

李超,高丽,康利平,等.不同产地艾叶及土壤中矿物元素的测定与分析[J].江苏农业科学,2021,49(22):186-192.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.22.034

# 不同产地艾叶及土壤中矿物元素的测定与分析

李超<sup>1</sup>,高丽<sup>1</sup>,康利平<sup>2</sup>,刘大会<sup>3</sup>,王旭<sup>3</sup>,崔占虎<sup>4</sup>,张超云<sup>1</sup>,黄显章<sup>1</sup>

(1. 南阳理工学院/河南省张仲景方药与免疫调节重点实验室,河南南阳 473000;

2. 中国中医科学院中药资源中心道地药材国家重点实验室培育基地,北京 100700;

3. 湖北中医药大学,湖北武汉 430000; 4. 福建农林大学,福建福州 350002)

**摘要:**为建立不同产地艾叶及土壤中矿物元素的分析方法和评价体系,采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)对国内5个主产区75份艾叶样品及土壤中钾、钠、钙、镁、磷、铁、锰、锌、钼、镍、铜、铅、砷、镉、汞等元素的含量进行测定,并借助方差分析、主成分分析等计量学方法进行统计和分析。结果表明,不同产地艾叶中有12种元素的含量存在显著差异( $P < 0.05$ ),镉、钼、砷、钠等元素变异系数较高,铜元素含量超出规定限度;不同产地土壤中有6种元素的含量存在显著差异,钼、汞、钙、镁等元素的变异系数较高,各重金属元素含量符合土壤污染风险管控标准;各产地艾叶均对磷、钠、镉等元素富集能力较强,对铁、锰、铅、镍、砷等元素相对贫化;在艾叶规范化种植生产中,应注意磷肥的减施,且应控制土壤及周围环境中镉的含量,避免艾叶对镉过度富集引起重金属超标。本研究为探索艾叶与土壤中矿物元素的分布态势和作用规律提供科学依据,也为艾叶药材道地性评价和种植适宜区选择提供有益参考。

**关键词:**艾叶;土壤;矿物元素;分布特征;富集特征

**中图分类号:** S567.23<sup>+</sup>9.01;S567.23<sup>+</sup>9.06 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)22-0186-06

药用植物中矿物元素的种类和含量是中药材质量评价的重要指标,与中药材的生长发育、药用物质的形成以及临床疗效的发挥密切相关,矿物元素对药效发挥的协同作用不容忽视<sup>[1-5]</sup>。土壤矿物元素是药用植物生长最主要的环境因子之一,能够直接影响根系营养及生理代谢,并对药材的品质产生较大影响<sup>[6-7]</sup>。因此,开展中药材及土壤中矿物元素特征分析对药材品质评价及种植适宜区的选择具有重要意义。

艾叶为菊科植物艾(*Artemisia argyi* Levl. et Vant.)的干燥叶,性温,味苦、辛,归肝、脾、肾经,具有散寒止痛、温经止血、理气安胎等功效,是我国传统常用中药材之一<sup>[8-11]</sup>。艾叶既可内服,也可外洗,以所含艾绒为原料制成的灸条是中医灸法的主要原材料,临床应用十分广泛<sup>[12]</sup>。历代本草中明确记载“蕲艾”“北艾”“海艾”及“祁艾”为道地药材,

即现在湖北省蕲春县、河南省汤阴县、浙江省宁波市及河北省安国市等地所产艾叶<sup>[13]</sup>。现如今,河南省南阳市已成为国内最大的艾叶生产和集散地,产业规模居全国之首。因此,开展以上产区艾叶及土壤中矿物元素的研究能够涵盖我国目前艾叶主产区的整体情况,具有一定的指导意义。

到目前为止,国内外学者对艾叶的研究主要集中在化学成分及药理作用方面<sup>[14-18]</sup>,而对不同产地艾叶及土壤中矿物元素的分布特征、富集特性、环境安全性评价等方面的研究尚未见报道。本研究旨在分析不同主产区艾叶及土壤中矿物元素的吸收特性及变异规律,进而探讨艾叶与土壤中矿物元素的作用关系,研究结果可为艾叶药材的道地性评价及种植适宜区的选择提供有益参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集

艾叶及土壤样品于2019年5—6月在河南省南阳市、湖北省蕲春县、河南省安阳市、浙江省宁波市及河北省安国市等地采集,经南阳理工学院黄显章教授鉴定为菊科蒿属植物艾。将艾叶样品去杂、干燥、剪碎、混匀后备用。土壤样品取自对应种植区0~20 cm耕作层,设置3个平行,每个产区土壤样

