

# 基于OPLS-DA分析五省甜瓜矿物元素含量特征及RNI膳食评价

王晓婷<sup>1,2</sup>, 沈琦<sup>2</sup>, 勿吉斯古冷<sup>1,2</sup>, 康琪<sup>1,2</sup>, 盘菊秀<sup>1,2</sup>, 何伟忠<sup>2\*</sup>, 王成<sup>3\*</sup>

(1. 新疆农业大学食品科学与药学院, 新疆乌鲁木齐 830052) (2. 新疆农业科学院农业质量标准与检测技术研究所、农村农业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, 新疆乌鲁木齐 830091)

(3. 新疆农业科学院, 新疆乌鲁木齐 830091)

**摘要:** 以5省份128份甜瓜果实样品为研究对象, 参照GB 5009.268-2016, 通过电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)开展了样品中13种矿物元素含量的定量分析, 进而综合多元统计分析, 包括正交偏最小二乘法判别分析(OPLS-DA)、相关性分析、推荐摄入量(RNI)贡献率等方法, 筛选不同省份甜瓜特征矿物元素, 参照中国营养学会制定的相关元素RNI值, 对不同人群进行元素营养水平分析与评价。结果表明: B、Fe、Sr、Mn、Zn为5省份的差异元素(VIP>1), B元素为差异最大的元素(VIP>2, 组间差异 $P<0.001$ ), B、Fe、Sr、Mn、Zn元素水平最高的省份分别为: 江苏(18.569 mg/kg)、海南(8.178 mg/kg)、内蒙古(5.098 mg/kg)、海南(2.302 mg/kg)、海南(3.662 mg/kg); 广西、海南、河北、江苏、内蒙古甜瓜的RNI贡献优势元素分别为Sn、Mn、Mo、Zn、Fe。对3种人群Mn、Zn、Fe、Sn的RNI贡献率较高的分别是海南省和广西省。研究为5省甜瓜地域优势元素发展提供了参考, 依据不同人群饮食需求, 给出5省份甜瓜的饮食建议, 可支撑和推动区域甜瓜的品牌创建与提质增效。

**关键词:** 正交偏最小二乘法判别分析; 甜瓜; 矿物元素; 推荐摄入量

文章编号: 1673-9078(2025)05-329-336

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.5.0515

## Contents and RNI Values of Mineral Elements in Melons Harvested in Five Provinces Characterized via OPLS-DA Analysis

WANG Xiaoting<sup>1,2</sup>, SHEN Qi<sup>2</sup>, WUJISI GULENG<sup>1,2</sup>, KANG Qi<sup>1,2</sup>, PAN Juxiu<sup>1,2</sup>,  
HE Weizhong<sup>2\*</sup>, WANG Cheng<sup>3\*</sup>

(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;

引文格式:

王晓婷, 沈琦, 勿吉斯古冷, 等. 基于OPLS-DA分析五省甜瓜矿物元素含量特征及RNI膳食评价[J]. 现代食品科技, 2025, 41(5): 329-336.

WANG Xiaoting, SHEN Qi, WUJISI GULENG, et al. Contents and RNI values of mineral elements in melons harvested in five provinces characterized via OPLS-DA analysis [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(5): 329-336.

收稿日期: 2024-04-18

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); 新疆农业科学院农业科技创新稳定支持项目(xjnk ywdzc-2023003-1)

作者简介: 王晓婷(2000-), 女, 在读硕士研究生, 研究方向: 农产品质量安全及其功能营养特性, E-mail: xiaoting000202@163.com

通讯作者: 何伟忠(1981-), 男, 硕士, 研究员, 研究方向: 农产品质量安全及其功能营养特性, E-mail: heweizhong12@163.com; 共同通

讯作者: 王成(1971-), 男, 硕士, 研究员, 研究方向: 农产品质量安全及其检测技术, E-mail: wangcheng321@sina.com

Laboratory of Agricultural Product Quality and Safety Risk Assessment, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; Key Laboratory of Functional Nutrition of Characteristic Agricultural Products and Health in Desert-oasis Ecological Zones (Jointly Built by the Ministry of Agriculture and Rural Affairs and Xinjiang Province); Xinjiang Key Laboratory of Quality and Safety of Agricultural Products, Urumqi 830091, China) (3. Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China )

**Abstract:** A total of 128 melon samples harvested in five provinces were quantitatively analyzed for 13 mineral elements using an inductively coupled plasma mass spectrometer, following the GB 5009.268-2016 standard. Next, the characteristic mineral elements in samples from each province were identified using orthogonal partial least squares-discriminant analysis (OPLS-DA), correlation analysis, and percentage contribution to recommended nutrient intake (RNI). With reference to the RNI values of corresponding elements specified by the Chinese Nutrition Society, the mineral nutrient levels in different populations were analyzed and evaluated. The results show that the levels of B, Fe, Sr, Mn, and Zn differed most among the five provinces ( $VIP>1$ ), with the difference in B being the most prominent ( $VIP>2$ ,  $P<0.001$  for between-group differences). The highest levels of B, Fe, Sr, Mn, and Zn were identified in Jiangsu (18.569 mg/kg), Hainan (8.178 mg/kg), Inner Mongolia (5.098 mg/kg), Hainan (2.302 mg/kg), and Hainan (3.662 mg/kg), respectively. The elements with the highest percentage contribution to RNI in Guangxi, Hainan, Hebei, Jiangsu, and Inner Mongolia were Sn, Mn, Mo, Zn, and Fe, respectively. Furthermore, Mn, Zn, Fe, and Sn had the highest percentage contribution to RNI in children, male adult, and female adults in Hainan and Guangxi. Overall, these findings serve as a reference for identifying region-specific dominant mineral elements in melons from the five provinces. Dietary recommendations about melons from the five provinces are provided according to the dietary needs of different groups, aiming to support regional brand development and enhance the quality and efficiency of melon production.

