

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2019.10.022

# 干燥方法对洋葱精油提取率及 DPPH 自由基清除活性的影响

Effects of different drying methods on extraction rate of onion essential oil and its DPPH radical scavenging activity

王月月<sup>1</sup> 段续<sup>1,2</sup> 任广跃<sup>1,2</sup> 周四晴<sup>1</sup>

WANG Yue-yue<sup>1</sup> DUAN Xu<sup>1,2</sup> REN Guang-yue<sup>1,2</sup> ZHOU Si-qing<sup>1</sup>

(1. 河南科技大学食品与生物工程学院, 河南 洛阳 471023;

2. 粮食储藏安全河南省协同创新中心, 河南 洛阳 471023)

(1. College of Food and Bioengineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471023, China;

2. Collaborative Innovation Center of Grain Storage Security, Henan Province, Luoyang, Henan 471023, China)

**摘要:** 选用热风干燥(AD)、真空冷冻干燥(FD)和微波冷冻干燥(MFD)将新鲜洋葱制成洋葱粉,用蒸馏法提取洋葱精油,对比3种干燥方法下洋葱粉精油的提取率及DPPH自由基清除能力。结果表明,采用微波冷冻干燥洋葱粉提取洋葱精油,得率可达4.57%,且提取时间最短。洋葱精油提取的较优条件为MFD洋葱粉、温浸温度40℃、温浸时间50 min,该条件下得到的洋葱精油具有较强的DPPH自由基清除能力。

**关键词:** 洋葱;干燥;精油提取;抗氧化活性

**Abstract:** In order to improve the extraction rate of onion essential oil and make the extraction process of onion essential oil easy to operate, three drying methods, including hot air drying (AD), vacuum freeze drying (FD) and microwave freeze drying (MFD), were used to make fresh onion powder. The essential oil of onion was extracted by distillation. The extraction rate and the DPPH free radical scavenging ability of three kinds of dried onion powder were compared. The extraction rate of onion essential oil from onion powder by wave freeze-drying was 4.57%, with shortest extraction time. The optimum extraction conditions of onion essential oil were determined by orthogonal experiment, i. e. MFD onion powder, warm-extracted at 40 °C for 50 min. The onion essential oil obtained under the control of these conditions has

strong DPPH radical scavenging capacity.

**Keywords:** onion; drying; essential oil extraction; antioxidant activity

洋葱在中国种植广泛,因其保健功能,受到消费者的喜爱,被广为食用<sup>[1-2]</sup>。但洋葱采收后在贮藏过程中易腐烂,抽芽,不利于深加工,因此洋葱大多被用于烹调食用。长期坚持食用洋葱能起到抗癌、预防心血管疾病等作用<sup>[3]</sup>,但洋葱的刺激性导致很多消费者难以接受,不能坚持食用,因此很难发挥预期的功效。将洋葱进行深加工,通过有效成分的富集能更大程度地发挥其保健功效。除黄酮外,洋葱中还含有洋葱精油。洋葱精油主要成分为含硫化合物,能抗血小板凝聚<sup>[4]9-12[5]</sup>,还具有降血糖<sup>[6]</sup>等功效。

传统精油提取大多以鲜洋葱为原料,但新鲜洋葱不耐储藏,且在提取过程中样品处理量较大,操作不便<sup>[7-10]</sup>。洋葱采摘后,通常经自然干燥后再进行储藏或深加工。自然干燥受天气影响较大,干燥耗时长。为便于提取精油,将洋葱采用合适的方法进行干燥很有必要。刘晓红等<sup>[11]</sup>研究了热风干燥、微波及微波真空干燥对洋葱中Vc含量等的影响,樊建等<sup>[12]</sup>研究了洋葱的真空干燥工艺。洋葱干燥的研究仅限于干燥工艺及干燥后的品质,很少有关于干燥过程及干燥方法对于洋葱精油提取率影响的报道,此外,微波冷冻干燥法在洋葱干燥中的应用也很少,Soleiman等<sup>[13]</sup>研究了微波冷冻干燥洋葱片,研究结果表明,微波冷冻干燥是一种快速、简单、高效、经济的新型干燥技术,可用于许多食品的干燥,但并未对微波冷冻干燥洋葱的干燥过程及品质进行深入研究。

