

· 园艺 ·

DOI: 10.15886/j.cnki.rdswwb.20240082



主持人: 朱国鹏

‘南鹿一号’莲雾果实生长发育与品质的形成

许丹勇^{1#}, 王远铭¹, 林思鸿¹, 王宇洋¹, 李华东²,
邢 军³, 马亚龙³, 林 电^{1*}

(1. 海南大学 热带农林学院, 海南 海口 570228 中国; 2. 中化(海南)农业生态有限公司, 海南 三亚 572000 中国; 3. 三亚南鹿实业股份有限公司, 海南 三亚 572000 中国)

摘 要: 为明确‘南鹿一号’莲雾果实生长发育与品质形成规律, 以海南省三亚市崖州区 4 年生莲雾‘南鹿一号’为试材, 在 2022—2024 年期间, 从花后 10 d 开始至成熟期的夏季果与冬季果进行两年的跟踪试验, 对其果实大小以及果肉品质指标等的动态变化特征进行综合观测评价。结果显示, 花后 10 d 至成熟期果实大小、果形指数等外在品质指标及膨果期至成熟期果肉等内在品质存在较显著的差异, 单果质量、可溶性糖、抗坏血酸及可溶性固形物含量均呈现显著递增趋势。总酸含量及果形指数较其他指标总体变化趋势不明显; 不同季节成熟期果实品质指标存在一定差异, 冬季果主成分分析得分均高于夏季果。试验结果表明, 冬、夏季果生长发育的关键期分别为花后 30 ~ 70 d、20 ~ 50 d, 品质形成关键期分别为花后 60 ~ 80 d、50 ~ 60 d; 冬、夏季果分别在花后 80 d、60 d 左右采摘时其可溶性糖、可溶性固形物、抗坏血酸、糖酸比等综合指标相对更好; 影响成熟期果实品质的主要因子为抗坏血酸、横纵径、鲜质量、固酸比、糖酸比及果形指数, 且冬季果品质综合评价优于夏季果。

关键词: 莲雾; ‘南鹿一号’; 品质; 主成分分析

中图分类号: S667.9

文献标志码: A

文章编号: 1674 - 7054(2025)04 - 0580 - 10

许丹勇, 王远铭, 林思鸿, 等. ‘南鹿一号’莲雾果实生长发育与品质的形成 [J]. 热带生物学报, 2025, 16(4):

580-589. doi: 10.15886/j.cnki.rdswwb.20240082

莲雾 (*Syzygium samarangense* (BL.) Merr. et Perry), 又称辇雾、爪哇蒲桃等, 属双子叶植物纲桃金娘目桃金娘科蒲桃属植物, 在热带地区非常受欢迎^[1], 是著名的热带、亚热带水果^[2]。莲雾果实色泽鲜艳, 外形美观, 营养丰富, 新鲜的莲雾汁液含有丰富的人体必需矿物质和营养物质, 且有较高的经济价值^[3], 其果实大小一般为 28 ~ 100 g, 原产马来半岛及安达曼群岛^[4], 在马来西亚的种植以 1 ~ 5 hm² 的小农场为主^[5-6]。现主要分布于印尼爪哇岛以及菲律宾、中国、泰国等地区^[7]。最早在中国种植是在 17 世纪中国的中国台湾地区, 目前在海南、广东、广西、福建等地也有引种栽植^[8]。莲雾家族的品种众多, 主要有‘黑金刚’‘黑珍珠’‘黑

糖芭比’‘白翠玉’‘大叶红’等。莲雾也因其具有较高的营养、药用、保健和观赏价值, 逐渐受到国内外学者的重视^[9]。‘南鹿一号’莲雾作为三亚南鹿基地自主培育的新品种(‘牛奶莲雾’与‘黑金刚莲雾’杂交 F1 代), 具有甜度高、单果质量大、口感较好等优点, 有较高的经济价值。

