

牛蒡微波恒温干燥特性研究

Research on characteristics of burdock by microwave drying at constant temperature

纪 飞¹ 李臻峰^{1,2} 李 静¹ 徐晚秀¹

JI Fei¹ LI Zhen-feng^{1,2} LI Jing¹ XU Wan-xiu¹

(1. 江苏省食品先进制造装备技术重点实验室, 江苏 无锡 214122; 2. 绍兴县魁联机电科技有限公司, 浙江 绍兴 312000)
(1. Jiangsu Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China; 2. Shaoxing Queland Mechatronics Technology Co., Ltd., Shaoxing, Zhejiang 312000, China)

摘要:利用自制的微波干燥设备对牛蒡的干燥特性进行研究,通过获取在线重量、温度,实时地监测牛蒡切片的含水率和内部温度。通过正交试验探讨干燥过程中微波功率密度、样品内部温度、样品厚度对干燥时间的影响,确定恒温微波干燥牛蒡的最佳工艺参数:微波功率密度 10 W/g,样品内部温度 60 ℃,样品厚度 2 mm,在该条件下干燥后,牛蒡复水比为 3.77,色差值为 61.37。方差分析表明:微波功率密度和样品厚度对干燥时间影响显著,样品内部温度影响极显著。

关键字:牛蒡;微波干燥;在线重量获取;恒温

Abstract: The drying characteristics of burdock were studied using self-made weight and temperature facilities. The moisture content and the internal temperature were acquired online. Taken microwave power density, temperature and sample depth as the influence factor, and the optimal parameters for drying burdock by microwave were obtained through orthogonal experiment. The optimized parameters were as followed: the power density 10 W/g, the internal temperature of sample 60 ℃, and the samples' thickness 2 mm. Under these conditions, the rehydration rate R value and the color difference ΔE value of dried burdock were 3.77 and 64.37, respectively. ANOVA of the evaluation index showed that the drying time was extreme significant affected by the power density and samples' thickness, and significantly affected by the internal temperature of sample.

Keywords: burdock; microwave drying; online weight acquisition; constant temperature

牛蒡 (*Arctium lappa* L.), 别名东洋参、大力子, 菊科二

基金项目:国家自然科学基金项目(编号:21206051);江苏省普通高校研究生科研创新计划项目(编号:KYLX_1158)

作者简介:纪飞(1990—),男,江南大学在读硕士研究生。

E-mail: jifei_xz@foxmail.com

通讯作者:李臻峰

收稿日期:2015-07-09

年生草本植物,作为一种药食同源的植物,牛蒡具有极高的营养和药用价值。研究^[1]表明,牛蒡中富含人体所需的蛋白质、脂肪、磷、钙、铁等矿物质和维生素,经常食用牛蒡可促进血液循环、清除肠胃垃圾、并可预防中风和高血压等疾病的产生。新鲜牛蒡在贮存过程中会产生褐变和纤维化导致无法食用,而对新鲜牛蒡进行切片后干燥保存可以有效延长其保质期^[2]。

微波干燥过程中,食品内部和外部同时加热,改变了传统的由表及里的加热方式,可极大提高干燥的速度。相比于热风、冷冻等干燥方式,微波干燥技术具有干燥速度快、产品质量高、能源消耗低等优点^[3],近年来在食品干燥领域应用愈发广泛^[4-8]。目前,主流的微波干燥技术是通过控制初始微波功率密度进行干燥^[9-12],然而在干燥中后期,由于样品重量的下降,实时的微波功率密度将会增大,而这种干燥方式无法控制温度,就会导致样品内部温度过高,极易出现焦糊、褐变等现象^[13,14]。因此,在干燥过程中,如果可以对温度加以控制,既可以利用微波干燥的优势快速去除样品中的水分,又能够保证干燥后产品的质量^[15]。中国目前很少有关于干燥过程微波温度控制的研究报道,可能是因为没有有效的方法对微波干燥过程中温度进行检测和控制,张薇等^[16]研究了淮山药微波干燥过程中温度的变化规律,但是并没有对温度进行控制。本研究在不断检测样品内部温度的同时通过微波炉的间歇工作对温度进行控制,保证干燥过程样品内部温度处于一个稳定范围。

