

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2025.04.008

王晓婷, 沈琦, 勿吉斯古冷, 等. 5 省份西瓜特征元素营养水平的分析与评价 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2025, 47(4): 90-100.

5 省份西瓜特征元素营养水平的分析与评价

王晓婷^{1,2}, 沈琦², 勿吉斯古冷^{1,2}, 康琪^{1,2},
盘菊秀^{1,2}, 何伟忠², 王成³

- 新疆农业大学 食品科学与药学院, 乌鲁木齐 830052;
- 新疆农业科学院 农业质量标准与检测技术研究所/农业农村部农产品质量安全风险评估实验室/农业农村部荒漠绿洲生态区特色农产品功能营养与健康重点实验室(部省共建)/新疆农产品质量安全重点实验室, 乌鲁木齐 830091;
- 新疆农业科学院, 乌鲁木齐 830091

摘要: 以中国 5 省份共 113 份西瓜果实样品为研究对象, 参照 GB 5009.268—2016、通过 ICP-MS 开展了样品中 13 种矿物元素的定量分析, 综合 Kruskal-Wallis 秩和检验、相关性分析、PCA 分析、RNI 贡献率等方法, 开展了 5 省份西瓜特征元素及其营养水平的分析与评价。结果表明: 新疆西瓜的特征元素为 Mo、Sr、Ti、Sn; 广西西瓜的特征元素为 Mn、Ba、Co、Zn、Fe; 海南和江苏西瓜的特征元素为 B 和 Be; 山东与其他 4 省份西瓜 13 种元素含量差异幅度相对较低。西瓜中 Fe、Zn、Se、Mn、Mo 的儿童、成人男性 RNI 贡献率相对较高, 均在 1% 以上; 西瓜中 Zn 的女性 RNI 贡献率高于 1%; 广西、山东和新疆 Mn、Fe、Mo 的营养水平相对较高。西瓜中 Fe、Zn、Se 的 RNI 贡献率水平与各产区土壤元素背景值有关联。综合显示: 不同省份西瓜特征元素及其营养水平有所不同, 可根据该差异, 促进和支撑西瓜的营养膳食及不同省份西瓜产业的差异化、多元化发展。

关键词: 西瓜; 矿物元素; 营养水平; PCA 分析

中图分类号: S641 **文献标志码:** A

文章编号: 1673-9868(2025)04-0090-11

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Analysis and Evaluation of Nutritional Levels of Characteristic Elements of Watermelons from 5 Provinces

WANG Xiaoting^{1,2}, SHEN Qi², Wujisiguleng^{1,2}, KANG Qi^{1,2},
PAN Juxiu^{1,2}, HE Weizhong², WANG Cheng³

收稿日期: 2024-04-08

基金项目: 财政部和农业农村部 国家现代农业产业技术体系资助项目(CARS-25); 新疆维吾尔自治区重大科技专项(2022A02006-1); 新疆西甜瓜产业技术体系资助项目(XJARS-06)。

作者简介: 王晓婷, 硕士研究生, 主要从事农产品质量安全及其功能营养特性研究。

通信作者: 何伟忠, 研究员。

1. College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;
2. Institute of Agricultural Quality Standards and Testing Technology, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences/
Laboratory of Agricultural Product Quality and Safety Risk Assessment, Ministry of Rural Agriculture/
Key Laboratory of Functional Nutrition and Health of Characteristic Agricultural Products in Desert Oasis
Ecological Zone (Jointly Built by Ministry of Agriculture and Rural Affairs)/Key Laboratory of Quality and
Safety of Xinjiang Agricultural Products, Urumqi 830091, China;
3. Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China

Abstract: A total of 113 watermelon fruit samples from 5 provinces were taken as the research object, and the quantitative analysis of the contents of 13 mineral elements of the samples was carried out by ICP-MS with reference to GB 5009.268—2016, and then the characteristic elements and their nutritional levels were analyzed and evaluated by combining Kruskal-Wallis rank sum test, correlation analysis, PCA analysis, RNI contribution rate and other methods. The characteristic elements of watermelon in Xinjiang were Mo, Sr, Ti and Sn, in Guangxi were Mn, Ba, Co, Zn and Fe, and in Hainan and Jiangsu were B and Be, while the differences in 13 elements between Shandong and other provinces was relatively low. The RNI contribution rates of Fe, Zn, Se, Mn and Mo of watermelon for children and adult males were relatively higher, all at more than 1%, while and the RNI contribution rate of Zn of watermelon for female was higher than 1%, The nutritional levels of Mn, Fe and Mo in Guangxi, Shandong and Xinjiang watermelons were relatively high. The RNI contribution rates of Fe, Zn and Se of watermelon were correlated with the background values of soil elements in each producing area. The characteristic elements and nutritional levels of watermelon in different provinces are different, which can be used as reference to promote and support the nutritious diet of watermelon and the differentiated and diversified development of watermelon industry in different provinces.

Key words: watermelon; mineral element; nutritional Levels; PCA analysis

中国是世界西瓜种植大国,年产量超过1亿t,并逐年递增^[1-2]。中国种植西瓜的省份较多,涉及新疆、山东、广西、江苏、海南等^[3-4],分析探讨不同省份西瓜的特征元素及其营养水平,可在支撑西瓜营养膳食的同时,促进不同省份西瓜的差异性、多元化发展。目前,多位学者已经根据元素含量,开展了多种农产品或食品特征元素的研究与报道。有报道显示,不同产区藜麦的特征元素为Mg、P、Fe、Se、Cd、Mn、Ba、Co^[5];不同产区香梨中的特征元素为Cu、Ni、Na、B、Ca、As、Y、Au、Sr^[6];不同产区葡萄酒中特征元素是⁶Li、⁷Li、¹⁰B、¹¹B、Mg、P、Zn等^[7]。此外,也有不同产区荞麦粉^[8]、大白刺果^[9]、黄芪^[10]、当归^[11]、葡萄^[12]等特征元素的研究与探讨。矿物元素每日推荐摄入量(recommended nutrient intake, RNI)指满足某一特定性别、年龄及身体状况人群中97%~98%个体需要量的推荐摄入水平^[13],可用于评估特定条件下个体的营养素摄入水平是否充分^[14-15],有利于从营养水平上揭示不同产区农产品或食品主要成分的营养特点。基于此,国内外多位学者通过RNI先后开展了不同农产品中元素营养水平的研究与探讨,涉及的农产品包括红果参^[16]、柑橘^[17]、苋菜^[18]、藜麦^[18]、荞麦^[18]等。目前还鲜见利用综合特征元素及RNI开展对不同省份西瓜特征营养元素的系统研究报道,因此本研究以中国5省份共113份西瓜果实样品为研究对象,通过电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)开展了样品中13种矿物元素的定量分析,综合Kruskal-Wallis秩和检验、相关性分析、PCA分析、RNI贡献率等方法,开展了5省份西瓜特征营养元素的研究与探讨,旨在为西瓜元素营养水平评价、不同产区西瓜特征营养素的识别等提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 实验材料

