

元蘑营养成分在排湿热风烘干模式下的变化特征

滕星¹, 谭笑¹, 赵新颖¹, 谢潮², 徐铭杰², 石忠锋³, 刘迎春^{1*}

(1. 吉林省农业科学院, 长春 130033; 2. 辽宁乐金建设有限公司, 沈阳 110016;

3. 盘锦嘉润禾食用菌种植专业合作社, 盘锦 124219)

摘要: **目的** 利用具备压缩机排湿功能的热风烘干箱, 研究不同烘干模式对元蘑干制品的影响。**方法** 采用分别开闭压缩机抽湿功能, 研究不同温度下烘干至恒重的时长、烘干率和元蘑干制品含水量、蛋白质、总糖、总黄酮含量等营养指标的变化特征。**结果** 烘干温度对元蘑烘干时间、烘干率以及含水量、蛋白质、总糖、总黄酮含量存在显著影响。开启压缩机的排湿功能, 会更显著地缩短烘干时间, 减少干制品含水量、总糖含量, 降低干制品蛋白质损失和增加总黄酮含量, 特别是在高温环境下烘干(60℃以上)。**结论** 温度越高越有利于提升烘干效率, 但是高温会降低总蛋白质和总黄酮等营养指标含量, 建议使用具有压缩机排湿功能的热风烘干设备, 可以在一定程度上减少养分损失, 烘干温度控制在60~70℃为宜。

关键词: 亚侧耳; 热风烘干; 含水量; 总糖; 蛋白质; 总黄酮

Variation characteristics of nutritional components of *Sarcomyxa edulis* in hot air drying process by adding dehumidification function

TENG Xing¹, TAN Xiao¹, ZHAO Xin-Ying¹, XIE Chao², XU Ming-Jie²,
SHI Zhong-Feng³, LIU Ying-Chun^{1*}

(1. Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, China; 2. Liaoning Lejin Construction Co., Ltd., Shenyang 110016, China; 3. Panjin Jiarunhe Edible Fungi Professional Cooperatives, Panjin 124219, China)

ABSTRACT: Objective To study the effects of different drying modes on dried products of *Sarcomyxa edulis* by using the hot-air drying oven with the function of compressor dehumidification. **Methods** The variation characteristics of drying time, drying rate, water content, protein, total sugar, total flavones of the dried conduct at different temperatures were studied by using the dehumidification function of on-off compressor. **Results** The temperature significantly affected the drying time, drying rate, and water content, protein, total sugar and total flavones of the dried products, and the drying time, water content, sugar content of dry products and the protein loss significantly reduced by turning on the moisture removal function of the compressor, while the total flavones content of dry products increased, especially at higher temperature (above 60℃). **Conclusion** Although the higher the temperature, the better the drying efficiency, the higher temperature will reduce the content of total protein and total

基金项目: 吉林省科技厅技术攻关项目(20190301070NY)、吉林省自然科学基金(YDZJ202101ZYTS117)、吉林省农业科技创新工程项目(CXGC2021ZY035、CXGC2017TD021)

Fund: Supported by the Technology Research Project of Science and Technology Department of Jilin Province (20190301070NY), National Natural Science Foundation of Jilin Province (YDZJ202101ZYTS117), and Agricultural Science and Technology Innovation Project of Jilin Province (CXGC2021ZY035, CXGC2017TD021)

*通信作者: 刘迎春, 副研究员, 主要研究方向为食用菌栽培。E-mail: Liuyork1969@sina.com

*Corresponding author: LIU Ying-Chun, Associate Professor, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, China. E-mail: Liuyork1969@sina.com

flavones and other nutritional indicators. It is suggested that the use of hot-air drying equipment with compressor can reduce the nutrient loss to a certain extent, and the drying temperature should be controlled at 60-70 °C.

KEY WORDS: *Sarcomyxa edulis*; hot-air drying; water content; total sugar; protein; total flavones

0 引 言

元蘑(*Sarcomyxa edulis*), 美味扇菇属^[1], 又称亚侧耳、美味扇菇、黄蘑、冬蘑、冻蘑、剥茸(日本)等^[2-3], 是东北地区著名野生食用菌之一^[4], 在河北、山西、广西、陕西、四川、云南、西藏等地也有分布^[2]。现代药理研究表明, 元蘑具有较强的清除自由基^[5-6]、抗肿瘤^[7-9]、抗辐射^[10]、抗疲劳^[11]、抗衰老^[12]的功效, 保健功能突出, 市场潜力巨大。元蘑产品多为人工培育, 且产量较大, 不易运输和保存。热风烘干可以加快干燥速率, 缩短干燥时间^[13], 但前提是不影响品质。当前国内外相关研究越发关注烘干对物料品质的影响^[14-17], 而干燥模式对食用菌品质的影响研究甚少报道^[18]。此外, 更多的元蘑研究也主要集中在对蛋白提取^[19]、三萜合成^[20]、多糖提取^[11,21-22]等成分含量研究中。在行业标准中, 只有针对元蘑干制品作出的规范(LY/T 1919—2018《元蘑干制品》), 对元蘑烘干过程以及烘干方式对品质影响方面缺乏科学研究^[23], 导致生产过程中品质控制参差不齐。为了确保品质优先为原则的基础上, 探索更高效的烘干模式, 本研究在热风烘干过程中, 创新性地增加压缩机抽湿辅助烘干的模式, 研究元蘑干制品营养成分在不同烘干模式下的变化特征, 以期为元蘑生产和初加工利用以及制定相关行业标准提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料处理

