

载体和温度对喷雾干燥板栗速溶粉的影响

张乐¹, 张雅², 王赵改^{1*}, 史冠莹¹, 蒋鹏飞¹, 赵丽丽¹, 王旭增¹

(1. 河南省农业科学院农副产品加工研究中心, 河南郑州 450002) (2. 中牟润鑫置业有限公司, 河南郑州 451450)

摘要: 为解决板栗速溶粉在加工过程中出现的粘壁问题, 寻找最适合的板栗喷雾干燥载体材料和干燥工艺。研究了麦芽糊精、乳清分离蛋白、阿拉伯胶、 β -环糊精等不同载体材料及添加量对喷雾干燥效果的影响, 通过正交试验设计, 对喷雾干燥工艺进行优化, 确定最佳工艺参数, 同时对板栗速溶粉产品进行品质评定。结果表明, 喷雾干燥最佳工艺为: 进口温度 190 °C, 进料量 20 mL/min, 载体麦芽糊精添加量为板栗质量的 5%。根据极差分析和方差分析得出影响喷雾干燥工艺产品集粉率的因子主次顺序依次为载体添加量>进料流量>进风温度。板栗速溶粉水分含量低为 1.60 g/100 g, 蛋白质含量高为 8.45 g/100 g, 脂肪含量低为 1.77 g/100 g, 白度值达 82.18。鉴定出 38 种挥发性香气成分, 酸类、烷烃、醛类物质分别占挥发性成分总量的 42.47%、19.87%、16.81%。通过计算气味活度值 (OAV) 筛选出了 6 种关键香气物质为己醛、壬醛、(E,E)-2,4-壬二烯醛、D-柠檬烯、己酸和乙基麦芽酚。制得的板栗速溶粉营养丰富、色泽宜人、风味浓郁、冲调性稳定性好。

关键词: 板栗; 喷雾干燥; 载体; 香气成分; 气味活度值

文章编号: 1673-9078(2022)10-217-226

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.10.1418

Effects of Carrier Materials and Inlet Temperature on the Properties of Spray-dried Instant Chinese Chestnut Flour

ZHANG Le¹, ZHANG Ya², WANG Zhaogai^{1*}, SHI Guanying¹, JIANG Pengfei¹, ZHAO Lili¹, WANG Xuzeng¹

(1. Agricultural Products Processing Center, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China)

(2. Zhongmou Runxin Real Estate Co. Ltd., Zhengzhou 451450, China)

Abstract: To identify the most suitable carrier material and drying technology to reduce or even prevent stickiness during spray-drying of instant Chinese chestnut flour, the effects of different concentrations of carrier materials, such as maltodextrin, whey protein isolate, acacia gum, and β -cyclodextrin, on spray drying were studied. The optimum parameters during spray drying were determined in orthogonal experiments, and the properties of the instant flours were evaluated. The results showed that the optimal conditions for spray drying are as follows: inlet temperature, 190 °C; feed rate, 20 mL/min; and 5% maltodextrin as a carrier. Range analysis and variance analysis revealed that the factors most affecting product yield are (in descending order): carrier addition, feed rate, and inlet temperature. The water and fat contents of the instant chestnut flour were as low as 1.60 g/100 g and 1.77 g/100 g, respectively, while the protein content was as high as 8.45 g/100 g. The whiteness was 82.18. A total of 38 volatile aroma components were identified, and acids, alkanes, and aldehydes accounted for 42.47%, 19.87%, and 16.81%, respectively, of the total volatile contents. Six key aroma compounds were identified by calculating the odor activity values (OAVs): hexanal, nonanal, (E,E)-2, 4-nonadienal, D-limonene, hexanoic acid, and ethyl maltol. The Instant Chinese chestnut flour produced is nutritionally rich, with a pleasant color, strong flavor, and good tonality and stability.

Key words: Chinese chestnut; spray drying; carrier material; aroma components; odor activity values (OAVs)

引文格式:

张乐,张雅,王赵改,等.载体和温度对喷雾干燥板栗速溶粉的影响[J].现代食品科技,2022,38(10):217-226

ZHANG Le, ZHANG Ya, WANG Zhaogai, et al. Effects of carrier materials and inlet temperature on the properties of spray-dried instant chinese chestnut flour [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(10): 217-226

收稿日期: 2021-12-07

基金项目: 河南省科技攻关项目 (202102110134); 河南省农业科学院优秀青年科技基金项目 (2020YQ37); 对发展中国家常规性科技援助项目 (KY202002007)

作者简介: 张乐 (1987-), 女, 助理研究员, 研究方向: 农产品贮藏与加工, E-mail: zhangle825@163.com

通讯作者: 王赵改 (1980-), 女, 博士, 研究员, 研究方向: 农产品贮藏与加工, E-mail: zgwang1999@126.com

板栗原产中国,已有 3000 多年栽培历史,分布广泛,种质资源丰富,全世界以中国栗、欧洲栗、日本栗和美洲栗为主^[1]。板栗营养物质丰富,特别是 Vc, VB1 和胡萝卜素的含量比一般干果要高,故有“干果之王”的美誉,淀粉含量高达 70%左右,与粮谷类相当,素有“铁杆庄稼”之美誉^[2-4]。同时含有丰富的不饱和脂肪酸、多糖、单宁、黄酮苷类化合物、挥发油等化学成分,具有抗菌、抗炎、抗凝血等生物活性^[5-7]。板栗在我国 26 个省市均有规模化种植,栽培面积 111 万公顷,年产量高达 1.6×10^6 t,种植面积和产量均世界第一^[8]。但我国板栗的人居占有量仅为 0.27 kg,远远低于日本(0.7 kg)、意大利(1.4 kg)、土耳其(4.57 kg)等国家,说明我国板栗在综合开发利用方面较薄弱,未起到“木本粮食”的作用。由于板栗不耐贮藏,极易霉烂、发芽以及生虫等,产后损失高达 35%以上^[9]。目前我国板栗多以鲜销为主,加工转化率仅为 20%~30%,远低于发达国家的 90%~95%^[10],且主要集中在粗加工,如糖炒板栗、板栗罐头等,难以创造较高的经济效益。因此加强板栗资源的精深加工和综合开发利用势在必行。随着人们的生活节奏加快,对便捷健康的食品需求量不断增加,并朝着营养、保健、绿色、多样的方向发展。速溶粉类产品因其存放期长,冲调方便,便于携带,广泛用于家庭、学校、旅行等的消费,是一个市场前景十分见好的产品,而目前市场上尚未有板栗固体饮料的相关方便食品。

