

不同产地茵陈中 22 种元素的测定及安全性评价

孙茜茜 罗蓓蓓 蒋碧伟 李 娜 李向力

(河南省商业科学研究所有限责任公司, 河南 郑州 450002)

摘要: [目的] 建立微波消解电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma-mass spectrometry, ICP-MS)测定茵陈中 22 种矿质元素的分析方法, 研究其矿质元素的含量、分布情况, 分析其食用安全性。[方法] 采用 ICP-MS 方法对河南 18 个地区茵陈中 B、Na、Mg、Al、K、Ca、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、As、Sr、Mo、Cd、Ba、Pb、Hg 22 种元素含量进行测定和分析, 并采用 SPSS 进行主成分分析和聚类分析进一步分析特征元素和产地聚类。[结果] 22 种元素线性回归方程相关系数均大于 0.999 0, 检出限为 0.005~3.729 $\mu\text{g/L}$, 回收率为 96.4%~105.2%, 相对标准偏差为 1.17%~2.35%; 茵陈中含有大量的矿质元素, 尤其以 K (8 160.81 mg/kg)、Mg (751.24 mg/kg) 和 Ca (499.69 mg/kg) 含量最高; Pb、As、Hg、Cd、Cr 含量均符合《中华人民共和国药典》的规定; As、Hg 含量均远远小于 GB 2762—2022《食品安全国家标准 食品中污染物限量》中新鲜叶类蔬菜的重金属含量要求, Pb、Cd 含量略有超标, Cr 指标超标较为严重; 主成分分析结果显示, 前 4 个主成分的累计贡献率达 84.41%; 聚类分析将 18 个地区茵陈聚为 3 类。[结论] 不同产地茵陈中矿质元素有明显地域差别, V、Fe、Co、Mg、Al、Ti、Ni、B、Mo、Ca、Zn 为其特征元素; 茵陈作为药用时, 安全性较高, 但作为叶类蔬菜食用时, 存在一定安全性风险。

关键词: 茵陈; 电感耦合等离子体质谱; 矿质元素; 主成分分析

Determination and safety evaluation of 22 elements in *Artemisia capillaris* from different origins

SUN Xixi LUO Beibei JIANG Biwei LI Na LI Xiangli

(Henan Commerce Science Institute Co., Ltd., Zhengzhou, Henan 450002, China)

Abstract: [Objective] To establish an inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS) method for determining 22 mineral elements in *Artemisia capillaris*, to study their content and distribution, and to analyze their edible safety. [Methods] The content levels of 22 elements, including B, Na, Mg, Al, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Mo, Cd, Ba, Pb, and Hg, in *A. capillaris* samples collected from 18 regions in Henan Province were determined by ICP-MS. Principal component analysis (PCA) and cluster analysis were performed using SPSS to analyze characteristic elements and geographic clustering. [Results] The correlation coefficients of the linear regression equations for all 22 elements were above 0.999 0. Limits of detection (LOD) ranged from 0.005 to 3.729 $\mu\text{g/L}$. Recovery rates ranged from 96.4% to 105.2%, and relative standard deviations (RSDs) were between 1.17% and 2.35%. *A. capillaris* contained abundant mineral elements, with the highest levels of K (8 160.81 mg/kg), Mg (751.24 mg/kg), and Ca (499.69 mg/kg). The content of Pb, As, Hg, Cd, and Cr complied with the requirements of the Pharmacopoeia of the People's Republic of China. The levels of As and Hg were far below the heavy metal limits for fresh leafy vegetables specified in GB 2762—2022 National Food Safety Standard: Limits of Contaminants in Foods. Pb and Cd slightly exceeded the limits, while Cr exceeded the limits more significantly. PCA results showed that the first four principal components accounted for 84.41% of the variance. Cluster analysis grouped the 18 regions into three categories. [Conclusion] Mineral element content in *A. capillaris* exhibits obvious regional differences. V, Fe, Co, Mg, Al, Ti, Ni, B, Mo, Ca, and Zn were identified

基金项目: 河南省科学院基本科研业务费项目(编号: 230611035); 河南省科学院创新团队项目(编号: 20230104)

通信作者: 孙茜茜(1990—), 女, 河南省商业科学研究所有限责任公司工程师, 硕士。E-mail: sunxixi163@163.com

收稿日期: 2025-02-16 改回日期: 2025-07-13

引用格式: 孙茜茜, 罗蓓蓓, 蒋碧伟, 等. 不同产地茵陈中 22 种元素的测定及安全性评价[J]. 食品与机械, 2025, 41(8): 54-60.

