热风干燥对黑木耳品质的影响

白植方[1],方佳佳[1],贾振宝[2],宋婷婷[3],范丽军[3],陶　菲[1,*]

(1.中国计量大学标准化学院,浙江　杭州　310018; 2.中国计量大学生命科学学院,浙江　杭州　310018;
3.浙江省农业科学院园艺研究所,浙江　杭州　310021)

摘　要:为探索黑木耳的热风干燥工艺技术,比较不同热风温度对黑木耳干燥特性的影响,以自然晾晒干燥和冷冻干燥为对照,对热风干燥黑木耳的水分分布、复水性能和抗氧化活性进行分析。结果表明:黑木耳在85 ℃下的热风干燥速率高于55 ℃和70 ℃,干燥过程由升速阶段和降速阶段组成。对干燥动力学模型进行拟合,发现Page模型为最佳干燥动力学模型。低场核磁共振横向弛豫时间曲线显示,热风干燥前黑木耳中的水分以自由水为主;85 ℃热风干燥黑木耳的复水性能略高于55 ℃和70 ℃,显著高于自然晾晒样品($P<0.05$)。热风干燥黑木耳的1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)自由基清除能力和β-胡萝卜素保护能力均显著高于自然晾晒样品($P<0.05$),85 ℃热风干燥黑木耳的DPPH自由基清除能力和β-胡萝卜素保护能力分别为150.6、138.9 μg Trolox/g m_d。综上所述,85 ℃热风干燥工艺操作简单,可以较好地保持黑木耳干制品的品质,该研究为黑木耳干燥干燥过程中的品质调控提供了理论依据。

关键词:黑木耳;热风干燥;干燥动力学模型;品质

Effect of Hot Air-Drying on Quality of *Auricularia auricula*

BAI Zhifang[1], FANG Jiajia[1], JIA Zhenbao[2], SONG Tingting[3], FAN Lijun[3], TAO Fei[1,*]

(1. College of Standardization, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China; 2. College of Life Science, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China; 3. Institute of Horticulture, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China)

Abstract: In order to explore the feasibility of suitable hot-air drying technology of *Auricularia auricula*, the effects of hot air-drying temperature on drying characteristics were investigated. Moisture distribution, rehydration property and antioxidant activity of hot-air dried *Auricularia auricula* were analyzed compared with those of natural drying and freeze-drying. The results showed that high temperature (85 ℃) of hot air enhanced the drying rate compared to low temperature (55 ℃ and 70 ℃). Two distinct drying stages were observed for hot air-drying: an initial heating stage characterized by a rapid increase in the drying rate, followed by a falling drying rate stage. Page model could better describe *Auricularia auricula* drying behavior among five tested mathematical models. Low-field nuclear magnetic resonance transverse relaxation time (T_2) inversion spectrum showed that the water in undried *Auricularia auricula* was mainly bound water. The rehydration capacity of *Auricularia auricula* dried at 85 ℃ which was significantly higher than that of natural drying ($P<0.05$), slightly higer than those of samples at 55 ℃ and 70 ℃. Hot air-dried *Auricularia auricula* exhibited higher (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl)(DPPH) radical scavenging and β-carotene protection activ-

基金项目:浙江省农业重大技术协同推广计划项目(2021XTTGSYJ02-2)
作者简介:白植方(2002—),女,汉族,本科,研究方向:食品标准化。
***通信作者:**陶　菲,博士,研究员,研究方向:农产品加工。

ities compared with that of natural drying ($P<0.05$). DPPH radical scavenging and β-carotene protection activity for *Auricularia auricula* dried at 85 ℃ were 150.6 and 138.9 μg Trolox/g dry weight, respectively. Therefore, hot air-drying at 85 ℃ could be suggested for the production of dehydrated *Auricularia auricula* with better physical qualities. This study provided a theoretical basis for the quality control during the drying process of *Auricularia auricula*.

