

红枣微波-热风联合干燥工艺优化

刘小丹^{1,2}, 徐怀德^{1,2,*}, 孙田奎³, 张淑娟¹, 黄小奇¹

(1.西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2.陕西省红枣工程技术中心, 陕西 清涧 718300;
3.清涧县宏祥有限责任公司, 陕西 清涧 718300)

摘要:目的: 为提高红枣干制品品质。方法: 采用分段热风、微波间歇、微波-热风联合干燥3种方式干燥红枣, 并对产品品质进行比较; 根据Box-Behnken试验设计原理, 采用响应面分析法优化红枣微波-热风联合干燥工艺。结果: 利用微波-热风联合干燥方式对红枣进行干燥, 总VC含量比分段热风、微波间歇干燥产品增加了99.53%、30.99%; 褐变系数 A_{420} 明显低于分段热风、微波间歇干燥产品, 3种干燥方式的总黄酮含量接近。微波-热风联合干燥红枣的最佳工艺条件为投料量305g、119W微波干燥12min、间歇4min、间歇次数7次、然后55℃热风干燥9h、50℃热风干燥12h, 红枣总VC含量达36.22mg/100g, 总黄酮含量为35.53mg/100g、 A_{420} 为0.3079, 干燥时间为分段热风干燥时间的80%。结论: 微波-热风联合干燥是适合红枣的有推广应用价值的干燥技术。

关键词: 红枣; 微波; 热风; 联合干燥; 工艺优化

Optimization of Microwave-Hot Air Drying of Chinese Jujubes

LIU Xiao-dan^{1,2}, XU Huai-de^{1,2,*}, SUN Tian-kui³, ZHANG Shu-juan¹, HUANG Xiao-qi¹

(1. College of Food Science and Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, China; 2. Center of Jujube Engineering Technology in Shaanxi Province, Qingjian 718300, China; 3. Qingjian Hongxiang Co. Ltd., Qingjian 718300, China)

Abstract: Comparative drying of Chinese jujubes by three different methods, stagewise hot-air drying, intermittent microwave heating and microwave-hot air treatment was studied to reveal the effect of the drying methods on the quality of dried products. Meanwhile, we optimized the microwave-hot air drying process by response surface analysis. The results of comparative studies indicated that total VC content was increased by 99.53% and 30.99%, and the browning index A_{420} was much decreased, but total flavonoid content had no obvious difference through the use of microwave-hot air drying instead of stagewise hot-air drying and intermittent microwave heating. The optimum microwave-hot air drying conditions were 305 g of material loading, microwave drying at 119 W for 12 min with 7 intermittent intervals for 4 min each followed by hot air drying at 55 °C for 9 h and at 50 °C for 12 h. The total VC content, total flavonoid content and A_{420} of dried products obtained under these conditions were 36.22 mg/100 g, 35.53 mg/100 g and 0.3079, respectively. From the present study, we conclude that microwave-hot air drying deserves to be popularized for drying jujubes.

Key words: Chinese jujube; microwave; hot-air; combined drying; technology optimization

中图分类号: TS255.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)10-0098-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201310021

红枣是鼠李科枣属植物枣树的成熟果实, 含有丰富的糖、酸、维生素等营养物质, 尤以VC含量最高, 此外还含有较多的黄酮类物质、环磷酸腺苷等, 是人们喜爱的营养果品。《神农本草经》将红枣和人参并列为诸药之首, 《本草纲目》也记载了“红枣气味甘、平、无毒”, 有“润心肺、止咳、补五脏、治虚损、除肠胃癖气呼光粉烧治痢”的作用, 红枣具有较高营养价值和

药用价值^[1-4]。红枣原产于黄河沿岸晋、冀、鲁、豫、陕等省, 近年来新疆、甘肃、宁夏等省也有大量栽植, 栽培面积已达150多万公顷, 年产鲜枣约350多万t, 我国是商品枣的生产和出口贸易大国, 栽培面积和产量均居世界首位。

