

西洋参片微波真空干燥工艺优化的研究

温媛媛, 王 亭, 唐茂程

山东中医药高等专科学校, 山东烟台 264199

【摘要】为提高西洋参片干制品产品的品质,降低其干燥能耗,本文通过微波真空干燥技术对西洋参片进行干燥,采用响应面分析了微波强度、压力及厚度3个变量对品质指标总色差(ΔE)、复水比、收缩率和单位能耗的影响以及各因素之间的交互作用对指标的影响,确定干燥工艺的最优参数组合。最终结果显示:采用微波真空干燥工艺优化所得高品质、低能耗的最优参数组合为:微波强度8.08W/g,压力30.95kPa,厚度3.62mm,在此工艺参数条件下获得的西洋参片干制品品质良好,色泽变化小,单位能耗较低。

【关键词】西洋参;微波真空干燥;优化;品质;单位能耗

【中图分类号】TS219 **【文献标识码】**A **【DOI】**10.12325/j.issn.1672-5336.2023.24.001

引言

西洋参为五加科植物西洋参 *Panax quinquefolium* L. 的干燥根,原产于北美洲原始森林,我国北方地区吉林、辽宁、山东等地引进栽培。具有补肺降火、养胃生津之功;其临床用于气虚阴亏,内热,咳喘痰血,虚热烦倦,消渴,口燥咽干等中气不足,脾胃虚弱者^[1]。山东省胶东半岛自上世纪80年代初最早引种西洋参并取得成功,成为国内西洋参的主产地,目前种植面积超过3400hm²^[2],产业规模全国第一。目前西洋参生产在干燥工艺技术与贮藏稳定性方面存在缺陷。微波真空干燥综合了微波干燥的快速、整体加热和真空干燥的低温、快速除湿的优点,能有效的避免干燥过程中生物活性成分的热、氧破坏,并能缩短干燥时间,可用较低成本生产较高品质的产品^[3],有推广优势。目前一些学者已经将该技术应用到杏鲍菇、裙带菜、铁棍山药、猕猴桃等多种食品的干制加工中,但对微波真空干燥干制西洋参片的研究与应用鲜有报道^[4-7]。

本文以西洋参为原料,采用三因素二次回归通用旋转组合设计,进行西洋参片微波真空干燥工艺优化的研究,旨在通过确定最佳西洋参片微波真空干燥工艺,为西洋参片的干燥技术提供科学指导和生产依据。

1 材料与方法

1.1 材料与预处理

西洋参:产于山东省威海市文登区张家产镇西洋参种植区,选取直径3cm左右,无腐烂,无虫害的西洋参。西洋参经清洗之后,再用切片机切成所需要厚度的片状备用。

1.2 试验设备与仪器

微波真空干燥机(KL-2D-40K型)(广州凯棱微波设备有限公司);UPWS-1-10T型超纯水器(杭州永洁达净化科技有限公司);XCT-0型高温鼓风干燥箱(上海浦东荣丰科学仪器有限公司);WSC-S型测色色差计(上海仪电物理光学仪器有限公司);HH-8型数显恒温水浴锅(国华电器有限公司);FS-989型切片机(樱达生活电器(中山)有限公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 微波真空干燥工艺

将预处理过的西洋参片均匀的平铺于微波真空干燥机的微波盘中,将微波盘放入干燥腔内,接通电源,设置好设备参数,关闭阀门,启动仪器,进行抽真空操作,观察压力是否达到设定值,达到设定值后立刻进行微波加热。在干燥过程中,每隔2min将西洋参片取出,迅速称重并记下数值。直至干燥至恒重。放入密封袋中,贴标签备用。

1.3.2 评价指标及测定方法

1.3.2.1 总色差(ΔE)的测定

采用WSC-S型测色色差计测量干制前后的西洋参片

基金项目:山东省中医药科技项目“基于QbD理念的高品质西洋参片干燥技术及贮藏稳定性研究”(项目编号:2021M210)

作者简介:温媛媛(1982.08—),女,汉族,山东省烟台市,硕士研究生,副教授,主要从事健康产品开发研究工作。

颜色。其中 L^* 表示干燥后西洋参片的明度； a^* 表示干燥后西洋参片的红 / 绿色度； b^* 表示干燥后西洋参片的黄 / 蓝色度； L_0^* ， a_0^* ， b_0^* ，分别代表干燥前西洋参的色泽参数。