本试验拟对牛蒡微波恒温干燥特性进行研究,通过正交试验确定牛蒡干燥的最佳工艺参数,以期为延长牛蒡的储存期提供理论依据。

1 材料及方法

1.1 试验材料

新鲜牛蒡:购于徐州益顺康牛蒡种植基地,清洗去须后置 1 ℃ 冰箱存储^[17]。

1.2 试验设备

微波干燥系统(图 1):本实验室自制。利用晶闸管控制微波炉的输入电压以达到控制微波炉功率(0~800 W)的目的,并通过控制微波炉的通断来使干燥温度稳定在设定温度(在一定范围波动),温度是通过插在样品内部的光纤探头获得的。电子秤所获得的重量数据和温度传感器所测得温度数据,可以实时输入电脑通过 LabVIEW 软件进行保存,实现了重量的在线测量,无需在干燥过程中关闭设备对样品进行测量^[18],从而有效地保证了试验结果的准确性;

电子秤:KS201 型,永康市艾瑞贸易有限公司;

数显恒温水浴锅:HH-1 型,常州智博瑞仪器制造有限公司;

色差仪:CR-200 型,日本柯尼卡美能达公司。

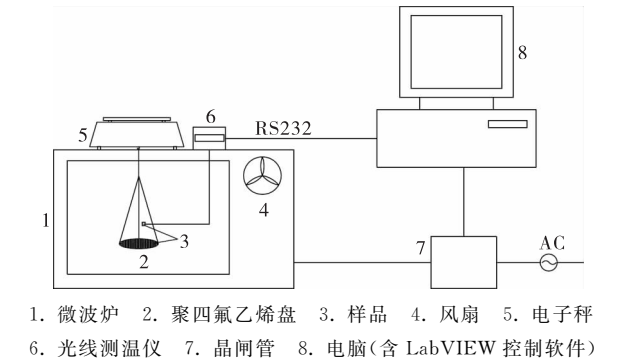


图 1 微波干燥系统
Figure 1 System of microwave drying

1.3 试验方法

初始化 LabVIEW 程序并调试电子秤,开始接收重量和温度数据。然后放入样品,将光纤探头插入样品内部以测量温度,运行程序,开始干燥过程,当物料内部温度达到设定值时,微波炉停止工作直至物料内部温度降至设定值以下。

1.3.1 干燥过程中样品含水率、内部温度变化试验 微波干燥过程中,样品内部温度是非常重要的因素,干燥过程中,过高的内部温度会严重影响样品品质,因此,本试验通过插在样品内部的光纤,实时测量温度数据并进行记录,研究干燥过程中样品内部温度的变化并进行控制。选取牛蒡厚度为 4 mm,在 6,8,10 W/g 的微波功率密度的条件下,分别设定微波温度为 50,70 ℃ 和不控制,将牛蒡干燥到含水率小于 10%(湿基)左右时停止试验,每个试验重复 3 次,取平均值。

1.3.2 确定微波干燥最优参数试验 为了确定微波干燥的最佳工艺参数,根据预试验结果,选取微波功率密度、样品内部温度和样品厚度 3 个因素,每个因素取 3 个水平(表 1),以

表 1 微波干燥正交试验因素水平表			
Table 1 Factors and levels of orthogonal experiments			
水平	A 微波功率密度/ (W · g ⁻¹)	B 样品内部 温度/℃	C 样品厚 度/mm
1	6	50	2
2	8	60	4
3	10	70	6

干燥时间为考察指标,选用 L₉(3⁴) 正交表进行正交试验,每组试验重复 3 次,结果取平均值。

1.4 指标测定

1.4.1 含水率测定 使用 GB 5009.3—2010 中的直接干燥法在 103 ℃(常压)下测得^[19],计算公式见式(1):

$$X = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%$$

式中:
X——样品中水分的含量,%(湿基);
m₁——样品干燥前重量,g;
m₂——样品干燥后重量,g。

1.4.2 复水比测定 将干燥好的样品称重后放入 80 ℃ 恒温水浴锅复水 40 min,取出后用滤纸吸干表面水分,测得复水后的重量。计算公式见式(2):

$$R = \frac{m_r}{m_g}$$

式中:
R——样品中复水比;
m_g——样品复水前重量,g;
m_r——样品复水后重量,g。

1.4.3 色差值测定 用 CR-200 色差仪测量干燥前后的样品的色差 L、a、b 值(分别表示亮度、红绿、黄白的程度)。用 ΔE 表示干燥前后的色差值,按式(3)计算:

