

干燥方法对块状红糖的干燥速率及理化性质的影响

杜习纲, 刘洁, 周锋, 拓朝月, 刘明寒, 谢彩锋

(广西大学轻工与食品工程学院, 广西南宁 530004)

摘要: 本文以块状红糖的干燥速率、溶解性、总酚含量、色值和糖含量的变化为考察指标, 对比分析了热风干燥和真空干燥在不同干燥温度(45℃、50℃、55℃、60℃、65℃、70℃)下块状红糖的干燥速率及理化性质的影响。结果表明: 两种干燥方法对块状红糖的干燥速率、溶解性和总酚含量的影响有显著差异($p < 0.05$), 而对色值、蔗糖含量、葡萄糖含量和果糖含量无显著影响($p > 0.05$)。在70℃真空干燥中, 干燥速率为 1.36 ± 0.03 mg水/min; 红糖的溶解时间最快, 仅为 317 ± 6 s; 总酚含量为 5.60 ± 0.04 mg GAE/g, 保留率达到94.92%; 红糖色值为 19900 ± 100 IU, 增加率仅为10.56%。综合考虑, 认为不同方法和不同温度对块状红糖干燥速率及理化性质有较大的影响, 且块状红糖的干燥处理宜使用真空干燥方法, 干燥温度以70℃为最适宜。

关键词: 块状红糖; 干燥速率; 溶解性; 总酚含量

文章编号: 1673-9078(2020)01-214-219

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.1.030

Effect of Drying Method on Drying Rate, Physical and Chemical Properties of Brown Sugar

DU Xi-shang, LIU Jie, ZHOU Feng, TUO Chao-yue, LIU Ming-han, XIE Cai-feng

(College of Light Industry and Food Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: In this work, the drying rate, solubility, total phenol content, color value and sugar content of brown sugar were used as indicators to evaluate the effects of hot air drying and vacuum drying at different drying temperatures (45 °C, 50 °C, 55 °C, 60 °C, 65 °C, 70 °C) on drying rate and physical and chemical properties of brown sugar. Results indicated that the two drying methods had significant effects on the drying rate, solubility and total phenol content of the brown sugar ($p < 0.05$), but the color value, fructose content, glucose content and sucrose content were not significantly different ($p > 0.05$). In vacuum drying at 70 °C, the drying rate was 1.36 ± 0.03 mg water/min, brown sugar had the fastest dissolution time of only 317 ± 6 s, total phenol content was 5.60 ± 0.04 mg GAE/g, retention rate was 94.92%, brown sugar color value was 19900 ± 100 IU, the increase rate was only 10.56%. In conclusion, different methods and different temperatures had a greater influence on the drying rate and physical and chemical properties of brown sugar. The optimal condition of the drying treatment of brown sugar was vacuum drying, and the drying temperature was 70 °C.

Key words: brown sugar; drying rate; Solubility; total phenolic content

红糖, 又称为非分蜜糖, 以甘蔗为原料加工未经分蜜而制成^[1], 保有甘蔗汁中绝大部分营养物质, 如多酚、多苷烷醇、氨基酸、维生素及钾、铁等多种矿物质元素^[2,3], 具有益气补血、抗癌症、抗突变、促进Vc吸收, 防治坏血病, 抗脂质过氧化, 防龋固齿, 抗毒素和细胞保护, 防衰老, 美容护肤, 保持体内代

收稿日期: 2019-08-14

基金项目: 广西壮族自治区重点研发计划项目(桂科AB17195069); 广西壮族自治区科技重大专项(桂科AA17204092)

作者简介: 杜习纲(1994-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 制糖梯度生产及产品多元高值化

通讯作者: 谢彩锋(1976-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 制糖梯度生产及产品多元高值化

谢平衡等功效^[4,5], 老少皆宜, 一直深受消费者所喜爱。目前红糖在全球产量约1300万t, 主要产量是在印度(占50%)、哥伦比亚(占17%)及巴基斯坦(占10%)^[6,7], 我国红糖产量仅为30多万t。