Citation: SUN Xixi, LUO Beibei, JIANG Biwei, et al. Determination and safety evaluation of 22 elements in *Artemisia capillaris* from different origins[J]. Food & Machinery, 2025, 41(8): 54-60.

as characteristic elements. When used medicinally, *A. capillaris* is relatively safe. However, consumption as a leafy vegetable poses certain safety risks.

Keywords: *Artemisia capillaris*; inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS); mineral elements; principal component analysis

茵陈(*Artemisia capillaris*),别名茵陈蒿、白蒿,为菊科蒿属草本植物^[1],在中国民间有着悠久的食用历史。它也是一味中药,具有解热镇痛、抗炎、调节代谢、神经保护、抗氧化、抗肿瘤等功效^[2-4]。茵陈不仅药用价值高,还含有蛋白质、脂肪、纤维素、糖类等多种营养物质,其矿物质含量较一般蔬菜高出数倍^[5-6]。

目前关于茵陈的研究大多集中在黄酮、挥发油等物质的提取和生物活性的研究上^[7-10],而针对茵陈矿质元素含量的研究较少,且存在研究的元素种类偏少的情况。张敬东等^[11]对延边地区茵陈蒿叶中 Cr、Fe、Cu、Zn、As、Se、Cd、Sb、Pb 9 种元素进行了测定;段晓琴等^[12]对茵陈中 Ca、Mg、Cu、Zn、Fe、Mn 6 种微量元素的含量进行了测定。然而,茵陈中 B、Na、Al、K、Ti、V、Co、Ni、Sr、Mo、Ba、Hg 的含量情况,以及常见有害重金属元素的安全性分析均未见文献涉及,也未见有通过矿质元素分布情况对茵陈地域分布及产地溯源进行探究的文献报道。

为全面了解茵陈中矿质元素含量情况,更好地开发利用茵陈资源,研究拟采用微波消解对河南 18 个地区茵陈样品进行前处理,并使用电感耦合等离子体质谱(inductively coupled plasma-mass spectrometry, ICP-MS)测定其中 B、Na、Mg、Al、K、Ca、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、As、Sr、Mo、Cd、Ba、Pb、Hg 22 种矿质元素的含量。利用 SPSS 软件对测定数据进行主成分分析,整体评价其矿质元素的含量及食用安全性。通过对矿质元素聚类分析对茵陈产地进行区分,为茵陈的产地溯源方法探索及进一步深入研究提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

茵陈样品:于河南 18 个地市未受到当地产业或者重金属排放等活动影响的农村、山上或者坡地采集,详细样品信息见表 1,每个地区采集样品数量不小于 5 份;

Ag、Al、As、B、Ba、Be、Ca、Cd、Co、Cr、Cu、Fe、K、Mg、Mn、Mo、Na、Ni、Pb、Sb、Se、Sn、Sr、Ti、Tl、V、Zn 多元素贮备液:100 $\mu\text{g/L}$,国家有色金属及电子材料分析测试中心;

Sc、Ge、Rh、Tb、Lu、Bi 内标元素贮备液:100 $\mu\text{g/L}$,安捷伦科技有限公司;

汞标准溶液:1 000 $\mu\text{g/L}$,国家有色金属及电子材料分析测试中心;

硝酸:MOS 级,天津风船化学试剂有限公司;

氢氧化钾、硼氢化钾、盐酸:优级纯,天津市科密欧化

表 1 样品信息

Table 1 Sample information

样品	产地	样品	产地	样品	产地
S1	安阳	S7	漯河	S13	新乡
S2	鹤壁	S8	南阳	S14	信阳
S3	济源	S9	平顶山	S15	许昌
S4	焦作	S10	濮阳	S16	郑州
S5	开封	S11	三门峡	S17	周口
S6	洛阳	S12	商丘	S18	驻马店

学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS):7900-G7201C 型,安捷伦科技有限公司;

原子荧光形态分析仪:PF52 型,北京普析通用仪器有限责任公司;

箱式电阻炉: SX-4-10 型,北京中兴伟业仪器有限公司;

微波化学工作平台: B1208-6 全能型,上海屹尧仪器科技发展有限公司;

恒温干燥箱: 101-1A 型,北京中兴伟业仪器有限公司;

多功能手提式粉碎机: DXF-63 型,广州市大祥电子机械设备有限公司;

电子天平: AL104 型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;

电子天平: JJ323BC 型,常熟市双杰测试仪器厂。

1.3 试验条件

1.3.1 样品处理 新鲜茵陈样品用剪刀剪去根部,摘掉干叶、杂草等异物。分别用清水和超纯水清洗干净后,晾干至无水状态。经粉碎后,保存于聚乙烯自封袋备用。

称取样品 0.3 g(精确至 0.001 g)置于微波消解内罐中,加入 10 mL 的硝酸,加盖放置 1 h,旋紧罐盖,设置微波消解仪升温程序(见表 2)进行消解。冷却后取出,缓慢打开罐盖排气,用少量水冲洗内盖,将消解罐放在控温电热板上,于 100 $^{\circ}\text{C}$ 加热 30 min,用水定容至 25 mL,混匀备用,同时做空白试验。

