

八月瓜果粉喷雾干燥工艺优化及溶解特性研究

Optimization of spray drying technology and analysis of dissolution characteristics on fruit powder from *Akebia trifoliata*

肖彦达¹ 李加兴¹ 肖秀凤² 吴越² 马浪² 周炎辉²

XIAO Yan-Da¹ LI Jia-xing¹ XIAO Xiu-feng² WU Yue² MA Lang² ZHOU Yan-hui²

(1. 吉首大学化学化工学院, 湖南 吉首 416000; 2. 湖南奇昇生物科技有限公司, 湖南 长沙 410008)

(1. College of Chemistry and Chemical Engineering, Jishou University, Jishou, Hunan 416000, China;

2. Hunan Amazing Grace Biotechnology Co., Ltd., Changsha, Hunan 410008, China)

摘要:优化八月瓜果粉的喷雾干燥制备工艺,并分析其溶解特性。采用单因素试验分别探讨麦芽糊精用量、果浆固形物含量、进风温度、出风温度对果粉得率的影响;通过正交试验对喷雾干燥工艺条件进行优化;检测果粉的流动性、溶解度、溶解时间以研究分析其溶解特性。结果表明:喷雾干燥法制备八月瓜果粉的最佳工艺条件为麦芽糊精用量 16%、果浆固形物含量 20%、进风温度 150 ℃、出风温度 75 ℃,该条件下果粉得率可达 15.52%;制备的八月瓜果粉流动性为 9.25 cm,溶解度为 56.37%,溶解时间为 20.2 s。

关键词:八月瓜;果粉;喷雾干燥;溶解特性

Abstract: Research on optimizing the spray dry preparation technology of *Akebia trifoliata* fruit powder and analyze its dissolution characteristics. First of all, the effects of dry agent dosage, pulp solids content, inlet air temperature, outlet air temperature on fruit powder yield were discussed by single factor tests. And then the spray drying process conditions were optimized by orthogonal test, and the dissolution characteristics was analyzed by detection of powder fluidity, solubility, dissolution time. The results showed that the optimal preparation conditions of *Akebia trifoliata* were as followed: malt dextrin dosage 16%, pulp solids content 20%, the inlet air temperature 150 ℃, outlet air temperature 75 ℃. Under these conditions, the powder yield was reached to 15.52%, powder flow 9.25 cm, solubility 56.37%, dissolution time 20.2 s.

Keywords: *Akebia trifoliata*; fruit powder; spray drying; dissolution characteristics

八月瓜(*Akebia trifoliata*)俗称三叶木通、白木通、八月炸,为木通科木通属,广泛分布于秦岭以南的山地、平原及东南亚各地^[1]。其果肉色泽乳白、风味独特、营养丰富,不仅蛋白质、可溶性糖、维生素和有机酸的含量高,而且氨基酸、矿物质元素的种类及含量也很丰富^[2]。八月瓜果实具有清热利湿、活血通脉、行气止痛等功效,其除鲜食外,还可用于酿酒、制醋或加工果汁、果冻、果脯、饮料等食品,综合利用前景广阔^[3]。但目前尚未见八月瓜果粉加工的相关报道。

果品加工成果粉后,其水分含量低、易于保存,能较好地保持水果原有品质,且二次加工方便、用途广泛,是一种优良的水果深加工方式。果粉的制粉工艺分为湿法和干法两种,通常采用喷雾干燥、热风干燥、微波干燥、远红外干燥和真空冷冻干燥方式进行干制^[4]。其中,喷雾干燥是湿法制粉最常用的干燥方式,该法可连续操作、易于控制、耗时短、适用于工业化生产,且产品分散性及流动性好^[5]。但果浆因含有大量葡萄糖、果糖、果胶等成分而导致粘性较大,较难进行喷雾干燥,且喷雾干燥过程中会因果粉的热塑性和吸湿性而出现结块问题^[6]。一般加入麦芽糊精、 β -环糊精、卡拉胶等助干剂可解决此难题,而麦芽糊精的效果要优于 β -环糊精和卡拉胶^[7]。鉴于此,本试验以八月瓜为原料,采用麦芽糊精为助干剂,利用喷雾干燥法制备八月瓜果粉,优化其制备工艺,并分析果粉的溶解特性,以期为八月瓜果粉的生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