目前我国市场销售的红糖主要以块状红糖为主, 有原味红糖, 也有风味红糖, 如玫瑰、枸杞、姜味等。在工业生产块状红糖的过程中, 为了保证红糖成型性, 放糖时锤度一般仅为 $90 \square Bx$ 左右, 因此所得块状红糖水分含量通常比较高, 为6%~10%, 这远高于红糖国家标准要求, 须进行干燥处理才能出厂。红糖水分含量过高会影响红糖贮藏性能, 如霉变、吸潮等, 进而影响产品销售^[8]。方宝庆^[9]等通过对谷物的研究, 发现水分含量对霉菌含量有较大的影响。所以需要对比

糖进行干燥处理,以改善其贮藏稳定性和品质。

目前块状红糖生产常用的干燥方法主要是热风干燥。但事实上,因为红糖中营养物质和风味物质多为热敏性物质,同时其所含还原糖与氨基酸之间美拉德反应对温度更为敏感,因此不同的干燥方法会对红糖外观、溶解性能、风味及营养物质等产生影响,因此寻找一种干燥效率高且对块状红糖外观、溶解性能及活性物质影响较小的干燥方法对保障块状红糖品质和营养价值很有必要。本研究采用热风干燥和真空干燥两种方法对块状红糖进行干燥处理,对比了不同温度下的两种干燥方法的干燥速率,红糖溶解性、总酚含量、色值和糖含量等变化规律,确定块状红糖的适宜干燥方法,为工业生产块状红糖干燥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

块状红糖:自制,即将 50 nm 陶瓷膜过滤的甘蔗汁经真空蒸发(真空度为 0.028 MPa)、常压煮制后倒入模具而得,每块重量为 $18 \text{ g} \pm 0.5 \text{ g}$ 。

氢氧化钠、福林酚、没食子酸(分析纯),国药集团化学试剂有限公司;乙腈(色谱纯),德国默克试剂公司;蔗糖、葡萄糖、果糖标准品,美国 sigma 公司。

1.2 实验仪器

DZF 系列真空干燥箱,上海一恒科学仪器有限公司;电热恒温鼓风干燥箱(DHG-9140A 型),上海精宏实验设备有限公司;紫外/可见分光光度计(UV-1800),上海美谱达仪器有限公司;PLE204E 分析天平,梅特勒托利多仪器有限公司;1160 Infinity 安捷伦高效液相色谱仪,美国安捷伦科技公司;0.45 μm 微孔滤膜,天津津腾实验设备有限公司;FE22 pH 计,梅特勒托利多仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 不同干燥方法的干燥速率

取刚熬煮成型未干燥的块状红糖(重量为 $18 \text{ g} \pm 0.5 \text{ g}$),置于托盘中,分别进行热风干燥和真空干燥处理,干燥温度分别为 45°C 、 50°C 、 55°C 、 60°C 、 65°C 、 70°C ,干燥至红糖水分含量 $3.85\% \pm 0.15\%$ 以下。水分含量的测定参照国家标准中减压干燥法。干燥速率的计算参照王鹤的方法^[10],计算公式如下:

$$\text{干燥速率}(\text{mg 水}/\text{min}) = (m_1 - m_2) / \Delta t \quad (1)$$

式中: m_1 为未干燥样品的质量, g; m_2 为样品干燥至目

标水分时的质量, g; Δt 为干燥至目标水分所用时间, min。

1.3.2 干燥方法对块状红糖溶解性的影响

红糖溶解性以红糖完全溶解消耗的时间进行衡量,是指在搅拌状态下(磁力搅拌, 300 r/min)将整块红糖放入 400 mL 的蒸馏水中,至红糖完全溶解所消耗的时间,从红糖放入蒸馏水瞬间开始计时。实验重复 3 次,取平均值。

1.3.3 干燥方法对块状红糖总酚含量的影响

总酚含量的测定采用 Xu 的方法^[11]。

1.3.3.1 标准溶液的制备

以没食子酸工作液为多酚标准品制作没食子酸浓度-吸光度的标准曲线,根据吸光度测量结果和标准曲线计算得出总酚含量,单位为 mg GAE/g。

1.3.3.2 样品的制备

称取红糖 1 g (精确到 0.0001 g),溶于 25 mL 蒸馏水中,从中取 2 mL 溶液于 25 mL 容量瓶中,用蒸馏水定容至刻度。分别移取没食子酸工作液及测试液各 1.0 mL 于刻度试管内,在每个试管中分别加入 5.0 mL 的福林酚试剂,摇匀 1 min 后加入 4.0 mL 7.5% 碳酸钠溶液后,用蒸馏水定容至刻度,室温下放置 60 min,用紫外分光光度计测定其在 765 nm 波长处的吸光度,以不加红糖溶液的试样为实验空白组。实验平行 3 组,取平均值。