Key words: *Auricularia auricula*; hot air-drying; drying kinetic model; quality

中图分类号：TS205.1　　**文献标识码：**A　　DOI：10.3969/j.issn.1009-6221.2023.11.004

黑木耳（*Auricularia auricula*），又称云耳、木耳，是一种常见的药食两用真菌，属于真菌界担子菌门伞菌纲木耳科木耳属。黑木耳子实体为圆形或半圆形，表面有光泽，颜色深褐色或黑色，为其可食用部分。我国是黑木耳主要生产国之一，有2 000多年的栽培历史，遍及全国20多个省市自治区，其中以黑龙江、吉林、四川、云南、陕西和广西等地野生或栽培的黑木耳最为著名。黑木耳含有以多糖、黑色素、多酚类化合物、甾醇等为代表的多种生物活性成分，这些活性物质在提高机体免疫力、抗肿瘤、延缓衰老、缓解氧化应激、降低血脂和胆固醇等方面发挥着积极作用[1-3]。

新鲜黑木耳的含水量较高，约为85%~90%左右，高含水量使得黑木耳易腐烂变质，不利于流通贮藏。干燥后的黑木耳不易变质，且体积小，方便储存和携带，因此黑木耳干制品是其主要的销售形式。目前，我国黑木耳干燥方式以自然晾晒为主，该方法干燥周期长，受天气条件影响较大，且劳动强度大。近年来，随着我国黑木耳种植规模的扩大，种植企业对采用人工干制黑木耳的需求越来越大[4]。因此，寻求更为高效的黑木耳干燥方法对提高黑木耳综合利用率，促进我国黑木耳产业的健康发展十分重要。

热风干燥（Hot air drying，HAD）是最常用的干燥方法之一，该法是以高温低湿空气作为干燥介质，以食品物料表面与干燥介质的蒸气压差为干燥推动力。食品物料的热风干燥在实际应用中具有操作简单、投资成本低等优势，非常适用于大宗生鲜农产品的脱水加工。目前，热风干燥已广泛用于香菇、银耳和杏鲍菇等食用真菌产品的干燥加工，并取得了较好的应用效果[5-7]。但是，目前国内学者对黑木耳热风干燥的相关研究较少。

本文研究了热风干燥对鲜木耳干燥特性的影响，并以自然晾晒及冷冻干燥为对照，研究热风干燥对黑木耳的复水性、水分分布和抗氧化活性的影响，以期为黑木耳脱水制品的开发和利用提供技术支持。

1　材料与方法

1.1　材料与设备

1.1.1　材料与试剂

黑木耳品种为‘黑山’，由浙江省农业科学院园艺研究所提供。1,1-二苯基-2-三硝基苯肼（DPPH）、β-胡萝卜素、甲醇、氯仿、亚油酸、吐温-20、奎诺二甲基丙烯酸酯（Trolox）等试剂均购于上海阿拉丁生化科技股份有限公司。

1.1.2　仪器与设备

DGG-9140B型热风干燥箱，上海美呈仪器有限公司；MesoMR23-060-I型核磁共振分析仪，上海纽迈电子科技有限公司；FreeZONE 2.5Plus冷冻干燥机，美国Labconco公司；UV2501型紫外可见分光光度计，岛津仪器（苏州）有限公司。

1.2　方法

1.2.1　黑木耳的干燥

1.2.1.1　热风干燥

分别取100 g左右鲜木耳样品，均匀地摊开在规格为600 mm×400 mm的网盘上，放入热风干燥箱内，分别在55、70、85 ℃下干燥至恒质量。以10 min为间隔，测定样品在干燥过程中的质量变化，结合含水率分析干燥特性指标。

1.2.1.2　自然晾晒

将新鲜鲜木耳均匀摆放至网盘上（取样量和网盘规格同“1.2.1.1”），置于阴凉通风处（15~25 ℃），自然晾晒至恒质量。

1.2.1.3　冷冻干燥

将新鲜黑木耳在-25 ℃下冻结，然后放入冷冻干燥机的搁板上，冷阱温度设定为-50 ℃，真空度为8 Pa。

1.2.2　干燥动力学参数计算

1.2.2.1　干基含水率

采用105 ℃直接干燥法测定，按照式（1）计算黑木耳干基含水率。

$$M_t = \frac{m_t - m_g}{m_g} \quad (1)$$

式中：M_t为干基含水率，g/g；m_t为黑木耳样品质量，g；m_g为黑木耳的绝干质量，g。

1.2.2.2 水分比(*MR*)