红枣含水量很高, 收获期短, 每年红枣成熟后期的多雨天气使大量果实出现裂果现象, 收获后由于不能及时

收稿日期: 2012-02-16

基金项目: 陕西省榆林市科技攻关项目

作者简介: 刘小丹(1987—), 女, 硕士研究生, 研究方向为果蔬贮藏与加工。E-mail: laolu198768@126.com

*通信作者: 徐怀德(1964—), 男, 教授, 本科, 研究方向为软饮料、果品蔬菜贮藏与加工、天然产物提取。

E-mail: xuhuaide@yahoo.com.cn

干燥而使霉变腐烂加剧,给红枣产业造成了极大的经济损失,是限制红枣产业发展的瓶颈之一。我国95%以上的红枣被制成干枣,使其适宜储藏和后续加工、消费。红枣干制多采用热风干燥^[5],干燥时间长,VC等营养物质损失严重。近年来,许多新的干燥技术已经应用到红枣干燥中^[6],其中微波干燥干燥速度快,干净卫生,受到了广泛关注^[7]。但是单独微波干燥红枣,红枣温度升高快,容易褐变^[8]。为改善单一干燥方式的缺点,目前国内外许多学者研究复合干燥技术,石启龙等^[9]研究了雪莲果热风-微波联合干燥的最适工艺参数;Gowen等^[10]利用微波辅助热风干燥法能有效地缩短澳洲坚果的干燥时间,提高澳洲坚果的品质;张国琛等^[11]曾利用微波真空+热风+微波真空的组合干燥方式对扇贝柱进行干燥,干燥时间比单纯热风干燥缩短50%以上,收缩率和复水率比单纯微波真空干燥均有不同程度的改善,抗破碎能力明显优于热风干燥。Fang Shuzheng等^[12]采用先热风后微波的两段式干燥方法干燥红枣,结果表明联合干燥的红枣品质优于热风干燥产品。但是采用先微波后高温热风再低温热风的3段式干燥还未见报道。本研究采用Box-Behnken试验设计分析法优化红枣微波-热风联合干燥工艺条件,分析联合干燥对产品品质的影响,以期对实际生产提供依据和参考。

1 材料与amp;方法

1.1 材料、试剂与设备

材料:木枣采自陕西省清涧县双庙河乡鲍家山村(湿基含水率59%),果实充分成熟,运回实验室后选择成熟度相对均匀的果实于(0±1)℃、相对湿度85%~90%冷库中贮藏。

芦丁(纯度≥95%) 国药集团化学试剂有限公司;
抗坏血酸(纯度≥99.7%) 天津博迪化工股份有限公司;
其他试剂均为分析纯。

DHG-9123A型电热恒温鼓风干燥箱 上海精宏实验设备有限公司;PJ21C-B₁型微波炉 广东美的微波炉制造有限公司;JYL-A020型九阳料理机 九阳股份有限公司;ALC-210.3型电子分析天平 赛多利斯艾科勒公司;HH-S6双列六孔型电热水浴锅 北京科伟有限公司;KDC-40型低速离心机 科大创新股份有限公司中佳分公司;KQ-600DB型数控超声波清洗器 昆山市超声仪器有限公司;UV-mini1240紫外-可见分光光度计 日本岛津公司。

1.2 方法

1.2.1 红枣的3种干燥方式

分段热风干燥:第一阶段取红枣置于温度为55℃的烘箱内干燥,干燥至红枣的湿基含水率不高于50%为止;第二阶段将温度升至60℃,干燥至红枣的湿基含水率不高于40%为止;第三阶段将温度降至50℃,干燥至

红枣的湿基含水率不高于28%为止。

微波间歇干燥:将红枣均匀平铺成一层在微波炉的转盘上,在微波功率119W条件下干燥,干燥12min,间歇4min,重复此过程,至红枣的湿基含水率不高于28%为止。

微波-热风联合干燥:第一阶段采用微波间歇干燥,在微波功率为119W条件下,干燥12min,间歇4min,间歇次数为7次;第二阶段将红枣转入烘箱,在55℃条件下干燥9h;第三阶段将烘箱温度降至50℃,干燥至红枣的湿基含水率不高于28%为止。

