侯丹婷, 赵沁雨, 佘珍云, 等. 不同品种富硒猕猴桃的硒分布及生物活性评价 [J]. 食品工业科技, 2026, 47(11): 344−352. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025060195

HOU Danting, ZHAO Qinyu, SHE Zhenyun, et al. Evaluation of Selenium Distribution and Bioactivity in Different Varieties of Selenium-enriched Kiwifruit[J]. Science and Technology of Food Industry, 2026, 47(11): 344−352. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025060195

· 分析检测 ·

不同品种富硒猕猴桃的硒分布及生物活性评价

侯丹婷[1], 赵沁雨[1], 佘珍云[1], 张文慧[1,2], 王亚国[3], 孙翔宇[4], 马婷婷[1,*]

（1.西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西杨凌 712100;
2.安康市农业科学研究院, 陕西安康 725021;
3.陕西佰瑞猕猴桃研究院有限公司, 陕西西安 710054;
4.西北农林科技大学葡萄酒学院, 陕西杨凌 712100）

摘　要: 本研究以陕西省汉阴县种植的富硒猕猴桃品种‘翠香’‘徐香’和‘脐红’为研究对象，系统分析了其理化特性、硒含量、功能性成分及生物活性。结果表明，干物质含量、总可溶性固形物、总糖、pH 及糖酸比等关键品质指标在不同品种富硒猕猴桃间呈现显著差异（P<0.05）。三种富硒猕猴桃的硒含量均≥0.10 mg/kg，符合富硒水果的硒含量要求。硒含量在果实不同品种和部位间差异显著（P<0.05），三种果实硒分布为果皮>果籽>果肉，且‘徐香’对硒的富集能力显著高于‘翠香’与‘脐红’。猕猴桃富含钾、钙、镁等矿物质元素，‘翠香’的矿物质总量、V_C、多酚和抗氧化能力显著高于其他品种（P<0.05）。此外，不同品种的富硒猕猴桃对 α-淀粉酶、α-葡萄糖苷酶和胰脂肪酶均表现出一定的抑制活性，其中‘翠香’对三种酶的抑制效果最强。本研究通过解析不同品种富硒猕猴桃的组分特征与生物活性差异，为富硒猕猴桃的功能性食品开发提供了科学依据。

关键词: 富硒猕猴桃, 果实品质, 总硒含量, 生物活性化合物, 酶抑制活性

中图分类号: S663.4　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1002−0306(2026)11−0344−09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2025060195

本文网刊:

Evaluation of Selenium Distribution and Bioactivity in Different Varieties of Selenium-enriched Kiwifruit

HOU Danting[1], ZHAO Qinyu[1], SHE Zhenyun[1], ZHANG Wenhui[1,2], WANG Yaguo[3], SUN Xiangyu[4], MA Tingting[1,*]

（1.College of Food Science and Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, China;
2.Ankang Municipality Agricultural Science Research Institute, Ankang 725021, China;
3.Shaanxi Bairui Kiwifruit Research Institute, Xi'an 710054, China;
4.College of Enology, Northwest A & F University, Yangling 712100, China）

Abstract: This study took the three selenium-enriched kiwifruit varieties 'Cui Xiang' 'Xu Xiang' and 'Qi Hong' grown in Hanyin County, Shaanxi Province as the research objects, and systematically analyzed their physicochemical properties, selenium content, functional components and biological activities. The results showed that the key quality indicators such as dry matter content, total soluble solids, total sugar, pH, and sugar-acid ratio presented significant differences among the three selenium-enriched kiwifruit varieties (P<0.05). The selenium content of the three selenium-enriched kiwifruits was all≥0.10 mg/kg, meeting the selenium content requirements of selenium-enriched fruits. The selenium content showed sig-

收稿日期: 2025−06−18

基金项目: 国家自然科学基金（32372261）; 陕西省重点研发计划（2024QCY-KXJ-087, 2023KXJ-171, 2023-YBNY-176）。

作者简介: 侯丹婷（2001−）, 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品科学, E-mail: 2022056191@nwafu.edu.cn。

*** 通信作者:** 马婷婷（1987−）, 女, 博士, 教授, 研究方向: 果蔬加工与品质调控, E-mail: matingting@nwafu.edu.cn。

nificant differences among different varieties and parts of the fruits (P<0.05), and the selenium distribution in the three fruits was peel>seeds>pulp, with 'Xu Xiang' having a significantly higher selenium accumulation ability than 'Cui Xiang' and 'Qi Hong'. Kiwifruit was rich in mineral elements such as potassium, calcium and magnesium. The total mineral content, V_C, polyphenols and antioxidant capacity of 'Cui Xiang' were significantly higher than those of the other varieties (P<0.05). In addition, the three selenium-enriched kiwifruit varieties all showed certain inhibitory activities against α-amylase, α-glucosidase and pancreatic lipase, among which 'Cui Xiang' had the strongest inhibitory effect on the three enzymes. This study provided a scientific basis for the development of functional foods from selenium-enriched kiwifruit by analyzing the component characteristics and biological activity differences among different varieties of selenium-enriched kiwifruit.

Key words: selenium-enriched kiwifruit; fruit quality; total selenium content; bioactive compounds; enzyme inhibitory activity

猕猴桃滋味鲜美，营养丰富，被认为是最受欢迎的水果之一，其富含维生素、矿物质、类胡萝卜素、膳食纤维、有机酸和抗氧化物质等，深受消费者青睐[1]。在常见水果中，其营养充足性评分和营养密度均较高，被誉为“水果之王”[2]。猕猴桃原产于中国，目前，世界上猕猴桃的主要生产国有 5 个，分别是意大利、新西兰、中国、希腊和智利，其中中国占世界总产量的一半以上，种植面积居世界第一[3]。近年来，大量研究证据表明，膳食中摄入猕猴桃及其加工制品对慢性代谢综合征的预防和管理具有积极作用，同时有助于增强免疫功能和抗氧化防御能力[4−6]。这些健康效益主要归因于猕猴桃中富含的多种生物活性植物化学物质，包括酚酸、类黄酮、花青素和果胶多糖等，这些成分赋予了猕猴桃广泛的药理特性，如抗氧化、抗炎、抗糖尿病、降血糖和降血脂等作用[7]。在抗糖尿病活性方面，抑制 α-淀粉酶和 α-葡萄糖苷酶可减少淀粉的分解，减缓葡萄糖进入血液的速度。Sudha 等[8] 报道称，猕猴桃能有效抑制 α-淀粉酶和 α-葡萄糖苷酶，且对 α-淀粉酶的抑制作用更强。在预防肥胖方面，抑制胰脂肪酶可有效减少脂肪吸收。体外研究表明，猕猴桃提取物具有一定的胰脂肪酶抑制活性，可作为一种胰脂肪酶抑制剂来对抗肥胖[8]。基于其显著的营养价值和功能特性，猕猴桃已被广泛应用于普通食品、功能性食品、医药及化妆品等领域[9]。