溶解性和冲调稳定性是影响速溶粉类产品品质的重要问题,另外,粘壁现象多发生在粘性物质喷雾干燥的过程中,被认为是固体饮料喷雾干燥过程中最为关键的问题,影响到产品的产量和质量,已成为板栗速溶粉开发过程需要解决的关键技术问题。研究表明粘壁问题是由于富含果糖、葡萄糖、蔗糖、苹果酸、柠檬酸和酒石酸等低玻璃化转变温度(蔗糖: 62 °C,果糖: 5 °C,葡萄糖: 31 °C)的低分子量化合物的存在造成的,添加具有较高玻璃化转变温度(T_g)的载体材料提高物料的玻璃化转变温度可以减轻粘壁现象发生^[11-14]。常见的载体有阿拉伯胶、麦芽糊精、淀粉、甲基纤维素等^[15]。已有学者对板栗速溶粉的制备进行了研究^[16,17],但针对解决粘壁问题采用添加载体方法以及产品的关键香气物质方面目前尚未有报道。基于此本试验拟按照载体材料类别(I)淀粉及其衍生物(淀粉、麦芽糊精和环糊精等),(II)胶(阿拉伯胶和卡拉亚胶),(III)蛋白类(乳清分离蛋白、植物蛋白等),筛选合适的载体材料制备板栗速溶粉。干燥过程是个复杂的传热传质过程,受到很多因素的影响,

喷雾干燥工艺参数对产品的溶解性、分散性和润湿性等均有很大影响,最终影响产品的速溶情况。因此,本实验将对喷雾干燥的进口热风温度、进料量、载体添加量等关键工艺进行优化,同时对板栗速溶粉产品进行品质评定,以期对喷雾干燥法生产板栗速溶粉提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

板栗:大板红,平均单粒重 8.5 g,横径 3.2 cm,纵径 2.1 cm,含水率 52%,由河北美客多食品有限公司提供。

麦芽糊精、乳清分离蛋白、阿拉伯胶、β环糊精,食品级,购自上海美馨化学科技有限公司;α-淀粉酶食品级,购自北京索莱宝科技有限公司;氢氧化钠、盐酸、浓硫酸、葡萄糖、3,5-二硝基水杨酸、氯化钠,均为分析纯,国药集团化学试剂有限公司;正构烷烃(C₇-C₄₀)、2-甲基-3-庚酮标准品,购自 Sigma-Aldrich;甲醇、二氯甲烷,购自德国默克公司。

1.2 仪器与设备

JG01 型去壳机,新沂市精工机械设备厂;ME204E 型电子天平,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;Yc-015A 喷雾干燥机,上海雅程仪器设备有限公司;Color Quest XE 色差仪,美国 HunterLab 公司;GENESYS 10S UV-VIS 紫外-可见分光光度计,美国 Thermo 公司;K1100 全自动凯氏定氮仪,济南海能仪器股份有限公司;8890A-5977B 型气相色谱-质谱联用仪、HP-5MS 石英毛细管色谱(30 m×0.25 mm×0.25 μm)、顶空固相微萃取装置(包括手持式手柄,50/30 μm DVB/CAR/PDMS,20 mL 带硅胶垫棕色顶空瓶),美国安捷伦公司;HHS 型电热恒温水浴锅,上海博讯实业有限公司医疗设备厂。

1.3 试验方法

1.3.1 喷雾干燥工艺流程

板栗→脱壳→切片→护色→漂洗→打浆→酶解→添加载体→均质→喷雾干燥

挑选无虫眼、无霉烂的板栗,采用脱壳机去壳去红衣;将板栗仁切成 5 mm 左右的板栗片;称取 200 g 板栗片,按照 1:5 料液比打浆;添加板栗质量 0.2%的α-淀粉酶,在 92 °C 水浴条件下水解 1 h;添加载体进行调配;均质条件为:40 MPa 下均质两次;喷雾干燥:进风温度

180 ℃, 进料速率 20 mL/min, 风机频率 25 Hz。喷雾干燥完成后立刻收集样品并密封。

1.3.2 单因素试验设计

选用麦芽糊精、乳清分离蛋白、阿拉伯胶、 β 环糊精等为备选载体, 研究不同的载体对喷雾干燥效果的影响, 在确定载体的基础上选择添加量为 5%、10%、15% 做单因素试验, 对喷雾干燥效果的影响, 以便选择合适的载体材料及添加量。选择进风温度为 140、160、180、200 ℃ 做单因素试验, 研究进风温度对喷雾干燥效果的影响。

1.3.3 喷雾干燥条件优化试验设计

选择对喷雾干燥产品影响较大的 3 个因素进口温度、载体添加量、进料流量 (按照设备可设置范围设置因素水平), 设计 $L_9(3^3)$ 正交实验, 以集粉率、水分含量为评价指标, 对喷雾干燥工艺参数进行优化, 确定喷雾干燥工艺参数, 正交实验因素及水平设计如表 1 所示。

表 1 实验因素及水平

Table 1 Experimental factors and levels

水平	因素		
	A 进口温度/℃	B 进料量/(mL/min)	C 载体添加量/%
1	170	15	5
2	180	20	7
3	190	25	9

1.3.4 指标测定方法

1.3.4.1 固形物含量的测定

吸取 10 mL 浆液于已烘干至恒重的称量皿中 (m_0), 精确称量样品和称量皿总重 (m_1), 105 ℃ 烘干至恒重 (m_2)。固形物含量 (记为 H , %) 的计算方