八月瓜:湘西古丈县寿康八月瓜专业合作社提供;
麦芽糊精:食品级,市售。

1.1.2 主要仪器设备

喷雾干燥机:SD-04 型,长沙海凌生物科技有限公司;

基金项目:吉首大学 2014 年生物与食品类专业大学生创新项目(编号:JDCX201414)

作者简介:肖彦达(1993—),男,吉首大学在读本科生。
E-mail:1556238726@qq.com

通讯作者:李加兴

收稿日期:2015-06-09

均质机:JJ-12L/60型,廊坊市盛通机械有限公司;

手持式折光仪:WB-2型,成都贝斯达仪器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 工艺流程

八月瓜果实→去皮、去籽→果肉打浆→配料→均质→喷雾干燥→分析^[8]

1.2.2 操作要点 选取无腐烂变质、无病虫害的成熟八月瓜果实,手工去皮、去籽,用高速组织捣碎机将果肉破碎,采用胶体磨进行磨浆,得八月瓜浆液,用折光仪测定其初始固形物含量,并计算加蒸馏水量,调整八月瓜浆液至所需固形物含量;向八月瓜浆液中加入麦芽糊精作为助干剂^[9,10],并于40 MPa条件下进行均质处理^[11],控制喷雾干燥机(最大蒸发水量1 800 mL/h,鼓风机干燥空气流量70 m³/h,喷雾系统为0.7 mm口径双流体喷嘴,喷雾压力0.3~0.4 MPa)的进风温度、出风温度进行喷雾干燥,即得八月瓜果粉^[12-14]。

1.2.3 单因素试验

(1) 麦芽糊精用量对八月瓜果粉得率的影响:设定八月瓜果浆固形物含量20%,出风温度70℃,进风温度150℃,控制麦芽糊精用量分别为果肉质量的4%,7%,10%,13%,16%,19%,探讨麦芽糊精用量对八月瓜果粉得率的影响。

(2) 果浆固形物含量对八月瓜果粉得率的影响:设定麦芽糊精用量16%,出风温度70℃,进风温度150℃,控制八月瓜果浆固形物含量分别为10%,15%,20%,25%,30%,探讨果浆固形物含量对八月瓜果粉得率的影响。

(3) 进风温度对八月瓜果粉得率的影响:设定八月瓜果浆固形物含量20%,麦芽糊精用量16%,出风温度70℃,控制进风温度分别为130,140,150,160,170℃,探讨进风温度对八月瓜果粉得率的影响。

(4) 出风温度对八月瓜果粉得率的影响:设定八月瓜果浆固形物含量20%,麦芽糊精用量16%,进风温度150℃,控制出风温度分别为50,60,70,80,90℃,探讨出风温度对八月瓜果粉得率的影响。

1.2.4 正交试验 在单因素试验的基础上,以果粉得率作为评判指标,对麦芽糊精用量、果浆固形物含量、进风温度、出风温度采用正交试验进行优化,以确定喷雾干燥制备八月瓜果粉的最佳工艺。

1.2.5 果粉得率的测定 分别称量八月瓜果肉、麦芽糊精以及果粉制品的质量,按式(1)计算果粉得率。

$$R = \frac{m_1}{m_2 + m_3} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

R ——果粉得率,%;

m_1 ——果粉质量,g;

m_2 ——八月瓜果肉质量,g;

m_3 ——麦芽糊精质量,g。

1.2.6 果粉溶解特性的测定

(1) 溶解度的测定:取1 g八月瓜果粉于50 mL烧杯中,加入10 mL蒸馏水(25℃),保持60 s,取复水后的八月瓜果

汁1 mL于恒重的铝盒中,放入(105±2)℃的烘箱中干燥约4 h,称重,按式(2)计算其溶解度^[15]。

$$D = \frac{10 \times m_2}{m_1} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