实验材料由盘锦嘉润禾食用菌种植专业合作社提供。挑选外形和品相完好, 无病虫害, 大小、厚度和色泽一致的新鲜元蘑, 绕元蘑中心, 切成长 8 cm, 宽 3 cm 左右的小块。

1.1.2 实验设备

OYHG-1MDGZA 厢式整体烘干机(广东欧亚制冷设备制造有限公司); Kjelttec 8400 全自动凯氏定氮仪(丹麦 FOSS 有限公司); T6 新世纪紫外-可见分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司); XSE105DU 电子天平(瑞士 METTLER TOLEDO 公司); DNP-9162BS-III 电热恒温培养箱(上海新苗医疗器械制造有限公司)。

1.1.3 样品测试

实验全部样品由农业部农产品质量安全风险评估实验室(吉林省农业科学院农业质量标准与检测技术研

究所)检测。水分检测按照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》, 总糖检测按照 GB/T 15672—2009《食用菌中总糖含量的测定》, 蛋白检测按照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》, 总黄酮检测按照 SN/T 4592—2016《出口食品中总黄酮的测定》, 菌落总数检测按照 GB 4789.2—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验菌落总数测定》标准执行。

1.2 实验方法

将预处理的元蘑称重, 放入烘干箱的干燥网上。将干燥网置于烘干箱中部, 确保上下通风均匀。设置烘干温度分别为 40、50、60、70 °C, 每隔 1 h 取出称重一次, 直至恒重(连续 3 h 重量不再降低)。每个处理 3 个重复。

烘干箱的除湿功能, 具有很好的辅助烘干效果。根据食用菌含水量随时间延长而逐渐降低的特点, 在第一个 2 h 烘干工作区间, 设置压缩机工作频率是 6 次/h; 随后 2 h 工作区间, 设置压缩机工作频率是 3 次/h; 第三个 2 h 工作区间, 设置压缩机工作频率是 2 次/h; 从第 7 个小时之后, 设置压缩机工作频率是 1 次/h。设置自然晾晒为对照组(control check, CK), 将鲜蘑放入塑料筐内, 称量鲜重和筐重。置于室外烘干架上, 自然晾晒。每个处理 3 个重复, 记录样品干燥至恒重的质量。

1.3 数据处理

由于不同温度下元蘑初始净重无法控制一致, 随着时间推移, 不同温度下烘干速率和时长都存在差异, 无法直接进行差异对比。因此, 需要对数据进行以 10 为底的对数转化^[24-25], 并进行极差标准化处理^[26], 处理方法参见公式(1):

$$X' = \frac{\lg X - \lg X_{\min}}{\lg X_{\max} - \lg X_{\min}} \quad (1)$$

其中, X' 表示经对数转化和极差标准化处理的相对数, $\lg X$ 表示对净重进行以 10 为底的对数转化, $\lg X_{\min}$ 表示经以 10 为底的对数转化后的最小值, $\lg X_{\max}$ 表示经以 10 为底的对数转化后的最大值。

烘干率(drying rate, DR)是食用菌干制品中一个重要指标。计算见公式(2):

$$DR = \frac{\text{烘干后的重量}}{\text{烘干前重量}} \times 100\% \quad (2)$$

实验数据以均数±标准误差($\bar{x} \pm se$)表示, 采用 SPSS 17.0 软件进行单因素方差分析, 两两比较则采用 t 检验, $P < 0.05$ 为差异显著, $n=3$ 。

2 结果与分析

2.1 烘干对元蘑净重的影响

2.1.1 烘干温度对元蘑净重的影响

不同烘干温度条件下,元蘑烘干至恒重时间存在显著差异($P=0.000$),见图 1。不同烘干温度条件下,元蘑烘干至恒重的烘干率也存在显著差异($P=0.003$)。70℃下烘干率