目前国内外关于莲雾果实生育规律及品质的研究相对较少, 相关研究主要集中在栽培引种方面。黄建辉^[10]通过对莲雾的形态特征与生物学特性、苗木繁育技术等的分析, 总结了莲雾栽培管理技术。韩剑等^[11]通过控制营养生长、化学催花等方面阐述了莲雾的产期调节技术。郑俊雄等^[12]从建园、定植、整形修剪等方面分析了中国台湾选育

收稿日期: 2024 - 05 - 18

修回日期: 2024 - 06 - 13

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0202102); 海南省自然科学基金高层次人才项目(421RC739); 海南省自然科学基金面上项目(321MS009)

*第一作者: 许丹勇(1996—), 男, 海南大学热带作物学院 2022 级硕士研究生。E-mail: 1075668863@qq.com

*通信作者: 林电(1967—), 男, 博士, 教授。研究方向: 植物营养。E-mail: lindian5519@163.com

的黑珍珠莲雾的优质高产栽培技术等。清楚了解莲雾的生长发育、品质形成等规律是进行有效栽培管理、品质管理及提升的基础,目前对于莲雾果实的生长发育及品质方面尚缺乏较系统的研究。因此,本研究拟通过对海南省三亚市崖州区长山村‘南鹿一号’莲雾果实的生长发育进行跟踪及对不同时期采摘果实的品质进行测定分析,为莲雾的栽培管理及品质提升等提供参考。

1 材料方法

1.1 试验材料及试验地和施肥管理概况 试验材料选用‘牛奶莲雾’与‘黑金刚莲雾’杂交系‘南鹿一号’。试验种植基地位于海南省三亚市崖州区长山村莲雾小镇(18°36'N, 109°05'E)年平均气温 26.1℃,年平均降水量 1 415 mm,年平均风速 2.9 m·s⁻¹,年日照 2 434 h,海拔 28 m。果园为砂壤土,土壤基本理化性质:pH 5.69,有机质 0.42%,碱解氮 39.21 mg·kg⁻¹,有效磷 66.78 mg·kg⁻¹,速效钾 63.74 mg·kg⁻¹,交换性钙 28.74 mg·kg⁻¹,交换性镁 58.28 mg·kg⁻¹,有效铜 0.15 mg·kg⁻¹,有效锌 1.68 mg·kg⁻¹,有效硼 0.3 mg·kg⁻¹。株行距为 5 m×6 m,树龄 4 年。施肥方式为水肥一体化及基肥,每株树 1 年施肥量分别为:生物有机肥约 60 kg,15-15-15 复合肥约 3.50 kg,硫酸钾约 0.75 kg,大量元素水溶肥 12-6-40+TE 约 0.15 kg。

1.2 采样方法 选取长势基本一致且无明显病虫害的植株,每株树按东西南北 4 个方位随机各采 1 个果,每个混合样 6 株树,即每个混合样采 24 个果,共 3 个混合样。采样时间为谢花后 10 d 开始每隔 10 d 采 1 次至果实成熟,夏季果采样时间为每年的 5—7 月,冬季果采样时间为每年 12 月至翌年 3 月。其中,果实生长发育进行全时期跟踪试验,总酸、可溶性糖等内在品质由于早期(夏季果花后 10~30 d,冬季果花后 10~40 d)果实较小,品质差异不明显,所以内在品质从膨果期(夏季果花后 40 d、冬季果花后 50 d)开始跟踪试验。

1.3 测定指标及方法 平均单果鲜、干质量(g):0.01 分析天平;横纵径(mm):游标卡尺;果型指数:纵径/横径;单果密度(g·cm⁻³):单果鲜质量/单果体积;可溶性糖(%):参照 NY/T 2742-2015 中水果及制品可溶性糖的测定^[13];抗坏血酸(mg·g⁻¹):参照 GB 5009.86—2016,采用 2,6-二氯酚酚滴定

法^[14];可溶性固形物(%):参照 NY/T2637—2014 水果和蔬菜可溶性固形物含量的测定——折射仪法^[15];总酸(%):参照 GB 12456—2021 采用酸碱滴定法^[16];糖酸比:可溶性糖/总酸;固酸比:可溶性固形物/总酸。

