

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250106003

引用格式: 徐寸发, 陈飞, 孙以文, 等. 魏营西瓜营养品质分析评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(6): 254–260.  
XU CF, CHEN F, SUN YW, *et al.* Nutritional quality analysis and evaluation of Weiyong watermelon [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(6): 254–260. (in Chinese with English abstract).

## 魏营西瓜营养品质分析评价

徐寸发<sup>1</sup>, 陈飞<sup>2</sup>, 孙以文<sup>1</sup>, 张伟<sup>3</sup>, 单成俊<sup>1\*</sup>

(1. 江苏省农业科学院公共检测评价鉴定技术中心, 南京 210014; 2. 泗洪县农业农村局, 宿迁 223900;  
3. 泗洪县魏营镇人民政府, 宿迁 223900)

**摘要:** **目的** 分析评价魏营西瓜营养品质, 探究魏营西瓜的营养成分。**方法** 以魏营2个西瓜主产地的“美都”西瓜为研究对象(S1和S2), 以其他2个产地的同品种西瓜为对照(S3和S4), 检测分析4个产地西瓜中的糖、有机酸、氨基酸、矿物质元素、可溶性固形物、 $\beta$ -胡萝卜素、番茄红素和维生素C等营养指标。**结果** 不同产地西瓜营养品质存在一定差异性, 西瓜中糖组分以葡萄糖和果糖为主、有机酸以苹果酸和柠檬为主、游离氨基酸以瓜氨酸为主, 并含丰富矿物质元素; S1和S2的葡萄糖含量、糖酸比和甜酸比均高于S3和S4, 总酸含量则相反; S1和S2的瓜氨酸、 $\beta$ -胡萝卜素、番茄红素和维生素C的含量也均分别高于S3和S4; 基于主成分分析, S1和S2营养品质综合表现均优于S3和S4。**结论** 魏营西瓜具有更好的风味口感, 更丰富的营养成分, 营养品质更佳。

**关键词:** 不同产地; 魏营西瓜; 营养品质; 分析评价

### Nutritional quality analysis and evaluation of Weiyong watermelon

XU Cun-Fa<sup>1</sup>, CHEN Fei<sup>2</sup>, SUN Yi-Wen<sup>1</sup>, ZHANG Wei<sup>3</sup>, SHAN Cheng-Jun<sup>1\*</sup>

(1. Center for Public Detection, Evaluation and Identification, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2. Sihong Agriculture and Rural Bureau, Suqian 223900, China;  
3. Weiyong Town People's Government, Sihong County, Suqian 223900, China)

**ABSTRACT: Objective** To study the nutritional components of Weiyong watermelon for analyze and evaluate the nutritional quality of Weiyong watermelon. **Methods** Namely “Meidu” watermelon from 2 main production areas of Weiyong watermelon (S1 and S2) were used as experimental materials, and the same variety of watermelon from two other production areas (S3 and S4) as controls. The content of sugar, organic acid, amino acid, mineral, soluble solid,  $\beta$ -carotene, lycopene and vitamin C in the watermelons from the 4 production areas were detected and analyzed. **Results** The watermelon from different producing areas exhibited certain variations in quality characteristics. The sugar components in watermelon was mainly glucose and fructose, organic acids was mainly malic acid and lemon, free amino acids was mainly citrulline, and it also contains abundant mineral elements; the glucose content, sugar-acid ratio and sweetness-sourness ratio in S1 and S2 were higher than those in S3 and S4, while the total acid

收稿日期: 2025-01-06

基金项目: 江苏省亚夫专项[KF(2024)1304]

第一作者: 徐寸发(1991—), 男, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为农产品质量安全检测。E-mail: jaasxucunfa@163.com

\*通信作者: 单成俊(1978—), 男, 副研究员, 主要研究方向为农产品质量安全检测。E-mail: 184273913@qq.com

content was the opposite. In addition, the levels of the citrulline,  $\beta$ -carotene, lycopene and vitamin C in S1 and S2 were also higher than those in S3 and S4, respectively. The comprehensive performance of the nutritional quality of S1 and S2 were superior to that of S3 and S4 based on the principal component analysis. **Conclusion** Weiyong watermelon has better flavor and texture, richer nutritional components, and superior nutritional quality.

**KEY WORDS:** different production areas; Weiyong watermelon; nutritional quality; analyze and evaluate

## 0 引言

魏营镇位于宿迁市泗洪县西南岗,地处淮河流域,地形以岗地坡地为主,且四季分明,昼夜温差大,其土壤为黑淤土、岗潮土等,腐殖质含量高,土质肥沃,透气性较好,钾、铁等元素含量丰富<sup>[1]</sup>。该镇种植西瓜(*Citrullus lanatus* L.)的历史已有50余年,良好的水土、温光资源等自然条件为西瓜养分吸收提供了得天独厚的条件,有利于西瓜高品质的形成,魏营西瓜已成为当地特色优势产业。2020年,魏营西瓜获批为国家农产品地理标志登记保护产品(证书号:AGI02836),其具有肉质酥脆细腻、籽少、汁多、味甜、爽口等特征。目前,当地政府正在大力发展魏营西瓜产业,积极打造魏营西瓜品牌。因此,对魏营西瓜营养品质进行研究具有重要的意义。

西瓜是一年生蔓生藤本,属于葫芦科,是世界5大水果之一,生产规模仅次于葡萄、香蕉、柑橘和苹果<sup>[2-3]</sup>。西瓜的品质包括商品品质和营养品质<sup>[4]</sup>。商品品质即外观品相,是指果实大小、形状、果肉颜色、果皮颜色条纹、果皮厚度等外观特征;营养品质则是西瓜内在营养成分,包括总糖、可溶性固形物、膳食纤维等,决定果实的风味<sup>[5-7]</sup>。根据相关文献报道,由于土壤、气候等环境差异,西瓜在各地种植的营养品质、风味口感均有差异。高歌等<sup>[8]</sup>研究发现东台西瓜营养品质优于其他产区西瓜,梁朴等<sup>[9]</sup>研究了宁夏不同地区的麒麟西瓜,得出不同地区西瓜品质有差异,唐桃霞等<sup>[10]</sup>发现靖远地区不同乡镇旱砂西瓜产品品质也存在差异。目前,关于魏营西瓜营养品质的研究极少,仅局限于检测维生素C和可溶性固形物等常规营养品质指标,未见全面的营养品质评价分析的报道。本研究以魏营镇种植规模最大,能代表魏营西瓜的品种‘美都’为研究对象,选取魏营镇2个主产地—欧岗村和刘营村的美都西瓜进行营养成分检测分析,以紧邻魏营镇的上塘镇及南京江宁区横溪街道的美都西瓜为对照,分析评价魏营西瓜的营养品质,以期为魏营西瓜品质提升、品牌打造、产业升级提供理论支撑。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