近年来，随着人们对健康饮食的关注度不断提高，富硒食品因其潜在的抗氧化、免疫调节和抗癌等生理功能而备受关注。硒(Se)是人体必需微量元素，具有抗氧化、增强免疫功能和预防慢性疾病等多种生理功能[10]。由于猕猴桃对硒具有良好的富集能力，富硒猕猴桃不仅具有普通猕猴桃的营养成分，还通过硒的强化进一步提升了其生物活性和健康效益[11]。然而，不同品种的猕猴桃在果实品质、硒含量、抗氧化能力及生物活性方面存在显著差异，这与其品种特性、栽培条件及硒的吸收和分布密切相关[12]。因此，研究不同品种富硒猕猴桃的理化特性、硒含量、抗氧化能力及其生物活性，对于开发功能性食品和促进猕猴桃产业的健康持续发展具有重要意义。

因此，本文通过对‘翠香’‘徐香’和‘脐红’三个富硒猕猴桃品种的理化指标、硒含量、矿物质元素、维生素 C(V_C)、总酚、总黄酮等功能性成分分析，并进一步探讨其在体外降血糖、抑制胰脂肪酶等方面的生物活性。为富硒猕猴桃的品质评价和功能性食品开发提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　材料与仪器

选用富硒猕猴桃品种‘翠香’‘徐香’‘脐红’为试验原料，于 2023 年 9 月采摘自陕西省汉阴县陕西果业集团规范化果园。采集无病虫害，无机械损伤的猕猴桃果实进行实验；福林酚、1,1-二苯基-2-三硝基肼（DPPH）、2,6-二氯吲哚酚、2,4,6-三吡啶-s-三嗪（TPTZ）、6-羟基-2,5,7,8-四甲基色烷-2-羧酸(Trolox)、α-淀粉酶(5 U/mg)、对硝基苯基-α-D-吡喃葡萄糖苷（PNPG）、α-葡萄糖苷酶(100 U)、猪胰脂肪酶(TyPe II)、奥利司他　购自美国 Sigma 公司；阿卡波糖、2,6-二氯靛酚　购自中国上海阿拉丁试剂公司；其余试剂如氢氧化钠、硫酸铜等均为分析纯　购自上海源叶生物科技有限公司。

PAL-1 手持糖度仪　日本爱拓公司；雷磁 PHS-3E pH 计　上海仪电科学仪器股份有限公司；Ci7600 色度仪　爱色丽（上海）色彩科技有限公司；UV-2800A 型紫外可见分光光度计　上海尤尼柯仪器有限公司；Scientz-100F 冷冻干燥机　宁波新芝生物科技股份有限公司；PinAAcle900 原子吸收分光光度计　美国 Perkin Elmer 公司。

1.2　实验方法

1.2.1　富硒猕猴桃理化指标测定　每个品种随机挑选 30 个果实(每组 10 个，3 次生物学重复)进行理化指标的测定。干物质含量采用烘干法[13] 测定：于猕猴桃中端取出 2 mm 薄片称重，置于 65 ℃ 烘箱烘至恒重，烘干前后猕猴桃片重量的比值为干物质含量(%)。可溶性固形物(Total Soluble Solid, TSS)使用 PAL-1 手持糖度仪测定。pH 采用 PHS-3E pH 计测定。采用 GB 12456-2021《食品安全国家标准 食品中总酸的测定》中酸碱指示剂滴定法测定样品的可滴定酸（Titratable Acid, TA）含量。采用 GB/T 15038-2006《葡萄酒、果酒通用分析方法》中的酸碱指示剂滴定法测定样品总糖含量。糖酸比表示为总

糖含量和 TA 的比值。

1.2.2 总硒含量测定 分别选取富硒猕猴桃的果皮、果肉、果籽，冻干 24 h 磨粉后备用，总硒含量的测定参照 GB 5009.93-2017《食品安全国家标准 食品中硒的测定》中第一法氢化物原子荧光光谱法并稍作修改。每组实验重复三次测定。将 2 g 样品与 6 mL 浓硝酸振荡混合后放入微波消解仪中消解，消解结束后放至室温冷却，加入 5 mL 盐酸溶液（6 mol/L），180 ℃ 赶酸至溶液清亮无色并有白烟出现，继续加热至剩余 1~2 mL 后冷却，定容至 25 mL 以备测试。

1.2.3 其他矿物质元素测定 矿物元素含量的测定参考 Zhang 等[14] 的方法加以修改。取 5 g 富硒猕猴桃匀浆样品置于锥形瓶中，加入 10 mL 硝酸和 0.5 mL 高氯酸，在可调式加热板上消解，经硝酸或高氯酸湿法消解预处理后，使用 PinAAcle900 原子吸收分光光度计检测矿物元素。每种矿物元素的测定采用以下国家标准方法：Ca、K、Na、Zn、Mg、P 和 Fe 分别参照（GB 5009.92-2016、GB 5009.91-2017、GB 5009.14-2017、GB 5009.241-2017、GB 5009.87-2016、GB 5009.87-2016《食品安全国家标准 食品中钙、钾、钠、锌、镁、磷、铁的测定》。每组实验重复三次测定。

1.2.4 V_C 含量、总多酚含量(TPC)及总黄酮含量(TFC)测定 富硒猕猴桃的 V_C 含量采用 GB 5009.86-2016《食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定》中 2,6-二氯靛酚滴定法进行测定。

采用福林酚比色法[5] 测定富硒猕猴桃果浆样品中的 TPC 含量。总酚提取物制备：取 5 mL 猕猴桃果浆至装有 15 mL 70% 乙醇溶液的离心管中，在 350 W，30 ℃ 下超声提取 15 min 后 8000 r/min，4 ℃ 下离心 10 min，获得上清液；向沉淀中再次加入 15 mL 70% 乙醇溶液进行重复超声提取、离心，合并两次上清液得到提取物。

总酚的测定：将提取物（0.2 mL）、福林酚试剂（2 mL）和 7.5% 碳酸钠溶液（1.8 mL）依次加入离心管中混匀，在室温（25±2 ℃）下避光反应 1 h。反应结束后，使用紫外分光光度计在 765 nm 处测定吸光度。多酚含量以 mg 没食子酸当量（Gallic Acid Equivalents, GAE）/g 样品表示。

采用氯化铝比色法[15] 测定富硒猕猴桃果浆样品中的 TFC 含量。将总酚提取物（0.5 mL）加入 0.3 mL 0.5 mol/L 亚硝酸钠溶液，摇匀后静置 3 min，再依次加入 0.3 mL 0.3 mol/L 氯化铝溶液和 2 mL 1 mol/L 氢氧化钠溶液，并用 70% 乙醇定容至 5 mL，摇匀静置 10 min。在 506 nm 测定吸光度，以不加显色液（氯化铝）的反应液为空白，结果以 mg 儿茶酚当量（Catechin Equivalents, CE）/g 样品表示。每组实验重复三次测定。

1.2.5 富硒猕猴桃生物活性

1.2.5.1 抗氧化能力的测定 采用比色法测定富硒猕猴桃果浆样品的铁离子还原能力（Ferric Reducing Antioxidant Power, FRAP），参考 Ma 等[5] 的方法加以修改。TPTZ 试剂配制方法为：500 mL pH3.6 的醋酸盐缓冲液，50 mL 10 mmol/L 的 TPTZ 溶液，50 mL 20 mmol/L 的氯化铁混合即可。FRAP 的测定：取 0.25 mL 总酚提取物和 8 mL TPTZ 工作液于试管中，在 37 ℃ 下反应 10 min 后，于 593 nm 处测定其吸光度，记录数据。结果用 μmol Trolox equiv（TE）/mL 样品表示。