1.4 数据分析 采用 Excel 2010、SPSS Statistics 27.0 及 origin 2022 软件进行统计分析数据及绘图。

2 结果与分析

2.1 果实鲜质量及干质量的变化 如图 1-A、B 所示,‘南鹿一号’莲雾夏季果平均单果鲜质量为 1.20~121.53 g,花后 10~20 d 单果鲜质量略有增加但不显著,花后 30 d 开始,单果鲜质量增加显著(图 1、2),花后 30~40 d 增幅达到峰值,且在花后 60 d 单果鲜质量达到最大(121.53 g)。冬季果平均单果鲜质量为 1.25~153.09 g,花后 10~30 d 单果质量增加较缓(图 1、3),花后 30~80 d 增加显著,增幅最快的阶段为花后 40~50 d,且在花后 80 d 达到最大(153.09 g)。夏、冬季平均单果干质量与鲜质量变化趋势类似,夏、冬季果干质量分别为 0.22~11.14、0.24~14.45 g,增幅最大的时期分别为花后 30~40、40~50 d,且分别在花后 60、80 d 干质量达到最大。结果表明,‘南鹿一号’莲雾单果鲜质量分为前期缓慢生长期(夏季果花后 10~20 d、冬季果花后 10~40 d)、中期快速生长期(夏季果花后 20~50 d、冬季果花后 40~70 d)、后期采前缓慢增长期(夏季果花后 50~60 d、冬季果花后 70~80 d)3 个主要阶段。

2.2 果实横纵径及果形指数的变化 如表 1、2 所示,夏季果横径在 12.54~59.73 mm,花后 10~20 d 增加不显著,花后 20 d 开始显著增加,花后 20~30 d 增幅最大。冬季果横径在 11.92~78.83 mm,花后 10~80 d 均增加显著,花后 30~40 d 增幅最大。夏季果纵径在 17.47~67.27 mm,花后 10~40 d 增加显著,后续增加较缓。冬季果实纵径在 16.11~93.45 mm,花后 10~80 d 均显著增加,且在花后 30 d 开始呈较大幅上涨趋势。结果表明,冬、夏季果实生育存在一定差异,夏季果横纵径及鲜质量快速增长期分别为花后 20~40、30~50 d,冬季果分别为花后 30~60、40~70 d,即横纵径的快速增长期早于单果质量。

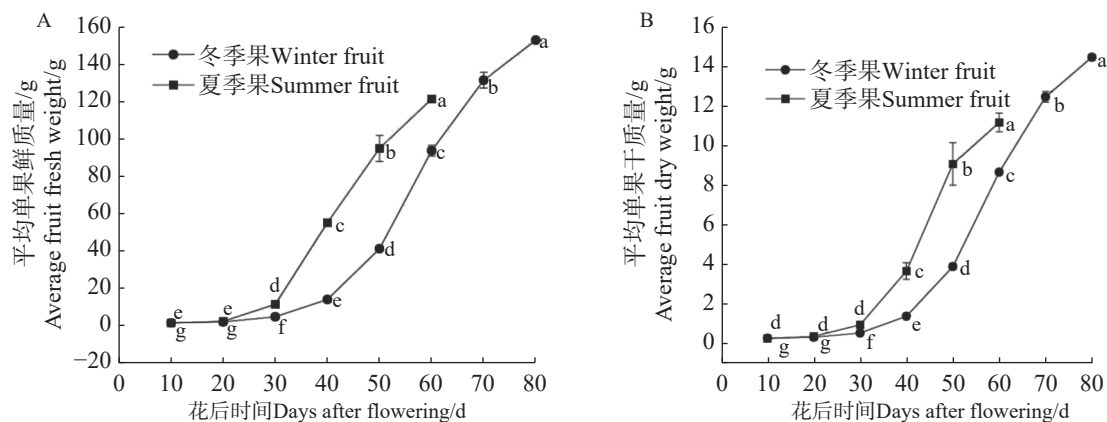


图 1 冬、夏季果平均单果鲜质量(A)及干质量(B)
Fig. 1 Average fresh weight (A) and dry weight (B) of wax apple fruit in winter and summer
注: 同一条曲线不同小写字母表示存在显著差异, 下同。
Note: Different lowercase letters on the same curve indicate significant differences. The same applies below.