按照公式(2)计算。

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (2)$$

式中:*MR*为*t*时刻黑木耳的水分比;M_t为黑木耳在*t*时的干基含水率,g/g;M_0为黑木耳在初始时刻的干基含水率,g/g;M_e为黑木耳平衡时干基含水率,g/g。

1.2.2.3 干燥速率(*DR*)

按照公式(3)计算。

$$DR = \frac{M_t - M_{t+\Delta t}}{\Delta t} \quad (3)$$

式中:*DR*为干燥速率,$g \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$;$M_t$和$M_{t+\Delta t}$分别为*t*和$t+\Delta t$时刻样品的干基含水率,g/g;$\Delta t$是相邻2次测量的时间间隔,min。

1.2.3 干燥动力学模型拟合

运用5个常用的干燥动力学模型对黑木耳热风干燥曲线进行拟合,并从中筛选出最适合描述各干燥方式的干燥动力学模型。以决定系数(R^2)和均方根误差(*RMSE*)作为模型拟合的评价指标,干燥动力学模型及其方程见表1。

表1 模拟干燥曲线的数学模型

Table 1 Mathematical models for simulating drying curves

干燥模型	干燥模型方程
Lewis	$MR = \exp(-kt)$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$
Henderson and Pabis	$MR = a\exp(-kt) + b$
Modified Henderson and Pabis	$MR = a\exp(-kt) + b\exp(-gt) + c\exp(-ht)$
Wang and Singh	$MR = 1 + at + bt^2$

注:*k*为干燥速度常数;*t*为干燥时间;*a*、*b*、*c*、*g*、*h*、*n*为各模型方程的待定参数。

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(MR_{pre,i} - MR_{exp,i}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(MR_{exp,i} - MR_{exp,i}\right)^2} \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(MR_{pre,i} - MR_{exp,i}\right)^2}{n}} \quad (5)$$

1.2.4 水分分布

精确称取一定质量的黑木耳样品,将其置于15 mm口径的检测管中,利用核磁共振分析仪对黑木耳横向弛豫时间(T_2)分布曲线进行测试,每个样品重复测定3次。多脉冲回波序列(CPMG)的参数为:主频23 MHz,180°脉冲时间26 μs,重复采样等待时间3 000 ms,偏移频率305 468.85 Hz,90°脉冲时间15.00 μs。

1.2.5 复水比

称取不同黑木耳干制品(10.0 g)分别加入500 mL蒸馏水,置于40 ℃水浴锅中保温复水60 min后,分别取出沥干称重,重复3组试验。木耳复水比的计算公式如式(6)所示:

$$复水比 = \frac{m_1}{m_0} \quad (6)$$

式中:m_0为复水前干制品质量,g;m_1为复水后样品沥干质量,g。

1.2.6 抗氧化活性的测定

称取1.0 g干燥黑木耳,研磨成细粉后,加入8 mL甲醇,超声提取5 min,在6 000 r/mim下离心分离15 min后收集上清液,分别测定DPPH自由基清除率和β-胡萝卜素保护率。以Trolox作阳性对照,以Trolox溶液的质量浓度(0、25、50、100、200、300 μg/mL)为横坐标,分别以DPPH自由基清除率和β-胡萝卜素保护率为纵坐标,绘制标准曲线,干燥黑木耳的DPPH自由基清除能力和β-胡萝卜素保护能力均表示为μg Trolox/g m_d。

1.2.6.1 DPPH自由基清除能力的测定

参考Ofosu等[8]的方法,并稍作修改。取2 mL DPPH溶液与0.5 mL待测液混合,涡旋振荡摇匀,室温下暗处反应30 min,于517 nm处测定吸光度值,以甲醇作为本底,计算DPPH自由基清除能力。

$$DPPH自由基清除率(\%) = \frac{A_0 - A_i}{A_0} \times 100 \quad (7)$$

式中:A_0为本底吸光度值;A_i为样品溶液的吸光度值。

1.2.6.2 β-胡萝卜素褪色试验(β-胡萝卜保护能力)

