

人参果不同生长发育时期品质特性分析

王甜甜, 张 淼, 蒲凯国, 李能慧, 高彦强, 颌建明, 李 静

(甘肃农业大学园艺学院, 甘肃 兰州 730070)

摘 要:通过研究人参果果实不同发育时期,即幼果期(花后 20 d,T1)、膨大期(花后 40 d,T2)、早熟期(花后 60 d,T3)、完熟期(花后 80 d,T4)外观品质和营养品质的变化规律,为人参果果实品质的调控和优化提供参考。结果表明,随着人参果果实的生长,在早熟期前果形指数、 b^* (黄蓝色度)、 c^* (饱和度)、可溶性固形物及可溶性蛋白含量分别下降 25.11%、48.00%、28.74%、12.85%和 86.44%;早熟期后各指标分别显著增加 7.67%、77.49%、95.24%、31.41%和 108.96%;在果实结果初期至成熟, a^* (红绿色度)、横径、纵径、单果质量、粘附性和可溶性糖含量分别为 2.94~16.49、2.23~7.4 cm、3.5~9.3 cm、9.03~201.16 g、0.22~0.46 mm·N 和 3.18%~7.68%,均呈上升趋势。然而,随着生长期的延长,人参果果实的 h° (色调角)、硬度、弹性、维生素 C 含量和咀嚼性分别显著降低 26.31%、51.92%、73.47%、60.17%和 72.68%。且 T4 时期人参果果实的氮氧化合物、芳香族化合物及脂肪类化合物含量显著提高,与 T1 时期相比分别显著升高 293.98%、59.17%和 22.23%。对 32 个外观、营养和挥发性指标进行主成分分析,得到 2 个主成分,其累积方差贡献率达到 88.8%,各处理综合排名为 T4>T3>T1>T2。人参果果实的外观和营养品质变化规律表明,早熟期前需为人参果果实生长提供丰富的物质基础和能量来源,早熟期后则需通过增加营养物质含量来提高人参果的商品率,花后 60~80 d 是果实外观品质、营养品质和风味形成的关键时期。

关键词:人参果;发育时期;品质特性;香气特征

中图分类号:S668.9 **文献标志码:**A

Analysis of quality characteristics of ginseng fruit at different growth and development stages

WANG Tiantian, ZHANG Miao, PU Kaiguo, LI Nenghui, GAO Yanqiang, XIE Jianming, LI Jing

(College of Horticulture, Gansu Agricultural University, Gansu, Lanzhou 730070, China)

Abstract: In order to provide reference for the control and optimization of ginseng fruit quality, the patterns of change in appearance and nutritional quality of ginseng fruit at different periods of young fruit (20 d after flowering, T1), expansion (40 d after flowering, T2), early maturity (60 d after flowering, T3), and full maturity (80 d after flowering, T4) stage were investigated. The results showed that with the growth of ginseng fruit, the fruit shape index, b^* (yellow-blue degree), c^* (saturation degree), soluble solids and soluble protein content decreased by 25.11%, 48.00%, 28.74%, 12.85% and 86.44%, respectively, before early maturity stage. A significant increase was observed after early maturity stage, with the fruit shape index, b^* (yellow-blue degree), c^* (saturation degree), soluble solids, and soluble protein content increasing by 7.67%, 77.49%, 95.24%, 31.41%, and 108.96%, respectively. In contrast, a^* (reddish greenness), transverse diameters, longitudinal diameters, single fruit mass, adhesiveness, and soluble sugar content ranged from 2.94 to 16.49, 2.23 to 7.4 cm, 3.5 to 9.3 cm, 9.03 to 201.16 g, 0.22 to 0.46 mm·N, and 3.18% to 7.68%, respectively, all showing an increasing trend from the early stage of fruit set to maturity. However, the h° (hue angle), hardness, elasticity, vitamin C content and chewiness of ginseng fruits significantly decreased by 26.31%, 51.92%, 73.47%, 60.17% and 72.68%, respectively, with the increase in growth period. The content of nitrogen oxides, aromatic compounds and aliphatic compounds of

收稿日期:2024-06-26

修回日期:2024-09-26

基金项目:国家自然科学基金(32360789);甘肃省自然科学基金(23JRRA1417);甘肃省科技特派团专项(23CXNA0037)

作者简介:王甜甜(1998-),女,甘肃天水人,硕士研究生,研究方向为设施蔬菜栽培与生长生理。E-mail:3299709739@qq.com

通信作者:李静(1990-),女,甘肃景泰人,副教授,主要从事蔬菜栽培与逆境生理研究。E-mail:lj@gsau.edu.cn

ginseng fruits were significantly increased in T4 period, which were significantly higher by 293.98%, 59.17% and 22.23%, respectively, compared with T1 period. The principal component analysis of 32 appearance, nutritional and volatility indexes showed that the cumulative variance contribution rate of two principal components reached 88.8%, and the comprehensive ranking was T4>T3>T1>T2. The changes in the appearance and nutritional quality of ginseng fruit suggest that a rich material base and energy supply should be provided before early maturity stage. After early maturity stage, the commercial value of ginseng fruit can be enhanced by increasing its nutrient content. The period between 60 and 80 days after flowering is critical for the development of appearance, nutritional quality, and flavor.

Keywords: ginseng fruit; developmental stage; quality characteristics; aroma characteristics

人参果 (*Solanum muricatum* Aiton) 是茄科茄属多年生草本植物,其果实富含氨基酸(天冬氨酸、谷氨酸、精氨酸、丝氨酸)、矿物元素(硒、钾、钙)、维生素(维生素 C、胡萝卜素、泛酸、生物素)、粗纤维等多种营养成分^[1]。人参果在美容养颜、利尿、降血糖、抗菌消炎,以及预防高血压、肥胖病、冠心病和癌症等方面都具有积极作用,具有“生命之火”和“防癌之王”的美誉,深受广大消费者的喜爱^[2]。人参果的品质主要由外观品质和内在品质共同构成,品质是决定消费者接受度和认可度的关键因素^[3]。近年来,甘肃省武威市凉州区、天祝县和民勤县大力发展设施农业,全面推进林果产业发展,人参果作为设施农业的主栽品种之一,其种植面积不断扩大,已成为当地极具特色的农产品^[4]。其中,民勤县的人参果产业发展较为突出,种植面积逐年递增,被中国蔬菜流通协会评为“中国人参果之乡”。据统计,2021 年民勤县人参果种植面积达 546.4 hm²,平均投入 60 750 元·hm⁻²,平均产量 81 t·hm⁻²,平均收入 486 000 元·hm⁻²;总产量达 44 258.4 t,总产值达 2.65 亿元,投入产出比为 1:7,因此人参果已成为民勤县农户增收致富的“金果果”^[5]。在生产中,了解人参果在不同发育阶段的营养物质变化规律,对于改善其品质、优化栽培技术及提高其经济价值具有十分重要的意义。分析人参果在发育过程中的营养物质变化规律对探索其品质的形成机制及调控途径有重要价值。

果实成熟过程中品质会不断变化,系统地研究其营养物质变化规律对果实品质精细化改良具有重要意义。目前对果实的研究主要集中于甜瓜、苹果、草莓不同成熟期品质指标的变化特征^[6-8],人参果相关的研究多集中在人参果的组织培养^[9]、人参果品种筛选和栽培管理^[10]等领域,而在人参果发育过程中营养物质变化规律方面的系统研究鲜有报道。因此,本试验以民勤当地主栽人参果为试材,通过探究人参果花后不同发育时期果实中挥发性

