

俄罗斯桦褐孔菌中无机元素含量分析

Analysis of inorganic elements in Russian *Inonotus obliquus*

马 微¹ 谭阳阳¹ 魏书娟¹ 谭 策¹

MA Wei¹ TAN Yang-yang¹ WEI Shu-juan¹ TAN Ce¹

赵 琪¹ 吕萍萍² 程 丽^{3,4}

ZHAO Qi¹ LV Ping-ping² CHENG Li^{3,4}

(1. 哈尔滨海关技术中心, 黑龙江 哈尔滨 150028; 2. 绥芬河海关综合技术中心,

黑龙江 绥芬河 157300; 3. 黑龙江大学生命科学学院, 黑龙江 哈尔滨 150080;

4. 黑龙江大学黑龙江省普通高校分子生物学重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150080)

(1. Technology Center of Harbin Customs District P.R.China, Harbin, Heilongjiang 150028, China; 2. Technology Center of Suifenhe Customs District P.R.China, Suifenhe, Heilongjiang 157300, China; 3. School of Life Sciences, Heilongjiang University, Harbin, Heilongjiang 150080, China; 4. Key Laboratory of Molecular Biology, College of Heilongjiang Province, Heilongjiang University, Harbin, Heilongjiang 150080, China)

摘要:采用原子荧光光谱法、石墨炉原子吸收光谱法和电感耦合等离子体光谱法,对俄罗斯桦褐孔菌原料及其制品中的铅、镉、汞、砷 4 种重金属元素和铝、硼、钡、钙、锡、钴、铜、铁、钾、镁、锰、钠、镍、磷、锶、钛、钒、锌 18 种微量元素含量进行了测定并分析了其差异性。结果表明:桦褐孔菌原料中 22 种无机元素含量较桦褐孔菌制品要高;深色桦褐孔菌原料中铝、钡、锡、铁、镁、钛、钒 7 种微量元素含量更高一些;桦褐孔菌原料内部铝、钙、铜、铁、钠、磷 6 种元素的含量比外皮更高。俄罗斯桦褐孔菌原料及其制品中的重金属含量符合中国的国家标准,不同原料其特征微量元素含量各不相同。

关键词:桦褐孔菌;风干子实体;制品;重金属;微量元素;色泽;部位

Abstract: To provide a basis of quality control and safety evaluation for developing medicine and functional food of *Inonotus obliquus*, 4 kinds of heavy metals including lead, cadmium, mercury, arsenic and 18 kinds of microelements including aluminum, boron, barium, calcium, tin, cobalt, copper, iron, potassium, magnesium, manganese, sodium, nickel, phosphorus, strontium, titanium, vanadium, zinc in different color, different part, and different products were detected by national standard,

and relative statistical analyses were also carried out. Results showed that the contents of 22 inorganic elements in crude *I. obliquus* products were higher than that in refined *I. obliquus* products, while the contents of micronutrient in dark *I. obliquus* were higher than the light one especially in aluminum, barium, tin, iron, magnesium, titanium, and vanadium. The contents of micronutrient in inside of *I. obliquus* were higher than that in coat especially in aluminum, calcium, copper, iron, sodium, and phosphorus. The contents of heavy metals in raw materials and deep processing products of *I. obliquus* from Russia origin were within the scope of the national standards. The microelement was different depending on different materials. It ensures the efficiency for development of *I. obliquus*.

Keywords: *Inonotus obliquus*; Wind dried fruiting body; heavy metal; microelement; color; part

桦褐孔菌 [*Inonotus obliquus* (Fr.) Pilat], 又称桦褐孔菌、褐多孔菌、桦褐孔菌和白桦茸等, 主要分布在北纬 40°~50° 地区, 包括芬兰、俄罗斯、波兰、日本北海道以及中国黑龙江与吉林北部^[1]。它是一种药用真菌, 其成分众多, 结构复杂, 有效部位广泛。从 20 世纪 80 年代开始, 就出现了有关桦褐孔菌的研究, 研究表明其具有降糖^[2]、降脂^[3]、抗癌^[4-5]、抗氧化^[6]、提高免疫力^[7]等作用, 对癌症^[8]、高血脂^[3]、糖尿病^[9]等多种疾病都具有显著的治疗效果, 而且已有研究多集中在药物开发方面, 对桦褐孔菌原料及其制品的食用安全性研究较少。随着桦褐孔菌制品的问世, 其食用安全性也越来越受到关注, 特别是对桦