11.68%,随着温度降低,烘干率逐渐提高,呈二次函数趋势($r^2=0.998$) (图 2)。说明从烘干效率来看,高温更有利于食用菌烘干。

2.1.2 压缩机排湿功能对元蘑烘干的影响

启动压缩机排湿功能,发现烘干机的排湿功能会显著提高烘干效率。排湿功能结合温度处理,显著缩短了元蘑烘干至恒重所需时间($P=0.000$),见图 3。

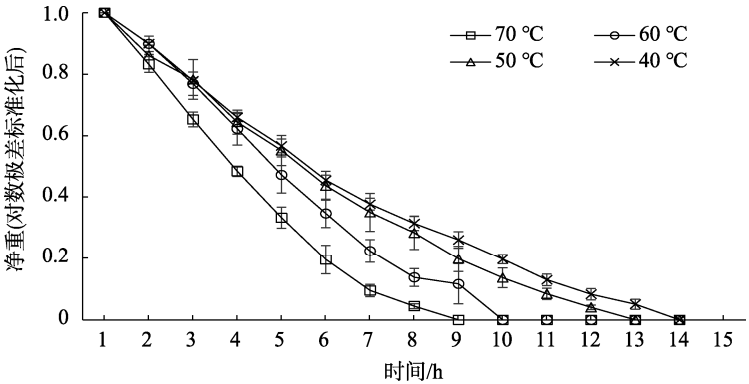
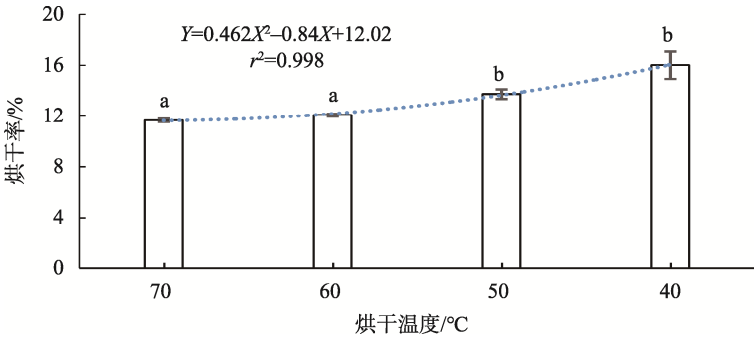


图 1 不同烘干温度下元蘑净重变化特征($n=3$)

Fig.1 Changes of net weight of *S. edulis* under different temperatures ($n=3$)



注: a~b: 不同字母表示差异显著, $P<0.05$ 。

图 2 不同烘干温度下元蘑烘干率($n=3$)

Fig.2 Drying rates of *S. edulis* at different temperatures ($n=3$)

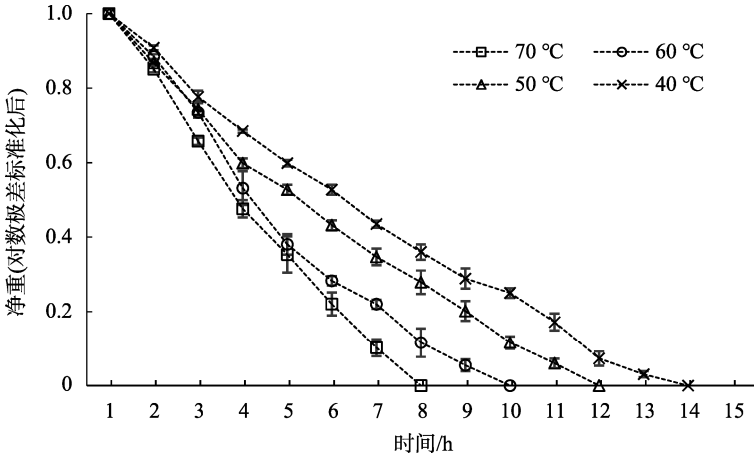
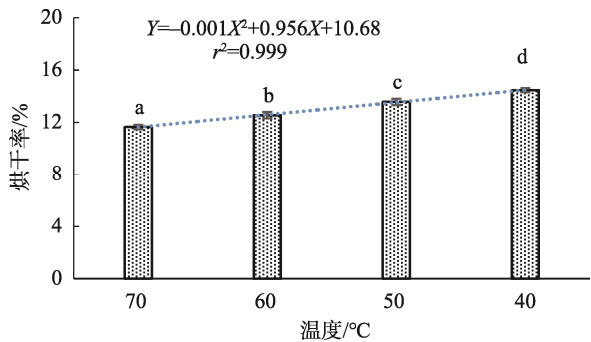


图 3 压缩机排湿+不同烘干温度下元蘑净重变化特征($n=3$)

Fig.3 Changes in net weight of *S. edulis* under different temperatures with dehumidifier ($n=3$)

由图 4 可知, 压缩机打开条件下, 不同烘干温度条件下元蘑烘干至恒重的烘干率也存在显著差异($P=0.000$)。70 °C 条件下烘干率为 11.65%, 随着温度降低, 烘干率逐渐提高, 呈二次函数趋势($r^2=0.999$)。