1.2.2 投料量和微波间歇次数单因素试验

分别以投料量100、200、300、400g在119W条件下微波间歇干燥,干燥12min,间歇4min,重复此过程,直到红枣的湿基含水率不高于28%为止。

第一阶段采用微波间歇干燥,微波功率为119W,间歇次数分别为6、7、8、9,其他操作同1.2.1节中微波-热风联合干燥。

1.2.3 响应面的试验设计

依据Box-Behnken试验设计原理,以投料量、微波间歇次数、55℃热风干燥时间3个因素为自变量,分析它们对产品总VC含量、总黄酮含量、 A_{420} 的影响规律。

1.3 指标测定

1.3.1 总VC含量

总VC含量(湿基计)按照GB/T 5009.86—2003《蔬菜、水果及其制品中总抗坏血酸的测定》中2.4.二硝基苯肼比色法进行测定。

1.3.2 总黄酮含量

黄酮含量(湿基计)的测定采用 $\text{NaNO}_2\text{-Al}(\text{NO}_3)_3$ 比色法^[13-14]。

标准曲线的绘制:准确称取干燥、质量恒定的芦丁标准品0.1g,用60%的乙醇溶解并定容至100mL,摇匀得1mg/mL标准溶液。分别取上述芦丁标准溶液0、0.15、0.3、0.45、0.6、0.75mL于25mL的试管中,准确加入5%亚硝酸钠溶液1mL,摇匀,放置6min,加2.5%硝酸铝溶液4mL,摇匀,放置6min,加1mol/L氢氧化钠溶液5mL,摇匀,放置15min,在510nm波长处测吸光度。

样品中总黄酮含量的测定:精确称取2g样品于具塞三角瓶中,加入60%乙醇溶液50mL,放入超声波仪中超声提取40min,功率为420W,在4℃的环境下静置4h,在2583×g条件下离心10min后过滤,精确吸取过滤液2mL,分置于25mL的试管中,按绘制标准曲线的方法显色,以蒸馏水为空白对照,在510nm波长处测吸光度。

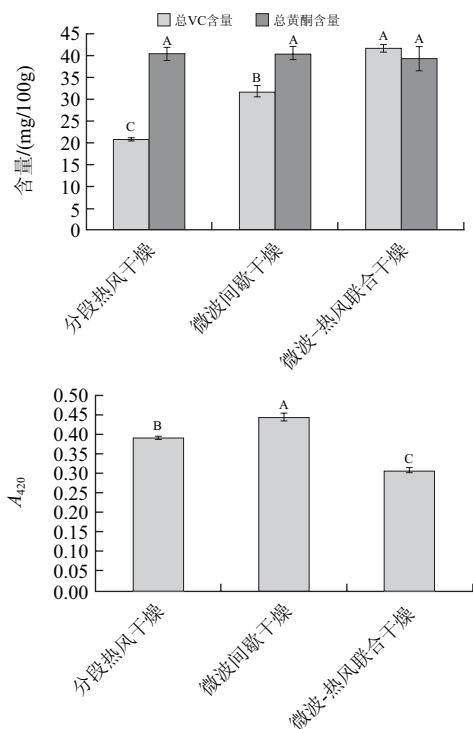
1.3.3 褐变系数 A_{420}

将样品充分研细,称取5g,用水定容至50mL,静置2h,后用离心机在2583×g条件下离心10min,取测定样5mL,再加入95%的乙醇5mL,用离心机在3800r/min条件下离心10min,在420nm处测定吸光度(A_{420}),用吸光度的大小直接表示褐变度^[15]。

