

干燥方法对沙葱粉品质特征的影响

张乐道, 曹世英, 云月英, 王国泽, 卢俊

(内蒙古科技大学生命科学与技术学院 食品科学与工程系 内蒙古包头 014010)

摘要 采用真空冷冻干燥(FD)、真空干燥(VD)和热风干燥(HAD)的方法干制沙葱,将干制沙葱研磨后制得沙葱粉,探究不同粒度沙葱粉的品质特征。结果表明:干燥方法对沙葱粉的得率、复水性、堆积密度、流动性、色泽均有显著影响($P<0.05$)。FD沙葱粉的平均粒度最小为 30 μm ;堆积密度最大为 1.57 g/mL;亮度最高为 56;休止角最大为 47.77°。HAD和VD沙葱粉的微观形态分布均匀,由圆形、椭圆等颗粒形状组成,颗粒之间较分散。FD沙葱粉的微观形态由片状、碎屑状等颗粒形状组成,颗粒之间较聚集,堆积密度较高,制取较大颗粒(50目)沙葱粉时得率最高达 50%。

关键词 沙葱;干燥;沙葱粉;品质特征

文章编号 1009-7848(2024)04-0285-09 DOI: 10.16429/j.1009-7848.2024.04.027

沙葱(*Allium mongolicum* Regel),又名蒙古韭,是百合科(Liliaceae),葱属(*Allium*),多年生草本植物。叶片为绿色,耐旱、抗寒能力强,主要分布于中国内蒙古、新疆、甘肃和青海等地区,在俄罗斯和蒙古等国家也有少量分布^[1-4]。沙葱被称为“菜中灵芝”,富含人体所需微量元素,且粗蛋白、粗脂肪、灰分、总膳食纤维等营养成分含量高^[5-8],是内蒙古地区深受欢迎的应季特色蔬菜。沙葱的杆、叶和花中含有较高活性的总黄酮,抗氧化和抗菌能力较高。用沙葱饲喂的羊肉质鲜美,这是因为沙葱中的多糖可提高羊自身的免疫调节作用,对羊肠道免疫球蛋白和外周血淋巴细胞的数量和活性有影响,可减少羊肉的膻味^[9-12]。沙葱具有很高的药用价值,可治疗胸闷、秃疮,降血压、降血脂,促进肠胃蠕动且有助于缓解便秘、腹泻、肠炎等^[13-14]。然而,沙葱水分含量高,季节性强,不耐贮存^[15],极大地限制了其在食品工业中的应用。

热风干燥(Hot air drying,HAD)是常见的干燥方法,成本最低,应用广泛^[16]。HAD的原理是通过加热外界空气并将其送入干燥室内,使物料表面水分蒸发、移除,达到干燥的目的^[17]。真空干燥(Vacuum drying,VD)是将物料置于真空室内,通过降低真空室内的压力,降低蒸发温度,降低物料中水分的沸点,从而能够在较低温度下将物料中

水分蒸发脱除,可有效消除常压干燥情况下容易出现表面硬化等现象,是一种适合保护热敏性物质的干燥方法^[18]。Wu等^[19]研究了VD下茄子的干燥特性,温度升高,增大了干燥速率,真空度对于干燥过程无显著影响。真空冷冻干燥(Freeze drying,FD)是将物料中水分在冻结状态下升华,从而去除水分,实现干燥的方法。干燥过程分为冷冻阶段、升华干燥阶段和解析干燥阶段,广泛应用于生物制品、药品、食品和纳米材料制备等领域^[20]。干燥方法对产品品质和营养成分有决定性的作用^[21-22]。

赵愉涵等^[23]采用HAD、VD和FD制备芹菜叶干制品,发现FD处理后芹菜在化学和营养质量方面的优点超过其它干燥方法^[24-26]。张倩茹等^[27]探讨了FD和HAD对果蔬中酚类物质含量的影响,HAD果蔬粉中酚类物质的保留率为85.94%~93.27%,原花青素的保留率为66.17%~72.58%;FD果蔬粉中总酚的保留率为93.50%~96.98%,原花青素的保留率为95.24%~98.15%。FD可以保持果蔬粉中原有的总酚和原花青素,果蔬粉具有较高的品质和营养价值。将干制果蔬加工成果蔬粉,可降低产品的含水率($\leq 7\%$),延长保质期,利于在食品工业中的广泛应用。目前,已有研究表明干燥方法对沙葱风味物质的影响规律^[28],然而未见对沙葱粉品质特性的探讨。

为了深度开发并推动沙葱的应用,本文以新鲜沙葱为原料,选择热风干燥(HAD)、真空干燥(VD)、真空冷冻干燥(FD)等方法干燥沙葱。将干

收稿日期: 2023-09-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(52006109)

第一作者: 张乐道,女,博士,副教授

E-mail: ldzhang@imust.edu.cn

制沙葱研磨后,获得不同粒度的沙葱粉,分析其品质特性。粒度大小决定沙葱粉的应用领域,干燥方法是沙葱粉品质的决定因素。本文分析不同粒度下HAD、VD、FD沙葱粉的品质特征和微观形态,为沙葱粉的开发及应用提供数据支撑。