D ——溶解性,%;

m_1 ——八月瓜果粉质量,g;

m_2 ——复水干燥后八月瓜果粉质量,g。

(2) 流动性的测定:将漏斗固定保持铅直,漏斗口离桌面高约8 cm,桌面放置白纸,将40 g八月瓜果粉从漏斗加入,测定自由下落在白纸上所形成锥形的底部直径,用直径的大小来判别其流动性的大小^[16]。直径越大,表示果粉的流动性越好。

(3) 溶解时间的测定:取10 g八月瓜果粉,加入到盛有100 mL水的小烧杯中,水温为25℃,用玻璃棒轻轻搅拌,测定完全溶解所需要的时间^[17]。

2 结果与讨论

2.1 麦芽糊精的用量对八月瓜果粉得率的影响

喷雾干燥过程中,虽然添加麦芽糊精可解决结块和粘壁的问题,提高产品得率,但是产品的溶解度和吸湿性均下降,尤其是大量添加麦芽糊精后,产品的口感变差,且果粉的营养、风味等天然属性大幅丧失^[18]。由图1可知,八月瓜果粉得率随着麦芽糊精添加量的增加而升高,但幅度越来越小。当麦芽糊精用量为4%时,粘壁较严重,产品容易结块,得率最低,仅为7.3%;当麦芽糊精用量增加至16%时,得率较高,达14.6%。虽然继续加大麦芽糊精的使用量(19%)仍能提高得率,但增幅不大,而果粉产品的品质却大幅下降。因此,麦芽糊精的用量控制在16%左右为宜。

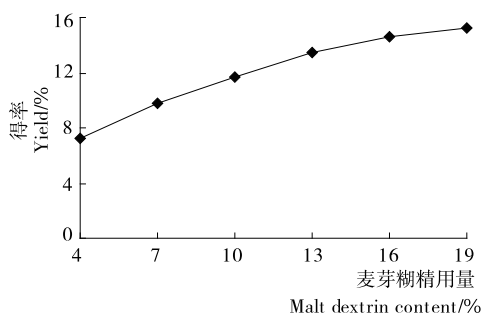


图1 麦芽糊精用量对八月瓜果粉得率的影响

Figure 1 Effect of malt dextrin content on *Akebia trifoliata* fruit powder yield

2.2 果浆固形物含量对八月瓜果粉得率的影响

由图2可知,八月瓜果粉的得率随着果浆固形物含量的增加呈先升后降的趋势,当八月瓜果浆固形物含量为20%时,得率达最大,为13.8%。这是因为固形物含量过低,即物料水分含量太高,易导致产品不能完全干燥而残留于干燥室底部,使得得率下降;固形物含量过高,易导致喷嘴喷雾不顺畅或堵塞,使果粉得率降低^[19]。因此,八月瓜果浆固形物含量控制在20%左右为宜。

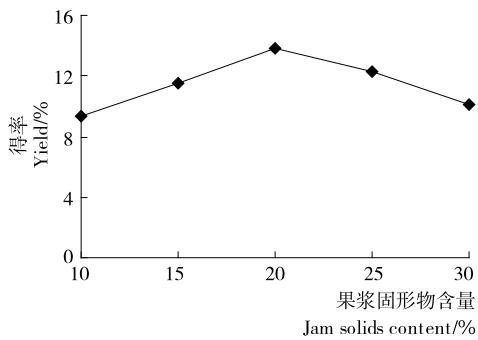


图 2 果浆固形物含量对八月瓜果粉得率的影响

Figure 2 Effect of jam solids content on *Akebia trifoliata* fruit powder yield

2.3 进风温度对八月瓜果粉得率的影响

由图 3 可知,当进风温度 $<150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,果粉得率随进风温度的升高而增加。这是因为温度过低,浆状物料不能充分干燥,果粉产品水分含量仍较高,导致粘壁现象严重,使得产品得率较低,因而升高温度后得率有所提高。当调整进风温度 $>150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,果粉得率随温度的升高反而降低,这是因为温度过高,物料水分蒸发速度过快,导致雾滴表面易结成硬壳,喷头粘液严重,造成得率下降,并且热敏物质分解损失严重,易产生焦糊现象,得到的果粉质量较差,颜色偏黄^[20]。因此,进风温度控制在 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右为宜。

