

文章编号:1003-8701(2013)01-0087-05

猕猴桃渗透脱水的响应面优化分析

蓝浩,周国燕

(上海理工大学食品与低温生物技术研究,上海 200093)

摘要:以新西兰猕猴桃为实验材料,利用响应面法对新西兰猕猴桃渗透脱水工艺进行优化。在单因素的基础上,选择影响脱水关键因素渗透时间、渗透温度、渗透液浓度、固液比为自变量,进行四因素五水平的中心组合旋转实验设计。通过响应面进行渗透脱水条件的优化,建立响应值与各影响因素之间的回归方程,得到最佳工艺:渗透时间 265 min,渗透温度 39.7℃,渗透浓度 62.3%,固液比为 1:9.5。

关键词:猕猴桃;渗透脱水;响应面分析

中图分类号:TS255.3

文献标识码:A

Optimization of Osmotic Dehydration of Kiwifruit Slice by the Response Surface Method

LAN Hao, ZHOU Guo-yan

(Institute of Biosystem Thermal Science, Shanghai University of Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Using New Zealand Kiwifruit as experimental material, osmotic dehydration of kiwifruit slice was optimized by the response surface method. Based on the single factor experiments, the key factors including osmotic time, osmotic temperature, solute concentration and solid-liquid ratio were selected to design the four-factors and five-levels central component experiments. Furthermore, the regression equation between response values and the factors was established using the response surface method. The best parameters were: osmotic time 265 minutes, osmotic temperature 39.7℃, sucrose concentration 62.3 percent and solid-liquid ratio 1:9.5.

Keywords: Kiwifruit; Osmotic dehydration; Response surface method

猕猴桃又名“奇异果”,是一种深受消费者喜爱的水果。维生素 C 含量高达 100~420 mg/100 g,比梨、苹果等水果高几倍甚至几十倍,同时还含有人体必需的 17 种氨基酸和多种矿物质^[1]。但是,猕猴桃易受微生物和酶的作用而变质,干制是延长其货架期的有效方法之一,并且可以在非收获季节销售,增加经济收益。近年来,传统干燥技术如热风干燥、真空干燥有了较快的发展,但是能源利用率低,产品品质差等问题仍没有得到很好解决^[2]。

果蔬渗透脱水是指在一定的温度下,将物料浸入高渗透压的溶液中,除去其中部分水分的方法。果蔬渗透脱水能降低干燥能耗、减少干燥时间、提高产品品质,是一种较为理想的干制前预处理手段^[3]。果蔬的细胞壁是天然的半渗透膜,具有选择透过性,将物料放入高浓度的溶液后,果蔬细胞中的一部分水向高浓度的溶液中转移,同时溶液中的溶质也扩散到细胞壁内^[4]。果蔬渗透脱水的全过程完全是自发进行,不需要进行加热,水分的转移没有发生相变,因此在减少干燥时间、节省能耗的同时,最大限度地降低果蔬质地和营养物质的破坏^[5]。而且渗透脱水过程中,渗透液中扩散到果蔬中的溶质能降低果蔬的水分活度,延长果蔬的货架期^[6]。目前,国内外学者已采用草莓、胡萝卜、蓝莓、苹果、杏子、土豆、蘑菇、樱桃为研究对象,进

收稿日期:2012-09-06

基金项目:国家自然科学基金青年基金项目(50206013);上海市重点学科建设项目(S30503)

作者简介:蓝浩(1986-),男,硕士研究生,研究方向为药品食品冷冻冷藏。

行渗透脱水试验^[7]。董全^[8]则利用 Fick 非稳态扩散方程,估算了蓝莓渗透脱水时的有效水分扩散系数和有效固形物扩散系数。本文以猕猴桃为原料,进行渗透脱水实验,研究不同因素对猕猴桃脱水率的影响,获得猕猴桃渗透脱水的最佳工艺,以期对猕猴桃深加工探索一条新途径。

