

不同海拔对热农1号芒果生长表现及果实品质的影响

姜艳, 尼章光, 张翠仙, 章勇, 解德宏, 陈于福, 易怀锋,
王铁运, 柏天琦, 杨林圆, 赵爱秋, 刘杨武, 王美存*

(云南省农业科学院热带亚热带经济作物研究所 云南保山 678000)

摘要:【目的】探究不同海拔对热农1号芒果生长表现、果实外观性状及内在品质的影响,为明确热农1号芒果最适宜栽培的海拔范围提供依据。【方法】以生长在云南华坪4个海拔地区的热农1号芒果为研究对象,对其生长特性、果实外观品质及内在品质指标进行测定与分析。【结果】随着海拔升高,热农1号芒果的叶柄粗度、冠幅、果皮厚度、粗纤维含量逐渐增大;总糖、总酸和维生素C含量则先升高后降低;粗脂肪含量逐渐降低;干周、南北冠幅、叶片宽度、叶柄粗度、果皮厚度、总糖含量、总酸含量、可溶性固形物含量、粗纤维含量、粗脂肪含量均与海拔显著相关。约1100 m海拔生长的热农1号芒果综合表现最好。【结论】海拔变化综合影响了热农1号芒果的植株生长及果实品质。海拔对果实外观形态的影响较小,对内在品质的影响较大,约1100 m海拔生长的热农1号芒果综合表现最好。

关键词: 芒果;热农1号;海拔;植株生长特性;果实品质

中图分类号:S667.7

文献标志码:A

文章编号:1009-9980(2026)05-1200-10

Effects of altitudes on the growth performance and fruit quality of Renong No. 1 mango

JIANG Yan, NI Zhangguang, ZHANG Cuixian, ZHANG Yong, XIE Dehong, CHEN Yufu, YI Huai-feng, WANG Tiejun, BAI Tianqi, YANG Linyuan, ZHAO Aiqiu, LIU Yangwu, WANG Meicun*

(Tropical and Subtropical Cash Crops Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences (YAAS), Baoshan 678000, Yunnan, China)

Abstract: 【Objective】 To explore the effects of altitude on the growth and fruit quality of Renong No. 1 mango, in order to provide a reference for determining the most suitable cultivation altitude range and supporting its production. 【Methods】 The 33 indicators for growth characteristics and fruit quality were determined and analyzed at 4 different altitudes in Huaping, Yunnan. 【Results】 (1) With the increase in altitude, there was no significant change in the flower bud differentiation period, initial flowering period, and annual shoot number in Renong No. 1 mango. However, the full flowering period and final flowering period were delayed by approximately 10 days at altitudes H3 and H4. For every 200-meter increase in altitude, the fruit maturity period was correspondingly delayed by 5–10 days. (2) Altitude showed a significant positive correlation with the trunk circumference, north-south crown width, leaf width, and petiole thickness. Leaf length and petiole length were the highest at altitude H3 (1 503.54) and showed a significant difference compared with altitude H1 (1 148.00). (3) None of the 11 fruit appearance indicators, including single fruit weight, fruit longitudinal diameter, transverse diameter, and peel color, showed a significant correlation with altitude. (4) Among the 9 fruit quality indicators, 6 had

收稿日期:2025-05-27 接受日期:2025-10-23

基金项目:云南省科技厅重大科技专项计划(202402AE090008);2025年云南省国际科技特派员(个人)认定工作--姜艳(202503AK140058);保山市“兴保英才培养计划”乡村振兴人才专项

作者简介:姜艳,女,副研究员,主要从事果树种质资源收集保存及利用研究。E-mail:yandady@163.com

*通信作者 Author for correspondence. E-mail:24918493@qq.com

a significant or extremely significant correlation with altitude. Peel thickness was significantly positively correlated with altitude; total acid and crude fiber were extremely significantly positively correlated with altitude; soluble solids, total sugar, and crude fat were extremely significantly negatively correlated with altitude; and flesh recovery, ascorbic acid, and protein had no significant correlation with altitude. There was no significant difference in peel thickness or edible rate of Renong No. 1 mango among different altitudes. The crude fiber content was the highest at 1700 m, showing a significant difference from other altitudes, and increased with the rise of altitude. Soluble solids and crude fat decreased with increasing altitude. The contents of ascorbic acid, total acid, total sugar, and protein first increased and then decreased with increasing altitude. (5) Principal component analysis (PCA) was conducted on 10 indicators that were significantly correlated with altitude (trunk circumference, north-south crown width, leaf width, petiole thickness, peel thickness, soluble solids, total acid, total sugar, crude fiber, and crude fat). The results showed that the cumulative variance contribution rate of the first 4 principal components reached 88.216%. Based on the principal component scores, assignment and comprehensive evaluation were performed on the performance of growth and fruit quality of Renong No. 1 mango at 4 altitudes. The results indicated that Renong No. 1 mango grown at 1100 m had the best comprehensive performance. 【Conclusion】 Changes in altitude comprehensively affect the plant growth and fruit quality of Renong No. 1 mango. In general, altitude has a relatively small impact on fruit morphology but a greater impact on internal quality. Renong No. 1 mango grown at an altitude of 1100 m shows the best comprehensive performance.

Key words: Mango; Renong No.1; Altitudes; Plant growth characteristics; Fruit quality

1986年,我国开始规模化种植芒果,经过40年的迅速发展已成为仅次于荔枝、龙眼和香蕉的第四大热带水果。2024年,全国芒果种植面积39.72万 hm^2 ,产量512.5万t(南亚办2025年统计),分别比芒果种植高峰期(2021年)增长8.6%和29.5%。芒果已成为我国热区精准扶贫、乡村振兴的支柱产业,有力地促进了农业发展、农村繁荣与农民增收。

云南热区气候类型多样,具有光照充足、终年气温较高、干湿季分明等特点。热区海拔为76~1800 m,其中海拔300~1700 m均有芒果种植,是全国独有的优质芒果产区。热农1号芒果是中国热带农业科学院南亚热带作物研究所选育的优良品种^[1],因其艳丽的外观及细腻的口感深受消费者喜爱,成为云南芒果的主栽品种之一。目前,在云南的种植面积超过1.33万 hm^2 。近年来,由于热农1号芒果较高的经济效益,其生产种植区域逐渐由低海拔区向高海拔区扩展。不同海拔下热农1号芒果生长表现及果实品质尚不清楚。因此,立足云南多样化气候条件,科学分析不同海拔下热农1号芒果生长表现及果实品质,差异化种植芒果品种,合理布局品种结构是云南芒果产业急需解决的问题。前人围绕修剪^[2]、套袋对果实品质的影响^[3-4]、不同生态区综合性状表现^[5-6]