图1 沙葱形态图

Fig.1 Morphological diagram of *Allium mongolicum* Regel

1.2 仪器与设备

DHS16-A 多功能红外水分测定仪,上海精密科学仪器有限公司;ZXRD-B5110 热风干燥机,上海智城分析仪器制造有限公司;DZF-6050B 真空干燥机,上海一恒科学仪器有限公司;SCIENTZ-18N 真空冷冻干燥机,宁波新芝生物科技股份有限公司;UTP-313 电子天平,上海花潮电器有限公司;NH310 电脑色差仪,深圳市三恩时科技有限公司;FSJ-A03E1 厨房机械(粉碎机),小熊电器股份有限公司;标准筛(GB/T 6003.1-2012),绍兴市上虞圣超仪器设备有限公司;3-18KS 高速冷冻离心机,Sartorius AG, Weender Landstrasse 94-10837075 Gottingen, Germany;Thermo scientific Apreo 2S 场发射扫描电镜(SEM),赛默飞世尔科技(中国)有限公司。

1.3 方法

1.3.1 干燥方法 将处理好的沙葱均匀平铺在托盘上进行干燥试验。HAD (50℃)、VD (压力 20 kPa, 温度 50℃)、FD (压力 2 Pa, 冷阱温度 -60℃),直至最终含水率<8%(湿基)。分别进行 3 组平行试验。干燥后,干制沙葱真空包装,室温下(25±5)℃保存,供后续制粉使用。

将干制沙葱研磨,每次取干制沙葱 40 g 研磨 2 min,获得沙葱粉,进行 50 目(筛孔 355 μm)、100

1 材料与方法

1.1 材料

新鲜沙葱在 7~9 月购于内蒙古包头市当地市场。将购买的新鲜沙葱清洗,使用吸水纸吸去表面水分,稳定 2 h,测定沙葱的湿基含水率为(91.93±1.71)%,称取 500 g,切成 5 cm 长的段,进行后续干燥试验。沙葱形态如图 1 所示。

目(筛孔 150 μm)、200 目(筛孔 75 μm)过筛,采用四分法取样,进行真空包装,用于后续分析。

1.3.2 沙葱粉得率 粉碎后的沙葱粉质量(M_2)与粉碎前沙葱质量(M_1)的比值,作为计算得率的依据,如式(1)所示。

$$y_i = \frac{M_2}{M_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中, y_i ——得率,%。

1.3.3 沙葱粉色泽 采用主光源为 D65 的电脑色差仪对干燥沙葱粉进行色泽测定,将待测沙葱粉置于玻璃平皿中,测试前用标准白色瓷板进行颜色校准,完成校准后,将样品置于平台避光,进行测定。以新鲜沙葱为标准对照,干制沙葱与新鲜沙葱的总色差值,通过公式(2)计算。

$$\Delta E = \sqrt{(L_0 - L^*)^2 + (a_0 - a^*)^2 + (b_0 - b^*)^2} \quad (2)$$

式中, ΔE ——总色差值; L^* 、 a^* 和 b^* ——干制沙葱样品的亮度值、红度值和黄度值; L_0 、 a_0 和 b_0 ——参照样品(新鲜沙葱)的亮度值、红度值和黄度值。

1.3.4 沙葱粉复水性 称取 1.0 g 沙葱粉置于 50 mL 离心管中,加入 15 mL 蒸馏水,25℃条件下静置 1 h 后,以 10 000 r/min 离心 25 min,倒去上清液,称取离心沉淀物的质量^[29],按式(3)计算。

$$\text{复水性}(\%) = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (3)$$

式中, m_1 ——复水前沙葱粉质量, g; m_2 ——离心沉淀物质量, g。

1.3.5 沙葱粉堆积密度 将沙葱粉装于 1 mL 量筒内, 填充至 10 mL 刻度处, 振实。称量沙葱粉的质量。沙葱粉的堆积密度(ρ_b)计算方法, 如式(4)所示。

$$\rho_b = \frac{M_1 - M_2}{10} \quad (4)$$

式中, ρ_b ——堆积密度, g/mL; M_1 ——沙葱粉和量筒的总质量, g; M_2 ——量筒的质量, g。

1.3.6 沙葱粉溶解性 称取 1.0 g 沙葱粉置于 200 mL 烧杯中, 加入 50 mL 蒸馏水, 在磁力搅拌器上搅拌 5 min, 4 000 r/min 离心 5 min, 取上清液 20 mL 倒入玻璃培养皿置于 105 °C 烘箱中干燥 3 h, 记录干燥后总质量^[30], 采用式(5)计算溶解度。

$$\text{溶解度}(\%) = \frac{(m_3 - m_2) \times V_1}{m_1 \times V_2 \times (1 - w)} \times 100 \quad (5)$$