收稿日期:2021-05-26

基金项目:国家自然科学基金(编号:81803661);河南省科技攻关项目(编号:202102310512、182102110361)。

作者简介:李超(1987—),男,河南南阳人,博士,讲师,主要从事中药资源学方向的研究。E-mail:lichaoctm@126.com。

通信作者:黄显章,博士,教授,主要从事中药品质评价方向的研究。E-mail:nylgzyx@126.com。

品采集 1 kg,除杂、风干、研磨后过 100 目筛备用。

### 1.2 仪器与试剂

ICP-MS 仪(Thermo X-Ⅱ,购自美国 Thermo Fisher Scientific 公司);微波消解系统(Mars-5,购自美国 CEM 公司);硝酸(优级纯,购自德国 Merk 公司);元素标准溶液(单标/混标,购自美国 Spex 公司);超纯水(自制)。

### 1.3 工作参数

射频收发核心电路射频(RF)功率为 1 200 W,雾化器压力为 1.0 bar,辅助气(氩气)流量为 0.7 L/min,等离子气(氩气)流量为 13.0 L/min,蠕动泵转速分析为 30 r/min、冲洗为 70 r/min。

### 1.4 样品消解

植物样品:精确称取艾叶样品约 0.4 g 于消解内罐,加 65% 浓  $\text{HNO}_3$  5 mL 浸泡过夜,160 ℃ 保持 6 h,冷却至室温,赶酸,移入 25 mL 容量瓶中,洗液合并后定容,混匀备用,同时做试剂空白试验。土壤样品:精确称取土壤样品约 0.1 g 于消解内罐,加 65% 浓  $\text{HNO}_3$  5 mL 浸泡过夜,加  $\text{H}_2\text{O}_2$  2 mL 及 HF 2 mL,于 200 ℃ 消解 4 h,冷却至室温,赶酸,移入 25 mL 容量瓶中,洗液合并后定容,混匀备用,同时做试剂空白试验。以上程序完成后上机测定各元素含量,以待测元素质谱信号与内标元素质谱信号的强度比进行定量分析。

### 1.5 标准曲线

1%  $\text{HNO}_3$  介质配制不同浓度梯度的混标溶液及空白试剂,建立标准曲线。以元素质量浓度为横坐标( $x$ ),以待测元素峰值与内标元素峰值的比值为纵坐标( $y$ )进行回归,并绘制标准曲线。结果显示,各待测元素线性关系良好,线性相关系数均不低于 0.997 6,线性范围及定量限均符合分析要求,详见表 1。

### 1.6 方法学考察

在精密度试验中,取各标准溶液连续进样 6 次并测定, $RSD$  值均小于 2.28%,表明精密度良好。在稳定性试验中,取同一供试品溶液,每隔 1 h 测定,重复 6 次, $RSD$  值均小于 2.72%,表明 6 h 内稳定性良好。在重复性试验中,取同一供试品溶液 6 份,测定后计算  $RSD$ ,结果显示均小于 3.06%,表明重复性较好。在加样回收率试验中,取已测定的样品 5 份,测定后计算平均加样回收率, $RSD$  值在 98.66%~102.17% 之间。

表 1 线性回归方程及定量限

元素	回归方程	$r^2$	定量限 (mg/kg)
磷(P)	$y = 99.66x + 0.355$	0.999 7	0.3
钾(K)	$y = 69.37x + 4.634$	0.999 6	3.0
钙(Ca)	$y = 10.63x - 0.104$	0.998 5	3.0
镁(Mg)	$y = 35.63x - 6.665$	0.999 2	3.0
铁(Fe)	$y = 2\,336x + 14\,673$	0.997 8	3.0
锰(Mn)	$y = 2\,754x + 3\,136$	0.999 4	0.3
锌(Zn)	$y = 697.2x + 2\,740$	0.999 6	2.0
钼(Mo)	$y = 1\,130x + 792.5$	0.998 7	0.03
钠(Na)	$y = 6.720x + 6.153$	0.997 6	3.0
镍(Ni)	$y = 745.2x + 1\,311$	0.999 2	0.5
铅(Pb)	$y = 8\,062x - 14\,87$	0.999 5	0.05
镉(Cd)	$y = 2\,114x + 2\,321$	0.998 6	0.005
砷(As)	$y = 451.1x + 381.1$	0.999 6	0.005
汞(Hg)	$y = 1\,722x + 1\,209$	0.998 8	0.003
铜(Cu)	$y = 856.1x + 1\,344$	0.999 5	0.2