$$\Delta E = \sqrt{(L_1 - L_0)^2 + (a_1 - a_0)^2 + (b_1 - b_0)^2}$$

式中:
L₀、a₀、b₀——分别表示干燥前参数值;
L₁、a₁、b₁——分别表示干燥后参数值。

1.4.4 数据处理 用 SPSS 20.0 和 EXCEL 对试验数据进行处理和分析。

2 结果与分析

2.1 干燥过程中牛蒡含水率、内部温度的变化

由图 2、3 可知,干燥过程中牛蒡中心温度变化经历了 3 个阶段:第 1 阶段,温度逐渐从室温上升,持续 1 min 左右,是干燥开始阶段,物料含水率曲线变化也不明显;第 2 阶段,温度处于平稳状态,这个阶段也是牛蒡干燥的主要阶段,大量水分蒸发流失,是恒速干燥阶段;第 3 阶段,温度又出现小幅上升,干燥进入后期,是降速干燥阶段。由图 2 还可以看出,在干燥过程中,如果不对牛蒡温度加以控制,其内部温度

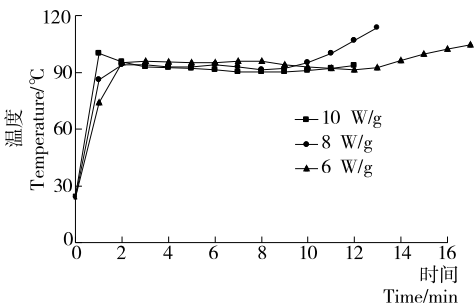


图 2 不同微波功率密度下牛蒡内部温度曲线
Figure 2 Internal temperature of burdock

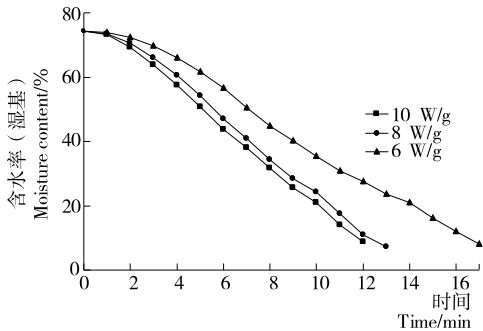


图 3 不同微波功率密度下牛蒡微波干燥曲线
Figure 3 Effect of power density on microwave drying curve of burdock

将处在非常高的水平,尤其是在干燥后期,最高温度甚至达到 120 ℃,这是因为在干燥后期,牛蒡重量迅速下降,而功率却维持不变,微波功率密度相对就会增大,比如牛蒡初始重量为 40 g,功率密度为 10 W/g,当干燥过程中重量变为 20 g 时,那么功率密度就变成 20 W/g。过大的功率密度就会导致牛蒡内部温度过高,损坏牛蒡的品质,甚至产生焦糊、炭化等现象。

对牛蒡内部温度进行控制后,温度曲线见图 4。由图 4 可知,在经历迅速上升阶段后,牛蒡内部温度始终稳定在设定温度处(有小范围波动)。干燥曲线见图 5,由图 5 可知,当控制较低的牛蒡内部温度时,干燥时间会明显增加,这是因为功率密度较大而设定温度较小时,牛蒡内部温度会迅速达到设定温度,同时微波炉停止工作并需要较长时间才能使牛蒡内部温度降到设定温度,在此期间牛蒡就没有吸收微波能量,导致水分蒸发较为缓慢,因此,应避免选用较大的功率密度与较小的设定温度以提高能源利用效率和缩短干燥时间。