及病害^[7-9]等方面开展了一些研究;在其他芒果品种上也仅限于品种间光合作用的比较研究^[10],以及UV-B(户外紫外线)辐射对果实品质、光合作用及产量的影响^[11-12]。海拔对芒果生长及品质的影响,目前仅在贵妃、帕拉英达两个品种中有少量相关报道,分别涉及贵妃芒果果实品质和农艺性状^[13],以及帕拉英达芒果光合特性与果实品质^[14-15],尚未有海拔对热农1号芒果生长和果实品质影响的研究,而在其他作物上已有诸多报道。

鉴于此,笔者通过测定不同海拔热农1号芒果生长及果实品质指标,分析性状的差异性与相关性,明确海拔对相关性状的影响,并结合各指标进行主成分分析,基于主成分分析结果进行综合评价与排名,旨在为不同海拔区段热农1号芒果的生产提供理论和实践依据,进一步揭示不同海拔区段热农1号芒果生长及果实品质的变化规律,从而避免因盲目种植造成的经济损失。

1 材料和方法

1.1 材料

果实和叶片采集于云南省华坪县不同海拔区段7~8年生热农1号芒果种植园区(表1)。果实:随机

表1 华坪不同采样点的主要环境因子

Table 1 The main environmental factors at different sampling points in Huaping

编号 Number	海拔 Altitude/m	经度 Longitude	纬度 Latitude	年均气温 Average annual temperature/°C	年日照时数 Annual sunshine duration/h	年均降雨量 Average annual rainfall/mm
H1	1 148.00	101.416 7	26.535 8	19.8	2 509.1	908
H2	1 380.12	101.252 8	26.622 0	19.1	2 509.8	921
H3	1 503.54	101.219 5	26.527 3	18.3	2 511.4	1003
H4	1 704.00	101.206 1	26.531 1	17.6	2 508.3	889

选取3株树,于每株树的东、南、西、北方位各随机采集1个健康、无病虫害的果实,共12个果实;叶片:随机选取5株树,于每株树的东、南、西、北方位各随机采集结果母枝第3或者第4轮无病虫害、无变异的叶片,共20枚。

1.2 指标测定

1.2.1 生长特性测定 参照农业行业标准 NY/T 1808—2022《热带作物种质资源描述规范 芒果》^[16],对热农1号芒果的主要物候期进行观察并记录。选取东西冠幅、南北冠幅、枝梢长度、叶片长度、叶片宽度、叶形指数(叶片长/叶片宽)、叶柄长度、叶片厚度等反映植物生长量的性状指标进行测定。

1.2.2 果实品质测定 果实外观品质测定:在果实生理成熟阶段,即果肉近果核部分开始呈现黄色时,采集果实,并运送至实验室进行室温保存;待果实进一步后熟,呈现出芒果特有色泽、香气和口感。参照谢若男等^[17]的方法,测定芒果单果质量、果实长度、宽度等果实外观品质性状指标,果皮颜色RGB值使用万深LA-S植物图像分析系统采集。

果实内在品质测定:可食率/%=(单果质量—果皮质量—果核质量)/单果质量×100;果实内含物含量参照 GB 12456—2021《食品安全国家标准 食品中总酸的测定》^[18]、GB 5009.86—2016《食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定》^[19]、GB 5009.5—

2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》^[20]、GB/T 5009.10—2003《植物类食品中粗纤维的测定》^[21]、GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》^[22]、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》^[23]进行测定。

1.3 数据分析

使用 Excel 2016 软件对试验数据进行整理,使用 SPSS 23 软件对数据进行统计与分析。

2 结果与分析

2.1 不同海拔下热农1号主要物候期的变化

随着海拔的升高,热农1号芒果的花芽分化期、初花期及年抽梢数均无明显变化;而H3、H4区段盛花期、末花期推迟约10 d;海拔每升高200 m,果实成熟期相应推迟5~10 d(表2)。

2.2 海拔对植株生长特性的影响

2.2.1 不同海拔热农1号植株生长特性的差异分析 不同海拔下,热农1号的植株生长特性存在差异(表3)。H2区段的主干高度(84.6 cm)最高,且显著高于其他3个区段;H3区段(68.1 cm)最低,但与H1、H4区段无显著差异。H4区段的干周(47.8 cm)最大,但与H2、H3区段无显著差异;H1区段(35.3 cm)最小,显著低于其他3个区段。东西冠幅、一年生结

表2 华坪不同海拔热农1号芒果物候期

Table 2 Phenological period of Renong No.1 mango at different altitudes in Huaping

编号 Number	花芽分化期 Flower bud differentiation period	初花期 Early flowering stage	盛花期 Full flowering stage	末花期 Late flowering stage	果实成熟期 Fruit ripening period	年抽梢数 Number of annual shoots
H1	1月上旬 Early-Jan.	3月上旬 Early-Mar.	3月下旬 Late-Mar.	4月中旬 Mid-Apr.	7月下旬 Late-Jul.	3
H2	1月上旬 Early-Jan.	3月上旬 Early-Mar.	3月下旬 Late-Mar.	4月中旬 Mid-Apr.	8月上旬 Early-Aug.	3
H3	1月上旬 Early-Jan.	3月上旬 Early-Mar.	4月上旬 Early-Apr.	4月下旬 Late-Apr.	8月中旬 Mid-Aug.	3
H4	1月上旬 Early-Jan.	3月上旬 Early-Mar.	4月上旬 Early-Apr.	4月下旬 Late-Apr.	8月中下旬 Mid-late-Aug.	3

表3 不同海拔热农1号芒果植株生长特性

Table 3 The plant growth characteristics of Renong No. 1 mango at different altitudes

采样编号 Number	主干高度 Trunk height/ cm	干周 Dry week/ cm	东西冠幅 East-west crown width/cm	南北冠幅 North-south crown width/cm	一年生结果母枝节间长度 Length of internodes of one-year-old fruiting shoots/cm	一年生结果母枝粗度 Diameter of one-year- old fruiting shoots/cm
H1	69.5±9.7 b	35.3±3.3 b	226.7±32.0 a	200.6±30.8 b	31.7±8.4 a	0.8±0.2 a
H2	84.6±3.5 a	47.0±3.5 a	228.6±21.0 a	224.1±28.5 ab	32.2±10.1 a	0.9±0.2 a
H3	68.1±6.7 b	45.5±12.8 a	236.0±39.7 a	232.6±50.8 ab	29.5±7.0 a	0.9±0.1 a
H4	75.0±12.8 b	47.8±13.0 a	236.5±40.0 a	246.4±48.9 a	25.3±8.8 a	1.0±0.1 a