1.3.4 干燥方法对块状红糖色值的影响

称取 1 g 样品,精确到 0.001 g,溶于 100 mL 蒸馏水,用 NaOH 溶液调整溶液的 pH 值为 7.0 ± 0.1 ,随后用 0.45 μm 的微孔滤膜过滤,用紫外分光光度计在 420 nm 波长处测量滤液的吸光度^[12]。实验平行 3 组,数据取平均值,色值计算公式如下:

$$\text{色值}(\text{IU}) = (A_{420} \times 1000) / (b \times c) \quad (2)$$

式中: b 为比色皿厚度, cm; c 为溶液浓度, g/mL; A_{420} 为溶液在 420 nm 波长的吸光度。

1.3.5 干燥方法对块状红糖糖类物质的影响

1.3.5.1 色谱条件

色谱柱:依利特氨基柱(5 μm , 4.6 mm \times 250 mm);流动相:乙腈-水(75:25);检测器:示差折光检测器;柱温: 35°C ;进样量: 20 μL ;流动相流速: 1 mL/min;运行时间: 15 min。

1.3.5.2 溶液的配制

采用高效液相色谱法分析红糖中的葡萄糖、果糖、蔗糖含量。分别以果糖,葡萄糖,蔗糖标准品为标准物质制作标准曲线。称取红糖样品 1 g (精确至 0.0001 g),加超纯水溶解,定容至 100 mL,混匀,经 0.45 μm 微孔滤膜过滤,滤液待上机分析。实验平行 3 组,结果取平均值。

1.3.6 数据分析

利用 SPSS 22.0 软件进行计算平均值和标准偏差并对结果进行显著性分析, $p < 0.05$ 表示显著差异; 应用 Origin 2018 对所得数据进行图形绘制。

2 结果与分析

2.1 不同干燥方法的块状红糖干燥速率

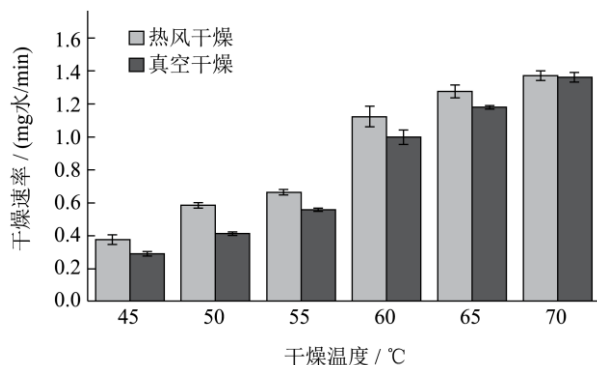


图1 不同干燥方法的块状红糖干燥速率

Fig.1 Block brown sugar drying rate by different drying methods

由图1可知随着温度的升高, 两种干燥方法的干燥速率不断增大^[13]。在热风干燥条件下, 红糖干燥速率为 0.37 ± 0.03 mg 水/min~ 1.37 ± 0.03 mg 水/min, 70 °C 的干燥速率相对于 45 °C 增长了 2.70 倍 ($p < 0.05$); 真空干燥的干燥速率为 0.29 ± 0.01 mg 水/min~ 1.36 ± 0.03 mg 水/min, 70 °C 的干燥速率相对于 45 °C 增长了 3.69 倍 ($p < 0.05$)。在同一干燥温度下, 热风干燥的干燥速率比真空干燥的高, 在 45 °C、50 °C、55 °C 时, 有显著差异 ($p < 0.05$), 但温度上升至 60 °C、65 °C、70 °C 时, 则无显著差异 ($p > 0.05$)。在 70 °C 时, 热风干燥的干燥速率为 1.37 ± 0.03 mg 水/min, 真空干燥的干燥速率为 1.36 ± 0.03 mg 水/min, 两者非常接近。分析其原因为热风干燥前期主要是块状红糖表面水分汽化, 当干燥到一定程度时过渡为内部扩散, 而真空干燥则由于存在压力差的作用, 块状红糖表面水分汽化的同时内部水分也通过扩散作用移至表面, 干燥温度提高, 有利于促进红糖表面的热空气对流并增加对红糖内部的热量传递, 加速了表面水分子的扩散和内部水分的迁移^[14], 因此干燥速率提高。