基金项目:海关总署科研项目(编号:2017IK121)

作者简介:马微,女,哈尔滨海关技术中心研究员,博士。

通信作者:程丽(1978—),女,黑龙江大学副教授,博士。

E-mail: chengli@hlju.edu.cn

收稿日期:2020-10-28

褐孔菌中的重金属和微量元素含量也应重视起来。

试验拟采用原子荧光光谱法、石墨炉原子吸收光谱法和电感耦合等离子体光谱法测定俄罗斯桦褐孔菌原料及其制品中铅、镉、汞、砷 4 种重金属和铝、硼、钡、钙、锡、钴、铜、铁、钾、镁、锰、钠、镍、磷、锶、钛、钒、锌 18 种微量元素,并对测定结果进行数据分析,以期桦褐孔菌药品和保健食品的开发、质量控制和安全性评价提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试剂和材料

俄罗斯桦褐孔菌原料(内里、外皮、浅色、深色各 12 个)和桦褐孔菌制品(颗粒、提取物、提取液各 8 个):来自俄罗斯远东地区,留样凭证存放于哈尔滨海关技术中心东宁实验室;

硝酸、盐酸、硫酸:优级纯,天津科密欧化学试剂有限公司;

过氧化氢:MOS 级,天津科密欧化学试剂有限公司;

氢氧化钠、硫脲、硼氢化钾、抗坏血酸:分析纯,天津科密欧化学试剂有限公司;

铅、镉、砷、汞、铝、硼、钡、钙、锡、钴、铜、铁、钾、镁、锰、钠、镍、磷、锶、钛、钒、锌标准溶液:1 000 mg/L,国家

有色金属及电子材料分析测试中心;

试验用水:超纯水(18.5 MΩ)。

1.2 仪器设备

电热板:HP 10 型,德国 IKA 公司;

原子荧光分光光度计:AFS-9230 型,北京吉天仪器有限公司;

电子天平:XS205DV 型,瑞士梅特勒—托利多公司;

微波消解仪:MARS 型,美国通用有限公司;

原子吸收分光光度计:PinAAcle 900Z 型,美国珀金埃尔默股份有限公司;

电感耦合等离子体光谱仪:ICAP 7200DUO 型,美国赛默飞世尔科技公司;

高速万能粉碎机:FW100 型,天津泰斯特仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 样品制备

(1) 固态样品:样品除杂粉碎过 60 目筛,储于塑料瓶中。

(2) 液态样品:将样品充分混匀。

1.3.2 标准曲线绘制 按照表 1,选用溶剂进行配制。砷元素工作曲线各浓度点分别加入硫脲—抗坏血酸溶液 2 mL(称取 10.0 g 硫脲,加约 80 mL 水,加热溶解,待冷