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2}$$

测量时，从每组西洋参片样品中随机抽取 10 片，正反面均进行测量，共测量 20 次。最后颜色值取测定结果的平均值。

1.3.2.2 复水比的测定

随机选取 3 组 5g 的西洋参片干制品，分组浸入 95℃ 的水中 10min，然后取出擦干表面水分后称量，结果取 3 组的平均值。公式为：

$$R_r = \frac{M_r}{M_0}$$

式中 R_r 为复水比； M_0 为复水前产品质量，g； M_r 为

产品复水沥干后的质量，g。

1.3.2.3 收缩率测定

收缩率 (SR) 用于评价干燥样品体积发生的变化大小。计算公式为：

$$SR = \frac{V_d}{V_0}$$

式中： V_0 为西洋参片干燥前的体积， cm^3 ； V_d 为西洋参片干燥后的体积， cm^3 。

干燥前体积的测定采用台秤称量法（浮力法），西洋参片干燥后的体积的测定采用置换体积法。

1.3.2.4 单位能耗的测定

单位能耗：能量消耗根据单位能量消耗 (SEC) 来计算：

$$SEC, \text{kJ/g water} = \frac{P \times t_m (100 - M_f)}{m(M_i - M_f)}$$

表 1 因素水平编码

水平编码 (X_i)	试验因素		
	微波强度 X_1 / (W/g)	压力 X_2 / kPa	厚度 X_3 / mm
1.682	12	35	10
1	10.38	30.95	8.38
0	8	25	6
-1	5.62	19.05	3.62
-1.682	4	15	2

表 2 西洋参片微波真空干燥试验设计及结果

试验号	X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
	微波强度 / (W/g)	压力 / kPa	厚度 / mm	ΔE	复水比	收缩率 / %	单位能耗 / (kJ/g)
1	1 (10.38)	1(30.95)	1(8.38)	15.72	1.85	29.00	14.92
2	1 (10.38)	1(30.95)	-1(3.62)	13.12	2.63	19.38	14.79
3	1 (10.38)	-1(19.05)	1(8.38)	14.91	1.80	28.34	15.16
4	1 (10.38)	-1(19.05)	-1(3.62)	10.05	2.52	20.56	15.35
5	-1(5.62)	1(30.95)	1(8.38)	9.54	1.92	23.60	13.13
6	-1(5.62)	1(30.95)	-1(3.62)	10.50	2.28	22.51	13.27
7	-1(5.62)	-1(19.05)	1(8.38)	8.13	1.72	24.95	13.35
8	-1(5.62)	-1(19.05)	-1(3.62)	9.32	2.27	21.98	13.29
9	1.682(12)	0(25)	0(6)	17.68	2.49	27.34	15.51
10	-1.682(4)	0(25)	0(6)	12.63	1.91	29.20	12.14
11	0(8)	1.682(35)	0(6)	8.66	2.45	22.22	14.02
12	0(8)	-1.682(15)	0(6)	10.77	1.78	28.18	14.77
13	0(8)	0(25)	1.682(10)	7.97	1.51	27.52	14.16
14	0(8)	0(25)	-1.682(2)	6.65	3.54	20.79	12.96
15	0(8)	0(25)	0(6)	9.51	2.31	22.35	13.86
16	0(8)	0(25)	0(6)	10.98	2.18	25.54	14.02
17	0(8)	0(25)	0(6)	15.03	2.24	24.53	13.92
18	0(8)	0(25)	0(6)	12.27	2.51	24.60	13.97
19	0(8)	0(25)	0(6)	12.20	2.11	25.06	13.83
20	0(8)	0(25)	0(6)	11.30	1.99	23.68	13.39
21	0(8)	0(25)	0(6)	12.49	1.99	21.60	14.20
22	0(8)	0(25)	0(6)	12.92	1.90	20.26	13.75
23	0(8)	0(25)	0(6)	12.94	2.25	25.90	13.48