式中, m_1 ——称取沙葱粉质量, g; m_2 ——玻璃培养皿的质量, g; m_3 ——烘干后玻璃培养皿与固体残渣总质量, g; V_1 ——加入蒸馏水总体积, mL; V_2 ——取上清液体积, mL; w ——沙葱粉含水率, %。

1.3.7 沙葱粉流动性 采用休止角注入法测定流动性。将漏斗固定在铁架台上, 漏斗下端距离坐标纸 8 cm, 取 5 g 沙葱粉使其自由下落成圆锥状。测定堆积圆锥的半径(r , 单位为 mm)与圆锥的高度(h , 单位为 mm), 以 h 与 r 的比值作正切值来表征沙葱粉的流动性^[31], 休止角(θ , 单位为 °)计算采用公式(6)。

$$\tan\theta = \frac{h}{r} \quad (6)$$

1.3.8 沙葱粉的微观组织 采用扫描电子显微镜观测沙葱粉 HAD (50, 100, 200 目)、VD (50, 100, 200 目)、FD (50, 100, 200 目) 的表现形态。扫描电镜制样过程是将电胶粘贴在样品台上, 撕开导电胶, 用牙签粘取粉末样品, 轻轻抖在导电胶上, 用压缩气罐吹去未粘稳的粉末, 在离子溅射仪中喷金 120 s 左右, 卸去真空并移入样品台, 加速电压 5.00 kV, 电子束束流强度 0.2 nA, 工作距离 WD 10.0 mm, 水平宽度 HFW 414 μm , 将处理好的沙

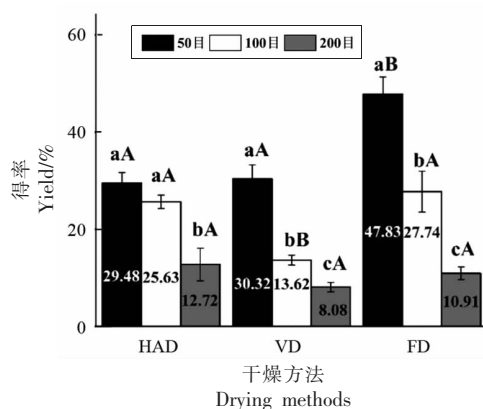
葱粉, 放入扫描电子显微镜观察台, 调节扫描电镜的焦距, 在 1 000 \times 放大倍数下对沙葱粉样品进行表现形态的观察, 用于后续分析。

1.3.9 数据处理 采用 OriginPro plus 2021 软件绘图, 采用 Excel 2016 软件进行数据处理。试验设 3 次平行, 结果取平均值进行分析。图中, 小写字母代表同一干燥方法下不同粒度之间的显著性, 大写字母代表同一粒度下不同干燥方法之间的显著性。

2 结果与分析

2.1 沙葱粉的得率

粒度和干燥方法对沙葱粉得率的影响如图 2 所示。从图 2 可以看出, 粒度越大, 得率越高。同一粒度下, 得率受干燥方法影响较大。HAD、VD、FD 这 3 种干燥方法之间的得率差异显著 ($P < 0.05$), 当粒度为 50 目时, FD 的得率显著高于 HAD 和 VD 的 ($P < 0.05$); 当粒度为 100 目时, VD 的得率显著低于 FD 和 HAD 的 ($P < 0.05$); 当粒度为 200 目时, HAD 的得率高于 FD 和 VD 的。结果表明, 在制取粒度 50 目的沙葱粉时, 采用 FD 的方法得率最大, 显著高于 HAD 和 VD; 在制取粒度 100 目的沙葱粉时, 采用 VD 的方法得率最小, 显著低于 HAD 和 FD; 在制取粒度 200 目的沙葱粉时, HAD、VD、FD 这 3 种干燥方法的得率无显著差异 ($P < 0.05$)。



注: 小写字母代表同一干燥方法下的显著性, 大写字母代表同一粒度不同干燥方法之间的显著性。

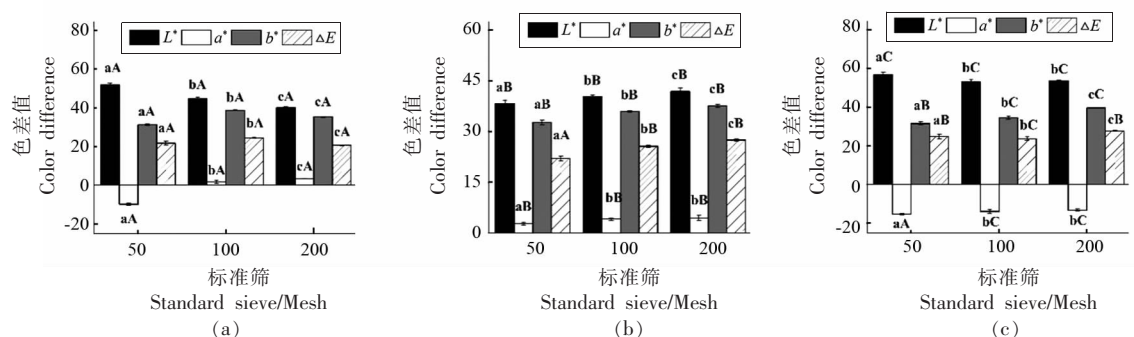
图 2 不同干燥方法对沙葱粉得率的影响

Fig.2 Effect of different drying methods on the yield of *Allium mongolicum* Regel