西瓜样品来源于4个不同产地,以S1~S4标记,S3和S4为对照样品。其中,S1和S2分别来源于泗洪县魏营镇

西瓜主要生产基地的欧岗村和刘营村,S3和S4分别来源于与魏营镇相邻的上塘镇和南京江宁区横溪街道。

蔗糖、葡萄糖、果糖、苹果酸、丙二酸、柠檬酸、富马酸、琥珀酸、苯丙氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、精氨酸、色氨酸、谷氨酰胺、瓜氨酸、天冬氨酸、番茄红素、 $\beta$ -胡萝卜素、抗坏血酸标准品(色谱纯,上海源叶生物科技有限公司);甲醇、乙腈(色谱纯,德国默克公司);丙酮、磷酸、乙醇、氢氧化钠、偏磷酸、磷酸三钠、磷酸二氢钾、酚酞(分析纯,国药集团化学试剂有限公司);总磷、8种金属混合标准品(分析纯,坛墨质检标准物质中心);盐酸、硝酸(优级纯,天津市科密欧化学试剂有限公司)。

### 1.2 仪器与设备

Aglient 1260液相色谱仪、LC 1260 MS G6420A高效液相色谱串联质谱分析仪(美国Aglient公司);iCAP Qc电感耦合等离子体质谱仪(美国Thermo Fisher Scientific公司);Vario macro cube元素分析仪(德国Elementar公司);DHG-9240A电热恒温干燥箱(上海精宏实验设备有限公司);FA2004B电子天平[精度0.1 mg,上海越平科学仪器(苏州)制造有限公司]。

### 1.3 样品采集与处理

每个产地选取大小均匀、自然成熟(生长周期100 d左右)、表面无损伤、单个西瓜重量在4~5 kg、具有代表性的美都西瓜6个。样品采集后,表面清洗干净,采用四分法对西瓜的可食部分等量混合进行研磨匀浆,然后进行相关品质指标检测。

### 1.4 检测项目与方法

蔗糖、葡萄糖、果糖含量参照GB 5009.8—2023《食品安全国家标准 食品中果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖的测定》测定。

有机酸含量参照GB 5009.157—2016《食品安全国家标准 食品中有机酸的测定》测定。

游离氨基酸含量参照GB/T 30987—2020《植物中游离氨基酸的测定》测定。

矿物质元素含量参照GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》测定。

含水量参照GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》测定。

番茄红素和 $\beta$ -胡萝卜素含量参照GB/T 41133—2022

《番茄制品中番茄红素、叶黄素、胡萝卜素含量的测定 超高效液相色谱法》测定。

维生素 C 含量参照 GB 5009.86—2016《食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定》测定。

蛋白质含量参照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》测定。

可溶性固形物含量参照 NY/T 2637—2014《水果和蔬菜可溶性固形物含量的测定 折射仪法》测定。

总酸含量参照 GB 12456—2021《食品安全国家标准 食品中总酸的测定》测定。

可溶性膳食纤维含量参照 GB/T 22224—2008《食品中膳食纤维的测定 酶重量法和酶重量法-液相色谱法》测定。

甜度值参照张素敏等<sup>[11]</sup>的方法, 即甜度=蔗糖×1+果糖×1.75+葡萄糖×0.75; 糖酸比=可溶性固形物/总酸; 甜酸比=甜度/总酸。

## 1.5 数据处理

集样品重复测定 3 次, 试验数据结果用平均值±标准偏差表示。数据采用 Excel 2003 进行处理, 运用 SPSS 20.0 分析软件对数据进行主成分分析和最小显著差别(least significant difference, LSD)检验, 设置  $P < 0.05$  为显著性差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同产地西瓜的糖含量分析

根据表 1 可知, 不同产地西瓜中蔗糖、葡萄糖和果糖含量均有差异, 葡萄糖和果糖含量分别在 29.17~40.89 mg/g 之间和 36.59~42.59 mg/g 之间, 均高于蔗糖含量(18.12~24.23 mg/g)。其中, S1 和 S2 的葡萄糖含量分别达到 40.05 mg/g 和 40.89 mg/g, 均分别高于 S3 和 S4, 显著高于 S3 的 29.17 mg/g ( $P < 0.05$ ), 而 S1 的蔗糖和果糖含量(18.12 mg/g 和 36.59 mg/g)则均略低于其他 3 个产地。相比之下, 整体上 S2 在糖分积累方面表现更佳, 蔗糖、葡萄糖和果糖的总含量达到 107.56 mg/g, 显著高于其他 3 个产地( $P < 0.05$ )。

表 1 不同产地西瓜糖含量(mg/g)

Table 1 Content of sugar of different producing areas of watermelon (mg/g)

样品	蔗糖	葡萄糖	果糖	合计
S1	18.12±1.11 <sup>b</sup>	40.05±1.32 <sup>a</sup>	36.59±1.53 <sup>a</sup>	94.75±1.99 <sup>b</sup>
S2	24.09±0.65 <sup>a</sup>	40.89±1.12 <sup>a</sup>	42.59±1.26 <sup>a</sup>	107.56±2.51 <sup>a</sup>
S3	24.23±0.39 <sup>a</sup>	29.17±0.75 <sup>b</sup>	39.47±1.64 <sup>a</sup>	97.99±1.36 <sup>b</sup>
S4	19.08±0.30 <sup>b</sup>	39.23±1.20 <sup>a</sup>	38.16±1.28 <sup>a</sup>	96.47±2.03 <sup>b</sup>

