

# 富硒蔬菜在低真空脱水方式下 硒保存规律及优化研究

张 懋 霁霖 檀亦兵 李春丽 秦 昉

(无锡轻工大学, 无锡 214036)

陆平华 朱海坤 陈解妹

(无锡市蠡园乡科协, 无锡 214074)

**摘要** 对青椒、茄子和黄瓜三种适宜脱水的富硒蔬菜进行了低真空脱水, 得到了脱水温度对脱水蔬菜含硒总量和有机硒比例的影响曲线; 采用响应曲面法(RSM), 对富硒青椒的预烫时间和 pH 值以及低真空脱水温度条件作了优化设计, 得出了较佳的有机硒和色素含量的工艺条件。

**关键词** 硒; 蔬菜; 脱水; 响应曲面法

**中图分类号** S63

## 0 前 言

硒(Se)是一种人体必需的微量元素。植物硒是人类和动物获取硒的主要来源, 国内目前尚不能人工合成植物有机硒, 大多获取植物有机硒的途径是依靠生物转化技术, 其中采用根外喷硒溶液来提高农作物的硒含量和有机硒含量是一个有希望的方向<sup>[1]</sup>。作者采用根外喷硒获得含一定有机硒比例的富硒蔬菜, 将其作为试验材料, 参考富硒地区谷朊粉产品的含量(0.578 mg/kg)<sup>[2]</sup>, 确定脱水蔬菜中的适宜硒含量, 并研究其在低真空脱水方式下总硒和有机硒保存的规律, 以及在低真空脱水时加工工艺参数的优化。

## 1 试验设备和方法

### 1.1 试验设备

含水率测定采用日本岛津 EB-330M OC 水分测定天平, 测量精度为  $\pm 0.1\%$ , 样品取样 10 g。低真空脱水采用上海跃进医疗器械厂生产的电热恒温真空干燥箱 DZ-88, 其低真空压力调定为 0.12 MPa。所用的荧光光度计为 HITACHI 650-60, 测试灵敏度为  $\pm 0.01 \mu\text{g/g}$ 。叶绿素测试采用 721 型分光光度计。

## 1.2 试验步骤及有机硒测试方法

三种不同初始浓度的富硒蔬菜试样来自无锡市蠡园乡富硒蔬菜试验田。青椒、茄子和黄瓜的品种分别为茄门椒、河埭条茄和津杂2号。脱水试验前将物料沿轴向切片或丝成6 mm宽,然后在不同的工艺条件下称重100 g进行脱水,除特别注明外,脱水温度为60,脱水至含水率8.9%,青椒、茄子和黄瓜的初始含硒量分别为0.096, 0.181, 0.184  $\mu\text{g/g}$ ,初始有机硒比例分别为54.3%, 60.3%, 65.2%。在单因子试验中,所列数据均为二次测得的平均值。

总硒的测定基本步骤按植物中硒的检测法<sup>[3]</sup>,但在测定过程中,发现由于取样中硒含量太少,杂质荧光峰与硒检测荧光峰产生严重的重叠,从而使硒测定结果偏高。笔者发现在多种蔬菜中需用二阶导数作图法才能使杂质峰与硒检测峰完全分离,本研究中硒的测定均用此法。

## 1.3 试验指标

1) 试样中总硒含量  $S_z$  (mg/g) 及其保存率  $K_z$  (%)  $K_z = 100 a S_{z1}/S_{z0}$ , 其中  $a$  为干样折成鲜样的折换系数,  $a = 100/K$ ,  $K$  为100 g低含水率脱水样折换成高含水率鲜样的克数,  $S_{z1}$  和  $S_{z0}$  为干、鲜样的总硒含量;折换目的是去除浓缩效应。

2) 有机硒占总硒的比例  $S_o$  (%) 及其保存率  $K_o$  (%)  $K_o = 100S_{o1}/S_{o0}$ ; 其中  $S_{o1}$  和  $S_{o0}$  为干、鲜样的有机硒占总硒的比例。