富硒猕猴桃果浆样品的 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼自由基清除能力（1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl Radical Scavenging Activity, DPPH）测定，参考 Ma 等[5] 的方法加以修改。DPPH 试剂配制方法为：适量 DPPH 完全溶解于乙醇中，调整 517 nm 处吸光值为 2±0.005 即可。DPPH 自由基清除能力的测定：取 0.25 mL 总酚提取物和 4 mL 刚配制的 DPPH 溶液于试管中，混合均匀，避光反应 30 min，以无水乙醇标零，于 517 nm 处测定其吸光度，记录数据。结果用 μmol Trolox/mL 样品表示。

1.2.5.2 体外降血糖活性测定 α-淀粉酶抑制活性测定参考胡童霞等[16] 的方法，并作适当修改。样品提取液的制备方法为：称取 1 g 富硒猕猴桃果粉于 50 mL 离心管中，加入 20 mL 70% 乙醇溶液，25 ℃、350 W 超声提取 30 min，4 ℃ 下 10000 r/min 离心 10 min，收集上清液，重复以上提取步骤两次，合并 3 次上清液定容到 50 mL 以备后续测定。将样品提取液和阿卡波糖配制成梯度质量浓度为 0.10、0.25、0.50、1.00、2.00 mg/mL 的溶液。使用酶标仪于 540 nm 处测定吸光值。α-葡萄糖苷酶抑制活性测定按照郭峰等[17] 方法稍作修改。将样品提取液和阿卡波糖浓度配制为 0.20、0.40、0.60、0.80、1.00 mg/mL 的溶液。在 405 nm 处测定其吸光度。以阿卡波糖作为阳性对照，按公式（1）计算酶抑制率，建立对数回归曲线以计算 IC_{50} 值（mg/mL）。

$$酶抑制率(\%)=\left(1-\frac{A_1-A_2}{A_3-A_4}\right)\times 100 \qquad 式（1）$$

式中，A_1 为样品和酶溶液的反应组；A_2 为样品对照组以 PBS 缓冲液代替酶溶液；A_3 为空白对照组以 PBS 缓冲液代替样品溶液；A_4 为溶剂对照组为不加酶和样品。

1.2.5.3 胰脂肪酶的抑制活性测定 参考 Podsedek 等[18] 的测定方法并略作修改，取 100 μL 1.00、2.00、4.00、8.00、16.00 mg/mL 的样品提取液，依次加入 200 μL 50 mmol/L pH7.4 的 Tris-HCl 缓冲液和 100 μL 胰脂肪酶溶液（5 mg/mL，溶于 50 mmol/L pH7.4 Tris 缓冲液中），混合摇匀，在 37 ℃ 下孵育 10 min 后，再加入 100 μL 2 mmol/L 的 PNPB，在 37 ℃ 下孵育 15 min 后在 410 nm 处测定吸光度。以奥利司

他为阳性对照，按公式(2)计算胰脂肪酶的抑制率，建立对数回归曲线以计算 IC_{50} 值(mg/mL)。

$$胰脂肪酶抑制率(\%)=\left(1-\frac{A_0-A_5}{A_6-A_7}\right)\times 100 \quad 式（2）$$

式中，A_0 为样品组；A_5 为用 Tris 缓冲液代替胰脂肪酶溶液的样品对照组；A_6 为纯水代替样品的空白组；A_7 为用纯水代替样品溶液、缓冲液代替胰脂肪酶溶液的空白对照组。

1.3　数据处理

本实验使用 Excel 2016、SPSS 20 和 Origin 2022 软件进行数据处理并分析制作图表，除特殊说明外，实验数据结果以 3 次平行实验测定结果的平均值±标准差来表示。采用 SPSS 20 统计分析软件进行单因素方差分析(ANOVA)和显著性分析，以 $P<0.05$ 表示差异显著。

2　结果与分析

2.1　富硒猕猴桃的理化指标

干物质含量是果实有机化合物积累和营养组成成分的重要指标，主要由两部分组成：一部分是可溶性固体，主要是糖、有机酸和少量矿物质，另一部分是由结构碳水化合物和淀粉组成的不溶性固体[19]。不同品种富硒猕猴桃果实干物质含量如图 1A 所示，其中‘脐红’猕猴桃的干物质含量最高，达 21.34%±0.09%，‘徐香’猕猴桃的干物质含量最低为 18.41%±0.18%。TSS 含有多种可以溶于水的成分，例如糖、酸、维生素和一些矿物质。它是评估猕猴桃风味和口感的重要指标之一[6]。据报道，猕猴桃食用成熟阶段的 TSS 含量约在 12.10~19.13°Brix 之间[14,20]。如图 1B 所示，‘翠香’和‘脐红’的 TSS 为 16.86±0.54°Brix 和 16.31±0.48°Brix，无显著性差异($P>0.05$)，而‘徐香’的 TSS 含量最低，为 14.55±0.51°Brix。这些差异可能是由品种和栽培条件不同导致的[12]。总糖含量与 TSS 类似，如图 1C 所示，不同品种富硒猕猴桃的总糖含量范围介于 70.46~92.67 g/kg 之间，平均值为 81.56 g/kg。Yuan 等[21] 对不同品种猕猴桃的理化及营养品质进行研究，结果发现‘徐香’的总糖含量为 107.60 g/kg，这与本文的研究结果不一致。这主要是因为每个栽培地区的地理位置、土壤条件和栽培措施存在差异，尽管如此，品种仍然是决定果实品质的最主要因素[22]。

水果的酸甜口感与其 pH 密切相关。如图 1D 所示，不同品种富硒猕猴桃的 pH 在 3.45~3.57 之间。‘徐香’的 pH 最高，‘脐红’次之，‘翠香’的 pH 最低。Liang 等[12] 对 15 个不同品种猕猴桃的 pH 进行测定，发现‘翠香’、‘徐香’和‘脐红’三种猕猴桃中‘翠香’的 pH 最低，与本试验研究结果类似。TA 也是反映果实风味品质的重要指标，其含量的高低影响着猕猴桃果实的口感[6]。由图 1E 可知，三个品种猕猴桃的 TA 介于 14.05~14.71 g/kg 之间，均无显著性差异($P>0.05$)。猕猴桃糖酸比的平衡决定猕猴桃的适口性，从而决定消费者的接受度[23]。从图 1F 中可以看出，富硒‘翠香’和‘脐红’的糖酸比显著高于富硒‘徐香’猕猴桃($P<0.05$)，说明这两个品种比‘徐香’猕猴桃更甜。