**Key words:** orthogonal partial least squares-discriminant analysis (OPLS-DA); melon; mineral element; recommended nutrient intake (RNI)

甜瓜属高效园艺类作物范畴, 是许多国家现代农业发展的重要支柱之一<sup>[1]</sup>, 我国是世界甜瓜种植大国, 年产量占世界 50%, 位列各国首位<sup>[2]</sup>。种植省份涉及广西、海南、江苏、河北、内蒙古等<sup>[3,4]</sup>, 广西、海南、江苏的甜瓜产量在供给侧改革后显著提高, 而河北、内蒙古甜瓜产量占全国 10% 以上, 且产量常年位居我国前列<sup>[5]</sup>。解析不同省份甜瓜特征矿物元素及 RNI 贡献优势元素, 利于支撑不同省份根据产出甜瓜的营养特点创建品牌与扩大品牌知名度, 促进优势产业的多元化发展。

目前, 已见甜瓜果实不同种植地矿物元素含量特征报道<sup>[6-10]</sup>, 如康露等<sup>[11]</sup>的研究发现哈密甜瓜铝、铁和铷的含量显著高于吐鲁番、巴州和阿克苏等地; 巴州甜瓜钙和钠的含量显著高于吐鲁番、哈密和阿克苏等地。说明不同产地甜瓜果实元素含量是有差距的, 但目前, 只见新疆不同地区的甜瓜元素含量之间的比较, 暂无全国范围内甜瓜产区差异元素的探究, 中国各甜瓜产区之间的差异矿物元素及特征优势元素尚不明了。此外, 未见研究将甜瓜元素含量与 RNI (推荐摄入量) 值结合分析, 甜瓜元素含量对 RNI 的贡献情况尚

不明确, 不利于甜瓜产业日后的优势发展, 不利于各省优势甜瓜发展, 不利于甜瓜产业多样化、多元化发展。

围绕上述不足, 本文在解析甜瓜果实不同部位 24 种矿物元素分布特征<sup>[6]</sup>、不同生育期元素富集变化<sup>[12]</sup>的基础上, 以广西、海南、江苏、河北、内蒙古 5 省份产出的 128 份成熟甜瓜果实为研究对象, 参照 GB 5009.268-2016, 采用 ICP-MS 分析了研究对象中 13 种矿物元素的含量, 进而综合 OPLS-DA、相关性、RNI 贡献率等技术方法, 开展了不同省份甜瓜特征矿物元素、RNI 贡献优势元素的研究与识别, 以其为不同省份产出甜瓜营养特点的研究与解析提供支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

128 份成熟甜瓜果实采集于 5 省份, 其中广西省 30 份, 海南省 38 份, 河北省 32 份, 江苏省 19 份, 内蒙古自治区 9 份, 每份样品采集 2 个整瓜, 样品带回实验室后, 用去离子水冲洗、沥干后, 整果按照四

分法进行取样、切分、混合、匀浆后置于-18℃冰箱中保存备用。

## 1.2 仪器与设备

仪器设备：电感耦合等离子体质谱仪 iCAP Qc 型，美国 Thermo Scientific 公司；微波消解仪（聚四氟乙烯消解内罐）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。

电感耦合等离子体质谱仪操作参考条件：射频功率：1 500 W；等离子体气流量：15 L/min；载气流量：0.80 L/min；辅助气流量：0.40 L/min；氦气流量：4~5 mL/min；雾化室温度：2℃；样品提升速率：0.3 r/s；雾化器：高盐/同心雾化器；采样锥/截取锥：镍/铂锥；采样深度：8 mm~10 mm；采集模式：跳峰（Spectrum）；检测方式：自动；每峰测定点数：1~3；重复次数：2~3。

## 1.3 样品中元素定量方法

甜瓜中元素定量方法参照国标 GB 5009.268-2016，采用 Mars 5 微波消解仪进行消解，主要步骤如下：

称取甜瓜样品 1 g（精确到 0.000 1）于消解管，加入 2 mL 水和 6 mL 硝酸溶液，在通风橱中静置 3 h，再放入 Mars 5 微波消解仪（设置温度为 120、150 和 190℃；升温时间均为 5 min；保持时间分别为 5、10 和 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。

待测元素计算公式如下：

$$X = \frac{(\rho - \rho_0) \times V \times f}{m \times 1000} \quad (1)$$

式中：

$X$ ——甜瓜试样中待测元素含量，mg/kg 或 mg/L；

$\rho$ ——试样溶液中被测元素质量浓度， $\mu\text{g/L}$ ；

$\rho_0$ ——试样空白液中被测元素质量浓度， $\mu\text{g/L}$ ；

$V$ ——试样消化液定容体积，mL；

$f$ ——试样稀释倍数；

$m$ ——试样称取质量，g；

1000——换算系数。

## 1.4 RNI (AI) 膳食评估方法

参照前人研究<sup>[13]</sup>，进行元素 RNI(AI) 膳食评估，

具体计算公式如下：

$$A = \frac{C/10}{RNI(AI)} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

$A$ ——甜瓜每 100 g 可食部位中矿物元素含量与推荐摄入量 (RNI) 或适宜摄入量 (AI) 之比，%；

$C$ ——甜瓜样品中某矿物元素含量，mg/kg；

$RNI(AI)$ ——矿物元素日推荐摄入量或适宜摄入量，mg/d。

根据中国营养学会制定的 RNI (AI) 值。所测 13 种元素中仅查到 Fe、Zn、Se、Mn、Mo 5 种元素的 RNI (AI) 值，其他 8 种元素尚未制定相关 RNI (AI) 值，不同人群的 RNI (AI) 值如表 1 所示<sup>[14]</sup>。