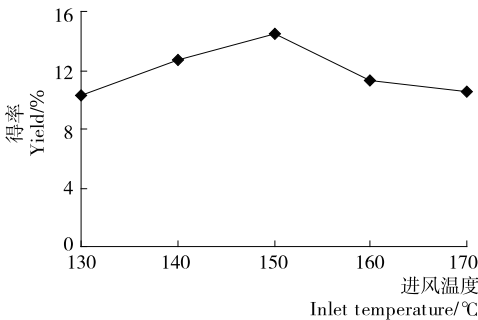


图 3 进风温度对八月瓜果粉得率的影响

Figure 3 Effect of inlet temperature on *Akebia trifoliata* fruit powder yield

2.4 出风温度对八月瓜果粉得率的影响

由图 4 可知,当出风温度 $<70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,果粉得率随温度的升高而增加;当出风温度 $>70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,果粉得率随温度升高而降低。这是因为出风温度过高,导致积累在旋风分离器处的产品水分含量过低,且产品长时间处于高温状态下,容易发生焦糖化反应,使产品品质下降,也容易结块,最终导致得率降低;但产品出风温度过低,最终产品的含水量较高,粘壁现象严重,所以果粉得率不高^[21]。因此,控制出风温度在 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右为宜。

2.5 八月瓜果粉喷雾干燥工艺优化

在单因素试验的基础上,以麦芽糊精用量、果浆固形物含量、进风温度、出风温度为考察因素,进行 $L_9(3^4)$ 四因素三水平正交试验,以得率作为评价指标,优化工艺条件参数。各因素水平取值见表 1,正交试验结果见表 2。

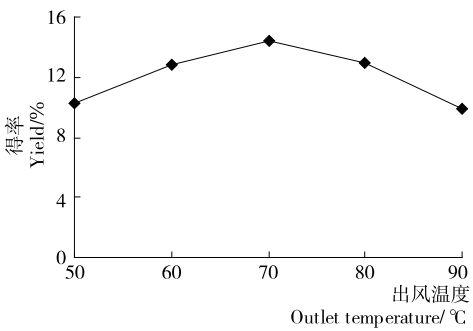


图 4 出风温度对八月瓜果粉得率的影响

Figure 4 Effect of outlet temperature on *Akebia trifoliata* fruit powder yield

表 1 $L_9(3^4)$ 正交试验因素水平表

Table 1 Factors and level of $L_9(3^4)$ orthogonal test				
水平	A 麦芽糊精 用量/%	B 果浆固形物 含量/%	C 进风温 度/ $^{\circ}\text{C}$	D 出风温 度/ $^{\circ}\text{C}$
1	15	18	145	65
2	16	20	150	70
3	17	22	155	75

表 2 $L_9(3^4)$ 正交试验设计与结果分析

Table 2 Results and analysis of $L_9(3^4)$ orthogonal test					
试验号	A	B	C	D	得率/%
1	1	1	1	1	12.83
2	1	2	2	2	14.30
3	1	3	3	3	14.82
4	2	1	2	3	14.25
5	2	2	3	1	15.38
6	2	3	1	2	13.52
7	3	1	3	2	12.61
8	3	2	1	1	13.27
9	3	3	2	3	14.39
k_1	13.98	13.23	13.21	13.83	
k_2	14.38	14.32	14.31	14.31	
k_3	13.42	14.24	14.27	14.48	
R	0.96	1.09	1.10	0.54	

由表 2 可知,对八月瓜果粉得率影响的大小顺序依次为 $C>B>A>D$,即进风温度 $>$ 固形物含量 $>$ 麦芽糊精用量 $>$ 出风温度,最佳工艺组合为 $A_2B_2C_2D_3$,即麦芽糊精用量 16% 、果浆固形物含量 20% 、进风温度 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、出风温度 $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。由于最佳工艺组合未出现在正交试验表中,因此按此组合进行 3 次验证实验,测得果粉得率的平均值为 15.52% ,高于正交试验的最大值,表明正交试验优化得到的最佳工艺切实可行。