2.2　富硒猕猴桃的硒含量

不同品种富硒猕猴桃不同部位的硒含量如表 1

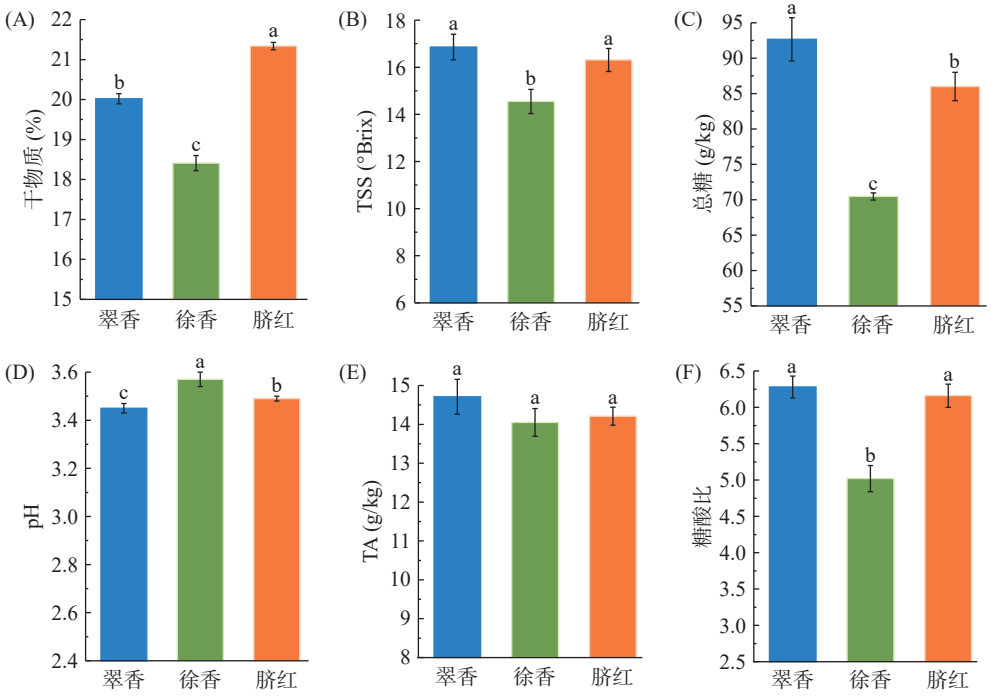


图 1　富硒猕猴桃的理化指标

Fig.1　Physicochemical indicators of selenium-enriched kiwifruit

注：(A)干物质；(B)TSS；(C)总糖；(D)pH；(E)TA；(F)糖酸比；不同小写字母表示不同品种的猕猴桃存在显著差异($P<0.05$)，图 2~图 6 同。

表 1 富硒猕猴桃矿物质元素含量

Table 1 Mineral element content of selenium-enriched kiwifruit

矿物质元素含量		翠香	徐香	脐红
硒含量（mg/kg DW）	果肉	0.106±0.003^{Cb}	0.272±0.010^{Ac}	0.249±0.009^{Bc}
	果皮	1.577±0.012^{Ba}	3.635±0.016^{Aa}	1.402±0.014^{Ca}
	果籽	0.231±0.018^{Cc}	0.621±0.011^{Ab}	0.490±0.012^{Bb}
果实中的其他矿物质元素（mg/100 g）	K	310.69±1.49^{a}	293.98±2.94^{b}	287.35±2.05^{c}
	Ca	25.32±0.57^{b}	23.73±0.81^{c}	28.58±0.86^{a}
	Na	4.70±0.15^{a}	4.60±0.26^{a}	4.85±0.12^{a}
	P	20.55±0.18^{b}	20.87±0.1^{ab}	21.63±0.64^{a}
	Mg	13.49±0.22^{b}	14.83±0.14^{a}	13.38±0.36^{b}
	Fe	0.28±0.02^{b}	0.34±0.04^{a}	0.39±0.03^{a}
	Zn	0.26±0.03^{a}	0.19±0.01^{b}	0.22±0.02^{ab}

注：不同大写字母表不同品种间果肉、果皮、果籽的硒含量显著性差异（P<0.05）；不同小写字母表示同一品种间果肉、果皮、果籽的硒含量显著性差异（P<0.05）。

所示。由表可知三个品种中果皮部位的总硒含量最高，其次是果籽，最后是果肉。‘徐香’的果皮、果籽和果肉中的总硒含量分别为 3.635±0.016、0.621±0.011 和 0.272±0.010 mg/kg，显著高于‘翠香’和‘脐红’中总硒含量（P<0.05）。Deng 等[24] 对梨树叶面施用硒肥，观察到梨果不同部位的总硒含量分布存在显著差异，其含量顺序为：果皮>果渣>果汁。然而，Xu 等[25] 对富硒猕猴桃中硒的分布研究发现，种子中的总硒含量最高，为 110.66 μg/kg，去皮水果、果肉的总硒含量分别为 57.10 和 52.01 μg/kg，果皮中的总硒含量最低，为 16.18 μg/kg。邓小芳等[26] 研究发现不同喷施时期和不同硒源的‘金桃’猕猴桃硒吸收累积有显著差异，其中，幼果期喷硒，果肉中硒的积累分配最高，为 52%~58%；膨大期喷施，果肉中硒的积累分配比降低了 16%~19%；而糖分累积期喷施，硒主要累积分配在果皮中，占比为 76%~82%，说明叶面喷硒后，硒可能首先存积在果实表面，然后慢慢向果肉转运，喷施时期适当前移，果肉中硒的累积分配比越高。综上所述，果园的栽培管理措施、喷施时期的差异、硒肥的种类和浓度、不同硒源、喷洒方式及品种对硒肥的吸收利用率都可能导致果实富硒能力的不同。本研究在同一栽培条件下发现‘徐香’对硒的富集能力显著高于‘翠香’和‘脐红’，各部位的总硒含量更高。

根据 DB61/T 556-2018 陕西省地方标准《富硒含硒食品与相关产品硒含量》可知，富硒猕猴桃作为植物类的水果及坚果制品，其硒含量要求≥0.02 mg/kg，本试验测定的三个品种的富硒猕猴桃的硒含量均≥0.10 mg/kg，完全达到了富硒食品的要求，且远高于普通猕猴桃果实的硒含量（0.04~0.06 μg/g）[27]。根据《中国居民膳食营养素参考摄入量（2023 版）》，建议成年人每日摄入 60 μg 的硒即可满足机体正常生理需要，因此每日食用 2~3 个质量约为 120~220 g 富含硒猕猴桃可以比普通猕猴桃多摄取 60~120 μg 的硒元素。

2.3 富硒猕猴桃的其他矿物质元素含量

猕猴桃是人体矿物质元素的良好来源[5]。本研究对富硒猕猴桃中 7 种矿物质元素进行了分析，其中包括 5 种常量元素和 2 种微量元素（表 1）。研究发现三个品种的富硒猕猴桃中 7 种矿物质含量趋势基本一致。钾是猕猴桃中最丰富的矿物元素，其中‘翠香’含量最高达 310.69±1.49 mg/100 g，‘脐红’最低为 287.35±2.05 mg/100 g。而三个品种中钠元素含量均极低，介于 4.6~4.85 mg/100 g 之间。高钠摄入与高血压、肾功能不全、哮喘、胃癌和骨质疏松症有关。相反，从水果和蔬菜中摄取钾有利于降低血压，可以抵消钠对血压的负面影响[14]。显然猕猴桃是典型的高钾低钠水果，可以降低上述疾病的患病风险。