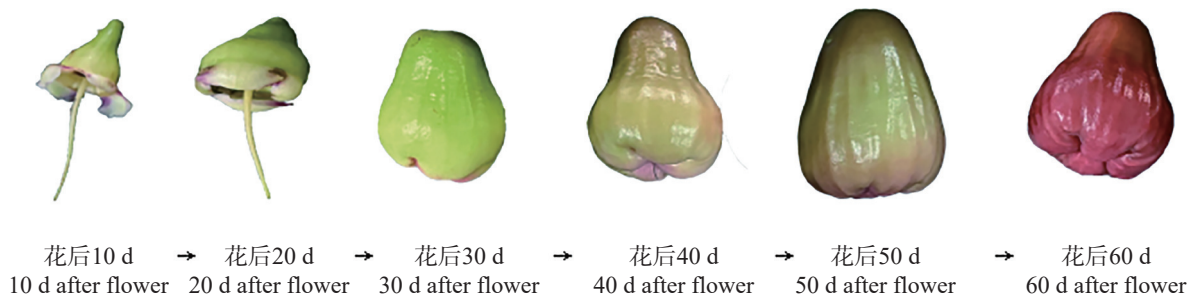


图 2 夏季果生长发育动态变化
Fig. 2 Dynamic changes of fruit growth and development of wax apple in summer



图 3 冬季果生长发育动态变化
Fig. 3 dynamic changes of fruit growth and development of wax apple in winter

表 1 夏季果横纵径和果形指数

Tab. 1 Fruit transverse diameter and fruit shape index of wax apple in summer

花后时间/d Days after flowering/d	横径/mm Transverse diameter/mm	纵径/mm Longitudinal diameter/mm	果形指数 Fruit shape index
10	12.54±0.24 ^e	17.47±0.83 ^e	1.39±0.05 ^a
20	15.44±0.78 ^e	22.66±1.07 ^d	1.47±0.03 ^a
30	29.24±1.66 ^d	36.21±1.15 ^c	1.24±0.08 ^b
40	48.59±0.68 ^c	55.15±1.27 ^b	1.14±0.04 ^{bc}
50	54.77±2.66 ^b	63.74±2.11 ^a	1.16±0.11 ^{bc}
60	59.73±4.62 ^a	66.27±3.16 ^a	1.11±0.02 ^c

注: 不同小写字母表示在0.05水平差异显著。表2同。
Note: different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level. Table 2 is the same.

表 2 冬季果横纵径和果形指数

Tab. 2 Fruit diameter and fruit shape index of wax apple in winter

花后时间/d Days after flowering/d	横径/mm Transverse diameter/mm	纵径/mm Longitudinal diameter/mm	果形指数 Fruit shape index
10	11.92±0.14 ^h	16.11±0.88 ^h	1.35±0.07 ^e
20	14.99±0.17 ^g	20.86±0.77 ^g	1.39±0.03 ^{bc}
30	17.34±1.05 ^f	26.58±0.86 ^f	1.54±0.04 ^a
40	33.86±1.41 ^e	41.38±0.69 ^e	1.22±0.02 ^d
50	42.30±0.83 ^d	60.13±1.86 ^d	1.42±0.06 ^b
60	61.24±1.08 ^c	68.39±1.44 ^c	1.12±0.05 ^a
70	69.38±1.50 ^b	75.84±2.10 ^b	1.09±0.01 ^a
80	78.38±0.91 ^a	93.45±0.62 ^a	1.19±0.01 ^d