法见公式 (1)。

$$H = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100\% \quad (1)$$

1.3.4.2 集粉率的测定

喷雾干燥后称量粉末的质量 (m), 其集粉率 (记为 F , %) 的计算方法见公式 (2)。

$$F = \frac{m \times (1 - a)}{M \times x} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

a ——粉末的水分含量;

M ——喷雾干燥浆液的质量;

x ——喷雾干燥浆液的固形物含量。

1.3.4.3 分散性测定

采用 Gong 等^[18]的方法并稍作改变, 称取 5.00 g 样品, 加入到盛有 50 mL 水 (水温为 80 ℃) 的小烧杯中, 在恒温磁力搅拌器上搅拌, 记录从搅拌开始到粉块全部分散所需要的时间 (s)。分散时间越短, 产品的分散性越好, 反之, 分散性越差。

1.3.4.4 稳定性测定

称取 5.00 g 样品, 加入到盛有 50 mL 水 (水温为 80 ℃) 的小烧杯中充分溶解后, 参照万景瑞等^[19]方法进行测定。

1.3.4.5 色泽测定

板栗粉色泽的测定参照张乐等^[20]方法进行测定。

L^* 代表亮度, a^* 代表红绿色度, b^* 代表黄蓝色度。

1.3.4.6 感官评定

按照 GB/T 16291.1-2012 标准的要求挑选 5 名经过专业培训的品评员 (2 男 3 女), 组成评价小组, 依次对板栗粉进行感官品质 (冲调性、色泽、香气、口感) 评价, 具体标准见表 2。

表 2 感官评分标准

Table 2 Criteria of sensory evaluation

项目	评分标准	评分
冲调性 (30)	溶解速度快, 不起团不起泡, 成糊状均一稳定	21~30
	溶解速度稍慢, 有少量起团或起泡现象, 均一稳定	11~20
	溶解速度慢, 起团或起泡现象严重, 或静置分层沉淀	5~10
色泽 (20)	颜色均匀、颜色淡黄色	15~20
	颜色均匀、颜色稍暗黄	11~14
	颜色不均一、颜色暗淡发褐	5~10
香气 (20)	有浓郁的板栗香味, 无异味	15~20
	板栗香味不明显, 无异味	11~14
	无板栗香味, 有异味	5~10
口感 (30)	口感细腻, 入口爽滑, 酸甜适中	21~30
	口感较细腻, 入口爽滑, 偏甜	11~20
	口感较粗糙, 入口不爽滑, 偏酸	5~10

总分 (100)

一级≥85; 二级 75~84; 三级≤75

1.3.4.7 营养成分测定

水分含量测定采用常压烘箱干燥法, 参照 GB/T 5009.3-2003《食品中水分的测定》进行; 蛋白质含量测定采用凯氏定氮法, 参照 GB 5009.5-2010《食品中蛋白质的测定》进行; 还原糖含量测定采用 3,5-二硝基水杨酸法^[21]; 脂肪含量测定采用索氏抽提法, 参照 GB/T 15674-2009 进行。

1.3.4.8 挥发性香气成分分析

采用顶空固相微萃取/气相色谱-质谱 (HP-SPME/GC-MS) 分析。精确称 1.0 g 样品和 0.2 g 氯化钠并置于 20 mL 顶空小瓶中, 即刻注入 5 μ L 内标 (2-甲基-3-庚酮, 250 mg/L 的甲醇溶液), 并用聚四氟乙烯-硅塞密封小瓶。将小瓶置于 HH 系列数字恒温水浴中, 并在 60 $^{\circ}$ C 下反应 15 min。然后将萃取头插入顶空瓶中在 60 $^{\circ}$ C 下连续提取芳香化合物 30 min。萃取后, 将涂层纤维快速插入 GC 进样口, 并在 250 $^{\circ}$ C 下用 GC-O-MS 解吸 5 min。GC-MS 分析条件为: (1) GC 条件为: 载气为氦气 (纯度 99.99%), 恒定流量为 1.0 mL/min。前进样温度 250 $^{\circ}$ C, 溶剂延迟 3 min。程序升温: 起始温度 40 $^{\circ}$ C, 保持 3 min; 以 2 $^{\circ}$ C/min 的速度上升到 70 $^{\circ}$ C, 保持 2 min; 以 5 $^{\circ}$ C/min 的速度上升到 150 $^{\circ}$ C, 保持 2 min; 以 8 $^{\circ}$ C/min 的速率升至 230 $^{\circ}$ C, 保持 5 min。(2) MS 条件: 穿梭线温度 230 $^{\circ}$ C, 电离方式为电子电离 (EI), 离子阱温度 230 $^{\circ}$ C, 扫描方式全扫描, 扫描范围 m/z 43~800。

香气化合物的定性定量通过与相关文献报道的线性保留指数 (LRI) 的比较以及与 NIST14 文库中的质谱数据库的比较, 对板栗粉中挥发性化合物进行鉴定。在相同 GC-MS 检测条件下外标正构烷烃 (C₇-C₄₀) 的保留时间分析 LRI。LRI 计算如下:

$$LRI = 100 \times \left(n + \frac{t_x - t_n}{t_{n+1} - t_n} \right) \quad (3)$$

式中:

t_x ——化合物 x 的保留时间;

t_n 和 t_{n+1} ——碳原子数为 n 和 $n+1$ 的正构烷烃的保留时间 ($t_n < t_{n+1}$)。

通过比较 LRI 与 NIST Chemistry WebBook 数据库^[22]中报道的正构烷烃 (C₇-C₄₀) 来确定化合物。以 2-甲基-3-庚酮为内标, 对香气成分进行半定量, 根据峰面积与 2-甲基-3-庚酮浓度的比值计算香气成分浓度。气味活度值 (OAVs) 的计算:

$$OAV_i = \frac{C_i}{OT_i} \quad (4)$$

式中:

C_i ——任一组分的质量浓度, μ g/kg;

OT_i ——任一组分在水中的香气阈值, μ g/kg。

$OAV > 1$ 时, 该香气物质对食品香气的贡献和影响较大; $OAV < 1$, 该物质对总体香气无实质性贡献。风味描述用风味基础软件 Favor Base 软件确定。