## 2 结果与分析

### 2.1 不同产地艾叶中矿物元素含量分析

不同产地艾叶中矿物元素含量的分析结果见表 2。由表 2 可知,各元素含量整体呈现出  $\text{K} > \text{Ca} > \text{P} > \text{Mg} > \text{Fe} > \text{Mn} > \text{Na} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Ni} > \text{As} > \text{Cd} > \text{Mo} > \text{Hg}$  的规律,元素数量级在  $10^{-5} \sim 10^2$  g/kg 之间。K、Ca、P、Mg、Fe、Mn、Na、Zn、Cu、Ni、Mo 是植物生长所必需的元素,具有调节细胞生理功能、酶活性及信号转导等功能。其中,K 含量最高的是祁艾,平均含量为 39.297 g/kg,显著高于海艾( $P < 0.05$ );Ca 含量最高的是蕲艾,平均含量为 12.261 g/kg,显著高于海艾;Mg 含量最高的是祁艾,平均含量为 3.710 g/kg,显著高于蕲艾和海艾;Fe、Zn 及 Na 含量最高的分别是祁艾、海艾和祁艾,平均含量分别为 1.818 g/kg、130.161、199.485 mg/kg,均显著高于其他 4 个产区;Ni 含量最高的是南阳艾,平均含量为 2.983 mg/kg,显著高于蕲艾、海艾和北艾;Mo 含量最高的是祁艾,平均含量为 0.536 mg/kg,显著高于海艾和南阳艾;P 和 Mn 含量最高的是蕲艾,平均含量分别为 3.682、0.253 g/kg,在产地间未达到显著水平。以上述结果可见,不同产地艾叶中矿物元素含量各具特征且差异较大,这可能与产地间气候、土壤、水文等生态因子不同有直接关系。

Pb、Cd、Hg、Cu、As 为重金属元素,其蓄积量是中药材及饮片安全性评价的重要指标。其中,Pb 含量最高的是蕲艾,平均含量为 3.912 mg/kg,显著高于南阳艾和北艾;Cd 含量最高的是海艾,平均含量为 0.787 mg/kg,显著高于祁艾;As 含量最高的是祁艾,平均含量为 1.594 mg/kg,显著高于其他 4 个产区;Hg 含量最高的是蕲艾,平均含量为 54.598 μg/kg,显著高于其他 4 个产区;Cu 含量最高的是南阳艾,平均含量为 44.104 mg/kg,产地间差异不显著。在 2019 年国家药典委发布的《药材和饮片检定通则公示稿》中,明确以上 5 种重金属元素的限度检查:Pb 含量≤5 mg/kg,Cd 含量≤1 mg/kg,As 含量≤2 mg/kg,Hg 含量≤0.2 mg/kg,Cu 含量≤20 mg/kg。对照上

述标准分析发现,各产地艾叶中 Cu 含量均超出限度,这可能与艾叶有选择地吸收和积累 Cu 元素有关,也可能与该元素在土壤中的赋存状态有关,须要重视和进一步的探索。

从各元素的变异系数(表 2)可以看出,艾叶中 K、Ca、Mg、Cu、Ni 等元素的变异系数在 23.12% ~ 32.64% 之间,表明这些元素在 4 个产区艾叶中的含量比较接近,在其生长过程中需要一定量的蓄积,且易于成为影响艾叶生长的最小限制因子。Cd、Mo、As、Na 等元素的变异系数较高(75% 以上),说明以上元素在艾叶中离散程度较高,原因可能是产地间的立地条件差异较大,也可能是部分产地受到污染,从而导致艾叶中 Cd、As 等元素的含量较高。

表 2 不同主产区艾叶中的矿物元素含量

元素	单位	艾叶中矿物元素含量( $\bar{x}$ , $n=15$ )					变异系数(%)
		湖北蕲春(蕲艾)	河南南阳(南阳艾)	浙江宁波(海艾)	河北安国(祁艾)	河南安阳(北艾)	
K	g/kg	34.369ab	33.690ab	29.749b	39.297a	32.433ab	23.12
Ca	g/kg	12.261a	11.696a	8.961b	11.926a	10.318ab	23.57
P	g/kg	3.682a	3.226a	3.105a	2.906a	3.204a	24.22
Mg	g/kg	2.218b	3.189a	2.067b	3.710a	3.328a	32.64
Fe	g/kg	0.882b	0.825b	0.408b	1.818a	0.830b	68.42
Mn	g/kg	0.253a	0.251a	0.240a	0.122a	0.199a	70.00
Na	mg/kg	74.859b	62.880b	53.766b	199.485a	79.544b	111.70
Zn	mg/kg	52.745b	41.183b	130.161a	50.917b	42.508b	74.61
Cu	mg/kg	41.553a	44.104a	37.987a	42.679a	39.743a	24.39
Pb	mg/kg	3.912a	1.929bc	2.473ab	3.348ab	1.022c	67.32
Ni	mg/kg	1.935b	2.983a	1.499b	1.980ab	1.810b	30.94
As	mg/kg	0.991b	0.565bc	0.345c	1.594a	0.530c	76.54
Cd	mg/kg	0.482ab	0.453ab	0.787a	0.265b	0.357ab	93.62
Mo	mg/kg	0.325ab	0.257b	0.215b	0.536a	0.462ab	80.56
Hg	μg/kg	54.598a	16.275c	34.086b	17.068c	14.974c	70.88