2.2 沙葱粉的色泽

以新鲜沙葱为参照,对比了不同干燥方法下粒度变化时沙葱粉的色泽参数,结果见图3。 L^* 值表示沙葱的亮暗,正值代表偏亮(正值越高,物料越亮)、负值代表偏暗(负值的绝对值越大,物料越暗), a^* 值表示沙葱的红绿,正值代表偏红(正值越

高,物料越红)、负值代表偏绿(负值的绝对值越大,物料越绿), b^* 值表示沙葱黄蓝,正值代表偏黄(正值越高,物料越黄)、负值代表偏蓝(负值的绝对值越大,物料越蓝), ΔE 表示样品与鲜样的总色差值(数值越小,与鲜样越接近)。



注:小写字母代表同一干燥方法下的显著性,大写字母代表同一粒度不同干燥方法之间的显著性。

图3 不同干燥方法对沙葱粉色泽的影响

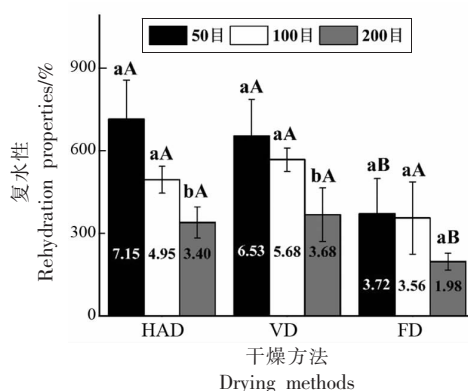
Fig.3 Effect of different drying methods on the color of *Allium mongolicum* Regel

由图3可知,沙葱粉的色泽受粒度和干燥方法影响显著($P<0.05$),HAD、VD、FD这3种干燥方法制备的沙葱粉的 L^* 值差异显著,FD制备的沙葱粉 L^* 值最高。当粒度为50目时,VD制备的沙葱粉 L^* 值最低。当粒度为100目时,VD制备的沙葱粉 L^* 值最低;HAD、VD、FD这3种干燥方法制备的沙葱粉的 a^* 值有明显差异,FD制备的沙葱粉 a^* 值偏绿,VD制备的沙葱粉 a^* 值偏红;HAD、VD、FD这3种干燥方法制备的沙葱粉的 b^* 值有明显差异,HAD制备的沙葱粉 b^* 值最高,FD制备的沙葱粉 b^* 值最低。

综上,干制方法和粒度对沙葱粉的色泽影响显著。当采用HAD干燥时,制取200目沙葱粉的 ΔE 最小,与新鲜沙葱颜色最接近;当采用VD干燥时,制取50目沙葱粉的 ΔE 最小,与新鲜沙葱颜色最接近;当采用FD干燥时,制取50目沙葱粉的 ΔE 最小,与新鲜沙葱颜色最接近。在制取粒度为50目和100目的沙葱粉时,采用FD的方法会使沙葱粉的 L^* 和 a^* 提高,高于HAD和VD的结果;在制取粒度200目的沙葱粉时,采用FD的方法会使沙葱粉的 L^* 、 a^* 、 b^* 提高,高于HAD和VD的结果。

2.3 沙葱粉的复水性

复水性反映了沙葱粉与水分结合并保持的能力。粒度和干燥方法对沙葱粉复水性的影响,如图4所示。从图中可以看出,粒度越大,复水性越好。同一粒度下,复水性受干燥方法的影响较大。HAD与VD之间复水性无显著性差异,FD与HAD和VD之间的复水性差异显著($P<0.05$),当粒度为50



注:小写字母代表同一干燥方法下的显著性,大写字母代表同一粒度不同干燥方法之间的显著性。

图4 不同干燥方法对沙葱粉复水性的影响

Fig.4 Effect of different drying methods on the rehydration of *Allium mongolicum* Regel powder

目时,HAD和VD的复水性显著高于FD($P < 0.05$);当粒度为100目时,VD的复水性高于HAD和FD。

综上,在制取粒度50目和200目的沙葱粉时,采用FD的方法复水性最小,显著低于HAD和VD的结果;在制取粒度100目的沙葱粉时,HAD、VD、FD这3种干燥方法的复水性无显著差异。