1.3.5 数据分析

采用 SPSS 软件对试验结果进行数据统计分析和方差分析, 采用正交设计助手 II 进行正交设计, Origin 8.6 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 载体材料对喷雾干燥效果的影响

在喷雾干燥中较高的干燥温度, 会导致物料表面转变为粘弹性橡胶状态, 并粘附在干燥室上, 干燥温度通常高于玻璃化转变温度, 添加淀粉、麦芽糊精或阿拉伯胶等载体材料是提高样品玻璃化转变温度的最常用方法^[23]。研究了麦芽糊精、乳清分离蛋白、阿拉伯胶、 β 环糊精等不同的载体材料对喷雾干燥效果的影响, 由图 1 可以看出, 添加载体后集粉率显著升高, 并且麦芽糊精添加组集粉率达 38.48%, 与其他添加组间显著差异 ($p < 0.05$), 说明麦芽糊精效果最好。添加阿拉伯胶组和 β 环糊精组差异不显著。乳清分离蛋白组集粉率为 27.16% 相对较低一些, 其作用机制可能是蛋白质优先迁移到液滴-空气界面, 并在颗粒表面形成高蛋白含量的薄膜。当在干燥器内加热空气时, 这种薄膜会转化为具有高玻璃化转变温度的玻璃外壳, 防止颗粒与喷雾干燥室相互作用, 从而增加产品产量^[24]。另外 Shih^[25] 报告说在麦芽糊精中添加 0.5% (m/m) 的乳清分离蛋白比单独使用麦芽糊精显著提高了产品产量。

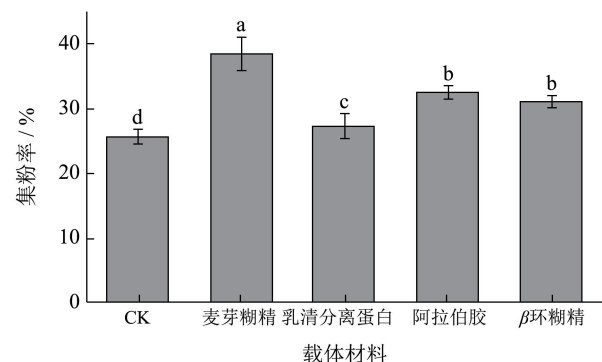


图 1 不同载体材料对集粉率影响 (显著性差异 $p < 0.05$)

Fig.1 Effect of carriers on the product yield of Chinese chestnut flours

2.2 不同载体添加量对集粉率的影响

麦芽糊精 (MD) 添加量对喷雾干燥集粉率的影响如图 2 所示。从图中可以看出, 添加 MD 后, 喷雾干燥的集粉率显著上升 ($p < 0.05$)。当 MD 添加量为 5% 和 10% 时, 集粉率分别为 41.53% 和 39.92%, 能够收集到的产品比较高, 且添加量为 5% 和 10% 时差异不显著, 载体添加量增大到 15%, 集粉率反而下降, 这与 Fang 等^[26]的研究结果一致。载体用量必须控制在一定范围内, 添加量过高会影响产品的速溶性、复水性^[27]。故确定 MD 最佳添加量为 5%。

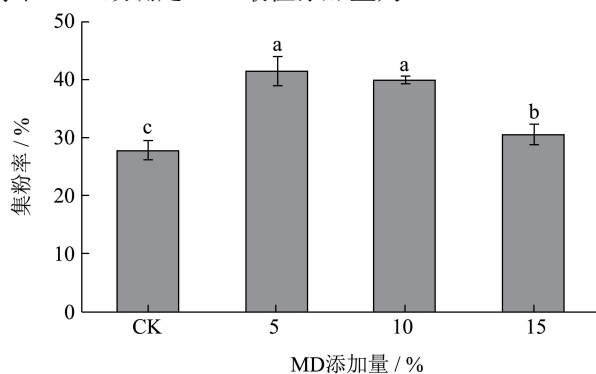


图 2 不同 MD 添加量对集粉率影响 (显著性差异 $p < 0.05$)

Fig.2 Effect of MD concentration on the product yield of Chinese chestnut flours

2.3 进风温度对干燥效果的影响

从图 3 可以看出, 进风温度对产品集粉率有显著

影响 ($p < 0.05$)。从 140 °C 升高到 200 °C, 产品集粉率随温度的上升先上升后下降。在温度较低时, 干燥不够充分, 水分含量较高, 容易产生粘壁现象, 导致集粉率不高。在 180 °C 时, 产品的集粉率最高为 36.88%, 当进风温度 200 °C 时, 由于进口温度太高, 粉粒表面水分蒸发过快, 其表面会过度干燥形成硬壳, 阻碍内部水分蒸发, 致使内部水分含量高、蒸汽压力大, 使粉粒发生开裂现象, 水分外逸, 粉粒熔化, 回潮, 使产品粘度上升, 导致粘壁现象产生, 从而使产品集粉率下降, 而且有时会产生焦糊现象, 严重影响产品质量^[27]。

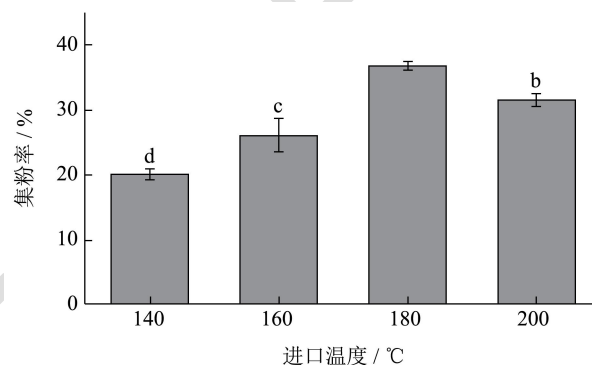


图 3 进口温度对集粉率的影响 (显著性差异 $p < 0.05$)

Fig.3 Effect of inlet temperature on the product yield of Chinese chestnut flours

