

宣木瓜果粉喷雾干燥工艺的优化

韩建群¹, 董明^{1,2*}, 王琦¹, 张林玉¹, 计学平³, 陈家胜³

(1. 安徽农业大学茶与食品科技学院, 合肥 230036; 2. 合肥市农产品加工研究院, 合肥 230036;

3. 安徽省明珍堂养生品有限公司, 宁国 242300)

摘要: 采用切片、热烫、打浆、过滤和均质处理制备宣木瓜原浆, 以果粉物性和感官评价为指标, 调节助干剂添加量、进料流量、进风温度和入料温度进行喷雾干燥工艺优化研究。试验结果表明, 宣木瓜前处理最优条件为: 100℃热烫 60 s, 加水 1:1 打浆, 60 目过滤, 胶体磨处理 3 min, 45 MPa 压力下均质; 喷雾干燥工艺优化参数为: 添加 0.15% 三氯蔗糖和 30% 麦芽糊精, 进料速度 20 mL·min⁻¹, 进风温度 170℃, 入料温度为 40℃。在此条件下喷雾干燥效果最佳, 其平均感官评分为 86.67 分, 齐墩果酸含量为 0.083%, 水分含量为 3.561%, 以 15g·袋⁻¹ 包装, 可制得速溶宣木瓜果粉。

关键词: 宣木瓜; 喷雾干燥; 速溶粉; 感官评价; 果粉物性

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2016)06-0858-08

Optimization of spray drying process for producing *Chaenomeles speciosa* S.Nakai powder

HAN Jianqun¹, DONG Ming^{1,2}, WANG Qi¹, ZHANG Linyu¹, JI Xueping³, CHEN Jiasheng³

(1. School of Tea and Food Technology, Anhui Agricultural University, Hefei 230036;

2. Hefei Agricultural Products Processing Research, Hefei 230036;

3. Anhui Mingzhetang Health Products Co., Ltd., Ningguo 242300)

Abstract: *Speciosa* S. Nakai slurry was prepared by slicing, blanching, pulping, filtering and homogenizing, and then optimization of spray drying process was studied by adjusting the amount of drying aids, the feed flow rate, inlet air temperature and the temperature of the feed, spray drying powder properties using physical property and sensory evaluation of fruit powder as indexes for orthogonal test. Results showed that blanching for 60 s at 100℃, adding 1:1 water, 60 mesh filtering, colloid milling for 3 min and homogenizing at 45 MPa were the optimal conditions for the pretreatment. Addition of 0.15% sucralose and 30% maltodextrin, feed rate of 20 mL·min⁻¹, inlet air temperature of 170℃ and feed temperature of 40℃ were the optimal conditions for the spray drying process. The average sensory score was 86.67 with the oleanolic acid content of 0.083% and the moisture content of 3.561%. With the packaging of 15 gram per bag, we could get the best quality of instant *speciosa* S. Nakai powder.

Key words: *speciosa* S. Nakai; spray drying; instant powder; sensory evaluation; powder properties

宣木瓜 (*Chaenomeles speciosa* S.Nakai), 为蔷薇科木瓜属植物贴梗海棠的果实, 又名铁脚梨、秋木瓜、酸木瓜等, 是我国特有的果木之一。宣木瓜主产于安徽省宣城市, 其品质优良, 营养丰富, 且与“甘枸杞”、“川杜仲”、“藏红花”共列为我国四大名贵中药材。俗语有杏一益, 梨二益, 木瓜百益之说^[1], 也是卫生部首批公布的药食兼用食品。宣木瓜属于高酸性原料, 含有苹果酸、柠檬酸、维生素

C 等多种有机酸和皂甙及黄酮类物质, 特别是富含的超氧化物歧化酶 (SOD) 活性大大高于其他水果。研究表明, 宣木瓜中的主要生物活性成分为齐墩果酸及熊果酸, 含量约为 0.2%~0.4%, 该物质具有降低转氨酶活性、抗炎抑菌、促进脂肪再生、防止肝硬化、降血脂血糖、强心利尿、抗衰老、增强免疫力等功效, 且对染色体损伤具有很好的保护作用, 具有很高的食用价值和保健作用^[2-3]。

收稿日期: 2016-03-30

基金项目: 宣木瓜食品综合开发利用研究(产学研横向课题) (KJHT20130353H) 资助。

作者简介: 韩建群, 硕士研究生。E-mail: han-jianqun@163.com

* 通信作者: 董明, 副教授。E-mail: dongm58@ahau.edu.cn

目前, 宣木瓜的研究主要集中在化学成分^[4]、功能活性成分^[5-7]及药理作用^[8]等方面, 对其采后加工利用研究的报道较少, 且主要集中在宣木瓜果脯、果酱、果酒和果汁^[9-11]等产品加工方面, 关于宣木瓜果粉的研究还未见报道。将宣木瓜加工成果粉不仅克服了物料不易贮藏、运输的缺点, 又较高程度上保留了物料的营养价值^[12], 更可以拓宽宣木瓜在食品加工中的应用范围。为此, 本试验研究宣木瓜果粉加工过程中的关键工艺, 以期促进宣木瓜的综合开发利用, 为宣木瓜果粉加工提供技术依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