试验拟比较不同干燥方法对洋葱精油提取率及抗氧

**基金项目:** 国家自然科学基金面上项目(编号:31671907);河南省高校科技创新团队支持计划项目(编号:16IRTSTHN009);国家重点研发项目(编号:2017YFD0400901)

**作者简介:** 王月月,女,河南科技大学在读硕士研究生。

**通信作者:** 段续(1973—),男,河南科技大学教授,博士。

E-mail: duanxu\_dx@163.com

**收稿日期:** 2019-04-01

化活性的影响,以确定一种适合洋葱精油提取的干燥方法,旨在为洋葱干燥提供理论依据并为洋葱精油提取提供技术支持。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

**新鲜洋葱:**市售,将洋葱去皮,除去污垢,用蔬菜刀将洋葱切成适当大小的块(20 mm×20 mm×2 mm),再进行干燥处理。洋葱的初始含水量为 90%(湿基)。

**二氯甲烷:**分析纯,郑州盛硕商贸有限公司;

**L-半胱氨酸:**生化试剂,上海鼓臣生物技术有限公司。

### 1.2 仪器与设备

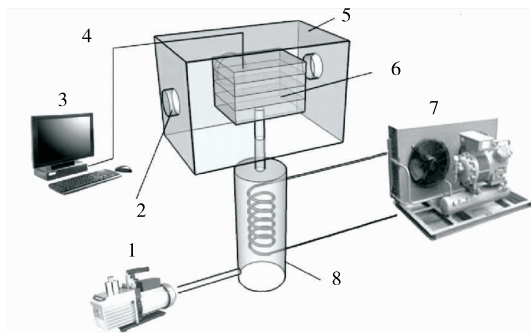
**旋转蒸发仪:**RE-52AA 型,上海亚荣生化仪器厂;

**分析天平:**FA 系列,上海方瑞仪器有限公司;

**热风干燥机:**SHT 型,三雄机械制造有限公司;

**真空冷冻干燥机:**LGJ-10D 型,北京科学仪器有限公司;

**微波冷冻干燥机:**实验室自制<sup>[14]</sup>,见图 1。



1. 真空泵 2. 微波发生器 3. 控制系统 4. 光纤温度传感器 5. 微波谐振腔 6. 干燥仓及物料盘 7. 制冷装置 8. 冷阱

图 1 微波冷冻干燥机

Figure 1 Microwave freeze dryer

### 1.3 干燥过程试验

将洋葱片干燥至最终含水量为 6%(湿基)。干洋葱片用粉碎机粉碎,粒度为 0.45~0.90 mm。

**1.3.1 热风干燥** 根据文献<sup>[15]</sup>修改如下:采用可调节温度的热风干燥机干燥样品(500 g),设备功率 1.2 kW。将预处理的物料均匀地铺在托盘干燥器网上。热空气流垂直穿过干燥网,风速 1.5 m/s,相对湿度 20%,热空气温度控制为 45 ℃。

**1.3.2 真空冷冻干燥** 采用真空冷冻干燥机干燥样品(500 g),设备功率 970 W。将样品装入物料盘,-20 ℃预冻至少 8 h,然后将冷冻材料和托盘放进干燥室。加热架、冷阱温度分别设为 45,-50 ℃,干燥室压力 50 Pa。

**1.3.3 微波冷冻干燥** 采用微波冷冻干燥设备干燥样品(500 g),设备功率 1 kW。将样品在-20 ℃预冻至少 8 h,

微波冷冻干燥机设置压力 50 Pa,冷阱温度-50 ℃,功率 150 W。

### 1.4 洋葱精油提取工艺

(1) 提取工艺:

洋葱粉→加适量蒸馏水→温浸<sup>[16]</sup>→减压蒸馏→收集馏出液→溶剂萃取→回收溶剂→洋葱精油

(2) 操作要点:

温浸即使原料在不同温度条件下酶解。为避免精油主要成分硫代亚磺酸酯(thiosulfinate, TS)被破坏,先灭酶处理,然后置于不同温度的水浴锅中避光酶解,加入大蒜(添加量 5%)作为蒜氨酸酶源。洋葱粉采用不同干燥方法制备,溶剂为 CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>。