注: a~d: 不同字母表示差异显著, $P<0.05$ 。

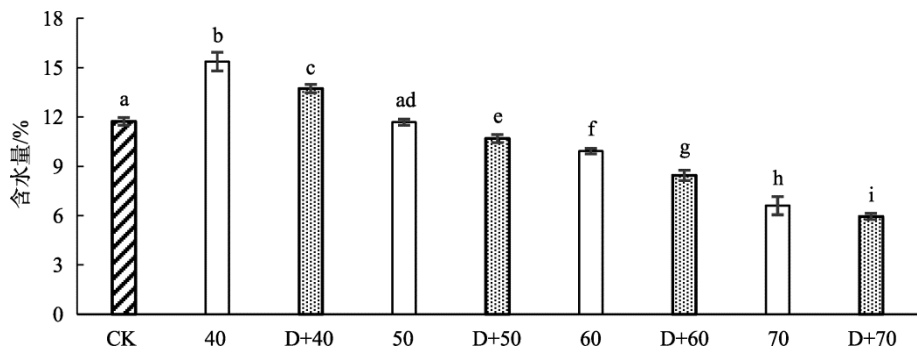
图 4 压缩机排湿结合不同烘干温度下元蘑烘干率($n=3$)
Fig.4 Drying rate of *S. edulis* under different temperatures with dehumidifier ($n=3$)

经 t 检验得出, 压缩机打开与不开压缩机相比, 元蘑在各温度条件下的烘干率差异不显著, 40 °C ($P=0.141$), 50 °C ($P=0.362$), 60 °C ($P=0.067$) 和 70 °C ($P=0.467$)。说明尽管一定程度上缩短了烘干时间, 但是在烘干率上并不存在差异。

2.2 烘干对元蘑营养指标的影响

2.2.1 含水量变化

不同温度处理对含水量影响显著($P=0.000$) (图 5)。除 40 °C 以外, 其余处理均可以达到 GB 5009.3—2016 规定的食用菌干制品含水量要求(低于 12%), 说明不能采用 40 °C 热风烘干元蘑。40 °C 下干制品含水量甚至高于自然晾晒($P=0.009$)。不开压缩机情况下, 50 °C 与对照含水量差异不显著($P=0.185$), 其余都显著低于对照。打开压缩机后, 在 40 °C 烘干条件下, 尽管排湿辅助有利于降低含水量($P=0.024$), 但含水量依旧高于对照组($P=0.002$)。其余温度下含水量都低于不开压缩机的温度处理, 且差异显著。



注: CK 表示对照, 40、50、60、70 表示不开压缩机的温度处理, °C, “D+”表示开压缩机排湿的处理; a~i: 不同字母表示差异显著。

图 5 不同烘干温度下元蘑干制品含水量变化特征($n=3$)

Fig.5 Water content in dry products of *S. edulis* under different temperatures with dehumidifier or not ($n=3$)

2.2.2 蛋白质含量变化

不同烘干温度处理对蛋白质含量影响显著(图 6)。无论打开压缩机与否, 对照组蛋白质含量最高, 随着温度升高蛋白质含量显著降低($P=0.001$)。在打开压缩机模式下, 排湿功能有助于减少烘干温度引起的蛋白质含量损失。经 t 检验, 与不开压缩机烘干处理相比, 40 °C ($P=0.051$) 差异不显著, 50 °C ($P=0.026$), 60 °C ($P=0.006$) 和 70 °C ($P=0.000$) 条件下的蛋白质含量存在显著性差异。

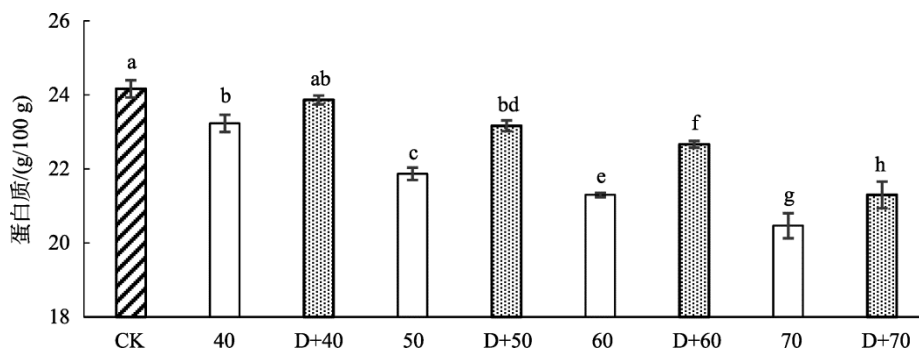
2.2.3 总糖含量变化

烘干温度显著影响元蘑总糖含量(图 7)。打开压缩机模式, 或者关闭压缩机模式下, 随着温度提高, 元蘑总糖含量逐渐增加($P=0.000$)。在打开压缩机处理组中, 与对照相比, 40 °C 处理条件下, 元蘑总糖含量差异不显著($P=0.079$), 50 °C ($P=0.049$), 60 °C ($P=0.004$) 和 70 °C ($P=0.003$) 都存在显著差异; 在关闭压缩机处理组中, 与对照相比, 40 °C ($P=0.011$), 50 °C ($P=0.021$), 60 °C ($P=0.009$) 和 70 °C ($P=0.003$) 条件下的元蘑总糖含量都存在显著差异。