物质和营养物质动态变化的规律,以期为人参果果实营养和风味品质的形成及调控提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2022 年 8 月—2023 年 5 月在甘肃省武威市民勤县大坝镇进行。人参果幼苗购自发泽种业有限公司脱毒苗,2022 年 8 月 20 日定植于日光温室中,栽培管理技术与当地常规管理保持一致。

1.2 试验设计

在人参果开花当天选择 10~15 株长势一致的人参果进行标记,每株标记 20~30 朵花,分别于花后 20(幼果期, T1)、40(膨大期, T2)、60(早熟期, T3)、80 d(完熟期, T4)采集成熟度一致、无病虫害和无损伤的果实 30~40 个,设置 5 个重复用于外观品质的测定,剩余材料洗净沥干后匀浆,装入冻存管,液氮处理后存入-80°冰箱保存,进行营养品质测定。

1.3 试验方法

1.3.1 外观品质指标测定 人参果果实内外纵、横径采用游标卡尺测定,果形指数=纵径/横径;单果质量使用分析天平称量;果实色泽参数使用比色计(CR-10 Plus, Konica Minolta Inc., Tokyo, Japan)测定 L*(亮度)、a*(红绿色度)、b*(黄蓝色度)、c*(饱和度)和 h°(色调角);pH 值采用 pH 计(Testo 205,德国)测定。果实质地结构(硬度、弹性、粘附性和咀嚼性)采用质构仪(TMS-PRO,美国 FTC 公司)进行测定,将人参果果实置于质构仪平板上,然后用质构仪的圆柱形探头(直径为 75 mm)对人参果果实进行 TPA(质构剖面分析)测试;测试参数为检测速度 60 mm·min⁻¹,起始力为 0.5 N,果实形变量为 60%,样品回升高度为 60 mm,间隔时间 4 s。

1.3.2 营养品质指标测定 可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝 G250 染色法、可溶性糖含量采用蒽酮比色法、可溶性固形物含量采用 PAL-1 手持式折光仪(Atago PR-1, Atago Co. Ltd, Tokyo, Japan)测定^[11];维生素 C 含量采用 2,6-二氯酚靛酚钠染色法测

定^[12];硝酸盐含量采用水杨酸-硫酸比色法测定^[13]。

1.3.3 挥发性化合物测定 挥发性物质的测定使用便携式电子鼻(PEN3, Airsense Analytics GmbH, 德国)的方法进行测定,称取 0.5 g 人参果实鲜样,加入 1.5 g 无水硫酸钠,快速充分研磨,然后倒入顶空瓶中,盖紧盖子后将顶空瓶置于磁力搅拌器上,70℃加热搅拌 10 min 平衡内部顶空气体,最后使用电子鼻检测顶空瓶上部气体中的挥发性物质。电子鼻检测条件如下:冲洗时间 60 s,传感器调零时间 5 s,预采样时间 5 s,注射流速 400 mL · min⁻¹,测量时间 120 s,传感器的物质种类和性能描述详见表 1。

1.4 数据分析

采用 Excel 2021 软件处理数据,使用 SPSS 软件进行方差分析和主成分分析(PCA),多重比较采用 Duncan's ($P<0.05$),结果以平均值±标准误差(SE)表示。使用 Origin 2021 进行作图。

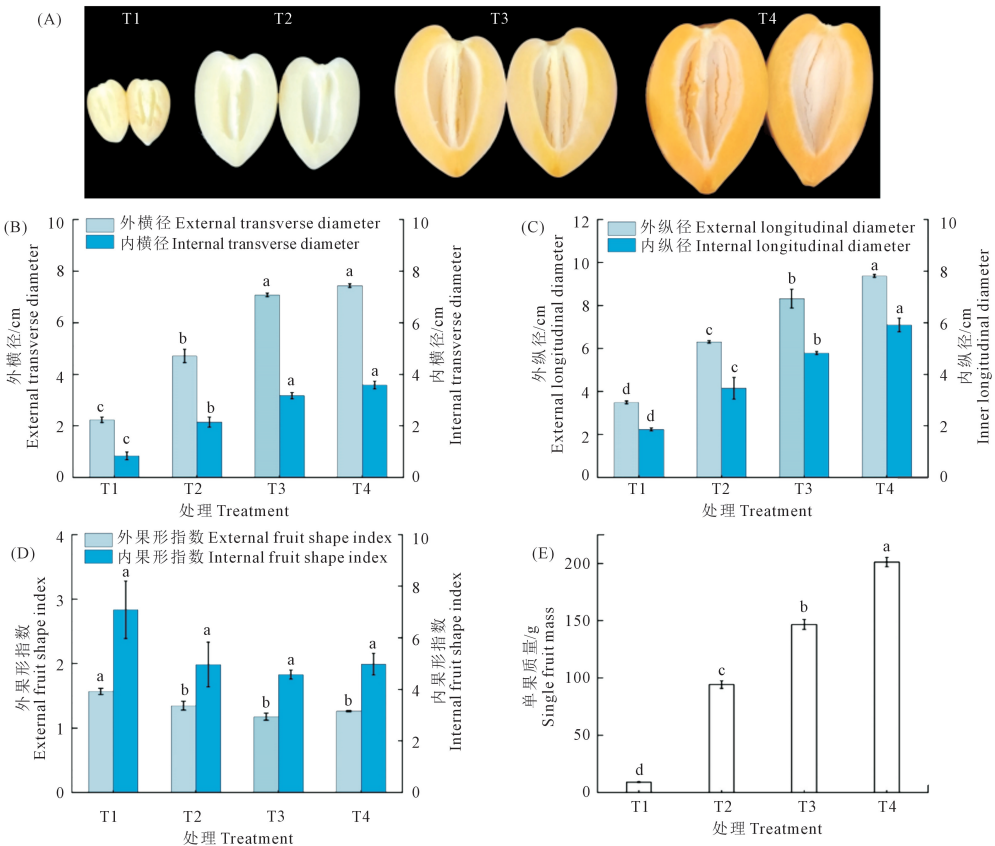
2 结果与分析

2.1 人参果花后不同时期果实外观品质的变化

2.1.1 人参果花后不同时期果实外观形态的变化 在人参果果实发育过程中,外观形态在花后 20、40、60、80 d 发生明显变化(图 1A),果实纵径(外

表 1 电子鼻传感器的物质类型和性能描述

传感器	物质类型	性能
Transducer	Substance type	Performance
W1C	芳香族	芳香成分,苯类
	Aromatic	Aromatic ingredients, benzene
W5S	广泛的	灵敏度大,对氮氧化合物灵敏
	Extensive	High sensitivity, sensitive to nitrogen oxides
W3C	芳香族	对氨类和芳香型化合物灵敏
	Aromatic	Sensitive to ammonia and aromatic compounds
W6S	氢	主要对氢化物有选择性
	Hydrogen	Selective mainly for hydrides
W5C	芳香脂肪族	短链烷烃芳香成分
	Aromatic aliphatic	Short-chain alkane aromatic components
W1S	甲烷	对甲基类灵敏
	Methane	Sensitive to methyl groups
W1W	无机硫	无机硫化物,萜烯类灵敏
	Inorganic sulfur	Inorganic sulphides, terpene sensitivity
W2S	醇类	对醇类,醛酮类灵敏
	Alcohol	Sensitive to alcohols, aldehydes and ketones
W2W	氯化亚硫酸	芳香成分对有机硫化物灵敏
	Sulphurous chloride	Aromatic components sensitive to organic sulphides
W3S	甲烷脂肪族	对长链烷烃灵敏
	Methane aliphatic	Sensitive to long chain alkanes



注:图中不同小写字母表示处理间差异达到显著水平($P<0.05$),下同。
Note: Different lowercase letters indicate significant differences ($P<0.05$) among treatments. The same below.