表 1 不同人群 5 种元素的 RNI (AI) 值

Table 1 RNI (AI) values for 5 elements in different populations

人群 (年龄)	Fe/(mg/d) RNI		Zn/(mg/d) RNI		Se/ ( $\mu\text{g/d}$ ) RNI	Mn/ (mg/d) AI	Mo/ ( $\mu\text{g/d}$ ) RNI
	男	女	男	女			
0~	0.3 (AI)		2.0 (AI)		15	0.01	2
0.5~	10		3.5		20	0.7	15
1~	9		4		25	1.5	40
4~	10		5.5		30	2	50
7~	13		7		40	3	65
11~	15	18	10	9	55	4	90
14~	16	18	11.5	8.5	60	4.5	100
18~	12	20	12.5	7.5	60	4.5	100
50~	12	12	12.5	7.5	60	4.5	100
65~	12	12	12.5	7.5	60	4.5	100
80~	12	12	12.5	7.5	60	4.5	100

## 1.5 数据分析

使用 Excel 2021 进行数据整理；通过 SPSS 27.0.1 进行数据的相关性分析；采用 SMICA-P 绘制模型置检验图、OPLS-DA 得分图、VIP 值图及产区元素含量差异图；使用 Origin 2021 绘制产地元素差异柱状图。

## 2 结果与分析

### 2.1 甜瓜矿物元素相关性分析

相关性分析表明（表 2），甜瓜元素种类之间存在着相关性，在  $P < 0.01$  的相关性显著水平下，Be 与 B 呈负相关，Be 与 V、Co、Se、Mo、Sn 呈正相关；B 与 V、Zn、Se、Mo 呈负相关，与 Sr、Ba 呈正相关；Ti 与 V、Mn、Fe、Zn、Mo 呈正相关；V 与 Co、

Se、Mo、Sn 呈正相关；Mn 与 Fe、Co、Zn、Mo 呈正相关；Fe 与 Zn、Sr、Sn 呈正相关；Co 与 Se、Mo、Sn 呈正相关；Zn 与 Mo 呈正相关，与 Ba 呈负相关；Se 与 Sr 呈负相关，与 Mo、Sn 呈正相关；Sr 与 Ba 呈正相关；Mo 与 Sn 呈正相关，与 Ba 呈负相关。

在  $P < 0.05$  的相关性显著水平下，Be 与 Sr 呈负相关；B 与 Ti、Co、Sn 呈负相关；Ti 与 Co、Sn 呈正相关；V 与 Fe 呈正相关；Fe 与 Mo 呈正相关；Co 与 Zn 呈正相关；Zn 与 Sn 呈正相关 Sr 与 Mo 呈负相关。

表 2 甜瓜中矿物元素相关性

Table 2 Correlation of mineral elements in melon

	Be	B	Ti	V	Mn	Fe	Co	Zn	Se	Sr	Mo	Sn	Ba
Be	1												
B	-0.247**	1											
Ti	0.082	-0.204*	1										
V	0.955**	-0.307**	0.241**	1									
Mn	0.059	-0.094	0.289**	0.138	1								
Fe	0.041	-0.159	0.513**	0.191*	0.605**	1							
Co	0.858**	-0.218*	0.214*	0.886**	0.350**	0.163	1						
Zn	0.072	-0.282**	0.259**	0.146	0.752**	0.623**	0.194*	1					
Se	0.884**	-0.335**	0.126	0.919**	0.117	0.102	0.810**	0.167	1				
Sr	-0.199*	0.241**	0.149	-0.172	-0.051	0.240**	-0.150	-0.081	-0.235**	1			
Mo	0.720**	-0.424**	0.384**	0.809**	0.231**	0.222*	0.783**	0.229**	0.778**	-0.215*	1		
Sn	0.811**	-0.199*	0.183*	0.848**	0.127	0.306**	0.073**	0.174*	0.746**	-0.169	0.646**	1	
Ba	-0.119	0.332**	0.032	-0.119	-0.117	0.098	-0.121	-0.258**	-0.168	0.607**	-0.250**	-0.09	1