注: 同列不同小写字母表示在 0.05 水平上显著差异( $P < 0.05$ ), 下表同。

### 2.2 不同产地西瓜的有机酸含量分析

根据表 2 可知, 不同产地西瓜中有机酸主要包括苹果

酸、丙二酸、柠檬酸、富马酸和琥珀酸, 其中苹果酸是构成有机酸的主要成分, 介于 318.44~408.49 mg/100 g 之间, 占比 80.70%~84.21%, 其次是柠檬酸, 介于 65.90~68.21 mg/100 g 之间, 占比 14.02%~17.28%, 其余几种有机酸含量较低。S1 的苹果酸和 S2 的柠檬酸含量最高, 分别为 408.49 mg/100 g 和 68.21 mg/100 g。另外, S1 的琥珀酸含量最高, 显著高于其他 3 个产地( $P < 0.05$ ), S1 和 S2 的丙二酸、柠檬酸和富马酸含量均分别高于 S3 和 S4。相比之下, 整体上 S1 有机酸积累更丰富, 其总含量为 485.64 mg/100 g, 高于其他 3 个产地。

表 2 不同产地西瓜有机酸含量(mg/100 g)

Table 2 Content of organic acid of different producing areas of watermelon (mg/100 g)

样品	苹果酸	丙二酸	柠檬酸	富马酸	琥珀酸	合计
S1	408.49±14.01 <sup>a</sup>	0.71±0.06 <sup>a</sup>	68.12±5.12 <sup>a</sup>	4.45±0.88 <sup>a</sup>	3.87±0.85 <sup>a</sup>	485.64±35.12 <sup>a</sup>
S2	318.44±20.12 <sup>b</sup>	0.68±0.08 <sup>a</sup>	68.21±4.20 <sup>a</sup>	5.24±0.97 <sup>a</sup>	2.04±0.71 <sup>b</sup>	394.60±29.15 <sup>b</sup>
S3	400.37±31.23 <sup>a</sup>	0.61±0.05 <sup>a</sup>	67.10±5.10 <sup>a</sup>	4.15±1.02 <sup>a</sup>	3.17±0.91 <sup>b</sup>	475.40±34.12 <sup>a</sup>
S4	372.85±25.12 <sup>a</sup>	0.50±0.06 <sup>b</sup>	65.90±4.21 <sup>a</sup>	3.99±0.98 <sup>a</sup>	1.45±0.59 <sup>b</sup>	444.68±40.01 <sup>a</sup>

### 2.3 不同产地西瓜糖酸比和甜酸比分析

不同产地西瓜糖酸比和甜酸比如表 3 所示。不同产地西瓜的可溶性固形物含量在 11.31%~13.10%之间, 总酸含量在 0.11%~0.15%之间, 其中, 可溶性固形物含量依次为 S2>S3>S1>S4, 总酸含量依次为 S2<S1<S4<S3, 且 S1 和 S2 的总酸均分别显著低于 S3 和 S4 ( $P < 0.05$ )。另外, 糖酸比和甜酸比是重要的口感指标, 不同产地西瓜糖酸比在 80.96~122.12 之间, 依次为 S2>S1>S3>S4; 甜酸比在 77.05~119.77 之间, 依次为 S2>S1>S4>S3。因此, 可以得知, S1 和 S2 的在口感表现均比 S3 和 S4 更好, 尤其是 S2。

表 3 不同产地西瓜糖酸比和甜酸比

Table 3 Sugar-acid ratio and sweet-acid ratio of different producing areas of watermelon

样品	可溶性固形物/%	总酸/%	糖酸比	甜酸比
S1	11.70±0.34 <sup>a</sup>	0.12±0.01 <sup>b</sup>	98.11±9.02 <sup>b</sup>	93.49±3.27 <sup>b</sup>
S2	13.10±0.31 <sup>a</sup>	0.11±0.02 <sup>b</sup>	122.12±20.73 <sup>a</sup>	119.77±15.29 <sup>a</sup>
S3	12.02±0.21 <sup>a</sup>	0.15±0.01 <sup>a</sup>	87.08±5.84 <sup>b</sup>	77.05±5.27 <sup>b</sup>
S4	11.31±0.37 <sup>a</sup>	0.14±0.01 <sup>a</sup>	80.96±2.57 <sup>b</sup>	82.74±6.85 <sup>b</sup>

### 2.4 不同产地西瓜游离氨基酸含量分析

根据表 4 可知, 不同产地西瓜中均含有多种游离氨基酸, 且以瓜氨酸为主, 其含量在 1.61~2.49 g/kg 之间, 占比 51.51%~56.33%。其中, S1 和 S2 的瓜氨酸含量分别为 2.31 g/kg 和 2.49 g/kg, 均分别高于 S3 和 S4 (2.21 g/kg 和 1.61 g/kg), 尤其是 S2 的瓜氨酸含量显著高于 S4 ( $P < 0.05$ )。另外, 苯丙氨酸、

表 4 不同产地西瓜氨基酸含量(g/kg)  
Table 4 Content of amino acid of different producing areas of watermelon (g/kg)

样品	苯丙氨酸	亮氨酸	异亮氨酸	精氨酸	色氨酸	谷氨酰胺	瓜氨酸	天冬氨酸	合计
S1	0.37±0.09 <sup>a</sup>	0.19±0.04 <sup>a</sup>	0.45±0.07 <sup>a</sup>	0.31±0.06 <sup>a</sup>	0.28±0.04 <sup>a</sup>	0.37±0.09 <sup>a</sup>	2.31±0.52 <sup>a</sup>	0.14±0.04 <sup>a</sup>	4.42±0.98 <sup>a</sup>
S2	0.35±0.06 <sup>a</sup>	0.22±0.08 <sup>a</sup>	0.44±0.09 <sup>a</sup>	0.28±0.05 <sup>a</sup>	0.30±0.05 <sup>a</sup>	0.23±0.06 <sup>a</sup>	2.49±0.35 <sup>a</sup>	0.10±0.01 <sup>a</sup>	4.42±0.85 <sup>a</sup>
S3	0.41±0.08 <sup>a</sup>	0.23±0.06 <sup>a</sup>	0.49±0.10 <sup>a</sup>	0.27±0.06 <sup>a</sup>	0.34±0.03 <sup>a</sup>	0.24±0.08 <sup>a</sup>	2.21±0.45 <sup>a</sup>	0.10±0.03 <sup>a</sup>	4.29±0.92 <sup>a</sup>
S4	0.23±0.05 <sup>b</sup>	0.13±0.04 <sup>a</sup>	0.30±0.06 <sup>b</sup>	0.26±0.04 <sup>a</sup>	0.12±0.01 <sup>a</sup>	0.19±0.05 <sup>b</sup>	1.61±0.38 <sup>b</sup>	0.14±0.04 <sup>a</sup>	2.99±0.75 <sup>a</sup>