表 1 各元素工作曲线的浓度和配制溶剂

Table 1 Concentration and solvent of 22 mineral elements

元素	单位	浓度 1	浓度 2	浓度 3	浓度 4	浓度 5	浓度 6	溶剂
砷	μg/L	0	2.00	4.00	8.00	16.00	20.00	硫酸(5%)
汞	μg/L	0	0.20	0.40	0.80	1.60	2.00	重铬酸钾的硝酸溶液(0.5 g/L)
铅	μg/L	0	5.00	10.00	15.00	20.00	30.00	硝酸(5%)
镉	μg/L	0	0.50	1.00	1.50	2.00	3.00	硝酸(1%)
铝	mg/L	0	0.50	2.00	5.00	8.00	10.00	硝酸(5%)
硼	mg/L	0	0.05	0.20	0.50	0.80	1.00	硝酸(5%)
钡	mg/L	0	0.05	0.20	0.50	0.80	1.00	硝酸(5%)
钙	mg/L	0	5.00	20.00	50.00	80.00	100.00	硝酸(5%)
铜	mg/L	0	0.025	0.10	0.25	0.40	0.50	硝酸(5%)
铁	mg/L	0	0.25	1.00	2.50	4.00	5.00	硝酸(5%)
钾	mg/L	0	5.00	20.00	50.00	80.00	100.00	硝酸(5%)
镁	mg/L	0	5.00	20.00	50.00	80.00	100.00	硝酸(5%)
锰	mg/L	0	0.025	0.10	0.25	0.40	0.50	硝酸(5%)
钠	mg/L	0	5.00	20.00	50.00	80.00	100.00	硝酸(5%)
钴	mg/L	0	0.025	0.10	0.25	0.40	0.50	硝酸(5%)
镍	mg/L	0	0.25	1.00	2.50	4.00	5.00	硝酸(5%)
锡	mg/L	0	0.025	0.10	0.25	0.40	0.50	硝酸(5%)
磷	mg/L	0	5.00	20.00	50.00	80.00	100.00	硝酸(5%)
锶	mg/L	0	0.05	0.20	0.50	0.80	1.00	硝酸(5%)
钛	mg/L	0	0.05	0.20	0.50	0.80	1.00	硝酸(5%)
钒	mg/L	0	0.025	0.10	0.25	0.40	0.50	硝酸(5%)
锌	mg/L	0	0.25	1.00	2.50	4.00	5.00	硝酸(5%)

却后加入 10.0 g 抗坏血酸,稀释至 100 mL,现用现配),定容至 25 mL,混匀后放置 30 min 后测定。汞元素的稀释溶剂为重铬酸钾的硝酸溶液(0.5 g/L),0.05 g 重铬酸钾溶于 100 mL 硝酸溶液($V_{\text{硝酸}}:V_{\text{水}}=5:95$)中,现用现配。

多元素混合标准溶液:分别吸取铝、硼、钡、钙、铜、钴、锡、铁、钾、镁、锰、钠、镍、磷、锶、钛、钒、锌等单标储备液,按照表 1 的溶剂进行稀释和定容,配制系列浓度的混合元素标准溶液,现用现配。

1.3.3 无机元素测定 试样进行微波消解(参数见表 2),同时做两份试剂空白。仪器预热稳定后,将试剂空白、标准系列溶液、样品溶液依次引入仪器进行测定,取平均值进行统计分析。

表 2 微波消解设定参数

Table 2 Time-temperature program for digestion

步骤	功率/W	温度/℃	升温时间/min	保持时间/min
1	1 600	室温~120	5	3
2	1 600	120~160	3	5
3	1 600	160~185	3	35

(1) 总砷:按照 GB 5009.11—2014《食品安全国家标准 食品中总砷及无机砷的测定》第二法砷化物原子荧光光谱法进行总砷含量的测定。仪器测定条件:光电倍增管负高压 260 V;砷空心阴极灯电流 60 mA;载气为氩气,流速 500 mL/min;屏蔽气流速 800 mL/min。

(2) 总汞:按照 GB 5009.17—2014《食品安全国家标准 食品中总汞及有机汞的测定》第一法原子荧光光谱分析法进行总汞含量的测定。仪器测定条件:光电倍增管负高压 240 V;汞空心阴极灯电流 30 mA;原子化温度 300 ℃;载气为氩气,流速 500 mL/min;屏蔽气流速 1 000 mL/min。

(3) 铅:按照 GB 5009.12—2017《食品安全国家标准 食品中铅的测定》第一法原子吸收光谱法进行测定。仪器条件:波长 283.31 nm;狭缝 0.7 nm;灯电流 10 mA;干燥温度 130 ℃,干燥时间 30 s;灰化温度 850 ℃,灰化时间 30 s;原子化温度 2 450 ℃,原子化时间 3 s。

(4) 镉:按照 GB 5009.15—2014《食品安全国家标准 食品中镉的测定》进行测定。仪器条件:波长 228.80 nm;狭缝 0.7 nm;灯电流 4 mA;干燥温度 130 ℃,干燥时间 30 s;灰化温度 500 ℃,灰化时间 30 s;原子化温度 2 450 ℃,原子化时间 3 s。