1 材料与方法

1.1 实验材料

新西兰猕猴桃,成批购于上海市水果批发市场,大小均匀,成熟度一致,在 5℃ 以下保藏待用;蔗糖,食品级。

1.2 仪器设备

电子天平,北京赛多利斯仪器系统有限公司;DHG-9076A 型电热鼓风干燥箱,上海精密实验设备公司;HH-S 型恒温水浴锅,上海比朗仪器有限公司;温度计、烧杯、镊子、玻璃杯、滤纸等。

1.3 实验方法

1.3.1 猕猴桃初始含水量的测定

将新鲜猕猴桃去皮,取中间段横切,准确称取 3 份 5 mm 的立方体,在设置为 100℃ 电热鼓风干燥箱内干燥,每隔 1 h 取出称量,直到 3 次测量值相等。测得猕猴桃初始含水量 82.3%~84.2%^[9]。

1.3.2 渗透脱水的工艺流程

新鲜猕猴桃去皮,去中间段横切成厚度为 6 mm 的薄片,准确称量。装有渗透液的烧杯放在水浴锅中加热,待烧杯内渗透液稳定在实验温度时,将猕猴桃放入,计时。到实验需要时间后取出猕猴桃片,用蒸馏水冲洗,滤纸吸去表面多余水分,称取渗透后的猕猴桃片质量。然后在设定温度为 100℃ 的热风干燥箱内干燥,以 3 次测量值相等为干燥终点,称量。

1.3.3 实验指标的计算

失水率(WL): $WL(\%) = [M_0 X_0 - M_t X_t] / M_0 \times 100$

式中: M_0 为渗透脱水前物料质量; X_0 为渗透脱水前物料的含水率; M_t 为渗透至 t 时刻的物料质量; X_t 为渗透至 t 时刻的物料含水率。

2 结果与分析

2.1 单因素实验对猕猴桃渗透脱水的优化

2.1.1 渗透液浓度对渗透脱水的影响

固定温度 40℃,固液比 1:10,时间 240 min,分别考察渗透浓度为 45%、50%、55%、60%、65% 的蔗糖溶液时,猕猴桃的脱水情况,试验结果如图 1 所示。由图 1 可以看出,渗透液浓度越高失水率

随之增大,说明渗透液浓度升高,细胞膜内外渗透压压力差扩大,加快了细胞中的水向高浓度的溶液中转移,而渗透液溶质也能加速渗入到样品中去,提高了样品渗透脱水的效率^[10]。

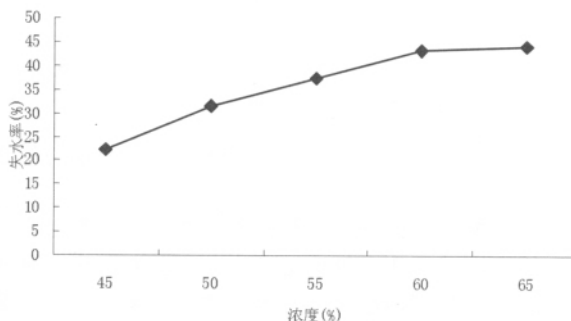


图 1 不同蔗糖浓度对猕猴桃失水率的影响

2.1.2 渗透温度对渗透脱水的影响

在渗透浓度为 60%,渗透时间 240 min,固液比为 1:10 的条件下,考察渗透温度为 20℃、30℃、40℃、50℃、60℃ 时猕猴桃的脱水情况,试验结果如图 2 所示。由图 2 可以看出,温度越高失水率随之增大,说明温度升高,分子运动速度加快,提高了溶质向样品组织细胞内扩散的传质速度,使溶质在相同的时间内能更多地渗入到样品中。但是,温度从 20℃ 变化到 40℃ 的过程中,样品的失水率呈明显上升的趋势,超过 40℃ 样品的失水率增加变化呈下降趋势。造成这种现象的原因可能是较高的温度虽然能在初期提高水分的渗出速度,但长时间的高温浸泡破坏了细胞膜的半透性,使细胞膜内外的渗透压降低,造成渗透脱水不能正常进行^[11]。