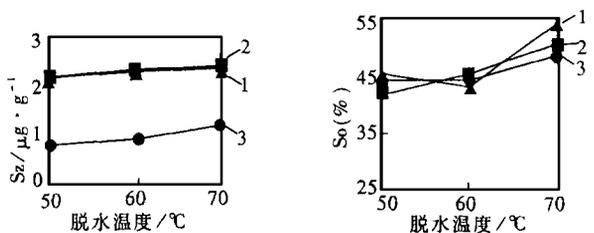
当物料含水率相同时,比较  $S_z$  和  $S_o$  的大小可反映其相应的保存率大小。

3) 试样中有机硒含量  $S_o$  ( $\mu\text{g/kg}$ ),  $S_o = S_z S_o$ ;

4) 叶绿素总量  $K_y$  ( $\mu\text{g/g}$ )。

## 2 不同低真空脱水温度对富硒脱水蔬菜含硒量的影响

我们对三种物料进行了0.12 MPa真空压力下的脱水试验,结果见图1。在50~70 的范围内,随着脱水温度的升高,三种富硒蔬菜的总硒和有机硒比例均有升高,其中有机硒升高幅度较大。原因可能是在低真空条件下,随着脱水温度的降低,在品质敏感水分区内的脱水时间显著变长,影响其总硒和有机硒的保存。因此从实用角度看,低真空脱水时温度宜选择70。



a 对总硒量的影响

b 对有机硒比例的影响

图1 低真空脱水温度对富硒脱水蔬菜含硒量的影响

(含水率11.6%)

1—黄瓜 2—茄子 3—青椒

## 3 预处理和低真空脱水条件的优化

响应曲面法(Response Surface Methodology)是一种应用较广的试验因素优化方法<sup>[4]</sup>,近年来在食品脱水领域也开始得到应用。为了综合考虑各因素对脱水产品有机硒含量

( $S_o$ ) 和色素含量( $K_y$ ) 的影响, 采用了此法在低真空条件下对含硒青椒进行了三因素优化试验设计, 在预处理和脱水过程中各选用对指标影响较大的脱水温度、预烫 pH 值和预烫时间作为试验因素, 其因素水平设置见表1. 试验安排及结果见表2. 试验采用二次回归方程  $Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_{11}X_1^2 + a_{22}X_2^2 + a_{33}X_3^2 + a_{12}X_1X_2 + a_{13}X_1X_3 + a_{23}X_2X_3$ , 用 SAS 中 RSREG 软件包计算出的回归方程系数见表3.

表1 RSM 试验因素和水平取值

因素	编码	因素取值	水平
脱水温度/	$X_1$	1	100
		0	80
		-1	60
预烫 pH 值	$X_2$	1	11
		0	6
		-1	1
预烫时间/min	$X_3$	1	13
		0	8
		-1	3

表2 RSM 试验安排及结果

编号	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$S_o/\mu\text{g kg}^{-1}$	$K_y/\mu\text{g g}^{-1}$
1	-1	-1	0	184.3	86.3
2	-1	0	-1	174.2	95.7
3	-1	0	1	176.5	101.5
4	-1	1	0	188.1	164.8
5	0	-1	-1	163.3	83.9
6	0	-1	1	176.3	89.7
7	0	1	-1	171.8	165.8
8	0	1	1	173.4	167.3
9	1	-1	0	180.7	85.1
10	1	0	-1	168.3	88.7
11	1	0	1	169.7	94.3
12	1	1	0	184.5	161.7
13	0	0	0	190.1	183.5
14	0	0	0	189.8	181.3
15	0	0	0	191.3	181.9

表3 回归方程系数

系数	$S_o/\mu\text{g kg}^{-1}$	$K_y/\mu\text{g g}^{-1}$
$a_0$	190.53	182.23
$a_1$	- 2.49	- 2.31
$a_2$	1.65	39.32
$a_3$	2.29	2.34
$a_{11}$	- 2.58	- 44.69
$a_{22}$	- 3.55	- 13.07
$a_{33}$	- 15.78	- 42.49
$a_{12}$	0.00	- 0.48
$a_{13}$	- 0.23	- 0.05
$a_{23}$	- 2.85	- 1.07

回归模型及其各项的方差分析见表4和表5. 从表中可知, 两回归模型的 F 值均大于  $f_{0.01}(9, 5) = 10.2$ , 即用上述回归方程描述各试验因素与响应值的二元回归关系是高度显著的, 相比而言, 叶绿素模型有更大的显著性; 由于两回归方程的失拟项很小, 因此用所得的回归模型来模拟三因素与两指标关系是可行的. 有机硒回归方程的一次项和二次项的影响均高度显著, 而叶绿素方程的二次项高度显著, 一次项为显著; 两模型的交互作用均不明显.

