) 较大而固形物增加率 (17.5%) 不高。

3 结论

1) 真空条件能有效提高果蔬渗透脱水效率，连续真空和脉冲真空对胡萝卜渗透脱水影响的差别不大；失水率、固形物增加率均随着切片厚度的减小，真空度的提高，渗透液浓度、温度的增大而增大；当真空度达到 10 kPa (绝对压力) 附近时，固形物增加率增幅明显快于失水率；胡萝卜脉冲真空渗透脱水应在高于室温的条件下进行，但不宜太高，过高的渗透液温度易引起 β 胡萝卜素氧化，使产品品质下降。关于温度对真空渗透脱水胡萝卜品质的影响有待在后续的研究中进行深入探讨。

2) 以质量损失率为综合评价指标的正交试验结果表明，胡萝卜脉冲真空渗透脱水较优的工艺参数为：切片厚度 4 mm、真空度 30 kPa、渗透液浓度 60%、温度 40℃；采用该组参数渗透脱水 240 min 质量损失率可达 40.1%。

表 2 胡萝卜真空渗透脱水正交试验方案与结果

Table 2 Orthogonal test design and results of carrot vacuum osmotic dehydration

试验号	试验因素				质量损失率/%
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	26.0
2	1	2	2	2	33.7
3	1	3	3	3	37.7
4	2	1	2	3	33.6
5	2	2	3	1	33.5
6	2	3	1	2	26.1
7	3	1	3	2	31.0
8	3	2	1	3	26.7
9	3	3	2	1	22.9
K_1	32.5	30.2	26.3	27.5	
K_2	31.1	31.3	30.1	30.3	
K_3	26.9	28.9	34.1	32.7	
R	5.6	2.4	7.8	5.2	
最优水平	A_1	B_2	C_3	D_3	
影响程度	$C > A > D > B$				

[参 考 文 献]