图 1 人参果不同发育期果实外观形态的变化

Fig.1 Changes of appearance and morphology of ginseng fruit in different development stages

纵径、内纵径,图 1B)、横径(外横径、内横径,图 1C)以及单果质量(图 1E)呈逐渐上升趋势且在 T4 时期达到峰值。果实纵径在不同发育时期之间均差异显著,相比 T1、T2 和 T3,T4 时期分别显著增加了 168.19%、48.68%和 12.73%;内纵径分别显著增加 216.96%、70.95%和 22.56%。T4 时期的果实外横径和内横径与 T1、T2 时期差异显著,其外横径分别显著增加了 232.78%和 57.92%,内横径分别显著增加 329.07%和 67.23%;而其与 T3 时期无显著性差异。随着人参果生长周期的不断推进,其果形指数呈先下降后上升的趋势,与 T1 相比,T2、T3 和 T4 时期的外果形指数分别显著降低了 16.34%、33.53%和 24.02%,而内果形指数间无显著性差异(图 1D)。人参果的单果质量在不同时期之间差异显著,T4 时期的单果质量达到峰值,为 201.16 g,相比 T2 和 T3 时期分别显著增加 113.48%和 37.08%。

2.1.2 人参果花后不同时期果实质地的变化 图 2 所示为人参果花后不同时期果实质地特征参数(硬度、粘附性、弹性和咀嚼性)的变化。由图 2 可知,随着人参果的成熟,所有时期的果实硬度、弹性和咀嚼性均呈现下降的趋势,而粘附性呈上升的趋势,且果实硬度、粘附性和咀嚼性在各时期之间均存在显著差异。与 T1、T2 和 T3 时期相比,T4 时期的硬度分别显著降低 51.92%、45.76%和 38.08%,弹性分别显著降低 73.47%、68.29%和 66.67%,咀嚼性分别显著降低 72.68%、49.09%和 29.15%,T3 与 T2 时期的弹性间无显著差异。与 T1 相比,T2、T3 和 T4 时

期的粘附性分别显著增加 29.03%、43.59%和 52.17%。

2.1.3 人参果花后不同时期果实外观色泽的变化 图 3为人参果开花后不同时期果实的外观色泽变化情况,不同时期果实的着色均有不同程度的变化。随着人参果果实生育期的推进,L*、b*和 c*呈先下降后上升趋势,且 b*和 c*在 T4 时期达到峰值,而 L*在 T1 时期达到峰值。与 T1 相比,T2、T3 和 T4 时期的 L*分别显著降低了 28.96%、28.57%和 22.70%;与 T1、T2 和 T3 相比,T4 时期的 b*分别显著增加了 23.31%、100.18%和 77.49%,而 T2 和 T3 间无显著差异;与 T4 相比,T1、T2 和 T3 时期的 c*分别显著降低了 39.13%、126.25%和 95.24%。随着人参果果实的不断成熟,a*呈逐渐上升趋势,而 h°呈逐渐下降趋势。与 T1、T2 和 T3 相比,T4 时期的 a*分别显著增加了 392.74%、311.94%和 142.52%;与 T1 时期相比,T2、T3 和 T4 时期的 h°分别显著降低了 9.78%、22.48%和 35.71%。

2.2 人参果花后不同时期果实营养品质的变化

2.2.1 人参果花后不同时期果实营养品质的变化 如图 4 所示,测定人参果花后不同时期果实可溶性糖、可溶性蛋白、可溶性固形物和维生素 C 含量的变化。随着人参果果实的不断成熟,果实的可溶性糖含量逐渐增加,T4 的可溶性糖含量显著高于 T1、T2 和 T3 时期,分别增加 141.50%、74.94%和 68.24%(图 4A)。随着人参果果实的发育成熟,可溶性蛋白和可溶性固形物均呈现先降低后上升的趋势。T1 时期人参果的果实可溶性蛋白含量达到

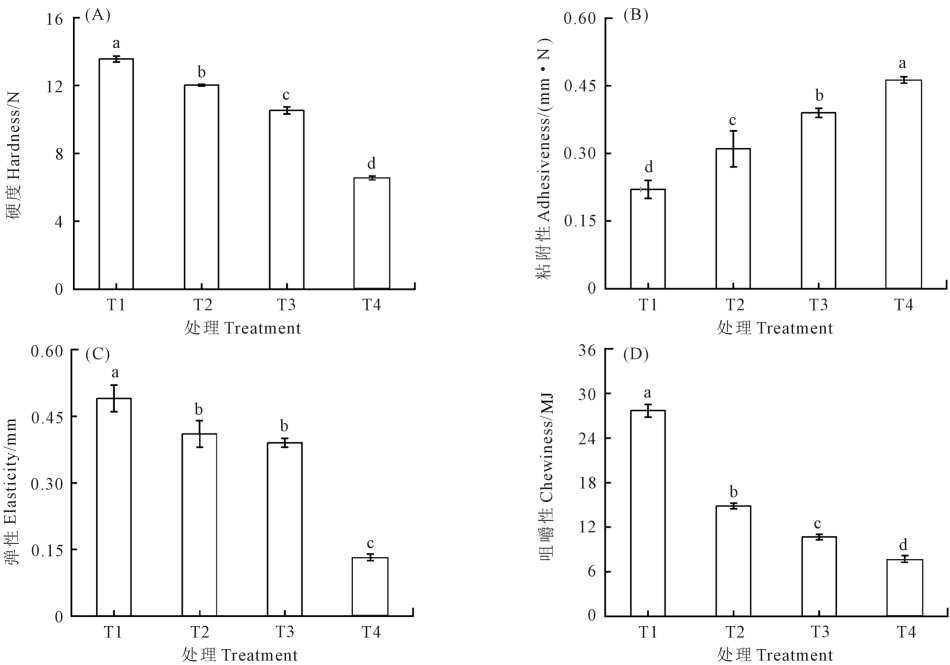


图 2 人参果不同发育期果实质地特性的变化

Fig.2 Changes in textural characteristics of ginseng fruit in different development stages