(5) 铝、硼、钡、钙、铜、锡、钴、铁、钾、镁、锰、钠、镍、磷、锶、钛、钒、锌:按照 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》中第二法电感耦合等离

子体发射光谱法(ICP-OES)进行 18 种微量元素的测定。仪器测定条件:射频功率 1 500 W;等离子体气流量 15 L/min,流量 0.8 L/min;辅助气流量 0.40 L/min;砷空心阴极灯电流 60 mA;载气为氩气,流速 500 mL/min;屏蔽气流速 800 mL/min。以元素的特征谱线波长定性,待测元素谱线信号强度与元素浓度呈正比进行定量分析。

1.3.4 回收率试验校正 取已知含量的样品,分别准确加入一定量的各元素标准溶液,依据 1.3.3 方法和条件消解测定,计算各元素的平均回收率,并进行样品中各元素含量的校正。

1.3.5 数据分析 采用 SPSS 17.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 标准曲线

根据试样中待测元素的水平配制标准溶液,依次测定 22 种无机元素的对照品系列浓度,绘制标准曲线,得各元素对照回归方程、相关系数等,结果见表 3。

2.2 4 种重金属含量分析

分别对 48 个桦褐孔菌原料和 24 个制品进行了 4 种重金属元素含量测定,结果如表 4 所示。根据 GB 2762—

表 3 22 种无机元素的标准曲线

Table 3 Calibration curves of 22 mineral elements

元素	谱线波长/nm	回归方程	相关系数 (R^2)	回收率/ %
砷	—	$Y=71.269X-5.67$	0.999 8	95.63
汞	—	$Y=636.808X+7.86$	0.999 8	97.56
铅	283.310	$Y=0.011 5X+23.61$	0.998 5	94.32
镉	228.800	$Y=0.066 7X+65.45$	0.999 1	96.25
铝	396.152	$Y=1 143X+10.66$	0.999 2	102.01
硼	249.773	$Y=1 761X+30.26$	0.998 4	100.23
钡	455.403	$Y=49 840X+132$	0.999 3	99.43
钙	315.887	$Y=4 031X-22.3$	0.999 2	103.23
铜	324.754	$Y=2 448X+17.78$	0.998 8	101.43
锡	189.989	$Y=1 821X+1.834$	0.999 2	101.37
钴	228.616	$Y=18 230X-1.965$	0.999 9	100.22
铁	259.940	$Y=1 429X-0.001 81$	0.998 4	95.64
钾	766.490	$Y=499.7X+135.1$	0.999 1	99.24
镁	279.553	$Y=50 250X+193.6$	0.992 1	97.34
锰	257.610	$Y=12 230X+6.416$	0.998 7	98.65
钠	588.995	$Y=2 710X+8 206$	0.996 7	95.23
镍	221.647	$Y=14 650X-7.822$	0.999 4	97.71
磷	177.495	$Y=305.8X+26.46$	0.999 1	102.21
锶	407.771	$Y=13 990X-12.71$	0.999 7	103.45
钛	334.941	$Y=5 685X-11.32$	0.999 1	96.54
钒	309.311	$Y=6 384X-131.5$	0.999 5	101.34
锌	213.856	$Y=26 770X+20.68$	0.999 4	98.27

2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》食用菌及制品的限量要求:铅为 1.0 mg/kg,镉为 0.5 mg/kg,总汞为 0.1 mg/kg,总砷为 0.5 mg/kg;GB 16740—2014《食品安全国家标准 保健食品》的限量要求:铅为 2.0 mg/kg,总汞为 0.3 mg/kg,总砷为 1.0 mg/kg;《药用植物及制剂进出口绿色行业标准》的限量要求:铅为 5.0 mg/kg,镉为 0.3 mg/kg,总汞为 0.2 mg/kg,总砷为 2.0 mg/kg。由表 4 可知,7 类样品都能满足中国这 3 个国家标准的限量要求且含量极低,这是由于试验样品来自俄罗斯西伯利亚的