采样编号 Number	叶片长度 Leaf length/cm	叶片宽度 Leaf width/cm	叶片厚度 Leaf thickness/mm	叶形指数 Leaf shape index	叶柄长度 Petiole length/cm	叶柄粗度 Petiole thickness/cm	单叶质量 Single leaf mass/g
H1	18.6±2.0 b	5.0±0.5 b	0.34±0.04 a	3.7±0.2 a	3.0±0.1 b	0.33±0.03 b	2.7±0.6 a
H2	18.9±1.3 b	5.3±0.5 ab	0.35±0.04 a	3.6±0.2 ab	3.6±0.8 a	0.36±0.06 b	3.0±0.6 a
H3	21.0±1.9 a	5.6±0.5 a	0.35±0.03 a	3.7±0.2 a	4.0±0.6 a	0.37±0.04 b	3.5±0.6 a
H4	19.6±1.4 ab	5.7±0.4 a	0.41±0.06 a	3.4±0.3 b	3.0±0.5 b	0.41±0.04 a	3.5±0.7 a

注: 同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference ($P<0.05$). The same below.

果母枝节间长度及粗度、叶片厚度、单叶质量在各海拔区段无显著差异。南北冠幅以H4区段最大,H1区段最小,仅H4与H1区段差异显著。叶片长度以H3区段最大,H1区段最小,仅H1、H2与H3区段差异显著;叶片宽度随海拔升高而增加,以H4区段最大,H1区段最小。叶柄长度以H3区段最大,H1、H4区段最小。在测定的13项植株生长特性指标中,冠幅、一年生结果母枝粗度、叶片宽度、叶柄粗度、叶片厚度和单叶质量均随海拔升高而增大,一年生结果母枝节间长度、叶片长度、叶柄长度均随海拔升高呈现先增大后减小的趋势,而主干高度和干周均随海拔升高呈先增大后减小再增大的变化趋势。

2.2.2 海拔与热农1号植株生长特性的相关性分析 对海拔与13项植株生长特性指标进行相关性分析,结果表明(表4),海拔与干周、南北冠幅、叶片

宽度及叶柄粗度呈显著正相关,而与其他指标无显著相关性。

2.3 海拔对热农1号果实外观品质的影响

2.3.1 不同海拔下热农1号果实外观品质的差异分析 由表5可知,单果质量以H2区段最小,H4区段最大,各区段间无显著差异;果实纵径以H2区段最小,且显著低于其他3个区段,而H1、H3、H4区段间无显著差异;果形指数的差异性与果实纵径一致;果实横径、果实侧径、青熟果果皮颜色R值、G值、B值及完熟果果皮颜色R值、G值、B值在各区段间均无显著差异。

2.3.2 海拔与热农1号果实外观品质的相关性分析 对海拔与11项果实外观品质指标进行相关性分析,结果表明(表6),所有指标与海拔均无显著相关性。

表4 海拔与热农1号芒果植株生长特性的相关性分析

Table 4 Correlation analysis between altitude and plant growth characteristics of Renong No. 1 mango

指标 Indicator	相关系数 Correlation coefficient	指标 Indicator	相关系数 Correlation coefficient	指标 Indicator	相关系数 Correlation coefficient
主干高度 Trunk height	-0.153	一年生结果母枝粗度 Diameter of one-year-old fruiting shoots	0.314	叶柄粗度 Petiole thickness	0.466*
干周 Dry week	0.468*	叶片长度 Leaf length	0.293	叶片厚度 Leaf thickness	0.423
东西冠幅 East-west crown width	-0.159	叶片宽度 Leaf width	0.451*	单叶质量 Single leaf mass	0.436
南北冠幅 North-south crown width	0.498*	叶形指数 Leaf shape index	-0.178		
一年生结果母枝节间长度 Length of internodes of one-year- old fruiting shoots	-0.179	叶柄长度 Petiole length	0.153		

注:*表示显著相关($P<0.05$)。下同。

Note: * indicates significant correlation ($P<0.05$). The same below.

表 5 不同海拔热农 1 号果实外观品质性状

Table 5 The fruit appearance quality of Renong No. 1 mango at different altitudes

采样编号 Number	单果质量 Single fruit mass/g	果实纵径 Fruit length/cm	果实横径 Fruit width/cm	果形指数 Fruit shape index	果实侧径 Fruit thickness/cm	青熟果果皮颜色 R 值 R value of peel color at green mature stage
H1	383.3±80.7 a	9.9±0.8 a	8.4±0.6 a	1.17±0.05 a	8.0±0.5 a	100.3±6.3 a
H2	362.0±68.2 a	8.8±0.6 b	8.4±0.4 a	1.05±0.07 b	8.0±0.4 a	100.7±8.3 a
H3	362.4±67.4 a	9.6±0.9 a	8.4±0.5 a	1.13±0.05 a	8.1±0.6 a	104.0±5.0 a
H4	413.4±65.0 a	9.8±0.9 a	8.8±0.5 a	1.12±0.07 a	8.1±0.5 a	103.2±3.3 a
采样编号 Number	青熟果果皮颜色 G 值 G value of peel color at green mature stage	青熟果果皮颜色 B 值 B value of peel color at green mature stage	完熟果果皮颜色 R 值 R value of peel color at fully ripe stage	完熟果果皮颜色 G 值 G value of peel color at fully ripe stage	完熟果果皮颜色 B 值 B value of peel color at fully ripe stage	
H1	96.2±12.3 a	45.0±7.5 a	156.0±8.2 a	117.2±10.1 a	29.5±3.6 a	
H2	91.0±10.6 a	49.2±5.3 a	159.0±7.4 a	120.8±12.8 a	41.8±7.0 a	
H3	94.7±12.8 a	47.2±4.0 a	157.8±10.2 a	115.5±19.7 a	34.8±16.1 a	
H4	94.7±5.8 a	51.7±3.2 a	159.0±6.4 a	105.7±15.3 a	32.0±5.2 a	

表 6 海拔与热农 1 号果实外观品质性状相关性分析

Table 6 Correlation analysis between altitude and fruit appearance quality of Renong No. 1 mango