参考Sila等[9]的方法,并稍作修改。取4 mL β-胡萝卜素的氯仿溶液(0.3 mg/mL)于圆底烧瓶中,加入50 μL亚油酸和600 μL吐温-20,混匀后,旋转蒸发除去氯仿,再加入蒸馏水100 mL(4 ℃),超声20 min后得到澄清透明的乳化液。取2 mL样品溶液和6 mL乳化液混合,置于50 ℃水浴保温60 min,测定保温前后470 nm处的吸光度值,以甲醇作为对照试样。

$$β-胡萝卜素保护率(\%) = (1 - \frac{A_0 - A_t}{B_0 - B_t}) \times 100 \quad (8)$$

式中:A_0为$t=0$ min时样品管的吸光度值;A_t为$t=60$ min时样品管的吸光度值;B_0为$t=0$ min时对照管的吸光度值;B_t为$t=60$ min时对照管的吸光度值。

1.2.7 数据处理

每组试验重复3次,数据均表示为$\bar{x} \pm s$。利用IBM SPSS Statistics 26软件进行相关性分析和干燥动力学模型拟合。

2 结果与分析

2.1 不同热风温度对黑木耳干燥特性的影响

常见的食品物料在热风干燥过程中根据干燥速

率一般分为3个阶段，分别为升速干燥阶段、恒速干燥阶段和降速干燥阶段[10-12]。黑木耳在不同热风温度下的干燥曲线如图1A所示。热风温度越高，水分比下降速率越快，干燥所需的时间越短。干燥温度为85 ℃所用干燥时间为190 min，相较于55 ℃缩短了37%的干燥时间。提高食品物料的热风温度，可加速水分子运动，从而加快黑木耳表面水分迁移，缩短热风干燥时间。黑木耳在不同干燥温度下的干燥速率曲线如图1B所示。干燥速率在干燥过程中整体上呈现先增大后减小的趋势，黑木耳在脱水过程以降速干燥阶段为主。热风干燥过程中，黑木耳没有明显的恒速干燥阶段，主要是由于其较薄的厚度，水分从黑木耳内部向外部迁移速率小于外表面水分的蒸发速率，导致木耳样品表面的水分蒸气压保持在不饱和状态。恒速干燥阶段的缺失进一步说明内部水分传递是影响黑木耳热风干燥过程中水分传递的主要因素[13]。

2.2　干燥模型拟合

运用IBM SPSS Statistics 26软件对上述干燥过程进行表1中5个干燥数学模型的拟合分析，得到的数学模型如表2所示。采用决定系数（R^2）和均方根误差（*RMSE*）作为判别模型拟合度的基评价指标。当R^2越接近于1、*RMSE*越接近于0时，模型预测效果越好。如表2所示，Page模型的R^2≥0.989，*RMSE*≤0.023 12。因此，相较于其他4种数学模型，Page模型更适于拟合黑木耳的热风干燥过程。

2.3　黑木耳干制品的水分分布

水分是新鲜黑木耳中含量最多的组分，干燥过程中水分状态和分布的变化与干燥产品的品质密切相关[14]。低场核磁共振（Low-field nuclear magnetic resonance，LF-NMR）技术是研究食品干燥加工过程中水分状态的有力工具。不同干燥样品的横向驰豫时间（T_2）分布曲线如图2所示，鲜黑木耳T_2弛豫分布曲线呈现出3种波峰，对应3种不同的水分状态，其中流动性最低的T_{21}为细胞壁中的水分（结合水），流动性居中的T_{22}为胞外间隙和细胞质中的水分（不易流动水），流动性最强的T_{23}为液泡中的水分（自由