成熟西瓜果实：采集于 5 个省份，共 113 份，其中广西壮族自治区 37 份、山东省 20 份、新疆维吾尔自治区 10 份、海南省 20 份、江苏省 26 份。样品分别由国家现代农业产业技术体系(西甜瓜)南宁、潍坊、吐鲁番和喀什、三亚、盐城综合试验站根据所在省份西瓜的种植分布，参照《新鲜水果和蔬菜 取样方法》(GB/T 8855—2008)进行采集。每份样品采集 2 个整瓜，带回实验室后，用去离子水冲洗、沥干后，按照四分法进行取样、切分、混合、匀浆后置于 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱中保存备用。

1.2 仪器与设备

电感耦合等离子体质谱仪(iCAP Qc 型)，美国 ThermoScientific 公司；微波消解仪(Mars 5 型)，美国 CEM 公司；电子天平(BAS223S 型)，德国赛多利斯公司；赶酸仪(BHW-09C 型)，上海博通有限公司；超纯水机 Millipore(Mill-Q 型)，美国 Millipore 公司。

1.3 实验方法

按照《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》(GB 5009.268—2016)进行溶液制备，采用微波消解仪进行消解，主要步骤如下：

称取西瓜样品 1 g(精确到 0.000 1)于消解罐中，加入 2 mL 水和 6 mL 硝酸溶液，在通风橱中静置 3 h，再放入微波消解仪中(设置温度为 120、150、190 $^{\circ}\text{C}$ ；升温时间均为 5 min；保持时间分别为 5、10、20 min)进行充分消解。待消解完毕，冷却后取出缓慢排气。将消解罐放入赶酸仪中，赶酸至微量。转移至 50 mL 的容量瓶中，用超纯水定容，摇匀待 ICP-MS 定量，同时做空白实验。ICP-MS 操作参考条件如表 1。

表 1 电感耦合等离子体质谱仪操作参考条件

参数名称	参数	参数名称	参数
射频功率/W	1 500	雾化器	高盐/同心雾化器
等离子体气流量/(L·min ⁻¹)	15	采样锥/截取锥	镍/铂锥
载气流量/(L·min ⁻¹)	0.80	采样深度/mm	8~10
辅助气流量/(L·min ⁻¹)	0.40	采集模式	跳峰
氦气流量/(mL·min ⁻¹)	4~5	检测方式	自动
雾化室温度/ $^{\circ}\text{C}$	2	每峰测定点数	1~3
样品提升速率/(r·s ⁻¹)	0.3	重复次数	2~3

注：数据来源于 GB 5009.268—2016。

1.4 元素含量与 RNI 评估计算

根据 GB 5009.268—2016，待测元素含量计算公式为：

$$X = \frac{(\rho - \rho_0) \times V \times f}{m \times 1\,000} \quad (1)$$

式中： X 为试样中待测元素含量(mg/kg 或 mg/L)； ρ 为试样溶液中被测元素质量浓度($\mu\text{g/L}$)； ρ_0 为试样空白液中被测元素质量浓度($\mu\text{g/L}$)； V 为试样消化液定容体积(mL)； f 为试样稀释倍数； m 为试样称取质量或移取体积(g 或 mL)；1 000 为换算系数。

参照万晓霞等^[16]报道的方法，进行元素每日推荐摄入量(RNI，以 R_{NI} 表示)或适宜摄入量(AI，以 A_1 表示)膳食评估，计算公式为：

$$A = \frac{C}{10 \times R_{\text{NI}}(A_1)} \times 100\% \quad (2)$$

式中: C 为西瓜样品中某矿物元素含量(mg/kg); A 为西瓜每 100 g 可食部位中矿物元素含量与推荐摄入量(R_{NI})或适宜摄入量(A_1)之比(%)。

所测元素中, 仅查到 Fe、Zn、Se、Mn、Mo 5 种元素的 RNI(AI)值, 如表 2^[19]。

表 2 不同人群 5 种元素的 RNI(AI)值

人群	Fe		Zn		Se	Mn	Mo
	男	女	男	女			
0 岁	0.3(AI)		2.0(AI)		15	0.01	2
0.5 岁	10		3.5		20	0.7	15
1 岁	9		4		25	1.5	40
4 岁	10		5.5		30	2	50
7 岁	13		7		40	3	65
11 岁	15	18	10	9	55	4	90
14 岁	16	18	11.5	8.5	60	4.5	100
18 岁	12	20	12.5	7.5	60	4.5	100
50 岁	12	12	12.5	7.5	60	4.5	100
65 岁	12	12	12.5	7.5	60	4.5	100
80 岁	12	12	12.5	7.5	60	4.5	100
孕妇(早)	—	0	—	+2	+5	+0.4	+10
孕妇(中)	—	+4	—	+2	+5	+0.4	+10
孕妇(晚)	—	+9	—	+2	+5	+0.4	+10
乳母	—	+4	—	+4.5	+18	+0.3	+3