注：\*\* 在 0.01 级别（双尾），相关性显著。\* 在 0.05 级别（双尾），相关性显著。

表 3 五省甜瓜13中矿物元素差异

Table 3 Differences of mineral elements in melon 13 of the five provinces

	广西	海南	河北	江苏	内蒙古	P 值
Be	0.022±0.035 <sup>a</sup>	0.003±0.003 <sup>b</sup>	0.001±0.002 <sup>b</sup>	0.003±0.003 <sup>b</sup>	0.003±0.003 <sup>b</sup>	$P < 0.01$
B	5.729±0.407 <sup>a</sup>	14.299±2.573 <sup>b</sup>	7.844±0.896 <sup>d</sup>	18.569±2.145 <sup>a</sup>	11.549±0.848 <sup>c</sup>	$P < 0.01$
Ti	0.157±0.070 <sup>a</sup>	0.183±0.148 <sup>a</sup>	0.163±0.124 <sup>a</sup>	0.042±0.015 <sup>b</sup>	0.214±0.120 <sup>a</sup>	$P < 0.01$
V	0.025±0.031 <sup>a</sup>	0.007±0.005 <sup>b</sup>	0.004±0.001 <sup>b</sup>	0.002±0.001 <sup>b</sup>	0.008±0.002 <sup>b</sup>	$P < 0.01$
Mn	2.195±0.624 <sup>a</sup>	2.302±1.191 <sup>a</sup>	0.715±0.200 <sup>b</sup>	0.410±0.185 <sup>b</sup>	0.554±0.098 <sup>b</sup>	$P < 0.01$
Fe	6.936±2.274 <sup>a</sup>	8.178±2.720 <sup>ab</sup>	4.810±1.138 <sup>c</sup>	2.287±0.531 <sup>d</sup>	6.128±1.959 <sup>bc</sup>	$P < 0.01$
Co	0.023±0.031 <sup>a</sup>	0.010±0.015 <sup>ab</sup>	0.003±0.001 <sup>b</sup>	0.003±0.002 <sup>b</sup>	0.005±0.001 <sup>b</sup>	$P < 0.01$
Zn	3.559±0.759 <sup>a</sup>	3.662±1.215 <sup>a</sup>	2.498±0.706 <sup>b</sup>	1.360±0.205 <sup>d</sup>	1.370±0.384 <sup>d</sup>	$P < 0.01$
Se	0.039±0.041 <sup>a</sup>	0.014±0.005 <sup>b</sup>	0.014±0.009 <sup>b</sup>	0.008±0.002 <sup>b</sup>	0.009±0.003 <sup>b</sup>	$P < 0.01$
Sr	0.633±0.241 <sup>d</sup>	2.422±0.807 <sup>b</sup>	1.589±0.809 <sup>c</sup>	1.027±0.492 <sup>cd</sup>	5.098±0.446 <sup>a</sup>	$P < 0.01$
Mo	0.060±0.044 <sup>a</sup>	0.032±0.020 <sup>bc</sup>	0.039±0.017 <sup>ab</sup>	0.012±0.006 <sup>c</sup>	0.026±0.009 <sup>bc</sup>	$P < 0.01$
Sn	0.034±0.035 <sup>a</sup>	0.019±0.011 <sup>ab</sup>	0.012±0.002 <sup>b</sup>	0.015±0.003 <sup>b</sup>	0.015±0.003 <sup>b</sup>	$P < 0.01$
Ba	0.256±0.160 <sup>c</sup>	0.425±0.156 <sup>bc</sup>	0.366±0.185 <sup>bc</sup>	0.480±0.307 <sup>b</sup>	0.875±0.499 <sup>a</sup>	$P < 0.01$

注：同一行不同小写字母表示 5 省份元素含量具有显著差异， $P < 0.01$ 。

本研究中 V 元素与其他 12 种元素相关性较大, 与 Co ( $r=0.886$ )、Mo ( $r=0.809$ )、Sn ( $r=0.848$ )、Se ( $r=0.919$ ) 具有强烈正相关, Wang 等<sup>[15]</sup>的研究结果显示: V-Se 相关系数高达 0.97, 说明 V 与 Se 之间存在强烈协同作用。王奇等<sup>[16]</sup>对五味子中的 16 种元素含量进行了相关性分析, 发现: Be 与 V、Co, Mn 与 Co、Zn, Se 与 Mo 之间存在正相关; 红芪中 Zn 与 Co 呈显著正相关<sup>[17]</sup>, 丹皮中 B 与 Zn, Mn 与 Fe, Co 与 Zn 呈正相关<sup>[18]</sup>, 籼稻 Fe 与 Zn 呈显著正相关<sup>[19]</sup>。相关学者探讨了作物元素间存在相关性的原因, 如有研究表明: Zn 与 Fe 之间正相关, 可能是由于各亚细胞层 Fe、Zn 元素的分布比例维持相对动态稳定所致<sup>[20]</sup>。本文甜瓜果实中多种元素间存在相关性, 其形成机制还有待进一步深入研究探讨。

5 省份甜瓜中 13 种元素平均值、标准差、组间差异结果列于表 3, 结果显示, 13 种元素在 5 省份甜瓜中差异显著 ( $P < 0.01$ ), B、Fe、Zn 3 种元素在 5 省甜瓜中含量均处于较高水平。

以上结果表明, 13 种矿物元素间存在协同和拮抗作用, 且不同甜瓜产地元素水平具有较大差异, 由此, 本文通过 OPLS-DA, 进行了差异元素的研究与筛选。

## 2.2 五省份甜瓜差异元素分析结果

对甜瓜中 13 种元素进行 OPLS-DA 分析, 测得  $R^2X$  为 0.845,  $R^2Y$  为 0.670,  $Q^2$  为 0.618, 拟合优度和预测优度均大于 0.5, 对数据进行 permutation 分析, 假设检验次数为 200, 如图 1 所示,  $R^2$  为 0.712 8, 其截距为 0.031 5,  $Q^2$  为 0.611 3, 其截距为 -0.162, 表明模型未过拟合, 所建模型可靠。