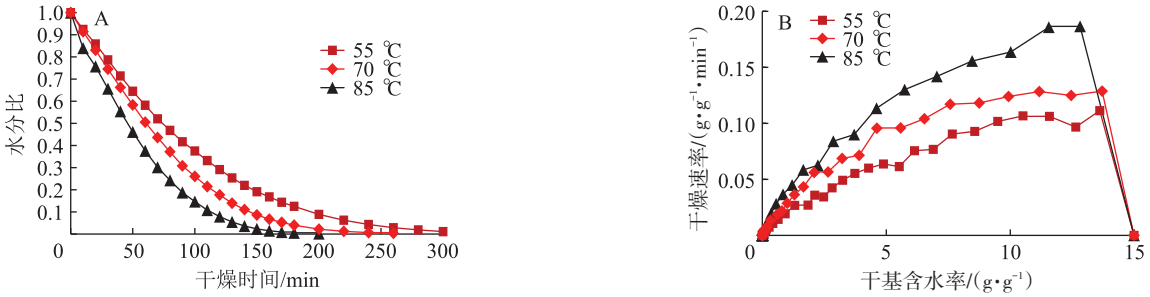


图1　不同热风温度下黑木耳的干燥曲线（A）和干燥速率曲线（B）

Fig.1　Drying curves (A) and drying rate curves (B) of *Auricularia auricula* under different drying temperature

表2　干燥曲线的数学模型拟合

Table 2　Fitting results of hot air-drying empirical model of Auricularia auricula

干燥模型	温度/℃	拟合方程	R^2	*RMSE*
Lewis	55	$MR=\exp(-0.009t)$	0.953	0.133 23
	70	$MR=\exp(-0.011t)$	0.965	0.126 00
	85	$MR=\exp(-0.014t)$	0.955	0.106 14
Page	55	$MR=\exp(-0.002t^{1.28})$	0.991	0.029 66
	70	$MR=\exp(-0.003t^{1.258})$	0.989	0.024 25
	85	$MR=\exp(-0.004t^{1.332})$	0.992	0.023 12
Henderson and Pabis	55	$MR=1.111\exp(-0.008t)-0.071$	0.921	0.107 16
	70	$MR=1.111\exp(-0.010t)-0.068$	0.940	0.101 32
	85	$MR=1.099\exp(-0.016t)-0.048$	0.874	0.086 28
Modified Henderson and Pabis	55	$MR=0.317\exp(-0.009t)+0.317\exp(-0.009t)+0.435\exp(-0.009t)$	0.892	0.107 15
	70	$MR=0.433\exp(-0.011t)+0.276\exp(-0.011t)+0.365\exp(-0.011t)$	0.918	0.101 32
	85	$MR=0.036\exp(-0.018t)+0.412\exp(-0.018t)+0.619\exp(-0.018t)$	0.946	0.086 28
Wang and Singh	55	$MR=1-0.006t-0.000\,008\,4t^2$	0.954	0.081 54
	70	$MR=1-0.007t-0.000\,011t^2$	0.967	0.772 35
	85	$MR=1-0.011t+0.000\,028t^2$	0.988	0.063 73

水)[15]。T_2弛豫分布曲线图中的峰面积越大,表明水分含量越高。由图2可以看出,鲜木耳的T_{23}弛豫峰强度很大,说明鲜木耳中的水分较高,且以自由水为主。干燥后木耳样品T_2弛豫分布曲线中均以T_{21}弛豫峰为主,T_{23}弛豫峰强度较弱,说明干燥后样品中的水分以结合水为主,鲜木耳中的绝大部分自由水被脱除。热风干燥样品中结合水的信号强度均低于自然晾晒,高于冷冻干燥的样品,说明热风干燥样品的平衡水分含量介于二者之间。

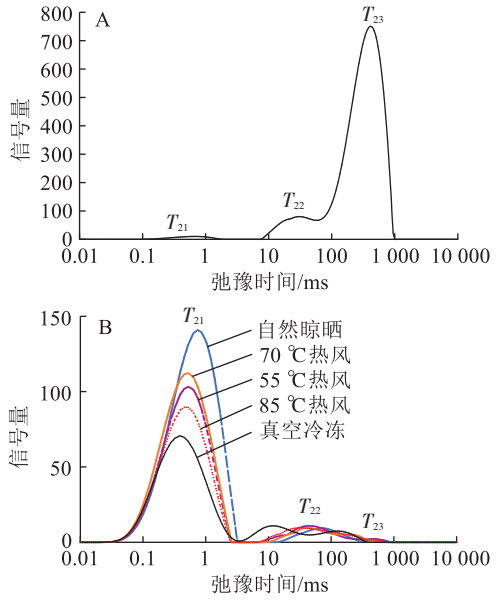
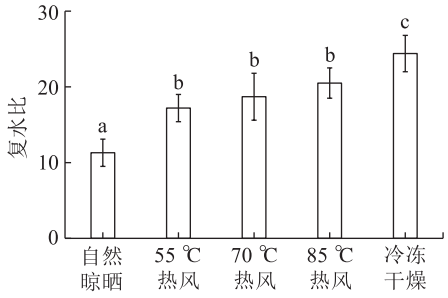