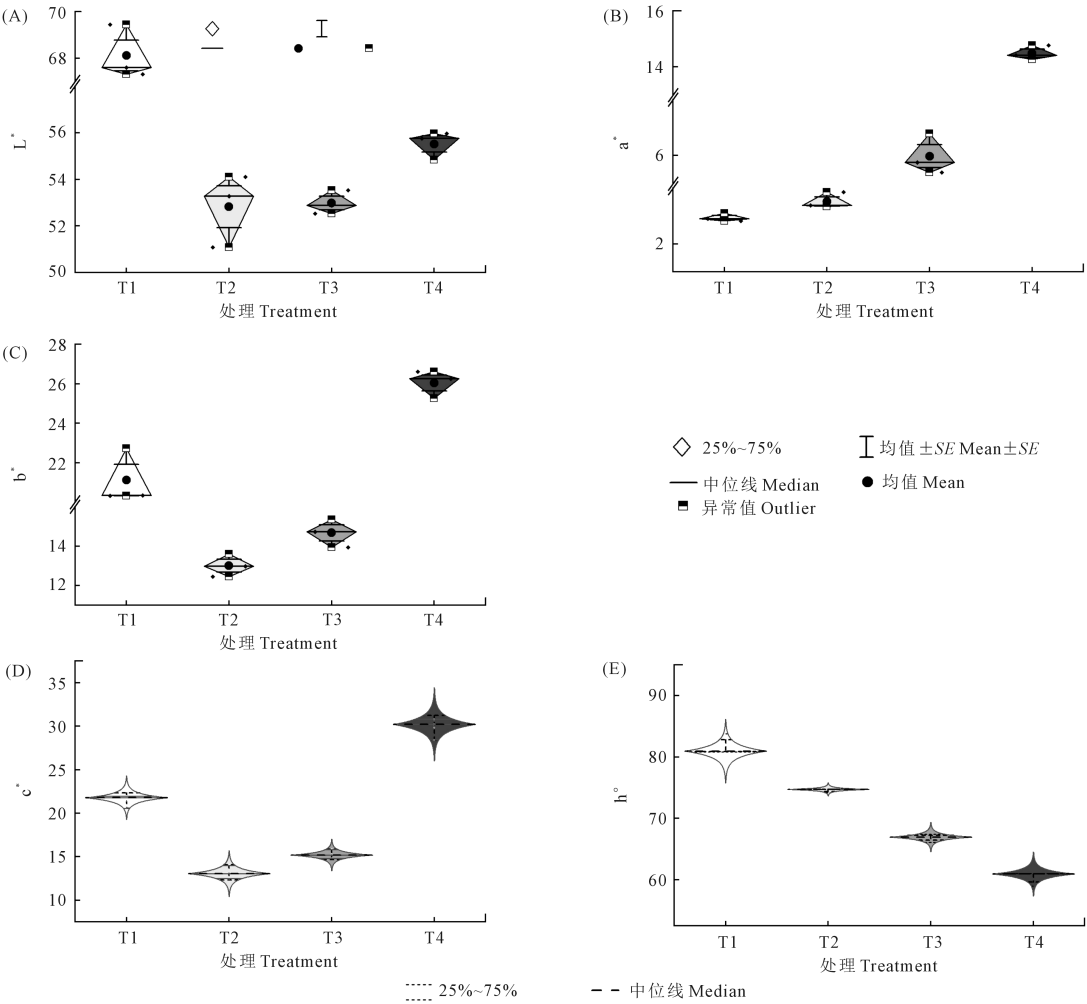


图 3 人参果不同发育期果实外观色泽的变化

Fig.3 Changes in the appearance and color of ginseng fruit in different development stages

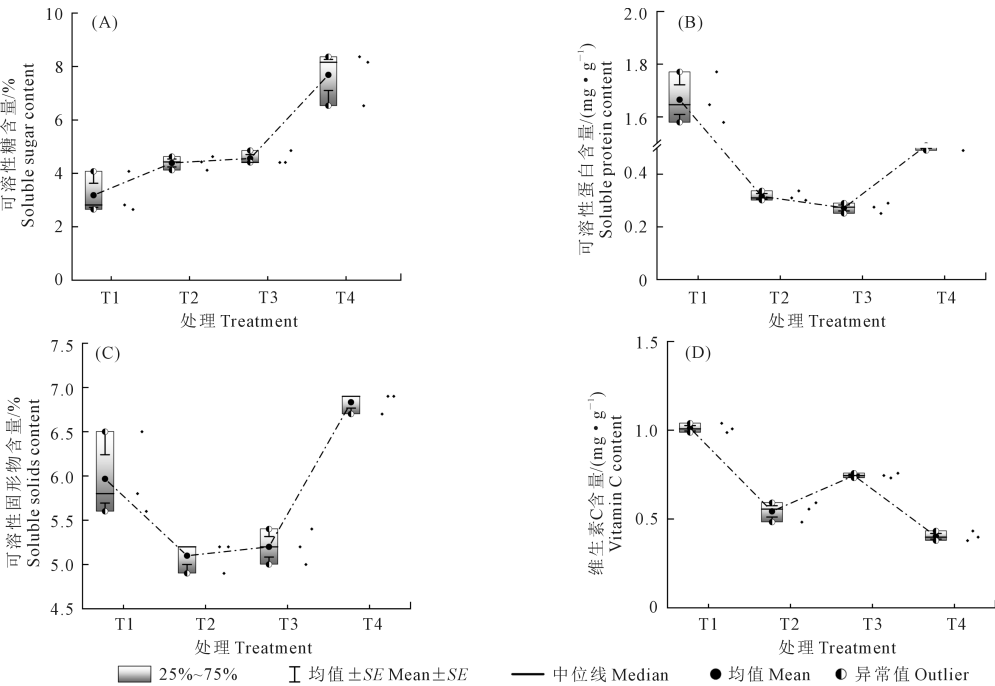


图 4 人参果不同发育期果实营养品质的变化

Fig.4 Changes in the nutritional quality of ginseng fruit in different development stages

最高值 ($0.73\text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$), 显著高于其他时期 (图 4B); T4 时期的果实可溶性固形物含量显著高于 T1、T2 和 T3, 分别显著增加 14.41%、33.92% 和 31.35%, 而 T1 与 T3 的可溶性固形物含量间无显著差异 (图 4C)。人参果果实的维生素 C 含量整体呈下降趋势, T1 时期的果实维生素 C 含量最高 ($1.01\text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$), 较 T2、T3 和 T4 时期分别显著增加了 87.04%、152.5% 和 36.49% (图 4D)。

2.2.2 人参果花后不同时期果实硝酸盐含量的变化 图 5 为人参果花后不同时期果实硝酸盐含量的变化, 随着人参果的成熟, 硝酸盐含量呈先下降后上升的趋势; 在 T4 时期达到峰值, 显著高于其他时期, 相比 T1、T2 和 T3 分别显著增加了 58.01%、90.42% 和 130.93%。T2 与 T1 和 T3 时期的硝酸盐含量无显著差异, 但 T1 高于 T2 和 T3, 分别增加了 20.54% 和 59.61%; 硝酸盐含量在 T3 时期达到最低值 ($22.33\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), 相比 T1、T2 和 T4 分别显著降低了 31.59%、17.54% 和 56.70%。

2.2.3 人参果花后不同时期果实 pH 值的变化 图 6 所示为人参果花后不同时期果实 pH 值的变化。随着果实的不断成熟, pH 值呈先下降后上升的趋势,

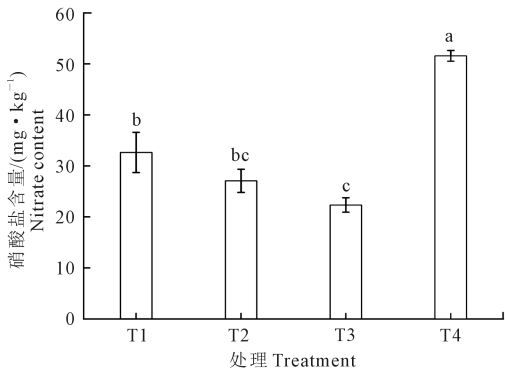


图 5 人参果不同发育期果实硝酸盐含量的变化
Fig.5 Changes in the nitrate content of ginseng fruit in different development stages