宣木瓜: 7 月中旬采摘于宣城市新田镇宣木瓜种植基地, 大小匀整, 无病虫害, 采摘后置于 3℃ 冷库保存。

1.2 试剂和添加剂

磷酸、邻苯二酚、氢氧化钠、草酸、抗坏血酸标准品、2,6-二氯靛酚钠盐、碘化钾、碘酸钾和碳酸氢钠等, 均为分析纯。

维生素 C, 白砂糖, 阿斯巴甜, 三氯蔗糖, 木糖醇, β-环糊精, 麦芽糊精和可溶性淀粉等, 均为食品级。

1.3 主要仪器设备

SQ2119B 型打浆机 (上海西贝乐电器公司); JM-L50 型胶体磨 (上海立先工业有限公司); DK-S24 电热恒温水浴锅 (上海博迅仪器设备有限公司); UV-5800PC 可见分光光度计 (上海精科仪器设备有限公司); DL-5-B 离心机 (上海化科实验仪器有限公司); APV-1000 超高压纳米均质机 (德国 APV 公司); RY-1500 喷雾干燥机组 (常州倍成干燥设备有限公司); XY-102MW 红外水分测定仪 (上海发泰精密仪器仪表有限公司); 分析天平 (上海精密电子仪器有限公司)。

1.4 试验方法

1.4.1 工艺流程 原料→清洗→切分、去籽→热烫→打浆 (料液比 1:1)→粗滤(60 目)→胶体磨→均质→加入助干剂、甜味剂→喷雾干燥→宣木瓜粉→包装成品。

1.4.2 单因素试验 (1) 热烫条件的确定。将约 0.5 cm 厚的宣木瓜果片置于沸水中分别热烫 30 s、60 s、90 s 和 120 s, 检测热烫后果肉中多酚氧化酶的活性, 得出最佳热烫时间。

(2) 胶体磨处理时间的确定。将加水 (1:1) 打浆、60 目过滤后的果浆用胶体磨处理, 通过检测胶体磨处理后果浆 Vc 含量, 选出最佳处理条件。

(3) 均质条件的确定。比较高压均质后的果浆稳定性, 确定最佳均质压力。

(4) 助干剂种类的选择。以可溶性淀粉、β-环糊精、麦芽糊精作为喷雾干燥助干剂, 比较喷雾干燥后产品的粘壁特性、得率, 选出最佳的助干剂。

(5) 甜味剂的筛选。在喷雾干燥前添加优选助干剂, 分别选取白砂糖、阿巴斯甜、三氯蔗糖和木糖醇作为甜味剂, 比较喷雾干燥后产品的感官品质, 得到最优的甜味剂及添加量。

(6) 喷雾干燥工艺条件筛选。选取助干剂的添加量为 10%、20%、30% 和 40%, 入料温度为 30、40、50 和 60℃, 进风温度为 150、160、170 和 180℃, 进料流量为 12、16、20 和 24 mL·min⁻¹ 进行喷雾干燥的单因素试验, 通过测定所得果粉的物性^[13]及感官评定, 确定喷雾干燥工艺条件范围。

1.4.3 喷雾干燥正交试验 在单因素试验的基础上, 按照表 1 选取料液的助干剂添加量 (A)、进风温度 (B)、进料速度 (C)、入料温度 (D) 4 个因素, 每个因素设置 4 个不同水平, 以得粉的齐墩果酸含量、水分含量、感官评分为主要指标, 采用 L₁₆(4⁵) 正交试验设计, 筛选宣木瓜果粉喷雾干燥的最佳组合工艺参数。

表 1 宣木瓜果粉喷雾干燥正交试验

Table 1 Factors and levels of the orthogonal test for spray drying of *Chaenomeles speciosa* S.Nakai power

水平 Level	因素 Factor			
	A 助干剂添加量/% The amount of drying aids	B 入料温度/℃ The temperature of the feed	C 进风温度/℃ Inlet air temperature	D 进料流量/mL·min ⁻¹ The feed flow rate
1	10	30	150	12
2	20	40	160	16
3	30	50	170	20
4	40	60	180	24

