

河北省常见食用菌硒含量的检测

杜苗苗, 顾丹丹, 王紫卓, 王晨旭, 王佳欣, 李春旺, 朱涵双, 姚清国*

石家庄学院化工学院, 河北 石家庄

收稿日期: 2026年1月3日; 录用日期: 2026年2月3日; 发布日期: 2026年2月12日

摘要

采用氢化物原子荧光光谱法对采集自河北省承德、保定、石家庄地区的四种食用菌样品进行检测, 结果表明不同区域同种食用菌及同一区域不同种食用菌的硒含量存在一定差异。香菇硒含量相对较高, 在 9.20~9.96 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 之间, 不同产区差别不大; 杏鲍菇硒含量在 3.98~4.67 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 保定产区显著高于其他产区; 平菇硒含量在 3.26~5.98 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 承德产区最高, 不同产区差别较大; 秀珍菇硒含量在 2.49~6.57 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 承德产区最高。该研究为富硒食用菌栽培提供了理论依据。

关键词

食用菌, 原子荧光光谱法, 硒

Detection of Selenium Content in Common Edible Fungi from Hebei Province

Miaomiao Du, Dandan Gu, Zizhuo Wang, Chenxu Wang, Jiaxin Wang, Chunwang Li, Hanshuang Zhu, Qingguo Yao*

School of Chemical Engineering, Shijiazhuang University, Shijiazhuang Hebei

Received: January 3, 2026; accepted: February 3, 2026; published: February 12, 2026

Abstract

Hydride atomic fluorescence spectrometry was used to detect four types of edible fungi samples collected from Chengde, Baoding, and Shijiazhuang areas of Hebei Province. The results showed that there were certain differences in the selenium content of the same type of edible fungi in different areas and different types of edible fungi in the same area. The selenium content of shiitake mushrooms is relatively high, between 9.20~9.96 $\mu\text{g}/\text{kg}$, with little difference in different production

*通讯作者。

areas; the selenium content of king oyster mushrooms is 3.98~4.67 $\mu\text{g}/\text{kg}$, and the Baoding production area is significantly higher than other production areas; the selenium content of oyster mushrooms is 3.26~5.98 $\mu\text{g}/\text{kg}$, the highest in the Chengde production area, with large differences in different production areas; the selenium content of pleurotus is 2.49~6.57 $\mu\text{g}/\text{kg}$, the highest in Chengde production area. This study provides a theoretical basis for the cultivation of selenium-rich edible fungi.

Keywords

Edible Fungi, Atomic Fluorescence Spectrometry, Selenium

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

食用菌是一类可食用或药用的大型真菌[1], 食用菌味道鲜美、营养丰富, 低脂肪高蛋白, 富含多种维生素, 含有多降血脂[2]、抗氧化[3]、抗肿瘤[4]等活性成分, 是一种营养健康的食品。食用菌和蔬菜栽培方式不同, 其通过对农作物废弃物(秸秆、棉籽壳、玉米芯等)的营养成分进一步转化利用, 合成蛋白质、多糖等成分, 同时对培养料中的微量元素也进一步吸收利用[5]。

硒是人体生理活动必须的微量元素之一, 硒在人体中主要和氨基酸结合, 形成硒代半胱氨酸和硒代甲硫氨酸, 具有抗氧化、抗衰老, 提高免疫力的作用, 硒是维持心脏正常功能的重要元素, 对心脏肌体有保护和修复的作用[6]。人体血硒水平的降低, 会导致体内清除自由基的功能减退, 造成有害物质沉积增多, 血压升高、血管壁变厚、血管弹性降低、血流速度变慢, 送氧功能下降, 从而诱发心脑血管疾病[7]。中国营养学会建议每天摄入 50 μg ~200 μg 的硒[8]。因此测定食物中的硒有助于进行科学的膳食搭配, 合理饮食, 预防疾病。食用菌的栽培过程主要是对栽培料中硒元素进行吸收同化的过程。

食用菌中硒的测定方法很多, 早期主要采用荧光分析法、原子吸收光谱法, 但分析灵敏度低, 近几年氢化物原子荧光光谱法由于其测量灵敏度高, 其他元素干扰少, 是成为微量元素检测的主要方法, 主要是采用了氢化物原子荧光光谱法检测香菇、杏鲍菇、平菇、秀珍菇等食用菌中硒的含量。