2.4 沙葱粉的堆积密度

堆积密度是评价粉体加工特性的一项重要指标。粒度和干燥方法对沙葱粉堆积密度的影响,如图5所示。从图中可以看出,粒度越大,堆积密度越小。同一粒度下,堆积密度受干燥方法影响较大。HAD和VD之间堆积密度无显著性差异,FD与HAD和VD之间的堆积密度差异显著($P < 0.05$)。当粒度为50目时,FD的堆积密度显著低于HAD和VD($P < 0.05$);当粒度为100目时,FD的堆积密度显著低于HAD和VD($P < 0.05$);当粒度为200目时,FD的堆积密度显著高于HAD和VD($P < 0.05$),得出采用FD制备的沙葱粉粉体最细,颗粒间隙最小,堆积密度最高。表明,在制取粒度50目和100目的沙葱粉时,采用FD的方法堆积密度最小,显著低于HAD和VD;在制取粒度200目的沙葱粉时,采用FD的方法堆积密度最大,显著高于HAD和VD。粒度大小对FD沙葱粉的堆积密度影响显著,减小粒度至200目时可增大堆积密度至50目时的9倍。

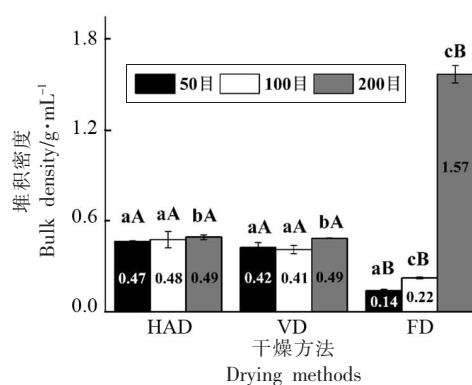
2.5 沙葱粉的溶解性

溶解性反映沙葱粉在水溶液中的分散行为,是评价沙葱粉物理性能的重要指标。粒度和干燥方法对沙葱粉溶解性的影响,如图6所示。

从图6可以看出,3种干燥方法对溶解性无显著性差异($P > 0.05$),3种粒度对溶解性无显著性差异($P > 0.05$),表明干燥方法和粒度对沙葱粉的溶解性影响较小。FD的溶解性高于HAD和VD的结果。沙葱粉体细、质地实,入水后表面迅速吸水而包围了内部的沙葱粉,使得内部沙葱粉无法溶解,从而造成了较多的结块,致使溶解性受到的影响不显著。

2.6 沙葱粉的流动性

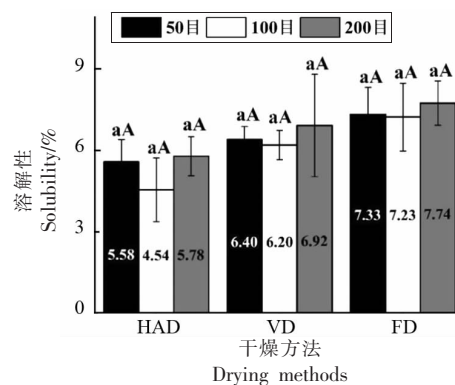
休止角反映粉体的流动性,休止角越小,摩



注:小写字母代表同一干燥方法下的显著性,大写字母代表同一粒度不同干燥方法之间的显著性。

图5 不同干燥方法对沙葱粉堆积密度的影响

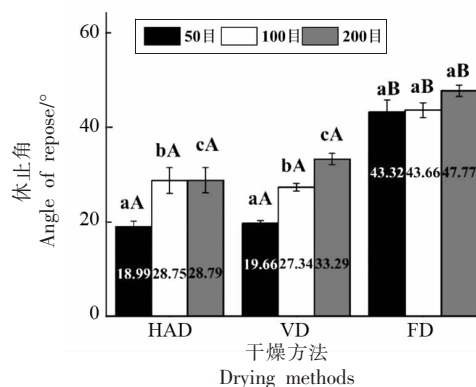
Fig.5 Effect of different drying methods on the bulk density of *Allium mongolicum* Regel powder



注:小写字母代表同一干燥方法下的显著性,大写字母代表同一粒度不同干燥方法之间的显著性。

图6 不同干燥方法对沙葱粉溶解性的影响

Fig.6 Effect of different drying methods on the solubility of *Allium mongolicum* Regel powder



注:小写字母代表同一干燥方法下的显著性,大写字母代表同一粒度不同干燥方法之间的显著性。

图7 不同干燥方法对沙葱粉流动性的影响

Fig.7 Effect of different drying methods on the fluidity of *Allium mongolicum* Regel powder

擦力越小,流动性越好,一般认为休止角 $\theta \leq 30^\circ$ 时流动性好,休止角 $\theta \leq 40^\circ$ 时可以满足生产过程中的流动性需求^[32]。粒度和干燥方法对沙葱粉流动性的影响,如图7所示。从图7可以看出,粒度越大,流动性越大。同一粒度下,流动性受干燥方法影响较大。HAD、VD、FD这3种干燥方法之间的流动性差异显著($P < 0.05$),当粒度为50目、100目和200目时,FD的流动性显著低于HAD和VD($P < 0.05$),采用FD制备的沙葱粉粉体细腻,休止角最大,流动性最小。Zhang等^[33]研究结果表明,颗粒越小,香菇粉末的流动性越大;梁晓君等^[34]的研究结果则表明,玉木耳粉体粒度越小,其流动性越小。二者的差异可能是由于不同原料和粒度颗粒间作用力不同,这与本文研究结果不矛盾。