2.4 喷雾干燥正交试验结果分析

表 3 正交实验设计及结果

Table 3 Orthogonal experiment design and result

实验号	进风温度	进料量	载体添加量/%	集粉率/%	水分含量/%
1	1 (170)	1 (15)	1 (5)	39.26	2.16
2	1	2 (20)	2 (7)	35.11	2.62
3	1	3 (25)	3 (9)	35.45	2.62
4	2 (180)	1	2	33.36	2.10
5	2	2	3	37.4	2.11
6	2	3	1	34.37	2.04
7	3 (190)	1	3	40.03	1.63
8	3	2	1	41.11	1.58
9	3	3	2	32.71	1.97
<hr/>					
集粉率	K_1	36.607	37.550	38.247	
	K_2	35.043	37.873	33.727	
	K_3	37.950	34.177	37.627	
	极差 R	2.907	3.696	4.520	
<hr/>					
水分含量	K_1	2.469	1.964	1.927	
	K_2	2.083	2.104	2.230	
	K_3	1.728	2.212	2.123	
	极差 R	0.741	0.248	0.303	

表4 方差分析

Table 4 Analysis of variance

	方差来源	偏差平方和 SS	自由度 df	均方 MS	F 值	p	显著性
集粉率	A	12.697	2	6.349	233.120	0.004	**
	B	25.149	2	12.575	461.737	0.002	**
	C	36.025	2	18.012	661.410	0.002	**
	D (误差)	0.054	2	0.027			
	合计	73.925 8	8				
水分含量	A	0.826	2	0.413	1717.583	0.001	**
	B	0.093	2	0.046	192.999	0.005	**
	C	0.142	2	0.071	296.007	0.003	**
	D (误差)	0.000 1	2	0.000 1			
	合计	1.061	8				

表5 理化指标测定结果

Table 5 Determination results of physicochemical indexes

指标	主要成分/(g/100 g)				色泽			分散性	稳定性
	水分	蛋白质	还原糖	脂肪	L*	a*	b*	分散时间/s	稳定性/%
板栗粉	1.60±0.04	8.45±0.61	32.62±2.22	1.77±0.04	82.18±1.93	0.28±0.03	5.30±0.19	28±1	66.79±3.20

直观分析由表3可以看出,影响喷雾干燥工艺产品集粉率的主次因素是C(载体添加量)>B(进料流量)>A(进风温度),根据实验结果和k值得到各因素最优组合是A₃B₂C₁,集粉率为41.11%。而影响喷雾干燥产品水分含量的主次因素是A(进风温度)>C(载体添加量)>B(进料流量),各因素最优组合是A₃B₁C₁。

方差分析对正交实验方差分析,结果见表4,可知方差分析和极差分析结果一致,即影响喷雾干燥工艺产品集粉率的的因子主次顺序依次为:C(载体添加量)>B(进料流量)>A(进风温度)。即影响喷雾干燥工艺产品水分含量的因子主次顺序依次为:A(进风温度)>C(载体添加量)>B(进料流量)。在实验误差范围内,进口温度对集粉率、水分含量具有显著的影响($p<0.01$);进料量对集粉率和水分含量具有显著的影响($p<0.01$),载体添加量对集粉率和水分含量有极显著的影响($p<0.01$)。

根据《GB/T 29602-2013 固体饮料》水分含量在5%即为符合标准,正交实验结果均在3%以下,结合以上直观分析和方差分析,确定适宜的喷雾干燥条件为A₃B₂C₁,即进口温度190℃,进料量20 mL/min,载体添加量5%。

2.5 板栗速溶粉品质分析

2.5.1 感官分析结果

根据感官评分标准,5位感官评价人员对板栗粉进行感官评价得分均值为90.30,达到一级标准,说明

制备的板栗速溶粉色泽宜人、风味浓郁、口感细腻、冲调性好。冲调后的板栗粉如图4所示。

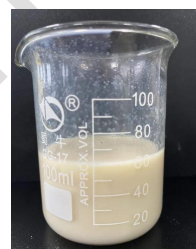


图4 板栗速溶粉冲调液

Fig.4 Chestnut instant powder preparation liquid

2.5.2 理化指标分析结果

由表5板栗粉主要成分含量可知,其水分含量低,易于保存,粉末水分含量在5%以下,属于微生物安全级,可长期贮存。蛋白质含量高,脂肪含量低,还原糖达到32.62%,说明板栗淀粉的酶解程度较高,营养价值高,有利于人体消化吸收。

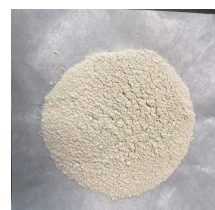


图5 板栗速溶粉

Fig.5 Chinese chestnut instant flours

色泽是干制品的一个重要感官指标,直接影响着消费者的购买欲望。干燥过程中变色最为常见,它与干燥方式、干燥温度以及含水量变化密切相关,板栗粉白度值达82.18,说明该产品色泽较好,产品如图5