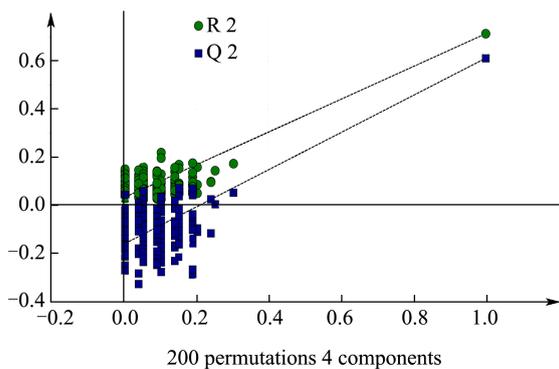


图 1 模型置检验图  
Fig.1 Diagram of model placement test

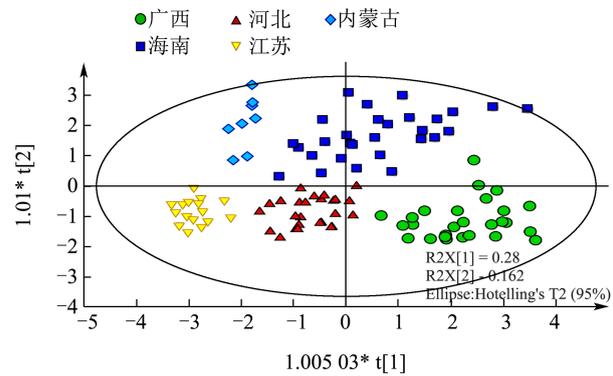


图 2 OPLS-DA 得分图

Fig.2 Map of OPLS-DA scores

由图 2 可知, 江苏地区甜瓜样品 OPLS-DA 得分最为集中, 分布于 X 轴负轴, Y 轴负轴, 与其他省份样品区分明显; 广西甜瓜样品集中分布与 X 轴正轴, 海南甜瓜样品则表现出较分散的得分, 但总体分布于 Y 轴正轴; 河北甜瓜样品得分相较于江苏较为分散, 分布于 Y 轴负轴; 内蒙古甜瓜样品总体分布于 X 轴负轴。

以上表明: 江苏甜瓜样品矿质元素含量与其他省份差异较大, 而海南、内蒙古、河北 3 省份 13 种矿质元素含量差异较小。图 3 表明 B、Fe、Sr、Mn、Zn 为 5 省份的差异元素, 其中 B 为差异最大的元素。施肥方式或种植形式对甜瓜生长<sup>[21]</sup>和品质积累<sup>[22]</sup>具有一定的影响。在孙兴祥等<sup>[23]</sup>的研究当中, 不同产区土壤中的有效硼含量存在显著差异, 植物从土壤中吸取养分时, 土壤中的元素水平可能会影响植物中矿物元素的积累。B 元素为广西、海南、江苏、河北、内蒙古 5 省差异最大的元素, 可能与 5 省甜瓜产区施肥耕种方式有关, 有待进一步研究。

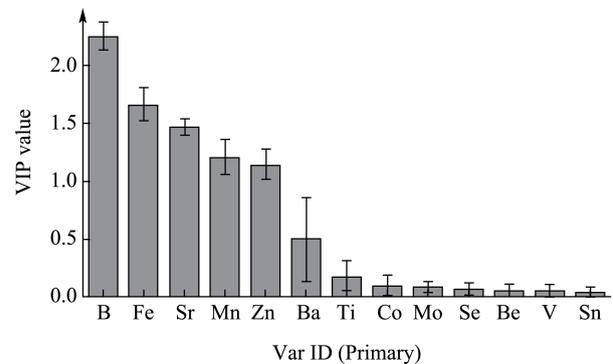


图 3 VIP 值图  
Fig.3 VIP value chart

### 2.3 不同省份甜瓜特征矿物元素分析结果

对5省份甜瓜样品中B、Fe、Sr、Mn、Zn 5种差异元素含量水平进行了分析, B元素平均含量由高至低依次为: 江苏(18.569 mg/kg) > 海南(14.299 mg/kg) > 内蒙古(11.549 mg/kg) > 河北(7.844 mg/kg) > 广西(5.729 mg/kg); Fe元素平均含量由高至低依次为: 海南(8.178 mg/kg) > 广西(6.936 mg/kg) > 内蒙古(6.128 mg/kg) > 河北(4.810 mg/kg) > 江苏(2.287 mg/kg); Sr元素平均含量由高至低依次为: 内蒙古(5.098 mg/kg) > 海南(2.421 mg/kg) > 河北(1.589 mg/kg) > 江苏(1.027 mg/kg) > 广西(0.632 mg/kg); Mn元素平均含量由高至低依次为: 海南(2.302 mg/kg) > 广西(2.195 mg/kg) > 河北(0.715 mg/kg) > 内蒙古(0.554 mg/kg) > 江苏(0.410 mg/kg); Zn元素平均含量由高至低依次为海南(3.662 mg/kg) > 广西(3.560 mg/kg) > 河北(2.498 mg/kg) > 内蒙古(1.370 mg/kg) > 江苏(1.360 mg/kg); 由图4可明显看出, 江苏省甜瓜中Mn、Fe、Zn、Sr含量低于其他4省, 但其B含量水平相对较高, 约广西甜瓜B含量的3倍, 河北甜瓜B含量的2倍左右。对于Mn, 广西和海南甜瓜的Mn含量差异不大, 河北、江苏、内蒙古甜瓜的Mn含量差异较低, 广西和海南甜瓜的Mn含量水平是其他3省的2倍左右。广西、海南、内蒙古甜瓜的Fe元素含量较高, 河北甜瓜Fe元素含量处于中游水平, 内蒙古甜瓜Sr元素含量相对较高, 其次是海南省。广西和海南甜瓜Zn元素含量相对较高。