注: “—”表示未指定参考值; “+”表示在同龄人群参考值基础上的额外增加量。

2 结果与分析

2.1 不同省份西瓜的元素含量

结果如表 3, 按照含量高低, 广西西瓜中排名前 5 的元素依次为 Fe、B、Mn、Zn、Sr; 山东西瓜排名前 5 的元素依次为 B、Fe、Sr、Zn、Mn; 新疆西瓜排名前 5 的元素依次为 B、Sr、Fe、Zn、Mn; 海南西瓜排名前 5 的元素依次为 B、Fe、Zn、Sr、Mn; 江苏西瓜排名前 5 的元素依次为 B、Fe、Zn、Sr、Ba。总体上看, 5 省份西瓜中 B、Fe、Zn 等元素水平较高。广西西瓜 Ba、Co、Fe、Mn、Se、Sn、V、Zn 8 种元素含量高于其他 4 省份; 山东西瓜 Mo 含量高于其他 4 省份; 新疆西瓜 Sr、Ti 含量高于其他 4 省份; 江苏省西瓜则是 B、Be 的含量高于其他 4 省份。单因素方差分析(One-way ANOVA)结果表明, 5 省份西瓜在 B、Ba 水平上的差异较大($p < 0.05$), 江苏西瓜 B 含量水平居于首位($13.4777 \mu\text{g}/\text{kg}$), 约是广西和海南的 2 倍、山东和新疆的 3~4 倍。另外, 广西西瓜 Fe($7.8245 \mu\text{g}/\text{kg}$)、Mn($3.9644 \mu\text{g}/\text{kg}$)、Zn($2.8743 \mu\text{g}/\text{kg}$)3 种元素都表现出较高的水平, 这表明广西西瓜可能是 B、Fe、Mn、Zn 等元素的优势来源。

表 3 不同省份西瓜的矿物元素含量

$\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$

元素	广西	山东	新疆	海南	江苏
B	6.7928±0.5328bc	4.8442±4.6716bc	3.8348±6.6161c	7.9091±7.6403b	13.4777±9.3288a
Ba	0.6784±0.2958a	0.2475±0.2520bc	0.0661±0.1182d	0.1499±0.1717cd	0.3127±0.2548b
Be	0.0014±0.0019a	0.0014±0.0023a	0.0003±0.0009b	0.0014±0.0026a	0.0024±0.0027a
Co	0.0189±0.0115a	0.0017±0.0018b	0.0023±0.0041b	0.0022±0.0036b	0.0016±0.0020b
Fe	7.8245±2.4067a	3.4431±4.0222b	1.9598±3.5063c	1.4532±1.4688c	1.7835±1.3968c

续表 3

元素	广西	山东	新疆	海南	江苏
Mn	3.964 4±1.771 8a	0.461 0±0.469 9b	0.234 2±0.405 3b	0.357 2±0.356 8b	0.293 3±0.232 4b
Mo	0.012 7±0.007 9ab	0.018 3±0.018 4a	0.015 4±0.026 5ab	0.008 8±0.010 4b	0.009 3±0.008 8b
Se	0.013 0±0.004 4a	0.005 3±0.005 5b	0.004 2±0.007 3b	0.004 2±0.004 3b	0.006 1±0.004 4b
Sn	0.011 2±0.001 9a	0.007 4±0.007 7ab	0.006 2±0.011 1b	0.010 5±0.012 5ab	0.009 6±0.006 7ab
Sr	1.118 7±0.664 5b	1.122 4±1.116 1b	2.169 9±3.844 8a	0.470 4±0.498 8b	0.600 2±0.452 6b
Ti	0.113 2±0.040 6a	0.085 0±0.106 5ab	0.132 1±0.249 3a	0.020 9±0.021 8c	0.036 8±0.036 2bc
V	0.010 5±0.004 5a	0.002 8±0.003 2bc	0.004 0±0.007 4b	0.001 1±0.001 2c	0.001 7±0.001 7c
Zn	2.874 3±0.503 9a	1.019 9±1.004 1b	0.728 2±1.25 5b	0.867 6±0.861 3b	0.922 9±0.664 0b

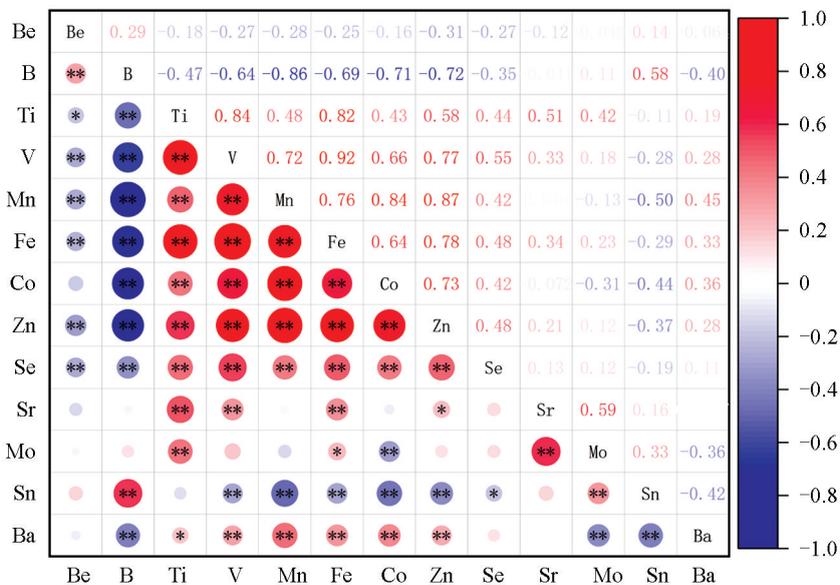
注:小写字母不同表示 $p < 0.05$, 差异有统计学意义。

综上所述,不同省份西瓜样品中矿物元素含量存在差异。由于数据量比较大,为了筛出各省份西瓜的特征元素,需对样品数据进行降维处理,找出特征向量,从而筛出每个省份西瓜样品的特征元素。

2.2 西瓜矿物元素主成分分析

由图 1 可知,忽略产地因素,对 13 种元素进行 Spearman 相关性分析,结果显示:Ti 元素与 V、Fe、Zn 元素之间,V 元素与 Fe、Mn、Zn 之间,Mn 元素与 Fe、Co、Zn 元素之间,Sr 元素和 Mo 元素之间都存在着极显著的正相关性($p < 0.01$);B 元素除了与 Sn 元素存在极显著正相关($p < 0.01$)外,还与 V、Mn、Fe、Co、Zn、Se、Ba 等元素存在极显著负相关($p < 0.01$)。相关性数值越接近 1,表明相关性越大,相关系数达到 0.8 以上的有:V 和 Ti;Mn 和 B、Co、Zn;Fe 和 V、Ti,其中,Mn 和 B 为负相关。相关性分析结果表明:13 种元素间存在一定的潜在联系,可通过主成分分析,进行数据的降维和特征元素的分析与识别。