2.6 八月瓜果粉的溶解特性分析

通常果粉的溶解特性与环状糊精、卡拉胶等助干剂有关,助干剂添加越多,果粉产品的速溶性越差^[20,21];同时,也与果品原料特性、物料破碎程度、干燥方式等条件密切相关^[17,22]。本试验最佳工艺条件下制备的八月瓜果粉的溶解

度、溶解时间和流动性的测定结果见表 3。由表 3 可知,八月瓜果粉的溶解度为 56.37%,溶解时间为 20.2 s,流动性为 9.25 cm;相比于其他文献^[22-24]报道的果粉溶解特性参数,八月瓜果粉的流动性稍低于雪莲果果粉、桑葚果粉,但差异不大;其溶解时间介于真空冷冻干燥和热风干燥制备的桑葚果粉之间,而远小于刺梨果粉,这可能是由于刺梨果粉中添加的β-环状糊精高达 50%所致。

表 3 八月瓜果粉的溶解度、溶解时间和流动性[†]

Table 3 The detection results of solubility, dissolution time and mobility

名称	工艺	溶解度/%	溶解时间/s	流动性/cm
八月瓜果粉	喷雾干燥	56.37	20.20	9.25
刺梨果粉 ^[23]	喷雾干燥	—	398.00	—
雪莲果果粉 ^[24]	喷雾干燥	—	—	9.40
桑葚果粉 ^[22]	热风干燥	—	24.97	9.53
桑葚果粉 ^[22]	真空冷冻干燥	—	16.90	9.81

† “—”表示无数据或采用的测定方法与本试验不同。

3 结论

以麦芽糊精为助干剂,采用喷雾干燥法制备八月瓜果粉,结果表明进风温度对八月瓜果粉得率的影响最大,其次是果浆固形物含量,出风温度的影响最小,最佳工艺条件为麦芽糊精用量 16%、果浆固形物含量 20%、进风温度 150℃、出风温度 75℃,此条件下八月瓜果粉得率可达 15.52%,喷雾干燥效果最好。制备的八月瓜果粉的溶解度为 56.37%,溶解时间为 20.2 s,流动性为 9.25 cm,具有较好的溶解性,并带有八月瓜天然的香味。但喷雾干燥过程对八月瓜果粉营养成分的影响还有待于进一步的研究。

参考文献

1 曹庸,熊大胜,朱金桃. 八月瓜果汁饮料加工中褐变及沉淀的研究[J]. 中南林学院学报, 1999, 9(3): 48~50.

2 汪国龙,范玉,刘庆银,等. 八月瓜果实主要营养成分的测定[J]. 湖北农机化, 2008(5): 35.

3 吴莹,张百忍. 八月瓜果实香气的 GC—MS 分析[J]. 中国酿造, 2012, 31(6): 169~170.

4 叶晓青,莫树平,庾文伟,等. 农产品超微干粉加工的现状与应用前景[J]. 食品与机械, 2014, 30(2): 258~261.

5 张韻慧,任斯嘉,胡文文,等. 喷雾干燥技术对食品微胶囊性质影响的研究进展[J]. 食品与机械, 2013, 29(2): 214~217, 222.

6 Goula A M, Adamopoulos K G. Spray drying performance of a laboratory spray dryer for tomato powder preparation[J]. Drying Technology, 2003, 21(7): 1 273~1 2891.

7 程丽娜,唐道邦,徐玉娟,等. 荔枝原浆喷雾干燥配方优化研究[J]. 广东农业科学, 2013(3): 71.

8 解红霞,陈相艳,曲静然,等. 杨梅全果制粉喷雾干燥工艺的研究[J]. 山东农业科学, 2014, 46(3): 103~105.

9 郑毅,黄双华,伍斌. 芒果粉加工技术研究进展[J]. 食品与机械, 2013, 29(6): 257~261.