1.3.2 茵陈矿质元素含量测定

(1) 总汞:按 GB 5009.17—2021《食品安全国家标准 食品中总汞及有机汞的测定》执行。

(2) 其他矿质元素:按 GB 5009.268—2016《食品安全

表 2 微波消解升温程序

Table 2 Microwave digestion heating program		
步骤	控制温度/℃	恒温时间/min
1	100	2
2	120	2
3	140	2
4	160	4
5	180	20

国家标准《食品中多元素的测定》执行。

1.4 数据处理

利用 Microsoft Excel 2010 对数据进行处理和统计分析,用 SPSS 22.0 软件将所测不同产地茵陈中矿质元素含量原始数据进行 Z-score 标准化处理后进行主成分分析,同时采用欧氏距离法进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 方法的线性和检出限

根据茵陈中不同元素的含量,制备合适浓度范围的标准溶液,在仪器状态稳定的前提下进行测定,以测定值作为纵坐标,元素质量浓度(μg/L)作为横坐标,绘制茵陈中各元素标准曲线,所得标准曲线方程见表 3。22 种矿质元素的线性回归方程的相关系数均大于 0.999 0,说明线性关系良好。通过对空白样品按 1.3.1 方法条件下连续测定 11 次,以测量结果的 3 倍标准偏差对应的质量浓度值来计算各元素的检出限,结果显示检出限(LOD)为 0.005~3.729 μg/L。

2.2 精密度、重复性和加标回收试验

经测定,精密度、重复性和回收率试验($n=6$)结果显示:元素的精密度相对标准偏差(RSD)为 0.51%~2.46%,重复性 RSD 为 1.32%~2.69%,回收率为 96.4%~105.2%,RSD 为 1.17%~2.35%,说明该方法精密度、准确度良好,可以用于茵陈中元素的测定分析。

2.3 茵陈中矿质元素含量分析

如表 4 所示,K、Mg、Ca、Al、Fe 元素含量较高,均超过了 100 mg/kg;Na、Mn、Ti、Sr 含量为 10~100 mg/kg;Zn、Ba、Cu、B 元素含量为 1~10 mg/kg;Cr、Ni、V、Pb、Cd、Mo、Co、As、Hg 含量在 1 mg/kg 以下;Hg 含量在 0.1 mg/kg 以下。不同采集地点的茵陈中同种矿质元素含量差异较大。

茵陈中含量超过 100 mg/kg 的元素中,K 的平均含量最高,达到了 8 160.81 mg/kg,其含量最高的样品来自周口(9 838.54 mg/kg),含量最低的来自济源(7 232.31 mg/kg);其次为 Mg(平均含量为 751.24 mg/kg)、Ca(平均含量为 499.69 mg/kg),Mg 和 Ca 含量最高和最低的样品均分别

表 3 22 种元素回归方程、相关系数、线性范围、LOD

Table 3 Regression equations, correlation coefficients, linear ranges, and LOD of 22 elements

元素	线性回归方程	相关系数	线性范围/(μg·L ⁻¹)	检测限/(μg·L ⁻¹)
B	$Y=0.003\ 1X+0.021\ 8$	0.999\ 9	0~500	0.024
Na	$Y=0.004\ 6X+0.011\ 2$	0.999\ 6	0~2\ 000	2.087
Mg	$Y=0.002\ 6X+0.008\ 6$	0.999\ 6	0~4\ 000	0.219
Al	$Y=0.001\ 1X+2.940\ 1$	1.000\ 0	0~1\ 000	1.044
K	$Y=0.002\ 5X-0.002\ 8$	0.999\ 6	0~4\ 000	2.971
Ca	$Y=0.004\ 7X-0.081\ 3$	0.999\ 9	0~2\ 000	3.729
Ti	$Y=0.009\ 8X-1.520\ 8$	1.000\ 0	0~100	0.040
V	$Y=0.035\ 9X+0.046\ 3$	1.000\ 0	0~50	0.009
Cr	$Y=0.044\ 8X+0.365\ 9$	1.000\ 0	0~50	0.018
Mn	$Y=0.027\ 4X-3.299\ 8$	1.000\ 0	0~500	0.060
Fe	$Y=0.041\ 9X-0.001\ 3$	1.000\ 0	0~2\ 000	0.112
Co	$Y=0.086\ 0X+0.035\ 3$	1.000\ 0	0~50	0.004
Ni	$Y=0.022\ 9X+0.005\ 4$	1.000\ 0	0~50	0.178
Cu	$Y=0.063\ 3X+0.006\ 4$	1.000\ 0	0~500	0.039
Zn	$Y=0.010\ 2X+0.001\ 2$	1.000\ 0	0~500	0.280
As	$Y=0.001\ 8X+2.834\ 0$	1.000\ 0	0~50	0.020
Sr	$Y=0.003\ 0X+0.007\ 3$	1.000\ 0	0~1\ 000	0.034
Mo	$Y=0.001\ 8X-2.538\ 3$	1.000\ 0	0~5	0.036
Cd	$Y=0.000\ 7X+0.001\ 9$	1.000\ 0	0~50	0.008
Ba	$Y=0.014\ 5X-0.000\ 7$	0.999\ 8	0~500	0.005
Pb	$Y=0.003\ 6X-0.004\ 5$	0.999\ 9	0~50	0.023
Hg	$Y=0.003\ 1X-2.185\ 6$	0.999\ 9	0~2	0.005