研究还发现, 压缩机工作状态下的总糖含量会低于不开压缩机处理, 40 °C ($P=0.049$), 50 °C ($P=0.021$), 60 °C ($P=0.014$) 和 70 °C ($P=0.046$) 条件下的元蘑总糖含量都存在显著差异。说明有效的排湿降低了烘干过程中干制品总糖的转化合成。

2.2.4 总黄酮含量变化

烘干温度对元蘑干制品总黄酮含量(图 8)的影响变化规律与蛋白质变化类似。无论是打开压缩机模式($P=0.000$), 或者在关闭压缩机模式下($P=0.000$), 随着温度提高, 元蘑总黄酮含量逐渐减少, 这种变化趋势都是一致的。在打开压缩机处理组中, 除 40 °C 处理条件下元蘑干制品总黄酮含量与对照相比差异不显著($P=0.088$), 50 °C ($P=0.034$), 60 °C ($P=0.025$) 和 70 °C ($P=0.011$) 与对照相比都存在显著差异, 随温度提高而降低; 在关闭压缩机处理组中, 与对照相比, 40 °C ($P=0.042$), 50 °C ($P=0.012$), 60 °C ($P=0.012$) 和 70 °C ($P=0.009$) 处理都存在显著差异。



注: CK 表示对照, 40、50、60、70 表示不开压缩机的温度处理, °C, “D+”表示开压缩机排湿的处理; a~h: 不同字母表示差异显著。

图 6 不同烘干温度下元蘑蛋白质含量变化特征($n=3$)

Fig.6 Protein content in dry products of *S. edulis* under different temperatures with dehumidifier or not ($n=3$)

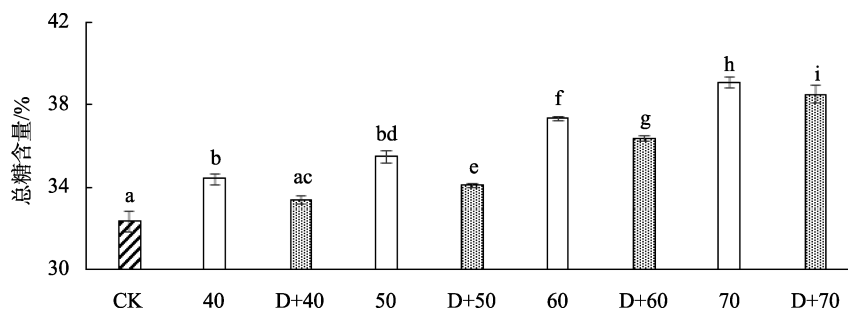
研究发现, 黄酮含量还受到压缩机排湿功能的影响。处理组间, 表现为有排湿处理组总黄酮含量高于无排湿处理组。经 t 检验, 排湿处理除了 40 °C 处理($P=0.384$)和 50 °C 处理($P=0.054$)与不排湿处理差异不显著外, 60 °C ($P=0.038$)和 70 °C ($P=0.049$)都存在显著差异。表明排湿功能对总黄酮的影响, 在相对高温的烘干条件下作用更强。

3 结论与讨论

研究发现, 烘干温度对元蘑净重、烘干率以及含水量、蛋白质、总糖、总黄酮含量等指标存在显著影响。50 °C 以上温度才能确保干制品含水率达到国家标准。烘干温度越高, 烘干至恒重所需时间越短, 烘干率也就越高。高温会相对降低干制品的蛋白质和总黄酮含量, 但会增加总糖的含量。由于烘干处理对元蘑的品质影响方面的研究甚少报道, 相关结论在沙棘果和中草药连钱草研究中也得到验证, 总黄酮含量随着干燥温度升高而降低^[27-28]。不过也有研究表明, 温度越高会促进醛酮类羰基化合物的形成^[29-32]。热风干燥在一定温度下缓慢进行着脂肪酸氧化分解反应, 对醛类化合物的生成有一定促进作用。在更极端微波烘干模式下, 极性水分子剧烈碰撞可以更好地促使游离脂肪酸的裂解和美拉德反应的进行, 从而生成了较多的风味化合物^[29], 说明食用材料本身以及加热方式的不同是造成研究结果差异化的主因。有研究对

比了不同温度的干燥方法对食用菌不可挥发性糖类含量的影响, 发现热风干燥显著降低可溶性糖总量^[33]。低温可以减缓可溶性糖与氨基化合物的美拉德反应, 造成糖类物质含量更高。有研究^[34]比较了不同含水量的胶原蛋白含量, 发现随着干燥过程中含水率的降低, 极性分子通过氢键链接的氨基酸稳定性被破坏, 胶原蛋白含量进而降低。干燥温度直接影响蛋白质变性的程度, 造成干制品的硬度和弹性发生变化。以上是温度处理对营养指标产生影响的内在机制探讨, 相关机制和变化特征还需要开展大量工作深入的论证。

