

# 真空冷冻干燥绿芦笋护绿工艺研究

王伟, 何俊萍\*, 王明空, 康云峰, 赵丽娟  
(河北农业大学食品科技学院, 河北保定 071001)

**摘要:**色泽是评价真空冷冻干燥绿芦笋质量的重要指标, 本实验从漂烫和护绿剂浸泡处理两个环节对真空冷冻干燥绿芦笋的护绿工艺进行研究。运用  $U_{12}(12^2 \times 6)$  均匀实验研究不同漂烫条件对绿芦笋营养成分的影响, 利用  $L_{16}(4^3)$  正交实验研究不同护绿处理的护绿效果, 最终得出真空冷冻干燥绿芦笋较优护绿工艺条件为: 切分长度 5~6 cm, 85~90℃ 条件下漂烫 3.5~4min, 0.3mol/L 的  $Na_2CO_3$  溶液浸泡 40s; 护绿剂 pH7.5、Zn  $(CH_3COO)_2$  浓度 200 mg/kg、 $CuSO_4$  浓度 50mg/kg, 浸泡时间 8h。

**关键词:**真空冷冻干燥, 绿芦笋, 护绿工艺

**Abstract:** Color is one of the most important quality indexes of vacuum freeze-drying green asparagus. Blanching and soaking treatments are studied in this experiment for green-keeping effects on vacuum freeze-drying green asparagus. The changes in nutrition under different blanching were studied by the  $U_{12}(12^2 \times 6)$  uniform design, and the effects of green-keeping after different green-keeping treatments were studied by the  $L_{16}(4^3)$  orthogonal design. The results show the following optimal conditions: cutting length of green-asparagus was 5~6 cm, and the best blanching treatment was blanching green-asparagus at 85~90℃ for 3.5~4min; concentration of  $Na_2CO_3$  was 0.3mol/L, and soaking time was 40s; pH of green-keeping solution was 7.5, in which concentration of Zn  $(CH_3COO)_2$  was 200mg/kg and that of  $CuSO_4$  was 50 mg/kg, and the soaking time was 8h.

**Key words:** vacuum freeze-drying; green asparagus; green-maintaining technology

中图分类号: TS255.52 文献标识码: A  
文章编号: 1002-0306(2006)09-0136-04

芦笋(*Asparagus officinalis* L.), 别名石刁柏, 为百合科天门冬属多年生宿根草本植物, 未经培土软化, 嫩茎见阳光后变成绿色的称为绿芦笋<sup>[1]</sup>。绿芦笋

收稿日期: 2006-01-24 \*通讯联系人

作者简介: 王伟(1979-), 女, 在读硕士研究生, 从事农产品加工与贮藏工程研究。

传统的加工产品主要为罐头和速冻制品, 技术含量低、附加值少、缺乏市场竞争力<sup>[2]</sup>, 所以, 将绿芦笋进行真空冷冻干燥, 生产高附加值的脱水绿芦笋逐渐成为研究者所重视。护绿工艺是真空冷冻干燥绿芦笋生产过程中的重要环节, 将直接影响到真空冷冻干燥绿芦笋的商品价值。本研究主要通过漂烫处理抑制酶促褐变反应的发生<sup>[3]</sup>, 通过用  $Zn^{2+}$  和  $Cu^{2+}$  置换叶绿素中的  $Mg^{2+}$ , 减少叶绿素的损失<sup>[4]</sup>, 最终使真空冷冻干燥绿芦笋保持良好的色泽, 提高脱水绿芦笋的品质。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与设备

绿芦笋 品种为 UC157 F-2, 采自保定唐庄; 乙酸锌、硫酸铜、无水碳酸钠、无水氯化钙、萘酚、浓硫酸、2,4-二硝基苯胍、草酸、硫脲、活性炭、柠檬酸、亚硫酸钠、亚铁氰化钾、盐酸 以上均为分析纯; 实验用水 为蒸馏水。

756PC(IV)型紫外可见分光光度计, pH211C 酸碱度离子计测定仪, BS214D 电子天平, 恒温水浴锅及实验室常用仪器设备。

### 1.2 实验方法

1.2.1 工艺流程 新鲜绿芦笋→清洗→切分→ $Na_2CO_3$  溶液浸泡→漂烫→冷却→护绿剂浸泡→真空冷冻干燥

1.2.2 漂烫工艺研究 漂烫的主要作用是钝化绿芦笋中酶的活性, 抑制酶促褐变的发生。在笋体内, 与酶促褐变有关的酶主要是过氧化物酶(POD)和多酚氧化酶(PPO)<sup>[5]</sup>, POD 比 PPO 更耐热, 所以将 POD 的活性作为判断绿芦笋体内酶是否失活的标准, 只要彻底抑制了 POD 的活性, 就可以有效地防止酶促褐变的发生。但过度漂烫会使绿芦笋中部分汁液流失, 造成可溶性营养物质的损失<sup>[6]</sup>, 尤其是维生素 C 和总