注:同行数据后标有不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。表 4 同。

2.2 艾叶主产区土壤质量评价

由表 3 可知,与中国土壤(A 层)化学元素背景值相比,艾叶主产区土壤中 Cd 元素的平均值明显高于背景值(2 倍以上);K、Fe、Mn、Zn、Pb、Cu 的平均含量略高于背景值;Mg、Na、Ni、As、Hg 的平均含量略低于背景值;Ca 的平均含量明显低于背景值。在所测元素中,Mo、Hg、Ca、Mg 的变异系数相对较高(87% 以上),属于中至强变异性;而其他元素变异系数相对较低(6.77% ~ 50.25%),属于弱至中变异性。根据 GB 15618—2018《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》对土壤污染风险最低筛选值规定:Pb 含量≤70 mg/kg,Cd 含

量≤0.3 mg/kg,As 含量≤20 mg/kg,Hg 含量≤0.5 mg/kg,Cu 含量≤50 mg/kg,艾叶主产区土壤样本均符合国家标准,土壤整体质量较高,在规范化、规模化种植方面具有较为广阔的发展前景。

2.3 艾叶土壤矿质元素含量的差异分析

对不同产地艾叶土壤中矿质元素的含量进行方差分析和多重比较,结果详见表 4。可以看出,艾叶土壤中矿物元素的含量在产地间差异较大,各元素含量整体呈现出 Fe > K > Na > Ca > Mg > P > Mn > Zn > Cu > Pb > Ni > As > Cd > Mo > Hg 的规律,元素数量级在  $10^{-5}$  ~  $10^2$  g/kg 之间。其中,K 含量最高的产区是浙江宁波,平均含量为 28.013 g/kg,显

表 3 艾叶主产区土壤矿质元素整体特征

元素	单位	均值	标准差	变异系数 (%)	中国土壤(A 层)化学元素背景值		
					均值	标准差	95% 范围值
K	g/kg	20.975	5.001	23.84	18.60	4.63	9.40~27.90
Ca	g/kg	7.926	6.958	87.78	15.40	16.33	0.10~48.0
P	g/kg	0.900	0.329	36.50	—	—	0.44~0.85
Mg	g/kg	6.376	5.923	92.90	7.80	4.33	0.201~6.40
Fe	g/kg	31.547	8.400	26.62	29.40	9.48	10.50~48.40
Mn	g/kg	0.638	0.132	20.76	0.583	0.363	0.130~1.786
Na	mg/kg	8.184	3.349	40.92	10.20	6.26	0.10~22.70
Zn	mg/kg	100.183	50.339	50.25	74.20	32.78	28.4~161.1
Cu	mg/kg	28.397	12.853	45.26	22.60	11.41	7.3~55.1
Pb	mg/kg	30.141	12.737	42.26	26.00	12.37	10.0~56.1
Ni	mg/kg	23.891	9.075	37.99	26.90	14.36	7.7~71.0
As	mg/kg	8.829	0.598	6.77	11.20	7.86	2.5~33.5
Cd	mg/kg	0.234	0.094	40.32	0.10	0.08	0.017~0.333
Mo	mg/kg	0.255	0.268	105.10	0.6	0.1	0.4~0.9
Hg	mg/kg	0.067	0.065	97.96	0.07	0.08	0.006~0.272

表 4 艾叶主产区土壤矿质元素含量

元素 单位	不同主产区土壤矿物元素测定结果( $\bar{x}$ , $n=3$ )				
	湖北蕲春	河南南阳	浙江宁波	河北安国	河南安阳
K g/kg	16.889b	18.068b	28.013a	22.026ab	19.881ab
Ca g/kg	3.758b	6.664b	0.672b	17.993a	10.544ab
P g/kg	0.990a	0.677a	1.110a	0.976a	0.748a
Mg g/kg	3.214a	10.227a	0.271a	12.043a	6.122a
Fe g/kg	39.982a	35.746a	27.027a	29.094a	25.888a
Mn g/kg	0.646a	0.815a	0.554a	0.581a	0.594a
Na g/kg	7.644a	7.731a	6.366a	12.061a	7.117a
Zn mg/kg	125.731a	86.876a	130.469a	86.859a	70.980a
Cu mg/kg	39.117a	24.045a	34.338a	24.739a	19.748a
Pb mg/kg	37.220ab	19.899b	46.754a	23.616b	23.217b
Ni mg/kg	30.930a	24.657ab	11.508b	29.030ab	23.330ab
As mg/kg	9.556a	8.258b	8.447ab	8.786ab	9.099ab
Cd mg/kg	0.279a	0.181a	0.304a	0.171a	0.234a
Mo mg/kg	0.046b	0.061b	0.456ab	0.592a	0.121b
Hg mg/kg	0.116a	0.032a	0.094a	0.073a	0.018a