夏季果形指数为 1.11 ~ 1.47, 花后 20 ~ 30 d 增加显著, 其余时期无显著变化。全时期内果形指数总体呈单‘S’型发育趋势, 即总体果形变化先向长条状果形发育, 然后逐渐向圆润型发育。果形指数最大的时期为花后 20 d, 最小的为花后 60 d。冬季果形指数在 1.09 ~ 1.54, 花后 10 ~ 30 d 增加显著, 花后 30 d 达到第 1 次峰值, 为 1.54, 花后 30 ~ 50 d 表现为先显著降低后升高, 同时出现第 2 次峰值, 为 1.42, 果形指数最低的时期为花后 70 d, 全时期内果形指数总体呈双‘S’型动态变化趋势。结果表明, 冬、夏季在果实生育过程中其果形指数均存在波动, 且冬季果形指数的变化较夏季

的变化大。

2.3 果实总酸、可溶性糖的变化 如图 4-A, B 所示, 夏季果花后 40 ~ 60 d 总酸含量总体变化趋势不明显, 冬季果花后 50 ~ 80 d 总酸含量下降显著, 且花后 80 d 降低至最低值。夏季果花后 40 ~ 60 d 可溶性糖含量总体呈递增趋势, 且存在显著差异, 花后 60 d 可溶性糖含量达到峰值。冬季果花后 50 ~ 80 d 可溶性糖含量均增加显著, 总体增长趋势为先快后缓, 且在花后 80 d 达到峰值。结果表明, 冬、夏季果在发育过程总酸变化幅度存在一定差异, 夏季果相较于冬季果变化幅度较小, 冬、夏季果可溶性糖总体变化趋势相似。

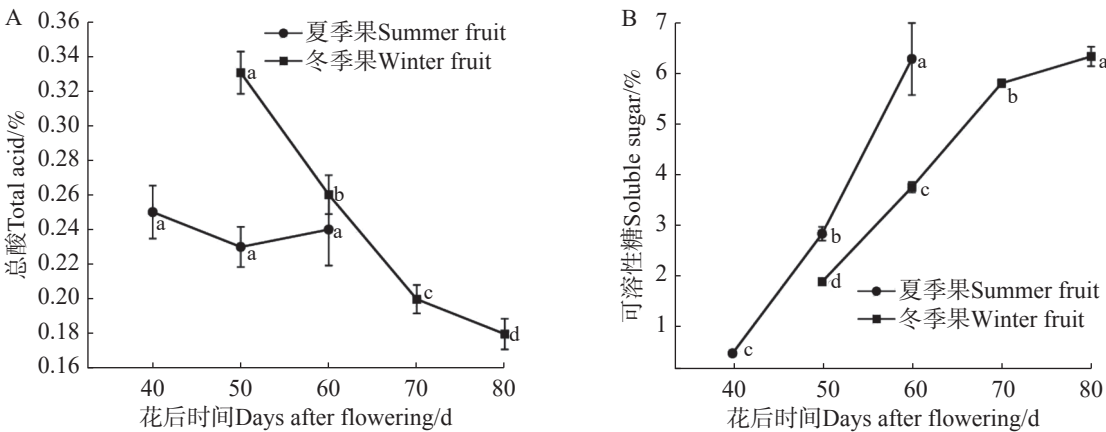


图 4 冬、夏季果总酸(A)及可溶性糖(B)

Fig. 4 Total acid (A) and soluble sugar (B) of wax apple fruit in winter and summer

2.4 果实可溶性固形物、抗坏血酸的变化 如图 5-A, B 所示, 夏季果花后 40 ~ 60 d 可溶性固形物含量为 5.82% ~ 11.13%, 总体呈显著递增趋势, 在花后 60 d 达到最大, 且增长率基本相等, 均在

38% 左右; 冬季果花后 50 ~ 80 d 可溶性固形物含量为 7.38% ~ 11.97%, 呈显著递增趋势, 时期间增幅分别为 10.43%、29.07%、13.78%, 表明夏季果可溶性固形物的增长速率平稳, 而冬季果可溶性固