2. 材料与方法

2.1. 材料与试剂

2.1.1. 材料

香菇、杏鲍菇、平菇、秀珍菇, 由河北绿马农业有限公司提供。

2.1.2. 试剂

浓盐酸、浓硝酸、高氯酸为优级纯试剂, 硼氢化钾、氢氧化钠为国产分析纯, 硒单元素溶液标准物质购自中国计量科学研究院。

2.2. 仪器

液相色谱原子荧光联用仪(LC-AFS6500), 购自北京海光仪器有限公司; 微控数显电热板(EG20-B), 购自北京莱伯泰科仪器股份有限公司。

2.3. 方法

2.3.1. 材料预处理

将新鲜的香菇、杏鲍菇、平菇和秀珍菇用清水冲洗，洗去表面的尘土，再用高纯水清洗 2~3 次，用吸水纸吸干表面的水分，然后用匀浆机将食用菌打成匀浆备用。

2.3.2. 样品消解

将匀浆好的各样品分别称取 0.1 g 左右样品放锥形瓶中，加入硝酸 8 mL、高氯酸 2 mL，静止静置过夜，在通风橱内，将锥形瓶盖上曲颈漏斗，置于电热板上，100℃加热 1 h，升温至 120℃，加热 2 h，升温至 180℃，加热 1 h，最后将电热板升温至 210℃，加热至锥形瓶内有卷曲状浓白烟出现，用超纯水冲洗内壁和曲颈漏斗，继续在 210℃下加热赶酸，直到内液体剩余 2 mL 左右，停止加热，冷却至室温，向各锥形瓶中加入 5 mL 浓盐酸过夜。将锥形瓶中的样品溶液转移到 50 mL 比色管中，用超纯水冲洗锥形瓶内壁及曲颈漏斗的内外壁 2 次~3 次，将洗液转移到比色管中，最后用高纯水定容至 50 mL 刻度线处，震荡摇匀，置于试管架上，等待检测。

2.3.3. 硒标准溶液的配制

吸取 1 g·L 硒标准母液用 5%盐酸稀释成所需的一定的浓度梯度，并做标准曲线，标准曲线所用浓度为 0、0.1 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、0.2 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、0.4 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、0.6 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、0.8 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、1.0 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

2.3.4. 上机检测

打开仪器预热 30 min 设定检测参考条件：负高压：260 V；灯电流：80 mA；原子化温度：800℃；炉高：8 mm；载气流速：300 mL·min⁻¹；屏蔽气流速：800 mL·min⁻¹；读数时间：16 s。；延迟时间：4 s。氩气(出口压力为 0.3 MPa)。载流为 5%盐酸，还原剂(0.5% NaOH + 2% KBH₄)，先测将标准空白，再测标准样品，机器自动生成标准曲线，再测样品空白，然后测定样品测量，机器自动读出样品浓度，通过样品稀释，让被测样品的浓度在标准曲线的范围之内，然后根据样品溶液稀释倍数和称量样品的量，计算被测食用菌中硒元素的含量。根据检测所得的数据进行计算可以得出各食用菌试样中硒的含量(X, $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 或 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)，其计算公式为：

$$X = (C - C_0) \times V / m$$

式中：C 表示试样消化液测定的浓度， $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ；C₀ 表示试样空白消化液测定浓度， $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ；m 表示试样质量(体积)，g 或 mL；V 表示试样消化液总体积，mL。

3. 结果与分析

3.1. 河北省不同产区中食用菌硒含量分析

为了测定不同区域的香菇、杏鲍菇、平菇、秀珍菇中硒的含量，收集产自河北省承德、保定、石家庄地区的四种食用菌样品，分别进行前处理，通过氢化物原子荧光法检测其硒元素含量。

由表 1 可知河北省不同产区香菇鲜品硒含量在 9.20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ~9.96 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，承德、保定和石家庄产区的香菇样品中，硒含量平均值分别为 9.65 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，9.96 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，9.20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，不同产区的香菇所含硒含量的差别不大，但与其他几种食用菌相比，香菇的硒含量相对较高。