原始森林,而且其制品的加工工艺较简单,受重金属污染程度较小。

2.3 不同色泽桦褐孔菌原料中 18 种微量元素含量分析

分别对 24 个不同色泽桦褐孔菌原料进行了 18 种微量元素含量测定,结果如表 5 所示。由表 5 可知,铝、钡、锡、铁、镁、钛、钒元素的变异系数达到了 0.5 以上,浅色和深色桦褐孔菌原料差异显著($P<0.05$)。其中铁元素是构成血红蛋白、肌红蛋白、细胞色素和多重氧化酶的重要成分,帮助运输氧气。镁作为酶的激活剂,参与许多酶促

表 4 桦褐孔菌原料及其制品中 4 种重金属元素的含量

Table 4 Average content of 4 metal elements in <i>Inonotus obliquus</i> mg/kg				
元素	桦褐孔菌制品			
	颗粒	提取物	提取液	内里粉末
砷	$(7.20\pm0.50)\times10^{-2}$	$(2.50\pm0.30)\times10^{-2}$	$(1.50\pm0.20)\times10^{-2}$	$(8.90\pm0.60)\times10^{-2}$
汞	$(6.40\pm0.50)\times10^{-3}$	$(1.10\pm0.30)\times10^{-2}$	$(7.30\pm0.30)\times10^{-3}$	$(3.80\pm0.30)\times10^{-3}$
铅	0.45 ± 0.04	0.19 ± 0.02	0.26 ± 0.02	0.66 ± 0.04
镉	0.12 ± 0.01	0.14 ± 0.02	$(1.60\pm0.30)\times10^{-2}$	$(9.40\pm0.50)\times10^{-2}$
元素	桦褐孔菌茸原料			检出限
	外皮粉末	浅色	深色	
砷	$(2.10\pm0.20)\times10^{-2}$	$(1.80\pm0.10)\times10^{-2}$	$(1.90\pm0.20)\times10^{-2}$	0.010
汞	$(7.80\pm0.50)\times10^{-3}$	$(1.20\pm0.30)\times10^{-2}$	$(1.30\pm0.30)\times10^{-2}$	0.003
铅	0.28 ± 0.02	0.20 ± 0.02	0.31 ± 0.03	0.020
镉	0.30 ± 0.02	0.13 ± 0.01	0.11 ± 0.01	0.001

表 5 不同色泽桦褐孔菌原料中 18 种微量元素的含量

Table 5 Content of 18 microelements in different color sample of <i>Inonotus obliquus</i>						
元素	桦褐孔菌原料/(mg·kg ⁻¹)		检出限/ (mg·kg ⁻¹)	平均值/ (mg·kg ⁻¹)	标准差/ (mg·kg ⁻¹)	变异系数
	浅色	深色				
铝	3.42±0.70	0.63±0.50	0.50	2.03	1.973	0.974
硼	<0.20	<0.20	0.20	—	—	—
钡	13.20±0.62	5.71±0.43	0.10	9.46	5.296	0.560
钙	324.00±23.00	233.00±16.00	5.00	278.56	64.347	0.231
铜	0.95±0.23	1.61±0.20	0.20	1.28	0.467	0.365
锡	0.43±0.20	<0.20	0.20	0.32	0.163	0.516
钴	<0.20	0.40±0.20	0.20	0.25	0.141	0.471
铁	15.80±1.60	6.10±1.00	1.00	10.95	6.859	0.626
钾	$(2.24\pm0.02)\times10^4$	$(2.30\pm0.01)\times10^4$	7.00	2.27×10^4	424.261	0.019
镁	230.00±17.00	495.00±22.00	5.00	362.50	187.380	0.517
锰	45.10±5.20	94.20±6.50	0.10	69.65	34.718	0.499
钠	8.50±4.10	11.70±3.00	3.00	10.10	2.263	0.224
镍	<0.50	<0.50	0.50	—	—	—
磷	404.00±34.00	301.00±25.00	1.00	352.50	72.832	0.207
锶	1.01±0.23	0.73±0.20	0.20	0.87	0.202	0.232
钛	1.16±0.20	<0.20	0.20	0.68	0.679	0.998
钒	0.25±0.20	0.70±0.20	0.20	0.48	0.318	0.666
锌	9.71±0.62	18.30±0.81	0.50	14.01	6.074	0.434