表 3 回归系数显著性分析

系数值	P 值			
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
	ΔE	复水比	收缩率/%	单位能耗/(kJ/g)
X ₁	0.0006	0.1057	0.8917	<0.0001
X ₂	0.6081	0.1247	0.1793	0.0656
X ₃	0.1986	<0.0001	0.0013	0.1249
X ₁ X ₁	0.0068	0.7365	0.0546	0.5576
X ₂ X ₂	0.0817	0.4219	0.9105	0.0070
X ₃ X ₃	0.0012	0.1544	0.5816	0.5565
X ₁ X ₂	0.7665	0.9440	0.9617	0.5339
X ₁ X ₃	0.0417	0.4132	0.0485	0.9821
X ₂ X ₃	0.6412	0.8551	0.9949	0.8932

式中: P= 输入功率 (kW); t_{on}= 微波开启时间 (S); M_f= 最终水分含量 (% , w. b); M_i= 初始水分含量 (% , w. b); m= 初始质量 (g)。

1.3.3 优化试验设计

经过前期的单因素试验, 在西洋参片微波真空干燥工艺优化试验设计时选取三个试验因素分别为微波强度 (X₁)、压力 (X₂)、厚度 (X₃), 选取试验评价指标分别为总色差 ΔE (Y₁)、复水比 (Y₂)、收缩率 (Y₃) 以及单位能耗 (Y₄), 采取三元二次回归旋转组合设计。表 1 为各因素的水平设置。

1.3.4 统计分析

采用 Design Expert 进行实验处理以及响应面分析。

2 结果与分析

2.1 试验设计及结果

西洋参片微波真空干燥工艺优化试验采用三元二次回归旋转组合设计, 结果见表 2。

2.2 西洋参片干燥品质及单位能耗分析

利用 Design Expert 软件对表 2 的试验数据进行方差分析, 结果见表 3。

2.2.1 工艺参数对西洋参片干燥产品总色差 (ΔE) 的影响

表 3 显示, 影响最终干燥产品总色差 (ΔE) 的因素为 X₁ (微波强度) > X₃ (厚度) > X₂ (压力)。微波强度对西洋参干燥产品总色差 (ΔE) 的影响极显著 (P<0.01)。试验中发现微波强度较大会导致西洋参失水速率较快, 能较短时间达到恒重状态, 并出现部分焦化、外观受损的现象, 色泽品质较差。压力和厚度对干燥产品的总色差 (ΔE) 的影响不显著 (P>0.05), 但厚度的二次效应对西洋参片干燥产品的总色差 (ΔE) 影

响极显著 (P<0.01)。

由图 1 可知, X₁ (微波强度) 与 X₃ (厚度) 的交互作用对西洋参片干燥产品的总色差 (ΔE) 影响显著 (P<0.05)。

由图 2 可以看出, 当微波强度小于 8W/g 时, 若任一水平的厚度值, 总色差 (ΔE) 的值均较小, 产品的色泽较好; 当微波强度大于 8W/g 时, 随着厚度的增加, 总色差 (ΔE) 的值总体呈增大趋势。分析原因为随着厚度增加, 干燥速度减慢, 干燥时间增加, 西洋参片有可能出现部分边缘焦化的现象; 微波强度在 5.62~6.81W/g, 厚度在 7.19~8.38mm 区间时, 能够获得较好的色泽产品。

2.2.2 工艺参数对西洋参片干燥产品复水比的影响

由表 3 可知, 影响干燥产品复水比的主要因素为 X₃ (厚度) > X₁ (微波强度) > X₂ (压力)。厚度对西洋参片干燥产品复水性能的影响极显著 (P<0.0001), 微波强度和压力对西洋参片干燥产品复水性能的影响不显著 (P>0.05), 因素间的交互作用对产品的复水性影响均