指标 Indicator	相关系数 Correlation coefficient	指标 Indicator	相关系数 Correlation coefficient	指标 Indicator	相关系数 Correlation coefficient
单果质量 Single fruit mass	0.132	果实侧径 Fruit thickness	0.087	完熟果果皮颜色 R 值 R value of peel color at fully ripe stage	0.127
果实纵径 Fruit length	0.032	青熟果果皮颜色 R 值 R value of peel color at green mature stage	0.254	完熟果果皮颜色 G 值 G value of peel color at fully ripe stage	-0.288
果实横径 Fruit width	0.215	青熟果果皮颜色 G 值 G value of peel color at green mature stage	-0.029	完熟果果皮颜色 B 值 B value of peel color at fully ripe stage	0.087
果形指数 Fruit shape index	-0.162	青熟果果皮颜色 B 值 B value of peel color at green mature stage	0.397		

2.4 海拔对热农 1 号果实内在品质性状影响

2.4.1 不同海拔下热农 1 号果实内在品质的差异分析 由表 7 可知,果皮厚度在各区段间无显著差异,但随海拔升高而增大;可食率在各区段间无显著差异,但随海拔升高先升高后降低;可溶性固形物含量随海拔升高而降低,H4 区段最低,H1 区段最高,除了 H2 和 H3 区段外,其余各区段间差异显著;维生素 C、总酸含量均以 H1 区段最低,H3 区段最高,各区段间差异显著;总糖含量以 H4 区段最低,H2 区段最高,各区段间差异显著;蛋白质含量以 H1、H2 区

段最低,H3 区段最高,除 H1 与 H2 区段外,其余区段间差异显著;粗脂肪含量以 H4 区段最低,H1 区段最高,除 H3 和 H4 区段外,其余区段间差异显著;粗纤维含量以 H4 区段最高,且显著高于其余 3 个区段,而 H1、H2 和 H3 区段间无显著差异。

2.4.2 海拔与热农 1 号果实内在品质的相关性分析 对海拔与 9 项果实内在品质指标进行相关性分析,结果表明(表 8),随着海拔升高,果皮厚度显著增加,总酸含量、粗纤维含量极显著增加,可溶性固形物含量、总糖含量和粗脂肪含量极显著降低,可食率、

表 7 不同海拔热农 1 号果实内在品质性状

Table 7 The internal quality of Renong No. 1 mango at different altitudes

采样编号 Number	果皮厚度 Skin thickness/ mm	可食率 Edibility rate/%	w(可溶性 固形物) Soluble solids content/%	w(维生素 C) Vitamin C content/ (mg·100 g ⁻¹)	w(总酸) Total acid content/ (g·100 g ⁻¹)	w(总糖) Total sugar content/ (g·100 g ⁻¹)	w(蛋白质) Protein content/ (g·100 g ⁻¹)	w(粗脂肪) Crude fat content/ (g·100 g ⁻¹)	w(粗纤维) Crude fiber content/ (g·100 g ⁻¹)
H1	1.3±0.2 a	83.2±4.4 a	17.4±1.2 a	4.6±0.2 d	0.11±0.0 d	14.3±0.12 b	0.48±0.01 c	0.34±0.02 a	0.52±0.01 b
H2	1.3±0.2 a	83.5±4.3 a	15.3±1.0 b	14.2±0.4 b	0.35±0.01 c	15.3±0.18 a	0.48±0.01 c	0.31±0.00 b	0.52±0.01 b
H3	1.4±0.1 a	84.2±5.3 a	14.5±0.9 b	16.8±0.3 a	0.67±0.01 a	13.8±0.21 c	0.61±0.00 a	0.27±0.01 c	0.52±0.01 b
H4	1.5±0.2 a	81.0±7.3 a	10.6±0.4 c	10.7±0.1 c	0.55±0.01 b	11.3±0.12 d	0.53±0.02 b	0.25±0.01 c	0.60±0.00 a

表8 海拔与热农1号果实内在品质性状相关性分析

Table 8 Correlation analysis between altitude and internal quality of Renong No. 1 mango

指标 Indicator	相关系数 Correlation coefficient	指标 Indicator	相关系数 Correlation coefficient	指标 Indicator	相关系数 Correlation coefficient
果皮厚度 Skin thickness	0.340*	维生素C含量 Vitamin C content	0.538	蛋白质含量 Protein content	0.485
可食率 Edibility rate	-0.124	总酸含量 Total acid content	0.846**	粗脂肪含量 Crude fat content	-0.929**
可溶性固形物含量 Soluble solids content	-0.908**	总糖含量 Total sugar content	-0.759**	粗纤维含量 Crude fiber content	0.760**

注:**表示极显著相关($P<0.01$)。

Note: ** indicates extremely significant correlation ($P<0.01$).

维生素C含量及蛋白质含量与海拔无显著相关性。

2.5 不同海拔下热农1号生长特性及果实品质的综合评价

2.5.1 与海拔显著相关的热农1号果实特性指标主成分分析 相关性分析结果表明,10个生长及品质指标(干周、南北冠幅、叶片宽度、叶柄粗度、果皮厚度、可溶性固形物含量、总酸含量、总糖含量、粗纤维含量、粗脂肪含量)与海拔均存在较显著的相关性,难以确定海拔的典型指标。因此,进一步采用主成分分析进行降维,更好地筛选典型评价指标,以期综合评价不同海拔下热农1号芒果的生长特性及果实品质。

在主成分分析的降维过程中,特征值 ≥ 1 的主成分具有一定代表性。由表9可知,前4个主成分的特征值分别为4.844、1.515、1.373和1.090,均大于1,其累计方差贡献率达88.216%,包含了热农1号芒果与海拔相关性状的绝大部分信息。因此,选取前4个主成分进行分析。第1主成分的特征值为4.844,贡献率为48.439%,可溶性固形物含量(-0.912)、总糖含量(-0.859)、粗脂肪含量(-0.883)、总酸含量(0.744)和粗纤维含量(0.837)的荷载绝对值较高;第2主成分的特征值为1.515,贡献率为15.147%,干周(0.673)和南北冠幅(0.619)的荷载较高;第3主成分的特征值为1.373,贡献率为13.733%,叶柄粗度(0.458)的荷载较高;第4主成分的特征值为1.090,贡献率为10.898%,叶片宽度(0.799)的荷载较高。该主成分分析结果可以很好地以植株生长和果实品质反映热农1号芒果在不同海拔的表现。

2.5.2 不同海拔下热农1号芒果的综合评价 为了更好地解释与海拔显著相关的10项指标与主成分因子之间的关系,对提取的主成分因子进行旋转处理,其荷载值反映了各变量在主成分中的重要程