### 1.5 洋葱精油提取工艺优化

**1.5.1 单因素试验** 试验过程中,分别取 100 g 新鲜洋葱采用不同干燥方法进行干燥,用不同干燥方法得到的洋葱粉进行洋葱精油提取。

(1) 根据预试验结果,设置温浸时间 50 min,蒸馏时间 3 h,考察温浸温度(30,35,40,45,50 ℃)对精油提取率的影响。

(2) 根据预试验结果,设置蒸馏时间 3 h,温浸温度 40 ℃,考察温浸时间(30,40,50,60,70 min)对精油提取率的影响。

(3) 根据预试验结果,设置温浸温度 40 ℃,温浸时间 50 min,考察蒸馏时间(1,2,3,4,5 h)对精油提取率的影响。

**1.5.2 正交试验** 根据单因素试验结果,选取干燥方法、温浸时间和温浸温度进行 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)正交试验,以精油提取率为指标进行工艺优化。

### 1.6 样品分析

**1.6.1 水分含量的测定** 根据文献<sup>[17]</sup>。

**1.6.2 有效水分扩散系数** 试验过程中将洋葱切成小块(20 mm×20 mm×2 mm),由于洋葱块的长度和宽度远大于其厚度,因此水分扩散主要沿着厚度方向进行。水分的扩散特性是一维平面扩散<sup>[18]</sup>,根据文献<sup>[19]</sup>,水分比可由按式(1)计算。

$$\ln MR = \ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right)^2 - \frac{\pi^2 D}{4} \left(\frac{1}{L_z^2}\right) t, \quad (1)$$

式中:

MR——水分比;

D——有效水分扩散系数,m<sup>2</sup>/s;

L<sub>z</sub>——厚度的 1/2,mm;

t——干燥时间,min。

由式(1)可知,ln MR 与 t 呈线性相关,通过斜率可求得有效水分扩散系数(D)。数据采用 Origin 8.5 进行拟合<sup>[20]</sup>。

**1.6.3 洋葱精油的测定** 洋葱的生理功效归主要因于其

中的硫代亚磺酸酯(TS),且 TS 为洋葱精油的主要生理活性成分,占洋葱精油总量的 71.3%<sup>[21]</sup>,因此以其含量代表洋葱精油的含量。根据文献[22],按式(2)计算 TS 相对含量。

$$E = \frac{(A_1 - A_2) \times B \times 162.62}{14\ 150 \times M \times 2} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

$E$ ——TS 相对含量, %;

$A_1$ ——样品吸光度;

$A_2$ ——空白液吸光度;

$B$ —— $L$ -半胱氨酸稀释倍数;

$M$ ——样品质量, g;

162.62——TS 分子质量;

14 150——显色物质的摩尔消光系数;

2——一分子 TS 消耗两分子  $L$ -半胱氨酸。

1.6.4 抗氧化性的测定 根据文献[23]。自由基清除率按式(3)计算:

$$S = \frac{A_c - A_s}{A_c}, \quad (3)$$

式中:

$S$ ——自由基清除率, %;

$A_s$ ——样品组的吸光度;

$A_c$ ——空白组的吸光度。

1.6.5 统计分析 采用 Origin Pro 8.5 分析数据,使用 DPS 7.05 评估数据的显著性差异( $P < 0.05$ )。每组试验平行 3 次,取平均值进行统计分析。

## 2 结果与讨论

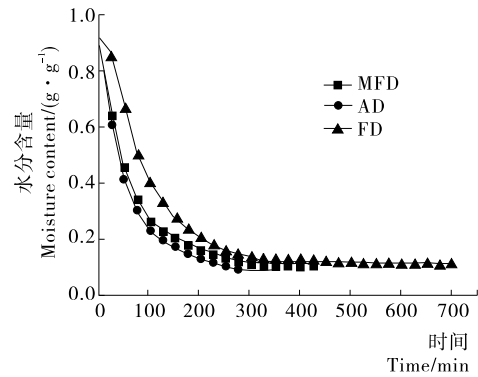
### 2.1 干燥过程试验结果分析

由图 2(a)可知,热风干燥(AD)、微波冷冻干燥(MFD)和冷冻干燥(FD)的干燥时间分别为 325, 425, 700 min。与 FD 相比,AD 的干燥时间减少了 53.57%,MFD 比 FD 的干燥时间缩短了 39.29%。通过对比干燥曲线可知,AD 为最高效的干燥方法。根据 Ong 等<sup>[24]</sup>研究报道,由于热处理能增大细胞间隙、加速细胞膜破裂、使细胞壁多糖基质的内聚性降低,因此加热能降低水通量的阻力,从而提高干燥速率。