表4 回归方程的方差分析

方差来源	自由度	有机硒含量			叶绿素含量		
		平方和	均方差	F 值	平方和	均方差	F 值
回归	9	1 090.8	121.2	28.6 <sup>**</sup>	$2.57 \times 10^4$	$2.85 \times 10^3$	736.7 <sup>**</sup>
残差	5	21.2	4.2		19.4	3.9	
总离差	14	1 112.1			$2.57 \times 10^4$		

注: \*\*  $f_{0.01}(9, 5) = 10.2$  \*  $f_{0.05}(9, 5) = 4.8$

表5 回归方程各项的方差分析

方差来源	自由度	有机硒含量			叶绿素含量		
		均方	F 值	显著性	均方	F 值	显著性
一次项	3	37.7	36.1	*	4 152.7	3 210.9	**
二次项	3	315.0	301.9	**	4 404.8	3 405.8	**
交互项	3	10.9	10.4		1.8	1.4	
失拟项	3	6.4	6.1		5.6	4.3	
误差	2	1.0			1.3		

注: \*\*  $f_{0.01}(3, 2) = 99.2$ ; \*  $f_{0.05}(3, 2) = 19.2$

为了分析上述三因素对脱水产品中有机硒和色素影响的重要程度,可采用等高线图来直观分析对指标的影响情况。由于预烫时间  $t$  在三因素中影响较小,因此分别取固定  $t = 3, 8, 13 \text{ min}$ , 作脱水温度与预烫液 pH 值的响应面等高线图如图2和图3所示。从图中可知,预烫液 pH 值对有机硒指标的影响更大些,而脱水温度对叶绿素的影响更大些。

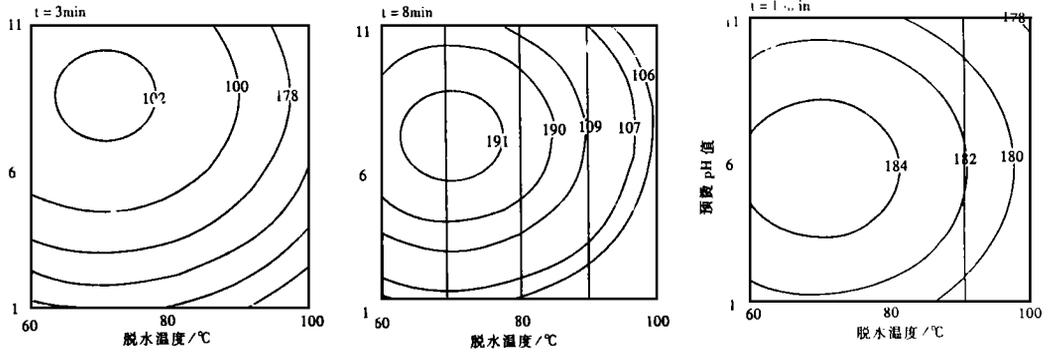


图3 有机硒指标的等高线图

一般来说,脱水温度太高或太低,预烫液 pH 过大或过小,预烫时间过长或过短,均会导致有机硒和叶绿素的破坏分解,如:脱水温度太高会使两指标破坏,而太低则使低真空脱水时间明显变长,也会破坏指标的保存。这说明在一定范围内理论上存在指标的极大值。通过对回归方程求偏导,可得驻点,经赫森矩阵判定为负定<sup>[6]</sup>,因此此驻点即为极大点,此极大值处的变量取值和响应值见表6所示。从叶绿素的等高线图来看,极大点的 pH 值虽已超出因素取值范围,但随着 pH 值增大指标值也增大的趋势很明显;因此综合两指标,并考虑到实际应用的方便,推荐的脱水温度,预烫 pH 值和预烫时间分别为:  $75^\circ\text{C}$ , pH7和8 min,此时有机硒和叶绿素的指标值分别为  $0.191 \mu\text{g/g}$  和  $187.8 \mu\text{g/g}$ 。