- [1] 冯中波, 徐敏, 贺君, 等. 营养保健型胡萝卜果脯的研制[J]. 食品工业科技, 2009, 30(6): 248—250.
Feng Zhongbo, Xu Min, He Jun, et al. Processing technology of healthy preserved carrot[J]. Science and Technology of Food Industry, 2009, 30(6): 248—250. (in Chinese with English abstract)
- [2] 董全, 陈宗道. 国内外果蔬渗透脱水的研究进展[J]. 广州食品工业科技, 2004, 20(2): 129—132.
Dong Quan, Chen Zongdao. Research progress on the osmotic dehydration of fruits and vegetables at home and abroad[J]. Guangzhou Food Science and Technology, 2004, 20(2): 129—132. (in Chinese with English abstract)
- [3] Fito P, Chiralt A, Betoret N, et al. Vacuum impregnation and osmotic dehydration in matrix engineering: Application in functional fresh food development[J]. Journal of Food Engineering, 2001, 49(2/3): 175—183.
- [4] Chiralt A, Talens P. Physical and chemical change induced by osmotic dehydration in plant tissues[J]. Journal of Food Engineering, 2005, 67(1/2): 167—177.
- [5] Lombard G E, Oliveira J C, Fito P, et al. Osmotic dehydration of pineapple as a pre-treatment for further drying[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 85(2): 277—284.
- [6] 田红萍, 王剑平. 胡萝卜渗透脱水传质试验研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(6): 220—222.
Tian Hongping, Wang Jianping. Mass transfer during osmotic dehydration of carrots[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(6): 220—222. (in Chinese with English abstract)
- [7] 周坚, 权中华. 草鱼肉块渗透脱水规律研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(7): 263—266.
Zhou Jian, Quan Zhonghua. Principle of osmotic dehydration of grass carp sheets[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(7): 263—266. (in Chinese with English abstract)
- [8] 孙锐, 薛艳丽, 李里特, 等. 电渗透脱水工艺在豆制品加工方面的应用[J]. 农业工程学报, 2004, 20(2): 189—192.
Sun Rui, Xue Yanli, Li Lite, et al. Application of the electroosmotic dewatering in soybean products processing[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(2): 189—192. (in Chinese with English abstract)
- [9] 孙宝芝, 姜任秋, 淮秀兰, 等. 声空化强化渗透脱水[J]. 化工学报, 2004, 55(10): 1714—1718.
Sun Baozhi, Jiang Renqiu, Huai Xiulan, et al. Enhancing osmotic dehydration with acoustic cavitation[J]. Journal of Chemical Industry and Engineering, 2004, 55(10): 1714—1718. (in Chinese with English abstract)
- [10] 董红星, 相玉琳, 王树盛, 等. 超声场作用下胡萝卜渗透脱水质量传递规律研究[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2008, 29(2): 189—193.
Dong Hongxing, Xiang Yulin, Wang Shusheng, et al. Transfer rule of osmotic dehydration of carrots under ultrasound treatment [J]. Journal of Harbin Engineering University, 2008, 29(2): 189—193. (in Chinese with English abstract)
- [11] Paes S S, Stringari G B, Laurindo J B. Effect of vacuum impregnation-dehydration on the mechanical properties of apples[J]. Drying Technology, 2006, 24(12): 1649—1656.
- [12] 邓云, 张庆钢, Zhao Yanyun. 脉冲真空和超声波对苹果渗透动力学和品质的影响[J]. 农业机械学报, 2008, 39(8): 89—93.
Deng Yun, Zhang Qinggan, Zhao Yanyun. Effects of Pulsed Vacuum and Ultrasound on Mass Transfer and Quality of Apples during Osmodehydration[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(8): 89—93. (in Chinese with English abstract)
- [13] 董全, Marcotte M, 陈宗道. 真空、脉冲真空和常压下蓝莓渗透脱水的研究[J]. 食品科学, 2007, 28(9): 92—95.
Dong Quan, Marcotte M, Chen zongdao. Study on osmotic dehydration of blueberries at vacuum pressure, pulsed vacuum and atmosphere pressure[J]. Food science, 2007, 28(9): 92—95. (in Chinese with English abstract)
- [14] 刘卫华. 芒果真空渗透脱水的研究[J]. 食品科技, 2009, 34(2): 52—55.
Liu Weihua. Study on osmotic dehydration of mango at vacuum pressure [J]. Food Science and technology, 2009, 34(2): 52—55. (in Chinese with English abstract)
- [15] 庞韵华, 崔政伟. 苹果渗透脱水的响应面优化分析[J]. 农产品加工(学刊), 2008, 4: 25—30.
Pang Yunhua, Cui Zhengwei. Optimization of osmotic dehydration of apple cubes by the response surface methodology [J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2008, 4: 25—30. (in Chinese with English abstract)

Experiments on osmotic dehydration of carrot at vacuum pressure

Xu Yingying¹, Yuan Yuejin¹, Zhang Yanhua¹, Li Shigang², Dang Xin-an^{1*}

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China; 2. Beijing Vocational College of Labour and Social Security, Beijing 100029, China)

Abstract: In order to obtain the optimum process conditions of carrot vacuum osmotic dehydration, the effects of slice

thickness, vacuum degree, solute liquid concentration and temperature on carrot vacuum osmotic dehydration were investigated by experiment. The results indicated that the osmotic dehydration efficiency was improved obviously at vacuum condition. The carrot dehydration and solid gain rate increased with decreasing slice thickness and increasing vacuum degree, concentration and temperature of sucrose solution. The increasing rate of solid gain rate was higher than the dehydration rate obviously when the vacuum degree was decreased to about 10 kPa. The optimized technological parameters of carrot osmotic dehydration at pulsed vacuum pressure were 4mm slice thickness, 30kPa vacuum degree, 60% solute liquid concentration and 40°C temperature. The weight loss rate reached 40.1% under the above conditions and osmotic dehydration time 240 minute. These research results provided technical basis for carrot drying pretreatment.

Key words: agricultural products, vacuum, dehydration