图2 新鲜黑木耳(A)和不同干燥处理黑木耳(B)的T_2弛豫分布曲线图

Fig.2 T_2 relaxation spectra of fresh (A) and dried (B) *Auricularia auricula* under different drying treatment conditions

2.4 干燥黑木耳的复水比

复水比是最常用的复水特性参数,反映了干制品复水后恢复到鲜品的程度,是检验干制品品质的重要指标。复水比越大,表明其重新吸收水分的能力越强,复水时间越短。不同干燥处理黑木耳测得的复水比如图3所示。冷冻干燥样品的复水比最高,达到了24.6;自然晾晒黑木耳的复水比最低(11.3)。冷冻干燥过程中温度较低,黑木耳中的水分以升华方式迁移,保持了黑木耳内部多孔状的结构,使得黑木耳具有优异的复水能力。55、70、85 ℃热风干燥黑木耳的复水比分别为17.2、18.7、20.5,均显著高于自然晾晒的黑木耳($P<0.05$)。相较于冷冻干燥,热风干燥黑木耳的复水性能较低。黑木耳热风干燥过程中体积收缩,导致干制品硬度大和结构致密是其复水性能下降的主要原因[16]。85 ℃热风干燥黑木耳的复水比高于55 ℃和70 ℃热风干燥的样品,这可能是由于其干燥时间较短,蛋白质和多糖类成分的变性程度较低,复水后保持了较好的亲水能力。



注:不同小写字母表示不同干燥处理的黑木耳之间差异显著($P<0.05$),以下各图同。

图3 不同干燥处理黑木耳的复水比

Fig.3 Rehydration ratio of different drying treatment of *Auricularia auricular*

2.5 不同干燥黑木耳的抗氧化活性分析

不同干燥处理黑木耳的DPPH自由基清除能力见图4。55、70、85 ℃热风干燥黑木耳的DPPH自由基清除能力分别为136.5、142.2、150.6 μg Trolox/g m_d,均高于自然晾晒样品(97.5 μg Trolox/g m_d)。β-胡萝卜素褪色抑制试验是模拟分析细胞膜脂质氧化程度的常用方法,在油/水乳化体系中,亚油酸被氧化后产生的过氧化物自由基能够攻击胡萝卜素分子,进而产生褪色效应,故根据体系中吸光度值的变化可以直接评估活性组分的抗氧化能力[17]。

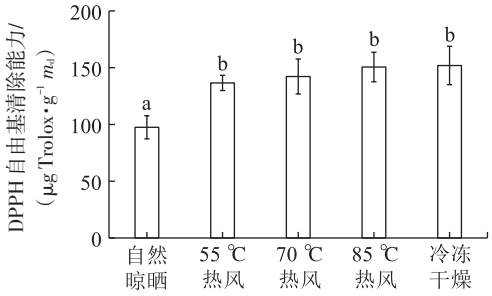


图4 不同干燥处理黑木耳的DPPH自由基清除能力

Fig.4 DPPH free radical scavenging capacities of different drying treatment of *Auricularia auricular*

如图5所示,55、70、85 ℃热风干燥黑木耳的β-胡萝卜素保护能力分别为89.3、115.7、138.9 μg Trolox/g m_d。85 ℃干燥黑木耳β-胡萝卜素保护能力显著低于冷冻干燥($P<0.05$)。冷冻干燥是在低温下进行的脱水过程,黑木耳中多糖类、黄酮类化合物等活性成分的保留率较高,所以表现出较高的自由基清除活性和胡萝卜素保护能力。由以上结果可知,85 ℃热风干燥黑木耳的DPPH自由基清除能力和胡萝卜素保护能力均高于其他温度(55 ℃和70 ℃)热风干燥样品。较高的热风温度一方面可以钝化物料内源性酶,提高多酚、多糖等活性成分稳定性(保留率高),