来自新乡(Mg 含量为 954.02 mg/kg、Ca 含量为 663.43 mg/kg)和开封(Mg 含量为 580.93 mg/kg、Ca 含量为 369.39 mg/kg)。K、Mg、Ca 作为常量元素,参与人体的生理调节,对健康有重要的作用,茵陈可作为补充 K、Mg、Ca 元素的食物来源。茵陈中 Al 和 Fe 含量也较高,Al 为 276.67 mg/kg、Fe 为 248.47 mg/kg。但铝不是人体必需的元素,长期摄入可能会影响人体对磷、钙等代谢,也会损伤大脑及神经细胞,甚至导致记忆力减退^[13-14],因此应当控制 Al 的摄入。由于茵陈中的 Al 并非人为添加,因此无法用现有的资料评估其含量是否超标,公众在食用时可以通过延长浸泡时间等方式,增加 Al 的溶出,同时也应当适量食用。

茵陈中矿质元素含量丰富,测定元素中 Mn、Ti、Sr、Zn、Cu、Ni、V、Mo、Co 均是人体必需的微量元素,但矿质元素含量失衡会通过吸收竞争进行代谢干扰,进而引发健康问题。有研究^[15-17]发现,当 Zn、Cu 含量比值>10, Zn、Fe 含量比值>1 时,会发生拮抗作用进而影响微量元

素吸收。经测定,茵陈样品的 Zn、Cu 含量比值和 Zn、Fe 含量比值范围分别为 1.59~3.44 和 0.03~0.09,均低于限值,因此认为不会发生拮抗作用,有利于机体的吸收;所有茵陈样品的 K、Na 含量比值范围为 45.02~278.95,属于典型的“高钾低钠”食品,因此认为适量食用茵陈能够保持机体电解质平衡、促进骨骼健康,同时能够辅助调节血压,进而控制高血压。

其他元素中,Pb、As、Hg、Cr、Cd 被认为是化学性有害物质,具有蓄积性,会对人体神经、消化、造血、免疫等系统造成损害,应进行控制^[18-20]。《中华人民共和国药典:四部》(2020 年版)中“中药有害残留物限量制定指导原则”规定的重金属及有害元素一致性限量指导值:药材及饮片(植物类)Pb≤5 mg/kg,As≤2 mg/kg,Hg≤0.2 mg/kg,Cd≤1 mg/kg,Cu≤20 mg/kg。经折算,所有产地的茵陈这 5 种重金属含量均未超过该限值,说明河南茵陈作为药材使用,符合国家安全要求。而 GB 2762—2022《食品安全国家标准 食品中污染物限量》针对新鲜蔬菜对重金属含量的限量为:Pb≤0.3 mg/kg,As≤0.5 mg/kg,Hg≤0.01 mg/kg,Cr≤0.5 mg/kg,Cd≤0.2 mg/kg。所有产地的茵陈样品中 As、Hg 含量均远小于此限量,Pb、Cd 含量略有超标,Cr 含量严重超标。这可能与样品生长地区的气

候、地质、土壤、植物群落、植物富集等因素有关,但由于茵陈作为野菜食用时,仅在早春时节采摘,会受季节时令限制,且公众食用量不大,因此对于其中部分重金属元素超标问题,应当理性看待。

2.4 茵陈中矿质元素指纹图谱的建立

经测定发现,茵陈中 22 种矿质元素含量差别较大。为消除个例样品的影响,以 18 个地市茵陈样品中矿质元素的平均含量作为河南茵陈中矿质元素的标准含量,构建茵陈的矿质元素标准指纹图谱。为使其矿质元素指纹图谱更加直观,便于绘制,参考相关文献^[21-22]方法将不同元素的含量进行扩大或缩小,使其处于统一数量级。茵陈矿质元素标准指纹图谱绘制结果见图 1。