钙是植物细胞的关键元素，在植物的生长和发育过程中起着重要的调节作用[28]。不同品种富硒猕猴桃的钙元素含量范围介于 23.73~28.58 mg/100 g 之间，显著高于葡萄柚、苹果、香蕉、葡萄、芒果等水果[29−30]。本研究对镁元素的测试发现，‘徐香’的镁含量（14.83±0.14 mg/100 g）高于‘翠香’（13.49±0.22 mg/100 g）和‘脐红’（13.38±0.36 mg/100 g），与李跃红等[22] 的研究结果相似。不同品种富硒猕猴桃所含矿物质总量差异显著，其中‘翠香’矿物质总量最高为 394 mg/100 g，其次为‘徐香’，‘脐红’猕猴桃最低。王彩霞等[31] 对陕西眉县猕猴桃的 9 种矿物质含量进行测定也发现了‘翠香’比‘徐香’的矿物质元素总量高。

2.4 富硒猕猴桃的功能性成分

猕猴桃因 V_C 含量较高，素有“V_C 之王”的美誉。V_C 不仅是猕猴桃中最重要的营养素，其含量也是衡量果实品质、反映果实抗氧化特性的重要指标之一[18]。如图 2A 所示，V_C 含量最高的是‘翠香’（122.41±3.53 mg/100 g），其次是‘徐香’，最低的是‘脐红’，其 V_C 含量仅有 85.76±1.07 mg/100 g。这与之前研究得到的结果一致[5,14,22]。本实验所有样品均来自相同的种植基地，气候条件一致，因此 V_C 含量的变化主要取决于富硒猕猴桃品种。

猕猴桃也是膳食多酚的良好来源，果实中的酚类化合物对果实的色泽、口感、风味、营养品质起着至关重要的作用。由图 2B 可知，在三种不同品种的富硒猕猴桃中，TPC 的范围为 1.54~3.74 mg GAE/g DW。大量研究表明，猕猴桃中 V_C 含量和 TPC 呈显著的正相关[6,14]。与 V_C 含量的变化趋势相同，‘翠香’的 TPC 最高，其次是‘徐香’，最后是‘脐红’。黄酮类化合物是一组天然多酚物质，广泛存在于植物中，因其具有调节人体免疫细胞活性、清除体内自由基及抗氧化和其他促进健康的特性而受到重视[32]。由图 2C 可知，猕猴桃中含有丰富的 TFC，其中‘翠香’的 TFC 最高，为 0.18 mg CE/g，‘徐香’的 TFC 较低，为 0.16 mg CE/g。Liu 等[33] 评价了 8 个猕猴桃品种（包含‘徐香’和‘脐红’）的 TPC 和 TFC，发现‘徐香’的 TPC 高于‘脐红’，TFC 低于‘脐红’，这与本研究结果一致。

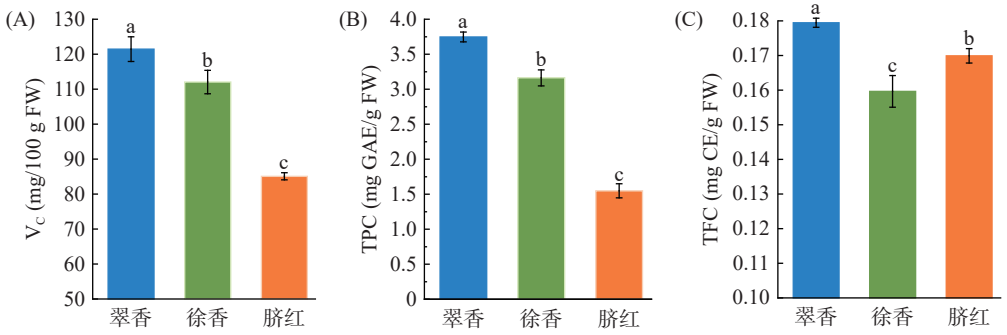


图 2　富硒猕猴桃的功能性成分

Fig.2　Functional components of selenium-enriched kiwifruit

注：(A)V_C；(B)TPC；(C)TFC。

2.5　富硒猕猴桃的抗氧化活性

如图 3 所示，三种富硒猕猴桃的 DPPH 自由基清除力为 170.36~188.25 μmol TE/mL，FRAP 值范围为 34.54~40.91 μmol TE/mL，其中‘翠香’的 DPPH 值和 FRAP 值最高，‘脐红’的 DPPH 值和 FRAP 值最低，高于普通猕猴桃的抗氧化能力[6]。Zheng 等[27]对 2 种富硒和 3 种普通猕猴桃的抗氧化活性研究同样发现富硒猕猴桃表现出比普通猕猴桃更加优异的抗氧化活性。Liu 等[34]在研究叶面喷施纳米硒对猕猴桃的抗氧化能力影响中也发现纳米硒处理提高了猕猴桃的营养品质和抗氧化能力。这种现象可能归因于富硒猕猴桃中总硒含量的升高；硒可以通过降低酚酶活性和减少脂质过氧化来增强果实的抗氧化能力；其次抗氧化活性物质总酚和总黄酮的含量增加也进一步增强了抗氧化能力。‘翠香’的 V_C、多酚和黄酮含量是 3 种富硒猕猴桃中最高的，因此其 DPPH 值和 FRAP 值也最高。

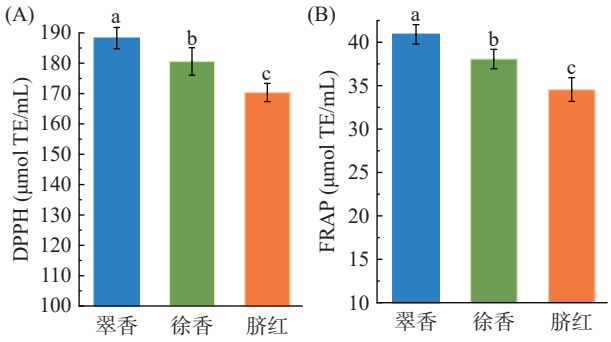


图 3　富硒猕猴桃的抗氧化活性

Fig.3　Antioxidant activities of selenium-enriched kiwifruit

注：(A)DPPH；(B)FRAP。

2.6　富硒猕猴桃的体外降血糖活性

α-淀粉酶是人体消化淀粉的关键酶，它可以水解碳水化合物内部的 α-1,4-糖苷键，将人体摄入的淀粉水解并最终生成葡萄糖。通过抑制其活性可阻止碳水化合物的转化，使餐后血糖浓度的升高变缓从而有效地控制人体血糖水平[16]。猕猴桃作为一种富含多酚的低 GI 水果，可以控制淀粉分解和肠道葡萄糖吸收，为控制二型糖尿病患者餐后高血糖提供有效解决方法[35]。富硒猕猴桃对 α-淀粉酶的抑制作用如图 4A 所示，在试验浓度范围内(0.1~2.0 mg/mL)，随着样品提取液浓度的提高，富硒‘翠香’的 α-淀粉酶抑制率逐渐从 20% 增大到 89%，尽管猕猴桃样品提取液对 α-淀粉酶抑制效果显著低于阿卡波糖阳性组(P<0.05)，但其对 α-淀粉酶也表现较好的抑制能力，且抑制水平与活性成分含量呈现出一定的剂量依赖性。图 4B 表明，‘翠香’的 IC_{50} 值最低，为 0.36 mg/mL，‘脐红’的 IC_{50} 值最高，为 0.45 mg/mL，说明‘翠香’猕猴桃的抑制效果优于‘徐香’和‘脐红’。