由表 2 可知河北省不同产区杏鲍菇鲜品硒含量在 3.98 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ~4.13 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，承德、保定和石家庄产区的杏鲍菇样品中硒含量平均值分别为 3.98 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，4.67 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，4.13 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，保定产区杏鲍菇的硒含量显著高于其他两个产区，承德产区的杏鲍菇硒含量最低。

Table 1. Determination of selenium content in *Lentinus edodes* from different places**表 1.** 不同产区香菇中硒含量的测定

食用菌种类(产地)	硒含量/($\mu\text{g/kg}$)
香菇(承德)	9.65 ± 0.09
香菇(保定)	9.96 ± 0.11
香菇(石家庄)	9.20 ± 0.14

Table 2. Determination of selenium content in *Pleurotus eryngii* from different places**表 2.** 不同产地的杏鲍菇中硒含量的测定

食用菌种类(产地)	硒含量/($\mu\text{g/kg}$)
杏鲍菇(承德)	3.98 ± 0.13
杏鲍菇(保定)	4.67 ± 0.15
杏鲍菇(石家庄)	4.13 ± 0.12

由表 3 可知河北省不同产区平菇鲜品硒含量在 $3.26 \mu\text{g/kg}$ ~ $5.98 \mu\text{g/kg}$, 承德、保定和石家庄产区的平菇样品中硒含量平均值分别为 $5.98 \mu\text{g/kg}$, $4.12 \mu\text{g/kg}$, $3.26 \mu\text{g/kg}$, 承德产区平菇的硒含量显著高于其他两个产区, 保定产区平菇的硒含量次之, 石家庄产区的秀珍菇硒含量最低。不同产区的平菇硒含量差别比较大, 并且总体含量比香菇要低很多, 和杏鲍菇含量相当。

Table 3. Determination of selenium content in *Pleurotus ostreatus* from different places**表 3.** 不同产地的平菇中硒含量的测定

食用菌种类(产地)	硒含量/($\mu\text{g/kg}$)
平菇(承德)	5.98 ± 0.15
平菇(保定)	4.12 ± 0.07
平菇(石家庄)	3.26 ± 0.09

由表 4 可知河北省不同产区秀珍菇鲜品硒含量在 $2.49 \mu\text{g/kg}$ ~ $6.57 \mu\text{g/kg}$, 承德、保定和石家庄产区的秀珍菇样品中硒含量平均值分别为 $6.57 \mu\text{g/kg}$, $3.93 \mu\text{g/kg}$, $2.49 \mu\text{g/kg}$, 承德产区秀珍菇的硒含量显著高于其他两个产区, 保定产区秀珍菇的硒含量次之, 石家庄产区的秀珍菇硒含量最低。不同产区的秀珍菇硒含量差别比较大, 并且总体含量比香菇要低很多, 和杏鲍菇含量相当。

Table 4. Determination of selenium content in *Pleurotus geesteranus* from different places**表 4.** 不同产地的秀珍菇中硒含量的测定

食用菌种类(产地)	硒含量/($\mu\text{g/kg}$)
秀珍菇(承德)	6.57 ± 0.13
秀珍菇(保定)	3.93 ± 0.08
秀珍菇(石家庄)	2.49 ± 0.09

3.2. 河北省同一产区中四种不同食用菌硒含量分析

承德产区香菇硒含量平均值为 9.65 $\mu\text{g/kg}$, 杏鲍菇为 3.98 $\mu\text{g/kg}$, 平菇为 5.98 $\mu\text{g/kg}$, 秀珍菇为 6.57 $\mu\text{g/kg}$ 。在此产区内, 秀珍菇和香菇的硒含量相对较高, 杏鲍菇相对较低, 平菇居中。保定产区香菇硒含量平均值为 9.96 $\mu\text{g/kg}$, 杏鲍菇为 4.67 $\mu\text{g/kg}$, 平菇为 4.12 $\mu\text{g/kg}$, 秀珍菇为 3.93 $\mu\text{g/kg}$ 。该产区中香菇硒含量最高, 杏鲍菇次之, 平菇和秀珍菇相对较低, 且两者含量较为接近。石家庄产区香菇硒含量平均值为 9.20 $\mu\text{g/kg}$, 杏鲍菇为 4.13 $\mu\text{g/kg}$, 平菇为 3.26 $\mu\text{g/kg}$, 秀珍菇为 2.49 $\mu\text{g/kg}$ 。此产区也是香菇硒含量最高, 秀珍菇最低, 杏鲍菇和平菇居中且平菇略高于杏鲍菇。总体来看, 在同一产区内, 香菇的硒含量大多处于较高水平, 秀珍菇在多数情况下硒含量相对较低, 杏鲍菇和平菇的硒含量在不同产区表现有所差异, 但整体处于中等范围且两者数值较为接近。