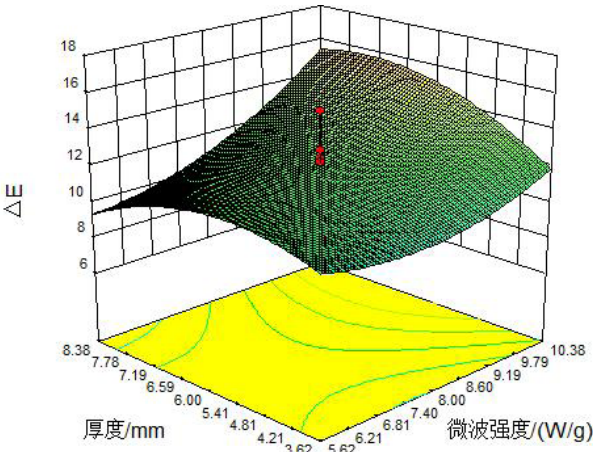


图 1 微波强度和厚度对西洋参片干燥产品总色差 (ΔE) 的影响

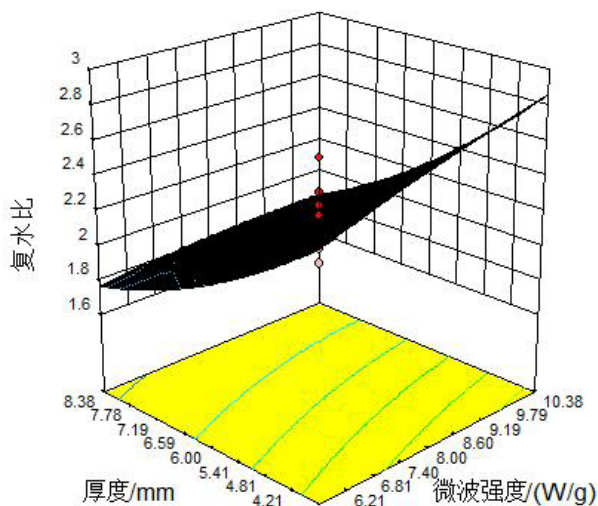


图2 厚度、微波强度对西洋参片干燥品复水比的影响

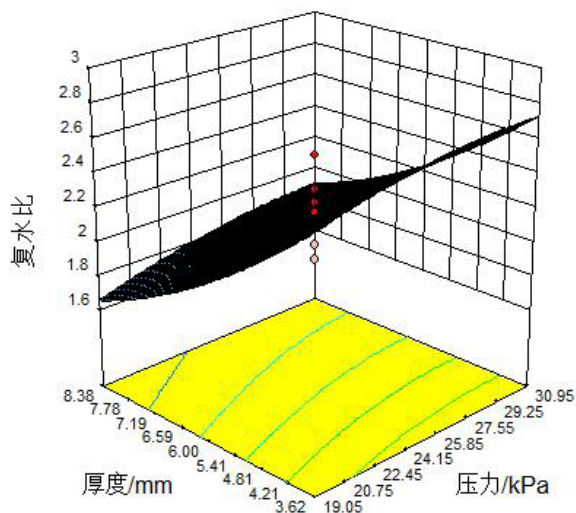


图3 厚度与压力对西洋参片干燥品复水比的影响

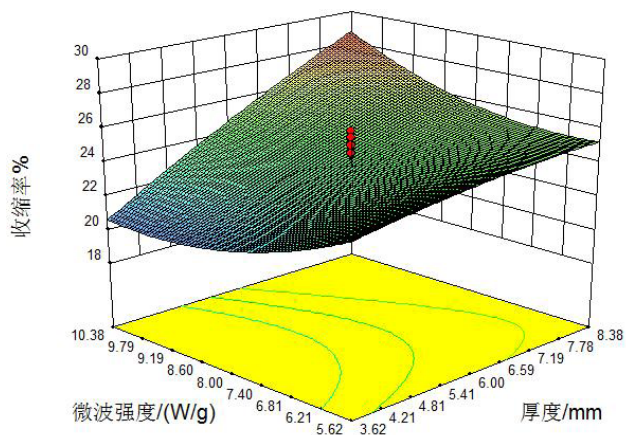


图4 微波强度与厚度对西洋参片干燥品收缩率的影响不显著(表3)。不同厚度的西洋参片干燥产品复水性能变化如图3,图4所示。

由图3、图4可以看出西洋参片干燥产品的厚度越薄,复水效果越好。这是因为西洋参片质量相同时,厚

度越薄的西洋参片的数量越多。因此,若西洋参片的表面积越大,在复水时与水接触的机会增多,吸收的水分也相应增加,使复水比升高。

2.2.3 工艺参数对西洋参片干燥产品收缩率的影响

影响干燥产品收缩率的因素为 X_3 (厚度) $>X_2$ (压力) $>X_1$ (微波强度)。厚度对西洋参片干燥产品收缩率的影响极显著($P<0.01$),压力和微波强度对西洋参片干燥产品收缩率影响不显著($P>0.05$)(表3)。厚度越小,西洋参片的中心温度越高,水分越易蒸发,其干燥产品的体积也越小。