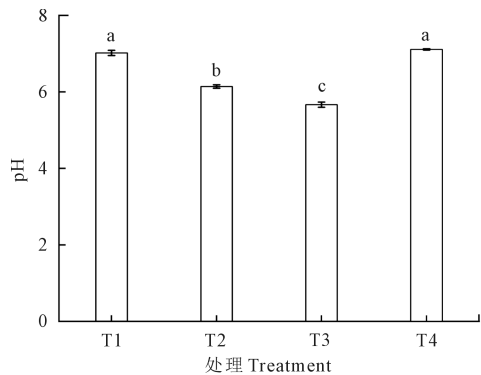


图 6 人参果不同发育期果实 pH 值的变化
Fig.6 Changes of pH value of ginseng fruit in different development stages

在 T4 时期达到最大值, 相比 T1、T2 和 T3 时期分别显著增加了 1.28%、15.74% 和 25.49%; 在 T3 时期达到最低值, 相比 T1、T2 和 T4 时期分别显著降低了 19.29%、7.76% 和 20.31%。

2.3 基于电子鼻 (E-nose) 分析人参果花后不同时期果实挥发性化合物的变化

由图 7 可知, E-nose 的 10 个传感器对花后不同时期果实挥发性化合物均有响应, 不同传感器的响应程度不同。从图中可以看出, 4 个时期中, W5S 传感器的相对电阻值均高于其他传感器, 表明在人参果实生长发育过程中挥发物氮氧化合物对传感器最敏感。W1C、W2W、W3C、W5C 及 W6S 对 T4 时期的人参果果实均具有较高的响应值, 相比于 T1、T2 及 T3, T4 时期的 W5S、W1C、W2W、W3C、W5C 及 W6S 分别显著提高了 293.98%、461.09%、447.78%、59.17%、87.08%、56.45%、29.15%、59.38%、51.74%、40.60%、55.42%、39.07%、22.23%、28.28%、21.96% 及 1.84%、1.58%、4.48% (表 2)。4 个时期前 2 个主成分之和达到 96%, 其中 PC1 和 PC2 分别解释了总方差的 71.5% 和 24.5%, 且 T4 与 T1、T2、T3 时期基于 PC1 产生明显的分离, T4 与 T2、T3 基于 PC2 产生明显的分离。此外, 从载荷图 (图 7B) 可以看出 W3C 和 W1C 具有较强的第一主成分负荷, W1S 和 W6S 具有较强的第二主成分负荷, 因此被用作反映花后不同时期的人参果挥发性物质的代表因子。

2.4 不同时期人参果果实品质主成分分析

主成分分析 (principal component analysis, PCA) 是一种通过降低数据维度, 将多个变量通过线性变换为少数综合变量, 用简化的数据反映原始数据的多元统计分析方法, 目前已广泛应用于食品的品质

表 2 人参果不同发育期果实香气特征响应值				
Table 2 Aroma characteristics response values of ginseng fruit in different development stages				
传感器 Transducer	时期 Stage			
	T1	T2	T3	T4
W1C	1.425±0.268b	1.213±0.123b	1.450±0.102b	2.269±0.205a
W5S	2.285±0.240b	1.605±0.035b	1.644±0.064b	9.005±2.172a
W3C	1.201±0.073b	1.086±0.032b	1.214±0.028b	1.688±0.059a
W6S	1.220±0.009ab	1.224±0.007ab	1.190±0.008b	1.243±0.025a
W5C	1.121±0.034b	1.068±0.013b	1.123±0.013b	1.370±0.034a
W1S	1.032±0.004a	1.024±0.001ab	1.018±0.002b	1.017±0.000b
W1W	1.026±0.003ab	1.024±0.001b	1.021±0.003b	1.031±0.001a
W2S	1.029±0.004a	1.025±0.001ab	1.021±0.001b	1.019±0.000b
W2W	1.691±0.330b	1.371±0.078c	1.440±0.093bc	2.184±0.183a
W3S	1.054±0.013a	1.032±0.004b	1.025±0.002b	1.017±0.001b

注: 同列不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between treatments ($P<0.05$).

评价,能够较好地反映果实品质差异。如图 8A 所示,第一和第二主成分(PC1 和 PC2)的方差贡献率分别为 58.5%和 30.3%,4 个时期可以在 PC1 和 PC2 上得到很好的区分。图 8B 反映了各品质指标在其主成分中载荷值的大小。其中可溶性糖(X10)、a*(X14)、内纵径(X3)和单果质量(X1)对 PC1 的贡献较大。pH(X18)、W1W(X25)、W6S

(X22)、b*(X15)、W2W(X27)和 L*(X13)对 PC2 的贡献较大。由表 3 可知,人参果果实在不同时期的综合得分分别为 -37.19(T1)、-41.11(T2)、-26.67(T3)、104.96(T4),因此,不同时期人参果果实品质的影响表现为 T4>T3>T1>T2,即 T4 时期综合得分最高,表明在 T4 时期人参果的果实品质达到最优。

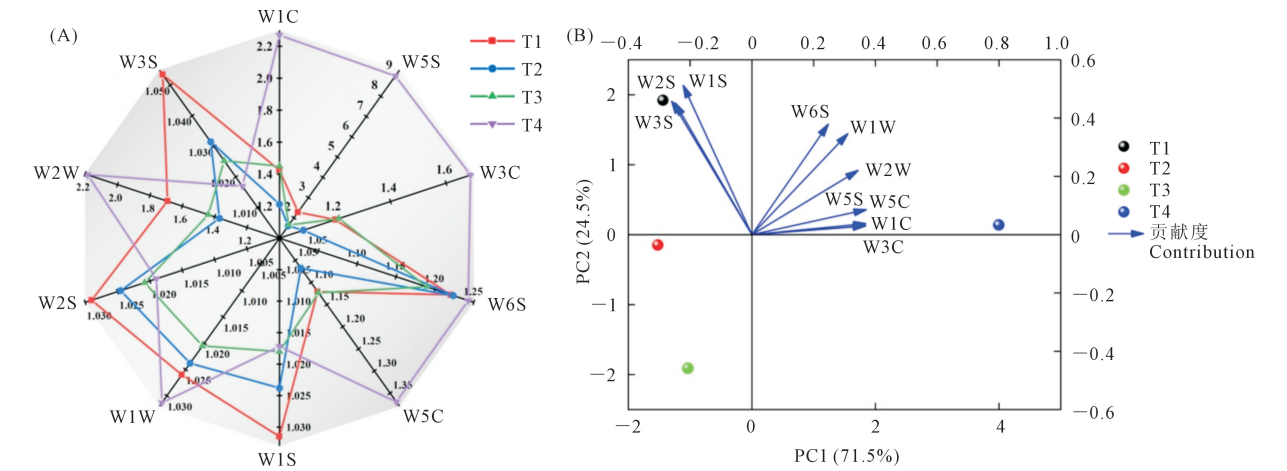
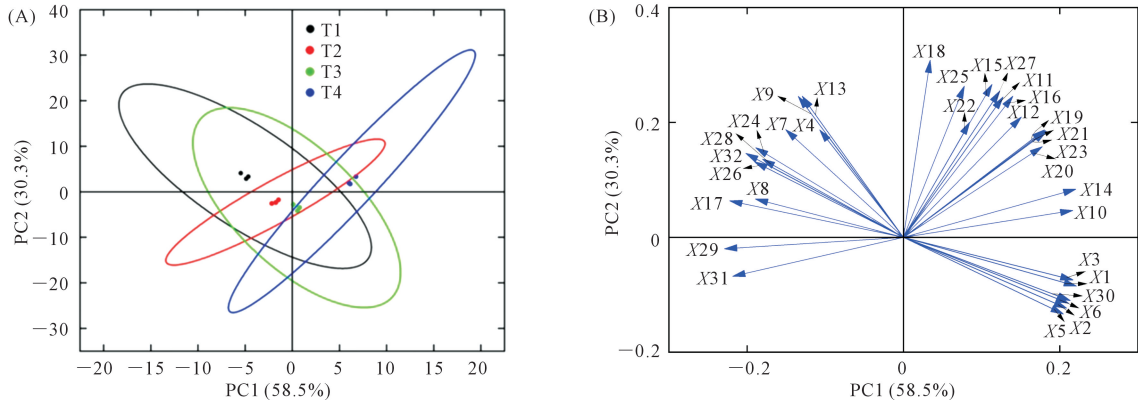