著高于湖北蕲春和河南南阳;Ca 含量最高的产区是河北安国,平均含量为 17.993 g/kg,显著高于湖北蕲春、浙江宁波和河南南阳;Ni 含量最高的是湖北蕲春,平均含量为 30.930 mg/kg,显著高于浙江宁波;Mo 含量最高的是河北安国,平均含量为 0.592 mg/kg,显著高于湖北蕲春、河南南阳和河南安阳;Pb 含量最高的产区是浙江宁波,平均含量为 46.754 mg/kg,显著高于河北安国、河南南阳和河南安阳;As 含量最高的产区是湖北蕲春,平均含量为

9.556 mg/kg,显著高于河南南阳;Fe、Na、Mg、P、Mn、Zn、Cu、Cd、Hg 等 9 种元素的含量在各产区间的差异均未达到显著水平。

2.4 艾叶及其土壤中矿物元素特征分析

主成分分析是利用降维的方式从原始变量中寻求少数的几个主成分,但尽可能多地保留原始变量的信息,该方法具有信息损失少、相关最优和回归最优等特点。为探索艾叶及其土壤中的特征性矿物元素,以 15 种矿物元素的含量为变量进行主成分分析和特征元素识别,结果详见表 5 和表 6。表 5 阐释了艾叶及土壤中矿物元素的主成分对原有变量的总体描述情况,即两者分别提取了 4 个和 5 个主成分,分别解释了原始变量的 71.135% 和 86.490%。表 6 是主成分旋转后的因子载荷矩阵,由表 6 可知,第 1 主成分中,艾叶样品的 K、Ca、Mg、Fe、Mo、Na、As 等元素载荷系数较大,而土壤样品的 P、Mg、Zn、Pb、Cd、Hg、Cu 等元素载荷系数较大。因

表 5 艾叶及土壤矿物元素的主成分分析

主成分 分数	艾叶样品			土壤样品		
	特征值	贡献率 (%)	累计率 (%)	特征值	贡献率 (%)	累计率 (%)
1	4.331	28.874	28.874	4.997	33.312	33.312
2	3.130	20.868	49.742	3.185	21.230	54.542
3	2.009	13.396	63.138	2.502	16.677	71.219
4	1.200	7.997	71.135	1.267	8.448	79.667
5	—	—	—	1.023	6.822	86.490

表 6 艾叶及土壤矿物元素主成分旋转后的因子载荷矩阵

	艾叶				土壤				
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
P	0.283	0.452	0.307	0.026	0.742	0.005	0.494	-0.272	0.036
K	0.605	0.381	0.166	0.267	0.437	-0.630	0.258	0.110	0.522
Ca	0.710	0.260	-0.043	-0.414	-0.402	0.288	0.783	0.145	0.117
Mg	0.638	0.037	-0.567	0.085	-0.533	0.481	0.353	-0.280	0.325
Fe	0.878	-0.171	-0.025	0.046	0.362	0.772	-0.193	-0.277	0.154
Mn	-0.184	0.834	-0.041	-0.034	-0.214	0.635	-0.406	-0.154	0.361
Zn	-0.316	0.419	0.374	0.611	0.887	0.280	0.093	-0.102	0.247
Mo	0.584	-0.313	-0.063	0.286	-0.034	-0.445	0.661	-0.376	-0.139
Na	0.709	-0.111	0.181	0.427	-0.303	0.139	0.705	0.333 0	0.236
Ni	0.216	0.691	-0.447	-0.232	0.078	0.876	0.287	0.144	-0.145
Pb	0.525	0.027	0.638	-0.225	0.920	-0.215	-0.044	0.179	0.155
Cd	-0.285	0.815	0.007	0.264	0.834	0.004	-0.237	0.298	0.250
As	0.774	-0.121	0.272	-0.016	0.299	0.489	0.126	0.667	-0.259
Hg	-0.079	0.288	0.784	-0.362	0.717	-0.020	0.382	-0.051	-0.309
Cu	0.465	0.679	-0.679	-0.055	0.775	0.352	0.082	-0.360	-0.266