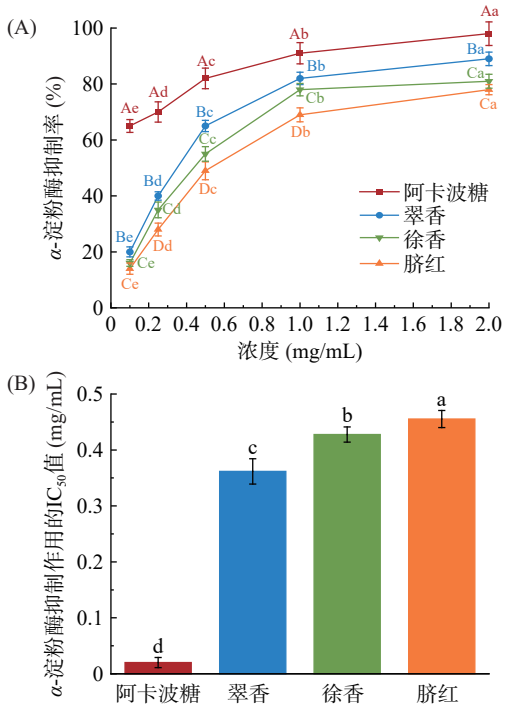


图 4　富硒猕猴桃的 α-淀粉酶的抑制率(A)和 α-淀粉酶抑制作用的 IC_{50} 值(B)

Fig.4　α-Amylase inhibition rate (A) and IC_{50} value (B) of α-amylase inhibition of selenium-enriched kiwifruit

注：不同大写字母表示同一浓度下不同处理组果实在 P<0.05 水平差异显著，不同小写字母代表同一果实在不同浓度处理组在 P<0.05 水平差异显著，图 5、图 6 同。

富硒猕猴桃样品提取液对 α-葡萄糖苷酶活性的抑制机理与 α-淀粉酶相似，通过抑制 α-葡萄糖苷酶的活性可以使碳水化合物转变为可吸收单糖的速度

变慢，从而有效控制餐后血糖水平[17]。图 5A、图 5B 为阳性对照阿卡波糖和三种猕猴桃样品提取液在不同浓度下对 α-葡萄糖苷酶的抑制率。可以观察到‘翠香’样品提取液在 0.2~1.0 mg/mL 的浓度变化过程中抑制率显著高于‘徐香’和‘脐红’(P<0.05)，说明其对 α-葡萄糖苷酶抑制能力明显强于其他两品种。当样品浓度为 1.0 mg/mL 时，‘翠香’猕猴桃可以达到 81.92% 的抑制率，说明其对 α-葡萄糖苷酶具有一定的抑制作用。

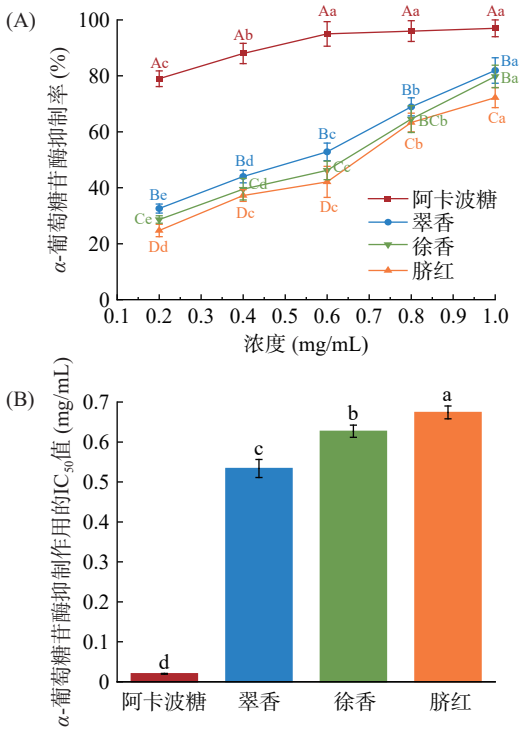


图 5 富硒猕猴桃的 α-葡萄糖苷酶的抑制率(A)和 α-葡萄糖苷酶抑制作用的 IC_{50} 值(B)

Fig.5 α-Glucosidase inhibition rate (A) and IC_{50} value of α-glucosidase inhibition (B) of selenium-enriched kiwifruit

Sudha 等[8] 报道称，猕猴桃能有效抑制 α-淀粉酶和 α-葡萄糖苷酶，且对 α-淀粉酶的抑制作用更强。Ma 等[5] 在探究猕猴桃生物活性比较中也发现，猕猴桃鲜果及其加工制品对 α-淀粉酶和 α-葡萄糖苷酶具有良好的抑制效果。魏爱红等[36] 对枇杷不同部位抑制这两种酶的研究发现：枇杷根醇提取物具有最强的 α-淀粉酶抑制活性，IC_{50} 值为 1.51±0.24 g/L，而枇杷花醇提取物具有最强的 α-葡萄糖苷酶抑制活性，其 IC_{50} 值为 4.65±0.35 g/L。这可能与其不同药用部位的萜类、黄酮类成分含量差异有关。Nowicka 等[37] 的研究表明，桃子提取物对 α-淀粉酶的抑制能力 IC_{50} 值范围为 1.41~4.55 mg/mL，而对 α-葡萄糖苷酶的抑制能力 IC_{50} 值范围为 1.31~10.51 mg/mL。总的来说，富硒猕猴桃对 α-淀粉酶和 α-葡萄糖苷酶抑制活性显著低于药物阿卡波糖，但显著高于常见水果桃子和枇杷。由于阿卡波糖是生物合成药物，对人体具有一定的副作用，最常报告的不良事件是产生胃肠道副作用，主要表现为胃胀气和腹泻，偶见肝酶升高等现象[38−39]，因此猕猴桃作为一种低 GI 水果具有成为 α-淀粉酶和 α-葡萄糖苷酶抑制剂的潜力。

2.7 富硒猕猴桃的胰脂肪酶的抑制活性

胰脂肪酶是负责消化膳食脂肪的最重要的酶，因此抑制其活性可以对肥胖人群产生有益影响[40]。如图 6A、图 6B 所示，阳性对照奥利司他 IC_{50} 为 0.11 mg/mL，3 个品种的样品提取液对胰脂肪酶的抑制活性差异显著(P<0.05)，其抑制作用的 IC_{50} 值范围为 4.98~7.50 mg/mL。说明不同品种猕猴桃的提取液均表现出一定的对胰脂肪酶的抑制效果。其中，‘翠香’的抑制效果最好，最后是‘脐红’。富硒猕猴桃样品的 IC_{50} 值差异可能是由于不同品种的多酚含量和单体酚的组成不同引起的。研究表明奥利司他通过与胰脂肪酶活性位点上的丝氨酸发生共价结合使酶失活，而许多多酚类物质通过与胰脂肪酶的非活性位点发生非共价结合来抑制酶活力[40]。Qiao 等[35] 探究软枣猕猴桃的多酚成分和生物活性潜力研究发现，酚酸类成分与胰脂肪酶抑制活性呈现显著关联性，其中羟基苯甲酸己糖苷、绿原酸及咖啡酸等单体的含量与胰脂肪酶抑制率呈显著正相关(P<0.05)，是该果实发挥胰脂肪酶抑制作用的核心活性贡献者之一。除酚酸类外，矢车菊素-3-O-sambubioside(C3S)作为猕猴桃中主要花青素被证实是胰脂肪酶的有效抑制剂，其抑制活性与其分子结构特征密切相关。