反应,促进骨的形成,维护胃肠道和激素的功能。而铝、钼、锡、钛、钒元素也都参与人体的各种代谢,调节能量水平等。这些微量元素为功效物质之一,在桦褐孔菌药理发挥的过程中起着不同的协同作用,从微量元素的特征含量来看,深色桦褐孔菌原料的微量元素含量更高,其药用价值可能更大。

2.4 桦褐孔菌原料不同部位中 18 种微量元素含量分析

分别对 24 个桦褐孔菌原料不同部位进行了 18 种微量元素含量测定,结果如表 6 所示。由表 6 可知,铝、钙、铜、铁、钠、磷元素的变异系数达到了 0.8 以上,桦褐孔菌原料的外皮和内部样品差异显著($P<0.05$)。其中钙元素对于维持人体强健的骨骼和健康的牙齿,维持规则的心率,强化神经系统功能方面有重要作用。磷元素是三磷酸腺苷、磷酸肌酸等储能物质的构成元素,参与动物体

内的能量代谢,也是细胞膜的重要构成物质之一。而铝、铜、钠元素也都参与人体的各种新陈代谢,维持体内酸碱平衡等。从微量元素的特征含量来看,桦褐孔菌原料内部的微量元素含量更高,其药用价值可能更大。

2.5 桦褐孔菌制品中 18 种微量元素含量分析

分别对 36 个桦褐孔菌制品进行了 18 种微量元素含量测定,结果如表 7 所示。由表 7 可知,作为粗加工制品的颗粒茶中 18 种微量元素的含量相对于提取物和提取液较高,特别是铝、钙、铁、磷等元素,从无机元素角度说明桦褐孔菌制品的安全性很好。

3 结论

采用国家标准方法分别对不同种类桦褐孔菌制品,不同颜色桦褐孔菌原料,桦褐孔菌原料的不同部位进行

表 6 不同部位桦褐孔菌样品中 18 种微量元素的含量
Table 6 Content of 18 microelements in different part sample of *Inonotus obliquus*

元素	桦褐孔菌原料/(mg·kg ⁻¹)		检出限/ (mg·kg ⁻¹)	平均值/ (mg·kg ⁻¹)	标准差/ (mg·kg ⁻¹)	变异系数
	外皮	内部				
铝	2.73±0.50	35.70±1.60	0.50	19.22	23.313	1.213
硼	5.67±0.72	17.50±1.10	0.20	11.59	8.365	0.722
钼	44.20±2.10	20.80±1.20	0.10	32.50	16.546	0.509
钙	(2.79±0.32)×10 ³	610.00±25.00	5.00	1.70×10 ³	61.025	0.907
铜	2.35±0.32	10.40±0.86	0.20	6.38	5.692	0.893
锡	<0.20	0.52±0.20	0.20	0.36	0.226	0.629
钴	<0.20	0.45±0.30	0.20	0.33	0.177	0.544
铁	40.10±2.50	164.00±16.00	1.00	102.05	87.611	0.859
钾	(2.85±0.04)×10 ⁴	(3.30±0.06)×10 ⁴	7.00	3.08×10 ⁴	3 181.981	0.104
镁	(1.75±0.06)×10 ³	(1.61±0.03)×10 ³	5.00	1.68×10 ³	98.995	0.059
锰	270.00±13.00	172.00±11.00	0.10	221.00	69.297	0.314
钠	22.30±3.20	415.00±41.00	3.00	218.65	277.681	1.270
镍	0.56±0.50	<0.50	0.50	0.53	0.043	0.081
磷	172.00±14.00	656.00±42.42	1.00	414.00	342.239	0.827
锶	8.87±0.53	18.40±0.72	0.20	13.64	6.737	0.494
钛	1.85±0.20	1.01±0.20	0.20	1.43	0.594	0.415
钒	2.83±0.38	1.91±0.32	0.20	2.37	0.651	0.275
锌	58.70±0.80	54.20±0.80	0.50	56.45	3.182	0.056