此,可以认为 K、Ca、Mg、Fe、Mo、Na、As 是艾叶的特征性元素,而 P、Mg、Zn、Pb、Cd、Hg、Cu 是产区土壤的特征性元素。

2.5 富集特征分析

富集系数可直接体现植物从土壤中摄取元素的能力,即反映土壤-植物系统中元素迁移的难易程度。富集系数越大,表明植物对某元素的富集能力越强,当  $C \leq 0.1$  时表示元素在植物中强烈贫化,  $0.1 < C \leq 0.5$  时元素在植物中相对贫化,  $0.5 < C \leq 1.5$  时元素在植物和土壤中属同一水平,  $1.5 < C \leq 3.0$  时元素在植物中相对富集,  $C > 3.0$  时元素在植物中强烈富集。各元素的富集系数详见表 7,可以看出,不同产地艾叶中各元素的富集水平各具特点,其中,P、Na、Cd 等元素在产地间的富集水平较为相似,均表现为相对富集或强烈富集,富集系数分别在 2.80~4.77、8.13~16.54 及 1.53~2.59 之间;Fe、Mn、Pb、Ni、As 等元素在产地间均表现为相对贫化或强烈贫化,富集系数分别在 0.02~0.06、0.21~0.43、0.04~0.14、0.06~0.13 及 0.04~0.18 之间。但是,K、Ca、Mg、Zn、Cu、Mo、Hg 等元素在产地间的富集水平差异较大,如海艾中 Mg 的富集系数高达 7.63,明显高于其他产地(相对贫化或同一水平);蕲艾、南阳艾和海艾中 Ca 属于相对富集或强烈富集(分别为 3.26、1.76 及 13.33),明显高于祁艾和北艾(同一水平);海艾中 K 的富集系数为 1.06(同一水平),低于其他产地(相对富集);海艾、祁艾和北艾中 Zn 的富集系数属同一水平(分别为 1.00、0.59 及 0.60),高于蕲艾和南阳艾(相对贫

化);南阳艾、祁艾和北艾中 Cu 属于相对富集水平(分别为 1.83、1.73 和 2.01),高于蕲艾和海艾(同一水平);蕲艾、南阳艾和北艾中 Mo 属于强烈富集水平(分别为 7.07、4.21 和 3.82),明显高于祁艾和海艾。整体来看,不同产地艾叶中各元素含量存在明显差异,富集能力也各具特点。

表 7 不同产地艾叶的富集系数

主成分 分数	富集系数				
	湖北蕲春 (蕲艾)	河南南阳 (南阳艾)	浙江宁波 (海艾)	河北安国 (祁艾)	河南安阳 (北艾)
K	2.03	1.86	1.06	1.78	1.63
Ca	3.26	1.76	13.33	0.66	0.98
P	3.72	4.77	2.80	2.98	4.28
Mg	0.69	0.31	7.63	0.31	0.54
Fe	0.02	0.02	0.02	0.06	0.03
Mn	0.39	0.31	0.43	0.21	0.34
Na	9.79	8.13	8.45	16.54	11.18
Zn	0.42	0.47	1.00	0.59	0.60
Cu	1.06	1.83	1.11	1.73	2.01
Pb	0.11	0.10	0.05	0.14	0.04
Ni	0.06	0.12	0.13	0.07	0.08
As	0.10	0.07	0.04	0.18	0.06
Cd	1.73	2.50	2.59	1.55	1.53
Mo	7.07	4.21	0.47	0.91	3.82
Hg	0.47	0.50	0.36	0.23	0.83

3 讨论与结论

本研究采用电感耦合等离子(ICP-MS)法测定和分析了不同主产区艾叶及土壤中 15 种元素的含量,研究内容能够涵盖我国目前艾叶主产区的整体

情况,为探索艾叶与土壤中矿物元素的相互关系提供研究基础,具有重要的现实意义。

通过对艾叶及土壤矿物元素分析发现,不同主产区艾叶中矿物元素的分布存在较大差异,各元素含量呈现出  $K > Ca > P > Mg > Fe > Mn > Na > Zn > Cu > Pb > Ni > As > Cd > Mo > Hg$  的规律,其中 K、Ca、Mg、Fe、Na、Zn、Pb、Ni、As、Cd、Mo、Hg 等 12 种元素在产区间差异显著;K、Ca、Mg、Cu、Ni 等元素的变异系数较低,Cd、Mo、As、Na 等元素变异系数较高,以上结果可能与艾叶对无机离子的选择性吸收和积累的差异较大有关,使得同一药材中元素含量明显不同。土壤矿物元素的含量呈现出  $Fe > K > Na > Ca > Mg > P > Mn > Zn > Cu > Pb > Ni > As > Cd > Mo > Hg$  的规律,其中 K、Ca、Pb、Ni、As、Mo 等 6 种元素在产区土壤中间差异显著;与中国土壤(A 层)化学元素背景值相比,Cd 明显高于背景值,Ca 明显低于背景值,其他元素背景值在同一水平。艾叶主产区土壤样本均符合国家标准,土壤整体质量较高,在规范化、规模化种植方面具有较为广阔的发展前景。