10 刘程惠,江洁,王艳影,等. 喷雾干燥条件对樱桃粉出粉率及品质的影响[J]. 食品与机械, 2010, 26(6): 125~128.

11 赵巍,王军,段长青,等. 喷雾干燥法制备微胶囊化山葡萄籽油粉末油脂[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(12): 78~83.

12 Milton Cano-Chauca, Stringheta P C, Ramos A M, et al. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray dring and its functional characterization[J]. Innovative Food Science and Emering Technologies, 2005, 6(4): 420~428.

13 宋贤聚. 低吸湿性杨梅粉喷雾干燥工艺的优化[J]. 食品与机械, 2013, 29(3): 226~229.

14 黄丹,张强,严芳,等. 紫苏提取物喷雾干燥工艺研究[J]. 食品与机械, 2009, 25(5): 160~162.

15 Gong Zhi-qing, Zhang Min, Mujumdar A, et al. Spray drying and agglomeration of instant bayberry powder[J]. Drying Technology, 2008, 26(1):116~121.

16 林弘通(日). 乳粉制造工程[M]. 北京:中国轻工业出版社, 1987: 89.

17 辛修锋,余小林,胡卓炎. 杨梅颗粒固体饮料的工艺研究[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(2): 162~165.

18 许学勤,李丹. 喷雾干燥速溶香蕉粉制备工艺研究[J]. 食品工业科技, 2011, 31(2): 201~204.

19 陈启聪,黄惠华,王娟,等. 香蕉粉喷雾干燥工艺优化[J]. 农业工程学报, 2010, 26(8): 331~337.

20 冷桂华,刘紫英. 火棘果粉加工工艺的研究[J]. 中国调味品, 2011, 7(36): 86~88.

21 刘建学. 全藕粉喷雾干燥工艺试验研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(9): 229~231.

22 叶磊,邵海燕,周拥军,等. 热风干燥与真空冷冻干燥对桑葚果粉品质的影响比较[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(2): 155~159.

23 蒋纬,谭书明,胡颖,等. 刺梨果粉喷雾干燥工艺研究[J]. 食品工业, 2013, 34(10): 25~28.

24 卢亚婷,罗仓学. 雪莲果果粉喷雾干燥工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(7): 97~100.

(上接第 233 页)

12 马成,张烜,堵年生. HPLC 测定大花罗布麻颗粒中罗布麻甲素的含量[J]. 西北药学杂志, 2008, 23(2): 3~4.

13 张永秀. 大叶白麻叶总黄酮提取方法研究[J]. 青海农林科技, 2009(2): 79~80.

14 滕旭,史俊友,王洪伦,等. 大叶白麻总黄酮超声提取工艺的优化[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(17): 9 204~9 207.

15 于冀勇. 超临界流体萃取技术在油脂化工中的应用[J]. 食品与机械, 2006, 22(2): 109~112.

16 廖传华,黄振仁. 超临界 CO₂ 流体萃取技术—工艺开发及其应用[M]. 北京:化学工业出版社, 2004.

17 汤芬,付亚平,邓放明. 超临界 CO₂ 流体萃取荷叶总黄酮的工艺优化[J]. 食品与机械, 2013, 29(4): 149~152.

18 王文渊,唐守勇,龙红萍. 超临界 CO₂ 流体萃取苦瓜叶中黄酮的研究[J]. 食品与机械, 2011, 27(6): 98~101.

19 李志平,尹笃林,胡江宇,等. 超临界二氧化碳萃取茵陈蒿黄酮类化合物的研究[J]. 林业化学与工业, 2006, 26(3): 66~68.

20 翟硕丽. 超临界 CO₂ 萃取马齿苋中总黄酮的工艺研究[J]. 北方园艺, 2012(12): 45~47.

21 王英豪,魏国强,张理平. 马齿苋总黄酮含量测定方法的建立[J]. 福建中医药大学学报, 2012, 22(2): 44~46.

22 刘江,周荣琪. 竹叶提取物总黄酮含量测定方法的改进[J]. 食品科技, 2005(7): 76~79.