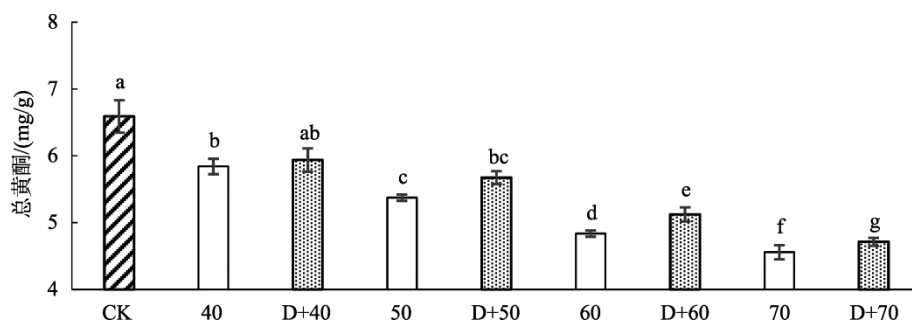
在此基础上, 本研究进一步发现, 配备压缩机的烘干箱与普通热风烘干箱在烘干时间上存在显著差异。本研究是一种相对低能耗的经济型设计, 并没有全过程开启压缩机, 只是根据含水量逐渐降低的趋势不断减少开启压缩机的频次。但依旧可以节省 1 h 的烘干时间, 提高了烘干效率, 更有利于工厂化生产。压缩机排湿功能可以缩短烘干至恒重所需时间, 提高烘干效率。但二者在烘干率统计上不存在差异, 这表明烘干率并不是唯一衡量烘干效果的指标, 时间因素也需加以考量。此外, 与不开压缩机相比, 排湿功能会显著减少干制品含水量、总糖含量, 保护和减少干制品蛋白质和总黄酮在高温下(60 °C 以上)的损失, 这相当于增加了干制品的品质。综上, 建议使用具有压缩机排湿功能的热风烘干设备, 烘干温度控制在 60~70 °C 为宜。



注: CK 表示对照, 40、50、60、70 表示不开压缩机的温度处理, °C, “D+”表示开压缩机排湿的处理; a~i: 不同字母表示差异显著。

图 7 不同烘干温度下元蘑总糖含量变化特征

Fig.7 Total sugar in dry products of *S. edulis* under different temperatures with dehumidifier or not



注: CK 表示对照, 40、50、60、70 表示不开压缩机的温度处理, °C, “D+”表示开压缩机排湿的处理; a~g: 不同字母表示差异显著。

图 8 不同烘干温度下元蘑总黄酮含量变化特征

Fig.8 Total flavones in dry products of *S. edulis* under different temperatures with dehumidifier or not