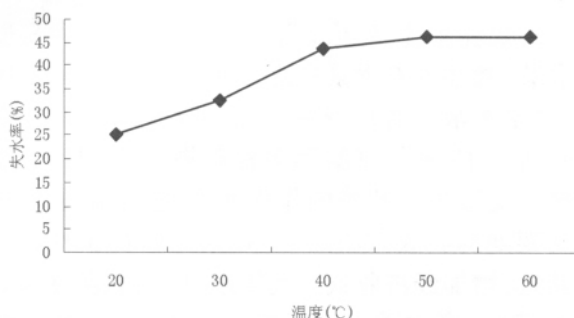


图 2 不同渗透温度对猕猴桃失水率的影响

2.1.3 渗透时间对渗透脱水的影响

蔗糖浓度 60%,以 1:10 固液比浸出,温度 40℃,研究脱水时间 60 min、120 min、180 min、240 min、300 min 时猕猴桃的脱水情况,试验结果如图 3 所示。由图 3 可以看出,从 60 min 开始,随着渗透时间的延长,失水率出现了明显的上升,当

渗透时间超过 240 min 时,猕猴桃失水率基本平稳,也即进一步延长时间,对失水率影响较小。而且渗透时间过长,有利于微生物的繁殖,从减少生产周期考虑,渗透时间也不宜过长^[12]。

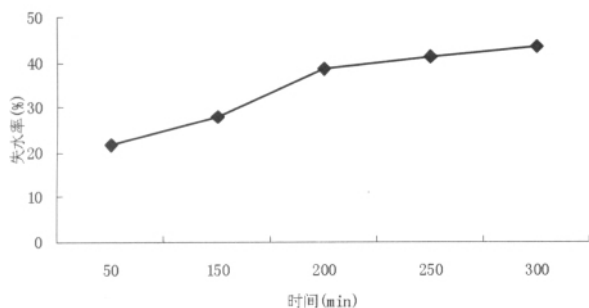


图 3 不同渗透时间对猕猴桃失水率的影响

2.1.4 固液比对渗透脱水的影响

在渗透浓度为 60%、渗透时间 240 min、渗透温度为 40℃的条件下,研究固液比为 1:4、1:6、1:8、1:10、1:12 时猕猴桃脱水率的变化,试验结果如图 4 所示。由图 4 可知,随着固液比的增加,失水率也呈上升趋势,固液比增大,可以减小渗透液因样品中水分的渗出而导致的浓度减小的问题,能保证一定的渗透浓度,从而保证了渗透脱水过程不受渗透液浓度变化的影响^[13]。

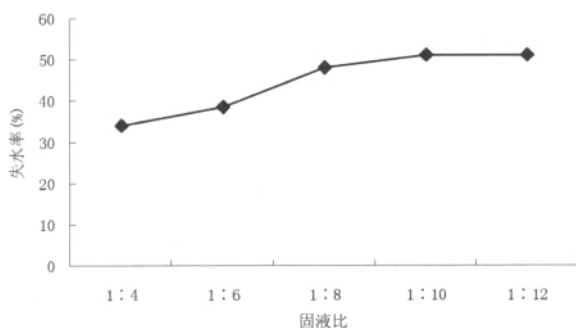


图 4 不同固液比对猕猴桃失水率的影响

2.2 响应面法优化猕猴桃渗透脱水工艺

2.2.1 中心组合实验设计

在猕猴桃渗透脱水的单因素实验基础上,选择渗透液浓度、渗透温度、渗透时间、固液比为自变量,根据 Central Composite Rotatable Design 设计的原理,采用 Design Expert 7.0 软件设计四因素五水平的中心组合实验。实验设计的因素、水平及编码见表 1,中心组合实验设计及结果见表 2。本研究共有 31 个试验点,其中中心点有 7 个,用于估计实验误差。