由图4可知, X_1 (微波强度)与 X_3 (厚度)的交互作用对西洋参片干燥产品收缩率的影响显著($P<0.05$)。

由图4可以看出,当厚度越小时,西洋参干燥片产品的收缩率也越小;而在厚度较小时,收缩率随着微波强度的增大而增大,而在厚度较大时,收缩率随着微波强度的增大而减小;厚度在3.62~4.81mm区间之内,微波强度在9.19~10.38W/g区间之内能获得收缩率较好的产品。

2.2.4 工艺参数对西洋参片微波真空干燥单位能耗的影响

影响西洋参片微波真空干燥单位能耗的因素显示为 X_1 (微波强度) $>X_2$ (压力) $>X_3$ (厚度)。微波强度对西洋参微波真空干燥的单位能耗影响极显著($P<0.0001$),而压力和厚度对西洋参微波真空干燥的单位能耗影响不显著($P>0.05$),因素间的交互作用对产品的单位能耗影响均不显著,但压力的二次效应对西洋参真空干燥单位能耗的影响极显著($P<0.01$)(表3)。图5,图6

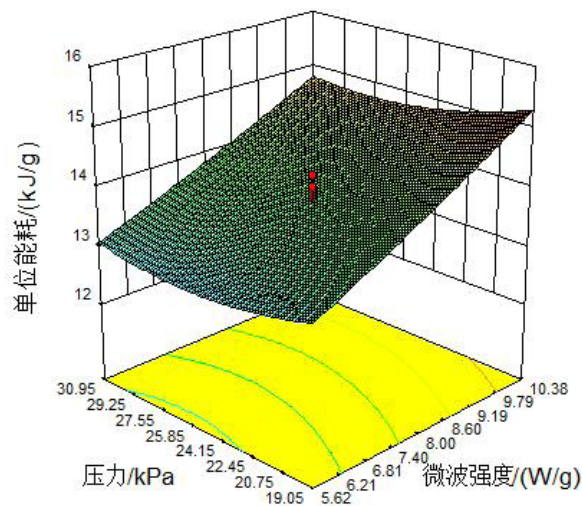


图5 微波强度和压力对西洋参片微波真空干燥单位能耗的影响

表4 综合指标评价及回归系数显著性分析

系数值	X_1	X_2	X_3	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	X_1^2	X_2^2	X_3^2
P 值	0.044	0.2052	<0.0001	0.8561	0.0107	0.7112	0.0047	0.6616	0.0027