亮氨酸、异亮氨酸、精氨酸、色氨酸、谷氨酰胺和天冬氨酸含量相对较低, 在 0.10~0.50 g/kg 之间; 所测游离氨基酸的总量在 2.99~4.42 g/kg 之间, 依次为 S1=S2>S3>S4, 可见魏营西瓜主产区西瓜中游游离氨基酸含量比其他 2 个产地更高。

### 2.5 不同产地西瓜矿物质元素含量分析

西瓜矿物质元素含量检测结果如表 5 所示。不同产地西瓜中含有丰富的矿物质元素, 且钾、镁、磷和钙元素含量较高, 分别在 434.12~493.10 mg/kg、91.01~149.16 mg/kg、84.23~109.41 mg/kg 和 42.21~73.10 mg/kg 之间。S1 的锌、钙、钾和磷元素含量最高, 且锌、钙和钾含量显著高于其他 3 个产地( $P<0.05$ ); S2 除钠元素含量显著高于其他 3 个产地外, 其他元素含量较低; S3 的铜、铁、镁和锰元素含量最高, 钾和钠元素最低; S4 的铜和锰元素含量最低。由此可见, 不同产地西瓜矿物质元素含量有一定差异。

### 2.6 不同产地西瓜其他品质成分含量分析

由表 6 可知, 不同产地西瓜含水量差异小, 在 90.01%~91.65% 之间, S1 和 S2 的  $\beta$ -胡萝卜素(分别为 5.83  $\mu\text{g/g}$  和 2.53  $\mu\text{g/g}$ )、番茄红素(分别为 4.29  $\mu\text{g/g}$  和 2.09  $\mu\text{g/g}$ )和维生素 C 含量(分别为 5.88 mg/100 g 和 5.91 mg/100 g) 均分

别高于 S3 和 S4, 尤其 S1 的  $\beta$ -胡萝卜素和番茄红素含量显著高于其他 3 个产地( $P<0.05$ )。同时, 蛋白质和可溶性膳食纤维含量分别介于 0.72~0.91 g/100g 和 2.25%~3.57% 之间, 并且 S4 蛋白质和 S3 可溶性膳食纤维含量最高。由此可见, 不同产地西瓜中上述营养成分方面具有一定差异性。

### 2.7 不同产地西瓜营养成分的主成分分析和综合评价

通过对不同产地西瓜营养品质指标进行主成分分析, 由表 7 和表 8 可知, 前 4 个主成分的累计方差贡献率为 85.694%。第 1 个主成分的特征值为 10.157, 方差贡献率为 29.019%, 葡萄糖、糖酸比、甜酸比、镁、锰、磷、维生素 C、蛋白质和可溶性膳食纤维含量的载荷均在 0.70 以上; 第 2 个主成分方差贡献率为 24.673%, 决定其大小的指标主要是蔗糖、苯丙氨酸、亮氨酸、色氨酸、钙、铜和钾; 第 3 个主成分方差贡献率为 18.895%, 总酸、可溶性固形物、谷氨酰胺和瓜氨酸的载荷较大; 第 4 个主成分方差贡献率为 13.106%, 载荷较大的指标为苹果酸含量。

表 5 不同产地西瓜矿物质元素含量(mg/kg)  
Table 5 Content of mineral element of different producing areas of watermelon (mg/kg)

样品	锌	钙	铜	铁	钾	镁	锰	钠	磷
S1	0.34±0.08 <sup>a</sup>	73.10±10.27 <sup>a</sup>	0.22±0.07 <sup>a</sup>	1.88±0.65 <sup>a</sup>	493.10±25.15 <sup>a</sup>	116.11±28.41 <sup>a</sup>	0.23±0.08 <sup>a</sup>	7.91±0.19 <sup>a</sup>	109.41±23.12 <sup>a</sup>
S2	0.22±0.05 <sup>b</sup>	42.21±8.25 <sup>b</sup>	0.16±0.05 <sup>a</sup>	1.66±0.51 <sup>a</sup>	455.02±30.56 <sup>b</sup>	91.01±23.12 <sup>b</sup>	0.26±0.07 <sup>a</sup>	10.22±2.15 <sup>b</sup>	84.23±17.23 <sup>a</sup>
S3	0.26±0.05 <sup>b</sup>	44.70±6.22 <sup>b</sup>	0.59±0.10 <sup>b</sup>	2.52±0.84 <sup>a</sup>	434.12±40.11 <sup>b</sup>	149.16±20.48 <sup>c</sup>	3.21±0.25 <sup>b</sup>	5.59±0.09 <sup>c</sup>	100.15±12.44 <sup>a</sup>
S4	0.22±0.02 <sup>b</sup>	56.10±16.33 <sup>c</sup>	0.14±0.06 <sup>a</sup>	1.90±0.68 <sup>a</sup>	457.17±45.23 <sup>b</sup>	93.26±18.16 <sup>b</sup>	0.19±0.06 <sup>a</sup>	8.29±1.23 <sup>a</sup>	94.42±16.50 <sup>a</sup>

表 6 不同产地西瓜其他品质成分含量  
Table 6 Content of other quality components of different producing areas of watermelon