2.2.2 响应面法优化猕猴桃脱水率的结果分析

采用 Design Expert 7.0 软件对表 2 中的实

验结果进行多元回归二次拟合分析,以猕猴桃失水率为响应值 Y,得到模拟方程如下:

$$\begin{aligned} \text{失水率 } Y = & 36.02 + 4.98 \times A + 4.51 \times B + 1.53 \times C + \\ & 0.47 \times D + 1.05 \times A \times B + 0.47 \times A \times C + \\ & 0.78 \times A \times D + 1.22 \times B \times C - 0.55 \times B \times \\ & D - 7.500E - 0.03 \times C \times D + 0.21 \times A^2 - \\ & 0.035 \times B^2 - 0.85 \times C^2 - 0.80 \times D^2 \end{aligned}$$

表 1 实验设计因素、水平及编码

代码值	实际值			
	X ₁ :浓度(%)	X ₂ :温度(℃)	X ₃ :时间(min)	X ₄ :固液比
-2	45	20	60	1:4
-1	50	30	120	1:6
0	55	40	180	1:8
1	60	50	240	1:10
2	65	60	300	1:12

表 2 中心组合实验设计与结果

实验号	浓度	温度	时 间	料液比	脱水率 (%)
1	-2	0	0	0	28.96
2	-1	1	-1	-1	31.23
3	1	1	1	-1	48.72
4	-1	1	1	1	34.08
5	0	-2	0	0	24.07
6	0	0	0	0	34.24
7	0	0	0	0	34.86
8	0	0	0	0	35.62
9	1	-1	-1	1	36.73
10	0	0	-2	0	29.34
11	0	0	0	-2	32.04
12	0	0	0	2	32.12
13	-1	1	1	-1	34.42
14	-1	-1	1	-1	26.52
15	1	-1	1	1	38.36
16	0	0	0	0	38.26
17	-1	-1	-1	1	26.86
18	0	0	0	0	36.56
19	0	2	0	0	46.23
20	1	1	-1	1	43.20
21	-1	-1	-1	-1	25.09
22	1	1	-1	-1	40.69
23	1	-1	1	-1	33.86
24	0	0	0	0	36.36
25	1	1	1	1	49.92
26	-1	-1	1	1	26.62
27	2	0	0	0	43.26
28	0	0	2	1	34.47
29	-1	-1	-1	-1	31.34
30	1	0	-1	0	27.64
31	0	0	0	0	36.24

对上述模型进行方差分析,结果如表 3 所示。

由表 3 可知,该模型的 Prob>F 小于 0.01,差异极显著,说明回归方程的显著性及可靠性极高,模型方程能很好地反映真实的实验值。失拟检验

的 $\text{Prob}>F=0.099\ 4$ 大于 0.05 ,差异不显著 ,说明本实验所选取的影响因素较全面 ,没有其他不可忽视的因素存在^[14]。同时 ,模型的决定系数(R^2)=0.954 ,

大于 90% ,表明自变量与响应值之间关系显著^[15] ,有 95.4% 的实验数据可以用这个方程解释。而 Adj R- Squared 为 0.934 2 ,可知调整后与调整前

表 3 猕猴桃失水率(Y)回归模型方差分析

方差来源	平方和	自由度	方差	F 值	P>F
模型	1 243.91	14	88.85	23.70	< 0.000 1
A 浓度	594.61	1	594.61	158.62	< 0.000 1
B 温度	489.06	1	489.06	130.47	< 0.000 1
C 时间	56.30	1	56.30	15.02	0.001 3
D 固液比	5.23	1	5.23	1.39	0.254 9
AB	17.51	1	17.51	4.67	0.046 2
AC	3.59	1	3.59	0.96	0.342 3
AD	9.67	1	9.67	2.58	0.127 8
BC	23.86	1	23.86	6.37	0.022 6
BD	4.80	1	4.80	1.28	0.274 7
CD	9.000E- 004	1	9.000E- 004	2.401E- 004	0.987 8
A ²	1.20	1	1.20	0.32	0.579 1
B ²	0.035	1	0.035	9.345E- 003	0.924 2
C ²	20.48	1	20.48	5.46	0.032 7
D ²	18.42	1	18.42	4.91	0.041 5
残差	59.98	16	3.75	-	-
失拟性	49.83	10	4.98	2.95	0.099 4
纯误差	10.15	6	1.69	-	-
总离差	1 303.89	30	-	-	-

