

黑木耳多糖对黑木耳复水特性的影响

苏 鑫 吕慧威 刘 舟 柴振宇

(吉林师范大学博达学院食品科学与工程学院, 吉林 四平 136000)

摘要: [目的] 探究黑木耳多糖对黑木耳复水特性的影响。[方法] 采用热水浸提—超声辅助法提取黑木耳多糖, 将去除多糖的黑木耳烘干至恒重后进行复水, 测定其复水后的含水量、膨胀性、复水比以及质构特性、水分分布状态、微观结构, 探究黑木耳中多糖含量对其复水性的影响。[结果] 黑木耳破碎程度与多糖去除率成正比, 80~40 目去多糖黑木耳的多糖去除率高于未去多糖黑木耳及 20~16 目去多糖黑木耳的, 内部多糖含量较低, 其含水量、膨胀性、复水比结果较差, 且去多糖处理后的黑木耳与水分结合能力较差, 细胞损伤严重。[结论] 黑木耳多糖具有提高黑木耳复水特性的功能。

关键词: 黑木耳; 黑木耳多糖; 复水特性

Effects of *Auricularia auricula* polysaccharides on its rehydration characteristics

SU Xin LU Huiwei LIU Zhou CHAI Zhenyu

(College of Food Science and Engineering, Boda College of Jilin Normal University, Siping, Jilin 136000, China)

Abstract: [Objective] To explore the effects of *Auricularia auricula* polysaccharides on its rehydration characteristics. [Methods] *Auricularia auricula* polysaccharides are extracted by the hot water-ultrasonic-assisted extraction method. The polysaccharide-removed *Auricularia auricula* residue is dried to a constant weight and rehydrated. Then, the water content, swelling, rehydration ratio, texture characteristics, and water distribution state of the rehydrated *Auricularia auricula* are determined to explore the effects of *Auricularia auricula* polysaccharide content on its rehydration characteristics. [Results] The crushing degree of *Auricularia auricula* is proportional to the polysaccharide removal rate. Compared with *Auricularia auricula* and polysaccharide-removed *Auricularia auricula* of 20~16 mesh, the polysaccharide-removed *Auricularia auricula* residue of 80~40 mesh is higher in polysaccharide removal rate, lower in internal polysaccharide content, with relatively poor water content, swelling, and rehydration ratio. Additionally, with seriously damaged cells, polysaccharide-removed *Auricularia auricula* is poor in water-binding ability. [Conclusion] *Auricularia auricula* polysaccharides can improve its rehydration characteristics.

Keywords: *Auricularia auricula*; *Auricularia auricula* polysaccharide; rehydration characteristics

黑木耳(*Auricularia auricula*)又名云耳、树耳、光木耳等, 是一种珍贵的药食皆用胶质真菌, 内部含有丰富的多糖、蛋白质、维生素等营养物质^[1-4]。同时, 黑木耳也是一种高复水性的天然生物材料^[5], 新鲜黑木耳富含吸水性极高的胶质, 含水率高达 90%, 日光照射下的坚硬干木耳可在短时间内重新复水至鲜木耳状, 且经反复干燥、复水后品质不发生较大改变^[6]。张晶晶^[7]研究发现, 不同产地的

黑木耳多糖溶解性差异显著, 且溶解性与复水能力呈正相关。在溶解条件完全相同的条件下, 多糖的溶解度与多糖的分子结构和相对分子质量有关。杨德等^[8]研究表明, 经 1.0 kGy 辐照处理的黑木耳中多糖含量最高, 吸水倍数可达 23.9 倍, 吸水能力最强。同时, 辐照可能使分子内氢键外露, 能够与水形成螯合作用的—OH、—H 键等增加, 复水性增强, 自由水比例增加。

基金项目: 吉林省四平市科技局项目(编号: 2023020)

通信作者: 吕慧威(1982—), 女, 吉林师范大学博达学院教授, 硕士。E-mail: 48982933@qq.com

收稿日期: 2024-11-26 **改回日期:** 2025-07-21

引用格式: 苏鑫, 吕慧威, 刘舟, 等. 黑木耳多糖对黑木耳复水特性的影响[J]. 食品与机械, 2025, 41(9): 203-208.