2.2 不同干燥方法对块状红糖溶解性的影响

由图2可知随着干燥温度的升高, 块状红糖的溶解时间不断缩短^[15]。经测定, 在考察温度范围内, 热风干燥的块状红糖的溶解时间为 341 ± 8 s~ 398 ± 5 s, 且干燥温度在 45 °C 时除了与 50 °C 无显著差异外

($p > 0.05$), 与其他温度之间均存在显著差异 ($p < 0.05$), 真空干燥的溶解时间为 317 ± 6 s~ 383 ± 4 s, 且干燥温度在 45 °C 时除了与 50 °C 无显著差异外 ($p > 0.05$), 与其他温度之间均存在显著差异 ($p > 0.05$)。与热风干燥相比, 在相同加热温度下, 真空干燥的溶解时间更短。在 70 °C 时, 热风干燥的溶解时间为 341 ± 8 s, 真空干燥的则为 317 ± 6 s, 两者差异显著 ($p < 0.05$)。这是由于在真空干燥过程中, 压力差使块状红糖内部水分通过扩散至表面而蒸发, 红糖内部结构更加疏松, 溶解时与水接触面积更大, 进而能快速溶解^[16]; 干燥温度越高, 溶解时间越短, 70 °C 溶解时间为 383 ± 4 s, 相对于 45 °C, 溶解时间缩短了 21%, 差异显著 ($p < 0.05$)。

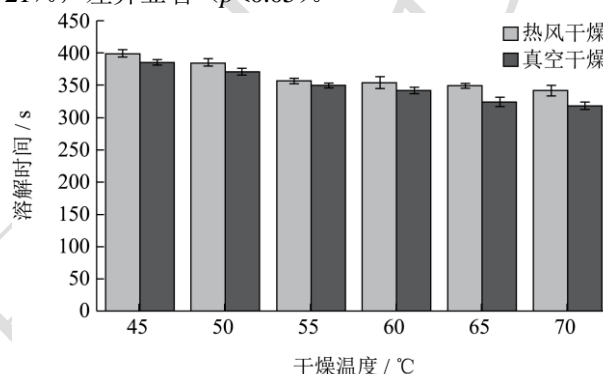


图2 不同干燥方法的块状红糖溶解时间

Fig.2 Block brown sugar dissolution time of different drying methods

2.3 不同干燥方法对块状红糖总酚含量的影响

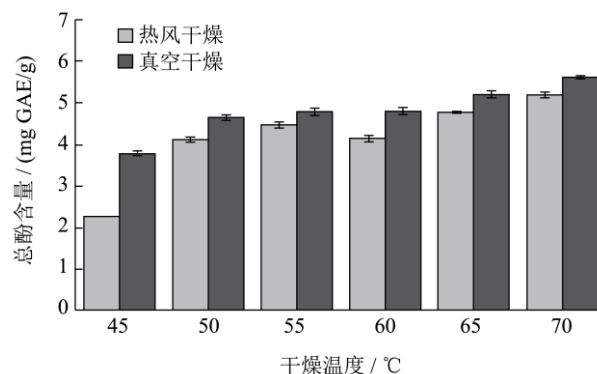


图3 不同干燥方法的块状红糖总酚含量

Fig.3 Total phenolic content of massive brown sugar in different drying methods

初始干基块状红糖的总酚含量为 5.90 ± 0.02 mg GAE/g。在热风干燥条件下, 红糖中总酚含量为 2.23 ± 0.05 mg GAE/g~ 5.18 ± 0.06 mg GAE/g; 在真空干燥条件下, 红糖中总酚含量是 3.79 ± 0.03 mg GAE/g~ $5.60 \pm$