主成分分析得出一个二因子模型,13 种元素变量降维至 2 个主成分(特征根大于 1),其中第 1 主成分方差贡献率为 56.180%,第 2 主成分方差贡献率为 35.521%,前两个主成分的累计方差贡献率达 91.701%,表明二因子模型代表了大部分的数据变异。由表 4 可知,第 1 主成分综合了 Be、Ti、V、Fe、Zn、Se 等元素的相关信息,第 2 主成分综合了 Mn、Mo、Sn、Ba 等元素的相关信息,由此可认为 Be、Ti、V、Fe、Zn、Se、Mn、Mo、Sn、Ba 10 种元素是西瓜中的特征元素。



* 表示 $p < 0.05$, ** 表示 $p < 0.01$, 差异有统计学意义。

图 1 元素相关性分析

表 4 方差最大旋转成分矩阵

元素	成分 1	成分 2	元素	成分 1	成分 2
Be	-0.960	0.108	Se	0.971	-0.098
B	-0.517	0.666	Sr	0.753	0.647
Ti	0.816	0.555	Mo	0.661	0.682
V	0.982	-0.086	Sn	0.292	0.877
Mn	0.490	-0.848	Ba	-0.036	-0.949
Fe	0.909	-0.273	特征根	7.303	4.618
Co	0.675	-0.654	方差贡献率/%	56.180	35.521
Zn	0.962	-0.249			

由图 2 可知, 新疆和广西样品在 95% 的置信区间下, 能够很好地区分开, 说明两个产地的西瓜样品之间元素含量差异较大, 新疆西瓜样品均处于 PC1 和 PC2 的正轴, 广西西瓜样品处于 PC1 的正轴、PC2 的负轴。新疆西瓜的特征元素有: Mo、Sr、Ti、Sn, 其中 Ti 对新疆样品的得分贡献最大; 广西西瓜的特征元素有: Mn、Ba、Co、Zn、Fe, 其中 Mn 对广西样品的得分贡献最大; 海南和江苏的西瓜样品在 95% 的置信水平下不能很好地区分开, 说明这两个省份的西瓜在 13 种矿物元素之间的差异不大, B、Be 为特征元素; 山东西瓜样品与其他 4 个省份的西瓜样品存在重叠。

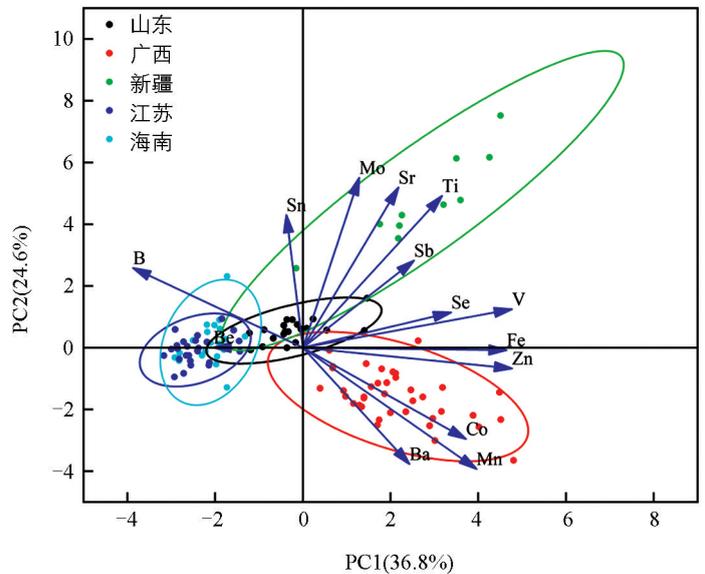


图 2 主成分分析

PCA 分析结果表明: 不同省份西瓜特征元素种类存在差异, 为更好地评价特征元素的营养水平, 需评价西瓜元素的 RNI 贡献率。

2.3 RNI 贡献率

由图 3 可知, 100 g 西瓜中 Fe、Zn、Se、Mn、Mo 5 种元素占 RNI 的较大比重, Fe 占 1%~15%, Zn 占 1%~6%, Se 占 1%~7%, Mn 占 1%~29%, Mo 占 1%~12%。在不考虑西瓜产出淡旺季的情况下, 儿童和成人的人均西瓜摄入量分别为 7.51 g/d 和 7.29 g/d^[20]。有研究表明^[21], 男性西瓜消耗量约为 300 g/次, 女性西瓜消耗量约为 250 g/次, 由此可知每摄入一次西瓜, 对人体 Fe、Zn、Se、Mn、Mo 的最大 RNI 贡献依次约为 45%、18%、21%、87%、36%, 可见, 西瓜中 Fe、Mn、Mo 属优势元素, Zn、Se 元素水平还有待加强。

广西 100 g 西瓜样品对儿童 Mn 的 RNI 贡献率最高, 极大值可达 29%, 对成人男女的 AI 贡献率在 3%~19%; 对于儿童与成人男性, Fe 的 RNI 贡献率在 4%~12%, 是成人女性的 2 倍。山东西瓜样品中 Fe 的 RNI 贡献率在儿童和成人男性中都表现出了较高的占比, 分别为 3%~14% 和 4%~15%。新疆西瓜样品中 Mo 的成人 RNI 贡献率为 5%~8%, 儿童贡献率较突出, 为 7%~12%; Fe 的 RNI 贡献率在儿童与成人男性中为 3%~9%, 为成人女性(2%~6%)的 1.5 倍。海南西瓜样品中儿童 Mn 和 Mo 的 RNI 贡献率分别为 2%~3% 和 1%~5%, 高于成人。江苏西瓜样品中 Fe 和 Mo 的 RNI 贡献率高于其他元素, 其中 Mo 元素对儿童 RNI 的贡献率最高达 5%。