从图7还可以看出,采用HAD和VD干燥时,粒度在200目时的休止角是50目时的1.7倍,粒度越小,休止角越大,流动性越差。采用FD干燥时,粒度对沙葱粉的流动性影响不显著。而FD制备的沙葱粉颗粒较细,整体休止角最大,流动性最差。

2.7 沙葱粉的微观结构

沙葱粉的表现形貌和微观形态差异主要是由干燥方法不同所致。HAD、VD、FD制备的沙葱粉微观形态,如图8所示。从图8可以看出,HAD、VD、FD对沙葱粉微观形态有明显影响,采用HAD制备的沙葱粉颗粒形态大多呈现不规则条形结构,形状大小不一,周围还附着有较小的片状物;

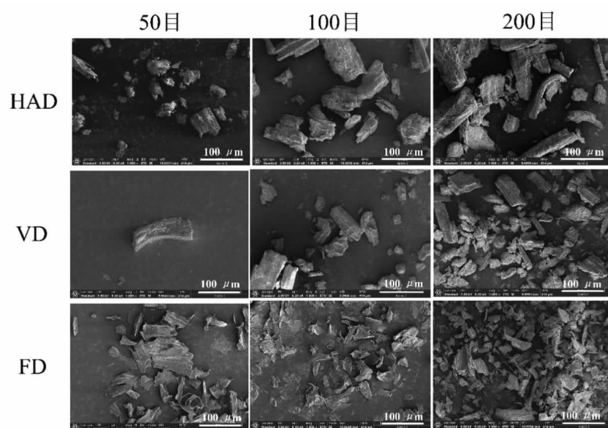


图8 不同干燥方法下沙葱粉扫描电镜微观形态图(1 000×)

Fig.8 Microscopic morphology of *Allium mongolicum* Regel powder under different drying methods (1 000×)

采用VD制备的沙葱粉颗粒形态同样呈现不规则的条形结构,与HAD制备的沙葱粉形状差异不明显;采用FD制备的沙葱粉颗粒形态呈现不规则片层状,颗粒表面折叠起皱,变得粗糙,有较小的片状物附着。

从图8还可以看出,粒度为50目时制备的沙葱粉颗粒最大,且颗粒间空隙较大,其中,VD制备的沙葱粉颗粒间空隙明显大于HAD和FD;粒度在100目时,制备的沙葱粉颗粒分布较分散,VD制备的沙葱粉颗粒间空隙明显大于HAD和FD;粒度在200目时制备的沙葱粉颗粒最小,颗粒间空隙较小,空隙越小堆积密度越大,溶解性越好。采用FD制备的沙葱粉,200目时,其堆积密度显著高于HAD和VD,是由于物料在冻干状态下较为完好的保存了骨架结构,骨架没有皱缩、变形,经过粉碎后,颗粒很薄、很细,分子间的静电、疏水相互作用甚至共价键增强,从而导致物料聚集。

3 结论

本文采用HAD、VD和FD干燥沙葱,进而获得沙葱粉。研究发现,沙葱粉颗粒的得率、复水性、堆积密度、溶解性、流动性、微观形态与干燥方法和颗粒粒度(50,100,200目)有关;与鲜样相比,FD沙葱粉的色泽与鲜样最接近,VD沙葱粉色泽与鲜样差异显著($P < 0.05$);HAD与VD颗粒微观形态差异较小,与HAD和VD相比,FD颗粒形态差异较大,呈现片状。FD制得沙葱粉的休止角最大,流动性最差,与鲜样最接近。试验结果将为沙葱粉的应用提供理论依据。

参 考 文 献

- [1] 唐式敏. 蒙古韭主要生物学特性及生理基础的研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2010.
TANG S M. Study on the biological character and the basic physiological of *Allium mongolicum* Regel [D]. Wulumuqi: Xinjiang Agricultural University, 2010.
- [2] CHEN Y, DING Z J, WU Y Z, et al. Effects of *Allium mongolicum* Regel and its flavonoids on constipation[J]. *Biomolecules*, 2019, 10(1): 14.
- [3] 敖长金. 沙葱化学成分及其生物学功能研究进展[J].