糖损失较大,所以,将维生素 C 和总糖的保留率作为绿芦笋营养物质保留的指标。传统加工中只需对绿芦笋进行适当的整形,而在真空冷冻干燥中则需对绿芦笋进行切分,以加快干燥速率,保证干燥的顺利进行。因此,本研究通过控制绿芦笋的切分长度、漂烫温度和漂烫时间,既能最大限度地降低维生素 C 和总糖的损失,又能保证 POD 失活。由于对绿芦笋真空冷冻干燥中漂烫工艺的研究资料较少,需选择较多的水平进行研究,所以先以绿芦笋切分长度、漂烫温度、漂烫时间为因素(表 1),做  $U_{12}(12^2 \times 6)$  均匀实验(表 3),以漂烫后绿芦笋维生素 C 和总糖的保留率为指标,利用 SAS 软件对检测结果进行回归分析<sup>[7]</sup>,计算回归系数,确定较优漂烫工艺条件。再在不同的漂烫温度下检验 POD 失活的时间,最终确定合适的漂烫温度和时间。

1.2.3 护绿工艺研究 在较优漂烫工艺条件下,采用  $Zn(CH_3COO)_2$  和  $CuSO_4$  作为混合护绿剂对绿芦笋进行护绿处理<sup>[4]</sup>。绿芦笋表面覆盖了一层致密的蜡膜,阻碍  $Zn^{2+}$  和  $Cu^{2+}$  的渗透,需要在护绿前破坏表层的蜡膜,根据研究结果,绿芦笋在  $Na_2CO_3$  溶液中浸泡 40s 除膜效果较好,所以确定  $Na_2CO_3$  溶液浸泡的时间为 40s<sup>[8]</sup>,以  $Na_2CO_3$  溶液浓度、护绿剂 pH(用柠檬

酸和  $Na_2SO_3$  调节)、 $Zn(CH_3COO)_2$  浓度、 $CuSO_4$  浓度和护绿时间为因素(表 2),以护绿效果的感官评分为指标,作  $L_{16}(4^5)$  正交实验(表 5),实验重复三次,对实验结果进行方差分析和 LSD 多重比较<sup>[7]</sup>,根据多重比较的结果确定护绿的工艺参数。

1.2.4 感官评分标准 采用九分制评分法,色泽与天然鲜笋接近,基本无褐变(7~9 分);与天然鲜笋颜色差别小,褐变小(4~6 分);与天然鲜笋颜色差别大,褐变大(1~3 分)。选择 9 个人(4 男、5 女)进行评分,计算平均值,位于两者之间酌情计分<sup>[9]</sup>。

1.2.5 理化指标检测方法 POD 活性检测:愈创木酚法<sup>[10]</sup>;总糖测定:蒽酮比色法<sup>[11]</sup>;维生素 C 测定:2,4-二硝基苯肼比色法<sup>[11]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 漂烫工艺确定

2.1.1  $U_{12}(12^2 \times 6)$  均匀实验结果 见表 3。根据表 3 的结果,利用 SAS 软件对维生素 C 保留率进行回归分析,拟合的模型为:

$$= -488.91 + 10.44x_1 + 12.30x_2 + 0.76x_3 - 0.53x_1^2 - 0.10x_2x_1 - 0.07x_2^2 + 1.50x_3x_1 - 1.67x_3^2$$

经 F 检验,  $P_r = 0.0059 < 0.05$ , 所以回归方程显著。

表 1  $U_{12}(12^2 \times 6)$  均匀实验因素水平表

因素	水平											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x_1$ 切分长度(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x_2$ 漂烫温度(°C)	75	80	85	90	95	100						
$x_3$ 漂烫时间(min)	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0