2 结果与分析

2.1 3种干燥方式对红枣品质特性的影响

对分段热风干燥、微波间歇干燥、微波-热风联合干燥产品的总VC含量、总黄酮含量、 A_{420} 进行分析。据图1可知,总VC含量由低到高依次是分段热风干燥、微波间歇干燥、微波-热风联合干燥产品,三者之间差异显著。其中分段热风干燥属于长时间干燥,总VC含量最低;微波间歇干燥过程中,极性分子间剧烈碰撞和摩擦会产生大量的热量,物料中心部位热量积累很多,导致物料内部温度很高,虽然干燥时间短,但VC极易受热破坏,VC的含量相对分段热风干燥产品较低^[16];而微波-热风联合干燥能较好地保存VC,同时,第一阶段的微波间歇干燥最大程度上将物料内部的水分向外层转移,提高了第二阶段高温热风干燥的效率,缩短了干燥时间,抑制了产品的褐变,微波-热风联合干燥红枣的褐变系数 A_{420} 最小,与另两种干燥方式差异显著。3种不同方式干燥产品总黄酮的含量没有显著性的变化。因此微波-热风联合干燥法在提高产品品质方面具有优势。



不同字母表示差异显著($P < 0.01$)。下同。

图1 3种干燥方式对总VC、总黄酮含量和 A_{420} 的影响

Fig.1 Vitamin C, flavonoid content and A_{420} of jujube products treated by three drying techniques

2.2 单因素试验结果分析

2.2.1 投料量对微波干燥产品品质的影响

分析不同投料量对红枣总VC含量、总黄酮含量、 A_{420} 的影响。结果如图2所示,不同投料量的总VC含量之

间有显著性差异。投料量为300g时,总VC含量、总黄酮含量最高, A_{420} 最低。当投料量增大到400g时,单位质量物料受到的微波强度减小,干燥时间延长,VC、黄酮成分氧化分解,含量降低,褐变加剧。当投料量减小到100~200g时,单位质量物料受到的微波辐射强度增大,干燥过程中物料的温度上升幅度增大,红枣内部温度达到80~90℃,酶促褐变受到抑制,但是加剧了非酶褐变,VC、黄酮受热氧化,产品褐变加深^[17-18]。

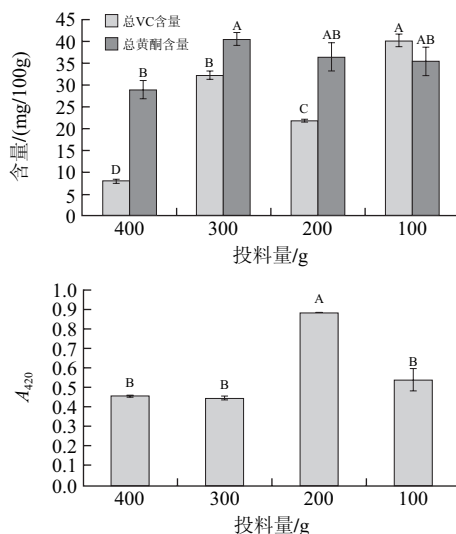


图2 投料量对总VC、总黄酮含量和 A_{420} 的影响

Fig.2 Effect of material loading on vitamin C, flavonoid content and A_{420}

2.2.2 间歇次数对微波-热风联合干燥产品品质的影响

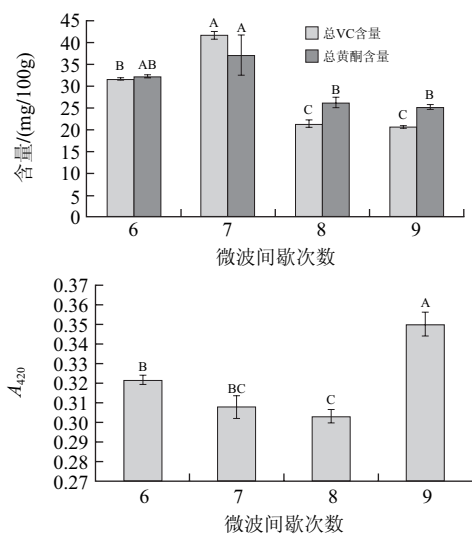


图3 微波间歇次数对总VC、总黄酮含量、 A_{420} 的影响

Fig.3 Effect of intermittent number during microwave treatment on vitamin C, flavonoid content and A_{420}