形物的增长速率表现为先低后高再低的趋势。夏季果抗坏血酸含量为 $0.01 \sim 0.07 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 呈显著递增趋势, 在花后 50 ~ 60 d 增幅达到最大, 时期间增长速率表现为先低后高。冬季果花后 50 ~ 80 d 抗坏血酸含量为 $0.08 \sim 0.13 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 且增加显著,

在花后 60 ~ 70 d 增幅达到最大, 时期间增长速率相对较平稳。结果表明, 冬、夏季果的抗坏血酸含量及变化幅度存在一定差异, 夏季果的抗坏血酸含量低, 后期增速快, 冬季果的抗坏血酸含量高, 增速较平稳。

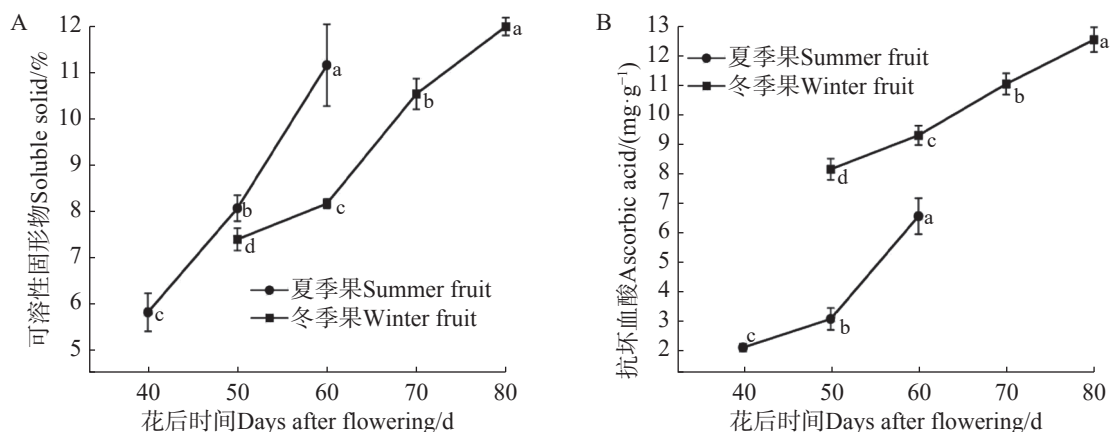


图 5 冬、夏季果可溶性固形物(A)及抗坏血酸(B)

Fig. 5 Soluble solids(A) and ascorbic acid(B) of wax apple fruit in winter and summer

2.5 果实糖酸比及固酸比的变化 如图 6-A, B 所示, 夏季果(花后 40 ~ 60 d)与冬季果(50 ~ 80 d)的糖酸比均呈显著递增趋势, 夏、冬季果糖酸比增幅最大的时期分别为花后 40 ~ 50、50 ~ 60 d, 且夏、冬季果分别在花后 60、80 d 糖酸比达到最大, 分别为 28.00、35.42。夏、冬季果固酸比变化

趋势与糖酸比基本一致, 均呈显著递增趋势, 夏、冬季果固酸比增幅最大的时期分别为 40 ~ 50、60 ~ 70 d, 且分别在花后 60 d(48.80)、80 d(66.93)达到最大。结果表明, 夏、冬季果糖酸比与固酸比变化趋势基本一致, 但糖酸比、固酸比存在较大差异, 冬季果糖酸比、固酸比均高于夏季果。