参考文献

- [1] 李玉, 李泰辉, 杨祝良, 等. 中国大型菌物资源图鉴[M]. 郑州: 中原农民出版社, 2015.
LI Y, LI TH, YANG ZL, et al. A guide to large-scale fungal resources in China [M]. Zhengzhou: Zhongyuan Agriculture Press, 2015.
- [2] 田杰, 张大方. 亚侧耳的药理作用研究进展[J]. 长春中医学院学报, 2004, (4): 63–64.
TIAN J, ZHANG DF. Research progress on pharmacological effects of *Hohenbuehelia serotina* [J]. J Changchun Univ Chin Med, 2004, (4): 63–64.
- [3] 图力古尔, 李玉. 东北野生食用菌资源[C]. 第九届全国食用菌学术研讨会, 2010.
TOLGOR, LI Y. Wild edible fungus resources in northeast China [C]. The 9th National Symposium on Edible Fungi, 2010.
- [4] 邹莉, 王义, 王轶, 等. 亚侧耳菌丝生物学特性研究[J]. 菌物学报, 2008, (6): 915–921.
ZOU L, WANG Y, WANG Y, et al. Biological characteristics of *Hohenbuehelia serotina* mycelia [J]. Mycosystema, 2008, (6): 915–921.
- [5] LI X, WANG Z, WANG L, et al. In vitro antioxidant and anti-proliferation activities of polysaccharides from various extracts of different mushrooms [J]. Int J Mol Sci, 2012, 13(5): 5801–5817.
- [6] 栗铭鸿, 金铁, 李官浩, 等. 元蘑醇提物不同极性部位有效成分含量及清除自由基活性[J]. 食品科技, 2016, 41(10): 184–189.
JIA MH, JIN T, LI GH, et al. Active ingredient contents and antioxidation of *Hohenbuehelia serotina* with different polarity fractions [J]. Food Sci Technol, 2016, 41(10): 184–189.
- [7] 朱惠彬, 朱顺星, 程纯. 黄蘑多糖对 H22 荷瘤小鼠肿瘤生长及其 VEGF 表达的影响[J]. 中国医药导报, 2011, 8(29): 29–31.
ZHU HB, ZHU SX, CHENG C. The influence of humangmo polysaccharides on tumor growth of H22 tumor bearing mice and its VEGF expression [J]. China Med Her, 2011, 8(29): 29–31.
- [8] 马岩, 水野卓, 伊藤均. 长白山野生黄蘑抗肿瘤活性多糖的研究[J]. 白求恩医科大学学报, 1992, (3): 220–223.
MA Y, MIZUNO T, ITO H. Antitumor activity of some polysaccharides isolated from the wild mushroom “Humangmo” from MT. Chambal [J]. J Norman Bethune Univ Med Sci, 1992, (3): 220–223.
- [9] WANG L, LI X, WANG B. The cytotoxicity activity of *Hohenbuehelia serotina* polyphenols on HeLa cells via induction of cell apoptosis and cell cycle arrest [J]. Food Chem Toxicol, 2019, 124: 239–248.
- [10] LI X, WANG L, WANG Z. Radio protective activity of neutral polysaccharides isolated from the fruiting bodies of *Hohenbuehelia serotina* [J]. Phys Medica, 2015, 31(4): 352–359.
- [11] 宋振康, 张海悦, 尹家乐, 等. 响应面法优化元蘑多糖提取工艺及抗疲劳活性的研究[J]. 食品科技, 2020, 45(6): 254–260.
SONG ZK, ZHANG HR, YI JL, et al. Study on optimization of extraction technology and antifatigue activity of *Hohenbuehelia serotina* polysaccharide by response surface method [J]. Food Sci Technol, 2020, 45(6): 254–260.
- [12] 李晓林, 孙国光, 马岩. 黄蘑多糖不同组分对 D-半乳糖致衰老模型小鼠 SOD、MDA 的影响[J]. 中国老年学杂志, 2006, 26(1): 86–88.
LI XL, SUN GG, MA Y. Comparative research on the effect of different component of mushroom polysaccharides on SOD and MDA in aged rats induced by D-galactose [J]. Chin J Gerontol, 2006, 26(1): 86–88.
- [13] 曾令彬, 赵思明, 熊善柏, 等. 风干白鲢的热风干燥模型及内部水分扩散特性[J]. 农业工程学报, 2008, 24(7): 280–283.
ZENG LB, ZHAO SM, XIONG SB, et al. Modeling and moisture diffusion properties of salted silver carp during hot-air drying [J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 2008, 24(7): 280–283.
- [14] 宋芳芳, 徐艳文, 张俊, 等. 不同干燥条件对马铃薯品质影响的研究[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(8): 79–82.
SONG FF, XU YW, ZHANG J, et al. Research on the effects of different drying conditions on quality of potato powder [J]. Cere Oils, 2019, 32(8): 79–82.
- [15] 陈香颖, 杨国才, 王季春, 等. 不同烘干温度对紫色甘薯淀粉率和花青素含量的影响[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(2): 211–213.
CHEN XY, YANG GC, WANG JC, et al. Effects of starch content and anthocyanin content of purple sweet potato on the different drying temperatures [J]. Jiangsu Agric Sci, 2013, 41(2): 211–213.
- [16] 沈嘉森, 陈晓婷, 苏永昌, 等. 干燥过程对水产干制品品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(22): 8186–8193.
SHEN JS, CHEN XT, SU YC, et al. Effects of drying process on the quality of dried aquatic products [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(22): 8186–8193.
- [17] 李英迪, 夏其乐, 曹艳, 等. 3 种干燥方式对猴头菇活性成分及抗氧化活性的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(14): 4595–4601.
LI YD, XIA QL, CAO Y, et al. Effects of 3 drying methods on bioactive components and antioxidant activity of *Hericium erinaceus* [J]. J Food Saf