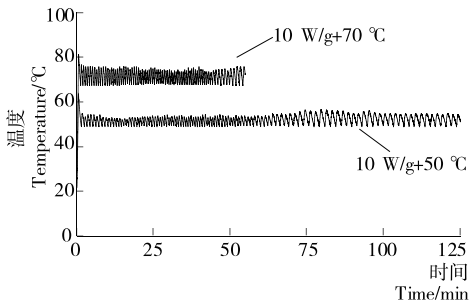


图 4 控制不同温度后牛蒡内部温度曲线
Figure 4 Curve of temperature with different control setup

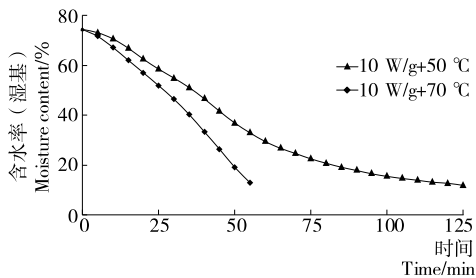


图 5 控制不同温度后牛蒡干燥曲线
Figure 5 Burdock drying curve with temperature control

58

2.2 恒温微波干燥工艺条件的正交试验

由表 2 可知,微波干燥各因素对干燥时间的影响次序为:样品内部温度(B)>功率密度(A)>样品厚度(C),误差列极差值很小,说明正交试验选择的因素是完整的,没有遗漏比较重要的因素。由表 3 可知,因素 B 对干燥时间的影响极显著,因素 A 与因素 C 对干燥时间影响显著。因此,确定各因素的最优组合为 A₃B₂C₁,可以得出微波干燥牛蒡的干燥时间最短的参数为:微波功率密度 10 W/g,样品内部温度 60 ℃,样品厚度 2 mm,即第 8 组试验。由表 4 可知,在该组试验条件下,干燥后样品的复水比 R 和色差值 ΔE 比不控温的干燥条件有较大改善。

表 2 微波干燥正交试验结果

Table 2 Results of the orthogonal experiments					
试验号	A	B	C	误差列	干燥时间/min
1	1	1	1	1	81.5
2	1	2	2	2	64.5
3	1	3	3	3	76.1
4	2	1	2	3	90.2
5	2	2	3	2	60.1
6	2	3	1	2	37.4
7	3	1	3	2	79.3
8	3	2	1	3	21.5
9	3	3	2	1	35.3
k ₁	74.1	83.7	46.9	59.0	
k ₂	62.6	48.7	63.3	60.4	
k ₃	45.4	49.6	71.8	62.6	
R	28.7	35.0	24.9	3.6	

表 3 试验结果的方差分析[†]

Table 3 Analysis variance of the experimental results				
方差来源	平方和	自由度	F 值	显著性
A	1 254.5	2	64.6	*
B	2 393.2	2	123.2	**
C	966.7	2	49.8	*
误差	19.4	2		
总和	4 633.84	8		

[†] F_{0.05}(2,2)=19.0,F_{0.01}(2,2)=99.0;* * 表示极显著,* 表示显著。

表 4 干燥条件对 R 和 ΔE 的影响

Table 4 Effect of different drying parameters on R and ΔE		
干燥条件	复水比 R	色差值 ΔE
10 W/g+不控温	2.83	70.25
8 W/g+不控温	3.16	68.77
6 W/g+不控温	3.47	66.41
10 W/g+60 ℃+2 mm	3.77	61.37

3 结论

微波干燥牛蒡过程中,牛蒡内部温度在后期会上升到很高水平,影响干燥后牛蒡的品质,通过不同功率密度和牛蒡内部温度的设定值,确定了控制牛蒡内部温度的较佳值,在保证控温效果的同时干燥耗时较少。

通过正交试验确定了牛蒡微波恒温干燥的最佳工艺参数为:微波功率 10 W/g,样品内部温度 60 ℃,样品厚度 2 mm,干燥后牛蒡品质较佳,复水比和色差有较大改善。方差分析结果显示微波功率密度和样品厚度对干燥时间影响显著,样品内部温度影响极显著。

微波干燥过程中样品内部温度对干燥过程和干燥后样品的品质有着重要的影响,本试验研究了间歇干燥控制样品内部温度的方法,干燥过程中样品内部温度稳定在一定范围内,如何进一步精确控制样品内部温度将是下一步研究的重点。

参考文献

1 徐传芬,孙隆儒.牛蒡化学成分和药理作用的研究现状[J].时珍国医国药,2001,12(10):941~942.

2 孟秀梅,刘昌衡,王希敏,等.牛蒡子在食品工业中应用及其开发前景[J].食品与机械,2006,22(4):109~111.

3 杨洲,段洁利.微波干燥及其发展[J].粮油加工与食品机械,2000,5(3):5~6,8.