表 7 不同桦褐孔菌制品中 18 种微量元素的含量
Table 7 Content of 18 microelements in different production of *Inonotus obliquus* mg/kg

元素	颗粒	提取物	提取液	元素	颗粒	提取物	提取液
铝	32.70±1.30	3.24±0.80	1.60±0.70	镁	(1.54±0.08)×10 ³	650.00±36.00	312.00±25.00
硼	15.30±0.51	4.02±0.62	<0.20	锰	126.00±16.00	125.00±15.00	37.10±6.30
钼	19.50±0.50	21.50±1.40	2.81±0.43	钠	327.00±34.00	12.20±2.20	161.00±13.00
钙	450.00±43.00	(2.57±0.32)×10 ³	32.8±7.20	镍	<0.50	<0.50	<0.50
铜	7.80±0.45	1.52±0.32	1.11±0.20	磷	564.00±23.00	153.00±12.00	152.00±11.00
锡	1.03±0.30	0.80±0.20	<0.20	锶	17.50±0.34	4.32±0.24	0.25±0.20
钴	8.60±0.60	<0.20	<0.20	钛	1.23±0.20	1.12±0.20	<0.20
铁	125.00±23.00	22.20±2.70	4.13±1.00	钒	1.76±0.41	0.89±0.21	0.43±0.20
钾	(3.14±0.03)×10 ⁴	(2.81±0.05)×10 ⁴	(2.02±0.03)×10 ⁴	锌	36.80±1.20	24.10±1.50	12.50±0.50

(下转第 135 页)

- [2] 赵洪卫, 宋曙辉, 常冬, 等. 小型西瓜果实生长过程中无损检测基础信息的研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2011, 2(6): 273-282.
- [3] 王硕, 袁洪福, 宋春风, 等. 小西瓜糖度表征与漫反射近红外检测方法的研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2012, 32(8): 2122-2127.
- [4] ARENDSE E, FAWOLE O A, MAGWAZA L S, et al. Non-destructive prediction of internal and external quality attributes of fruit with thick rind: A review[J]. Journal of Food Engineering, 2018, 217: 11-23.
- [5] 陈辰, 鲁晓翔, 张鹏, 等. 红提葡萄 Vc 含量的可见/近红外检测模型[J]. 食品与机械, 2015, 31(5): 70-74.
- [6] XU Lu, LI Jiang-bo, ZHANG Dong-yan. Near-infrared light penetration depth analysis inside melon with thick peel by a novel strategy of slicing combining with least square fitting method[J]. Journal of Food Process Engineering, 2018, 41(7): e12886.1-e12886.6.
- [7] ABASI S, MINAE S, JAMSHIDI B, et al. Rapid measurement of apple quality parameters using wavelet de-noising transform with Vis/NIR analysis[J]. Scientia Horticulturae, 2019, 252: 7-13.
- [8] 韩东海, 常冬, 宋曙辉, 等. 小型西瓜品质近红外无损检测的光谱信息采集[J]. 农业机械学报, 2013, 44(7): 174-182.
- [9] 何洪巨, 胡丽萍, 李武, 等. 基于可见/近红外高光谱成像技术的西甜瓜糖度检测[J]. 中国食物与营养, 2016, 22(10): 53-57.
- [10] ZHANG Bao-hua, GU Bao-xing, TIAN Guang-zhao, et al. Challenges and solutions of optical-based nondestructive quality inspection for robotic fruit and vegetable grading systems: A technical review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2018, 81: 213-244.
- [11] 钱曼, 黄文倩, 王庆艳, 等. 西瓜检测部位差异对近红外光谱可溶性固形物预测模型的影响[J]. 光谱学与光谱分析, 2016, 36(6): 1700-1705.
- [12] 周飞燕, 金林鹏, 董军. 卷积神经网络研究综述[J]. 计算机学报, 2017, 40(6): 1229-1251.
- [13] 杨志锐, 郑宏, 郭中原, 等. 基于网中网卷积神经网络的红枣缺陷检测[J]. 食品与机械, 2020, 36(2): 140-145.
- [14] ZHOU Xin, SUN Jun, TIAN Yan, et al. Development of deep learning method for lead content prediction of lettuce leaf using hyperspectral images[J]. Taylor & Francis, 2020, 41(6): 2263-2276.
- [15] YU Xin-jie, LU Huan-da, WU Di. Development of deep learning method for predicting firmness and soluble solid content of postharvest Korla fragrant pear using Vis/NIR hyperspectral reflectance imaging[J]. Postharvest Biology and Technology, 2018, 141: 39-49.
- [16] 介邓飞, 陈猛, 谢丽娟, 等. 适宜西瓜检测部位提高近红外光谱糖度预测模型精度[J]. 农业工程学报, 2014, 30(9): 229-234.
- [17] HE Kai-ming, ZHANG Xiang-yu, REN Shao-qing, et al. Deep residual learning for image recognition[J]. IEEE Computer Society, 2016, 1: 770-778.
- [18] WU Zi-feng, SHEN Chun-hua, HENGEL Anton van den. Wider or deeper: Revisiting the resnet model for visual recognition[J]. Pattern Recognition, 2019, 90: 119-133.
- [19] HU Li-da, GE Qi. Automatic facial expression recognition based on MobileNetV2 in Real-time[J]. Journal of Physics Conference Series, 2020, 1549: 022136.
- [20] 于攀, 叶俊勇. 基于谱回归和核空间最近邻的基因表达数据分类[J]. 电子学报, 2011, 39(8): 1955-1960.
- [21] 王鹏新, 齐璇, 李俐, 等. 基于随机森林回归的玉米单产估测[J]. 农业机械学报, 2019, 50(7): 237-245.