表 2  $L_{16}(4^5)$  正交实验因素水平表

水平	因素				
	A $Na_2CO_3$ 溶液浓度(mol/L)	B pH	C $Zn(CH_3COO)_2$ 浓度(mg/kg)	D $CuSO_4$ 浓度(mg/kg)	E 护绿时间(h)
1	0.20	6.5	50	50	8
2	0.25	7.0	100	75	12
3	0.30	7.5	150	100	16
4	0.35	8.0	200	125	20

表 3  $U_{12}(12^2 \times 6)$  均匀实验设计及结果

实验号	$x_1$	切分长度(cm)	$x_2$	漂烫温度(°C)	$x_3$	漂烫时间(min)	Vc 保留率(%)	总糖保留率(%)
1	1	1	3	85	8	6.0	28.13	21.46
2	2	2	6	100	3	3.5	66.09	77.96
3	3	3	3	85	11	7.5	23.17	24.10
4	4	4	6	100	6	5.0	59.94	62.79
5	5	5	2	80	1	2.5	80.79	85.17
6	6	6	5	95	9	6.5	62.04	71.08
7	7	7	2	80	4	4.0	76.42	81.29
8	8	8	5	95	12	8.0	46.87	47.63
9	9	9	1	75	7	5.5	72.91	78.96
10	10	10	4	90	2	3	73.32	86.69
11	11	11	1	75	10	7	68.53	76.32
12	12	12	4	90	5	4.5	74.68	83.53

根据 SAS 软件的输出结果,从响应面的典型分析可以得出,稳定点的坐标为  $x_1=6.03$ 、 $x_2=87.82$ 、 $x_3=2.94$ ,在稳定点的最大预测值为 83.74,即切分和漂烫工艺的较优参数为:切分长度为 6.03cm,漂烫温度为 87.82℃,漂烫时间为 2.94min。此时,维生素 C 的保留率在理论上最大,为 83.74%。

根据表 3 的结果,利用 SAS 软件对总糖保留率进行回归分析,拟合的模型为:

$$\hat{Y} = -1430.55 + 42.08x_1 + 31.69x_2 - 2.12x_3 - 0.71x_1^2 - 0.42x_2x_1 - 0.16x_2^2 + 1.41x_3x_1 - 11.13x_3^2$$

经 F 检验,  $P_r=0.0203 < 0.05$ ,所以回归方程显著。

根据 SAS 软件的输出结果,从响应面的典型分析可以得出,稳定点的坐标为  $x_1=4.98$ 、 $x_2=90.07$ 、 $x_3=1.66$ ,在稳定点的最大预测值为 99.61,即切分和漂烫工艺的较优参数为:切分长度为 4.98cm,漂烫温度为 90.07℃,漂烫时间为 1.66min。此时,总糖的保留率在理论上最大,为 99.61%。

综合以上两个结论,对工艺参数进行适当调整,得到能够较好地保留绿芦笋营养成分的漂烫工艺参数是:切分长度 5~6cm,漂烫温度 85~90℃,漂烫时间 2~3min。

2.1.2 漂烫处理与 POD 活性的关系 由表 4 可知,切分长度为 5~6cm 的绿芦笋中 POD 在 85、90℃条件下失活的最短时间分别为 4、3.5min,所以,以漂烫过程中营养成分变化和 POD 的活性为主要研究对象,在尽可能减少营养成分损失的前提下,为保证 POD 完全失活,应确定真空冷冻干燥绿芦笋的漂烫工艺条件为:切分长度 5~6cm、漂烫温度 85~90℃、漂烫时间 3.5~4min。

表 4 漂烫工艺条件与 POD 活性的关系

漂烫时间(min)	漂烫温度(℃)	
	85	90
1.0	+	+
1.5	+	+
2.0	+	+
2.5	+	+
3.0	+	+
3.5	+	-
4.0	-	-

注:“+”为阳性,代表 POD 未失活;“-”为阴性,代表 POD 失活。

## 2.2 $L_{16}(4^5)$ 正交实验结果及分析

在实验所确定的较好的漂烫操作基础上,进一步用  $Zn^{2+}$ 和  $Cu^{2+}$ 置换叶绿素中的  $Mg^{2+}$ ,对绿芦笋进行护绿处理。 $L_{16}(4^5)$ 正交实验结果见表 5。