1.4.4 检测方法 (1) 过氧化物酶活性的测定。参照果蔬采后生理生化实验指导^[14-15]来测定。

$$\text{相对酶活性} = \frac{\text{热烫处理后酶活性}}{\text{未处理酶活性}} \times 100\%$$

(2) Vc 含量的测定。采用 2,6-二氯酚酚滴定法^[14]检测果浆中 Vc 含量。

(3) 果浆稳定性比较。比较不同压力下均质后果浆的分层时间及组织细腻程度。

(4) 粘壁特性和产品得率。粘壁特性: 观察喷雾结束后物料在干燥塔内壁的粘壁程度。

产品得率^[16]:

$$\text{得率} = \frac{\text{干燥结束后收集到果粉的质量}}{\text{干燥前料液固形物含量}} \times 100\%$$

(5) 甜味剂感官评定。将喷雾干燥粉按一定比

例冲调后通过感官评价确定口感和甜味。

(6) 果粉物性测定^[17]。分散性: 在 250 mL 烧杯中加入 100 mL 蒸馏水, 放入 25℃ 恒温水浴锅中, 加入 10 g 喷雾干燥粉, 记录从开始到全部溶解所需要的时间。

流动性: 将 10 g 宣木瓜果粉沿着漏斗落至水平放置的平板上, 待粉完全落下后, 测定平板上粉堆斜面与平板的斜角, 记作休止角, 其大小即为喷雾干燥粉的流动性。

表 2 产品感官评价方法

Table 2 Sensory evaluation grading rules for the *Chaenomeles speciosa* S.Nakai average

组织形态及冲调性 (50 分) Tissue and solvency	色泽及风味 (50 分) Colors and tastes
40~50 分: 果粉粉末细腻, 无结块, 冲调性好, 15 s 内完全溶解	40~50 分: 呈浅黄绿色, 均匀, 无杂质, 酸甜合适, 具有独特的宣木瓜香味
30~40 分: 果粉粉末细腻, 有少量结块, 冲调性好, 15s 内完全溶解	30~40 分: 呈浅黄绿色, 较为均匀, 酸甜适口, 香味较淡
20~30 分: 果粉粉末较为细腻, 有少量结块, 冲调性一般, 30s 内完全溶解	20~30 分: 呈淡黄色, 较为均匀, 无宣木瓜香味
0~20 分: 果粉成块状或片状, 冲调性差, 30 s 内不能完全溶解	0~20 分: 颜色暗淡, 不均匀, 有杂质, 有异味

堆积密度: 将宣木瓜果粉从漏斗散落于 10 mL 量筒中, 测定 10 mL 粉的质量, 换算出其堆积密度 ($\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)。

水分含量: 使用水分测定仪测定水分含量(%)。

吸潮性: 30℃ 恒温恒湿培养箱存放 24 h。

$$\text{有潮性} = \frac{\text{吸湿后质量} - \text{试样重量}}{\text{试样重量}} \times 100\%$$

1.4.5 齐墩果酸检测方法 采用高效液相色谱法测定物料中齐墩果酸的含量, 选用 phenomenex C18 (250 mm×4.6 mm, 5 μm); 流动相: V (甲醇): V(5%磷酸水溶液); 柱温: 30℃; 流速 1.5 mL·min⁻¹; 进样量 20 μl; 检测波长 210 nm^[18]。

1.4.6 感官评价方法 感官评价小组由 20 位专业评审人员组成, 对 3 组宣木瓜果粉的组织形态、冲调性、色泽和风味进行感官评价, 满分 100 分, 感官评价方法^[16]见表 2。

表 3 不同热烫时间对宣木瓜的影响

Table 3 Effect of blanching time on *Chaenomeles speciosa* S.Nakai

时间/s Time	0	30	60	90	120
感官品质 Sensory quality	浅黄绿色, 具有独特 宣木瓜香味	浅黄绿色, 香 味浓郁	浅黄绿色, 香味较 浓, 果片变软	浅黄色, 有煮熟 味, 果片较软	浅黄色, 有煮熟味, 出现果片破碎情况

2.2 胶体磨处理时间对果浆 Vc 含量的影响

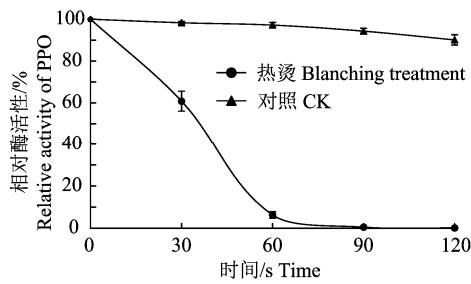
以将果浆置于室温条件下不作任何处理作为对照组。从图 2 中可以看出, 对照组中 Vc 含量在逐渐降低, 这是由于 Vc 在空气中易分解所致。随着胶体磨处理时间的延长, Vc 含量不断下降, 其中在