表现出较高的抗氧化活性[16]；另一方面，高温干燥引发的美拉德反应可产生大量具有抗氧化活性的美拉德反应产物，如类黑精、呋喃、吡咯以及还原醛等，这些反应产物相较于黑木耳中的多糖和多酚活性组分表现出更强的抗氧化活性。

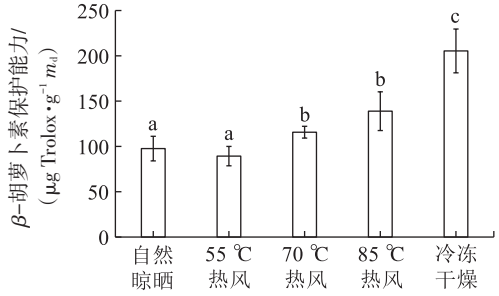


图5　不同干燥处理黑木耳的β-胡萝卜素保护能力

Fig.5　β-carotene protection capacities of different drying treatment of *Auricularia auricular*

3　结论

上述试验结果表明，黑木耳的热风干燥温度越高，干燥速率越快。热风干燥主要分为升速干燥阶段与降速干燥阶段，表明黑木耳的内部水分扩散能力是决定其热风干燥速度的关键因素。Page模型对黑木耳的热风干燥具有较好的拟合效果。热风干燥黑木耳的复水比、DPPH自由基清除能力和β-胡萝卜素保护能力均高于自然晾晒干燥黑木耳。85 ℃热风干燥速率快、复水后的品质好，其干制品抗氧化活性较强，是一种优于自然晾晒的高效、优质的干燥工艺技术。

参考文献：

[1] KHASKHELI S G, ZHENG W, SHEIKH S A, et al. Characterization of *Auricularia auricula* polysaccharides and its antioxidant properties in fresh and pickled product[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2015, 81(26): 387-395. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2015.08.020.

[2] CHOI Y J, PARK I S, KIM M H, et al. The medicinal mushroom *Auricularia auricula-judae* (Bull.) extract has antioxidant activity and promotes procollagen biosynthesis in HaCaT cells[J]. Natural Product Research, 2019, 33(22): 3283-3286. DOI: 10.1080/14786419.2018.1468332

[3] MIAO J N, REGENSTEIN J M, QIU J Q, et al. Isolation, structural characterization and bioactivities of polysaccharides and its derivatives from *Auricularia*-A review[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 150: 102-113. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.02.054.

[4] 任爱清，曹珍珍，唐小闲，等. 黑木耳真空微波干燥过程中水分迁移变化规律研究[J]. 粮食与油脂, 2022,35(11):99-103. DOI:10.3969/j.issn.1008-9578.2022.11.021.

[5] 杨伊琳，丁俊雄，吴小华，等. 香菇热风干燥特性及动力学模型[J]. 中国农业大学学报，2022,27(4):135-144. DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2022.04.12.

[6] 李亚欢，田平平，王杰，等. 干燥方式对银耳加工与贮藏过程中品质的影响[J]. 中国农业科学,2016,49(6):1163-1172. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2016.06.012.

[7] 黄磊. 即食杏鲍菇热风干燥工艺优化研究[J]. 中国调味品，2017,42(9):32-35. DOI:10.3969/j.issn.1000-9973.2017.09.007.

[8] OFOSU F K, ELAHI F, DALIRI E B M, et al. Impact of thermal treatment and fermentation by lactic acid bacteria on sorghum metabolite changes, their antioxidant and antidiabetic activities[J/OL]. Food Bioscience, 2022, 45[2023-03-21]. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212-429221006271. DOI: 10.1016/j.fbio.2021.101502.

[9] SILA A, SAYARI N, BALTI R, et al. Biochemical and antioxidant properties of peptidic fraction of carotenoproteins generated from shrimp by-products by enzymatic hydrolysis [J]. Food Chemistry, 2014, 148: 445-452. DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.05.146.