利用 SAS 软件对表 5 的数据进行方差分析,分析结果见表 6。

由表 6 可知,因素 A、B、D、E 对护绿的效果有极显著影响,因素 C 对护绿的效果有显著影响。采用 LSD 法对这五个因素进行多重比较,结果见表 7 至

表 5  $L_{16}(4^5)$ 正交实验设计及结果

实验号	因素					色泽评分		
	A	B	C	C	E	1	2	3
1	1	1	1	1	1	6.3	6.5	7.1
2	1	2	2	2	2	6.5	5.2	5.4
3	1	3	3	3	3	4.4	6.1	5.6
4	1	4	4	4	4	5.7	6.3	5.2
5	2	1	2	3	4	3.6	5.4	4.7
6	2	2	1	4	3	2.2	4.1	3.7
7	2	3	4	1	2	7.6	6.3	7.6
8	2	4	3	2	1	5.9	6.4	6.7
9	3	1	3	4	2	5.7	6.1	6.4
10	3	2	4	3	1	6.9	5.1	6.3
11	3	3	1	2	4	6.5	6.4	6.0
12	3	4	2	1	3	6.9	5.7	6.1
13	4	1	4	2	3	6.2	6.3	7.9
14	4	2	3	1	4	5.8	6.1	5.5
15	4	3	2	4	1	7.3	8.4	7.1
16	4	4	1	3	2	5.8	6.2	6.7

表 6 方差分析表

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值
A	10.11895833	3	3.37298611	7.31**
B	11.71062500	3	3.90354167	8.46**
C	4.26562500	3	1.42187500	3.08*
D	6.94062500	3	2.31354167	5.01**
E	12.12729167	3	4.04243056	8.76**
误差	14.76666667	32		
总变异	59.92979167	47		

表 11。

2.2.1  $Na_2CO_3$  溶液浓度多重比较 从表 7 可以看出, $Na_2CO_3$  溶液浓度为第四水平时,色泽评分的均值较大, $Na_2CO_3$  溶液浓度的较好取值为 0.35mol/L,第三和第四水平间的差异不显著,所以, $Na_2CO_3$  溶液为 0.3mol/L 也可以作为选择对象。实验表明,用 0.3mol/L 的  $Na_2CO_3$  溶液处理的绿芦笋口感好于 0.35mol/L,最终确定  $Na_2CO_3$  溶液浓度为 0.3mol/L。

表 7  $Na_2CO_3$  溶液浓度多重比较

A 因素	$A_4$	$A_3$	$A_1$	$A_2$
$\bar{x}_i$	6.6083	6.1750	5.8583	5.3500
显著性(5%)	a	ab	bc	c

2.2.2 pH 多重比较 由表 8 的结果可知,当 pH 为第三水平时,色泽评分的均值较大,所以护绿剂 pH 的较好取值为 7.5。从表中还可看出,pH 第四水平和第三水平的差异不显著,所以,pH 为 8 也可作为备选的对象。但在实验中发现,当 pH 为 8 时,护绿剂中的  $Zn^{2+}$ 和  $Cu^{2+}$ 会和  $OH^-$ 生成沉淀,影响护绿效果,而 pH 为 7.5 时,既可以保证较好的护绿效果,又不会生成沉淀,所以确定护绿剂 pH 为 7.5。

2.2.3  $Zn(CH_3COO)_2$  浓度多重比较 从表 9 可知, $Zn(CH_3COO)_2$  浓度的较好取值为第四水平,即 200mg/kg。而  $Zn(CH_3COO)_2$  浓度第四水平和第二、三水平间没有显著差别,考虑到  $Zn^{2+}$ 为人体所需的微

表8 pH多重比较

B因素	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>
$\bar{x}_i$	6.6083	6.1333	6.0167	5.2333
显著性(5%)	a	ab	b	c

表9 Zn(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>浓度多重比较

C因素	C <sub>4</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>
$\bar{x}_i$	6.4500	6.0250	5.8917	5.6250
显著性(5%)	a	ab	ab	b

表10 CuSO<sub>4</sub>浓度多重比较

D因素	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>3</sub>
$\bar{x}_i$	6.4583	6.2833	5.6833	5.5667
显著性(5%)	a	a	b	b

表11 护绿时间多重比较

E因素	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>3</sub>
$\bar{x}_i$	6.6667	6.2917	5.6000	5.4333
显著性(5%)	a	a	b	b

量元素,且极限摄入量较高,所以选择浓度较大的水平,确定 Zn(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> 浓度为 200mg/kg。

2.2.4 CuSO<sub>4</sub> 浓度多重比较 从表 10 可以看出, CuSO<sub>4</sub> 浓度的较好取值为第一水平,即 50mg/kg,且 CuSO<sub>4</sub> 浓度取第一水平和第二水平时护绿效果差别不显著。Cu<sup>2+</sup> 为人体限量元素,在食品中的添加量有严格的限制,在保证较好的护绿效果的同时,应尽量减少 CuSO<sub>4</sub> 用量,最终选择 CuSO<sub>4</sub> 浓度为 50mg/kg。