- 饲料工业, 2010, 31(18): 1-5.
- AO C J. Recent advances in chemical ingredients and biological function of *Allium mongolicum* Regel [J]. Feed Industry, 2010, 31(18): 1-5.
- [4] ZHANG T Y, CHEN H K, ZHANG C R. Polymorphic microsatellite markers for *Allium mongolicum* Regel (Amaryllidaceae) [J]. Genes Genetic Syst, 2014, 89(3): 133-136.
- [5] 冯述娜. 沙葱及其提取物对动物生产和经济效益的影响[J]. 饲料研究, 2022, 45(7): 157-160.
- FENG S N. Effect of and its extracts on animal production and economic benefits[J]. Feed Research, 2022, 45(7): 157-160.
- [6] 董勇喆, 瞿璐, 李晓霞, 等. 沙葱化学成分的分离与结构鉴定 I [J]. 中国药物化学杂志, 2015, 25(4): 298-302.
- DONG Y Z, ZHAI L, LI X X, et al. Isolation and identification of constituents from *Allium mongolicum* Regel I [J]. Chinese Journal of Medicinal Chemistry, 2015, 25(4): 298-302.
- [7] 董勇喆, 史文中, 杨圣财, 等. 沙葱化学成分的分离与结构鉴定 II [J]. 天津中医药大学学报, 2016, 35(6): 404-408.
- DONG Y Z, SHI W Z, YANG S C, et al. Isolation and structural identification of constituents from *Allium mongolicum* Regel II [J]. Journal of Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, 2016, 35(6): 404-408.
- [8] WANG W Y, LI J, ZHANG H Z, et al. Phenolic compounds and bioactivity evaluation of aqueous and methanol extracts of *Allium mongolicum* Regel [J]. Food Sci Nutr, 2019, 7(2): 779-787.
- [9] 卢媛. 沙葱、地椒风味活性成分及其对绵羊瘤胃发酵和羊肉风味的影响[D]. 呼和浩特市: 内蒙古农业大学, 2002.
- LU Y. The active ingredients of ground onion and ground pepper and their effects on rumen fermentation and lamb flavor[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2002.
- [10] 敖长金. 沙葱及其提取物的抗氧化、抗炎和免疫调节作用[J]. 饲料工业, 2021, 42(11): 1-6.
- AO C J. Antioxidative, anti-inflammatory, and immunomodulatory effects of shallot and its extracts[J]. Feed Industry, 2021, 42(11): 1-6.
- [11] MU Q E, CHEN L X, AO C J, et al. Effects of *Allium mongolicum* Regel flavonoids on immune function of mutton sheep[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2023, 35(6): 3943-3954.
- [12] 敖长金, 赵亚波, 白晨, 等. 沙葱及其提取物对羊肉膻味的调控作用研究进展[J]. 动物营养学报, 2022, 34(10): 6371-6378.
- AO C J, ZHAO Y B, BAI C, et al. Research progress on regulation of *Allium mongolicum* Regel and its extracts on mutton flavor[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2022, 34(10): 6371-6378.
- [13] 张宇宏. 沙葱和油料籽实对绵羊血液生化指标的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2005.
- ZHANG Y H. Effect of sand onion and oil seed on blood biochemical indexes of sheep[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2005.
- [14] 乌仁张嘎. 沙葱挥发油的提取、成分鉴定及其体外抑菌效果的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2011.
- WU R Z G. Extraction, composition identification and bacterial inhibition of essential oil *in vitro* [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2011.
- [15] BU H Y, HU J, HAN F, et al. Polypropylene/poly(butylene adipate-co-terephthalate) breathing film for inhibiting *Pseudomonas* and maintaining microbial communities and postharvest quality of *Allium mongolicum* Regel during storage[J]. Foods, 2023, 12: 1567.
- [16] DUAN X, LIU W, REN G Y, et al. Comparative study on the effects and efficiencies of three sublimation drying methods for mushrooms [J]. Int J Agr Biol Eng, 2015, 8(1): 91-97.
- [17] 承春平. 不同预处理下切分杏热风干燥特性及相关品质研究[D]. 乌鲁木齐市: 新疆农业大学, 2022.
- CHENG C P. Study on the drying characteristics and related quality of hot apricot under different pretreatment[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2022.
- [18] PARIKH D. Vacuum drying: Basics and application [J]. Chem Eng, 2015, 122(4): 48-54.
- [19] WU L, ORIKASA T, OGAWA Y, et al. Vacuum drying characteristics of eggplants[J]. J Food Eng, 2007, 83(3): 422-429.
- [20] BLACKSHAW K, WU J, PROSCHOGO N, et al. The effect of thermal pasteurization, freeze-drying, and gamma irradiation on donor human milk[J]. Food Chemistry, 2022, 373: 131402.