图 7 人参果不同发育期果实香气特征响应值雷达图和主成分分析

Fig.7 Radar fingerprint chart and principal component analysis of the response values of the aroma characteristics of ginseng fruit in different development stages



注:图 A 中的圆圈表示 95%的置信区间,图 B 中的箭头表示载荷向量。X1:单果质量;X2:内横径;X3:内纵径;X4:内果形指数;X5:外横径;X6:外纵径;X7:外果形指数;X8:维生素 C;X9:可溶性蛋白;X10:可溶性糖;X11:可溶性固形物;X12:硝酸盐含量;X13:L*;X14:a*;X15:b*;X16:c*;X17:h°;X18:PH;X19:W1C;X20:W5S;X21:W3C;X22:W6S;X23:W5C;X24:W1S;X25:W1W;X26:W2S;X27:W2W;X28:W3S;X29:硬度;X30:粘附性;X31:弹性;X32:咀嚼性。

Note:The circle in figure A represents a 95% confidence interval. The arrows in figure B represent the load vector. X1: Single fruit mass; X2: Internal transverse diameter; X3: Internal longitudinal diameter; X4: Internal fruit shape index; X5: External transverse; X6: External longitudinal; X7: External fruit shape index; X8: Vitamin C; X9: Soluble protein; X10: Soluble sugar; X11: Soluble solids; X12: Nitrate content; X13: L*; X14: a*; X15: b*; X16: c*; X17: h°; X18: PH; X19: W1C; X20: W5S; X21: W3C; X22: W6S; X23: W5C; X24: W1S; X25: W1W; X26: W2S; X27: W2W; X28: W3S; X29: Hardness; X30: Adhesiveness; X31: Elasticity; X32: Chewiness.

图 8 人参果不同发育期果实品质 PAC 得分图和荷载图

Fig.8 PAC score diagram and load diagram of ginseng fruit nutrition quality in different development stages

表 3 人参果不同发育期果实品质的综合得分排名

Table 3 Ranking of composite scores of ginseng fruit quality at different development stages				
时期 Stage	主成分得分 Principal component score		综合得分 Comprehensive score	综合得分排名 Comprehensive score ranking
	PC1	PC2		
T1	-1.07413	0.98238	-37.19	3
T2	-0.33447	-0.64543	-41.11	4
T3	0.09508	-1.05209	-26.67	2
T4	1.31352	0.71515	104.96	1

3 讨 论

3.1 人参果不同发育期果实外观品质的变化

在人参果生长发育过程中,随着果实的成熟,单果质量呈现持续增加的趋势,当人参果单果质量达 150~300 g 时,呈圆形、椭圆状或细长形,皮薄肉厚,果肉清香多汁,果中无核^[14]。何文兵等^[15]对不同采收期‘北冰红’葡萄的研究发现,随着果实的不断成熟,果形指数呈先下降后上升的趋势。冯建文等^[16]的报道表明,在果实膨大前期 S1 到可采成熟期 S2,再到食用成熟期 S3,糖心苹果单果质量显著增加。本研究结果与以上研究结果基本一致,随着果实的不断发育成熟,果实纵径和横径呈显著上升的趋势,果形指数呈先下降(T1~T3)后上升(T3~T4)的趋势,单果质量呈上升趋势且各时期间差异显著,在花后 20~80 d 变化范围为 9.0~201.15 g。这可能是由于果实发育初期细胞伸长,果实细胞分裂的速度加快,果实的长度和宽度增加,同时,细胞壁中的纤维素不断增加,细胞质原位累积,使得果实体积逐渐增大^[17]。花后 20~40 d 人参果生长迅速,因此,生产上需及时进行追肥满足果实生长需求。

质地主要评估果实或组织的硬度和弹性,可通过机械方法、近红外光谱或超光谱成像方法进行测量。硬度受果实细胞壁的紧密性或厚度的影响,是决定果实采后品质的重要因素^[18]。贾荣俭等^[19]在研究‘瑞雪’苹果的生长发育过程中发现,随着苹果果实的发育果实硬度显著降低。王继玥等^[20]在研究地果盛花后 20、50、100 d 和 150 d 果实的硬度和咀嚼性变化趋势时发现,随着盛花后时间的不断推移,地果的硬度和咀嚼性逐渐降低。本研究通过质构仪测定各时期人参果果实质地特性,发现果实随着生长周期的推进,其硬度、弹性和咀嚼性明显下降,而粘附性明显升高,可能是因为果实发育过程中,细胞壁修饰酶降解细胞壁组分,从而引发果实组织结构的变化,在临近果实成熟时,各质地参数

到达食用标准,形成了果实的品质特性^[21]。

果实表皮和果肉颜色变化是果实开始成熟的信号之一,赵忠晶等^[22]在研究‘苏勒坦’早熟杏成熟过程中果实品质的变化时发现,果实成熟过程中‘苏勒坦’杏的红色或绿色物质(a*值)和黄色或蓝色物质(b*值)均呈上升趋势。在本试验中,人参果生长过程中 a*、h°和 L* 逐渐上升,b*和 c* 均呈先下降后上升的趋势,T3 时期开始转色,果肉中的类胡萝卜素含量增加,由淡黄色逐渐变黄而愈加明亮;果皮花青素含量不断积累,果实表面出现紫色条纹,明显的颜色变化标志着果实进入了成熟期^[23~24]。

3.2 人参果不同发育期果实营养和安全品质的变化

果实的营养品质是商品价值的重要指标,可溶性糖、可溶性蛋白、可溶性固形物及维生素 C 含量在果实风味和营养价值中起着关键作用^[22]。增加果实中可溶性固形物含量,能够改善果实品质,提高鲜果的价值^[25]。郭子微^[26]在研究红肉苹果‘红满堂’果实发育和成熟过程中发现,随着苹果果实的生长发育,果实中可溶性糖含量不断升高。本研究发现,随着人参果的不断发育成熟,果实中可溶性糖含量不断积累,可能是因为随着果实发育有机酸转化为糖或由呼吸作用氧化成 CO₂和 H₂O 或被 K⁺、Ca²⁺等中和,使果实酸味下降,甜味增加^[27];而可溶性蛋白质含量先下降后上升,可能是因为果实发育早期细胞代谢旺盛、分裂速度较快,需要消耗大量的蛋白质、酶和碳水化合物参与生理反应^[28]。此外,黄金越等^[29]对不同发育期‘库车白杏’和‘轮台白杏’可溶性固形物的研究发现,随着果实的不断成熟,可溶性固形物呈先下降后上升的趋势;李春丽等^[30]研究‘玫瑰香’葡萄始熟期前 pH 值的变化时发现,葡萄果实在始熟期前 pH 值较低,进入始熟期后 pH 值开始迅速升高;而 Bulley 等^[31]研究发现猕猴桃在开花后 4~7 周维生素 C 的含量最高。本研究结果与以上研究相似,即随着人参果的成熟,可溶性固形物、维生素 C 和 pH 值均呈先下降后上升的趋势,在 T4 时期(花后 80 d,完熟期)分别为 6.83%、0.40 mg·g⁻¹和 7.11,这可能是由于果实成熟过程中糖和有机酸含量及代谢活动发生了显著变化。