通过对特征性元素筛选发现,K、Ca、Mg、Fe、Mo、Na、As 是艾叶的特征性元素,P、Mg、Zn、Pb、Cd、Hg 及 Cu 是艾叶产地土壤的特征性元素,这为艾叶的产地溯源和基于矿物元素的品质评价提供了关键因子。通过对各元素的富集特征分析可知,不同产地艾叶中各元素的富集水平各具特点,其中,P、Na、Cd、Fe、Mn、Pb、Ni、As 等元素在产地间的富集水平较为相似,P、Na、Cd 等元素均表现为相对富集或强烈富集,Fe、Mn、Pb、Ni、As 等元素均表现为相对贫化或强烈贫化,鉴于以上结果,在艾叶规范化种植生产中,应注意 P 肥的减施,且应控制土壤及周围环境中 Cd 的含量,避免艾叶对 Cd 的过度富集导致药材中重金属含量超标,影响药材安全。K、Ca、Mg、Zn、Cu、Mo、Hg 等元素在产地间的富集水平差异较大,如海艾中 Ca 和 Mg 的富集系数高达 13.33 和 7.63,分别约是祁艾的 20 倍和 25 倍;蕲艾中 Mo 的富集系数高达 7.07,约是海艾的 15 倍;K、Zn、Cu、Hg 等元素的富集系数在产地间也存在不同程度的差异。推测以上结果的原因可能是由于艾叶对矿质元素的吸收除了与土壤中的矿质元素总量相关外,还与土壤理化性质、灌溉施肥、降水量、元素的存在形态以及艾叶对矿质元素的选择性吸收有关。由于立地条件的差异性,即使遗传背景相同的药用

植物,也会使体内代谢机制有选择地吸收和积累无机元素,致使其元素含量和富集水平明显不同,这也是道地药材形成的原因之一。另外,本研究还发现,各产地艾叶对 P、Na、Cd 等元素有较强的富集作用,而 Fe、Mn、Pb、Ni、As 等元素的富集水平贫化,但土壤中 P、Na 的含量远低于 Fe,Cd 的含量远低于 Mn、Pb、Ni、As,这表明植物从土壤中富集无机元素的能力不完全取决于某一元素在土壤中的含量,还可能与植物生理特征和元素在土壤中的赋存形态有关。因此,富集系数只能在一定程度上反映植物对土壤元素的吸收富集能力,为更深入地阐释植物对元素的富集特性及累积规律,后期本课题组将对不同产区艾叶及土壤中矿物元素的动态存在形式及有效性进行持续探索。

总体来看,艾叶对各元素吸收能力的大小不仅与艾叶对该元素的需求量和吸收特点有关,也与艾叶产区的土壤背景关系密切。本研究为探索艾叶及土壤中矿物元素的分布态势和作用规律提供数据支撑,也为艾叶的品质评价及道地性研究提供有益参考。

#### 参考文献:

- [1] 田柱萍,何邦平,王小燕,等. 中药材的药效与其所含微量元素关系的研究进展[J]. 微量元素与健康研究,2005,22(4):54-56.
- [2] 王长林,郭巧生,程博幸. 明党参及其土壤中矿质元素特征分析[J]. 中国中药杂志,2018,43(8):1579-1587.
- [3] 曹波,尹海波,赵容,等. 3 种基源老鹳草药材无机元素的比较及与土壤相关性分析[J]. 中国药理学杂志,2015,50(16):1384-1389.
- [4] 李超,崔占虎,黄显章,等. 不同产地艾叶 35 种矿物元素的分析与评价[J]. 光谱学与光谱分析,2021,41(5):1350-1354.
- [5] Li C, Cui Z H, Li Z, et al. Determination of mineral elements in Nanyang mugwort (*Artemisia argyi*) leaves harvested from different crops by inductively coupled plasma mass spectrometry and inductively coupled plasma atomic emission spectrometry [J]. Chemical & Pharmaceutical Bulletin, 2021, 69(4):411-413.
- [6] 蒋磊. 风丹药材的品质评价及其栽培土壤中无机元素相关性研究[D]. 合肥:安徽中医药大学,2016.
- [7] 顾志荣,王亚丽,陈晖,等. 当归药材与产地土壤中无机元素的相关分析研究[J]. 土壤通报,2014,45(6):1410-1415.
- [8] 聂韡,刘畅,单承莺. 艾草的本草考证及资源分布[J]. 中国野生植物资源,2019,38(4):93-95,105.
- [9] 曹玲,于丹,崔磊,等. 艾叶的化学成分、药理作用及产品开发研究进展[J]. 药物评价研究,2018,41(5):918-923.
- [10] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[S]. 北京:中国医药科技出版社,2020.
- [11] 李超,姬鹏鹏,黄显章,等. 不同产地艾叶红外指纹图谱研究

李国强,周 萌,陈付英,等. 基于 RFID 手持终端的中小规模牛场养殖管理系统研究[J]. 江苏农业科学,2021,49(22):192-197.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.22.035

# 基于 RFID 手持终端的中小规模牛场养殖管理系统研究

李国强<sup>1,2</sup>, 周 萌<sup>1,2</sup>, 陈付英<sup>3</sup>, 秦一浪<sup>1,2</sup>, 胡 峰<sup>1,2</sup>, 汪一平<sup>4</sup>, 郑国清<sup>1,2</sup>

(1. 河南省农业科学院农业经济与信息研究所, 河南郑州 450002; 2. 河南省智慧农业工程技术研究中心, 河南郑州 450002;

3. 河南省农业科学院畜牧兽医研究所, 河南郑州 450002; 4. 河南省嵩县动物卫生监督所, 河南嵩县 471400)