[10] CHAHBANI A, FAKHFAKH N, BALTI M A, et al. Microwave drying effects on drying kinetics, bioactive compounds and antioxidant activity of green peas (*Pisum sativum* L.)[J]. Food Bioscience, 2018, 25: 32-38. DOI: 10.1016/j.fbio.2018.07.004.

[11] MONTEIRO R L, CARCIOFI B A M, LAURINDO J B. A microwave multi-flash drying process for producing crispy bananas[J]. Journal of Food Engineering, 2016, 178: 1-11. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2015.12.024.

[12] IGUAL M, GARCÍA-MARTÍNEZ E, MARTÍN-ESPARZA M E, et al. Effect of processing on the drying kinetics and functional value of dried apricot[J]. Food Research International, 2012, 47(2): 284-290. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.07.019.

[13] 夏文水. 食品工艺学[M]. 北京：中国轻工业出版社，2009.

[14] GARCÍA-GARCÍA A B, CAMBERO M I, CASTEJÓN D, et al. Dry cured-ham microestructure: A T_2 NMR relaxometry, SEM and uniaxial tensile test combined study[J/OL]. Food Structure, 2019, 19[2023-03-21]. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221332911830073X. DOI: 10.1016/j.foostr. 2018.100104.

[15] FAN L Y, YANG J X, CASALI R A, et al. Magnetic resonance imaging (MRI) to quantify the swelling and drying of whey protein hydrogels[J]. Journal of Food Engineering, 2017, 214: 97-103. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2017.06.033.

[16] SUN M X, NI L Y, HUANG Y H, et al. Effects of different drying treatments on the microstructure, free amino acids, volatile compounds and antioxidant activity of *Flammulina velu-*

tipes root[J/OL]. Food Chemistry: X, 2023, 18[2023-03-21]. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590157-523000986. DOI: 10.1016/j.fochx.2023.100656.

[17] ZHANG D, LI X J, ZHANG Z Y, et al. Influence of roasting on the physicochemical properties, chemical composition and antioxidant activities of peanut oil[J/OL]. LWT-Food Science and Technology, 2022, 154[2023-03-22]. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643821017667. DOI: 10. 1016/j.lwt.2021.112613.

收稿日期:2023-05-10

(上接第23页)

[19] 邹冬梅,李敏,高兆银,等.香蕉采收及贮运保鲜技术[J].中国热带农业,2018(2):76-77. DOI:10.3969/j.issn.1673-0658.2018.02.020.

[20] 刘艳秋,刘楹博,闫运开,等.不同成熟度对酸樱桃贮藏特性的研究[J].北方园艺,2017(4):116-119. DOI:10.11937/bfyy.201704027.

[21] 刘娜,石小玉,顾光福,等.不同采收期猕猴桃果实冷藏前后品质特性评价[J].食品与发酵工业,2022,48(11):213-220. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.027923.

收稿日期:2023-05-24

。科技前沿。

调查发现少吃盐或有助于预防糖尿病

患糖尿病风险较高的人通常会避免吃糖,一项新研究表明,少吃盐也可能有助于预防2型糖尿病。

美国图兰大学等机构的研究人员近日在美国《梅奥诊所学报》上发表论文说,他们调查了在英国生物医学数据库登记的超过40万名成年人的盐摄入量,在时间中位数接近12年的随访中,参与者中逾1.3万人患上2型糖尿病。

调查发现,与"从不"或"很少"向食物中添加盐的人相比,"有时""经常"或"总是"向食物中添加盐的人患2型糖尿病的风险分别高出13%、20%和39%。

研究人员说,这表明高盐摄入与患2型糖尿病风险增加有关。先前研究发现,限制盐的摄入可降低患心血管疾病和高血压的风险,而这项研究表明,少吃盐也可能有助于预防2型糖尿病。

研究人员表示,目前尚不清楚为何高盐摄入会与患2型糖尿病的风险有关,可能是因为盐会促使人们吃得更多,增加肥胖、炎症等风险,进而引发糖尿病。接下来,他们将开展临床试验,控制参与者的盐摄入量并观察效果。

来源:新华网

2023-11-06