样品	含水量/%	$\beta$ -胡萝卜素( $\mu\text{g/g}$ )	番茄红素( $\mu\text{g/g}$ )	维生素 C/(mg/100 g)	蛋白质/(g/100 g)	可溶性膳食纤维/%
S1	90.01±0.80 <sup>a</sup>	5.83±0.98 <sup>a</sup>	4.29±0.23 <sup>a</sup>	5.88±0.52 <sup>a</sup>	0.83±0.08 <sup>a</sup>	3.37±0.35 <sup>a</sup>
S2	90.70±1.21 <sup>a</sup>	2.53±0.60 <sup>b</sup>	2.09±0.16 <sup>b</sup>	5.91±0.45 <sup>a</sup>	0.83±0.06 <sup>a</sup>	2.46±0.24 <sup>b</sup>
S3	90.34±0.84 <sup>a</sup>	0.95±0.12 <sup>c</sup>	0.80±0.09 <sup>c</sup>	4.91±0.26 <sup>a</sup>	0.72±0.03 <sup>b</sup>	3.57±0.41 <sup>a</sup>
S4	91.65±0.96 <sup>a</sup>	1.88±0.35 <sup>b</sup>	1.57±0.12 <sup>d</sup>	5.48±0.39 <sup>a</sup>	0.91±0.04 <sup>a</sup>	2.25±0.22 <sup>b</sup>

表 7 不同产地西瓜营养指标的主成分分析

Table 7 Principal component analysis of nutritional indices of watermelon from different producing areas

成分	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%
1	10.157	29.019	29.019
2	8.636	24.673	53.693
3	6.613	18.895	72.587
4	4.587	13.106	85.694
5	2.000	5.715	91.409
6	1.812	5.178	96.587
7	1.095	3.130	99.717
8	0.049	0.141	99.858
9	0.042	0.119	99.977
10	0.008	0.023	100.000

表 8 主成分载荷矩阵

Table 8 Principal component loadings matrix

指标	PC1	PC2	PC3	PC4
蔗糖	0.027	0.808	0.104	-0.574
葡萄糖	0.819	-0.500	0.198	0.120
果糖	0.589	0.513	0.108	-0.471
苹果酸	-0.53	0.137	-0.148	0.706
丙二酸	0.413	0.555	0.578	0.408
柠檬酸	0.513	0.391	-0.019	0.277
富马酸	0.466	-0.204	0.522	-0.352
琥珀酸	-0.677	0.054	0.616	0.246
可溶性固形物	0.291	0.361	0.711	-0.413
总酸	-0.254	0.445	-0.762	0.361
糖酸比	0.756	0.406	0.415	-0.061
甜酸比	0.754	0.064	0.432	-0.205
苯丙氨酸	0.084	0.883	0.244	0.372
亮氨酸	0.298	0.884	0.094	0.285
异亮氨酸	-0.131	0.664	0.446	0.164
精氨酸	0.539	0.494	0.002	0.664
色氨酸	-0.029	0.874	0.445	0.060
谷氨酰胺	-0.495	-0.407	0.725	0.110
瓜氨酸	0.018	0.232	0.714	-0.373
天冬氨酸	-0.041	-0.609	-0.163	0.349
锌	-0.479	-0.239	0.459	0.471
钙	-0.334	-0.768	0.302	0.295
铜	-0.635	0.709	-0.133	0.158
铁	-0.525	0.062	0.049	-0.351
钾	-0.230	-0.755	0.515	-0.138
镁	-0.943	0.109	0.205	-0.135
锰	-0.712	0.662	-0.136	-0.120
钠	0.493	-0.515	0.412	-0.461
磷	-0.767	-0.251	0.496	0.088
含水量	0.465	-0.010	-0.678	0.152
$\beta$ -胡萝卜素	0.364	-0.235	0.548	0.664
番茄红素	0.323	-0.353	0.612	0.613
维生素 C	0.885	0.023	0.204	0.350
蛋白质	0.763	-0.341	-0.385	0.271
可溶性膳食纤维	-0.830	0.232	0.429	0.135

根据前 4 个主成分的累计贡献率超过 85%，以前 4 个主成分建立不同产地西瓜营养品质指标的比较综合模型。以各个主成分的特征值和载荷值计算特征向量，得到表达式：

$$Y_1=0.009X_1+0.257X_2+0.185X_3-0.166X_4+0.130X_5+0.161X_6+0.146X_7-0.213X_8+0.091X_9-0.080X_{10}+0.237X_{11}+0.236X_{12}+0.026X_{13}+0.094X_{14}-0.041X_{15}+0.169X_{16}-0.009X_{17}-0.155X_{18}+0.006X_{19}-0.013X_{20}-0.150X_{21}-0.105X_{22}-0.199X_{23}-0.165X_{24}-0.072X_{25}-0.296X_{26}-0.223X_{27}+0.155X_{28}-0.241X_{29}+0.146X_{30}+0.114X_{31}+0.102X_{32}+0.278X_{33}+0.239X_{34}-0.260X_{35}$$

$$Y_2=0.275X_1-0.170X_2+0.174X_3+0.147X_4+0.189X_5+0.133X_6-0.069X_7+0.018X_8+0.123X_9+0.151X_{10}+0.138X_{11}+0.022X_{12}+0.300X_{13}+0.301X_{14}+0.226X_{15}+0.168X_{16}+0.297X_{17}-0.139X_{18}+0.079X_{19}-0.207X_{20}-0.081X_{21}-0.262X_{22}+0.241X_{23}+0.021X_{24}-0.257X_{25}+0.037X_{26}+0.225X_{27}-0.175X_{28}-0.086X_{29}-0.003X_{30}-0.080X_{31}-0.120X_{32}+0.008X_{33}-0.116X_{34}+0.079X_{35}$$

$$Y_3=0.041X_1+0.077X_2+0.042X_3-0.057X_4+0.225X_5-0.007X_6+0.203X_7+0.240X_8+0.276X_9-0.296X_{10}+0.162X_{11}+0.168X_{12}+0.095X_{13}+0.037X_{14}+0.173X_{15}+0.001X_{16}+0.173X_{17}+0.282X_{18}+0.278X_{19}-0.064X_{20}+0.179X_{21}+0.118X_{22}-0.052X_{23}+0.019X_{24}+0.200X_{25}+0.080X_{26}-0.053X_{27}+0.160X_{28}+0.193X_{29}-0.264X_{30}+0.213X_{31}+0.238X_{32}+0.079X_{33}-0.150X_{34}+0.167X_{35}$$

$$Y_4=0.268X_1+0.056X_2-0.220X_3+0.330X_4+0.191X_5+0.130X_6-0.164X_7+0.115X_8-0.193X_9+0.168X_{10}-0.029X_{11}-0.096X_{12}+0.174X_{13}+0.133X_{14}+0.076X_{15}+0.310X_{16}+0.028X_{17}+0.052X_{18}-0.174X_{19}+0.163X_{20}+0.220X_{21}+0.138X_{22}+0.074X_{23}-0.164X_{24}-0.065X_{25}-0.063X_{26}-0.056X_{27}-0.215X_{28}+0.041X_{29}+0.071X_{30}+0.310X_{31}+0.286X_{32}+0.164X_{33}+0.126X_{34}+0.063X_{35}$$