2 结果与分析

2.1 热烫时间对宣木瓜的影响

以将果片置于室温条件下不作任何处理为对照组。从表 3 和图 1 中可以看出, 对照组果片的 PPO 活性呈现缓慢下降趋势, 这可能是由于果片中已经发生了酶促褐变反应。随着热烫时间的增加, 果片颜色变浅, 香味逐渐失去, 硬度变软, 多酚氧化酶的活性在 60 s 时大部分丧失, 此时其平均相对酶活性为 6.3%, 其原因是温度对于酶的催化活力具有重要的影响, PPO 温敏性较强, 多数情况下, 在 70~90℃ 下短时热处理已足以使它部分或全部地不可逆失活^[19]。在热烫 90 s 以上时出现煮熟味, 热烫 120 s 时果片出现破碎, 均不利于加工。故选择热烫时间为 60 s, 宣木瓜果片质量最好。

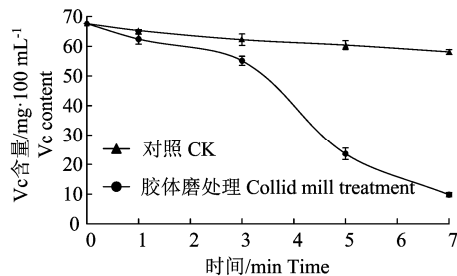
5 min 时下降程度加大, Vc 含量只有对照组的 36%, 可能是由于机器运行时间过长发热导致 Vc 分解速率加快。但是处理 1 min 时料液研磨不均匀, 综合考虑研磨效果选取研磨 3 min 较为合适。



30、60、90 和 120 s 处理时 PPO 相对活性分别为 60.8%^a, 6.3%^b, 0.5%^c 和 0.1%^c (不同字母表示各处理组之间的差异显著 $P<0.05$)

PPO relative activity at 60.8%^a, 6.3%^b, 0.5%^c and 0.1%^c when treated for 30, 60, 90 and 120 s (different letter showed significant difference $P<0.05$)

图 1 不同热烫时间对宣木瓜多酚氧化酶 (PPO) 活性影响
Figure 1 Effects of different blanching time on polyphenol oxidase (PPO) activity of *Chaenomeles speciosa* S. Nakai



胶体磨处理 1、3、5 和 7 min 时果浆 Vc 含量分别为 62.4^a、55.1^b、23.6^c 和 9.8^d mg·100 mL⁻¹。不同字母表示各处理组之间的差异显著 $P<0.05$)

When using colloid mill for 1, 3, 5 and 7 min, the content of fruit purees was 62.4^a, 55.1^b, 23.6^c and 9.8^d mg·100 mL⁻¹ (different letter showed significant difference $P<0.05$)

图 2 胶体磨处理对果浆 Vc 含量的影响

Figure 2 The effect of colloid mill treatment on pulp Vc content

2.3 均质压力对果浆稳定性的影响

从表 4 可以看出, 均质压力越大, 均质效果越好。均质压力 15 MPa 时, 20 min 内就出现分层,

在 45 MPa 以上压力时, 均质后的浆液 1 h 内没有出现分层, 因此, 选取均质压力为 45 MPa 较为合适。

2.4 不同助干剂对产品的影响

以助干剂添加量为 20% 添加不用种类的助干剂, 以不加助干剂作为对照, 比较其喷雾干燥效果。

由表 5 可看出, 不加助干剂喷雾干燥所得的宣木瓜果粉不但粘壁严重, 得率低, 且产品易结块成粒装、片状。加入干燥助剂后, 得率都相应有所提高, 粘壁情况也得到不同程度改善。其原因可能是不加干燥助剂的宣木瓜果浆喷雾干燥形成的液滴大小不均匀, 大液滴干燥不彻底, 并且果浆料液颗粒在干燥温度下会熔融发粘, 导致粘附在热壁上。加入可溶性淀粉作为助干剂, 粘壁情况略有改善, 但产品无宣木瓜香味, 加 β -环糊精后, 粘壁情况改善, 但所得宣木瓜粉有异味。所以综合考虑, 选择麦芽糊精作为助干剂。

表 4 不同均质压力对果浆稳定性的影响

Table 4 Effects of different homogenization pressures on the stability of pulp

均质压力/MPa Homogenization pressure	均质效果 Homogenization effect
15	果浆细腻、较为均匀, 放置 20 min 内分层
30	果浆细腻、均匀, 放置 20 min 不分层, 1 h 内分层
45	果浆细腻、均匀, 放置 1 h 不分层
60	果浆细腻、均匀, 放置 1 h 不分层

2.5 甜味剂的筛选

目前, 在固体饮料研究上, 多数为喷雾干燥后进行调配, 虽然方法简便易行, 但有可能出现混合不均、对产品二次污染等不利后果, 因此, 选择在喷雾干燥前加入甜味剂调配, 经喷雾干燥, 可直接得到均匀、质量稳定的产品。

表 5 不同助干剂的效果

Table 5 Effect of drying auxiliary agents on spray drying of *Chaenomeles speciosa* S. Nakai