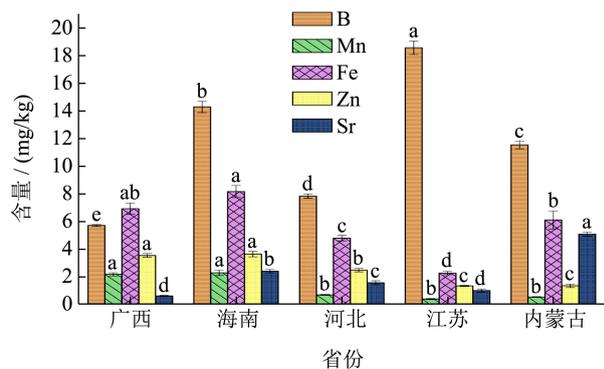


图4 五省甜瓜产区差异元素

Fig.4 Elements of difference in melon producing areas in five provinces

注: 同一系列柱状图不同小写字母表示5省份元素含量具有显著差异,  $P < 0.05$ 。

相关报道显示: 石河子产区酿酒葡萄的特征元素为K元素, 伊犁产区酿酒葡萄的特征元素为K元素和Ca元素<sup>[24]</sup>; 巴西不同产区大豆种子中Fe、Mn、Mo、Zn等元素含量存在较大差异<sup>[25]</sup>; 不同地区种植无花果<sup>[26]</sup>和牛油果<sup>[27]</sup>中Mn、Fe、Zn含量有所不同。上述报道与本文研究结果均表明: 不同产区农产品元素含量确存在差异。本文不同省份甜瓜果实矿物元素含量存在的差异可能与土壤条件有关, 如相关研究显示: 广西、海南土壤中含有大量的铁锰结合<sup>[28,29]</sup>, 铁锰结合中富含比表面积大的铁、锰氧化物, 在滞水还原条件下结合中的铁、锰氧化物会发生溶解反应, 向土壤中释放出 $Fe^{2+}$ 、 $Mn^{2+}$ , 但是不同地区, 同一类型土壤中铁锰结合的矿物组成也存在差异<sup>[30]</sup>, 这可能是导致广西、海南甜瓜中铁、锰元素含量高于其他3省份的原因。此外, 气候条件<sup>[31,32]</sup>, 土壤条件<sup>[31]</sup>、pH、海拔高度等也是影响农产品中矿物元素等营养成分累积的重要因素, 本文其他省份甜瓜特征元素形成机制还需综合上述因素系统研究解析。

以上结果表明, 广西甜瓜特征元素为Mn、Fe; 海南甜瓜特征元素为Mn、B; 河北甜瓜特征元素为Fe、B; 江苏甜瓜特征元素为B; 内蒙古甜瓜特征元素为Fe、Sr。

### 2.4 不同省份甜瓜RNI贡献优势元素分析结果

RNI(推荐摄入量)可以满足某一特定群体中绝大多数个体的需要, 长期保持RNI的摄入水平, 可以使人体组织中的营养素有适宜的储备。AI(适宜摄入量)是指通过观察或实验获得的健康人群某种营养素的摄入量, 不如RNI准确, 但对特定人群或者特定阶段很有好处, 比如成长阶段的儿童、孕期或者伤病阶段<sup>[33]</sup>。明确不同产区甜瓜对不同人群RNI的贡献率, 更能掌握各产区甜瓜矿质元素营养水平, 供不同人群有选择摄入补充体内矿质元素, 同时为地域甜瓜未来发展方向提供新的理论支撑。13种元素中, 只有Mn、Fe、Zn、Sn、Mo 5种元素制定了RNI(AI)值<sup>[14]</sup>, 其中, Mn制定了AI值。100g甜瓜对不同人群平均RNI贡献率如图5所示。

对于儿童来说, 广西甜瓜提供了较高水平的Mo元素和Sn元素RNI贡献率, 广西Sn元素儿童RNI贡献率相对较高, 达0.1%; 海南甜瓜儿童Mn元素RNI贡献率为8.00%, Fe元素RNI贡献率为6.48%, Zn元素RNI贡献率为5.22%。河北甜瓜儿

童 Mo 元素和 Zn 元素的 RNI 贡献率处于中上水平, Mn 元素和 Sn 元素 RNI 贡献率还需提高; 江苏甜瓜对 Zn 元素 RNI 贡献率为 1.97%, 高于其他元素; 内蒙古甜瓜对儿童 Fe 元素的 RNI 贡献率较高, 达 5.05%。

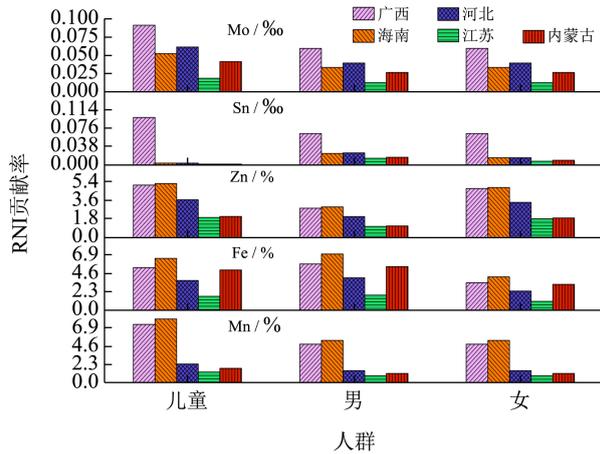


图 5 五省份甜瓜矿物元素对不同人群的 RNI 贡献

Fig.5 RNI contribution of melon minerals to different populations in five provinces