所示。分散性可以表征粉末颗粒克服自身与水分之间的表面张力,扩散到水中的能力,颗粒的形态以及化学组成都可以影响其分散性。板栗粉完全分散需要

28 s, 优于宋超洋小米速溶粉(32 s)^[27]。经过离心后有较少量的沉淀物,稳定性达到 66.79%,说明板栗粉的稳定性较好。

表 6 板栗粉挥发性香气成分的 GC-MS 分析结果

Table 6 Analysis results of volatile aroma of Chinese chestnut powder by GC-MS

类别	保留时间/min	中文名称	英文名称	分子式	LRI (计算/文献)	含量/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	鉴定
醛类	5.755	己醛	Hexanal	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}$	800/800	1 041.77 \pm 2.72	MS,LRI
	13.851	苯甲醛	Benzaldehyde	$\text{C}_7\text{H}_6\text{O}$	958/959	274.58 \pm 12.26	MS,LRI
	23.723	壬醛	Nonanal	$\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}$	1 105/1 105	660.86 \pm 21.73	MS,LRI
	28.234	十醛	Decanal	$\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}$	1 206/1 204	139.72 \pm 0.48	MS,LRI
	28.505	(E,E)-2,4-壬二烯醛	(E,E)-2,4-Nonadienal	$\text{C}_9\text{H}_{14}\text{O}$	1 214/1 215	76.69 \pm 5.43	MS,LRI
	29.899	4-甲氧基苯甲醛	4-Methoxy-benzaldehyde	$\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_2$	1 254/1 251	216.50 \pm 3.47	MS,LRI
	33.654	2-丁基-2-辛烯醛	2-Butyl-2-octenal	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}$	1 375/1 378	107.62 \pm 1.37	MS,LRI
醇类	4.735	1-戊醇	1-Pentanol	$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$		729.06 \pm 10.61	MS
	14.845	1-庚醇	1-Heptanol	$\text{C}_7\text{H}_{16}\text{O}$	975/969	91.15 \pm 5.23	MS,LRI
	34.138	十六醇	1-Hexadecanol	$\text{C}_{16}\text{H}_{34}\text{O}$	1 392	56.59 \pm 0.98	MS
酸类	10.189	戊酸	Pentanoic acid	$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$	896/893	444.42 \pm 6.37	MS,LRI
	16.858	己酸	Hexanoic acid	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$	1 003/998	5 377.96 \pm 54.26	MS,LRI
	22.567	庚酸	Heptanoic acid	$\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_2$	1 086/1 085	169.90 \pm 0.00	MS,LRI
	30.578	壬酸	Nonanoic acid	$\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}_2$	1 274/1 273	368.86 \pm 0.00	MS,LRI
酮类	19.449	3-辛烯-2-酮	3-Octen-2-one	$\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}$	1 041/1 040	334.65 \pm 2.77	MS,LRI
	22.159	5-乙基-2-辛烯-4-酮	5-Ethyl-2-octen-4-one	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}$	1 080	166.42 \pm 0.00	MS
烷烃	21.871	环辛烷	Cyclooctane	C_8H_{16}	1 076	241.64 \pm 0.00	MS
	23.493	十一烷	Undecane	$\text{C}_{11}\text{H}_{24}$	1 100	73.22 \pm 3.08	MS
	26.823	九甲基癸烷	9-Methyl-nonadecane	$\text{C}_{20}\text{H}_{42}$	1 165	72.86 \pm 4.29	MS
	28.013	十二烷	Dodecane	$\text{C}_{12}\text{H}_{26}$	1 105	620.61 \pm 9.12	MS
	31.445	十三烷	Tridecane	$\text{C}_{13}\text{H}_{28}$	1 300	1 006.56 \pm 31.73	MS
	34.367	十四烷	Tetradecane	$\text{C}_{14}\text{H}_{30}$	1 399	523.93 \pm 6.05	MS
	35.65	环十四烷	Cyclotetradecane	$\text{C}_{14}\text{H}_{28}$	1 447	118.31 \pm 0.00	MS
	39.193	3-甲基-十五烷	3-Methyl-pentadecane	$\text{C}_{16}\text{H}_{34}$	1 573/1 570	158.94 \pm 7.89	MS,LRI
	39.957	十六烷	Hexadecane	$\text{C}_{16}\text{H}_{34}$	1 599	112.82 \pm 9.49	MS
	41.232	十一环戊烷	Undecyl-cyclopentane	$\text{C}_{16}\text{H}_{32}$	1 658/1 656	46.96 \pm 0.00	MS,LRI
	烯类	18.421	D-柠檬烯	D-Limonene	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	1 026	144.25 \pm 0.00
31.64		1-甲基萘	1-Methyl-naphthalene	$\text{C}_{11}\text{H}_{10}$	1 306/1 306	87.58 \pm 3.18	MS,LRI
33.721		古巴烯	Copaene	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	1 375/1 376	52.94 \pm 0.00	MS,LRI
41.231		环己烯	Cyclohexadecane	$\text{C}_{16}\text{H}_{32}$	1 658	49.42 \pm 0.00	MS
酯类	20.978	对硝基苯己酸酯	p-Nitrophenylhexanoate	$\text{C}_{12}\text{H}_{15}\text{NO}_4$	1 063	296.02 \pm 0.00	MS,LRI
	21.862	甲酸辛酯	Formic acid, octyl ester	$\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}_2$	1 076	240.12 \pm 11.46	MS,LRI
	34.146	三氟乙酸十五酯	Trifluoroacetic acid, pentadecyl ester	$\text{C}_{17}\text{H}_{31}\text{F}_3\text{O}_2$	1 392	50.73 \pm 1.61	MS,LRI
其他	8.694	2,4-二甲基-噻吩	2,4-Dimethyl-thiophene	$\text{C}_6\text{H}_8\text{S}$	864/863	71.28 \pm 2.69	MS,LRI
	20.443	5-乙基二氢-2(3H)-呋喃	5-Ethyl-dihydro-2(3H)-furanone	$\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_2$	1 055/1 056	388.41 \pm 6.10	MS,LRI
	27.894	乙基麦芽酚	Ethyl maltol	$\text{C}_7\text{H}_8\text{O}_3$	1 197	158.41 \pm 0.00	MS
	30.969	茴香脑	Anethole	$\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{O}$	1 286/1 283	134.62 \pm 7.49	MS,LRI
	37.468	2,4-二叔丁基苯酚	2,4-Di-tert-butylphenol	$\text{C}_{14}\text{H}_{22}\text{O}$	1 513/1 513	70.26 \pm 0.00	MS,LRI