0.04 mg GAE/g, 两种方法之间存在显著差异 ($p<0.05$)。由图 3 可知,干燥温度对红糖的总酚含量有影响,随着干燥温度的升高,红糖中总酚含量升高。与热风干燥相比,真空干燥对总酚的保留率更高,在 70 °C 时,真空干燥对酚的保留率为 94.92%,而热风干燥保留率为 87.80%,两者显著差异 ($p<0.05$)。分析其原因可能是在热风干燥过程中,由于红糖与空气接触较多,使得多酚氧化酶的作用导致酚类物质部分降解^[17],导致酚类物质的含量下降。在真空干燥条件下,与 45 °C 相比,70 °C 的红糖总酚含量增加 47.76%,两者差异显著 ($p<0.05$),分析其原因可能是干燥过程中红糖中多酚类大分子化合物发生水解,生成小分子物质,释放出更多的酚羟基,使其相对含量升高。这一结果与 A.Prathapan^[18]、黄慧^[19]等所研究的结果一致,都是样品经干燥处理后,总酚含量随温度的升高而上升,当到达 70 °C~80 °C 时总酚的含量达到最大值。

2.4 不同干燥方法对块状红糖色值的影响

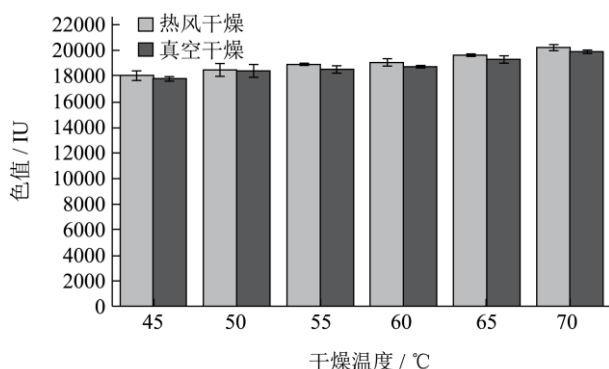


图 4 不同干燥方法的块状红糖色值

Fig.4 Block brown sugar color value of different drying methods

颜色是红糖的主要感官指标,直接着影响消费者购买意愿。红糖初始色值为 18000±100 IU。从图 4 可知,随着干燥温度的升高,两种干燥方法的红糖样品色值均呈增加趋势,表明加热会使红糖色泽加深。干燥温度为 70 °C 时,热风干燥红糖色值增加至 20200±200 IU,增加了 12.22%;真空干燥红糖色值增加至 19900±100 IU,增加了 10.56%。可见同一加热温度下,热风干燥的红糖增色效应更为明显,但热风干燥与真空干燥对红糖色值的影响无显著性差异 ($p>0.05$)。干燥过程红糖的色值变化可能是与酚类化合物的氧化,蔗糖焦化及还原糖与氨基酸的美拉德反应生成类黑糖精色素等有关^[20],热风干燥条件下,红糖酚类物质氧化反应及还原糖与氨基酸的美拉德反应更容易进行,速度会更快,因此红糖增色更为明显,