项目 Item	无助干剂 Control (without drying auxiliary agent)	可溶性淀粉 Soluble starch	β -环糊精 β -cyclodextrin	麦芽糊精 Maltodextrin
得率/% Yield	7.65	16.8	25.7	27.4
干燥效果 Drying efficiency	粘壁严重, 产品结块成粒、片状	粘壁严重, 产品呈白色, 无宣木瓜香味	稍有粘壁, 产品较为均匀, 呈淡黄色, 香味淡, 有异味	稍有粘壁, 产品均匀, 呈淡黄色, 有香味, 无异味

2.5.1 不同甜味剂对产品的影响 选取蔗糖、阿斯巴甜、三氯蔗糖和木糖醇作为甜味剂, 添加于喷雾干燥前料液中, 通过对喷雾干燥过程及果粉进行感

官评价, 选取最合适的甜味剂。

从表 6 中可以看出, 添加蔗糖和木糖醇都会使粘壁加剧、得率下降, 其原因可能是一方面蔗糖和

木糖醇熔点较低,在干燥温度下熔融发粘,导致粘附在热壁上,造成粘壁;另一方面加入蔗糖或木糖醇会增大料液粘稠度,不易彻底干燥,最终导致得率降低,粉质量下降。添加阿斯巴甜作为甜味剂,得到的宣木瓜果粉会出现异味,可能是由于阿斯巴甜的热稳定性较差,在高温时易水解,生成苦味的苯丙氨酸或二噁呱酮。添加三氯蔗糖作为甜味剂,得到的宣木瓜粉感官评价优于其他组,故选择三氯蔗糖作为甜味剂。

表 6 不同甜味剂的效果

Table 6 Effect of different sweeteners

种类 Type of sweetener	感官评价 Sensory evaluation
无 None	酸、涩味较重、难以入口
蔗糖 Sugar	粘壁加剧、得率严重下降
阿斯巴甜 Aspartame	口感稍改善、甜味不纯正、有异味
三氯蔗糖 Sucralose	口感改善、甜味纯正
木糖醇 Xylitol	粘壁加剧、粉结块

2.5.2 三氯蔗糖添加量的确定 从表 7 中可以看出,在三氯蔗糖添加量为 0.15%时,所得宣木瓜果粉酸甜适口,涩味不明显,口感最好。

2.6 喷雾干燥工艺条件筛选

2.6.1 麦芽糊精添加量对产品的影响 从表 8 可看出,麦芽糊精添加量越高,喷雾干燥的效果越好,得率也越高,但当麦芽糊精添加量超过 40%时,所得宣木瓜果粉失去了特有的宣木瓜香味。即要有高

的得率,又能保证宣木瓜果粉有较好的风味,选择添加 30%的麦芽糊精。

表 7 三氯蔗糖添加量对风味的影响

Table 7 Effect of sucralose added amount on flavor

三氯蔗糖添加量/% Additive amount of sucralose	感官评价 Sensory evaluation
0.05	较为酸涩、甜味不明显
0.1	口味偏酸、甜味不足
0.15	酸甜适口、涩味不明显
0.2	口味偏甜、掩盖住了酸味

表 8 不同麦芽糊精添加量对宣木瓜果粉的影响

Table 8 Effect of maltodextrin dosage on dried *Chaenomeles speciosa* S.Nakai powder

麦芽糊精添加量/% Additive amount of maltodextrin	得率/% Yield	感官评定 Sensory evaluation
10	18.4	粉末有颗粒状结块,香味略淡
20	27.4	粉末较为细腻,有宣木瓜香味
30	35.9	粉末细腻,有宣木瓜香味
40	44.3	粉末细腻,无宣木瓜香味

2.6.2 入料温度对产品的影响 从表 9 可以看出,提高入料温度有助于改善流动性,并且提高了堆积密度,且入料温度越高,所得的宣木瓜粉含水量越低,在 50℃以下的时候产品色泽没有明显变化,但是随着温度的升高,颜色加深,可能是由于温度升高造成了褐变,因此在喷雾干燥时可以适当提高入料温度,选择 40℃较为合适。

表 9 不同入料温度对宣木瓜果粉的影响

Table 9 Effects of different feed temperatures on *Chaenomeles speciosa* S.Nakai powder by spray drying treatment

入料温度/℃ Feed temperature	分散性/s Dispersibility	流动性/° Fluidity	堆积密度/g·mL ⁻¹ Stacking density	含水量/% Water content	吸潮性/% Moisture absorption	感官评价 Sensory evaluation
30	126	56.9	0.560	4.36	0.042	有粘壁,浅黄色
40	117	54.1	0.532	3.89	0.050	少量粘壁,浅黄色
50	113	53.3	0.524	3.71	0.052	少量粘壁,暗黄色
60	109	53.1	0.520	3.70	0.055	少量粘壁,暗黄色