表7 板栗粉挥发性香气物质的阈值及 OAVs

化合物名称	含量/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	阈值 OT/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	OAV	风味描述
己醛	1 041.77	4.5	231.50	具有青草味、脂肪香、水果味
苯甲醛	274.58	350	0.78	强烈的苦杏仁味
壬醛	660.86	1	660.86	鸮尾草味、橘皮味、脂肪香
(E,E)-2,4-壬二烯醛	76.69	0.09	852.15	强烈的紫罗兰花香、热带水果和鸡肉脂肪香气
1-戊醇	729.06	4 000	0.18	辛辣味、酵母味、浓郁的水果香和花香
1-庚醇	91.15	520	0.18	青草味、紫罗兰牡丹花香、木头味
戊酸	444.42	3 000	0.15	强烈的酸味、烟叶味、奶香、水果味
己酸	5 377.96	3 000	1.79	酸味、脂肪味、奶酪味
庚酸	169.90	3 000	0.06	酸味、哈喇味、奶酪味
壬酸	368.86	3 000	0.12	奶酪味、变化的味道
D-柠檬烯	144.25	10	14.42	柑橘味、芳香
2,4-二甲基-噻吩	71.28	3 000	0.02	硫磺、辛辣、肉味
5-乙基二氢-2(3H)-咪唑	388.41	13 000	0.03	药草味、椰像、烟草味
乙基麦芽酚	158.41	44	3.60	焦糖香、草莓酱味、棉花糖味
茴香脑	134.62	100	0.27	芳香、八角、甘草、药味

2.5.3 挥发性香气成分分析

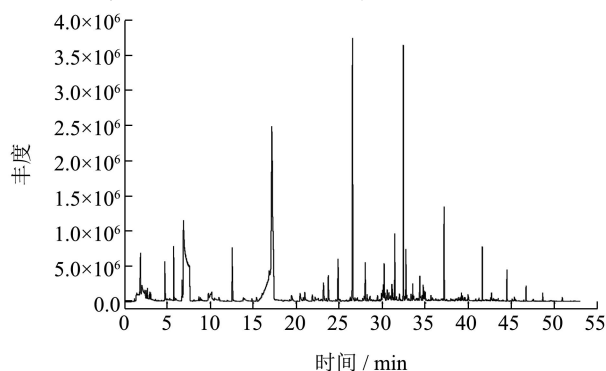


图6 板栗粉挥发性成分总离子流色谱图

Fig.6 Total ion current chromatogram of volatile components of Chinese chestnut powder

采用 GC-MS 对板栗粉香气成分进行分析, 板栗粉挥发性成分总离子流色谱图如图 6 所示, 由图 6 可知, 色谱峰较多, 各个峰得到很好的分离。根据谱库检索和参考相关文献, 共鉴定出 38 种挥发性成分 (表 6), 包括 3 种醇类、7 种醛类、4 种酸类、2 种酮类、10 种烷烃类、4 种萜烯类、3 种酯类以及 5 种其他类化合物。对挥发性成分采用内标法进行定量由图 7 可知, 排在前 4 的为酸类、烷烃、醛类和醇类分别占挥发性成分总量的 42.47%、19.87%、16.81% 和 5.85%。

香气化合物对食品的整体特征风味的贡献大小, 取决于其气味阈值。饱和烷烃类物质由于阈值很高, 几乎不产生明显嗅感, 故不作分析。本文只对查到阈值的化合物进行分析。参照相关文献^[28,29]中化合物在

水中的阈值计算各化合物的 OAV (表 7), 其中己醛 (231.50)、壬醛 (660.86)、(E,E)-2,4-壬二烯醛 (852.15)、D-柠檬烯 (14.42) 的气味活度值 (OAV) 达到 10 以上 (表 6), 对板栗速溶粉香气的构成有重要贡献。另外, OAV 大于 1 的还有己酸 (1.79)、乙基麦芽酚 (3.60), 共筛选出了 6 种关键香气物质, 且这 6 种关键香气物质以醛类物质最为主。

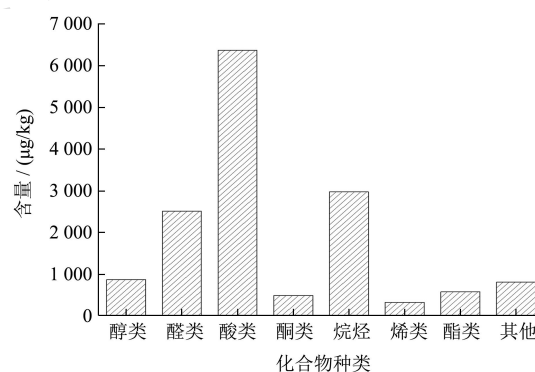


图7 板栗粉香气成分含量

Fig.7 Content of aroma components of Chinese chestnut powder

醛类物质一般是由脂质水解形成游离脂肪酸, 然后饱和和不饱和脂肪酸经历热分解以形成氢过氧化物, 并进一步反应形成^[30]。板栗粉中的醛类物质主要有己醛、苯甲醛、壬醛、(E,E)-2,4-壬二烯醛。己醛是亚油酸在过氧化氢裂解酶体系中过氧化的常见二次产物, 具有青草味、脂肪香, 为板栗粉中含量最高的醛类物质 1041.77 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (占总挥发性风味物质 6.96%)。苯甲醛具有令人愉快的坚果香, 壬醛具有鱼腥味,

(E,E)-2,4-壬二烯醛具有强烈的花果和油脂香气。它们给予了板栗油脂香气,以及花果的甜香气。与梁建兰^[31]报道糖炒板栗含量最多的为醛类物质以及 Sabine Krist 等^[32]测定意大利烤板栗的主要成分挥发性风味物质为苯甲醛(7.2%)和糠醛(6.3%)一致。醇类物质由糖代谢、氨基酸脱氢脱羧作用生成^[33],1-戊醇具有浓郁的水果香和花香,略带辛辣味,1-庚醇具有发酵型气味以及青草味、甜味。酸类物质为戊酸、己酸、庚酸、壬酸等,其中己酸含量高达 5377.96 μg/kg,为所有检测出挥发性物质中含量最高的物质占比 35.91%,具有酸味、脂肪味、奶酪味。戊酸具有强烈的酸味,奶酪带有水果味,庚酸、壬酸也均具有酸味奶酪味。熟制板栗的芳香成分主要来源于糖类、蛋白质和脂类的降解、糖类的焦糖化以及还原糖和氨基酸之间的美拉德反应。