由图3可知,微波间歇次数为7次时,总VC含量和总黄酮含量都最高, A_{420} 较低。微波间歇次数为6次时,第一阶段转换点干基含水率较高,导致热风干燥时间延

长,而高温和氧化的作用会使VC、黄酮类物质氧化,故含量相对较低,酶褐变加剧, A_{420} 增大。当微波间歇次数增加到8~9次时,微波干燥时间延长,且微波干燥阶段,物料的温度较高,会引起VC、黄酮类物质的氧化分解;并且会使果肉褐变加剧。

2.3 微波-热风联合干燥中心组合试验结果分析

以投料量、微波间歇次数、55℃热风干燥时间为自变量,分别以总VC含量、总黄酮含量、 A_{420} 为响应值,采用Design Expert 8.0.5软件进行响应面分析方案设计,试验设计和结果见表1。

表1 响应面试验设计与结果

Table 1 Box-Behnken design matrix and response values of vitamin C, flavonoid content and A_{420}

试验号	X_1 投料量/g	X_2 微波间歇次数	X_3 55℃热风干燥时间/h	Y_1 总VC含量/(mg/100g)	Y_2 总黄酮含量/(mg/100g)	Y_3 A_{420}
1	0(300)	-1(6)	1(10)	13.83	34.94	0.307
2	1(400)	0(7)	-1(8)	8.94	34.71	0.245
3	0	0	0(9)	40.35	37.13	0.304
4	-1(200)	-1	0	22.34	29.71	0.362
5	0	0	0	36.57	38.35	0.319
6	-1	0	-1	30.14	21.58	0.320
7	1	1(8)	0	12.91	32.98	0.268
8	-1	0	1	15.99	25.43	0.498
9	0	0	0	42.02	41.30	0.345
10	1	-1	0	9.53	31.50	0.239
11	0	1	1	14.21	24.35	0.330
12	0	-1	-1	14.23	32.91	0.282
13	0	0	0	41.35	32.20	0.319
14	0	0	0	35.43	36.56	0.345
15	-1	1	0	16.89	17.11	0.465
16	1	0	1	11.32	30.29	0.265
17	0	1	-1	26.89	26.12	0.324

对表1中的试验数据进行分析,得到各个因素与产品总VC含量、总黄酮含量和 A_{420} 指标之间的预测模型,并进行模型检验。

2.3.1 各因素对总VC含量的影响

各个因素与产品总VC含量之间的多元二次回归方程式如下:

$$Y_1 = 39.14 - 5.33X_1 + 1.37X_2 - 3.11X_3 + 2.21X_1X_2 + 4.13X_1X_3 - 3.07X_2X_3 - 12.21X_1^2 - 11.52X_2^2 - 10.34X_3^2$$

模型 $P=0.0002$,表明模型方程极显著,不同处理间的差异极显著,具有统计学的意义;失拟项 $P=0.3456$,失拟不显著,说明模型拟合程度好,具有实际应用意义。模型的总决定系数 $R^2=0.9684$,表明响应值总VC含量实际值与预测值之间具有良好的拟合度,校正决定系数 $R^2_{Adj}=0.9279$,说明92.79%的总VC含量变异可由此回归模型解释,模型可以用来估计总VC含量。影响总VC含量的主次顺序为投料量、55℃热风干燥时间、微波间歇次数,即投料量对总VC含量的影响最大,微波间歇次数对总VC含量的影响最小。模型中 X_1 影响极显著, X_3 影

响显著;交互项 X_1X_3 的影响是显著的;二次项对总VC含量的影响均是极显著的。

可用该方程对不同投料量、微波间歇次数、55℃热风干燥时间处理条件下红枣总VC含量进行预测。

2.3.2 各因素对总黄酮含量的影响

各个因素与产品总黄酮含量之间的多元二次回归方程式如下:

$$Y_2 = 37.11 + 4.46X_1 - 3.56X_2 - 0.039X_3 + 3.52X_1X_2 - 2.07X_1X_3 - 0.95X_2X_3 - 5.43X_1^2 - 3.85X_2^2 - 3.68X_3^2$$