以上 4 个表达式中， $X_1$  为蔗糖、 $X_2$  为葡萄糖、 $X_3$  为果糖、 $X_4$  为苹果酸、 $X_5$  为丙二酸、 $X_6$  为柠檬酸、 $X_7$  为富马酸、 $X_8$  为琥珀酸、 $X_9$  为可溶性固形物、 $X_{10}$  为总酸、 $X_{11}$  为糖酸比、 $X_{12}$  为甜酸比、 $X_{13}$  为苯丙氨酸、 $X_{14}$  为亮氨酸、 $X_{15}$  为异亮氨酸、 $X_{16}$  为精氨酸、 $X_{17}$  为色氨酸、 $X_{18}$  为谷氨酰胺、 $X_{19}$  为瓜氨酸、 $X_{20}$  为天冬氨酸、 $X_{21}$  为锌、 $X_{22}$  为钙、 $X_{23}$  为铜、 $X_{24}$  为铁、 $X_{25}$  为钾、 $X_{26}$  为镁、 $X_{27}$  为锰、 $X_{28}$  为钠、 $X_{29}$  为磷、 $X_{30}$  为含水量、 $X_{31}$  为  $\beta$ -胡萝卜素、 $X_{32}$  为番茄红素、 $X_{33}$  为维生素 C、 $X_{34}$  为蛋白质、 $X_{35}$  为可溶性膳食纤维。以各个主成分对应的方差贡献率为权重，由主成分得分和对应的权重线性加权求和得到综合评价函数： $Z=0.339Y_1+0.288Y_2+0.220Y_3+0.153Y_4$ ，计算 4 个不同产地西瓜营养品质的综合得分，由表 9 可知，得分依次为  $S_2>S_1>S_3>S_4$ 。

表 9 不同产地西瓜主成分综合得分排名

Table 9 Ranking of comprehensive scores of principal component of watermelon from different producing areas

样品	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	得分	排名
S1	-0.45	-1.71	3.02	3.18	0.51	2
S2	3.15	0.81	1.75	-1.84	1.40	1
S3	-3.47	3.10	-0.69	-0.24	-0.47	3
S4	0.62	-2.77	-3.08	-0.04	-1.27	4

### 3 讨论

据现有文献报道，西瓜果实成熟时糖组分主要为果

糖和葡萄糖<sup>[12-13]</sup>,这与本研究得出不同产地西瓜糖组分中的葡萄糖和果糖占比较大结论是一致的,但也有研究发现有些品种西瓜果实成熟时糖组分以蔗糖为主<sup>[14]</sup>,这可能是西瓜果实糖分的积累除了自身遗传因素外,同时受到产地环境影响较大。杨玉梅等<sup>[15]</sup>研究发现昼夜温度与可溶性糖含量呈正比关系,S1和S2的葡萄糖含量分别高于S3和S4,总酸则反之,这可能说明与魏营地区当地昼夜温差大等气候条件确实有利于西瓜糖分的积累。

可溶性固形物是果蔬中糖类以及各种可溶于水的其他物质的总称<sup>[16]</sup>。由可溶性固形物、总酸和可溶性糖得到的糖酸比、甜酸比是影响西瓜风味的重要因素,是水果特征口味指标,直接影响水果口感<sup>[17-20]</sup>。本研究结果显示,S2的可溶性固形物含量最高,S1的略低于S3,但是S1和S2的糖酸比、甜酸比均高于S3和S4,表明S1和S2在口感上表现更佳。有机酸是决定水果风味的重要成分<sup>[21]</sup>,DUNE等<sup>[22]</sup>,刘景安<sup>[23]</sup>,GAO等<sup>[24]</sup>研究表明西瓜成熟果实中有机酸主要为苹果酸,其次是柠檬酸,与本研究结论一致,这可能和西瓜自身特性有关,但是可能因不同产地的环境、种植技术、管理模式等导致其有机酸含量有一定的差异性。

游离氨基酸作为植物体内重要的组分之一,在植物生长发育过程中发挥着重大作用<sup>[25]</sup>,可通过多种代谢途径形成有机酸、糖类、香气物质等风味营养物质<sup>[26]</sup>。有研究表明,瓜氨酸、亮氨酸、精氨酸、色氨酸、谷氨酰胺和天冬氨酸对人体都有很高的营养价值,比如瓜氨酸具有保护心肺,增强免疫力作用,谷氨酰胺是人体中含量最丰富的循环性氨基酸,是免疫细胞基因表达的重要组成部分<sup>[27]</sup>。本研究对西瓜中游离氨基酸进行分析,结果表明,不同产地西瓜游离氨基酸中瓜氨酸含量最高,占总游离氨基酸的51.51%~56.33%,这与万学闯等<sup>[28]</sup>、杨东东等<sup>[29]</sup>研究得出的西瓜果实氨基酸中是瓜氨酸含量最高的结论一致;同时,S1和S2的瓜氨酸、 $\beta$ -胡萝卜素、番茄红素和维生素C含量均比S3和S4高,这在某种程度上表明魏营西瓜营养品质相比其他2产地西瓜更佳,可能受不同产地环境的土壤、气候等因素的影响较大,与产地环境的具体关联性有待进一步研究。