表 10 不同进风温度对宣木瓜粉的影响

Table 10 Effect of inlet air temperature on physical properties of *Chaenomeles speciosa* S.Nakai powder by spray drying treatment

进风温度/℃ Inlet air temperature	分散性/s Dispersibility	流动性/° Fluidity	堆积密度/g·mL ⁻¹ Stacking density	含水量/% Water content	吸潮性/% Moisture absorption	感官评价 Sensory evaluation
150	117	52.1	0.551	4.86	0.037	有粘壁
160	102	51.1	0.532	4.29	0.047	稍有粘壁
170	95	50.3	0.524	3.81	0.050	稍有粘壁
180	87	49.6	0.520	3.60	0.060	稍有粘壁,有焦糊味

2.6.3 进风温度对产品的影响 从表 10 可知,进风温度越高时,产品含水量越低,分散性、流动性

也呈逐渐减低趋势,产品的堆积密度略有降低。进风温度低时,宣木瓜粉水分含量较高,则会造成喷

雾干燥粉粘结, 分散性和流动性因而变差, 温度过高时, 会有焦糊味出现, 可能由于糖类出现了焦糖化反应, 故选择进风温度为 170℃。

表 11 不同进料流量对宣木瓜粉的影响

Table 11 Effect of inlet flow rate on physical properties of *Chaenomeles speciosa* S.Nakai powder by spray drying treatment

进料流量 /mL·min ⁻¹ Inlet flow rate	分散性/s Dispersibility	流动性/° Fluidity	堆积密度/g·mL ⁻¹ Stacking density	含水量/% Water content	吸潮性/% Moisture absorption	感官评价 Sensory evaluation
12	127	57.1	0.590	3.66	0.067	无粘壁, 喷头粘结
16	105	51.9	0.542	4.09	0.052	无粘壁, 喷头有粘结
20	96	50.3	0.529	4.21	0.050	无粘壁, 喷头无粘结
24	98	52.6	0.520	4.60	0.041	有粘壁, 喷头有粘结

表 12 宣木瓜果粉喷雾干燥正交试验结果

Table 12 Results of the orthogonal test for spray drying of *Chaenomeles speciosa* S.Nakai powder

序号 No.	A 助干剂 添加量/% Additive amount of drying auxiliary agent	B 入料 温度/°C Feed temperature	C 进风 温度/°C Inlet air temperature	D 进料流量 /mL·min ⁻¹ Inlet flow rate	E 空列 Blank column	平均感 官评分 Average sensory score	齐墩果酸 含量/% Oleanolic acid content	水分含 量/% Water content
1	1	1	1	1	1	43.33	0.041	4.497
2	1	2	2	2	2	55.00	0.055	4.270
3	1	3	3	3	3	63.00	0.070	4.073
4	1	4	4	4	4	49.67	0.058	3.753
5	2	1	2	3	4	68.33	0.068	4.717
6	2	2	1	4	3	52.33	0.042	4.747
7	2	3	4	1	2	45.67	0.046	3.463
8	2	4	3	2	1	58.67	0.068	3.743
9	3	1	3	4	2	74.33	0.074	3.877
10	3	2	4	3	1	83.67	0.079	3.563
11	3	3	1	2	4	65.67	0.056	4.500
12	3	4	2	1	3	60.00	0.058	4.303
13	4	1	4	2	3	55.33	0.053	3.543
14	4	2	3	1	4	60.33	0.067	3.627
15	4	3	2	4	1	52.67	0.058	3.930
16	4	4	1	3	2	66.00	0.056	4.293
感官评分	k_1	52.75	60.33	56.83	52.33	59.58		
Sensory score	k_2	56.25	62.83	59.00	58.67	60.25		
	k_3	70.92	56.75	64.08	70.25	57.67		
	k_4	58.58	58.58	58.58	57.25	61.00		
	R	18.17	6.08	7.25	17.92	4.42		
	齐墩果酸	k_1	0.056	0.059	0.049	0.053	0.061	
Oleanolic acid	k_2	0.056	0.061	0.059	0.058	0.058		
	k_3	0.067	0.057	0.070	0.068	0.056		
	k_4	0.058	0.060	0.059	0.058	0.062		
	R	0.011	0.004	0.021	0.015	0.006		
	水分含量	k_1	4.148	4.158	4.509	3.973	3.933	
Water content	k_2	4.168	4.052	4.305	4.014	3.976		
	k_3	4.061	3.992	3.830	4.162	4.167		
	k_4	3.848	4.023	3.581	4.077	4.149		
	R	0.320	0.166	0.918	0.189	0.239		