模型 $P=0.0034$,表明模型方程极显著,不同处理间的差异及显著,具有统计学的意义;失拟项 $P=0.9224$,失拟不显著,说明模型拟合程度好,具有实际应用意义。模型的总决定系数 $R^2=0.9254$,表明响应值总黄酮含量实际值与预测值之间具有良好的拟合度,校正决定系数 $R^2_{Adj}=0.8295$,说明82.95%的总黄酮含量变异可由此回归模型解释,模型可以用来估计总黄酮含量。影响总黄酮含量的主次顺序为投料量、微波间歇次数、55℃热风干燥时间,即投料量对总黄酮含量的影响最大,55℃热风干燥时间对总黄酮含量的影响最小。模型中 X_1 和 X_2 影响极显著;交互项 X_1X_2 的影响是显著的; X_1 的二次项对总黄酮含量的影响均是极显著的, X_2 、 X_3 的二次项对总黄酮含量的影响是显著的。

可用该方程对不同投料量、微波间歇次数、55℃热风干燥时间处理条件下红枣总黄酮含量进行预测。

2.3.3 各因素对 A_{420} 的影响

各个因素与产品 A_{420} 之间的多元二次回归方程式如下:

$$Y_3 = 0.33 - 0.079X_1 + 0.025X_2 + 0.029X_3 - 0.019X_1X_2 - 0.040X_1X_3 - 4.750 \times 10^{-3}X_2X_3 + 0.014X_1^2 - 7.075 \times 10^{-3}X_2^2 - 8.575 \times 10^{-3}X_3^2$$

模型 $P=0.00005$,表明模型方程极显著,不同处理间的差异及显著,具有统计学的意义;失拟项 $P=0.1301$,失拟不显著,说明模型拟合程度好,具有实际应用意义。模型的总决定系数 $R^2=0.9091$,表明响应值 A_{420} 实际值与预测值之间具有良好的拟合度,校正决定系数 $R^2_{Adj}=0.8383$,说明83.83%的 A_{420} 变异可由此回归模型解释,模型可以用来估计 A_{420} 含量。影响 A_{420} 的主次顺序为投料量、55℃热风干燥时间、微波间歇次数,即投料量对 A_{420} 的影响最大,微波间歇次数对 A_{420} 的影响最小。模型中 X_1 影响极显著, X_2 和 X_3 影响显著;交互项 X_1X_3 的影响显著。

可用该方程对不同投料量、微波间歇次数、55℃热风干燥时间处理条件下红枣 A_{420} 进行预测。

2.3.4 联合干燥工艺参数的优化

经过软件的优化,总VC含量、总黄酮含量、 A_{420} 的最佳试验参数为投料量305.28g、微波间歇次数7.09次、

55℃热风干燥时间9.14h,但考虑到实际情况将最佳干燥条件修正为投料量305g、微波间歇次数7次(对应的红枣湿基含水率 $\leq 50\%$)、55℃热风干燥时间9h(对应的红枣湿基含水率 $\leq 40\%$)。在此条件下,所得红枣的总VC含量为36.22mg/100g,总黄酮含量为35.53mg/100g, A_{420} 为0.3079。回归模型预测总VC含量为38.24mg/100g、总黄酮含量为36.89mg/100g、 A_{420} 为0.328。实际测定值比理论预测值接近。因此,采用RSM法优化得到的干燥条件参数准确可靠。

3 结 论

3种干燥方式中,微波-热风联合干燥产品总VC含量最高,与分段热风、微波间歇干燥产品相比,分别提高了99.53%、30.99%;褐变系数 A_{420} 明显低于分段热风、微波间歇干燥产品,3种干燥方式的总黄酮含量接近。故微波-热风联合干燥法可明显提高红枣品质,具有推广应用的价值。

采用试验设计软件Design-Expert 8.0.5,通过Box-Behnken试验设计得到了联合干燥过程中投料量、微波间歇次数、55℃热风干燥时间与总VC含量、总黄酮含量、 A_{420} 关系的回归模型,经验证该模型是合理可靠的,可用于生产预测。

红枣微波-热风联合干燥最佳工艺条件为投料量305g、119W微波干燥12min、间歇4min、微波间歇次数7次,然后55℃热风干燥时间9h、50℃热风干燥12h,红枣总VC含量达36.22mg/100g、总黄酮含量为35.53mg/100g、 A_{420} 为0.3079。

参考文献:

[1] 牛继伟. 大枣化学成分研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2008.