表9 主成分分析

Table 9 Principal component analysis

指标 Indicator	主成分1 PC1	主成分2 PC2	主成分3 PC3	主成分4 PC4
可溶性固形物含量 Soluble solids content	-0.912	0.209	-0.089	0.229
总酸含量 Total acid content	0.744	0.112	-0.512	-0.025
总糖含量 Total sugar content	-0.859	0.424	-0.171	0.130
粗脂肪含量 Crude fat content	-0.883	0.012	0.418	0.051
粗纤维含量 Crude fiber content	0.837	-0.222	0.294	-0.158
果皮厚度 Skin thickness	0.694	-0.218	-0.258	0.485
干周 Dry week	0.190	0.673	-0.555	0.002
南北冠幅 North-south spancm	0.456	0.619	0.335	-0.340
叶片宽度 Leaf width	0.379	0.189	0.340	0.799
叶柄粗度 Petiole thickness	0.608	0.556	0.458	0.051
特征值 Eigenvalue	4.844	1.515	1.373	1.090
贡献率 Contribution rate/%	48.439	15.147	13.733	10.898
累计贡献率 Accumulated contribution rate/%	48.439	63.586	77.318	88.216

度。为了消除不同单位和数据的影响,对与海拔呈显著相关的10项指标的原始数据进行标准化处理(表10),构建4个主成分模型,以4个综合指标代替原来的10项生长特性指标,以综合评价不同海拔下热农1号芒果的表现。4个主成分得分的函数表达式如下:

$$F1 = -0.912X1 + 0.744X2 - 0.859X3 - 0.883X4 + 0.837X5 + 0.694X6 + 0.19X7 + 0.456X8 + 0.379X9 + 0.608X10;$$

$$F2 = 0.209X1 + 0.112X2 + 0.424X3 + 0.012X4 - 0.222X5 - 0.218X6 + 0.673X7 + 0.619X8 + 0.189X9 + 0.556X10;$$

$$F3 = -0.089X1 - 0.512X2 - 0.171X3 + 0.418X4 +$$

表 10 不同性状指标原始数据的标准化无量纲数据

Table 10 Standardized dimensionless data of the original data of different traits indicators

编号 Number	可溶性固形物含量 Soluble solids content	总酸含量 Total acid content	总糖含量 Total sugar content	粗脂肪含量 Crude fat content	粗纤维含量 Crude fiber content	果皮厚度 Skin thick	干周 Dry week	南北冠幅 North-south spancm	叶片宽度 Leaf width	叶柄粗度 Petiole thickness
H1	0.269 47	0.328 99	0.351 91	0.259 97	0.527 16	0.781 21	0.000 00	0.725 40	0.833 33	0.111 11
H2	0.515 79	0.468 05	0.477 87	0.399 35	0.524 69	0.569 30	0.421 05	0.942 79	0.555 56	0.148 15
H3	0.483 16	0.518 34	0.619 15	0.462 84	0.600 00	0.482 25	0.982 46	0.606 41	0.250 00	0.111 11
H4	0.531 58	0.600 00	0.663 83	0.698 04	0.716 05	0.079 04	0.771 93	0.032 04	0.111 11	1.000 00

$0.294X5 - 0.258X6 - 0.555X7 + 0.335X8 + 0.34X9 + 0.458X10$;

$F4 = 0.229X1 - 0.025X2 + 0.13X3 + 0.051X4 - 0.158X5 + 0.485X6 + 0.002X7 - 0.34X8 + 0.799X9 + 0.051X10$ 。

式中, $F1 \sim F4$ 分别代表第 1~4 主成分; $X1 \sim X10$ 分别为经标准化处理后的指标 ($X1$: 可溶性固形物含量, $X2$: 总酸含量, $X3$: 总糖含量, $X4$: 粗脂肪含量, $X5$: 粗纤维含量, $X6$: 果皮厚度, $X7$: 干周, $X8$: 南北冠

幅, $X9$: 叶片宽度, $X10$: 叶柄粗度)。对各得分值与相应特征值的方差贡献率的乘积进行累加, 获得不同海拔下热农 1 号芒果综合评价指数 $F(F = F1 \times 0.484 39 + F2 \times 0.151 47 + F3 \times 0.137 33 + F4 \times 0.108 98)$, 以此综合评价热农 1 号芒果在不同海拔下的表现。依据关联分析的评价原则, 即加权关联度越大, 综合得分越高, 表明其综合表现越好。如表 11 所示, 热农 1 号芒果在不同海拔的表现综合评价排名为 $H1 > H2 > H3 > H4$ 。

表 11 不同海拔热农 1 号芒果综合评价

Table 11 Comprehensive evaluation of Renong No. 1 mango of different varieties

编号 Number	海拔 Altitude/m	主成分指标 Main component index				F	排名 Rank
		$F1$	$F2$	$F3$	$F4$		
H1	1 148.00	1.164 7	0.626 5	0.386 7	0.833 0	0.803 0	1
H2	1 380.12	0.759 5	1.181 4	0.145 9	0.513 9	0.622 9	2
H3	1 503.54	0.466 8	1.334 4	-0.375 0	0.342 1	0.414 0	3
H4	1 704.00	0.240 6	1.408 3	0.092 0	0.284 3	0.373 5	4

3 讨 论

海拔作为影响果树生长发育的重要环境因子, 主要通过光照、温度、水分、热量等因子直接影响果树的生长发育, 从而改变果实品质^[24]。随着海拔的变化, 温度、湿度和光照度等均会产生不同程度的变化, 植株生长特性及果实品质呈现差异^[25]。郭传超等^[26]在对新疆野杏的研究中发现, 随着海拔升高, 野杏林地光照度增强, 温度降低, 湿度增大, 野杏开花物候期推迟, 开花期历时增长; 海拔每升高 100 m, 开花期推迟约 1.8 d。李欣怡等^[27]在对不同海拔下百山祖冷杉幼苗的生长特征研究中发现, 幼苗高度、冠宽、基径及其对应的增长率随着海拔升高呈先上升后下降的趋势。吕佩芃等^[28]研究也证实, 随着海拔升高, 亮叶水青冈的叶片长度、叶片宽度、叶面积、叶生物量及比叶面积等生长量均呈下降趋势, 叶片厚

度则呈上升趋势。本研究结果表明, 随着海拔升高, 热农 1 号芒果的盛花期、末花期、果实成熟期均推迟; 而叶柄粗度、冠幅等生长量与海拔呈显著正相关, 且受海拔影响较大, 随着海拔升高而增大。