随着人类生活质量的提高,健康的饮食已被全世界公认为健康状况的重要影响因素,食品安全问题愈发受到重视^[32]。硝酸盐是蔬菜安全品质的重要指标,人体的硝酸盐主要来源于蔬菜,而硝酸盐

摄入量过高会威胁人体健康^[33]。本研究发现,随着人参果的生育期推进,果实的硝酸盐含量呈先下降后上升的趋势,在 T3(花后 60 d,早熟期)达到最低,在 T4(花后 80 d,完熟期)达到峰值,但其硝酸盐的含量介于22.33~51.57 mg·kg⁻¹,可安全食用。

3.3 人参果不同生育期果实挥发性化合物的变化

果蔬中含有不同的挥发性有机化合物成分,使其产生不同的香气物质,被人们的嗅觉所感知。E-nose 通过一系列传感器来区分复杂的气味,为农产品和食品的快速质量评估提供了新的选择^[34]。本研究通过 E-nose 检测了人参果果实的挥发性成分,结果发现人参果的特征香气成分挥发性物质主要在氮氧化合物(W5S)、芳香族苯化合物(W1C)、芳香族有机硫化物(W2W)、氨基类和芳香型化合物(W3C)、无机硫化物和萜烯类(W1W)及氢化物(W6S)传感器反应灵敏,随着果实的不断成熟,其香气成分显著增加,提高了果实的感官品质和市场竞争力。谢林君等^[35]的研究结果同样发现,在花后 9~19 周的‘阳光玫瑰’葡萄成熟过程中,其挥发性成分主要在 W5S、W1S、W1W、W2S 与 W2W 传感器反应灵敏。通过检测这些特征挥发性物质含量,不但可以区分不同的物种,同时有助于快速比较不同物种间的风味品质。此外,本研究中花后 20~80 d 的人参果果实香气特征存在显著差异,基于主成分分析的分类结果显示完熟期和其他时期明显不同,该时期果实的香气更加浓郁,可进一步增加消费者对人参果的接受度。

4 结 论

随着人参果的发育成熟,其果实的品质发生显著变化,其中完熟期人参果果实外观品质中的 a*、b*、c* 提高,从而促进果实颜色从乳白色转变为带有紫色条纹的金黄色。此外,完熟期人参果粘附性、果实中 W5S、W1C、W2W、W3C、W1W 和 W6S 的响应值以及果实营养品质中可溶性糖和可溶性固形物含量均显著增加。通过对 4 个时期人参果果实品质进行主成分分析,得到 2 个主成分,累计方差贡献率 88.8%,综合排名为 T4>T3>T1>T2,可见花后 60~80 d 是人参果果实外观品质、营养品质和风味形成的关键时期。

参 考 文 献:

[1] 王诚,王艳萍,熊毅,等. 人参果化学成分及其抗氧化活性[J]. 中成药, 2023, 45(12): 3972-3979.
WANG C, WANG Y P, XIONG Y, et al. Chemical constituents from *Solanum muricatum* and their antioxidant activities[J]. Chinese Tradi-

tional Patent Medicine, 2023, 45(12): 3972-3979.
[2] 张丽芳,李荣琼,包涛,等. 人参果茎尖脱毒与组培快繁技术研究[J]. 长江蔬菜, 2018, (2): 13-15.
ZHANG L F, LI R Q, BAO T, et al. Stem tip detoxification and rapid multiplication of ginseng fruit in group culture [J]. Journal of Changjiang Vegetables, 2018, (2): 13-15.
[3] 杨芬芬,王亚铜,李勤勤,等. 6 个欧洲李品种果实品质的综合评价[J].食品与发酵工业, 2025, 51(1): 280-289.
YANG F F, WANG Y T, LI Q Q, et al. Comprehensive evaluation of fruit quality of six European plum varieties[J]. Food and Fermentation Industries, 2025, 51(1): 280-289.
[4] 汤春霞,王光耀. 人参果酸奶含片的加工工艺研究[J]. 食品安全导刊, 2024, (4): 135-138.
TANG C X, WANG G Y. Study on processing technology of ginseng fruit and yogurt lozenges[J]. China Food Safety Magazine, 2024, (4): 135-138.
[5] 姚建云,詹全民. 民勤县人参果产业发展现状、存在的问题及可持续发展对策[J]. 中国农业文摘-农业工程, 2023, 35(5): 34-37.
YAO J Y, ZHAN Q M. Minqin county ginseng fruit industry development status, existing problems and sustainable development countermeasures[J]. Agricultural Science and Engineering in China, 2023, 35(5): 34-37.
[6] 白鸿瑞,李海骋,刘舒畅,等. 网纹甜瓜果实成熟过程中主要品质指标的变化[J]. 中国果菜, 2024, 44(3): 34-42.
BAI H R, LI H C, LIU S C, et al. Changes in main quality indicators of netted melon fruits during ripening process[J]. China Fruit & Vegetable, 2024, 44(3): 34-42.
[7] 李世军,李佳,尹宝颖,等. 苹果早熟品种(系)果实成熟过程中主要品质指标的变化[J]. 北方园艺, 2018, (22): 23-28.
LI S J, LI J, YIN B Y, et al. Changes of main quality indexes of early ripening apple cultivars (strains) during the ripening process [J]. Northern Horticulture, 2018, (22): 23-28.
[8] 严嘉玮,路洪艳,李莉,等. 2 种草莓成熟过程中果实特征品质指标的变化[J]. 食品科学, 2017, 38(4): 125-132.
YAN J W, LU H Y, LI L, et al. Variations in quality characteristics of two strawberry cultivars during fruit ripening[J]. Food Science, 2017, 38(4): 125-132.
[9] 卢小亮,米兴旺,王学强,等. 人参果组织培养研究进展[J]. 现代化农业, 2024, (1): 34-36.
LU X L, MI X W, WANG X Q, et al. Advances in ginseng fruit tissue culture research[J]. Modernizing Agriculture, 2024, (1): 34-36.
[10] 张子琛,王玉英,张晚秋,等. 8 个人参果品种(系)的果实品质评价[J]. 热带作物学报, 2024, 45(3): 524-532.
ZHANG Z C, WANG Y Y, ZHANG W Q, et al. Quality evaluation of eight ginseng fruit varieties (lines) [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2024, 45(3): 524-532.
[11] 文昊,杨静慧,李天杰,等. ‘玫瑰香’优系葡萄果实品质分析[J]. 天津农学院学报, 2022, 29(2): 37-40.
WEN H, YANG J H, LI T J, et al. Fruit quality analysis of ‘muscat hamburg’ grape[J]. Journal of Tianjin Agricultural College, 2022, 29(2): 37-40.
[12] BANU A T, RAMANI P S, MURUGAN A. Effect of seaweed coating on quality characteristics and shelf life of tomato (*Lycopersicon esculentum* mill)[J]. Food Science and Human Wellness, 2020, 9(2): 176-183.