综合分析可知,广西优势元素为 Mn 和 Zn;新疆优势元素为 Mo;山东优势元素为 Fe;海南优势元素为 Mn 和 Mo;江苏优势元素为 Fe 和 Mo,各省份优势元素具有差异性。

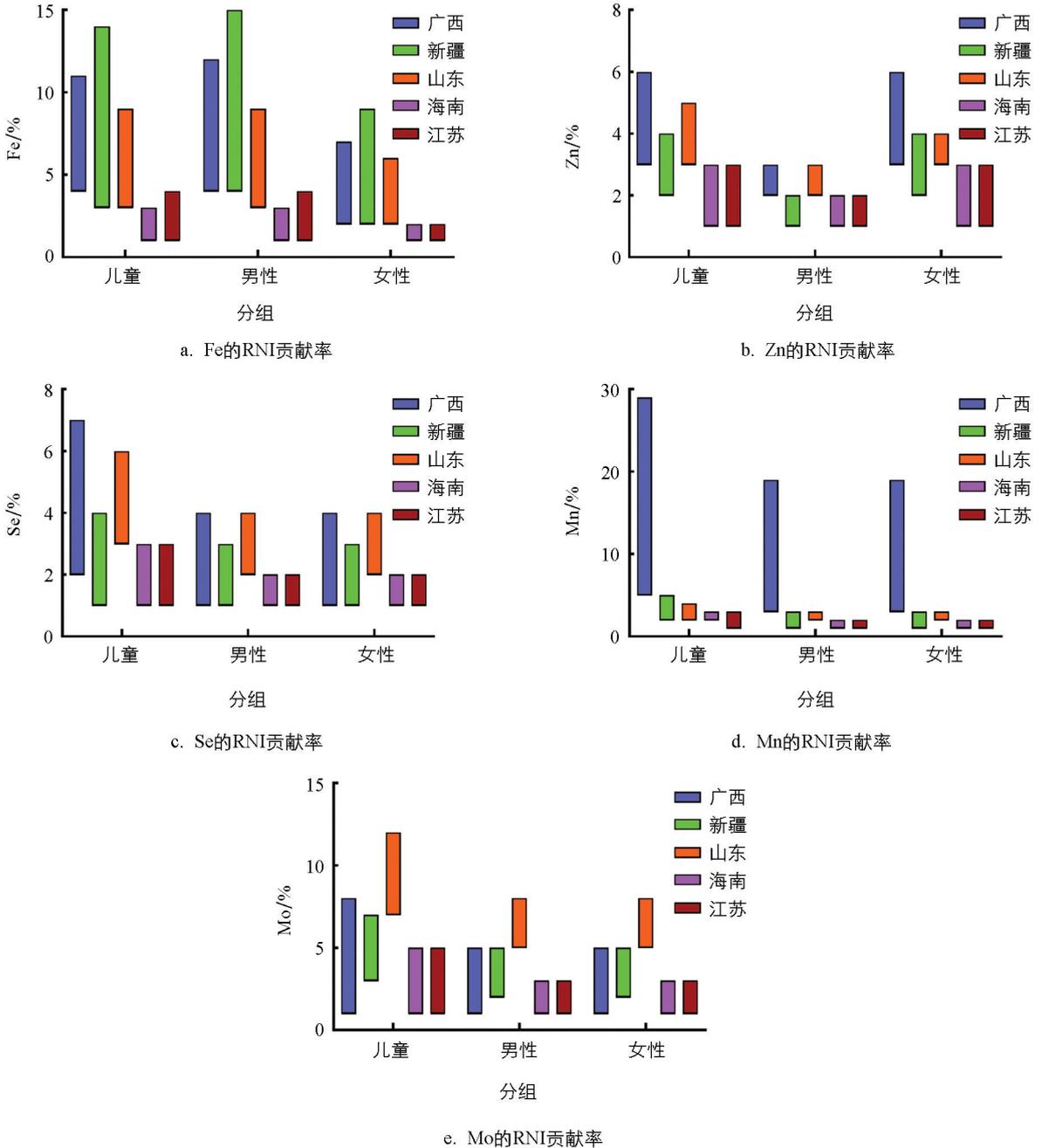


图 3 RNI(AI)贡献率

为进一步阐述不同省份西瓜元素 RNI 贡献率存在差异的原因,查阅了 5 省份土壤元素背景值^[22-23],见图 4。结果表明:元素 RNI 贡献率差异与其产地土壤元素背景值存在一定的关联性:广西西瓜样品 Fe 元素和 Se 元素的 RNI 贡献率较高,其产地土壤中 Fe 和 Se 的背景值也处于较高水平;广西、山东、新疆 3 省份西瓜样品 Zn 元素 RNI 贡献率较高,3 省份土壤中 Zn 元素背景值也处于中上游水平。与之不符的是:Mn 元素和 Mo 元素的 RNI 贡献率与产地土壤元素背景值关联不大,如山东与新疆 Mn 元素的土壤背景值相对较高,而西瓜样品 Mn 元素的 RNI 贡献率却处于中游水平;新疆土壤中 Mo 元素的背景值低,但其西瓜 Mo 元素 RNI 贡献率却最高。

综上所述,西瓜中 Fe、Zn、Se、Mn、Mo 对儿童和成人男性的营养水平相对较高,Zn 对女性的营养水

平较佳。5省份西瓜优势元素的RNI贡献存在差异,分别是:广西为Mn元素、山东为Fe元素、新疆为Mo元素,海南和江苏西瓜13种元素中暂未筛选出优势元素。西瓜中Fe、Zn、Se3种元素的RNI贡献率与其土壤元素背景值有一定的正向关联。

3 讨论与结论

3.1 讨论

3.1.1 农作物元素存在相关性和差异性

本研究多种元素间存在正相关,与Hernández等^[24]的研究结果相一致。有报道

称,野生二粒小麦中Fe、Zn、Se元素间存在极显著的正相关^[25-26];水稻中Fe、Zn含量间存在显著的正相关^[27-28],富硒产地4种农作物Se与Zn存在正相关^[29],Pii等^[30]报道大麦、番茄、黄瓜在水培条件下B与Ti元素呈现出正相关性,与本研究结果相一致。另外,有报道显示,茶果中B与Mn间存在极显著的正相关性^[31],与本研究结果相反,这可能是由于作物种类以及栽培方式不同所致。Blair等^[32]发现Zn和Fe之间共享着大量的数量性状位点(QTL),共享同一摄取/转运系统的同源元素通常仅在少数家族中表现出显著的相关性^[33]。Pandey等^[34]发现Fe与Zn的表型和基因型、变异性和遗传性系数很高,这可能是Zn与Fe之间存在正相关的原因。