海拔对果实外观品质的影响, 通常随着海拔的变化, 果实大小、颜色、形状等外观特征产生差异。杨先裕等^[29]在对香榧果实的研究中发现, 果长、果径等外观性状与海拔呈极显著或显著正相关; 段鹏伟等^[30]在对富士苹果的研究中则发现, 单果质量与海拔呈显著负相关, 着色指数与海拔呈极显著正相关。而本研究结果表明, 单果质量、果实纵径、果实横径以及果皮颜色等 11 个果实外观品质均与海拔无显著相关性。果实大小与海拔无显著相关性, 可能与热农 1 号自身果实大小性状较为稳定有关; 而果皮颜色则可能是因为果园为避免果实蝇的危害而进行了套袋处理, 从而导致不同海拔间果皮颜色差异不显著。

海拔对植物果实内在品质具有显著影响,具体表现因植物种类而异。郑顺林等^[31]关于不同海拔对紫色马铃薯产量和品质影响的研究结果表明,随着海拔升高,紫色马铃薯粗蛋白含量不断增加,而可溶性糖含量不断降低。曹永华等^[32]对不同海拔段长富2号苹果的研究结果表明,长富2号苹果可溶性固形物、可溶性糖、果皮花青苷、脯氨酸含量均随海拔升高呈先升高后降低的趋势,果实硬度、可滴定酸及维生素C含量则不断升高。王嶂等^[33]对蓝莓的研究表明,蓝莓果实可溶性糖含量随海拔升高而降低,但维生素C和可滴定酸含量在不同品种间存在差异。毛如志等^[34]的研究表明,高海拔产区美乐葡萄浆果可溶性固形物和还原糖含量高于低海拔产区,同时能够积累更多的氨基酸、有机酸、醇、多酚、糖类等物质。在芒果上,张翠仙等^[15]关于不同海拔对帕拉英达芒果果实品质影响的研究表明,单果质量随着海拔升高逐渐增加,总糖、维生素C含量则降低,而总酸、可溶性固形物含量呈先升高后降低的趋势。本研究结果表明,海拔对热农1号芒果果实内在品质影响较大,6个内在品质指标与海拔呈显著相关性。粗纤维含量随海拔升高而增高,在H4海拔区段最高,且与其余海拔区段差异显著;可溶性固形物、粗脂肪含量随海拔升高而降低;维生素C、总酸、总糖、蛋白质含量随海拔升高呈先升高后降低的趋势。

主成分分析旨在实现数据降维与信息保留的平衡:一方面,它通过变量整合大幅减轻计算负担;另一方面,生成的新变量又能全面反映原数据集的主要信息^[35-36]。对与海拔显著相关的10个生长及品质指标进行主成分分析,前4个主成分的累计方差贡献率达88.216%。依据主成分得分进行赋值,综合评价结果表明,H1区段约1100 m海拔生长的热农1号芒果综合表现最好。

4 结 论

海拔变化综合影响了热农1号芒果的生长及果实品质。低海拔地区的热农1号芒果表现好,高海拔地区表现较差,且容易遭受寒害。海拔对果实内在品质的影响大于外观形态,约1100 m海拔生长的热农1号芒果综合表现最好。针对华坪晚熟芒果生产区域,果实成熟期越晚则收购价格越高。因此,在生产上应根据自身管理条件及市场需要,选择适宜的热农1号芒果种植区域,以期获得较高效益。

参考文献 References:

- [1] 南亚所热农1号芒果通过全国热带作物品种审定委员会现场评审[EB/OL]. 中国热带农业科学院. (2019-07-01)[2025-10-20]. <https://www.catas.cn/contents/14/20731.html>. 'Re nong No.1' Mango of SCAUAS passed on-site evaluation by the national tropical crops variety approval committee[EB/OL]. Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences. (2019-07-01)[2025-10-20]. <https://www.catas.cn/contents/14/20731.html>.
- [2] 段元杰,刘海刚,孟富宣,阳世莹,孙漫莹,胡祥. 修剪时间对热农1号芒果新梢生长和产量的影响[J]. 湖南农业科学, 2023(1):40-43. DUAN Yuanjie, LIU Haigang, MENG Fuxuan, YANG Shiyong, SUN Manying, HU Xiang. Effects of pruning dates on the shoot growth and yield of Renong No. 1 Mango[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2023(1):40-43.
- [3] 孟富宣,段元杰,方海东,杨玉皎,吕陟远,郭淑萍,刘海刚. 不同果袋及套袋方式对热农1号芒果果实品质的影响[J]. 江西农业学报, 2020, 32(5):30-34. MENG Fuxuan, DUAN Yuanjie, FANG Haidong, YANG Yujiao, LÜ Zhiyuan, GUO Shuping, LIU Haigang. Effects of different fruit bags and bagging methods on fruit quality of 'Renong 1' Mango[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2020, 32(5):30-34.
- [4] 李章. 套袋对芒果基本品质与农药残留的影响[D]. 海口:海南大学, 2017. LI Zhang. Effect of bagging on fruit quality and pesticide residue of mango[D]. Haikou: Hainan University, 2017.
- [5] 郭艳东,张腾,冯月梅,任远,米飞,张霓裳,鲁静,董寿堂,钟读波,殷建忠. 怒江峡谷8种中熟芒果营养成分分析与评价[J]. 中国食物与营养, 2022, 28(10):19-25. GUO Yandong, ZHANG Teng, FENG Yuemei, REN Yuan, MI Fei, ZHANG Nishang, LU Jing, DONG Shoutang, ZHONG Dubo, YIN Jianzhong. Analysis and evaluation on nutritional components of eight middle ripe mangoes in Nujiang canyon[J]. Food and Nutrition in China, 2022, 28(10):19-25.
- [6] 杨玉皎,段元杰,孟富宣,郭淑萍,刘海刚,方海东. 8个优良芒果品种在元谋果实品质特性分析[J]. 江西农业学报, 2020, 32(3):70-74. YANG Yujiao, DUAN Yuanjie, MENG Fuxuan, GUO Shuping, LIU Haigang, FANG Haidong. Fruit quality characteristics analysis of eight excellent mango varieties in Yuanmou[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2020, 32(3):70-74.
- [7] 杨玉皎,段元杰,孟富宣,希丛芳,何丽,李建宾,刘海刚. 8个优良芒果品种在元谋的生物学特性分析[J]. 湖南农业科学, 2019(6):69-73. YANG Yujiao, DUAN Yuanjie, MENG Fuxuan, XI Congfang, HE Li, LI Jianbin, LIU Haigang. Analysis on biological characteristics of eight excellent mango varieties introduced into Yuanmou[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2019(6):69-73.
- [8] 陈小林,孙秋玲,黄慧俐,黄穗萍,唐利华,郭堂勋,李其利. 芒果种质对细菌性黑斑病和坏死病的抗性评价[J/OL]. 分子植物育种, 2023: 1-13. (2023-11-30). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20231130.1334.002.html>.