很接近且都大于 90% ,回归式很好。

2.2.3 响应面分析及最优条件的确定

为了进一步研究相关变量之间的交互作用以及确定最优点 ,本文对建立的二次回归模型 ,利用

Design Expert 7.0 软件做响应曲面及等高平面图 ,可以直观地看出各因子对响应值的影响变化趋势 ,见图 5、图 6。

猕猴桃渗透脱水的失水率受固液比和渗透时

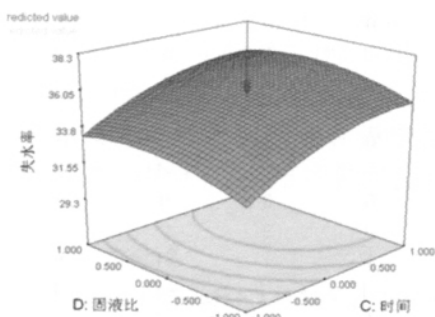


图 5 $Y = f(C, D)$ 的响应面与等高线图

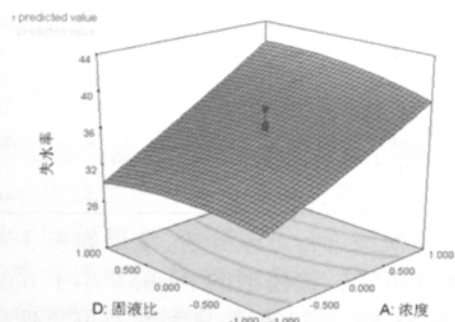
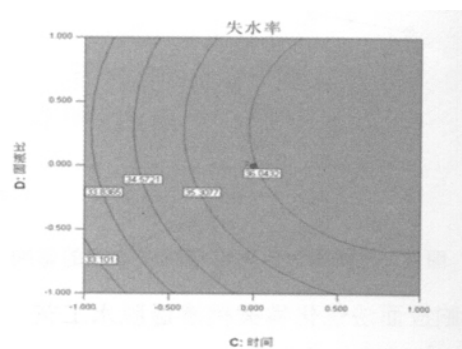
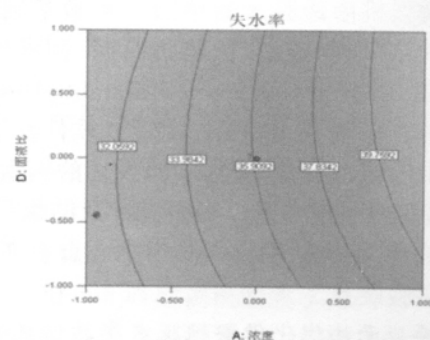


图 6 $Y = f(A, D)$ 的响应面与等高线图



间的影响显著,由图 5 可看出,在渗透温度和渗透液浓度保持不变的情况下,随着渗透时间和固液比的增加,失水率出现了升高后再达到平衡并有所降低的趋势状态变化的过程。固液比对失水率的影响即先增大后保持不变,平衡点出现在中点 0 处即固液比为 1:9.5 左右。

由等高线图可知,渗透时间和固液比的变化坡度相差较明显,其等高线趋于椭圆形。说明渗透时间和固液比的变化对猕猴桃渗透脱水的交互作用比较显著。在一定范围内,渗透时间越长,固液比越大对猕猴桃渗透脱水效果越明显,能很快使样品脱水。

以渗透液浓度和固液比对猕猴桃渗透脱水的影响为例,如图 6 所示,固定渗透时间和渗透液温度两个因素,随着固液比的升高,失水率随之有增大的趋势,但超过一定范围后趋于平稳;渗透液浓度对失水率的影响为线性变化,随渗透液浓度的增大,失水率也随之增大。并且在其中一个影响因素处于较高水平时,另一个影响因素受其制约性有所减弱,也即失水率的变化更加平缓。