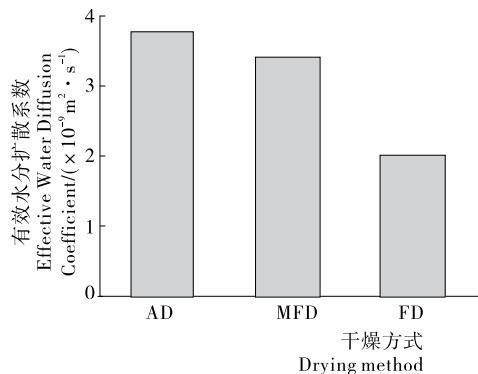
由图 2(b)可知,洋葱干燥过程中有效水分扩散系数范围为  $2.84 \times 10^{-9} \sim 3.73 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ,符合  $10^{-9}$  数量级。通常来说,干燥食品的有效水分扩散系数范围为  $10^{-12} \sim 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ <sup>[25-26]</sup>。AD 过程中有效水分扩散系数较大,可能是 AD 过程中温度较高,缩短了干燥所需时间,由式(1)可知,有效水分扩散系数与时间呈线性关系,AD 时间较短,有效水分扩散系数较大。

### 2.2 单因素试验结果分析

由图 3(a)可知,随着温浸时间继续增加,洋葱精油提取率逐渐增大,当温浸时间为 50 min 时,3 种干燥洋葱粉



(a) 干燥曲线



(b) 有效水分扩散率

图 2 不同干燥方法洋葱的干燥特性

Figure 2 Drying curve of onion with different drying methods

精油提取率均达到最高,其中 MFD 洋葱粉精油提取率最高(1.63%),比 AD 洋葱粉提高了 33.61%,比 FD 洋葱粉提高了 15.60%。有研究<sup>[27]</sup>发现,与蒸馏法从新鲜洋葱中提取精油相比,采用干燥洋葱粉能明显提高洋葱精油的提取率。对比温浸时间对 3 种干燥洋葱粉精油提取率的影响可知,采用 MFD 制备的洋葱粉为最高效的干燥方法。

由图 3(b)可知,洋葱精油提取率随温度升高呈升高趋势,当温度为 40 °C 时,3 种干燥洋葱粉精油提取率均较高,其中 MFD 洋葱粉精油提取率最高,为 1.65%,与 AD 和 FD 洋葱粉对比均显著升高。当温度升高至 50 °C 时,3 种洋葱粉精油提取率基本相同,其原因是温度过高,洋葱成分受到破坏,精油的释放达到平衡,受其他因素影响较小<sup>[4]25-29</sup>。

由图 3(c)可知,洋葱精油提取率随蒸馏时间增加而逐渐提高,并在 3 h 时,3 种干燥洋葱粉精油提取率均达最高,其中采用 MFD 洋葱粉提取的洋葱精油提取率最高,为 1.61%。继续增加蒸馏时间,洋葱精油提取率变化缓慢且逐渐降低。这表明采用水蒸馏法进行精油提取时,并非蒸馏时间越长越好,由于精油提取率已达最佳