赵子丹等^[35]发现不同产地红枣36种元素中有27种存在差异,且灵武红枣、中宁红枣、同心红枣间的矿物元素含量各具特征;榴莲果肉13种矿物元素(Li、Be、Na、Mg、Ag、Cd、Ba、Al、Mn、Zn、Rb、Sr、Tl)在4个产地间存在显著差异^[36];Watanabe等^[33]发现不同品种蔬菜可食部位几种必需微量元素和非必需微量元素浓度间有很大的差异。这进一步证实了种植于不同产区的同种农产品,其元素含量确会存在差异。经纬度、海拔、光照、温湿度等环境条件是导致该差异的重要因素^[37-38]。Paunović等^[39]研究发现,海拔会影响浆果中矿物质的含量;降水会使土壤酸化加速,加上矿物的风化作用,导致植物中Zn、Cd、Rb、K、Mn和Ti的含量升高,Sr、B、Ca和Mo的含量降低^[40];杨鉴等^[41]发现茶园土壤锌含量空间异质性受多种因素共同影响,岩性是影响茶园土壤锌含量空间异质性的主要因素,降水和海拔也显著影响茶园土壤中锌含量的空间异质性。除土壤因素外,基因组变异和气候差异是菠萝蜜的主要分化因素^[42]。据《中国气候公报(2022)》^[43]显示,2022年中国北方降水“东多西少”,南方大部分偏少。本研究江苏和海南的B元素水平高,可能与当地降水多有关。综上,本研究不同省份西瓜特征元素有差异,可能与环境条件有关。

3.1.2 不同农作物元素RNI水平存在差异

陈欣^[44]的研究结果发现,普通柑橘果实Se元素RNI贡献率在0.065%~1.505%,富硒柑橘贡献率在0.098%~1.464%(其中湖北恩施的富硒柑橘RNI贡献率略高,为4.989%~25.942%)。匡立学等^[45]开展了4种水果(苹果、梨、桃、葡萄)中矿物元素RNI贡献率的研究与探讨,发现4种水果Fe元素的儿童RNI贡献率相对较高,极大值为7%;万晓霞等^[16]的研究结果显示:红果参中Mn的RNI(AI)贡献率在2.608%~7.820%;Zn的RNI贡献率男性为1.952%~6.100%,女性为2.711%~6.100%;Fe的RNI贡献率男性为3.710%~6.596%,女性为2.968%~6.596%。西瓜中Zn、Fe的RNI贡献率远低于叶类蔬菜和蓝莓^[46-47],但与柑橘果实相比,Se的RNI贡献率有明显的优势。

Çomaklı等^[48]的研究表明,土壤中浓度最高的元素是Mn,但白桦树皮层含量最高的元素却不是

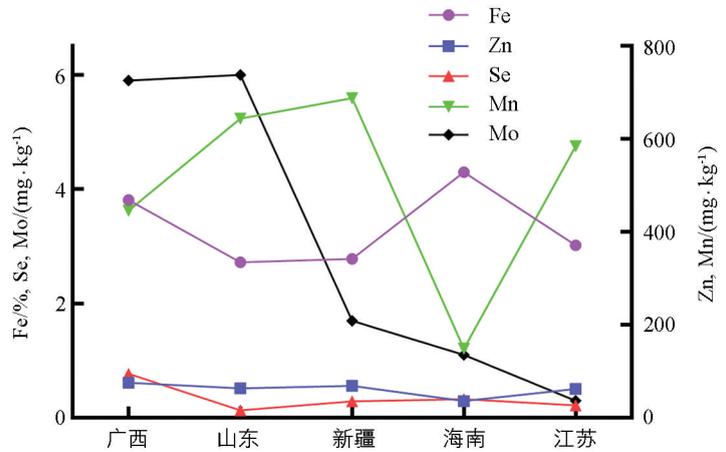


图4 土壤元素背景值

Mn; 余轲等^[49]的研究发现, 青苜对 Mn 具有很强的转运能力, 青苜的 Mn 含量、生物富集系数和生物量均随着土壤 Mn 浓度的增加而升高, 这表明作物种类是影响土壤元素迁移富集的重要因素。本研究西瓜中 Mn 元素 RNI(AI)贡献率与土壤背景值未显示出较强的关联性, 可能与西瓜 Mn 的富集迁移特性有关。

Se 是人体的必需微量元素, 与人体的免疫功能、抗氧化、抗癌等功能密切相关^[50-52]。Fe 参与人体 DNA 复制和修复, 参与造血和氧气的运输与储存, 缺铁会导致缺铁性贫血, 免疫力下降, 影响大脑发育和功能, 造成记忆力下降等^[53]。Zn 几乎参与了人体的全部代谢, 在细胞生长分裂、DNA 合成复制方面起关键作用, 缺锌会导致发育不良、味觉削弱^[54]。Mn、Mo、Fe 等元素通过与核酸、蛋白质、酶、激素和其他生物有机物质形成螯合物, 参与人体的正常生理和生化过程, 并起到维持正常功能的作用^[6]。这些微量元素通过充当酶的辅助因子或为蛋白质提供结构支持来参与各种代谢过程, 缺乏和过量都会导致代谢紊乱、致病性过度生长和免疫功能障碍的发生等^[55]。Fe、Mn、Mo 作为西瓜中的优势元素, 具有较高的营养水平, Zn、Se 元素水平有待加强, 但与柑橘相比, Se 元素能为人体提供不错的营养价值。广西、新疆、山东、海南、江苏各地西瓜的优势元素不同, 可为西瓜产业地域性、多样性发展提供理论支撑。