- CHEN Xiaolin, SUN Qiuling, HUANG Huili, HUANG Sui-ping, TANG Lihua, GUO Tangxun, LI Qili. Evaluation of the resistance of mango germplasms against bacterial black spot and necrotic disease[J/OL]. *Molecular Plant Breeding*, 2023: 1-13. (2023- 11- 30). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20231130.1334.002.html>.
- [9] 周思思. 杧果抗细菌性角斑病的特异性分子标记开发[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2023.
- ZHOU Sisi. Development of specific molecular markers for mango bacterial angular leaf spot resistance[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2023.
- [10] 孙鑫. 基于蛋白质组学解析杧果抗细菌性角斑病机理[D]. 武汉: 华中农业大学, 2023.
- SUN Xin. Analysis of resistance mechanism of mango to bacterial leaf spot based on proteomics[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2023.
- [11] 蔡楚雄, 邓雄, 曹洪麟, 刘世平, 叶万辉. 8 个芒果品种的光合作用比较研究[J]. *广东农业科学*, 2003, 30(2): 13-16.
- CAI Chuxiong, DENG Xiong, CAO Honglin, LIU Shiping, YE Wanhui. A comparison of photosynthesis for 8 mango varieties[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2003, 30(2): 13-16.
- [12] 周开兵, 李世军, 袁孟玲. 增强 UV-B 辐射对芒果株产和果实品质及光合作用的影响[J]. *热带作物学报*, 2018, 39(6): 1102-1107.
- ZHOU Kaibing, LI Shijun, YUAN Mengling. The influences of enhanced UV-B radiation on yield and fruits quality and photosynthesis of mango trees[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2018, 39(6): 1102-1107.
- [13] 袁孟玲, 岳堃, 王红, 郭钰柬, 周开兵. 增强 UV-B 辐射对芒果成年树光合作用及其产量与常规品质的影响[J]. *南方农业学报*, 2018, 49(5): 930-937.
- YUAN Mengling, YUE Kun, WANG Hong, GUO Yujian, ZHOU Kaibing. Effects of enhanced UV-B radiation treatment on photosynthesis, yield and conventional quality of adult mango tree[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2018, 49(5): 930-937.
- [14] 章勇, 尼章光, 宋云连, 姜燕, 陈于福, 解德宏, 张惠云, 张翠仙, 柏天琦, 易怀锋, 杨林圆, 毕珏, 王美存, 李凌纲. 海拔对‘贵妃’芒果果实品质及农艺性状的影响[J]. *中国果菜*, 2024, 44(7): 54-58.
- ZHANG Yong, NI Zhangguang, SONG Yunlian, JIANG Yan, CHEN Yufu, XIE Dehong, ZHANG Huiyun, ZHANG Cuixian, BAI Tianqi, YI Huai Feng, YANG Linyuan, BI Jue, WANG Meicun, LI Linggang. Effect of altitude on the fruit quality and agronomic traits of ‘Guifei’ mango[J]. *China Fruit & Vegetable*, 2024, 44(7): 54-58.
- [15] 张翠仙, 陈于福, 尼章光, 王永芬, 柏天琦, 张惠云, 章勇, 解德宏. 不同海拔对帕拉英达杧果光合特性及果实品质的影响[J]. *果树学报*, 2021, 38(5): 749-759.
- ZHANG Cuixian, CHEN Yufu, NI Zhangguang, WANG Yongfen, BAI Tianqi, ZHANG Huiyun, ZHANG Yong, XIE Dehong. Effects of different altitudes on leaf photosynthetic characteristics and fruit quality in Myahinth mango[J]. *Journal of Fruit Science*, 2021, 38(5): 749-759.
- [16] 中华人民共和国农业农村部. 热带作物种质资源描述规范 芒果: NY/T 1808—2022[S]. 北京: 中国农业出版社, 2022.
- Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People’s Republic of China. Descriptors standard for tropical crops germplasm-Mango: NY/T 1808—2022[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2022.
- [17] 谢若男, 马晨, 张群, 刘春华, 阳辛凤. 海南省芒果主产区主栽品种果实品质特性分析[J]. *南方农业学报*, 2018, 49(12): 2511-2517.
- XIE Ruonan, MA Chen, ZHANG Qun, LIU Chunhua, YANG Xinfeng. Characteristic analysis on fruit quality of major varieties in main mango producing regions of Hainan[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2018, 49(12): 2511-2517.
- [18] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中总酸的测定: GB 12456—2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- National Health Commission of the People’s Republic of China, State Administration for Market Regulation. National food safety standard—Determination of total acid in foods: GB 12456—2021[S]. Beijing: Standards Press of China, 2021.
- [19] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定: GB 5009.86—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of the People’s Republic of China. National food safety standard—Determination of ascorbic acid in foods: GB 5009.86—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [20] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定: GB 5009.5—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of the People’s Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standard Determination of protein in foods: GB 5009.5—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [21] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. 植物类食品中粗纤维的测定: GB/T 5009.10—2003[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- Ministry of Health of the People’s Republic of China, Standardization Administration of the People’s Republic of China. Determination of crude fiber in vegetable foods: GB/T 5009.10—2003[S]. Beijing: Standards Press of China, 2004.
- [22] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定: GB 5009.6—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of the People’s Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standard—Determination of fat in foods: GB 5009.6—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [23] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. 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: GB 5009.8—2023[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.
- National Health Commission of the People’s Republic of China,