由图 1 可知,虽然可能由于产地和生长环境不同,不同地区的茵陈在元素含量上存在一定差异,但生成的矿质元素指纹图谱峰形具有一定的特征性,在横坐标的 K、Mn、Zn、Sr、Ba 处均有明显的峰型。茵陈矿质元素指纹图谱能够更加清晰、直观地了解样品中各种矿质元素的相对含量,展示不同样品之间的相似性和差异性,因此可用于鉴别茵陈中矿质元素特征。

2.5 茵陈中矿质元素主成分分析

由于 Pb、As、Hg、Cr、Cd 在蔬菜中是需要控制的有害

表 4 茵陈样品中元素含量[†]

地市	B	Na	Mg	Al	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Mo	Cd	Ba	Pb	Hg
S1	4.16	99.24	748.00	247.59	8 422.46	408.18	14.18	0.47	0.94	20.12	221.46	0.09	0.59	3.11	6.82	0.10	13.26	0.16	0.17	5.10	0.23	ND
S2	4.95	151.79	745.25	177.20	8 646.17	434.12	9.38	0.34	0.65	23.03	163.98	0.07	0.50	3.18	9.04	0.08	8.87	0.09	0.29	4.46	0.23	0.01
S3	4.68	66.67	824.10	436.43	7 232.31	575.28	18.78	0.78	1.30	60.10	381.60	0.16	1.30	4.34	10.70	0.17	9.11	0.13	0.50	5.84	0.59	0.02
S4	5.17	90.45	621.07	134.27	8 525.06	498.59	6.86	0.23	0.38	40.19	114.82	0.06	0.61	4.62	10.89	0.06	9.45	0.09	0.33	7.22	0.35	0.01
S5	3.50	156.45	580.93	176.61	7 042.71	369.39	9.60	0.34	0.62	17.64	158.95	0.07	0.40	2.90	6.33	0.06	10.08	0.10	0.11	4.98	0.16	0.01
S6	5.24	70.73	610.30	204.44	6 920.62	576.84	7.37	0.36	1.01	60.57	227.67	0.13	0.99	5.65	11.52	0.28	6.81	0.28	0.46	8.79	1.23	0.01
S7	4.48	103.70	740.53	278.98	7 285.80	502.68	14.71	0.52	0.93	38.33	247.98	0.10	0.62	3.77	9.99	0.13	14.78	0.12	0.30	7.58	0.38	0.03
S8	3.49	33.61	892.86	236.72	9 374.49	433.45	13.82	0.65	0.73	142.24	255.57	0.31	2.77	4.88	7.76	0.05	16.66	0.03	0.69	10.57	0.18	0.01
S9	4.87	125.42	723.59	290.84	9 214.79	490.28	15.03	0.53	0.85	26.77	242.02	0.10	0.62	3.57	8.95	0.12	10.07	0.10	0.30	7.05	0.34	0.01
S10	3.77	62.94	707.37	276.15	8 440.48	416.32	14.75	0.49	0.90	29.57	235.57	0.10	0.66	2.70	7.44	0.10	7.70	0.10	0.24	4.67	0.27	ND
S11	3.94	82.94	626.71	351.85	7 606.25	560.05	11.91	0.59	0.74	27.69	276.32	0.11	0.57	5.92	7.92	0.16	10.59	0.17	0.15	4.95	0.48	0.01
S12	4.13	55.55	762.78	302.50	7 555.33	519.38	12.55	0.53	1.06	37.03	260.83	0.10	0.77	3.21	9.06	0.13	10.32	0.14	0.26	5.47	0.41	0.01
S13	5.34	109.79	954.02	395.81	8 147.05	663.43	17.10	0.75	1.37	32.03	377.78	0.15	0.78	4.61	11.90	0.19	16.74	0.19	0.23	8.17	0.59	0.03
S14	4.71	154.02	818.63	209.99	8 307.12	462.85	10.65	0.39	0.62	40.82	181.07	0.10	0.47	2.90	9.95	0.09	10.52	0.20	0.48	6.11	0.23	0.01
S15	4.33	86.32	806.08	327.53	7 457.21	565.16	17.50	0.64	1.37	48.47	295.24	0.12	0.93	3.24	8.75	0.14	14.42	0.09	0.49	8.74	0.36	0.01
S16	4.75	67.06	829.78	377.66	8 021.05	518.39	16.90	0.72	1.85	33.62	346.74	0.14	0.99	3.71	10.42	0.14	12.54	0.16	0.23	6.48	0.40	0.01
S17	5.96	127.24	784.35	345.77	9 838.54	541.23	16.48	0.61	1.02	30.74	283.17	0.12	0.74	4.71	11.11	0.11	13.34	0.13	0.10	9.95	0.32	0.01
S18	4.41	74.97	746.06	209.73	8 857.14	458.81	11.27	0.41	0.77	21.70	201.72	0.08	0.58	2.87	8.21	0.10	10.98	0.18	0.15	4.88	0.23	ND