对于成人男性来说, 广西甜瓜 Fe 元素 RNI 贡献率较高, 为 5.78%, Zn 元素 RNI 贡献率相对较低, 仅为 2.85%; 海南甜瓜对 Fe 元素和 Mn 元素的 RNI 贡献率分别为 7.02% 和 5.34%, 处于较高的水平, 河北甜瓜 Fe 元素和 Mo 元素 RNI 贡献率较高; 江苏甜瓜 Fe 元素和 Zn 元素 RNI 贡献率分别为 1.95% 和 1.10%, 整体高于其他 4 省份; 内蒙古甜瓜 Fe 元素 RNI 贡献率高于其他元达为 5.47%。

对于成人女性来说, 广西和海南甜瓜 Zn 元素和 Mn 元素 RNI 贡献率较高, 广西甜瓜 Mo 元素、海南甜瓜 Fe 元素 RNI 贡献率相抵较高; 河北甜瓜 Mo 元素和 Zn 元素 RNI 贡献率分别为 0.04% 和 3.41%, 处于中上水平; 江苏甜瓜 Zn 元素 RNI 贡献率为 1.84%, 相较于其他元素处于中上水平; 内蒙古甜瓜 Mo、Zn、Fe 3 种元素 RNI 贡献率都处于较高水平, 尤其是 Fe 元素, 其 RNI 贡献率高达 3.28%。整体上看, 除广西外, 其他 4 各省甜瓜 Sn 元素的 RNI 贡献水平都较低。

不同元素的营养功效不同, 如: Fe 元素是机体正常代谢的关键元素, 缺乏会引起过氧化氢酶和细胞色素酶的降低, 导致大脑功能紊乱, 情绪反应出现障碍; Mn 是包括大脑在内的许多器官正常发育所需的必需微量营养素, 摄入不足或过量都会引起神经功能障碍<sup>[34]</sup>; Zn 是人体必需的微量营养素, 也是人类基因组编码的众多蛋白质功能的重要辅助因

子, 在维持分子、细胞、多器官和全身水平的许多生化和生理过程中起着关键作用<sup>[35]</sup>; Mo 是人体中某些酶在人体中维持正常功能所必需的营养素, 缺乏会导致神经病变和食道癌<sup>[36,37]</sup>; Sn 是人体必需的微量元素, 参与人体内多种生化反应, 在神经、生殖等功能代谢酶中起到重要的作用<sup>[38]</sup>。本文广西、海南、河北、江苏、内蒙古 5 省甜瓜中 RNI 贡献优势元素依次为 Sn、Mn、Mo、Zn、Fe, 可根据该特点, 探讨推动不同省份甜瓜产业的差异化、多样化发展。

以上结果表明: 3 种人群广西甜瓜 Sn 元素 RNI 贡献率都相对较高, 海南、河北、江苏、内蒙古的 RNI 贡献优势元素依次为 Mn、Mo、Zn、Fe, 可根据这些特点, 支撑和推动区域甜瓜的品牌创建与提质增效。

### 3 结论

B、Fe、Sr、Mn、Zn 为广西、海南、河北、江苏、内蒙古的差异元素, 其中 B 为差异最大的元素。广西甜瓜特征元素为 Mn、Fe; 海南甜瓜特征元素为 Mn、B; 河北甜瓜特征元素为 Fe、B; 江苏甜瓜特征元素为 B; 内蒙甜瓜特征元素为 Fe、Sr。广西、海南、河北、江苏、内蒙古甜瓜 RNI 贡献优势元素依次为 Sn、Mn、Mo、Zn、Fe, 广西甜瓜对儿童、成人男性、成人女性 3 种人群的 Sn 元素和 Mo 元素 RNI 贡献相对其他 3 省份较高, 对 3 种人群 Mn、Zn、Fe 3 种元素 RNI 贡献率较高的是海南省。

### 参考文献

- [1] 庞荣丽, 谢汉忠, 党琪, 等. 我国西瓜甜瓜中农药残留限量标准分析[J]. 中国瓜菜, 2020, 33(7): 1-6.
- [2] 冀亚文. 哈尔滨市双城区西甜瓜产业现状调查及对策建议[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2021.
- [3] 王学江, 孙林, 王乐兵, 等. 海藻提取物对内蒙古甜瓜产量和品质的影响[J]. 分子植物育种, 2022, 20(16): 5532-5537.
- [4] 宋钰. 河北省甜瓜特优区新型农业经营主体组织运营模式研究[D]. 渤海: 河北农业大学, 2021.
- [5] 沈琦, 托乎塔尔汉玛合巴丽, 曹叶青, 等. 甜瓜中矿物元素分布特征及其相关调控机制研究[J]. 核农学报, 2021, 35(10): 2305-2310.
- [6] 刘铮. 甜瓜产业供给侧改革成效评估分析[J]. 现代农业研究, 2023, 29(10): 110-114.
- [7] 胡艳平, 朱白婢, 黄文枫, 等. 水分处理对网纹甜瓜裂果及果实品质的影响[J]. 北方园艺, 2021, 10: 9-15.
- [8] 李亚文, 李建军, 宋金栋, 等. 不同施肥处理对甜瓜钙、锌、硒营养元素含量和品质的影响[J]. 蔬菜, 2021, 7: 19-24.