- [21] 林雅文, 李艾青, 田心怡, 等. 中短波红外干燥温度对南美白对虾干燥特性、虾青素含量和微观结构的影响[J/OL]. 中国食品学报: 1-11. (2023-08-29) [2023-09-01]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4528.TS.20230829.1312.004.html>.
LIN Y W, LI A Q, TIAN X Y, et al. Effect of medium and short-wave infrared drying temperature on drying characteristics, astaxanthin content and microstructure of *Penaeus vannamei*[J/OL]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology: 1-11. (2023-08-29)[2023-09-01]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4528.TS.20230829.1312.004.html>.
- [22] 吴永祥, 俞昌浩, 刘刚, 等. 黄山臭鳊鱼热风干燥动力学及其品质特性[J]. 中国食品学报, 2023, 23(8): 286-295.
WU Y X, YU C H, LIU G, et al. Hot-air drying kinetics and quality characteristics of Huangshan Stinky Mandarin fish[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2023, 23(8): 286-295.
- [23] 赵愉涵, 袁丽雪, 王敏, 等. 不同干燥方式对芹菜叶品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(8): 205-211.
ZHAO Y H, YUAN L X, WANG M, et al. The influence of different drying methods on celery leaf quality [J]. Food and Fermentation Industry, 2022, 48(8): 205-211.
- [24] SOHAM S. Freeze drying process: A review[J]. Int J Pharm Sci Res, 2011, 2(12): 3061.
- [25] SAGAR B, TATJANA S J, CRISTINA R. Freeze-drying of plant-based foods[J]. Foods, 2020, 9(1): 87.
- [26] OYINLOYE T M, YOON W B. Effect of freeze-drying on quality and grinding process of food produce: A review[J]. Processes, 2020, 8(3): 354.
- [27] 张倩茹, 尹蓉, 王贤萍. 热风干燥与真空冷冻干燥对果蔬酚类物质含量的影响[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(16): 106-108.
ZHANG Q R, YIN R, WANG X P. Effect of hot air drying and vacuum freeze-drying on the content of phenolic substances in fruit and vegetable powder [J]. Anhui Agricultural Science, 2017, 45(16): 106-108.
- [28] ZHANG L D, CAO S Y, LI J F, et al. Effects of drying methods on the volatile compounds of *Allium mongolicum* Regel[J]. Foods, 2022, 11(14): 2080.
- [29] 马晓彤. 紫苏叶预处理联合微波干燥过程传质规律及气味分析[D]. 无锡: 江南大学, 2021.
MA X T. Mass transfer rule and odor analysis of *Perilla* leaf pretreatment combined with microwave drying process[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2021.
- [30] 曾著莉, 魏晋梅, 牛黎莉, 等. HS-SPME-GC-MS 分析马铃薯挥发性风味物质[J]. 食品与生物技术学报, 2019, 38(6): 123-130.
ZENG Z L, WEI J M, NIU L L, et al. HS-SPME-GC-MS analysis of volatile potato flavors[J]. Journal of Food and Biotechnology, 2019, 38(6): 123-130.
- [31] YANG W J, YU J, PEI F, et al. Effect of hot air drying on volatile compounds of *Flammulina velutipes* detected by HS-SPME-GC-MS and electronic nose[J]. Food Chem, 2016, 196: 860-866.
- [32] 陈晓旭, 易建勇, 毕金峰, 等. 不同联合干燥方式对火龙果粉品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(1): 106-112.
CHEN X X, YI J Y, BI J F, et al. The influence of different combined drying methods on the quality of pitaya fruit powder[J]. Food and Fermentation Industry, 2015, 41(1): 106-112.
- [33] ZHANG Z PI, SONG H G, PENG Z, et al. Characterization of stipe and cap powders of mushroom (*Lentinus edodes*) prepared by different grinding methods[J]. J Food Eng, 2012, 109(3): 406-413.
- [34] 梁晓君, 廖才学, 黄振勇, 等. 不同干燥和粉碎方式对玉木耳粉粉体特性和营养成分的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(1): 96-100, 109.
LIANG X J, LIAO C X, HUANG Z Y, et al. Effect of different drying and grinding methods on the powder characteristics and nutritional components of *Auricularia nigricans* powder[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(1): 96-100, 109.

Effect of Drying Method on Quality Characteristics of *Allium mongolicum* Regel Powder

Zhang Ledao, Cao Shiyang, Yun Yueying, Wang Guoze, Lu Jun

(Department of Food Science and Engineering, School of Life Science and Technology, Inner Mongolia University)

of Science and Technology, Baotou 014010, Inner Mongolia)

Abstract *Allium mongolicum* Regel must be made into powder so as to be used widely in the food industry, and the quality of *Allium mongolicum* Regel powder determines the application range of *Allium mongolicum* Regel. In this paper, the methods of vacuum freeze drying (FD), vacuum drying (VD) and hot air drying (HAD) were used to dry *Allium mongolicum* Regel, and the dried *Allium mongolicum* Regel were ground to obtain *Allium mongolicum* Regel powder, and the quality characteristics of *Allium mongolicum* Regel powder with different particle sizes were further explored. The results showed that the drying method had significant effects on the yield, rehydration, bulk density, fluidity and color of *Allium mongolicum* Regel powder ($P < 0.05$). FD powder has the smallest average particle size ($30 \mu\text{m}$), the largest bulk density (1.57 g/mL), the highest brightness (56) and the highest angle of repose (47.77°). The micromorphological distribution of HAD and VD *Allium mongolicum* Regel powder is uniform, composed of round, oval and other particle shapes, and the particles are more dispersed. The micromorphology of FD *Allium mongolicum* Regel powder is composed of flakes, chips and other particle shapes, and the particles are more aggregated with higher bulk density. The other characteristics of FD *Allium mongolicum* Regel powder is highest yield (50%) when bigger particle (50 mesh) is obtained.

Keywords *Allium mongolicum* Regel; drying; *Allium mongolicum* Regel powder; quality characteristics