3.2 结论

新疆西瓜特征元素为 Mo、Sr、Ti、Sn, 广西西瓜特征元素为 Mn、Ba、Co、Zn、Fe, 海南和江苏西瓜特征元素为 B 和 Be, 山东与其他 4 省份西瓜 13 种元素含量差异幅度相对较低。西瓜为不同人群提供的营养价值不同: 为儿童和成人男性提供不错的 Fe、Zn、Se、Mn、Mo 这 5 种元素的摄入, 为成人女性提供良好的 Zn 元素摄入。不同产地对 Fe、Zn、Se、Mn、Mo 等元素的 RNI 贡献率有差异: 广西优势元素为 Mn、Zn; 新疆优势元素为 Mo; 山东优势元素为 Fe; 海南优势元素为 Mn、Mo; 江苏优势元素为 Fe、Mo。西瓜中 Fe、Zn、Se 的 RNI 贡献率水平与各产区土壤元素背景值有关联。综上, 不同产地西瓜矿物元素水平有差异, 对人体营养贡献也存在差别; 5 产地各有优势特征元素, 对西瓜产业独特化发展和西瓜产业多样化发展提供了理论支撑。

参考文献:

- [1] 刘启振. 西瓜引种中国及其本土化研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2019.
- [2] 杨念. 我国西瓜甜瓜生产及全要素生产率研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2016.
- [3] 杨念, 孙玉竹, 吴敬学. 中国西瓜甜瓜的区域优势分析 [J]. 中国瓜菜, 2016, 29(3): 14-18.
- [4] 赵姜. 中国西瓜产业发展的经济学分析 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2013.
- [5] 崔琴, 李拥军, 刘小云. 甘肃道地当归中元素分布特征及主成分分析 [J]. 中国卫生检验杂志, 2021, 31(7): 784-788.
- [6] ZHAO M Y, GOU J B, ZHANG K X, et al. Principal Components and Cluster Analysis of Trace Elements in Buckwheat Flour [J]. Foods, 2023, 12(1): 225.
- [7] 熊欣, 刘嘉飞, 蔡展帆, 等. 主成分分析技术对葡萄酒产地进行溯源 [J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(16): 5477-5484.
- [8] WANG L L, XIONG F, YANG L C, et al. A Seasonal Change of Active Ingredients and Mineral Elements in Root of Astragalus Membranaceus in the Qinghai-tibet Plateau [J]. Biological Trace Element Research, 2021, 199(10): 3950-3959.
- [9] 袁园园, 周玉碧, 孙菁, 等. 基于 ICP-OES 对不同产地大白刺果实矿质元素的主成分分析 [J]. 中国中药杂志, 2017, 42(12): 2334-2338.
- [10] 王玲玲, 王博, 熊丰, 等. 不同产地蒙古黄芪矿物元素比较研究 [J]. 光谱学与光谱分析, 2022, 42(5): 1407-1412.
- [11] 杜俊艳, 刘志荣, 马潇, 等. 基于 37 种无机元素含量的主成分分析和层次聚类分析溯源当归产地 [J]. 理化检验—化学分册, 2022, 58(6): 682-689.
- [12] 康露, 刘河疆, 王帅, 等. 新疆葡萄果实矿质元素的主成分及聚类分析 [J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2018,

- 49(6): 975-981.
- [13] 朴玮,于冬梅,琚腊红,等. 2016—2017年中国6~11岁儿童能量和宏量营养素摄入情况[J]. 卫生研究, 2021, 50(3): 389-394.
- [14] RIPPIN H L, HUTCHINSON J, JEWELL J, et al. Adult Nutrient Intakes from Current National Dietary Surveys of European Populations [J]. *Nutrients*, 2017, 9(12): 1288.
- [15] FARHAT G, LEES E, MACDONALD-CLARKE C, et al. Inadequacies of Micronutrient Intake in Normal Weight and Overweight Young Adults Aged 18 - 25 Years: A Cross-Sectional Study [J]. *Public Health*, 2019, 167: 70-77.
- [16] 万晓霞,孙庆文,陈春伶,等. 红果参矿质元素含量测定及膳食营养评价[J]. 现代食品, 2022, 28(23): 109-114.
- [17] 刘哲. 不同柑橘果实可食部矿质元素分析及膳食营养评价[D]. 重庆: 西南大学, 2018.
- [18] MOTA C, NASCIMENTO A C, SANTOS M, et al. The Effect of Cooking Methods on the Mineral Content of Quinoa (*Chenopodium quinoa*), Amaranth (*Amaranthus* sp.) and Buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2016, 49: 57-64.
- [19] 中国营养学会膳食营养素参考摄入量专家委员会. 《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.
- [20] FULGONI K, FULGONI V L. Watermelon Intake Is Associated with Increased Nutrient Intake and Higher Diet Quality in Adults and Children, NHANES 2003—2018 [J]. *Nutrients*, 2022, 14(22): 4883.
- [21] 李亚俊. 非糖尿病人群中西瓜消耗频率与新诊断的非酒精性脂肪性肝病的关联性分析[D]. 天津: 天津医科大学, 2018.
- [22] 魏复盛,杨国治,蒋德珍,等. 中国土壤元素背景值基本统计量及其特征[J]. 中国环境监测, 1991, 7(1): 1-6.
- [23] 成杭新,李括,李敏,等. 中国城市土壤化学元素的背景值与基准值[J]. 地学前缘, 2014, 21(3): 265-306.
- [24] HERNÁNDEZ S M, RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ E M, DÍAZ R C. Mineral and Trace Element Concentrations in Cultivars of Tomatoes [J]. *Food Chemistry*, 2007, 104(2): 489-499.
- [25] CHATZAV M, PELEG Z, OZTURK L, et al. Genetic Diversity for Grain Nutrients in Wild Emmer Wheat: Potential for Wheat Improvement [J]. *Annals of Botany*, 2010, 105(7): 1211-1220.
- [26] 姬虎太,王敏,曹勇,等. 硬粒小麦与野生二粒小麦籽粒铁、锌、硒元素质量分数的相关性分析[J]. 西北农业学报, 2018, 27(6): 772-778.
- [27] 于江辉,翁绿水,宋嘉俊,等. 不同亚种间水稻糙米镉含量及微量元素的差异分析[J]. 西南农业学报, 2023, 36(1): 20-28.
- [28] 黄炎. 水稻糙米若干矿质元素含量关联分析[D]. 杭州: 浙江大学, 2016.
- [29] 杨磊,艾鑫正,黄文邺,等. 高压密闭消解-电感耦合等离子体质谱法测定恩施4种农作物中微量元素含量及其相关性研究[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(15): 5-7, 10.
- [30] PII Y, CESCO S, MIMMO T. Shoot Ionome to Predict the Synergism and Antagonism between Nutrients as Affected by Substrate and Physiological Status [J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2015, 94: 48-56.
- [31] 崔世展,陶亚飞,缪德仁. 2种茶果不同组织中矿质元素含量的分布特征[J]. 昆明学院学报, 2022, 44(6): 31-36.
- [32] BLAIR M W, ASTUDILLO C, GRUSAK M A, et al. Inheritance of Seed Iron and Zinc Concentrations in Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) [J]. *Molecular Breeding*, 2009, 23(2): 197-207.
- [33] WATANABE T, MAEJIMA E, YOSHIMURA T, et al. The Ionic Study of Vegetable Crops [J]. *PLoS One*, 2016, 11(8): e0160273.
- [34] PANDEY S K, MAJUMDER E, DASGUPTA T. Genotypic Variation of Microelements Concentration in Sesame (*Sesamum indicum* L.) Mini Core Collection [J]. *Agricultural Research*, 2017, 6(2): 114-121.
- [35] 赵子丹,开建荣,王彩艳,等. 基于矿物元素技术的宁夏不同产地红枣的判别分析[J]. 经济林研究, 2022, 40(4): 133-142.
- [36] 周秀雯,吴浩,陈海泉,等. 基于矿物元素指纹差异的榴莲产地甄别[J]. 食品科学, 2021, 42(14): 255-262.
- [37] ROLLE L, TORCHIO F, GIACOSA S, et al. Assessment of Physicochemical Differences in Nebbiolo Grape Berries