Citation: SU Xin, LU Huiwei, LIU Zhou, et al. Effects of *Auricularia auricula* polysaccharides on its rehydration characteristics[J]. Food & Machinery, 2025, 41(9): 203-208.

黑木耳的复水性与多糖有关,但多糖成分对黑木耳复水的调控作用与机制仍不明确。研究拟提取黑木耳多糖,分析多糖对黑木耳复水特性的影响,为后续提高脱水食品复水效果的开发应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 主要材料与试剂

黑木耳:市售;

90%黑木耳多糖:西安飞达生物技术有限公司;

石油醚、苯酚、浓硫酸、无水乙醇:分析纯,北京化工厂有限责任公司。

1.2 主要仪器与设备

台式离心机:DILITCEN 22型,苏州贝锐仪器科技有限公司;

恒温水浴锅:KXB-12A型,上海科析实验仪器厂;

电热鼓风干燥箱:DHG101-0型,江苏新春兰科学仪器有限公司;

高速分散器:XHF-D型,天津市泰斯特仪器有限公司;

低场核磁共振成像分析仪:PQ001型,北京迈格泰克科技有限公司;

紫外可见分光光度计:UV-900型,上海大普仪器有限公司;

扫描式电子显微镜:SSX-550型,日本岛津公司。

1.3 试验方法

1.3.1 黑木耳样品制备 将干燥至恒重的黑木耳子实体粉碎,筛分至20~16,40~20,80~40,100~80,120~100目5个粒度范围,分别用石油醚脱脂除杂24 h,采用热水浸提—超声辅助法提取多糖^[9-10],离心后渣料用清水清洗至表面不黏稠,干燥至恒重。

1.3.2 多糖得率测定 根据文献[11]并修改。称取0.5 g无水葡萄糖定容至100 mL,取1 mL稀释至50 mL,分别取0.2~1.4 mL梯度溶液,补水至2 mL后依次加入1 mL 6%苯酚和5 mL浓硫酸,沸水浴15 min。取出各试管于冰水中迅速冷却,测定490 nm处吸光值,得到回归方程 $Y=15.058X+0.057$ ($R^2=0.9987$)。

用蒸馏水将多糖样品配制成一定浓度的溶液,精密吸收1 mL,加入蒸馏水定容至2 mL,加入1 mL 6%苯酚溶液,摇匀,加入5 mL浓硫酸,摇匀,水浴中冷却30 min,测定490 nm处吸光值。按式(1)计算多糖得率。

$$W = \frac{C \times N \times V \times 0.9}{M} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

W ——多糖得率,%;

C ——根据回归方程求得多糖质量浓度,mg/mL;

N ——稀释倍数;

V ——溶液体积,mL;

m ——原料质量,mg;

0.9——葡萄糖换算成葡聚糖的校正系数。

1.3.3 含水量、复水比和膨胀性测定 由于100~80,120~100目黑木耳粉末进行含水量、复水比、膨胀性测定操作困难,且需要对比去多糖与未去多糖木耳的复水特性,因此选择跨度较大的20~16,80~40目黑木耳粉末制备多糖样品,获得的黑木耳渣料与20~16,80~40目未去多糖黑木耳粉于 $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$ 下复水至质量恒定,沥干,干燥至恒重。分别按式(2)~式(4)计算黑木耳的含水量、复水比和膨胀性。

$$X = \frac{m_F - m_D}{m_F} \times 100\%, \quad (2)$$

$$R_g = \frac{G_f}{G_0}, \quad (3)$$

$$S_w = \frac{(V_2 - V_1)}{W}, \quad (4)$$

式中:

X ——黑木耳含水量,%;

m_F ——黑木耳复水后沥干质量,g;

m_D ——黑木耳干燥至恒重质量,g;

R_g ——复水比;

G_f ——样品复水后沥干质量,g;

G_0 ——干制品样品质量,g;

S_w ——膨胀性,mL/g;

V_1 ——样品膨胀前体积,mL;

V_2 ——样品膨胀后体积,mL;