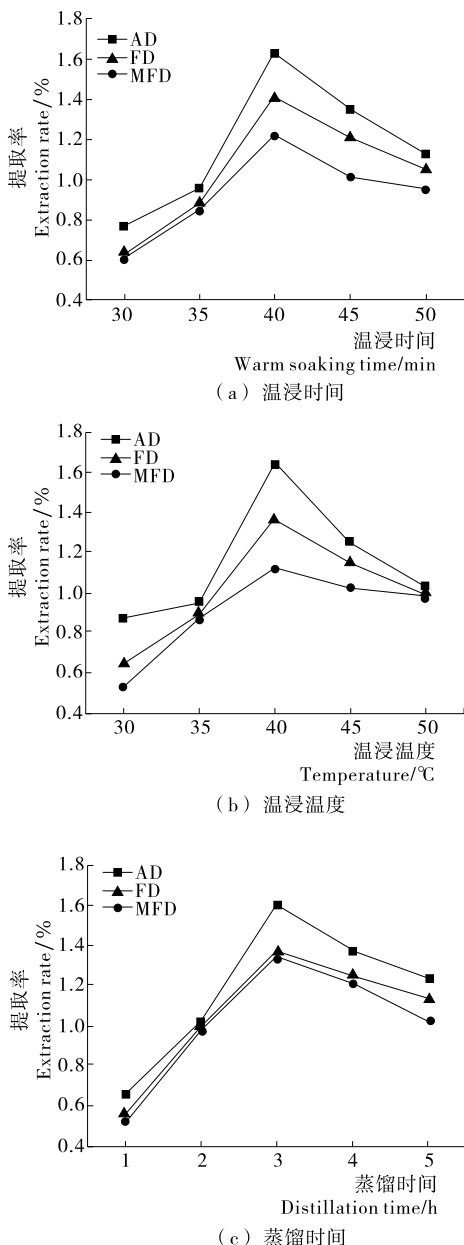


图3 不同干燥方法对蒸馏法提取洋葱精油的影响

Figure 3 Effect of different drying methods on extraction of onion essential oil by distillation

值,时间过长反而会导致已得到的精油有所损失,不利于精油的收集。

### 2.3 正交试验结果分析

根据单因素试验结果,以干燥方法、温浸温度、温浸时间为考察因素,以精油提取率为评价指标,进行正交试验工艺优化。正交试验设计方案及结果见表 1、2。

根据极差分析结果可知,影响洋葱精油提取率的主次顺序为:A(干燥方法)>B(温浸温度)>C(温浸时间)。由表 3 可知,因素 A 影响极显著,因素 B、C 影响显著。因

表 1 正交试验因素与水平表

Table 1 coded levels of independent variables used for orthogonal array design

水平	A 干燥方法	B 温浸温度/°C	C 温浸时间/min
1	微波冷冻干燥	35	40
2	冷冻干燥	40	50
3	热风干燥	45	60

表 2 正交试验结果

Table 2 The results of orthogonal experimental

试验号	A	B	C	D 空白	提取率/%
1	1	1	1	1	3.09
2	1	2	2	2	4.57
3	1	3	3	3	2.93
4	2	1	2	3	3.71
5	2	2	3	1	3.56
6	2	3	1	2	1.95
7	3	1	3	2	1.74
8	3	2	1	3	2.04
9	3	3	2	1	1.96
-----					
$k_1$	3.530 0	2.846 7	2.360 0	2.870 0	
$k_2$	3.073 3	3.390 0	3.413 3	2.753 3	
$k_3$	1.913 3	2.280 0	2.743 3	2.893 3	
极差 R	1.616 7	1.110 0	1.053 3	0.140 0	

表 3 试验结果方差分析<sup>†</sup>

Table 3 Variance analysis of experimental

因素	平方和	自由度	均方	F 值	显著性
干燥方法	4.167 8	2	2.083 9	123.31	**
温浸时间	1.848 4	2	0.924 2	54.69	*
温浸温度	1.705 4	2	0.852 7	50.46	*
-----					
误差	0.033 8	2	0.016 9		
总和	7.755 3	8			

<sup>†</sup> \* 显著(P<0.05); \*\* 极显著(P<0.01)。

此,可得出干燥方法对洋葱精油提取率影响相对较大,最佳制备条件为 A<sub>1</sub>B<sub>2</sub>C<sub>2</sub>,即微波冷冻干燥、温浸温度 40 °C、温浸时间 50 min。此条件下洋葱精油提取率为 4.57%,为最佳工艺水平。

试验结果表明,经最优工艺条件得到的洋葱精油提取率最高达 4.57%。李丽梅等<sup>[28]</sup>以新鲜洋葱为原料,采用传统提取方法得到的洋葱精油提取率为 3.996%,肖静等<sup>[29]</sup>以新鲜洋葱为原料,采用溶剂浸提和固相萃取法得到的洋葱精油提取率为 2.12%。经比较可知,采用微波冷冻干燥后的洋葱粉进行精油提取效果比新鲜洋葱要好,且经试验得到了最佳洋葱精油提取工艺条件。

## 2.4 洋葱精油 DPPH 自由基清除能力

由图 4 可知,洋葱精油和 Vc 的 DPPH 自由基清除率随着洋葱精油浓度增加呈增加趋势,3 种洋葱粉提取得到的洋葱精油和 Vc 的  $IC_{50}$  分别为 1.03, 0.85, 0.77, 0.20 mg/mL,说明洋葱精油具有较强的 DPPH 自由基清除能力。