[13] 杨雪松,赵海静.不同基质对黄瓜长势、产量及果实品质的影响[J].蔬菜,2021,(11):11-15.
YANG X S, ZHAO H J. Effects of different substrates on growth, yield and fruit quality of cucumber[J]. Vegetables, 2021, (11): 11-15.

[14] 赵雅琦.不同贮藏方法和处理对人参果采后品质的影响及机制研究[D].南宁:广西大学,2022.
ZHAO Y Q. Effects and mechanism of different storagemethods and treatments on postharvest quality of pepino fruit[D]. Nanning: Guangxi University, 2022.

[15] 何文兵,李明,崔艳艳,等.不同采收期北冰红葡萄中总酚含量变化规律研究[J].通化师范学院学报,2024,45(2):69-75.
HE W B, LI M, CUI Y Y, et al. Study on changes of total phenolic compounds in Beibinghong grape in different picking periods[J]. Journal of Tonghua Normal University, 2024, 45(2): 69-75.

[16] 冯建文,韩秀梅,宋莎,等.贵州高海拔区糖心苹果果实品质特征及成因分析[J].南方农业学报,2021,52(5):1273-1281.
FENG J W, HAN X M, SONG S, et al. Fruit quality characters and causes of watercore apple in high altitude areas of Guizhou[J]. Journal of Southern Agriculture, 2021, 52(5): 1273-1281.

[17] 赵德英.提升果实品质之增大果个[J].果树实用技术与信息,2022,(1):9-11.
ZHAO D Y. Enlargement of fruit size to improve fruit quality[J]. Fruit Tree Practical Technology and Information, 2022, (1): 9-11.

[18] ISLAM M Z, MELE M A,CHOI K Y, et al. The effect of silicon and boron foliar application on the quality and shelf life of cherry tomatoes[J]. Zemdirbyste-Agriculture, 2018, 105(2): 159-164.

[19] 贾荣俭,胡宇,杨杰,等.叶面喷施 K_2SO_4 对‘瑞雪’苹果果实糖代谢的影响[J].干旱地区农业研究,2024,42(2):88-96,130.
JIA R J, HU Y, YANG J, et al. Effects of foliar spraying K_2SO_4 on sugar metabolism in ‘Ruixue’ apple fruit[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2024, 42(2): 88-96, 130.

[20] 王继玥,刘政宏,姜连,等.地果不同发育时期质地和营养品质分析[J].分子植物育种,2024,22(15):5084-5090.
WANG J Y, LIU Z H, JIANG L, et al. Analysis of texture parameters and nutritional quality of fruit in *ficus tikoua* Bur. at different development stages[J]. Molecular plant breeding, 2024, 22(15): 5084-5090.

[21] VIDECOQ P, STEENKESTE K, BONNIN E, et al. A multi-scale study of enzyme diffusion in macromolecular solutions and physical gels of pectin polysaccharides[J]. Soft Matter, 2013, 9(20): 5110-5118.

[22] 赵忠晶,廖康,章世奎,等.早熟杏“苏勒坦”果实成熟过程中的品质变化[J].中国果树,2021,(12):47-52.
ZHAO Z J, LIAO K, ZHANG S K, et al. Quality changes of early ripening ‘Suletan’ apricot during fruit ripening[J]. China Fruits, 2021, (12): 47-52.

[23] DI SCALA K, VEGA - GÁLVEZ A, URIBE E, et al. Changes of quality characteristics of pepino fruit (*Solanum muricatum* Ait) during convective drying[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2011, 46(4): 746-753.

[24] HUANG D J, OU B X, PRIOR R L. The chemistry behind antioxidant capacity assays[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(6): 1841-1856.

[25] KLUNKLIN W, SAVAGE G. Effect on quality characteristics of tomatoes grown under well-watered and drought stress conditions[J]. FOODS, 2017, 6(8): 56.

[26] 郭子微.红肉苹果‘红满堂’果实发育和成熟过程中代谢物变化的分子机制[D].晋中:山西农业大学,2022.
GUO Z W. Molecular mechanism of metabolite changes during fruit development and ripening of red-fleshed apple ‘Hongmantang’[D]. Jinzhong: Shanxi Agricultural University, 2022.

[27] 陈旋劫,颜永刚,张岗,等.不同发育时期对山茱萸果实品质变化规律的影响[J].北方园艺,2022,(2):103-110.
CHEN X M, YAN Y G, ZHANG G, et al. Effects of different development stages on fruit quality of *Cornus officinalis* Sieb.et Zucc[J]. Northern Horticulture, 2022, (2): 103-110.

[28] 郑贺云,耿新丽,姚军,等.甜瓜生长发育过程中品质动态变化规律[J].北方园艺,2020,(6):38-43.
ZHENG H Y, GENG X L, YAO J, et al. Dynamic variation of quality in the development of melon fruits[J]. Northern Horticulture, 2020, (6): 38-43.

[29] 黄金越,徐敏,王龙飞,等.杏果实发育过程中果胶组分及酶活性变化分析[J].新疆农业科学,2024,61(6):1407-1415.
HUANG J Y, XU M, WANG L F, et al. Changes of pectin components and enzyme activities during the development of apricot fruits[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2024, 61(6): 1407-1415.

[30] 李春丽,董清华,冯永庆,等.葡萄果实始熟期前后糖和pH值及ABA变化[J].北京农学院学报,2010,25(2):14-17.
LI C L, DONG Q H, FENG Y Q, et al. Changes of sugar, pH and ABA around the onset of grape berry ripening[J]. Journal of Beijing University of Agriculture, 2010, 25(2): 14-17.

[31] BULLEY S M, RASSAM M, HOSER D, et al. Gene expression studies in kiwifruit and gene over-expression in *Arabidopsis* indicates that GDP-L-galactose guanylttransferase is a major control point of vitamin C biosynthesis[J]. Journal of Experimental Botany, 2009, 60(3): 765-778.

[32] ADALID A M, ROSELLÓ S, NUEZ F. Evaluation and selection of tomato accessions (*Solanum* section *Lycopersicon*) for content of lycopene, β -carotene and ascorbic acid[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2010, 23(6): 613-618.

[33] 徐有祥,朱真令,王昱妃,等.化肥有机替代对鲜食玉米产量品质及土壤肥力的影响[J].浙江农业科学,2024,65(6):1329-1332.
XU Y X, ZHU Z L, WANG Y F, et al. Effects of organic substitution of chemical fertilizers on yield,quality and soil fertility of fresh maize[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2024, 65(6): 1329-1332.

[34] PERIS M, ESCUDER-GILABERT L. Electronic noses and tongues to assess food authenticity and adulteration[J]. Trends in Food Science & Technology, 2016, 58: 40-54.

[35] 谢林君,成果,张劲,等.基于电子鼻和GC-IMS解析‘阳光玫瑰’葡萄成熟过程香气特征差异[J].中外葡萄与葡萄酒,2024,(4):14-25.
XIE L J, CHENG G, ZHANG J, et al. Analysis of differences in aroma characteristics of ‘shine muscat’ grape to ripening periods by electronic nose and GC-IMS[J]. Sino-overseas Grapevine & Wine, 2024, (4): 14-25.