W ——样品质量,g。

1.3.4 质构特性分析 根据文献[12]并修改。取20~16,80~40目黑木耳粉末制备多糖样品,获得的黑木耳渣料与20~16,80~40目未去多糖黑木耳粉于 $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$ 复水2 h,采用质构仪测定样品硬度。探头型号P/36R;测试速度2 mm/s;应变模式;操作类型Return to start;应力触发模式;等待时间0 s;测前速度2.0 mm/s;测后速度10.00 mm/s;测试距离2 mm;触发应力10 N;取点频率200 Hz。

1.3.5 低场核磁共振分析 根据文献[13]并修改。取20~16,80~40目黑木耳粉末制备多糖样品,获得的黑木耳渣料与20~16,80~40目未去多糖黑木耳粉于 $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$ 复水2 h,分别置于核磁共振专用试管中,采用低场核磁法测定不同处理下黑木耳中的水分状态,每组处理设置3次重复。采用CPMG脉冲序列参数:90°脉冲时间12 μs ,180°脉冲时间27 μs ,采样点640 138,光谱宽度200 kHz,回波数16 000,重复扫描频率16,采样重复时间3 000 ms,对原始数据的对数坐标绘制 T_2 分布曲线。

1.3.6 微观结构分析 根据文献[14]并修改。将去多糖和未去多糖黑木耳干粉样品固定于样品台上,镀膜后观察,加速电压15 kV,放大倍数2 000倍,采集图像。

1.3.7 验证实验 将90%黑木耳多糖样品配制成10%溶液,取20~16,80~40目黑木耳粉末制备多糖样品,获得的黑木耳渣料分别于 $(40\pm 2)^\circ\text{C}$ 的多糖溶液和纯水中复水至质量恒定,测定复水比。

1.3.8 数据分析 采用SPSS软件进行统计分析,字母不同表示差异显著($P<0.05$);采用Origin软件绘图。

2 结果与分析

2.1 不同粒度的黑木耳多糖得率

由图1可知,随着粒度范围的增加,黑木耳多糖得率增加,与鲍妮娜等^[15]的研究结果一致。这可能是粒度范围越大,黑木耳子实体破碎程度越大,细胞壁及细胞内多糖越容易扩散出来,多糖得率随之增加。

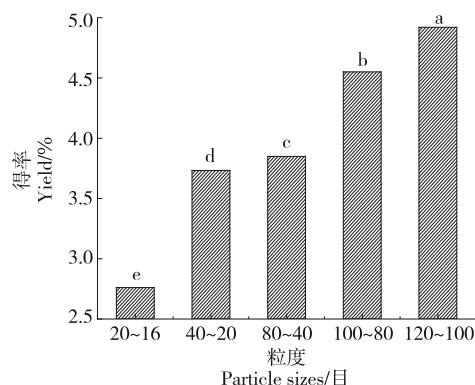


图1 不同粒度的黑木耳多糖得率

Figure 1 Polysaccharide yield of *Auricularia auricula* in different particle sizes

2.2 不同粒度的黑木耳含水量

由图2可知,20~16目未去多糖黑木耳和去多糖黑木耳含水量分别为95.7%,94.9%,80~40目未去多糖黑木耳和去多糖黑木耳的含水量分别为95.8%,91.9%。黑木耳含水量为80%~90%,试验测得复水后黑木耳含水量为90%~95%,可能是细胞破碎增加了与水的接触面积,因此含水量也比完整黑木耳子实体的高。

与未去多糖的黑木耳含水量相比,去多糖黑木耳含水量均有不同程度的降低,其中80~40目未去多糖黑木耳和去多糖黑木耳的含水量差异显著($P<0.05$),可能是由于黑木耳破碎程度越大,多糖提取量越高,内部多糖含量越少,80~40目去多糖处理后的黑木耳中多糖含量少,多糖组分对黑木耳组织保护能力降低,复水性效果差,含水量降低。

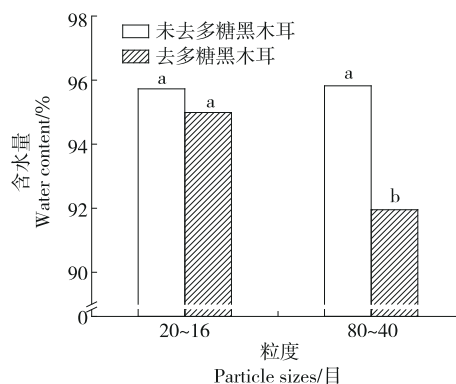


图2 不同处理对黑木耳含水量的影响

Figure 2 Effects of different treatments on the water content of *Auricularia auricula*