对不同批次红糖色泽稳定性无法保障。

2.5 不同干燥方法对块状红糖蔗糖含量的影响

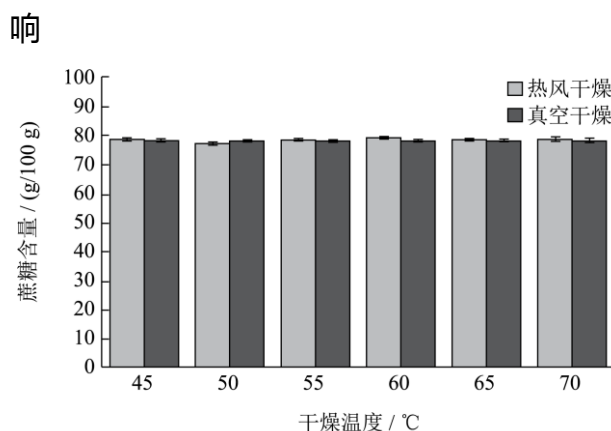


图 5 不同干燥方法的块状红糖蔗糖含量

Fig.5 Sucrose content of brown sugar in different drying methods

经测定,块状红糖中蔗糖初始含量为 78.09±0.22 g/100 g。由图 5 可知,在不同加热温度的热风干燥和真空干燥过程中,块状红糖的蔗糖含量变化不大,热风干燥的蔗糖含量为 77.10±0.32 g/100 g~79.05±0.15 g/100 g;真空干燥的蔗糖含量为 77.68±0.50 g/100 g~78.16±0.36 g/100 g,同一种干燥方法在不同温度下的块状红糖蔗糖含量无显著性差异 ($p>0.05$),两种干燥方法之间无显著性差异 ($p>0.05$)。随着干燥温度的升高,两种方法中蔗糖含量基本呈持平状态,整体变化不大 ($p>0.05$)。

2.6 不同干燥方法对块状红糖果糖含量的影响

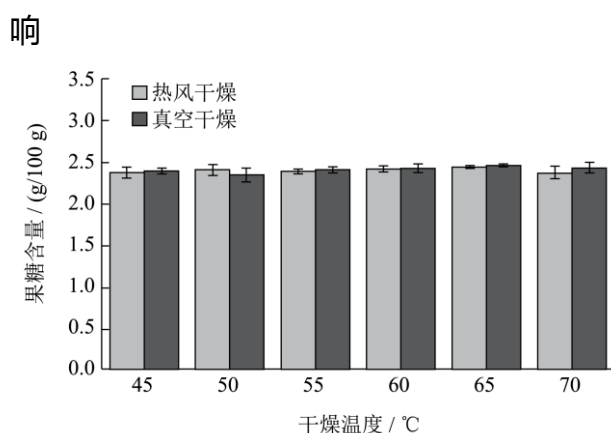


图 6 不同干燥方法的块状红糖果糖含量

Fig.6 Fructose content of brown sugar in different drying methods

经测定,块状红糖中果糖初始含量为 2.30±0.03 g/100 g。由图 6 可知,在不同加热温度的热风干燥和

真空干燥过程中, 块状红糖果糖含量变化均很微小, 热风干燥的果糖含量为 2.37 ± 0.08 g/100 g~ 2.44 ± 0.02 g/100 g, 真空干燥的果糖含量变化为 2.36 ± 0.07 g/100 g~ 2.46 ± 0.01 g/100 g, 同一种干燥方法在不同温度下的块状红糖果糖含量无显著性差异 ($p>0.05$), 两种干燥方法之间的差异也无显著性 ($p>0.05$), 在两种不同干燥方法中, 红糖样品果糖含量变化不明显 ($p>0.05$)。在同一温度下, 真空干燥中块状红糖的果糖含量高于热风干燥, 两者无明显差异。

2.7 不同干燥方法对块状红糖葡萄糖含量的影响

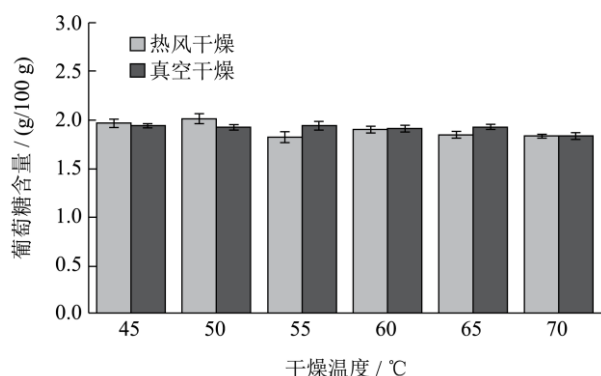


图7 不同干燥方法的块状红糖葡萄糖含量

Fig.7 Glucose content of brown sugar in different drying methods

经测定, 块状红糖中葡萄糖初始含量为 1.87 ± 0.01 g/100 g。由图7可得, 在热风干燥和真空干燥过程中, 红糖中葡萄糖含量分别为 1.81 ± 0.07 g/100 g~ 2.01 ± 0.06 g/100 g 和 1.83 ± 0.04 g/100 g~ 1.95 ± 0.03 g/100 g; 在不同的干燥温度下略有波动, 但无显著性差异 ($p>0.05$) 热风干燥与真空干燥之间无显著性差异 ($p>0.05$)。