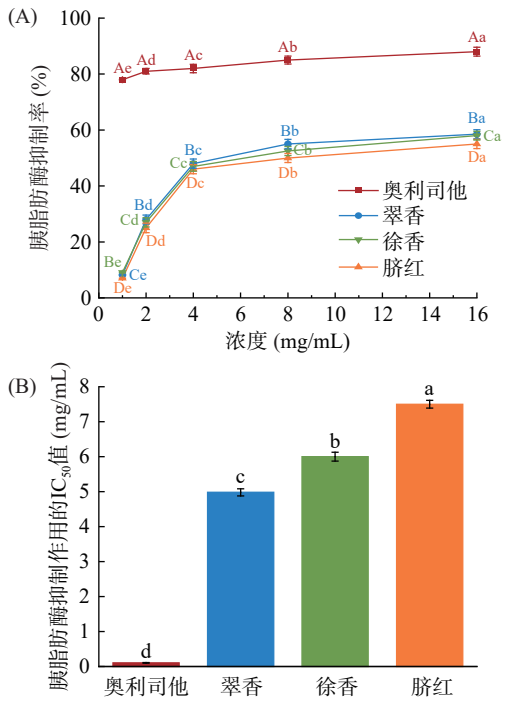


图 6 富硒猕猴桃的胰脂肪酶的抑制率(A)和胰脂肪酶抑制作用的 IC_{50} 值(B)

Fig.6 Pancreatic lipase inhibition rate (A) and IC_{50} value (B) of pancreatic lipase inhibition of selenium-enriched kiwifruit

3 结论

本研究揭示了富硒猕猴桃‘翠香’‘徐香’和‘脐红’的理化特性、硒分布、功能性成分及生物活性方面的

差异。结果表明，三种富硒猕猴桃在果实品质、硒富集能力及生物活性方面存在显著差异。理化特性分析表明，‘脐红’干物质含量最高为 21.34%±0.09%。‘翠香’的 TSS 与总糖含量较高，且糖酸比明显优于‘徐香’和‘脐红’，表明其风味更佳。对比三种富硒猕猴桃硒含量发现，所有样品均达到 DB61/T 556-2018 陕西省地方标准《富硒含硒食品与相关产品硒含量》富硒水果的硒含量标准，三个品种中果皮部位的总硒含量最高，其次是果籽，最后是果肉。‘徐香’对硒的吸收和富集能力最强，果实硒含量达 4.53 mg/kg。此外，猕猴桃富含钾、钙、镁等矿物质元素，不同品种的富硒猕猴桃矿物质总量存在差异，其中‘翠香’含量最高。在功能性成分方面，‘翠香’的 V_C 含量最高为 122.41±3.53 mg/100 g，多酚含量高达 3.74±0.07 mg GAE/g DW，且其抗氧化活性显著高于其他品种（$P<0.05$）。酶抑制活性显示，三种富硒猕猴桃对 α-淀粉酶、α-葡萄糖苷酶和胰脂肪酶均表现出一定的抑制作用，且呈浓度依赖性，其中‘翠香’对三种酶的抑制效果最强。综上所述，富硒‘翠香’以高糖酸比、高多酚含量、强抗氧化活性和良好的酶抑制活性，适用于开发高附加值的功能性食品或膳食补充剂；富硒‘徐香’表现出最强的硒富集能力，其果皮部位可作为提取富硒成分的良好原料；‘脐红’可能在加工适应性方面具有一定优势。未来研究可进一步探讨硒与其他功能性成分的协同作用机制，以推动富硒猕猴桃在功能性食品和医药领域的开发与应用。

© The Author(s) 2026. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

参考文献

[1] WANG Sunan, QIU Yi, ZHU Fan. Kiwifruit (*Actinidia* spp.): A review of chemical diversity and biological activities[J]. Food Chemistry, 2021, 350: 128469.

[2] DRUMMOND L. The composition and nutritional value of kiwifruit[J]. Advances in Food and Nutrition Research, 2013, 68: 33−57.

[3] LI K, LIU L, MCCLEMENTS D J, et al. A review of the bioactive compounds of kiwifruit: Bioactivity, extraction, processing and challenges[J]. Food Reviews International, 2024, 40(3): 996−1027.

[4] MAI Yinghui, ZHUANG Qiguo, LI Qiaohong, et al. Ultrasound-assisted extraction, identification, and quantification of antioxidants from ‘Jinfeng’ kiwifruit[J]. Foods, 2022, 11(6): 827.

[5] MA Tingting, LAN Tian, GENG Tonghui, et al. Nutritional properties and biological activities of kiwifruit (*Actinidia*) and kiwifruit products under simulated gastrointestinal *in vitro* digestion [J]. Food & Nutrition Research, 2019, 63: 1−17.

[6] MA Tingting, SUN Xiangyu, ZHAO Jinmei, et al. Nutrient compositions and antioxidant capacity of kiwifruit (*Actinidia*) and their relationship with flesh color and commercial value[J]. Food Chemistry, 2017, 218: 294−304.

[7] LAI Mengting, CHEN Hongzhu, LIU Xiaozhen, et al. Exploration of phenolic profile from mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) pericarp and their contribution to inhibitory effects on α-amylase and α-glucosidase[J]. LWT, 2024, 203: 116350.

[8] SUDHA K, NARAYANAN D B R. Evaluation of *in vitro* antioxidant, antidiabetic and anti-lipase activities of selected fruits (Amla, grape, Jamun and kiwi)[J]. The Pharma Innovation Journal, 2023, 12: 114−121.

[9] SATPAL D, KAUR J, BHADARIYA V, et al. *Actinidia deliciosa* (Kiwi fruit): A comprehensive review on the nutritional composition, health benefits, traditional utilization, and commercialization[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2021, 45(6): e15588.

[10] HAN Mengqing, LIU Kunlun. Selenium and selenoproteins: Their function and development of selenium-rich foods[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2022, 57(11): 7026−7037.

[11] ZHANG Xiaoni, XIA Haidong, WANG Jie, et al. Effect of selenium-enriched kiwifruit on body fat reduction and liver protection in hyperlipidaemic mice[J]. Food & Function, 2021, 12(5): 2044−2057.

[12] LIANG Jingjing, REN Yaopeng, WANG Yu, et al. Physicochemical, nutritional, and bioactive properties of pulp and peel from 15 kiwifruit cultivars[J]. Food Bioscience, 2021, 42: 101157.

[13] 彭雯, 张敏, 李欣怡, 等. 延迟采收对'翠香'猕猴桃品质的影响[J]. 食品工业科技, 2025, 46(3): 333−341. [PENG Wen, ZHANG Min, LI Xinyi, et al. Effect of delayed harvesting on the quality of ‘Cuixiang’ kiwifruit[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(3): 333−341.]

[14] ZHANG Hexin, ZHAO Qinyu, LAN Tian, et al. Comparative analysis of physicochemical characteristics, nutritional and functional components and antioxidant capacity of fifteen kiwifruit (*Actinidia*) cultivars: Comparative analysis of fifteen kiwifruit (*Actinidia*) cultivars[J]. Foods, 2020, 9(9): 1267.

[15] AADIL R M, ZENG X A, HAN Z, et al. Effects of ultrasound treatments on quality of grapefruit juice[J]. Food Chemistry, 2013, 141(3): 3201−3206.