2.3 不同粒度的黑木耳复水比

复水比越高,表明物质在干燥时内部受损程度越小,即越接近恢复到新鲜状态。由图3可知,20~16目未去多糖黑木耳和去多糖黑木耳的复水比分别为23.0,19.7,80~40目未去多糖黑木耳和去多糖黑木耳的复水比分别为23.6,12.3。与未去多糖黑木耳的复水比相比,去多糖黑木耳复水比均有不同程度的降低($P<0.05$),这是由于去多糖后的黑木耳中多糖含量减少,而多糖具有足够的结构强度和机械强度来承受热风干燥时的冲击。因此,去多糖后的黑木耳复水比降低。且由于80~40目黑木耳破碎程度大,多糖提取含量高,内部多糖含量少,复水性较差,复水比较20~16目去多糖黑木耳的低。

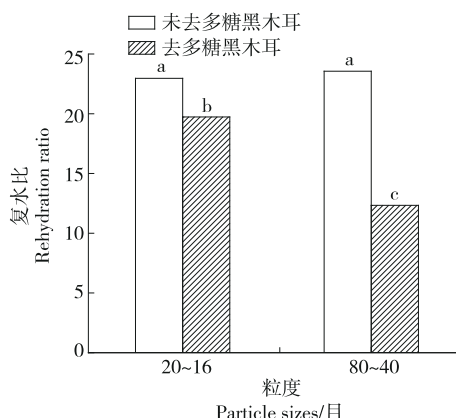


图3 不同处理对黑木耳复水比的影响

Figure 3 Effects of different treatments on the rehydration ratio of *Auricularia auricula*

2.4 不同粒度的黑木耳膨胀性

膨胀性升高,说明样品内部结构吸水能力增强,体积膨胀,从而提升原料的复水性能^[16]。由图4可知,20~16目未去多糖黑木耳和去多糖黑木耳的膨胀性分别为23.5,

22.3 mL/g, 80~40 目未去多糖黑木耳和去多糖黑木耳的膨胀性分别为 24.2, 15.2 mL/g。与未去多糖黑木耳相比, 去多糖黑木耳的膨胀性均有不同程度的降低($P<0.05$), 这是由于去多糖后的黑木耳中多糖含量减少, 而多糖可以支撑黑木耳内部果胶结构的骨架, 抑制体积收缩, 从而增加膨胀性^[17]。因此, 去多糖后的黑木耳膨胀性降低。而且与 20~16 目黑木耳相比, 80~40 目黑木耳的破碎程度更大, 多糖提取含量高, 内部多糖含量少, 膨胀性更差。

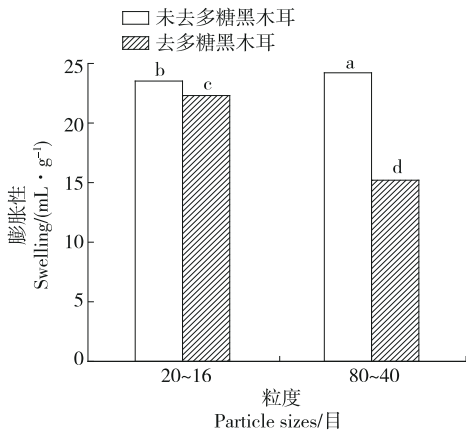


图 4 不同处理对黑木耳膨胀性的影响

Figure 4 Effects of different treatments on the swelling of *Auricularia auricula*

2.5 质构特性

质构是衡量干制品复水后品质的一项重要指标。由表 2 可知, 去多糖处理对黑木耳的内聚性无显著性差异。但对硬度、咀嚼性及黏度均有不同程度的降低, 且差异显著($P<0.05$)。这可能是多糖物质可以增加果胶—果胶相互作用来影响细胞壁的结构性质, 使得复水后样品硬度得到一定保留^[18]。而经去多糖处理后黑木耳组织内部多糖含量减少, 不足以支撑细胞结构, 因此硬度和咀嚼性降低。多糖溶出, 影响黏度, 使其下降。与 20~16 目黑木耳相比, 80~40 目黑木耳破碎程度更大, 多糖提取含量高, 内部多糖含量少, 质构特性更差。