4. 小结与讨论

河北省的承德、保定、石家庄市围绕京津的三大食用菌产区, 通过收集这些产区不同品种的食用菌样品, 经检测得知, 不同品种的食用菌所含的硒元素不同, 其中香菇最高, 杏鲍菇次, 秀珍菇最低, 说明不同的食用菌种类对硒元素的富集能力是不同的, 一般生产周期长菌类富集硒的能力比较高, 栽培周期短富集硒元素的能力比较弱。

由于硒在体内主要与蛋白质结合, 高蛋白含量的农作物更容易富集硒元素, 所以食用菌中的硒含量比起蔬菜和水果要高一些[9]。食用菌不同于绿色植物, 食用菌通过转化栽培料的营养而生长, 栽培料中微量元素的含量直接影响所栽培的食用菌的含量[10]。一般而言在土壤硒含量较高的地区生长农作物硒含量比较高, 用硒含量高农作物为原料栽培的食用菌的硒含量会相对高一些。所以本地玉米芯和棉籽壳为原料的平菇和秀珍菇受地域影响比较大, 间接受到本地土壤硒含量的影响, 而栽培料以木屑为主的香菇和杏鲍菇受土壤中硒影响较小, 由于河北的木屑大多数从外地购进, 来源比较固定, 所以香菇中的硒含量差别不大。

通过不同区域不同种类的食用菌中硒含量的测定, 发现不同食用菌富集硒的能力不同, 香菇富集硒的能力最强, 秀珍菇和平菇比较弱。这些研究对以后富硒食用菌的栽培提供一定的理论基础。

基金项目

河北省食用菌现代种业科技创新团队资助项目(21326315D)。

参考文献

- [1] 顾可飞, 周昌艳, 李晓贝. 食用菌的营养价值及药用价值[J]. 食品工业, 2017, 38(10): 228-231.
- [2] 高琛, 李文, 陈万超, 等. 3 种食用菌蛋白质-多糖复合物的体内外降血脂作用[J]. 食品科学, 2024, 45(24): 117-127.
- [3] 韩明月, 李俐, 郝利民, 等. 5 种食用菌水提物生物活性的比较[J]. 食品科学, 2023, 44(3): 146-154.
- [4] 孙嘉泽, 孙傲, 吴桐, 等. 松杉灵芝菌柄中多糖、三萜提取工艺优化及其抗肿瘤、抗氧化活性[J]. 食品研究与开发, 2025, 46(7): 102-109.
- [5] 刘柱杉, 孙浩翔, 温嘉伟, 等. 微量元素组配对羊肚菌菌丝发育、营养品质及产量的影响[J]. 山东农业科学, 2023, 55(7): 96-103.
- [6] 胡驹铖, 赵文竹, 于一丁, 等. 食源性富硒蛋白功能特性及硒形态研究进展[J]. 食品科学, 2025, 46(19): 379-385.
- [7] 汪柄佑, 谭运莲, 余江, 等. 硒元素与人类心血管疾病相关性的研究进展[J]. 实用心电与临床诊疗, 2025, 34(4): 589-593.
- [8] 《中国居民膳食营养素参考摄入量》2023 修订版简介[J]. 营养学报, 2023, 45(6): 521-524.

-
- [9] 铁梅, 臧树良, 方禹之, 等. SE-HPLC-ICP-MS 联用技术在富硒蛹虫草硒蛋白形态分析中的应用研究[J]. 高等学校化学学报, 2006(7): 1232-1236.
- [10] 宁扬, 朱长俊, 潘静, 等. 食用菌富集微量元素及其酶活性影响研究进展[J]. 现代食品, 2020(13): 109-112.