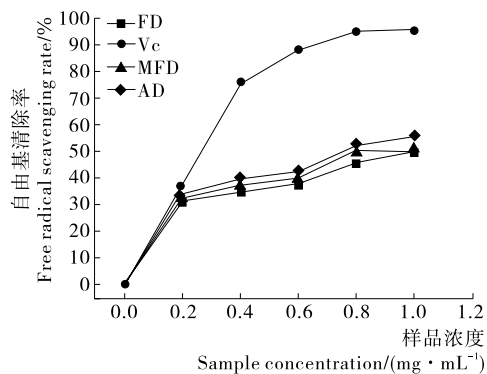


图 4 洋葱精油抗氧化活性

Figure 4 Antioxidant activities of onion oil

## 3 结论

研究表明,采用微波冷冻干燥(MFD)洋葱粉提取洋葱精油,提取率高、提取时间短。通过试验确定了洋葱精油提取的最优工艺条件为微波冷冻干燥洋葱粉、温浸温度 40 °C、温浸时间 50 min,此条件下洋葱精油提取率最高,为 4.57%。通过 DPPH 自由基清除试验发现,洋葱精油的自由基清除率随样品浓度增大呈上升趋势,说明洋葱精油对 DPPH 自由基有良好的清除效果。试验研究了洋葱干燥方法及其对洋葱精油提取的影响,但仅停留在洋葱干燥品质的影响上。虽然进行了抗氧化活性的研究,发现热风干燥洋葱粉提取的精油自由基清除能力较强,但是关于抗氧化活性也仅研究了 DPPH 自由基清除能力,不够深入,洋葱精油抗氧化活性还有待深入探究。

### 参考文献

[1] 石鑫光. 洋葱精油提取技术的研究进展[J]. 中国调味品, 2014, 39(7): 126-129.

[2] PRABHAKAR P K, DOBLE M. Mechanism of action of natural products used in the treatment of diabetes mellitus[J]. Chinese Journal of Integrative Medicine, 2011, 17(8): 563-574.

[3] 刘焕云, 张香美. 溶剂法提取洋葱油的工艺研究[J]. 粮油学报, 2006, 21(6): 123-125.

[4] 付学军. 洋葱功能成分及其应用研究[D]. 济南: 山东大学, 2006.

[5] 王强, 曹爱丽, 王苹, 等. 洋葱油的提取价值及其技术研究[J]. 食品科学, 2001, 22(8): 56-58.

[6] 石鑫光, 廖传华, 陈海军, 等. 超临界 CO<sub>2</sub> 萃取洋葱精油的

试验研究[J]. 中国调味品, 2016, 41(3): 11-16.

[7] 沈宇燕, 王洪海. 微胶囊技术及其研究进展[J]. 广东化工, 2013, 40(22): 77-78.

[8] 李翔. 洋葱精油提取工艺研究及化学成分 GC/MS 分析[J]. 中国调味品, 2013, 38(12): 82-85.

[9] WANG Gui-hua, SU Ping, ZHANG Fang, et al. Comparison of microwave-assisted extraction of aloë-emodin in aloë with Soxhlet extraction and ultrasound-assisted extraction[J]. Science China Chemistry, 2011, 54(1): 231-236.

[10] 李军. 离子液体在洋葱精油制取中的应用研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2013.

[11] 刘晓红, 邓建华, 李静, 等. 不同干燥方式对洋葱品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(4): 1 407-1 408.

[12] 樊建, 范家恒, 张惠芬, 等. 洋葱真空干燥工艺研究[J]. 昆明理工大学学报: 自然科学版, 2001, 26(2): 73-76.

[13] ABBASI S, AZARI S. Novel microwave-freeze drying of onion slices[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2008, 44(5): 974-979.

[14] DUAN Xu, LIU Wen-chao, REN Guang-yue, et al. Comparative study on the effects and efficiencies of three sublimation drying methods for mushrooms[J]. International Journal of Agricultural & Biological Engineering, 2015, 8(1): 91-97.

[15] DUAN Xu, LIU Wen-chao, REN Guang-yue, et al. Drying characteristics and quality of button mushrooms during microwave freeze drying[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(12): 295-302.

[16] 闫伟. 洋葱精油和黄酮的提取[D]. 济南: 山东大学, 2008.