- Qual, 2020, 11(14): 4595–4601.
- [18] 李沛生, 刘伟涛, 李丹丹, 等. 糖渍加应子的热风干燥特性及其表达模型[J]. 农业工程学报, 2009, 25(11): 330–335.
- LI BS, LIU WT, LI DD, *et al.* Characteristics of hot air drying of candied prunes and representation model [J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 2009, 25(11): 330–335.
- [19] 姜伊悦, 张小勇, 崔泰花, 等. 元蘑蛋白的超声辅助提取及结构分析[J]. 食品科技, 2019, 44(8): 228–234.
- JIANG YY, ZHANG XY, CUI TH, *et al.* Ultrasound extraction and structural characteristics of protein from *Hohenbuehelia serotina* [J]. Food Sci Technol, 2019, 44(8): 228–234.
- [20] 田风华. 中国东北元蘑种质资源评价及其三萜合成途径相关基因研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2019.
- TIAN FH. Evaluation of germplasm resources and genes related to triterpene synthetic pathway of *Sarcomyxa edulis* in northeast China [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2019.
- [21] 季瑞雪, 鹿保鑫, 王新茹, 等. 野生亚侧耳多糖的提取和对巨噬细胞 Raw264.7 的免疫调节作用研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(4): 271–276.
- JI RX, LU BX, WANG XR, *et al.* Extraction of polysaccharides from wild *Hohenbuehelia serotina* and its immunomodulatory function in raw 264.7 cells [J]. Sci Technol Food Ind, 2020, 41(4): 271–276.
- [22] 杨立红, 刘林德, 姜华, 等. 野生元蘑多糖的分离鉴定及其清除氧自由基作用[J]. 食品科学, 2007, 28(11): 81–85.
- YANG LH, LIU LD, JIANG H, *et al.* Isolation and identification of saccharides from *Hohenbuehelia serotina* and its effect on scavenging oxygen free radicals [J]. Food Sci, 2007, 28(11): 81–85.
- [23] 侯会, 陈鑫, 方东路, 等. 干燥方式对食用菌风味物质影响研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(15): 4877–4883.
- HOU H, CHEN X, FANG DL, *et al.* Research progress on influence of drying methods on flavor compounds of edible fungus [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(15): 4877–4883.
- [24] ROHLF FJ, SOKAL RR. Biometry: The principles and practice of statistics in biological research [M]. New York: WH Freeman, 2012.
- [25] TENG X, BA L, WANG DL, *et al.* Growth responses of *Leymus chinensis* to sheep saliva after defoliation [J]. Rangeland J, 2010, 32: 419–426.
- [26] 左伟, 王桥, 王文杰, 等. 区域生态安全评价指标与标准研究[J]. 地理学与国土研究, 2002, 18(1): 67–71.
- ZUO W, WANG Q, WANG WJ, *et al.* Study on regional ecological security assessment index and standard [J]. Geogr Geo-Inform Sci, 2002, 18(1): 67–71.
- [27] 田建华. 干燥温度对沙棘果渣中 VC、VE 和总黄酮含量的影响[J]. 食品工程, 2020, (4): 30–32.
- TIAN JH. Effect of drying temperature on the content of VC, VE and total flavonoids in sea buckthorn fruit residue [J]. Food Eng, 2020, (4): 30–32.
- [28] 辛敏甲, 黎莉, 周文, 等. 干燥温度和采收时间对湖北产连钱草总黄酮含量的影响[J]. 亚太传统医药, 2009, 5(12): 11–12.
- XIN MJ, LI L, ZHOU W, *et al.* Study on the influence of the contents of total flavones from herbalechomae growing in Hubei province by drying temperature and harvest time [J]. Asia-Pac Tradit Med, 2009, 5(12): 11–12.
- [29] 张艳荣, 吕呈蔚, 刘通, 等. 不同干燥方式对姬松茸挥发性风味成分分析[J]. 食品科学, 2016, 37(10): 116–121.
- ZHANG YR, LV CW, LIU T, *et al.* Effect of different drying methods on volatile flavor components in *Agaricus blazei* [J]. Food Sci, 2016, 37(10): 116–121.
- [30] TIAN Y, ZHAO Y, HUANG J, *et al.* Effects of different drying methods on the product quality and volatile compounds of whole shiitake mushrooms [J]. Food Chem, 2016, 197(PartA): 714–722.
- [31] YAN JK, WU LX, QIAO ZR, *et al.* Effect of different drying methods on the product quality and bioactive polysaccharides of bitter melon (*Momordica charantia* L.) slices [J]. Food Chem, 2019, 271: 588–596.
- [32] 唐秋实, 陈智毅, 刘学铭, 等. 几种干燥方式对金针菇子实体挥发性风味成分的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(10): 119–124.
- TANG QS, CHEN ZY, LIU XM, *et al.* Influence of drying methods on volatile components of *Flammulina velutipe* [J]. Sci Technol Food Ind, 2015, 36(10): 119–124.
- [33] 吴方宁. 干燥方法对白玉蕈风味物质的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2014.
- WU FN. The influence of drying methods on flavor components of White *Hypsizygus marmoreus* [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2014.
- [34] 陆妙灵, 吕飞, 丁玉庭. 黄鳍金枪鱼鱼皮热泵干燥特性研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(24): 110–113.
- LU ML, LV F, DING YT. Study on heat pump drying characteristics of yellow fin tuna (*Thunnus albacores*) skin [J]. Sci Technol Food Ind, 2013, 34(24): 110–113.

(责任编辑: 郑丽王欣)

作者简介



滕星, 博士, 副研究员, 主要研究方向为有机废弃物资源化利用和土壤改良。
E-mail: tengxing2001@163.com

刘迎春, 副研究员, 主要研究方向为食用菌栽培。
E-mail: Liuyork1969@sina.com