**摘要:**针对中小规模肉牛和奶牛养殖场信息化管理水平不高的问题,采用超高频射频识别技术 RFID 和 Android 构建了手持式牛场智能管理系统。该系统由 Android 软件端和 RFID 硬件端组成。其中,Android 端以 Android Studio 为开发平台,采用 SQLite 轻型数据库。RFID 硬件端包括:手持终端和 RFID 耳标。该系统提供牛群管理、育种管理、繁殖管理、泌乳管理、育肥管理、疾病防控、统计分析和用户管理等 8 个功能模块。系统在河南省 4 个牛场经过 3 年应用,结果表明,该系统能够快速识别牛只,并能够通过自定义快捷输入键,实现牛场业务数据的高效采集。通过柱状图、曲线图、表格等方式,实现牛场繁育、泌乳、生长、发病等数据的统计分析。通过判断和指认不同发病部位的病症及特征图像,实现了常见疾病的快速诊断和防治。该系统通过整合牛场内各类业务流程数据,生成“决策分析一张图”,大大提高了工作效率。

**关键词:**牛场;繁育;泌乳;智能终端;超高频 RFID;信息管理系统

**中图分类号:**S126 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2021)22-0192-06

千头以下肉牛和奶牛养殖场存在饲养管理技术落后、信息化水平不高<sup>[1-2]</sup>等粗放经营方式。以物联网、大数据和云计算等技术为依托<sup>[3]</sup>,完善养殖规模化、生产标准化的发展方式<sup>[4]</sup>,是当前畜牧养殖智能化和装备化的迫切需求<sup>[5]</sup>。

信息化与自动化的现代管理技术在农业和畜牧业中已经得到比较广泛的应用<sup>[6-8]</sup>。在奶牛智能养殖管理方面,杨亮等建立了规模化奶牛场生产过

程数据网络整合与智能分析平台,实现了奶牛场基本数据的保存和繁殖性能参数的在线分析<sup>[9]</sup>。李建等采用“云+端”模式,研制了奶牛繁殖管理系统,实现了 WEB 端和移动终端的数据实时同步<sup>[10]</sup>。李亚萍研制的奶牛场信息管理系统,实现了软件和饲喂设备下位机之间的数据通讯<sup>[11]</sup>。Calsamiglia 等构建了基于网络的虚拟奶牛群管理软件,协助养殖场了解牛群结构和功能<sup>[12]</sup>。王蕾构建了奶牛场信息化管理系统,包含奶牛管理、饲料管理、牛奶管理、药品管理和奶源追溯等模块<sup>[13]</sup>。在肉牛智能养殖管理方面,浣成等以母牛繁殖周期和配种为核心,构建了肉牛实时信息管理系统,实现了牛只繁殖信息的实时预警<sup>[14]</sup>。王虹等构建了市级基础母牛信息化管理系统,实现了基础母牛繁殖、检疫、生

收稿日期:2021-04-24

基金项目:河南省“四优四化”科技支撑行动计划(编号:HN2020-3)。

作者简介:李国强(1984—),男,河南林州人,博士,副研究员,主要从事农业信息技术研究与智慧农业相关研究。E-mail: gqli@hnagri.org.cn。

通信作者:郑国清(1964—),男,河南淅川人,博士,研究员,主要从事农业信息技术研究。E-mail: zgqzx@hnagri.org.cn。

[J]. 江苏农业科学,2019,47(17):222-224.

[12]李春娜,占 颖,刘洋洋,等. 艾蒿药理作用和开发利用研究进展[J]. 中华中医药杂志,2014,29(12):3889-3891.

[13]黄显章,康利平,高 丽,等. 基于古代本草记载的不同产地艾叶中棕矢车菊素和异泽兰黄素的含量研究[J]. 中国中药杂志,2017,42(18):3504-3508.

[14]Lv J L, Li Z Z, Zhang L B. Two new flavonoids from *Artemisia argyi* with their anticoagulation activities[J]. Natural Product Research, 2018,32(6):632-639.

[15]Tseng C P, Huang Y L, Chang Y W, et al. Polysaccharide -

containing fraction from *Artemisia argyi* inhibits tumor cell - induced platelet aggregation by blocking interaction of podoplanin with C - type lectin - like receptor 2[J]. Journal of Food and Drug Analysis, 2020,28(1):115-123.

[16]段凯莉,高明景,刘永泉,等. 2 种艾叶酚类化合物与挥发油成分比较[J]. 食品科学,2017,38(4):204-210.

[17]李 超,黄显章,张超云,等. 不同产地及不同年份艾叶中绿原酸含量差异分析[J]. 江苏农业科学,2019,47(22):251-254.

[18]薛紫鲸,郭利霄,郭 梅,等. 不同采收期祁艾化学成分差异性研究[J]. 中国中药杂志,2019,44(24):5433-5440.