矿物质元素是构成有机体组织的重要物质,人体必须每天摄入一定量矿物质营养来维持身体的正常需要。西瓜矿物质含量和产地土壤条件密切相关,钾肥用量、土壤有效钾含量均影响西瓜矿物质元素<sup>[30-31]</sup>。本研究结果显示,西瓜中含量丰富的矿物质元素,包括锌、钙、铜、铁、钾、镁、锰、钠、磷,不同产地西瓜的矿物质元素含量有一定差异。相比其他3个产地,S1的锌、钙、钾和磷元素含量最高,可能与该产地施肥管理及土壤环境关系较大。

单一的营养指标很难去全面评价西瓜的营养品质。主成分分析能够用少量综合指标代替原来多个指标的大部分信息,可以在不损失或者较少损失原有信息的情况下对指标进行综合评价。本研究应用主成分分析的方法以累计贡

献率大于85%的4个主成分对4个不同产地西瓜的营养指标进行综合评价,结果表明,S1和S2的营养品质优于S3和S4,说明魏营主产地的西瓜营养成分含量的综合表现较其他2产地更高,营养品质更佳。

## 4 结论

不同产地西瓜中的糖、有机酸、氨基酸、矿物质、蛋白质、维生素C、可溶性固形物、可溶性膳食纤维、番茄红素等含量存在一定差异。西瓜中糖组分以葡萄糖和果糖为主、有机酸以苹果酸和柠檬酸为主、游离氨基酸中以瓜氨酸为主,并含丰富矿物质元素。S1的葡萄糖、瓜氨酸、 $\beta$ -胡萝卜素、番茄红素和维生素C含量分别为40.05 mg/g、2.31 g/kg、5.83  $\mu$ g/g、4.29  $\mu$ g/g和5.88 mg/100 g,S2的分别为40.89 mg/g、2.49 g/kg、2.53  $\mu$ g/g、2.09  $\mu$ g/g和5.91 mg/100 g,分别均高于S3和S4;糖酸比依次为S2>S1>S3>S4,甜酸比S2>S1>S4>S3;营养品质综合评价得分为S2>S1>S3>S4。因此,魏营西瓜相比其他2产地的具有更好的风味口感和营养品质表现。

## 参考文献

- [1] 单成俊,徐寸发,陈飞,等.农产品区域公用品牌打造路径研究——以魏营西瓜为例[J].农业科技管理,2024,43(5):72-75.  
SHAN CJ, XU CF, CHEN F, et al. Research on the construction path of regional public brands of agricultural products, taking Weiyong watermelon as an example [J]. Management of Agricultural Science and Technology, 2024, 43(5): 72-75.
- [2] MASHILO J, SHIMELIS H, MAJA D, et al. Meta-analysis of qualitative and quantitative trait variation in sweet watermelon and citron watermelon genetic resources [J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 2023, 70(1): 13-35.
- [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.  
YANG N, SUN YZ, WU JX. Analysis of regional advantages of watermelon and melon in China [J]. China Cucurbits and Vegetables, 2016, 29(3): 14-18.
- [4] 李婷,宋曙辉,王正荣,等.北京地区不同品种西瓜果实的品质分析[J].食品工业科技,2024,45(9):265-271.  
LI T, SONG SH, WANG ZR, et al. Quality analysis of different varieties of watermelon fruits in Beijing [J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(9): 265-271.
- [5] 李晶,郁继华,武玥,等.不同小果型西瓜品种品质评价[J].中国瓜菜,2020,33(11):61-67.  
LI J, YU JH, WU Y, et al. Quality evaluation of different small fruit watermelon varieties [J]. China Cucurbits and Vegetables, 2020, 33(11): 61-67.
- [6] 高磊,刘文革,赵胜杰,等.酸甜风味西瓜新品种'SW'选育[J].中国瓜菜,2019,32(8):162-163.  
GAO L, LIU WG, ZHAO SJ, et al. SW, a new watermelon variety with a sweet and sour flavor [J]. China Cucurbits and Vegetables, 2019, 32(8): 162-163.
- [7] 赵丹,瑶艳君,马雪,等.新疆库勒香梨品质分析与评价[J].食品安全质量检测学报,2022,13(20):6637-6644.  
ZHAO D, JU YJ, MA X, et al. Quality analysis and evaluation of Korla