3 结论

红糖的热风干燥和真空干燥的试验结果表明, 两种干燥方法对红糖的蔗糖、葡萄糖和果糖等含量影响相差不大, 但对干燥速率及红糖溶解性、酚类物质含量及红糖色泽影响有差异。热风干燥在干燥温度低于 55 °C时, 其干燥速率明显高于真空干燥, 但当温度超过 55 °C时, 热风干燥的干燥速率与真空干燥已无显著性差异, 特别是当干燥温度升至 70 °C, 两者之间差异仅为 0.01 mg 水/min; 另外, 真空干燥条件下, 红糖溶解性更好, 酚类物质的保留率更高, 且干燥过程红糖增色效果更不明显, 因此认为真空干燥更适宜用于块状红糖干燥。当干燥温度为 70 °C, 干燥速率

为 1.36 ± 0.03 mg 水/min, 溶解时间为 317 ± 6 s, 总酚含量为 5.60 ± 0.04 mg GAE/g (酚类物质保留率为 94.92%); 色值为 19900 ± 100 IU (红糖色值增加率为 10.56%), 认为在 70 °C条件下对块状红糖进行真空干燥, 可以快速使红糖水分降低至符合国家标准要求, 并确保其具有良好的溶解性能和较高的酚类物质含量及稳定的色泽外观。

参考文献

- [1] 兰梅娟,徐勇士,周昊,等.非分蜜糖的研究进展[J].中国调味品,2017,42(9):163-167
LAN Mei-juan, XU Yong-shi, ZHOU Hao, et al. Research progress on non-centrifugal cane sugar [J]. Chinese Condiment, 2017, 42(9): 163-167
- [2] 潘莉莉,李文,谢彩锋,等.甘蔗制糖无机膜法工艺研究进程[J].广西糖业,2018,3:38-40
PAN Li-li, LI Wen, XIE Cai-feng, et al. Research process of inorganic membrane technology of sugar industry [J]. Guangxi Sugar Industry, 2018, 3: 38-40
- [3] 曲睿晶,宋颖雪,兰梅娟,等.陶瓷膜分离技术在制糖工业中的应用[J].中国调味品,2017,42(6):72-76
QU Rui-jing, SONG Ying-xue, LAN Mei-juan, et al. Research on the application of ceramic membrane separation technology in sugar industry [J]. Chinese Condiment, 2017, 42(6): 72-76
- [4] Nakasone Y. Reducing sugar, organic acid and amino acid compositions in palm and cane sugars from Indonesia [J]. Science Bulletin of the College of Agriculture University of the Ryukyus (Japan), 2004, 51: 127-130
- [5] Yonathan Asikin, Naoto Hirose, Hajime Tamaki, et al. Effects of different drying-solidification processes on physical properties, volatile fraction, and antioxidant activity of non-centrifugal cane brown sugar [J]. LWT-Food Science and Technology, 2016
- [6] Jaswant Singh, R D Singh, S I Anwar, S Solomon. Alternative sweeteners production from sugarcane in India: lump sugar (jaggery) [J]. Sugar Tech, 2011,13(4): 66-371
- [7] Walter R Jaffé. Health Effects of Non-Centrifugal Sugar (NCS): A Review [J]. Sugar Tech, 2012, 14(2): 87-94
- [8] 李扬.甘蔗糖成品霉菌污染的微生物学分析[D].南宁:广西大学,2013
LI Yang. Microbiological analysis of mould contamination in the refined cane sugar [D]. Nanning: Guangxi University, 2013
- [9] 方宝庆,葛志文,高瑀珑,等.不同储藏时间稻谷在粮仓不同