2.2.4 最优条件的求解及验证实验

鉴于本模型方程合理、可靠,故可利用响应面方程进行规划求解,也即优化配置,以获得更高的猕猴桃失水率为目标,经软件计算得出的最优渗透脱水条件为:渗透液浓度 62.3%、渗透温度 39.7℃、渗透时间 265 min、固液比 1:9.5,在此条件下预测猕猴桃渗透脱水的失水率为 51.2%。

为进一步验证本模型对猕猴桃渗透脱水失水率的预测能力,在以上最优条件下,做 3 次重复实验,对猕猴桃渗透脱水失水率的理论值进行验证^[16]。在最优的实验条件下,平均提取率为 49.96%,与理论值之间的误差为 1.24%,表明响应面法对猕猴桃渗透脱水失水率优化的结果合理有效。

3 结 论

3.1 低能耗,高品质的脱水果蔬是果蔬干制品未来的方向,本文研究了渗透脱水猕猴桃工艺,为实际工业生产提供指导。

3.2 猕猴桃渗透脱水的最佳工艺组合:渗透液浓

度 62.3%、渗透温度 39.7℃、渗透时间 265 min、固液比 1:9.5。通过验证实验得出,猕猴桃的脱水率为 49.96%,与预测值相比误差为 1.24%,优化结果有效。

3.3 猕猴桃渗透脱水工艺不一定适用其他果蔬,下一步应在渗透脱水机理方面需要深入研究。

参考文献:

- [1] 邵中一,金国梁.药食两用的奇异果-猕猴桃[J].中国食物与营养,2005(3):42-46.
- [2] SHYIL S, LUCY S H. Effects of processing conditions on the quality of vacuum fried apple chips[J]. Food Research International, 2001, 34(2/3):133-142.
- [3] 张春华,张 慧,周乐群,等.预处理对脱水甘蓝品质的影响[J].食品与生物技术学报,2006,25(5):35-39.
- [4] Renata V T, Alessandra F B, Miriam D H. Osmotic dehydration of tomato in ternary solutions: Influence of process variables on mass transfer kinetics and an evaluation of the retention of carotenoids[J]. Journal of Food Engineering, 2007 (82): 509-517.
- [5] Fernandes F A N, Rodrigues S, Gaspatato O C P, et al. Optimization of osmotic dehydration of bananas followed by air-drying [J]. Journal of Food Engineering, 2006, 77(1):188-193.
- [6] 王 妮,杨 薇,刁卓超,等.莴笋渗透脱水传质研究及参数优化[J].食品科技,2011,36(2):49-54.
- [7] 邱伟芬.果蔬渗透脱水的研究进展及应用前景 [J].食品科技,2000(4):31-32.
- [8] 董 全.蓝莓渗透脱水和流化床干燥的研究 [D].西南农业大学,2005.
- [9] 中华人民共和国卫生部.GB/T5009.3-2003,食品中水分的测定[S].北京:中华人民共和国卫生部,2003.
- [10] 张 慧,曹 晖.食品渗透脱水研究进展[J].干燥技术与设备,2004,2(4):3-9.
- [11] 林启训,傅坤仁.切片番木瓜糖溶液渗透脱水的影响因素分析[J].福建农业大学学报,2000,29(1):110-114.
- [12] 李淑媛,张 慧.糖处理对冷冻猕猴桃块品质的影响[J].食品与生物技术学报,2005,24(4):81-85.
- [13] 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,2008(4):25-30.
- [14] Xiao Guan, Huiyuan Yao. Optimization of Viscozyme L-assisted extraction of oat bran protein using response surface methodology[J]. Food Chemistry, 2008(106): 345-351.
- [15] Smith-Warner, Spiegelmand, Yaunss, et al. In take of fruits and vegetables and risk of breast cancer: a pooled analysis of cohort studies[J]. JAMA, 2001(285): 769-776.
- [16] 刘 洋,赵谋明,杨 宁,等.响应面分析法优化仙人掌多糖提取工艺的研究[J].食品与机械,2006,22(6):42-45.