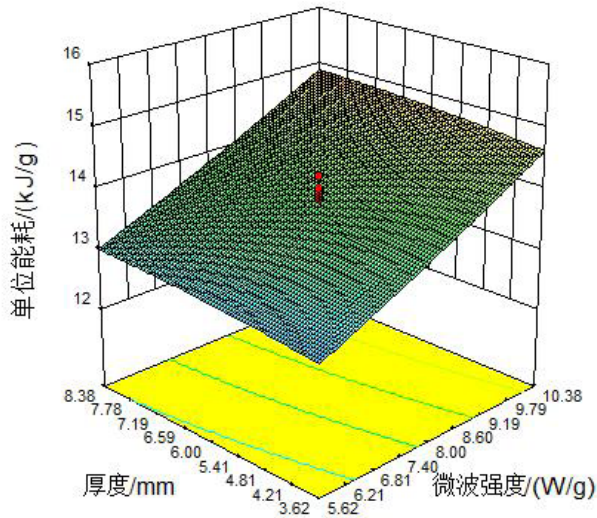


图6 微波强度和压力对西洋参片微波真空干燥单位能耗的影响

所示分别为不同微波强度下西洋参片微波真空干燥的单位能耗变化。

由图5、图6可以看出微波强度越大时,西洋参片微波真空干燥的能耗也越大,这是由于微波强度大,微波真空干燥机的耗电量增加,能耗随之增大。

2.3 工艺参数的综合优化结果

实验中,采用主观赋权法确定总色差(ΔE)、复水比、收缩率和单位能耗这四个指标的权数,以期获取高品质、低能耗的西洋参片微波真空干燥优化工艺参数组合。西洋参干燥产品应具有较好的外观及复水性能,这是首先考虑的内容,其次再考虑其收缩率与单位能耗,则三个评定值的权重系数 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 分别是0.4、0.3、0.2、0.1, $\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 = 1$ 。按照以下各个指标的权重系数与各个指标试验测试值的正反隶属函数:

$$U_{1i} = 1 - \frac{y_1 - y_{1\min}}{y_{1\max} - y_{1\min}}, \quad U_{2i} = \frac{y_2 - y_{2\min}}{y_{2\max} - y_{2\min}},$$

$$U_{3i} = 1 - \frac{y_3 - y_{3\min}}{y_{3\max} - y_{3\min}}, \quad U_{4i} = 1 - \frac{y_4 - y_{4\min}}{y_{4\max} - y_{4\min}}$$

综合评分值算式为: $D_i = \lambda_1 U_{1i} + \lambda_2 U_{2i} + \lambda_3 U_{3i} + \lambda_4 U_{4i}$
 D_i 为最终的综合评价价值。

经计算,综合指标评价集为 $D = \{0.143, 0.552, 0.171, 0.607, 0.540, 0.577, 0.528, 0.628, 0.183, 0.342, 0.652, 0.333, 0.426, 0.9473, 0.603, 0.461, 0.346, 0.483, 0.422, 0.478, 0.453, 0.465, 0.409\}$

将综合性能指标评价集的数据作为指标值,利用 Design Expert 软件对综合指标评价集进行分析,结果见表4。

经数据处理及剔除不显著项后得到综合性能指标的回归方程:

$$Y = 0.078644 + 0.27361X_1 - 0.11737X_3 - 0.015624X_1X_3 - 0.012687X_1^2 + 0.013777X_3^2$$

响应值 Y 在自变量范围内只有一个稳定点 Y (此时微波强度 8.08W/g, 压力 30.95kPa, 厚度 3.62mm)。

2.4 验证试验

在综合优化参数条件下,即以微波强度 8.08W/g, 压力 30.95kPa, 厚度 3.62mm 进行验证试验,微波真空干燥西洋参片的总色差(ΔE) 9.14, 复水比 2.73, 收缩率 20.26%, 单位能耗 13.53kJ/g。结果表明,各指标均较好。

3 结论

通过实验,为获取高品质、低能耗的西洋参片,其微波真空干燥的综合优化工艺参数应为:微波强度 8.08W/g, 压力 30.95kPa, 厚度 3.62mm,在此工艺参数条件下获得的西洋参片干制品总色差(ΔE) 9.14, 复水比 2.73, 收缩率 20.26%, 单位能耗 13.73kJ/g。

参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(一部)[M]. 中国医药科技出版社, 2020:136.
- [2] 侯丽娟, 刘连成, 胡静, 等. 威海市西洋参种植产业现状及发展对策探讨[J]. 特种经济动植物, 2015(6):33-34.
- [3] 李盼盼, 胡钦锴, 张敏. 微波真空干燥技术研究进展[J]. 食品安全导刊, 2022(20):175-177.
- [4] 张倩, 李世榆, 李秀辰, 等. 裙带菜微波真空干燥质热传递特性与品质优化[J]. 食品与机械, 2022,38(7):166-173.
- [5] 梁昌祥, 覃梦雨, 梁明华, 等. 微波真空干燥杏鲍菇的工艺优化及能耗分析[J]. 现代食品, 2021,29(17):78-82.
- [6] 宋树杰, 黄雪, 郭玉蓉. 基于温度控制的猕猴桃片微波真空干燥特性研究[J]. 食品与机械, 2021,37(10):124-132,244.
- [7] 夏磊, 黄昭, 邹金浩, 等. 淮山微波真空干燥特性与动力学模型[J]. 激光生物学报, 2019,28(1):72-79,83.