2.2.5 护绿时间多重比较 由表 11 可知,护绿时间为第一水平 8h 时,色泽评分均值较大,效果较好,护绿时间为 8h 和 12h 时,护绿效果的差别不显著。由于长时间浸泡会导致可溶性营养成分溶解在水中,造成营养成分的过度流失,所以选择护绿效果较好且浸泡时间较短的取值水平,确定护绿时间为 8h。

### 3 结论

本研究最终确定真空冷冻干燥绿芦笋加工中较好的漂烫工艺条件为:切分长度 5~6cm、漂烫温度 85~95℃、漂烫时间 3.5~4min;较好的护绿工艺条件为:Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 溶液浓度 0.3mol/L、浸泡时间 40s、护绿剂 pH7.5、Zn(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> 浓度 200mg/kg、CuSO<sub>4</sub> 浓度

50mg/kg、浸泡时间 8h。

## 4 讨论

4.1 利用护绿剂对绿芦笋进行护绿处理时,各种金属离子对叶绿素中 Mg<sup>2+</sup> 的置换机理相同,但复绿效果却不同,在相同浓度下, Cu<sup>2+</sup> 的护绿效果比 Zn<sup>2+</sup> 好<sup>[4]</sup>,所以本实验选择 Cu<sup>2+</sup> 和 Zn<sup>2+</sup> 作为混合护绿剂。国家规定食品中铜的允许限量一般不超过 5~20mg/kg,本研究确定 CuSO<sub>4</sub> 的浓度为 50mg/kg, Cu<sup>2+</sup> 用量符合国家规定。

4.2 在研究中发现,绿芦笋不同部位的 POD 活性也不相同,一般是基部>中部>笋尖,所以,在进行 POD 活性检测时,应以笋体基部的 POD 彻底失活为标准。

### 参考文献:

- [1] 马凤桐. 芦笋—高效营养保健型蔬菜[M]. 北京:世界图书出版公司,1994.
- [2] 陈益忠. 绿芦笋的产品开发及市场前景[J]. 农牧产品开发,2001(5):20~22.
- [3] 蒲彬,李先义,刘娅,等. 速冻芦笋的热烫工艺条件研究[J]. 食品与机械,2003(3):6~8.
- [4] 焦凌梅,袁唯. 绿色蔬菜加工护绿技术的研究及进展[J]. 保鲜与加工,2004,4(1):11~14.
- [5] 薛志勇. 影响果蔬干制品质量的主要因素[J]. 食品与药品,2005,7(2A):52~54.
- [6] M H Lau, J Tang, B G Swanson. Kinetics of textural and color changes in green asparagus during thermal treatments[J]. Journal of Food Engineering,2000,45:231~236.
- [7] 王钦德,杨坚. 食品实验设计与统计分析[M]. 北京:中国农业大学出版社,2003.
- [8] 沈卫荣,韩丽萍,江莹,等. 乳酸盐护色剂在绿芦笋护色保鲜工艺中的应用[J]. 陕西农业科学,2003(4):8~9.
- [9] 徐艳阳,张愨,孙金才. 真空冷冻干燥毛竹笋的实验研究[J]. 食品工业科技,2005(2):99~101.
- [10] 张德权,艾启俊. 蔬菜深加工新技术[M]. 北京:化学工业出版社,2002.
- [11] 大连轻工业学院等八大院校编. 食品分析[M]. 北京:中国轻工业出版社,2002.

(上接第 135 页)

- [6] 张惟杰. 糖复合物生化研究技术(第二版)[M]. 杭州:浙江大学出版社,1999.12~13.
- [7] 王立娟,李坚,张丽君. 微波法提取槐米中芦丁的工艺条件[J]. 东北林业大学学报,2003,31(3):36~37.
- [8] 刘依,韩鲁佳. 微波技术在板蓝根多糖提取中的应用[J]. 中国

农业大学学报,2002,7(2):27~30.

- [9] 江河源,蒋迎. 茶叶多糖的微波辅助提取技术研究[J]. 食品科技,2003(10):17~19.
- [10] 郑少华,姜奉华. 实验设计与数据处理[M]. 北京:中国建材工业出版社,2004.3.67~102.