[16] 胡童霞, 张楠, 朱鑫麗, 等. 荞麦蜂花粉多酚对 α-淀粉酶的抑制作用[J]. 天然产物研究与开发, 2024, 36(6): 930−937. [HU Tongxia, ZHANG Nan, ZHU Xinli, et al. Inhibition effect of buckwheat bee pollen polyphenols on α-amylase[J]. Natural Product Research and Development, 2024, 36(6): 930−937.]

[17] 郭峰, 董晓婷. 枸杞多糖的降血糖活性研究[J]. 食品工业, 2024, 45(3): 136−140. [GUO Feng, DONG Xiaoting. Study on hypoglycemic activity of *Lycium barbarum* polysaccharides[J]. The Food Industry, 2024, 45(3): 136−140.]

[18] PODSĘDEK A, MAJEWSKA I, REDZYNIA M, et al. *In vitro* inhibitory effect on digestive enzymes and antioxidant potential of commonly consumed fruits[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(20): 4610−4617.

[19] VALASIADIS D, KOLLAROS M G, MICHAILIDIS M, et al. Wide-characterization of high and low dry matter kiwifruit through spatiotemporal multi-omic approach[J]. Postharvest Biology and Technology, 2024, 209: 112727.

[20] LATOCHA P. The nutritional and health benefits of kiwiberry (*Actinidia arguta*)-a review[J]. Plant Foods for Human Nutrition, 2017, 72(4): 325−334.

[21] YUAN Xinyu, ZHENG Hao, FAN Jiangtao, et al. Comparative study on physicochemical and nutritional qualities of kiwifruit varieties[J]. Foods, 2022, 12(1): 108.

[22] 李跃红, 冉茂乾, 徐孟怀, 等. 不同品种猕猴桃果实品质比较与综合评价[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(23): 162−168. [LI Yuehong, RAN Maoqian, XU Menghuai, et al. Comparison and comprehensive evaluation of fruit quality of different varieties of kiwifruit[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(23): 162−168.]

[23] CHAI Jiaxin, LIAO Biao, LI Rui, et al. Changes in taste and volatile compounds and ethylene production determined the eating window of 'Xuxiang' and 'Cuixiang' kiwifruit cultivars[J]. Postharvest Biology and Technology, 2022, 194: 112093.

[24] DENG Xiaofang, ZHAO Zhuqing, HAN Zengyu, et al. Selenium uptake and fruit quality of pear (*Pyrus communis* L.) treated with foliar Se application[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2019, 182(4): 637−646.

[25] XU Xinxing, DENG Jingjing, LUO Dongsheng, et al. Comparative study of high hydrostatic pressure and high temperature short time processing on quality of clear and cloudy Se-enriched kiwifruit juices[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2018, 49: 1−12.

[26] 邓小芳, 吕臣浩, 黄立强, 等. 喷施时期和硒源对'金桃'猕猴桃硒吸收累积及主要品质指标的影响[J]. 果树学报, 2018, 35(11): 1385−1392. [DENG Xiaofang, LÜ Chenhao, HUANG Liqiang, et al. Effects of spraying selenium in different forms and at different stages on selenium absorption and accumulation and main quality indexes of 'Jintao' kiwifruit[J]. Journal of Fruit Science, 2018, 35(11): 1385−1392.]

[27] ZHENG Ye, LUO Fang, WANG Li, et al. Comparison of the characteristics of phenolic compounds in Se-enriched kiwifruit and conventional kiwifruit[J]. Food Chemistry: X, 2025, 27: 102453.

[28] POLYCHRONIADOU C, MICHAILIDIS M, SAMIOTAKI M, et al. Understanding the effect of calcium in kiwifruit ripening and establishment of early and late response mechanisms through a cross-omics approach[J]. Postharvest Biology and Technology, 2024, 211: 112803.

[29] LI Dawei, MIN Yan, CHENG Chang, et al. The diversity and disparity of mineral elements in global kiwifruits[J]. Food Research International, 2025, 203: 115844.

[30] GREMBECKA M, SZEFER P. Comparative assessment of essential and heavy metals in fruits from different geographical origins[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2013, 185(11): 9139−9160.

[31] 王彩霞, 刘宇, 胡佳薇, 等. 电感耦合等离子体发射光谱(ICP-OES)法测定陕西眉县猕猴桃矿物质含量及相关营养评价[J]. 中国无机分析化学, 2024, 14(10): 1465−1470. [WANG Caixia, LIU Yu, HU Jiawei, et al. Determination of mineral elements of kiwifruit in Shaanxi Meixian by ICP-OES and its nutritional evaluation[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2024, 14(10): 1465−1470.]

[32] SHEN Dandan, LI Xu, QIN Yali, et al. Physicochemical properties, phenolic profiles, antioxidant capacities, and inhibitory effects on digestive enzymes of okra (*Abelmoschus esculentus*) fruit at different maturation stages[J]. Journal of Food Science and Technology, 2019, 56(3): 1275−1286.

[33] LIU Yanfei, QI Yingwei, CHEN Xin, et al. Phenolic compounds and antioxidant activity in red- and in green-fleshed kiwifruits[J]. Food Research International, 2019, 116: 291−301.

[34] LIU Yanan, HU Yuanzheng, ZHANG Sipu, et al. Nanoselenium foliar application boosts antioxidant capacity and soluble solids in kiwifruit[J]. Scientia Horticulturae, 2024, 337: 113521.

[35] QIAO Jinli, GUO Liangchuan, YANG Jingxu, et al. Unveiling the polyphenol profile and bioactive potential of kiwi berry (*Actinidia arguta*): Antioxidant capacity and enzyme inhibition activities[J]. Food Chemistry, 2025, 471: 142839.

[36] 魏爱红, 李晓虹, 曾煌, 等. 枇杷抑制 α-葡萄糖苷酶和 α-淀粉酶活性部位的筛选及其酶动力学[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(5): 53−59. [WEI Aihong, LI Xiaohong, ZENG Huang, et al. Screening of effective fraction from *Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl with inhibiting activity against α-glucosidase and α-amylase and its inhibition kinetics[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(5): 53−59.]

[37] NOWICKA P, WOJDYŁO A, TKACZ K, et al. Quantitative and qualitative determination of carotenoids and polyphenolics compounds in selected cultivars of *Prunus persica* L. and their ability to *in vitro* inhibit lipoxygenase, cholinoesterase, α-amylase, α-glucosidase and pancreatic lipase[J]. Food Chemistry: X, 2023, 17: 100619.

[38] MERTES G. Safety and efficacy of acarbose in the treatment of type 2 diabetes: Data from a 5-year surveillance study[J]. Diabetes Research and Clinical Practice, 2001, 52(3): 193−204.

[39] SABOO B, REDDY G C, JUNEJA S, et al. Effectiveness and safety of fixed dose combination of acarbose/metformin in Indian type 2 diabetes patients: Results from observational GLOBE Study[J]. Indian Journal of Endocrinology and Metabolism, 2015, 19(1): 129−135.

[40] HE Xu, CHEN Luyao, PU Yijing, et al. Fruit and vegetable polyphenols as natural bioactive inhibitors of pancreatic lipase and cholesterol esterase: Inhibition mechanisms, polyphenol influences, application challenges[J]. Food Bioscience, 2023, 55: 103054.