- Pear [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2022, 13(20): 6637–6644.
- [8] 高歌, 荆丽丽, 张小春, 等. 东台西瓜品质分析及产地环境评价[J]. *农产品质量与安全*, 2024, 2: 11–17.  
GAO G, JIN LL, ZHANG XC, *et al.* Analysis of Dongtai watermelon quality and evaluation of production environment [J]. *Quality and Safety of Agro-Products*, 2024, 2: 11–17.
- [9] 梁朴, 田淑霞, 杨秀秀, 等. 宁夏麒麟瓜品质检测分析与评价[J]. *园艺与种苗*, 2024, 44(1): 40–44.  
LIANG P, TIAN SX, YANG XX, *et al.* Analysis and evaluation of quality of Ningxia Kylin melon [J]. *Horticulture & Seed*, 2024, 44(1): 40–44.
- [10] 唐桃霞, 任凯丽, 苏永全, 等. 靖远早砂西瓜产地环境及产品品质分析与评价[J]. *食品与发酵工业*, 2023, 49(16): 159–167.  
TANG TX, REN KL, SU YQ, *et al.* Analysis and evaluation of environment and product quality of production area of watermelon in dry sand land of Jingyuan [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2023, 49(16): 159–167.
- [11] 张素敏, 杨巍, 王柏松. 5个露地中晚熟桃品种果实糖酸组分研究[J]. *中国果树*, 2022(11): 59–62, 71.  
ZHANG SM, YANG W, WANG BS. Research on the sugar-acid components of fruits from five open-field late-maturing peach varieties [J]. *China Fruits*, 2022(11): 59–62, 71.
- [12] 万学闪, 芦金生, 刘文革, 等. 西瓜果实发育过程中不同糖含量的变化[J]. *中国瓜菜*, 2011, 24(5): 5–9.  
WAN XS, LU JS, LIU WG, *et al.* Content of difference sugars during watermelon fruits development [J]. *China Cucurbits and Vegetables*, 2011, 24(5): 5–9.
- [13] 孙晓红, 刘军军, 蓝蔚青, 等. 气味指纹技术在水产品品质评价中的应用研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(5): 314–320.  
SUN XH, LIU JJ, LAN WQ, *et al.* Research progress on the application of odor fingerprint technology in quality evaluation of aquatic products [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(5): 314–320.
- [14] GUO SG, ZHAO SJ, SUN HH, *et al.* Resequencing of 414 cultivated and wild watermelon accessions identifies selection for fruit quality traits [J]. *Nature Genetics*, 2019, 51(11): 1616–1623.
- [15] 杨玉梅, 张显, 于蓉, 等. 西瓜不同种质资源糖分积累规律的研究[J]. *西北农业学报*, 2006, 15(6): 111–113.  
YANG YM, ZHANG X, YU R, *et al.* Studies on sugar accumulation of different watermelon germplasm [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2006, 15(6): 111–113.
- [16] 沈懋生, 赵娟. 基于近红外光谱技术检测苹果气调贮藏期可溶性固形物含量[J]. *食品安全质量检测学报*, 2022, 13(17): 5495–5503.  
SHEN MS, ZHAO J. Determination of soluble solid content in apples during air-conditioned storage based on near infrared spectroscopy [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2019, 13(17): 5495–5503.
- [17] 赵胜杰, 高磊, 路绪强, 等. 不同类型西瓜果实糖酸组分含量分析[J]. *中国瓜菜*, 2017, 30(8): 7–11.  
ZHAO SJ, GAO L, LU XQ, *et al.* Analysis of components and contents of soluble sugars and organic acids in watermelon germplasm [J]. *China Cucurbits and Vegetables*, 2017, 30(8): 7–11.
- [18] 张乐. 不同昼夜温差对酿酒葡萄赤霞珠植株生长和果实品质的影响及转录组分析[D]. 宁夏: 宁夏大学, 2022.  
ZHANG L. Effect of different diurnal amplitude on plant growth and fruit quality of cabernet sauvignon and transcriptome analysis [D]. Ningxia: Ningxia University, 2022.
- [19] REN Y, SUN H, ZONG M, *et al.* Localization shift of a sugar transporter contributes to phloem unloading in sweet watermelons [J]. *New Phytologist*, 2020, 227(6): 1858–1871.
- [20] 李婷, 宋曙辉, 王正荣, 等. 人工授粉和药剂授粉对小型西瓜果实品质的影响对比分析[J]. *食品质量安全检测学报*, 2024, 15(17): 232–237.  
LI T, SONG SH, WANG ZR, *et al.* Comparative analysis of effects of artificial pollination and pharmaceutical pollination on fruit quality of small watermelon [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2024, 15(17): 232–237.
- [21] ZHANG HJ, YUAN YS, ZHANG Y, *et al.* Transcriptome and metabolome analysis of fruit firmness and organic acids in two different varieties of melon (*Cucumis melo* L.) [J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2023, 45(8): 64–74.
- [22] DUNE N, DAVID H. Effect of storage temperature on sugar and organic acid contents of watermelon [J]. *HortScience*, 1986, 21(4): 1031–1033.
- [23] 刘景安. 西瓜果实品质形成的生理生化机制与基因表达谱研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2013.  
LIU JAN. Analyses of physiological and biochemical mechanism and gene expression profile of fruit quality development in Watermelon [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences Dissertation, 2013.
- [24] GAO L, ZHAO SJ, LU XQ, *et al.* Comparative transcriptome analysis reveals key genes potentially related to soluble sugar and organic acid accumulation in watermelon [J]. *PLoS One*, 2018, 13(1): 96–118.
- [25] 仇奕之, 李宜坤, 杨鹏军. 甘氨酸对不同胁迫条件下高山离子芥试管苗的保护作用[J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2018, 54(2): 200–207.  
QIU YZ, LI YK, YANG PJ, *et al.* Protective effects of glycine on *Chorispora bungeana* plantlets under different stresses [J]. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 2018, 54(2): 200–207.
- [26] 王莹, 史振声, 王志斌, 等. 植物对氨基酸的吸收利用及氨基酸在农业中的应用[J]. *中国土壤与肥料*, 2008(1): 6–11.  
WANG Y, SHI ZS, WANG ZB, *et al.* Absorption and utilization of amino acids by plant and application of amino acids on agriculture [J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2008(1): 6–11.
- [27] MCCARTY MF, O'KEEFE JH, DINICOLANTONIO JJ. Dietary glycine is rate-limiting for glutathione synthesis and may have broad potential for health protection [J]. *Ochsner Journal*, 2018, 18(1): 81–87.
- [28] 万学闪, 刘文革, 阎志红, 等. 西瓜果实发育过程中番茄红素、瓜氨酸和 VC 等功能物质含量的变化[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(13): 2738–2747.  
WAN XS, LIU WG, YAN ZH, *et al.* Changes of the contents of functional substances including lycopene, citrulline and ascorbic acid during watermelon fruits development [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(13): 2738–2747.
- [29] 杨东东, 袁明, 路绪强, 等. 3个不同类型西瓜品种果实发育过程中游离氨基酸的积累分析[J]. *果树学报*, 2023, 40(8): 1651–1665.  
YANG DD, YUAN M, LU XQ, *et al.* Analysis of free amino acids accumulation during fruit development in three different types of watermelons [J]. *Journal of Fruit Science*, 2023, 40(8): 1651–1665.
- [30] 孙兴祥, 尤春, 倪玮, 等. 不同氮钾肥运筹对西瓜产量及品质的影响[J]. *中国瓜菜*, 2017, 30(8): 26–29.  
SUN XX, YOU C, NI W, *et al.* Effects of nitrogen and potassium management on yield and quality of watermelon [J]. *China Cucurbits and Vegetables*, 2017, 30(8): 26–29.
- [31] 马忠明, 杜少平, 薛亮, 等. NPK 养分配比与 NAM 长效剂对旱砂田西瓜生长、品质和养分利用的影响[J]. *核农学报*, 2013, 27(3): 0358–0364.  
MA ZM, DU SP, XUE L, *et al.* Effects of different N, P and K ratios and NAM on growth quality and nutrient utilization of watermelon mulched with gravel in semiarid area [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2013, 27(3): 358–364.

(责任编辑: 蔡世佳 韩晓红)