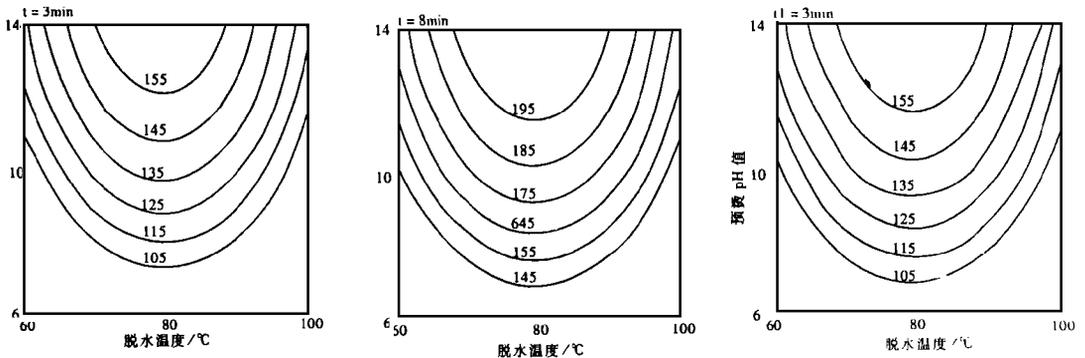


图3 叶绿素指标的等高线图

表6 回归方程极大值处的变量取值和响应值

响应变量	脱水温度/	预烫 pH 值	预烫时间/min	指标值
$S_w / \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	7.1(0.21)	8.3(0.06)	191.5 ( $\mu\text{g/g}$ )	70.4(-0.48)
$K_y / \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	79.4(-0.03)	13.5(1.5)- 超限	8.05(0.01)	184.9- 超限

注:括号内值为编码值

## 4 结 论

1) 低真空脱水温度宜取70 .

2) 预烫液 pH 值对有机硒指标的影响更大些, 而脱水温度对叶绿素的影响更大些。综合两指标, 并考虑到实际应用的方便, 推荐的脱水温度, 预烫 pH 值和预烫时间分别为: 75 , pH7和8 min.

### 参 考 文 献

- 1 施和平. 番茄叶片对 Se 的吸收和在植株中的转化. 核农学报, 1992, 6(3): 190 ~ 192
- 2 柯惠玲. 富硒谷朊粉制取及营养分析研究报告. 武汉食品工业学院学报, 1993, 4: 1 ~ 4
- 3 夏锦尧. 实用荧光分析法. 北京: 中国人民公安大学出版社, 1991. 320 ~ 322
- 4 阮文权. *Geotrichum penicillatum* 生产酯类风味物质发酵条件的优化. 无锡轻工大学学报, 1996, 15(3): 219 ~ 223
- 5 Mudahar G S. Optimization of carrot dehydration process using response surface methodology, Journal of Food Science, 1989, 54(3): 714 ~ 719
- 6 徐中儒. 农业试验最优回归设计. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1988

## Study on the Preservation of Selenium in of Several Vegetables during Low-Vacuum Dehydration

Zhang Min Ding Xiaolin Tang Yibing Li Chunli Qin Fang  
(Wuxi University of Light Industry, Wuxi 214036)

Lu Pinghua Zhu Haikun Chen Jiemei  
(Liyuan Township of Wuxi City)

**Abstract** The tests on the low-vacuum dehydration of sweet peppers, eggplants and cucumbers being rich in selenium have been conducted. The relationship between the preservation of selenium and dehydrating temperature has been obtained. Using Response Surface Methodology, the factors of this process including blanching time, pH values and low-vacuum dehydrating temperature have been optimized.

**Key words** vegetables; selenium; dehydration; RSM

(责任编辑: 陈 娇)