20~16 目未去多糖黑木耳、20~16 目去多糖黑木耳及 80~40 目未去多糖黑木耳弹性无显著性差异, 但 80~40 目

去多糖黑木耳弹性明显降低($P<0.05$)。可能是前三者黑木耳内部多糖含量多, 且少量提取对黑木耳弹性影响较小, 但在 80~40 目粒度范围内提取的多糖含量足以影响其弹性, 因此其弹性显著降低。

2.6 水分分布

通过低场核磁共振分析确定黑木耳样品在复水过程中的自旋—自旋弛豫时间(T_2), 以描述去多糖处理后黑木耳的水分状态。样品中的水分状态根据弛豫时间不同可分为 3 种: ① T_2 在 0.01~10 ms 代表存在于细胞壁中, 与非水组分中弱极性基团以氢键结合的结合水(T_{21}), 该部分水分的流动性较弱, 与细胞壁中果胶、纤维素和半纤维素紧密结合; ② T_2 在 10~100 ms 代表存在于细胞质中的不易流动水(T_{22}), 该部分水分的流动性适中, 其通过化学作用与细胞质中蛋白质、酶以及细胞骨架体系紧密结合; ③ T_2 在 100~1 000 ms 代表存在于细胞液泡中, 由分子构成基质物质截留的自由水(T_{23}), 该部分水分的流动性最强, 其与液泡中的糖及其他小分子物质结合较为松散^[19]。由图 5 可知, 与去多糖黑木耳相比, 未去多糖黑木耳的 T_{21} 区域更大, 说明其内部结合水含量高, 可能是多糖可增强水分与黑木耳组织结构的结合, 进而增强复水特性。20~16 目去多糖黑木耳的 T_{21} 大于 80~40 目去多糖黑木耳的, 可能是 20~16 目去多糖黑木耳内部多糖含量较 80~40 目去多糖黑木耳的高, 因此与水分结合能力稍强。与去多糖黑木耳相比, 未去多糖黑木耳具有较高水分含量分布, 复水特性较佳。因此, 多糖对黑木耳内部水分分布有较大影响。

2.7 微观结构

由图 6 可知, 未去多糖黑木耳与去多糖黑木耳样品的微观结构有明显差别, 未去多糖黑木耳组织结构膨胀饱满, 而去多糖处理黑木耳细胞损伤严重。说明多糖组分在一定程度下可有效保护黑木耳的细胞结构。

2.8 验证实验

由图 7 可知, 80~40 目去多糖黑木耳在纯水中复水比为 12.3, 在多糖溶液中的复水比显著提升至 14.7; 20~16 目去多糖黑木耳在纯水中复水比为 19.7, 在多糖溶液中复水比提升至 20.6。表明补充外源多糖可显著改善去多糖黑木耳的复水能力。其中, 80~40 目样品对多糖溶液

表 1 不同处理对黑木耳质构特性的影响

Table 1 Effects of different treatments on the texture characteristics of *Auricularia auricula*

样品	硬度/N	内聚性	弹性	咀嚼性/N	黏度/(Pa · s)
20~16 目未去多糖黑木耳	171.65±0.16 ^a	0.32±0.02	0.42±0.03 ^a	22.82±0.16 ^a	24.94±0.60 ^a
20~16 目去多糖黑木耳	103.59±0.13 ^b	0.30±0.10	0.41±0.18 ^a	3.55±0.04 ^b	15.53±0.60 ^b
80~40 目未去多糖黑木耳	83.33±0.05 ^c	0.31±0.06	0.40±0.10 ^a	21.05±0.17 ^a	23.06±0.60 ^a
80~40 目去多糖黑木耳	54.90±0.11 ^d	0.31±0.09	0.19±0.06 ^b	3.04±0.10 ^c	12.91±0.60 ^c