(上接第 38 页)

了 4 种重金属元素和 18 种微量元素含量的测定与分析。结果发现俄罗斯桦褐孔菌的原料和制品中重金属含量都符合各项国家标准要求, 且不同桦褐孔菌原料中微量元素含量也存在很大差异, 其中桦褐孔菌原料的外皮和内里中无机元素含量差异较大。

参考文献

- [1] 陈艳秋, 李玉. 桦褐孔菌的研究进展[J]. 微生物学通报, 2005, 32(2): 124-127.
- [2] 周秀梅, 赵静宇, 王美, 等. 药用真菌桦褐孔菌多糖的降糖实验研究[J]. 山西医药杂志, 2019, 48(10): 1163-1166.
- [3] 崔敬爱, 王思霁, 刘畅. 桦褐孔菌多糖对高脂饮食诱导的高血脂大鼠血脂和肝脏的保护作用及机制[J]. 食品科学, 2020, 41(19): 185-190.
- [4] 王蔚, 乔羽, 周忠光, 等. 桦褐孔菌醇提物对胃癌侵袭转移的影响及分子机制探讨[J]. 山西医药杂志, 2020, 48(9): 206-212.
- [5] ZHAO Yan-xia, ZHENG Wei-fa. Deciphering the antitumoral potential of the bioactive metabolites from medicinal mushroom *Inonotus obliquus* [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2021, 265: 1-21190.
- [6] BURMASOVA Marina A, UTEBAEVA Aidana A, SYSOEVA Elena V, et al. Melanins of *Inonotus obliquus*: Bifidogenic and antioxidant properties[J]. Biomolecules, 2019, 9(6): 248-257.
- [7] WOLD Christian W, GERWICK William H, WANGENSTEEN Helle, et al. Bioactive triterpenoids and water-soluble melanin from *Inonotus obliquus* (Chaga) with immunomodulatory activity[J]. Journal of Functional Foods, 2020, 71(8): 104025.
- [8] JAECHOL K, YANG Si C, HWANG Ah Y, et al. Composition of triterpenoids in *Inonotus obliquus* and their anti-proliferative activity on cancer cell lines[J]. Molecules, 2020, 25(18): 4066.
- [9] 魏振华, 陈妮, 范秋领, 等. 桦褐孔菌多糖对糖尿病大鼠糖脂代谢水平的影响[J]. 菌物研究, 2020, 18(3): 195-200.