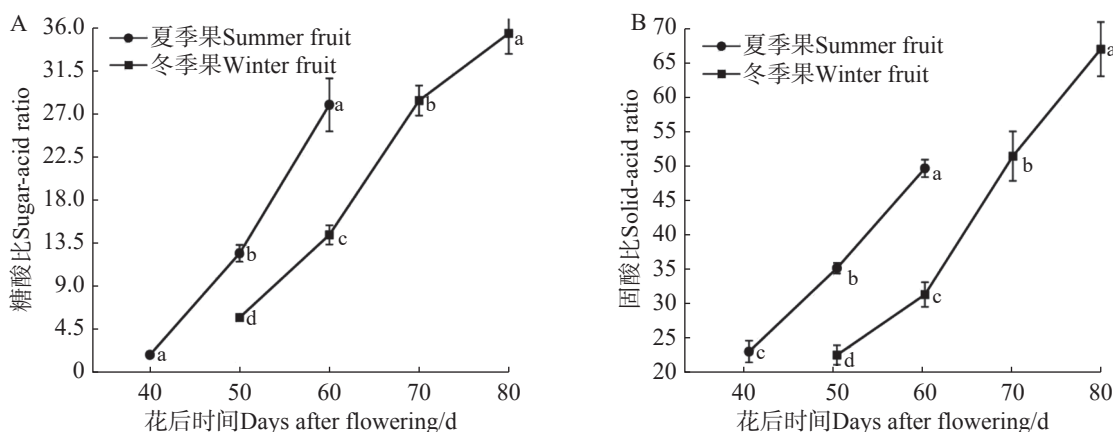


图 6 冬、夏季果糖酸比(A)及固酸比(B)

Fig. 6 Sugar-acid ratio (A) and solids-acid ratio (B) of wax apple fruit in winter and summer

2.6 冬、夏季成熟期果实品质差异及主成分分析 如表 3 所示, 成熟期冬、夏季果品质指标存在较大差异。冬季果横纵径、果形指数、平均单果质量、抗坏血酸、糖酸比及固酸比均极显著高于夏季果, 冬季果总酸显著低于夏季果, 冬、夏季果可溶性糖、可溶性固形物及密度无显著差异。结果表明,

成熟期冬、夏季果除了可溶性糖、可溶性固形物、密度无明显差别外, 其余指标冬季果均优于夏季果。

为探明冬、夏季成熟期果实品质的主要影响因素、全面直观地评价冬、夏季果实品质, 更好地进行莲雾果实品质管理及为品质的提升改进等提

表 3 冬、夏季果成熟期品质
Tab. 3 Fruit ripening quality in winter and summer

品质指标 Quality index	夏季果 Summer fruit	冬季果 Winter fruit	P值 P-value
横径 Transverse diameter/mm	59.73±4.62	78.38±0.91	0.00**
纵径 Longitudinal diameter/mm	66.27±3.16	93.45±0.62	0.00**
果形指数 Fruit shape index	1.11±0.02	1.19±0.01	0.00**
平均单果鲜质量 Average fruit fresh weight/g	121.54±0.72	153.09±1.25	0.00**
平均单果干质量 Average fruit dry weight/g	11.14±0.48	14.44±0.15	0.00**
总酸 Total acid/%	0.24±0.02	0.18±0.01	0.04*
可溶性糖 Soluble sugar/%	6.29±0.91	6.34±0.19	0.94
可溶性固形物含量 Soluble solid content/%	11.13±0.88	11.97±0.20	0.22
抗坏血酸 Ascorbic acid/(mg·g ⁻¹)	0.070±0.001	0.130±0.001	0.00**
糖酸比 Sugar-acid ratio	27.95±2.77	35.42±2.15	0.00**
固酸比 Solids-acid ratio	49.57±1.26	66.92±3.94	0.00**
密度 density/(g·cm ⁻³)	0.89±0.01	0.90±0.01	0.10

注: **表示差异极显著($P<0.01$), *表示差异显著($P<0.05$)。
Note: ** means very significant difference ($P<0.01$); * means significant difference ($P<0.05$).

供参考依据。对冬、夏季 6 份成熟期果实 12 个品质指标进行主成分分析, 结果如表 4 所示, 特征值大于 1 的主成分有 2 个, 其中第 1 个主成分特征值为 9.62, 方差贡献率为 80.15%, 第 2 个主成分的

特征值为 1.16, 方差贡献率为 9.69%, 2 个主成分累计贡献率达到 89.84%, 包含了 12 个品质指标接近 90% 的信息, 因此可以选择这 2 个主成分作为莲雾果实品质综合评价的指标。

表 4 主成分特征值
Tab. 4 Eigenvalues of principal components

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	贡献率/% Contribution rate/%	累积贡献率/% Cumulative contribution rate/%
1	9.62	80.15	80.15
2	1.16	9.69	89.84