- [9] KHOMPHE T, PROMWEE A, ISALM S S. Effects of foliar fertilizer application on the growth and fruit quality of commercial melon varieties grown in a soilless culture system [J]. PeerJ, 2023, 11: e14900.
- [10] AITBAYEVA A T, ZORZHANOV B D, KOSSANOV S U, et al. Effect of biological and organic fertilizers on growth processes, productivity and quality of melon fruits under Southeastern Kazakhstan [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022, 1043(1): 012048.
- [11] 康露,王贤,赵多勇,等.新疆甜瓜锶同位素、矿质元素特征及产地溯源[J].食品与生物技术学报,2021,40(11):70-76.
- [12] 勿吉斯古冷,沈琦,张忠祥,等.生育后期甜瓜果实中营养成分累积变化机制研究[J].江西农业大学学报,2023, 45(4):875-883.
- [13] 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.
- [14] 中国营养学会.中国居民膳食营养素参考摄入量[M].北京:科学出版社,2014.
- [15] WANG C, ZHENG N, WAN S, et al. Assessment of the modes of occurrence of trace elements in agricultural crop residues and their enrichments and bioavailability in Bio-Chars [J]. Biomass Conversion and Biorefinery, 2021, 11(5): 2065-2077.
- [16] 王奇,陈丽娜,彭韵洁,等.五味子中金属元素分析及膳食风险评估[J].食品安全质量检测学报,2022,13(4):1310-1317.
- [17] 贾妙婷,孙天雄,汪莉,等.不同生长期红芪无机元素动态特征探究[J].中成药,2021,43(5):1249-1252.
- [18] 李晶.土壤环境影响下的丹皮品质及其健康风险评估研究[D].合肥:安徽师范大学,2019.
- [19] TAN S M, LUO R M, ZHOU Y P, et al. Boosting partial Least-squares discriminant analysis with application to near infrared spectroscopic tea variety discrimination: BPLS-DA for NIR tea variety discrimination [J]. Journal of Chemometrics, 2012, 26(1-2): 34-39.
- [20] 王小恒,李裕,张芳.模拟气候变暖与干旱复合胁迫对小麦幼苗亚细胞水平Fe、Zn动态积累的影响[J].环境化学,2022,41(9):3106-3114.
- [21] 李艳超,张彦萍,刘海河,等.外源硼对于干旱胁迫下厚皮甜瓜幼苗生长和抗氧化系统的影响[J].河北农业大学学报,2022,45(1):55-60.
- [22] 张哲.施肥措施对番茄和甜瓜生长及果实品质的影响[D].保定:河北农业大学,2015.
- [23] 孙兴祥,周峰,倪玮,等.江苏省西/甜瓜地的土壤养分状况及其对种植年限的响应[J].中国农学通报,2018,34(31): 106-111.
- [24] 董荣,乔丹,慕静怡,等.新疆石河子、伊犁产区酿酒葡萄果实矿质元素特征分析[J].中国酿造,2022,41(6):231-236.
- [25] VARGAS R L D, SCHUCH L O B, BARROS W S, et al. Macronutrients and micronutrients variability in Soybean Seeds [J]. Journal of Agricultural Science, 2018, 10(4): 209.
- [26] LO TURCO V, POTORTÌ A G, TROPEA A, et al. Element analysis of dried figs (*Ficus carica* L.) from the Mediterranean Areas [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2020, 90: 103503.
- [27] MUÑOZ REDONDO J M, BERTOLDI D, TONON A, et al. Multi-element and stable isotopes characterization of commercial avocado fruit (*Persea americana* Mill) with origin authentication purposes [J]. Food Control, 2022, 137: 108975.
- [28] 杨剑洲,龚晶晶,王振亮,等.海南岛半干旱区农用地土壤重金属富集因素、健康风险及来源识别[J].环境科学,2022,43(10):4590-4600.
- [29] 冯一夫,廖启林,季文兵,等.广西岩溶区土壤铁锰结核重金属富集的地质特征[J].高校地质学报,2022,28(6):787-798.
- [30] 王祎,黄来明.土壤中铁锰结核微结构与组分研究进展[J].土壤学报,2023,60(2):317-331.
- [31] 李欢,李建贵.果园微气候及土壤养分对灰枣果实矿物元素含量的影响[J].经济林研究,2016,34(3):8-15.
- [32] 李欢.气象因子对新疆灰枣品质的影响[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2015.
- [33] 吕占斌.个体膳食能量评估及群体膳食模式分析方法研究[D].北京:北京理工大学,2015.
- [34] LEE J, HYUN D H. The interplay between intracellular iron homeostasis and neuroinflammation in neurodegenerative diseases [J]. Antioxidants, 2023, 12(4): 918.
- [35] SUZUKI M, SUZUKI T, WATANABE M, et al. Role of intracellular zinc in molecular and cellular function in allergic inflammatory diseases [J]. Allergology International, 2021, 70(2): 190-200.
- [36] SABATINO L, CONSENTION B B, ROUPHAEL Y, et al. Protein Hydrolysates and Mo-Biofortification interactively modulate plant performance and quality of 'Canasta' lettuce grown in a protected environment [J]. Agronomy, 2021, 11(6): 1023.
- [37] WANG X, SU Z, LI L, et al. Sensitive detection of molybdenum through its catalysis and quenching of gold nanocluster fluorescence [J]. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 2020, 229: 117909.
- [38] 杨纯,邓月,易湘,等.锰对下丘脑GT1-7神经细胞氧化应激与凋亡的影响[J].毒理学杂志,2022,36(2):163-169.