[†] ND 表示低于检出限。

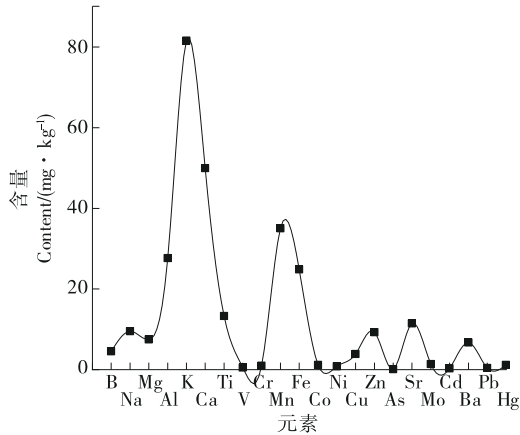


图1 茵陈矿质元素标准指纹图谱

Figure 1 Standard fingerprint of mineral elements of *Artemisia capillaris*

元素,在食物中的含量应尽可能低,因此在对茵陈中矿质元素进行主成分分析时,去掉这5种元素。运用 SPSS 22.0 对河南不同产地茵陈中的 K、Mg、Ca、Al、Fe 等 17 种矿质元素含量的原始数据进行 Z-score 标准化处理,并进行主成分分析。结果表明,前 4 个主成分的特征值 >1 ,可以反映茵陈矿质元素原始数据中的大部分信息,且这些主成分之间彼此独立,不会相互影响。前 4 个主成分特征值分别为 6.56, 3.48, 2.47, 1.84, 对总方差的累积贡献率达 84.41%(见表 5)。

表 5 各主成分特征值、贡献率及累计贡献率

Table 5 Characteristic value, contribution rate, and cumulative contribution rate of each principal component

主成分	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%
1	6.56	38.59	38.59
2	3.48	20.48	59.08
3	2.47	14.51	73.59
4	1.84	10.83	84.41

主成分分析结果矩阵见表 6,第 1 主成分中有较高的载荷值的是 V、Fe、Co、Mg、Al、Ti、Ni,表明这 7 种元素对第 1 主成分有较高的贡献率;第 2 主成分中有较高的载荷的是 B、Mo、Ca、Zn,表明这 4 种元素与第 2 主成分有较高的贡献率;第 3 主成分和第 4 主成分贡献率高的分别是 Cu 和 K。由表 5 可知,总方差 59.08% 的贡献率来自前 2 个主成分因子,因此可以认为 V、Fe、Co、Mg、Al、Ti、Ni、B、Mo、Ca、Zn 是茵陈中的特征元素。

2.6 聚类分析

以河南不同地市样品中的 17 种元素含量值为变量,

表 6 茵陈中矿质元素主成分分析结果矩阵

Table 6 Matrix of principal component analysis of mineral elements in *Artemisia capillaris*

元素	主成分			
	1	2	3	4
B	0.154	0.730	0.375	0.491
Na	-0.504	0.296	-0.119	0.555
Mg	0.762	-0.051	-0.256	0.383
Al	0.753	0.387	-0.451	-0.168
K	0.115	-0.284	0.082	0.749
Ca	0.618	0.683	0.194	-0.137
Ti	0.740	0.098	-0.604	0.114
V	0.898	0.103	-0.391	-0.100
Mn	0.590	-0.607	0.467	-0.122
Fe	0.855	0.320	-0.338	-0.195
Co	0.800	-0.502	0.218	-0.068
Ni	0.693	-0.616	0.305	-0.114
Cu	0.443	0.217	0.649	-0.273
Zn	0.406	0.680	0.458	0.186
Sr	0.634	-0.216	-0.158	0.393
Mo	-0.056	0.691	0.234	-0.298
Ba	0.647	-0.084	0.545	0.301

采用 SPSS 22.0 统计分析软件,选择组间连接法和平方欧氏距离对样品进行系统聚类分析,结果见图 2。

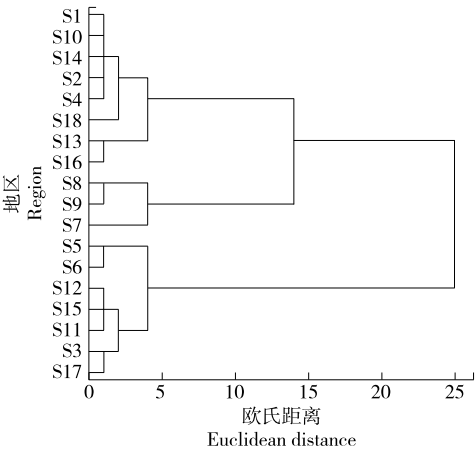


图2 不同产地茵陈的聚类分析图

Figure 2 Cluster analysis diagram of *Artemisia capillaris* from different habitats