3 结论

采用单因素研究了不同载体材料、添加量以及干燥温度对喷雾干燥效果的影响,通过正交试验,确定了喷雾干燥工艺最佳工艺参数为进口温度 190 °C,进料量 20 mL/min,载体麦芽糊精添加量为板栗质量的 5%。对板栗速溶粉品质分评定表明,制得的板栗速溶粉色泽宜人、风味浓郁、冲调性好,水分含量低,蛋白质含量高,脂肪含量低,色泽、分散性、稳定性好。鉴定出 38 种挥发性香气成分,酸类、烷烃、醛类物质分别占挥发性成分总量的 42.47%、19.87%、16.81%。通过计算 OAV 筛选出了 6 种关键香气物质为己醛、壬醛、(E,E)-2,4-壬二烯醛、D-柠檬烯、己酸和乙基麦芽酚。本实验为解决板栗速溶粉加工过程中的粘壁问题提供了新方案,对板栗的综合开发及其精深加工具有一定价值。

参考文献

- [1] 黄武刚.中国板栗生产的现状、问题与对策[J].中国林业,2003,7:18-19
- [2] 林顺顺,祝美云,张建威.中国板栗的研发现状和前景[J].农产品加工(学刊),2010,12:74-76
- [3] 李瑶瑶.板栗红枣的营养价值及复合饮料的发展前景[J].中国果菜,2014,34(6):44-47
- [4] 王向红,桑建新,张子德,等.不同品种板栗的营养价值和品质分析[J].食品科技,2004,29(3):95-97
- [5] 施显赫.板栗加工过程中营养成分的变化及香气成分的形成机制研究[D].北京:北京林业大学,2014
- [6] 张京芳,袁杰.板栗壳中酚性抗氧化成分的提取分离工艺优化[J].食品科学,2012,33(24):174-179
- [7] 徐志祥.板栗营养价值及其养生保健功能[J].食品研究与开发,2004,25(5):118-119
- [8] 戴永务,刘伟平.中国板栗产业国际竞争力现状及其提升策略[J].农业现代化研究,2012,33(4):456-460
- [9] 易润华,吴光金.板栗防腐保鲜技术的研究现状[J].经济林研究,2000,18(2):62-64
- [10] 蔡荣,魏佳花,祁春节.板栗产业发展现状问题与对策[J].北方果树,2008,4:1-3
- [11] Ferrari C C, Gemer S P M, De Aguirre J M. Effects of spray-drying conditions on the physicochemical properties of blackberry powder [J]. Drying Technology, 2012, 30(2): 154-163
- [12] Osorio C, Forero D P, Carriazo J G. Characterisation and performance assessment of guava (*Psidiumguajava* L.) microencapsulates obtained by spray drying [J]. Food Research International, 2011, 44(5): 1174-1181
- [13] Roustapour, Or, Azad, et al. Determination of pomegranate juice powder properties produced by a pilot plant spray dryer with a two-fluid nozzle [J]. Drying Technology, 2012, 30(16): 1906-1917
- [14] Tonon R V, Brabet C, Hubinger M D. Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried acai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents [J]. Food Research International, 2010, 43: 907-914
- [15] IGual M, Ramires S, Mosquera L H, et al. Optimization of spray drying conditions for lulo (*Solanum quitoense* L.) pulp [J]. Powder Technology, 2014, 256: 233-238
- [16] 杨芙莲,张璐,刘迪,等.速溶即食板栗粉的研究[J].食品科技,2004,6:45-47
- [17] 赵敏生,郑家丰,王海清,等.速溶板栗粉的制备研究[J].食品科技,2007,9:59-61
- [18] GONG Zhiqing, ZHANG Min, Mujumdar As, et al. Spray drying and agglomeration of instant bayberry powder [J]. Drying Technology, 2007, 26(1): 116-121
- [19] 万景瑞,张乐,王赵改,等.新型板栗饮料稳定性研究[J].食品与发酵工业,2019,45(14):158-162
- [20] 张乐,王赵改,杨慧,等.不同干燥方法对板栗品质的影响[J].核农学报,2016,30(12):2363-2372
- [21] 齐香君,苟金霞,韩戊珺,等.3,5-二硝基水杨酸比色法测定溶液中还原糖的研究[J].纤维素科学与技术,2004,12(3):17-19
- [22] The NIST Chemistry WebBook. <https://webbook.nist.gov/chemistry>
- [23] Tontul I, Topuz A. Spray-drying of fruit and vegetable juices: effect of drying conditions on the product yield and physical properties [J]. Trends in Food Science & Technology, 2017,

- 63: 91-102
- [24] Muzaffar K, Kumar P. Effect of soya protein isolate as a complementary drying aid of maltodextrin on spray drying of tamarind pulp [J]. *Drying Technology*, 2016, 34(1/4): 142-148
- [25] SHI Qilong, FANG Zhongxiang, Bhandari B. Effect of addition of whey protein isolate on spray-drying behavior of honey with maltodextrin as a carrier material [J]. *Drying Technology*, 2013, 31(13-14): 1681-1692
- [26] F B Bhandari. Comparing the efficiency of protein and maltodextrin on spray drying of bayberry juice [J]. *Food Research International*, 2012, 48(2): 478-483
- [27] 宋超洋. 小米速溶粉的制备及其性质研究[D]. 无锡: 江南大学, 2016
- [28] 孙宝国, 陈海涛. 食用调香术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2017
- [29] 里奥·范海默特. 化合物香味阈值汇编[M]. 北京: 科学出版社, 2015
- [30] Greenberg, Michael J. Characterization of poultry by-product meal flavor volatiles [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 1981, 29(4): 831-834
- [31] 梁建兰, 李晓颖, 赵玉华, 等. SPME-GC-MS 结合 ROAV 分析糖炒燕山早丰板栗中的特征性香气[J]. *食品科技*, 2019, 44(12): 300-305
- [32] Krist S, Unterweger H, Bandion F, et al. Volatile compound analysis of SPME headspace and extract samples from roasted Italian chestnuts (*Castanea sativa* Mill.) using GC-MS [J]. *European Food Research and Technology*, 2004, 219(5): 470-473
- [33] 万景瑞, 蒋鹏飞, 史冠莹, 等. 三种发酵酒活性成分、抗氧化活性及其香气成分对比分析[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(21): 253-260, 265