- 位置的品质及霉菌差异分析[J].江苏农业科学,2018,46(10): 195-199
- FANG Bao-qing, GE Zhi-wen, GAO Yu-long, et al. Analysis of rice quality and mould differences in different positions of grain bulks with different storage time [J]. Jiangsu Agricultural Science, 2018, 46(10): 195-199
- [10] 王鹤,慕松,李天聪,等.基于响应面法的枸杞热风微波联合间歇干燥工艺探究[J].现代食品科技,2018,34(2):134-140, 109
- WANG He, MU Song, LI Tian-cong, et al. Study on the combination of hot air microwave and intermittent drying process of chinese wolfberry based on response surface methodology [J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(2): 134-140, 109
- [11] B J Xu, S K C Chang. A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents [J]. Journal of Food Science, 2007, 72(2): 159-166
- [12] Asikin Y, Kamiya A, Mizu M, et al. Changes in the physicochemical characteristics, including flavour components and Maillard reaction products, of non-centrifugal cane brown sugar during storage [J]. Food Chemistry, 2014, 149(8): 170-177
- [13] 曹笑皇.加工关键工艺对大麦苗粉的理化特性、品质与能耗的影响及其机理研究[D].无锡:江南大学,2017
- CAO Xiao-huang. Effect of key processing technology on physical and chemical properties, quality and energy consumption of barley grass powder and related mechanism study [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2017
- [14] 王雪媛.不同干燥方式对苹果片水分扩散特性影响研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2016
- WANG Xue-yuan. Research on effect of different drying methods on moisture diffusion properties in apple slices [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2016
- [15] 苟小菊,刘冬,杨曦,等.热风干燥温度对新疆红肉苹果粉品质的影响[J].食品科学,2018,39(21):87-93
- GOU Xiao-ju, LIU Dong, YANG Xi, et al. Effect of drying temperature on the quality of apple powder made from red-fleshed apples grown in Xinjiang [J]. Food Science, 2018, 39(21): 87-93
- [16] 李伟,郜海燕,陈杭君,等.不同干燥方式对杨梅果粉品质的影响[J].食品科学,2017,38(13):77-82
- LI Wei, GAO Hai-yan, CHEN Hang-jun, et al. Effect of drying methods on quality characteristics of bayberry powder [J]. Food Science, 2017, 38(13): 77-82
- [17] 秦建华,吴涛.不同干燥处理对马齿苋总酚含量及其抗氧化性的影响[J].保鲜与加工,2016,16(5):31-35,40
- QIN Jian-hua, WU Tao. Effects of different drying methods on total phenols content and antioxidant properties of purslane [J]. Storage and Process, 2016, 16(5): 31-35, 40
- [18] 黄慧,高帅,张婧,等.不同温度干燥处理对补血草根总酚及其抗氧化能力的影响[J].福建师范大学学报(自然科学版), 2013,29(3):91-96
- HUANG Hui, GAO Shuai, ZHANG Jing, et al. Effects of drying temperatures on total phenols content and antioxidant activity of *Limonium sinense* root [J]. Journal of Fujian Normal University (Nature Science Edition), 2013, 29(3): 91-96
- [19] Prathapan A, Lukhman M, Arumugan C, et al. Effect of heat treatment on curcuminoid, colour value and total poly-phenols of fresh turmeric rhizome [J]. Lnt J Food Sci Tech, 2009, 44: 1438-1444
- [20] Chen J C. Manual del azúcar de caña: para fabricantes de azúcar de caña y químicos especializados [M]. México D F: Noriega Editores, 2004: 1200

(上接第 213 页)

- [24] Golemanov K, Tcholakova S, Denkov N, et al. The role of the hydrophobic phase in the unique rheological properties of saponin adsorption layers [J]. Soft Matter, 2014, 10(36): 7034-7044
- [25] Wojciechowski, Kamil. Surface activity of saponin from quillaja bark at the air/water and oil/water interfaces [J]. Colloids & Surfaces B Biointerfaces, 2013, 108(8): 95-102
- [26] Heinzelmann K, Franke K. Using freezing and drying techniques of emulsions for the microencapsulation of fish oil to improve oxidation stability [J]. Colloids & Surfaces B Biointerfaces, 1999, 12(3-6): 223-229
- [27] 刘建君,冯迪娜,苏学锋,等.天然抗氧化剂对南极磷虾油抗氧化效果的研究[J].食品研究与开发,2014,35(15):22-23
- LIU Jian-jun, FENG Di-na, SU Xue-feng, et al. Study on antioxidant effect of natural antioxidants on Antarctic krill oil [J]. Food Research and Development, 2014, 35(15): 22-23