由图 2 可知,欧氏距离选择 15 时,河南不同地市茵陈样品被分为 2 类,大致可聚类为河南中部产区 and 南北产区。其中一类包括 7 个样品分别来自河南中部产区的济

源、开封、洛阳、三门峡、商丘、许昌、周口,说明这些地区生长的茵陈中矿质元素分布较为相似;另一类包括11个样品分别来自河南南部和北部产区的安阳、鹤壁、焦作、漯河、南阳、平顶山、濮阳、新乡、信阳、郑州、驻马店;欧氏距离选择10时,又可以将来自漯河、南阳、平顶山的3个样品与来自安阳、鹤壁、焦作、濮阳、新乡、信阳、郑州、驻马店的8个样品分开,说明两片区茵陈样品矿质元素含量存在一定的差异,这可能与漯河、南阳、平顶山地处或靠近伏牛山山脉有关。经聚类分析发现,河南不同产地茵陈中矿质元素分布呈现较为明显的地域特征,通过对茵陈中矿质元素的差异性分析能够对其产地进行初步的区分和判别。

3 结论

茵陈中矿质元素含量丰富,尤以K、Mg和Ca含量最高。茵陈作为药用时,安全性较高,作为叶类蔬菜食用时,存在一定安全性风险。超标原因可能与地质环境、生物富集等有关,具体原因有待进一步深入研究。但茵陈作为叶类蔬菜食用时,受季节时令等影响且食用量并不大,可理性看待其部分重金属元素超标的问题。

通过对茵陈中矿质元素的组成特点进行分析,建立了茵陈矿质元素标准指纹图谱,主成分分析确定茵陈特征元素分为V、Fe、Co、Mg、Al、Ti、Ni、B、Mo、Ca、Zn。通过聚类分析可以对茵陈产区进行区分,后续可选取不同省份茵陈样品并结合茵陈中其他化学活性物质含量,进一步探究更精确的产区判别方法。

参考文献

- [1] CAI Y J, ZHENG Q, SUN R, et al. Recent progress in the study of *Artemisiae Scopariae Herba* (Yin Chen), a promising medicinal herb for liver diseases[J]. Biomedicine & Pharmacotherapy =: Biomedecine & Pharmacotherapie, 2020, 130: 110513.
- [2] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 一部[S]. 2020版. 北京: 中国医药科技出版社, 2020: 250.
National Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the people's republic of China: volume 1[S]. 2020 Edition. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2020: 250.
- [3] 何静怡, 舒腾云, 苏丽花, 等. 茵陈蒿的化学成分及其药理活性研究[J]. 云南中医药大学学报, 2023, 46(1): 64-70.
HE J Y, SHU T Y, SU L H, et al. Study on chemical constituents and pharmacological activities of *Artemisia capillaris*[J]. Journal of Yunnan University of Chinese Medicine, 2023, 46(1): 64-70.
- [4] JANG E, KIM B J, LEE K T, et al. A survey of therapeutic effects of *Artemisia capillaris* in liver diseases[J]. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2015, 2 015 (11): 728-738.
- [5] 胡朝松, 刘德兵, 李绍鹏. 我国野菜资源的开发与利用[J]. 热带农业科学, 2005, 25(5): 44-47, 61.
HU C S, LIU D B, LI S P. The exploitation and utilization of wild vegetable resources in China[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2005, 25(5): 44-47, 61.
- [6] 李庚飞. 4种菊科植物对重金属吸收的比较研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2012, 47(3): 57-61.
LI G F. Comparative study on the absorption of heavy metals by four species in compositae[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2012, 47(3): 57-61.
- [7] 陈志娜, 叶韬, 刘梦香, 等. 茵陈蒿不同溶剂提取物体外抗氧化活性分析[J]. 食品科技, 2019, 44(7): 262-266.
CHEN Z N, YE T, LIU M Y, et al. Antioxidant of extracts from *Artemisia capillaris* by different solvents[J]. Food Science and Technology, 2019, 44(7): 262-266.
- [8] 冯艺飞, 李文钊, 王兆燃, 等. 响应面法优化茵陈总黄酮提取工艺及成分结构的初步表征[J]. 食品工业科技, 2019, 40(21): 192-197, 215.
FENG Y F, LI W Z, WANG Z R, et al. Optimization of extraction technology by response surface methodology and preliminary structural characterization of the composition in flavonoids from *Artemisia capillaris*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(21): 192-197, 215.
- [9] 史娟, 张泽浩, 李江, 等. 陕西茵陈黄酮提取及抗氧化性能研究[J]. 中国油脂, 2018, 43(9): 30-34, 39.
SHI J, ZHANG Z H, LI J, et al. Extraction and antioxidant activity of flavonoids from *Capillary artemisia* in Shanxi[J]. China Oils and Fats, 2018, 43(9): 30-34, 39.
- [10] LORENZO J M, MUNEKATA P E S, GÓMEZ B, et al. Bioactive peptides as natural antioxidants in food products-a review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2018, 79: 136-147.
- [11] 张敬东, 王思宏, 徐上军. 延边地区茵陈蒿叶中微量元素的研究[J]. 延边大学学报(自然科学版), 2014(4): 332-334.
ZHANG J D, WANG S H, XU S J. Research of trace elements in leaves of *Artemisia capillaries* Thunb from Yanbian region [J]. Journal of Yanbian University (Natural Science), 2014(4): 332-334.
- [12] 段晓琴, 朱莉. 4种保健野菜中微量元素的测定[J]. 广东微量元素科学, 2012, 19(8): 38-40.
DUAN X Q, ZHU L. Determination of trace elements on four kinds of edible wild herbs of health-promoting functions[J]. Guangdong Trace Elements Science, 2012, 19(8): 38-40.
- [13] 黄雄伟, 袁晓, 谭益升, 等. 豆制品中铝残留量超标原因溯源分析[J]. 食品与机械, 2024, 40(8): 10-15, 104.
HUANG X W, YUAN X, TAN Y S, et al. Influencing factors