2.6.4 进料流量对产品的影响 从表 11 可以看出,随着流量的增大,喷雾干燥效果越来越好。但是,当流量超过 $20 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ 的时候,又出现粘壁现象。其原因可能是由于当入料流量过慢时,会使料液雾滴变小,从而使从喷头出来的液滴过细过轻,在喷头的四周由于负压涡旋作用,使宣木瓜粉粘在喷头上,而且入料流量过慢,喷雾干燥的效率降低,加快料流量虽然可提高效率;但是流量过大时,会使液滴来不及彻底干燥就被粘到干燥室的壁上^[20]。故选择进料流量为 $20 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ 较为合适。

2.7 宣木瓜果粉喷雾干燥正交试验

采用表 1 进行正交试验,平行测定 3 组。根据表 12 直观分析表明,7 号实验得粉的水分含量最低,为 3.463%,但其感官评分和齐墩果酸含量都较低。10 号实验的平均感官评分最高,为 83.67 分,得粉的齐墩果酸含量也最高,为 0.079%,其工艺条件为 $A_3B_2C_4D_3$,此条件下得粉的水分含量为 3.563%,与最低值 3.463%相差较小,因此,根据表 12 直观分析得出, $A_3B_2C_4D_3$ 是所有试验组中的最适宜水平组合。

表 13 方差分析

Table 13 Analysis of variance

	因素 Factor	偏差平方和 Sum of square of deviation	自由度 DF	均方 MS	F 值 F value	F 临界值 F critical value
感官评分 Sensory score	A	2246.92	3	748.97	130.15**	$F_{0.05}=2.87$
	B	241.75	3	80.58	14.00**	$F_{0.01}=4.40$
	C	349.75	3	116.58	20.26**	
	D	2071.42	3	690.47	119.98**	
	误差 Error	201.42	35	5.75		
齐墩果酸 Oleanolic acid	A	0.00097	3	0.00032	24.65**	
	B	0.00011	3	0.00004	2.76	
	C	0.00265	3	0.00088	67.44**	
	D	0.00147	3	0.00049	37.37**	
	误差 Error	0.00046	35	0.00001		
水分含量 Water content	A	0.76928	3	0.25643	14.24**	
	B	0.18836	3	0.06279	3.49*	
	C	6.53064	3	2.17688	120.89**	
	D	0.24378	3	0.08126	4.51*	
	误差 Error	0.83015	3	0.27672		

注: “**” 表示极显著, “*” 表示显著。

Note: “**” mean extreme significant, “*” mean significant.

表 14 工艺优化的验证试验结果

Table 14 The validation results of process optimization

处理组 Treatment group	平均感官评分 Average sensory score	齐墩果酸含量/% Oleanolic acid content	水分含量/% Water content
$A_3B_2C_3D_3$	86.67	0.083	3.561
$A_4B_3C_4D_1$	46.33	0.057	3.452

表 15 不同质量宣木瓜粉冲调后的感官评价

Table 15 Sensory evaluation of different quality *Chaenomeles speciosa* S.Nakai powder after dissolution

质量/g Dosage	感官评价 Sensory evaluation
10	溶解快, 无结块, 风味偏淡, 酸甜口感均不明显
15	溶解快, 无结块, 有宣木瓜香味, 酸甜合适
20	溶解稍慢, 略有结块, 有宣木瓜香味, 甜味掩盖了酸味

根据表 12 和 13 分析可得, 对感官评分影响主要因素顺序依次为: 助干剂添加量>进料流量>进风温度>入料温度; 4 个因素对于感官评分均有极显著

的影响, 因此, 以感官评分为评价指标时, 喷雾干燥的最佳工艺是: $A_3B_2C_3D_3$ 。各因素对齐墩果酸含量影响的主次顺序为: 进风温度>进料流量>助干剂

添加量>入料温度; 助干剂添加量、进风温度、进料流量对得粉的齐墩果酸含量均为极显著因素, 料液温度为不显著因素。因此, 以齐墩果酸为指标时, 最佳的喷雾干燥工艺是: $A_3B_2C_3D_3$ 。对于得粉水分含量影响主次因素顺序为: 进风温度>助干剂添加量>进料流量>入料温度, 进风温度和助干剂添加量为极显著因素, 进料流量和入料温度为显著性因素。以得粉的水分含量为指标时, 最佳组合应为 $A_4B_3C_4D_1$ 。

2.8 喷雾干燥的验证实验

由结果分析得出的最佳喷雾干燥水平组合 $A_3B_2C_3D_3$ 和 $A_4B_3C_4D_1$ 均不在已做的正交试验范围内, 因此, 需要对配方组合 $A_3B_2C_3D_3$ 和 $A_4B_3C_4D_1$ 进行验证性试验, 平行进行 3 次, 由表 14 可以看出, 验证性试验中 $A_4B_3C_4D_1$ 组感官评分及齐墩果酸含量都较低。 $A_3B_2C_3D_3$ 所得宣木瓜粉的平均感官评分为 86.67 分, 齐墩果酸含量为 0.083%, 水分含量为 3.561%, 均优于 $A_3B_2C_4D_3$ 组。因此, 宣木瓜果粉喷雾干燥的最佳工艺组合为 $A_3B_2C_3D_3$, 即: 助干剂添加量为 30%, 入料温度为 40℃, 进风温度为 170℃, 进料流量为 20 mL·min⁻¹。