- [2] LI Jinwei, FAN Liuping, DING Shaodong, et al. Nutritional composition of five cultivars of Chinese jujube[J]. Food Chemistry, 2007, 103(2): 454-460.
- [3] KIM Y J, SON D Y. Antioxidant effects of solvent extracts from the dried jujube (*Zizyphus jujube*) sarcocarp, seed, and leaf via sonication[J]. Food Science Biotechnol, 2011, 20(1): 163-173.
- [4] ZHANG Hao, JIANG Lu, YE Shu, et al. Systematic evaluation of antioxidant capacities of the ethanolic extract of different tissues of jujube (*Zizyphus jujube* Mill.) from China[J]. Food and Chemical Toxicology, 2010, 48(6): 1461-1465.
- [5] FANG Shuzheng, WANG Zhengfu, HU Xiaosong, et al. Hot-air drying of whole fruit Chinese jujube (*Zizyphus jujube* Miller): physicochemical properties of dried products[J]. Food Science & Technology, 2009, 44(7): 1415-1421.
- [6] 毕金峰, 于静静, 王沛, 等. 高新技术在枣加工中的应用研究进展[J]. 食品与机械, 2010, 26(1): 164-167.
- [7] 张丽华, 徐怀德, 李顺峰. 不同干燥方法对木瓜干燥特性的影响[J]. 农业机械学报, 2008, 39(11): 70-75.
- [8] 陈建东, 李峰, 朱秀英, 等. 红枣微波干燥工艺的研究[J]. 农机化研究, 2010(11): 228-231.
- [9] 石启龙, 赵亚, 党新安, 等. 雪莲果热风-微波联合干燥工艺优化[J]. 食品科学, 2011, 32(12): 150-154.
- [10] GOWEN A, ABU N, FRIAS J, et al. Optimisation of dehydration and rehydration properties of cooked chickpeas (*Cicer arietinum* L.) undergoing microwave-hot air combination drying[J]. Trends in Food Science & Technology, 2006, 17(4): 177-183.
- [11] 张国琛, 毛志怀, 牟晨晓, 等. 微波真空与热风组合干燥扇贝柱的研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(6): 144-147.
- [12] FANG Shuzheng, WANG Zhengfu, HU Xiaosong, et al. Energy requirement and quality aspects of Chinese jujube (*Zizyphus jujube* Miller) in hot air drying followed by microwave drying[J]. Journal of Food Process Engineering, 2011, 34(2): 491-510.
- [13] 陈佳, 徐怀德, 米林峰, 等. 洋葱皮总黄酮纤维素酶法提取及抗氧化研究[J]. 食品科学, 2011, 32(4): 37-41.
- [14] 顾熟琴, 盛文军, 卢大新. 热风干燥和微波干燥对油枣总黄酮含量的研究[J]. 食品科学, 2004, 25(11): 154-157.
- [15] DAVOODI M G, VIJAYANAND P, KULKARNI S G, et al. Effect of different pre-treatments and dehydration methods on quality characteristics and storage stability of tomato power[J]. Food Science & Technology, 2007, 40(10): 1832-1840.
- [16] 于静静, 毕金峰, 丁媛媛. 不同干燥方式对红枣品质特性的影响[J]. 现代食品技术, 2011, 27(6): 610-615.
- [17] 张宝善, 陈锦屏, 李慧芸. 热风干制对红枣非酶褐变的影响[J]. 食品科学, 2006, 27(10): 139-142.
- [18] 雷昌贵. 太行山婆枣烘干技术研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2007.