- State Administration for Market Regulation. National food safety standard—Determination of fructose, glucose, sucrose, maltose and lactose in foods: GB 5009.8—2023[S]. Beijing: Standards Press of China, 2023.
- [24] 徐胜涛,何翔,杨佩文,白亭亭,番华彩,尹可锁,刘立娜,曾莉,李迅东,郭志祥,杨宝明,黄玉玲,李永平,郑泗军. 不同海拔高度下香蕉园土壤理化性质及果实品质的变化[J]. 西南农业学报, 2020, 33(6): 1215-1220.
- XU Shengtao, HE Xiang, YANG Peiwen, BAI Tingting, FAN Huacai, YIN Kesuo, LIU Lina, ZENG Li, LI Xundong, GUO Zhixiang, YANG Baoming, HUANG Yuling, LI Yongping, ZHENG Sijun. Variation of soil physicochemical properties and fruit quality at different altitudes of banana plantation[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2020, 33(6): 1215-1220.
- [25] 潘红丽,李迈和,蔡小虎,吴杰,杜忠,刘兴良. 海拔梯度上的植物生长与生理生态特性[J]. 生态环境学报, 2009, 18(2): 722-730.
- PAN Hongli, LI Maihe, CAI Xiaohu, WU Jie, DU Zhong, LIU Xingliang. Responses of growth and ecophysiology of plants to altitude[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2009, 18(2): 722-730.
- [26] 郭传超,周伟权,石荡,蒋南林,唐莹莹,刁永强,刘立强. 新疆野杏开花物候与花器官对海拔的响应[J]. 生态学报, 2023, 43(2): 789-797.
- GUO Chuanchao, ZHOU Weiquan, SHI Dang, JIANG Nanlin, TANG Yingying, DIAO Yongqiang, LIU Liqiang. The flowering phenological period and floral organ response to altitude in *Prunus armeniaca*[J]. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(2): 789-797.
- [27] 李欣怡,张丽芳,吴友贵,郭静,兰荣光,吕洪飞,于明坚. 不同海拔高度下百山祖冷杉幼苗的生长特征及其影响因素[J]. 植物生态学报, 2025, 49(4): 610-623.
- LI Xinyi, ZHANG Lifang, WU Yougui, GUO Jing, LAN Rongguang, LÜ Hongfei, YU Mingjian. Growth characteristics of *Abies beshanzuensis* seedlings at different altitudes and the influencing factors[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2025, 49(4): 610-623.
- [28] 吕佩雯,蒋涵,周敏,刘一念,邓宇晴,刘雄琴,王业社,王灯. 不同海拔梯度对亮叶水青冈叶形态与光合色素的影响[J]. 现代园艺, 2025, 48(5): 34-36.
- LÜ Peishan, JIANG Han, ZHOU Min, LIU Yinian, DENG Yuqing, LIU Xiongqin, WANG Yeshe, WANG Deng. Effect of different altitudinal gradients on leaf morphology and photosynthetic pigments of *Lithocarpus glaber*[J]. Contemporary Horticulture, 2025, 48(5): 34-36.
- [29] 杨先裕,姚宏,范芳娟,颜福花,李凯,陈操,吴连海. 不同海拔高度对香榧果实品质影响及其综合评价[J]. 安徽农业大学学报, 2023, 50(5): 792-797.
- YANG Xianyu, YAO Hong, FAN Fangjuan, YAN Fuhua, LI Kai, CHEN Cao, WU Lianhai. Effects of different altitudes on *Torreya grandis* 'Merrillii' fruit quality and its comprehensive evaluation[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2023, 50(5): 792-797.
- [30] 段鹏伟,马筱建,石海强,杜纪壮,秦立者,徐国良,杨素苗. '富士'苹果果实品质与海拔的相关性分析[J]. 中国农学通报, 2021, 37(22): 49-56.
- DUAN Pengwei, MA Xiaojian, SHI Haiqiang, DU Jizhuang, QIN Lizhe, XU Guoliang, YANG Sumiao. Correlation analysis of fruit quality of 'Fuji' apple and altitude[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2021, 37(22): 49-56.
- [31] 郑顺林,张仪,李世林,李德林,李文光,王晓琴,郭刚金,袁继超. 不同海拔高度对紫色马铃薯产量、品质及花青素含量的影响[J]. 西南农业学报, 2013, 26(4): 1420-1423.
- ZHENG Shunlin, ZHANG Yi, LI Shilin, LI Delin, LI Wenguang, WANG Xiaoqin, GUO Gangjin, YUAN Jichao. Effects of different altitudes on yield, quality and anthocyanin content of purple potato (*Solanum tuberosum* L.)[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2013, 26(4): 1420-1423.
- [32] 曹永华,金高明,刘兴禄,董铁,牛军强,马明. 不同海拔红富士苹果叶片生理及果实品质的研究[J]. 西北农业学报, 2016, 25(12): 1821-1828.
- CAO Yonghua, JIN Gaoming, LIU Xinglu, DONG Tie, NIU Junqiang, MA Ming. Effect of altitudes on leaf physiology and fruit quality in Fuji apple[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2016, 25(12): 1821-1828.
- [33] 王岷,周茨,聂飞. 贵州4个蓝莓品种的海拔适应性研究[J]. 亚热带植物科学, 2018, 47(4): 333-338.
- WANG Di, ZHOU Ying, NIE Fei. Altitude adaptability of four blueberry cultivars in Guizhou[J]. Subtropical Plant Science, 2018, 47(4): 333-338.
- [34] 毛如志,张国涛,邵建辉,杜飞,邓维萍,赵新节,朱书生,朱有勇,何霞红. 低海拔和高海拔产区气象因子对'美乐'葡萄浆果品质和代谢组的影响[J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(4): 506-516.
- MAO Ruzhi, ZHANG Guotao, SHAO Jianhui, DU Fei, DENG Weiping, ZHAO Xinjie, ZHU Shusheng, ZHU Youyong, HE Xiaohong. Response of 'Merlot' grape berry quality and metabolome to meteorological factors at both low and high altitudes[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2016, 24(4): 506-516.
- [35] 郭清云,陈哲,吴凤芝,王祥和,范鸿雁,冯学杰,胡福初. 5份榴莲蜜种质果实品质的主成分分析及综合评价[J]. 中国南方果树, 2022, 51(1): 106-111.
- GUO Qingyun, CHEN Zhe, WU Fengzhi, WANG Xianghe, FAN Hongyan, FENG Xuejie, HU Fuchu. Principal component analysis and comprehensive evaluation of the fruit quality of five cempedak germplasm[J]. South China Fruits, 2022, 51(1): 106-111.
- [36] 牟红梅,于强,李庆余,王义菊,姜福东,李元军,薛敏,王兆龙. 基于主成分分析的烟台地区西洋梨果实品质综合评价[J]. 果树学报, 2019, 36(8): 1084-1092.
- MU Hongmei, YU Qiang, LI Qingyu, WANG Yiju, JIANG Fudong, LI Yuanjun, XUE Min, WANG Zhaolong. Synthetic evaluation of fruit quality of common pears (*Pyrus communis* L.) based on principal component analysis in Yantai areas[J]. Journal of Fruit Science, 2019, 36(8): 1084-1092.