2.9 包装规格的确定

经喷雾干燥得到宣木瓜粉后, 采用密封小包装袋作为包装材料。以每袋冲调 250 mL 水计, 通过感官评价, 确定一袋内应包装宣木瓜粉的质量。从表 15 中可以看出, 每袋包装 15 g 宣木瓜粉较为合适。

3 结论

优选喷雾干燥前处理工艺条件为: 100℃热烫 60 s, 加水 1:1 打浆, 60 目过滤, 胶体磨处理 3 min, 在 45 MPa 压力条件下均质。

喷雾干燥优选参数为: 物料添加 0.15%三氯蔗糖, 30%助干剂(麦芽糊精), 进风温度为 170℃, 进料流量为 20 mL·min⁻¹, 入料温度为 40℃, 产品包装规格为 15 g·袋⁻¹, 此条件下的宣木瓜果粉质量最佳, 平均感官评分为 86.67 分, 齐墩果酸含量为 0.083%, 水分含量为 3.561%。

喷雾干燥法在果粉制备中的研究较多, 工艺参数也在不断优化, 但对于果实中有效成分的保留, 尤其是不易溶于水的营养成分的保留, 也是值得深入研究的。

参考文献:

- [1] 周根土. 宣木瓜丰产栽培技术[J]. 经济林研究, 2003, 21(4): 85-86.
- [2] 陈勤. 宣木瓜的化学成分与药理研究进展[J]. 现代中药研究与实践, 2008, 22(6): 77-78.
- [3] 冯丽丽, 罗栋源, 万端极. 宣木瓜风味酸奶的制作工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(10): 127-130.
- [4] 刘世尧, 白志川, 李加纳. 重庆皱皮木瓜挥发性成分的 GC-MS 分析[J]. 中药材, 2012, 35(5): 728-733.
- [5] 刘捷, 王文, 卢奎, 等. 皱皮木瓜多糖的提取及其抗氧化活性研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2011, 32(1): 48-52.
- [6] 张秀秀, 曹帮华, 侯蕊, 等. 皱皮木瓜果实发育过程中主要成分变化的研究[J]. 陕西农业科学, 2012, 58(1): 39-43.
- [7] KOSTOVA I, IOSSIFOVA T. Chemical components of *Fraxinus species*[J]. Fitoterapia, 2007, 78(2): 85-106.
- [8] 王宏贤. 木瓜保肝降酶作用的实验研究[J]. 世界中西医结合杂志, 2007, 2(4): 213-214.
- [9] 季月月, 董明, 费莉娟, 等. 宣木瓜罐头生产过程中的护色工艺[J]. 食品工业科技, 2014, 35(19): 204-207.
- [10] 赵晓佳, 董明, 曹彬彬, 等. 澄清型宣木瓜酥梨复合果汁加工工艺及复配研究[J]. 保鲜与加工, 2011, 11(6): 31-36.
- [11] 伍亚华, 姜绍通, 许晖, 等. 基于层次分析法的宣木瓜果脯感官质量模糊综合评判研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(12): 159-162.
- [12] 王丽娟, 王明力, 高晓明, 等. 喷雾干燥技术在固体饮料中的研究现状[J]. 贵州农业科学, 2010, 38(1): 155-157.
- [13] WALTON D E, MUMFORD C J. Spray dried products-characterization of particle morphology[J]. Chem Eng Res Des, 1999, 77(1): 21-38.
- [14] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 35-43.
- [15] 邹立强, 刘伟, 刘军平, 等. 柠檬酸对多酚氧化酶相对酶活性、动力学和褐变参数的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(17): 141-144.
- [16] 陈清香, 黄苇, 温升南, 等. 番木瓜粉喷雾干燥工艺研究[J]. 现代食品科技, 2009, 25(1): 68-72.
- [17] 钟芳, 王璋, 许时婴. 喷雾干燥条件对豆粉速溶性的影响[J]. 食品工业科技, 2003, 24(12): 17-20.
- [18] 严睿文, 张秀真, 陈勤. 宣木瓜中齐墩果酸的分离提取及含量测定[J]. 现代科学仪器, 2008(5): 83-85.
- [19] 孔俊豪, 孙庆磊, 涂云飞, 等. 多酚氧化酶酶学特性研究及其应用进展[J]. 中国野生植物资源, 2011, 30(4): 13-17.
- [20] RATTES A L R, OLIVEIRA W P. Spray drying conditions and encapsulating composition effects on formation and properties of sodium diclofenac microparticles[J]. Powder Technol, 2007, 171(1): 7-14.