- and migration rules of 14 kinds of heavy metals in tableware[J]. Food & Machinery, 2024, 40(8): 10-15, 104.
- [14] 秦庆芳. 微波消解-ICP-MS法测定葵花籽壳、仁中Mg、Al含量[J]. 食品与生物技术学报, 2015, 34(10): 1 114-1 119.
- QIN Q F. Determination of Mg and Al contents in *Sunflower* seed shells and nuts by microwave digestion-ICP-MS[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2015, 34(10): 1 114-1 119.
- [15] 高天芳, 许元青. 低钠高钾饮食干预对高血压患者NO、ET-1水平及动脉僵硬度的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(5): 1 220-1 224.
- GAO T F, XU Y Q. Effect of low-sodium and high-potassium diet intervention on NO, ET-1 levels and arterial stiffness in patients with hypertension[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2019, 10(5): 1 220-1 224.
- [16] 王亚盟, 郭家平, 刘洁, 等. 不同产地黑果枸杞中主要矿质元素含量比较及主成分分析[J]. 食品工业科技, 2021, 42(11): 233-239.
- WANG Y M, GUO J P, LIU J, et al. Comparison and principal component analysis of main mineral elements in *Lycium barbarum* murray from different habitats[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(11): 233-239.
- [17] WANG Q. Implementation of a high potassium/low sodium diet to prevent hypertension, and cardiovascular and cerebrovascular events in China[J]. Chinese Science Bulletin, 2011, 56(16): 1 322-1 326.
- [18] 任晓雨, 梁梦婷, 曹冬梅, 等. 黑龙江省绿豆主产区土壤重金属污染特征及生态风险评估[J]. 现代食品科技, 2021, 37(10): 308-316.
- REN X Y, LIANG M T, CAO D M, et al. Pollution characteristics and ecological risks of soil heavy metals in major *Mung Bean* producing areas in Heilongjiang Province of China[J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(10): 308-316.
- [19] LU Y L, SONG S, WANG R S, et al. Impacts of soil and water pollution on food safety and health risks in China[J]. Environment International, 2015, 77: 5-15.
- [20] TÓTH G, HERMANN T, DA SILVA M R, et al. Heavy metals in agricultural soils of the European Union with implications for food safety[J]. Environment International, 2016, 88: 299-309.
- [21] 牛延菲, 曹红云, 徐怡, 等. ICP-MS法同时测定辣木籽中22种无机元素及主成分分析和聚类分析[J]. 食品工业科技, 2021, 42(12): 307-312.
- NIU Y F, CAO H Y, XU Y, et al. Simultaneous determination of 22 inorganic elements in *Moringa* seeds by ICP-MS and principal component analysis and cluster analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(12): 307-312.
- [22] 赵一懿, 郭洪祝, 傅欣彤, 等. 基于ICP-MS法分析银杏叶系列品种中25种无机元素[J]. 中草药, 2017, 48(10): 1 991-1 997.
- ZHAO Y Y, GUO H Z, FU X T, et al. Analysis of 25 inorganic elements in *Ginkgo folium* preparations by ICP-MS[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2017, 48(10): 1 991-1 997.