- from Different Production Areas and Sorted by Flotation [J]. American Journal of Enology and Viticulture, 2012, 63(2): 195-204.
- [38] 张玉芬, 齐景凯, 王桂玲, 等. 基于矿质元素指纹的荞麦产地溯源研究 [J]. 作物杂志, 2023(3): 66-74.
- [39] PAUNOVIĆ S M, MAŠKOVIĆ P, MILINKOVIĆ M. Determination of Primary Metabolites, Vitamins and Minerals in Black Mulberry (*Morus Nigra*) Berries Depending on Altitude [J]. Erwerbs-Obstbau, 2020, 62(3): 355-360.
- [40] LØBERSLI E M, STEINNES E, ØDEGARD M. A Historical Study of Mineral Elements in Forest Plants from South Norway [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 1990, 15(2): 111-129.
- [41] 杨鉴, 张珍明, 陈祖拥, 等. 贵州省典型茶园土壤锌含量空间异质性及影响因素 [J]. 东北农业大学学报, 2023, 54(12): 21-31.
- [42] DEBBARMA N, MANIVANNAN S, MUDDARSU V R, et al. Ionome Signatures Discriminates the Geographical Origin of Jackfruits (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) [J]. Food Chemistry, 2021, 339: 127896.
- [43] 中国气象局国家气候中心. 中国气候公报(2022) [DB/OL]. (2023-02-06) <https://baike.baidu.com/item/2022%E5%B9%B4%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E6%B0%94%E5%80%99%E5%85%AC%E6%8A%A5/62640718>.
- [44] 陈欣. 基于柑橘皮渣碳材料分离富集柑橘中的痕量硒及柑橘果实硒的膳食评价 [D]. 重庆: 西南大学, 2020.
- [45] 匡立学, 聂继云, 李志霞, 等. 辽宁省 4 种主要水果矿质元素含量及其膳食暴露评估 [J]. 中国农业科学, 2016, 49(20): 3993-4003.
- [46] KUANG L X, WANG Z Q, ZHANG J Y, et al. Factor Analysis and Cluster Analysis of Mineral Elements Contents in Different Blueberry Cultivars [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2022, 109: 104507.
- [47] GOWELE V F, KINABO J, JUMBE T, et al. Provitamin a Carotenoids, Tocopherols, Ascorbic Acid and Minerals in Indigenous Leafy Vegetables from Tanzania [J]. Foods, 2019, 8(1): 35.
- [48] ÇOMAKLI E, BINGÖL M S. Evaluation of Heavy Metal Accumulations in Plant Organs and Soil White Birch (*Betula verrucosa* Ehrh.) Plantation [J]. Water, Air, & Soil Pollution, 2021, 232(12): 515.
- [49] 余轲, 刘杰, 尚伟伟, 等. 青箱对土壤锰的耐性和富集特征 [J]. 生态学报, 2015, 35(16): 5430-5436.
- [50] 杨喜盟, 张彪, 曹亚凤, 等. 叶面喷硒对烟富 3 号苹果树体生长、叶片光合特性与果实品质的影响 [J]. 中国果树, 2023(4): 31-36, 41.
- [51] 余晓娟, 刘曙东, 谭鑫, 等. 不同有机肥对枳苗生长及营养土酸碱度和酶活性的影响 [J]. 中国南方果树, 2023, 52(2): 18-20, 28.
- [52] 康专苗, 郭广正, 王代谷, 等. 贵州石漠化地区不同澳洲坚果品种叶片矿质元素含量综合评价 [J]. 中国南方果树, 2025, 54(1): 77-82, 87.
- [53] 宋颖, 王晓丹, 陈立侨. 微量元素铁——动物健康与疾病的重要调控者 [J]. 生物学教学, 2023, 48(2): 2-4.
- [54] 尹雪斌, 牛珊珊, 赵其国, 等. 我国硒(Se)、锌(Zn)和钙(Ca)生物营养强化研究进展 [J]. 科技促进发展, 2021, 17(10): 1824-1830.
- [55] PAJARILLO E A B, LEE E, KANG D K. TraceMetals and Animal Health: Interplay of the Gut Microbiota with Iron, Manganese, Zinc, and Copper [J]. Animal Nutrition, 2021, 7(3): 750-761.

责任编辑 周仁惠