4 Li Zhen-feng, Vijaya Raghavan G, Wang Ning. Apple volatiles monitoring and control in microwave drying[J]. LWT-Food Science and Technology, 2010, 43(4): 684~689.

5 Sarimeseli A. Microwave drying characteristics of coriander (coriandrum Sativum L.) leaves[J]. Energy Conversion and Management, 2011, 52(2): 1 449~1 453.

6 唐小俊,池建伟,张名位,等.苦瓜微波干燥工艺优化[J].农业机械学报,2008,39(1):68~73.

7 朱德泉,王继先,朱德文,等.香菜微波干燥的试验研究[J].农业工程学报,2007,23(12):242~246.

8 胡庆国,卜召辉,陆宁.金针菇真空微波干燥动力学模型的研究[J].食品与机械,2010,26(5):48~50,77.

9 朱德泉,王继先,朱德文.玉米微波干燥特性及其对品质的影响[J].农业机械学报,2006,37(2):72~75.

10 周韵,宋春芳,崔政伟.热风微波耦合干燥胡萝卜片工艺[J].农业工程学报,2011,27(2):382~386.

11 章斌,侯小桢.热风与微波联合干燥香蕉片的工艺研究[J].食品与机械,2010,26(2):97~99,142.

12 张国琛,毛志怀,牟晨晓,等.微波真空干燥扇贝柱的物理和感官特性研究[J].农业工程学报,2004,20(3):141~144.

13 Li Zhen-feng, Raghavan G, Orsat V. Temperature and power control in microwave drying[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 97(4): 478~483.

14 刘小丹,徐怀德,孙田奎,等.红枣微波-热风联合干燥工艺优化[J].食品科学,2013,34(10):98~102.

15 Li Zhen-feng, Raghavan G, Wang Ning, et al. Drying rate control in the middle stage of microwave drying[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 104(2): 234~238.

16 张薇,王泽槐,许静芬.淮山药微波干燥过程温度水分的特征变化研究[J].中药材,2005,8(9):21~25.

17 王静,徐为民,诸永志,等.贮藏温度对鲜切牛蒡褐变的影响[J].江苏农业学报,2008,12(4):492~496.

18 王静,胡秋辉,辛志宏.真空微波与热风联合干燥蒜片的工艺研究[J].食品工业科技,2011,32(8):280~283.

19 中华人民共和国卫生部. GB/T 5009.3—2010 食品中水分的测定[S].北京:中国标准出版社,2010.

信息窗

韩国将对农食品相关的主要认证制度进行大幅度整顿

据韩媒报道,韩国第4次规章制度改革长官会议上确定了“认证制度革新方案”,对于中小企业负担过重的认证制度,将从根本上进行改善。主要包括畜产品与食品的 HACCP 认证合并,传统食品质量认证企业免除工厂的部分审查等农食品相关的主要认证制度的整顿。

目前,韩国运行的认证制度共有 203 个,此次计划将对 113 个认证制度进行整顿。农食品认证相关调整情况具体如下:

农林食品部相关领域认证制度中,优秀农产品管理设施指定制度废除,与农产品优秀管理认证合并;计划废除危害牛肉销售贩卖禁止系统构建认证制度;畜产品与食品分开进行的 HACCP 认证合并。

农林畜产食品部领域,放宽农林食品新技术认证手续费等运营体系负担,农产品地理性标示制度的注册手续费由 10 万韩元改为免费;降低酒的质量认证审查费用,并简

化审查程序;有机加工食品认证处理时间由 60 d 缩短为 50 d;对于传统食品质量认证的 KS 认证企业,将免除工厂的部分审查;环保农畜产品认证制度的认证处理时间由 60 d 缩短为 50 d。

食品药品安全处(KFDA)运营的食品与畜产品的 HACCP 认证合并,儿童嗜好食品质量认证中废除有效期(2 年),且审查时间由 30 d 缩短为 20 d。

韩国政府称,通过此次改革,各企业认证所支出的手续费、试验检测费、人工费等认证费用将大幅缩减,预计每年可节俭 5 420 亿韩元,认证有效时间按 3 年计算,3 年累计可节俭 1 万 6 260 亿韩元。

并且,通过缩短认证时间,企业认证产品可以尽早推向市场,获得更多的销售收入。据推测,通过此次认证制度的整顿,韩国将有近 23 万家中小企业受益。

(来源:www.cifst.org.cn)