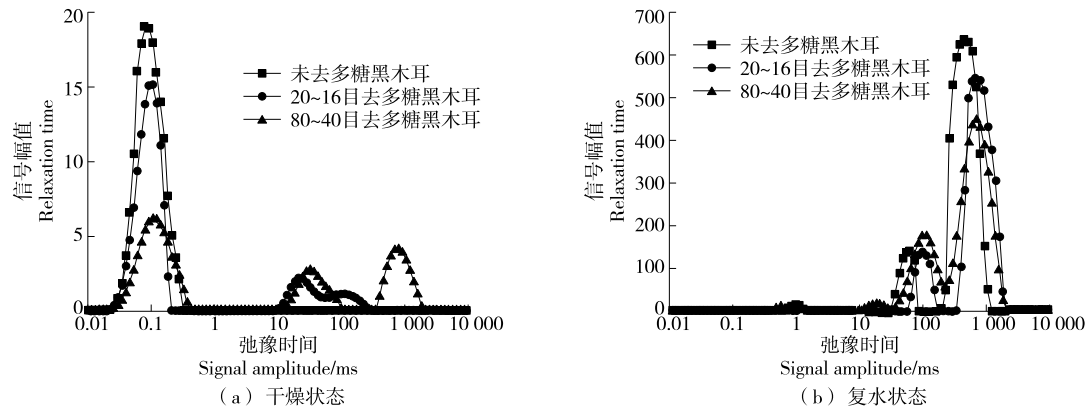
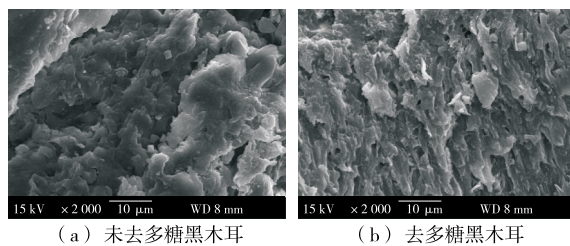
图5 不同处理后黑木耳的 T_2 分布Figure 5 T_2 distribution of *Auricularia auricula* after different treatments

图6 不同处理对黑木耳组织结构的影响

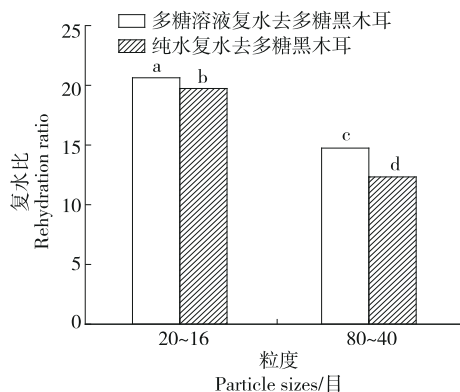
Figure 6 Effects of different treatments on the structure of *Auricularia auricula*

图7 多糖溶液复水对去多糖黑木耳复水比的影响

Figure 7 Effects of polysaccharide solution rehydration on the rehydration ratio of polysaccharide-removed *Auricularia auricula*

的响应更明显,可能是80~40目样品破碎程度更大,多糖溶液更易进入内部组织修复细胞结构,改善其复水特性。

3 结论

分析了黑木耳多糖对黑木耳复水特性的调控机制。结果表明,黑木耳多糖可通过维持细胞壁完整性及增强水分结合能力,显著提升黑木耳的复水性能。去多糖处

理导致细胞结构损伤、结合水含量降低,复水后含水量、复水比及膨胀性显著下降,质构特性(硬度、咀嚼性)也发生显著劣化。试验未深入探讨多糖相对分子质量、分支结构等特性对复水性的差异调控。后续可结合多糖结构表征技术,解析其构效关系,并探索多糖保留工艺在脱水食品中的应用潜力。

参考文献

- [1] XU S Q, XU X J, ZHANG L N. Branching structure and chain conformation of water-soluble glucan extracted from *Auricularia auricula-judae*[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(13): 3 498-3 506.
- [2] 赵玉红, 林洋, 张智, 等. 碱溶酸沉法提取黑木耳蛋白质研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(16): 32-36.
- [3] 施树, 蒋厚阳, 罗章. 西藏不同地区黑木耳多样性分析[J]. 中国林副特产, 2017(3): 11-14.
- [4] LI X Y, WANG Z Y, WANG L, et al. *In vitro* antioxidant and anti-proliferation activities of polysaccharides from various extracts of different mushrooms[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2012, 13(5): 5 801-5 817.
- [5] 安东, 李新胜, 王朝川, 等. 黑木耳营养保健功能[J]. 中国果菜, 2012, 32(3): 51-55.
- [6] 苏鑫, 王贵香, 焦璇, 等. 基于改善脱水白萝卜复水特性的黑木耳多糖组分筛选及结构鉴定[J]. 食品科学, 2023, 44(4):