[17] DUAN Xu, REN Guang-yue, ZHU Wen-xue. Microwave freeze drying of apple slices based on the dielectric properties[J]. Drying Technology, 2012, 30(5): 535-541.

[18] 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.

[19] 段续, 刘文超, 任广跃, 等. 双孢菇微波冷冻干燥特性及干燥品质[J]. 农业工程学报, 2016, 32(12): 295-302.

[20] LONCIN M, MERSON R L, et al. Food engineering, principles and selected applications[J]. Academic Press, 1979, 8(7): 356-359.

[21] 吴海敏, 杜曦微, 张连富. 分光光度法测定洋葱精油中硫代亚磺酸酯含量[J]. 食品工业科技, 2011, 32(2): 356-358.

[22] 王月月, 段续, 任广跃, 等. 洋葱精油微胶囊制备工艺优化及其品质分析[J]. 食品科学, 2018, 39(12): 239-245.

[23] 张强, 王松华, 孙玉军, 等. 洋葱中黄酮类化合物体外抗氧化活性研[J]. 农业机械学报, 2009, 40(8): 139-142.

[24] ONG S P, LAW C L. Drying kinetics and antioxidant phytochemicals retention of salak fruit under different drying and pretreatment conditions[J]. Drying Technology, 2011, 29(4): 429-441.