- 122-130.
- SU X, WANG B X, JIAO X, et al. Screening and structural characterization of *Auricularia auricula* polysaccharides for their ability to improve rehydration characteristics of dehydrated white radish[J]. Food Science, 2023, 44(4): 122-130.
- [7] 张晶晶. 六地区黑木耳产品的综合评价及其多糖特性的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013: 1-61.
- ZHANG J J. The study on six *Auricularia auricula* commodity comprehensive evaluation and their polysacchrides characteristics [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2013: 1-61.
- [8] 杨德, 薛淑静, 邱建辉, 等. 辐照黑木耳软化机理研究[J]. 湖北农业科学, 2018, 57(24): 128-131.
- YANG D, XUE S J, QIU J H, et al. Study on radiation softening mechanism of black fungus[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2018, 57(24): 128-131.
- [9] 李公斌. 黑木耳多糖分子修饰及功能与应用研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2006: 1-129.
- LI G B. Application, function, and molecular modification of *Auricularia auricula* polysaccharide[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2006: 1-129.
- [10] 孙鑫, 范士君. 枸杞多糖的抗疲劳活性研究[J]. 食品与机械, 2025, 41(7): 175-182.
- SUN X, FAN S J. Anti-fatigue activity of *Lycium barbarum* polysaccharides[J]. Food & Machinery, 2025, 41(7): 175-182.
- [11] ZHANG Q T. Extraction and characterization of the *Auricularia auricular* polysaccharide[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2016, 137: 012004.
- [12] 田欢, 申雪, 布海丽且姆·阿卜杜热合曼, 等. 不同干燥方式对黑木耳质构及多糖抗氧化活性的影响[J]. 发酵科技通讯, 2023, 52(3): 151-157.
- TIAN H, SHEN X, Buhailiqiemu Abdureheman, et al. Effects of different drying methods on texture and antioxidant activity of polysaccharides from *Auricularia auricula*[J]. Bulletin of Fermentation Science and Technology, 2023, 52(3): 151-157.
- [13] CHEN Y N, LI M, DHARMASIRI T S K, et al. Novel ultrasonic-assisted vacuum drying technique for dehydrating garlic slices and predicting the quality properties by low field nuclear magnetic resonance[J]. Food Chemistry, 2020, 306: 125625.
- [14] SANTOS K C, GUEDES J S, ROJAS M L, et al. Enhancing carrot convective drying by combining ethanol and ultrasound as pre-treatments: effect on product structure, quality, energy consumption, drying and rehydration kinetics[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2021, 70: 105304.
- [15] 鲍妮娜, 骆哈, 吕滔, 等. 探究不同粒度对黑木耳多糖的提取及其抗氧化活性的影响[J]. 基因组学与应用生物学, 2020, 39(5): 2183-2190.
- BAO N N, LUO H, LÜ T, et al. Influence of different particle sizes on extraction and antioxidant activity effect of polysaccharide from *Auricularia auricula*[J]. Genomics and Applied Biology, 2020, 39(5): 2183-2190.
- [16] MAHIUDDIN M, KHAN M I H, KUMAR C, et al. Shrinkage of food materials during drying: current status and challenges [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2018, 17(5): 1113-1126.
- [17] 张鹏飞, 吕健, 毕金峰, 等. 渗透脱水对变温压差膨化干燥桃片品质的影响[J]. 中国食品学报, 2017, 17(1): 69-76.
- ZHANG P F, LÜ J, BI J F, et al. Effect of osmotic dehydration on quality of peach chips prepared by explosion puffing drying [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2017, 17(1): 69-76.
- [18] TAIWO K A, ANGERSBACH A, KNORR D. Influence of high intensity electric field pulses and osmotic dehydration on the rehydration characteristics of apple slices at different temperatures[J]. Journal of Food Engineering, 2002, 52(2): 185-192.
- [19] RAMÍREZ C, TRONCOSO E, MUÑOZ J, et al. Microstructure analysis on pre-treated apple slices and its effect on water release during air drying[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 106(3): 253-261.