- 84-88.
- [16] 赵博. 棕色色棉/大豆蛋白纤维混纺纱针织物服用性能的测试与分析[J]. 上海毛麻科技, 2016(1): 29-31.
- [17] 叶敏. 大豆蛋白纤维纺纱工艺探讨[J]. 福建轻纺, 2008(5): 6-9.
- [18] 崔立明, 柳翱, 张凤涛. 大豆蛋白质纤维(华康)聚集态结构[J]. 长春工业大学学报: 自然科学版, 2005(2): 105-108.
- [19] 刘培智. 大豆牛奶复合蛋白纤维的内部结构与性能研究[D]. 青岛: 青岛大学, 2015: 11-14.
- [20] 马雪玲, 刘双军, 田志颖. 大豆蛋白纤维结构与染整性能的分析[J]. 河北工业科技, 2007(4): 198-201, 218.
- [21] 帅启明. 关于新型绿色环保纤维在服装使用材料中的应用分析[J]. 纺织报告, 2017(9): 66-67.
- [22] 曹机良, 李晓春, 边亚敏, 等. 双蛋白纤维的耐干热性能[J]. 上海纺织科技, 2013, 41(3): 14-16.
- [23] 杨丽月, 靳晓晴, 姜芸. 抗菌大豆牛奶双蛋白纤维的力学性能和吸湿性研究[J]. 青岛大学学报: 工程技术版, 2017, 32(3): 118-121.
- [24] 郎思遥, 唐艳云, 肖玫. 大豆蛋白纤维的研究进展[J]. 中国纤检, 2011(23): 79-81.
- [25] 刘森. 玉米纤维性能与用途的探讨[J]. 产业用纺织品, 2002(4): 39-41, 34.
- [26] 刘淑强, 闫承花, 郭洁丽, 等. 可降解聚乳酸纤维的研究进展[J]. 轻纺工业与技术, 2011, 40(6): 45-48.
- [27] 刘森. 玉米纤维性能与用途的探讨[J]. 天津纺织科技, 2003(1): 21-24.
- [28] 贾书刚, 姚金波, 孙艳丽, 等. 再生动物蛋白纤维的研究进展[J]. 毛纺科技, 2013, 41(10): 60-64.
- [29] BIER M C, KOHN S, STIERAND A, et al. Investigation of eco-friendly casein fibre production methods [J]. IOP Conference Series Materials Science and Engineering, 2017, 254(19): 2 004.
- [30] BENLI H, BAHTIYARI M. Dyeing of casein fibers with onion skin-based natural dye sources after ozonation[J]. Ozone: Science & Engineering, 2018, 40(2): 141-147.
- [31] 皮莎莎, 姜华, 蒋敏, 等. 大豆蛋白复合纤维的定量分析方法研究[J]. 中国纤检, 2017(8): 82-86.
- [32] 李克兢, 何建新, 崔世忠. 牛奶蛋白纤维的结构与性能[J]. 纺织学报, 2006(8): 57-60.
- [33] MAEHRE, HANNE K, DALHEIM L, et al. Protein determination: method matters[J]. Foods, 2018, 7(1): 5-10.
- [34] CHEN Hua, LIU Zhi-ling. Evaluation of uncertainty for determination of protein content in milk by Kieldahl method[J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2009, 3(3): 373-374.
- [35] DONG Qing-zhi, GU Li-xia. Synthesis of AN-g-casein copolymer in concentrated aqueous solution of sodium thiocyanate and AN-g-casein fiber's structure and property[J]. European Polymer Journal, 2002, 38(3): 511-519.
- [36] 郑宇, 程隆棣. 牛奶蛋白纤维的特性、应用和定性检测[J]. 上海纺织科技, 2006, 34(6): 56-57.
- [37] 王昱琳. 胶原蛋白在化妆品中的应用研究进展[J]. 明胶科学与技术, 2012, 32(1): 8-12.
- [38] 臧传锋. 真丝纤维经胶原蛋白处理后的结构和性能研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2006: 19-21.
- [39] 陈晓光, 杜旭宜. 胶原蛋白在纺织上的应用[J]. 中国科技投资, 2012(21): 61-63.
- [40] 张忍虎. 胶原蛋白在生物医药工程中的应用研究进展[J]. 中国设备工程, 2018(1): 189-190.
- [41] 顾伟, 刘雷良, 左保齐. 天然生物可降解材料在生物医学领域中的应用[J]. 苏州大学学报: 工科版, 2006(1): 69-73.
- [42] 姚昶, 江虹, 许岩磊, 等. 疮液液载入胶原促进慢性创面的愈合[J]. 中国组织工程研究, 2015, 19(34): 5 518-5 522.
- [43] 邳慧, 于慧, 张辉, 等. 动物源胶原蛋白提取及应用研究进展[J]. 吉林中医药, 2019, 39(2): 225-227.
- [44] 姚理荣, 林红, 陈宇岳. 胶原蛋白纤维的性能与应用[J]. 纺织学报, 2006(9): 105-107.
- [45] 王子颖, 应洁琼, 陈文彬, 等. 胶原蛋白改性聚乙烯的研究[J]. 广州化工, 2011, 39(3): 63-64, 81.
- [46] 孔祥墨, 麻文效. 羊绒纤维的胶原蛋白接枝改性[J]. 毛纺科技, 2016, 44(4): 43-47.
- [47] 姜为青, 樊理山, 赵彩云, 等. 胶原蛋白改性羊毛纤维力学性能的研究[J]. 上海毛麻科技, 2016(3): 7-9.
- [48] 王响, 靳向煜. 再生牛皮胶原蛋白复合纤维的性能[J]. 纺织学报, 2015, 36(4): 1-6.
- [49] 苏玉恒, 孔繁荣. 胶原蛋白纤维结构与性能研究[J]. 河南工程学院学报: 自然科学版, 2014(3): 15-17.
- [50] 朱国权. 绿色环保型纺织纤维的特点及应用[J]. 中国纤检, 2014(9): 82-85.
- [51] 马君志, 葛红, 陈宝成. 再生蛋白质纤维的开发[J]. 纺织导报, 2006(7): 33-35.
- [52] 冯振营, 孟俊焕, 刘秀菊. 大豆蛋白纤维织物的开发[J]. 山东纺织科技, 2008, 49(5): 15-17.

---

(上接第 116 页)

- [25] CHEN Rui-juan, BI Jin-feng, CHEN Qin-qin. Effects of different drying methods on carrot powder quality[J]. Food Science, 2014, 35(11): 48-53.
- [26] YE Chun-lin, DAI De-hui, HU Wei-lian. Antimicrobial and antioxidant activities of the essential oil from onion (*Allium cepa* L.) [J]. Food Control, 2013, 30(1): 48-53.
- [27] 黎乃维, 赵玉平, 杨建荣. 水浸提法提取洋葱黄酮类化合物的工艺条件研究[J]. 食品科技, 2007, 32(3): 110-113.
- [28] 李丽梅, 李景明, 孙亚青, 等. 不同因素对同时蒸馏-萃取法(SDE)提取洋葱精油的影响[J]. 食品科学, 2006, 27(2): 212-215.
- [29] 肖静. 洋葱油提取、分析及微胶囊研制[D]. 南京: 东南大学, 2006: 1-2.