由表 5 主成分的载荷矩阵可知, 第 1 个主成分主要的影响因子为抗坏血酸、横纵径、干质量、鲜质量、固酸比、果形指数、可溶性糖、总酸及可溶性固形物, 载荷分别为 0.99、0.99、0.99、0.99、0.98、0.97、0.97、0.87、-0.82、0.62, 除了总酸表现出负向作用外, 其余均表现为正向作用。第 2 个主成分中主要的影响因子为密度, 载荷为 0.74。由主成分 1 的方差贡献率(表 4)及各品质指标载荷(表 5)可知, 主成分 1 的方差贡献率超过 80%, 代表了 80% 以上的果实品质信息, 可以作为评价果实品质的主要参考指标, 其中, 抗坏血酸、横纵径的载荷均为 0.99, 鲜质量、固酸比、果形指数及

糖酸比的载荷分别为 0.98、0.97、0.97、0.92, 是影响果实品质的主要指标。

根据表 5 中主成分因子得分系数矩阵, 利用标准化后的品质指标, 可以计算出 2 个主成分因子得分, 各主成分的因子得分计算公式如下:

$$Y_1=0.321x_1+0.321x_2+0.320x_3+0.320x_4+0.318x_5+0.314x_6+0.313x_7+0.300x_8+0.281x_9-0.267x_{10}+0.202x_{11}+0.101x_{12},$$

$$Y_2=0.019x_1-0.015x_2-0.065x_3-0.046x_4-0.089x_5+0.035x_6-0.150x_7-0.175x_8+0.326x_9+0.379x_{10}+0.454x_{11}+0.689x_{12}。$$

其中 $x_1 \sim x_{12}$ 分别表示总酸、可溶性糖、可溶

表 5 品质指标载荷矩阵
Tab. 5 Load matrix of quality index

品质 Quality	主成分1 Principal component 1	主成分2 Principal component 2
抗坏血酸 Ascorbic acid	0.99	0.02
横径 Transverse diameter	0.99	-0.01
单果干质量 Single fruit dry weight	0.99	-0.07
纵径 Longitudinal diameter	0.99	-0.05
单果鲜质量 Fresh weight of single fruit	0.98	-0.09
固酸比 Solids-acid ratio	0.97	0.038
果形指数 Fruit shape index	0.97	-0.16
糖酸比 Sugar-acid ratio	0.92	-0.18
可溶性糖 Soluble sugar	0.87	0.35
总酸 Total acid	-0.82	0.40
可溶性固形物 Soluble solids	0.62	0.49
密度 density	0.31	0.74

性固形物、抗坏血酸、糖酸比、固酸比、果形指数、单果鲜质量、横径、纵径、单果干质量、密度 12 个品质数值标准化后的指标, Y_1 , Y_2 分别为主成分 1、2 的得分, 分别以主成分 1、2 的特征值除以特征值总和作为权重, 构建 6 份样品的综合品质得分函数, 公式如下:

$$Y = 0.89Y_1 + 0.11Y_2。$$

式中, Y 为 6 份莲雾样品 12 个品质性状的综合得分, 根据综合得分函数得出 6 份冬、夏季莲雾 2 个主成分的得分和最后的综合得分及其排名。综合得分越高, 代表综合评价越好。得分结果如表 6 所示, 其中排在前 3 位的均是冬季果, 夏季果得分整体较低。结果表明, 影响‘南鹿一号’莲雾果实品

质的主要影响因子为抗坏血酸、横纵径、鲜质量、固酸比、糖酸比及果形指数, 且冬季果综合品质评价优于夏季果。

3 讨 论

3.1 果实不同时期生长发育特征 研究果实不同时期的生育规律, 探明果实生育过程中各指标动态变化特征对制定科学合理的栽培措施, 提升品质等具有重要的指导意义。本研究表明‘南鹿一号’莲雾果实发育总体呈单‘S’型发育规律, 即前期缓慢生长期(夏季果花后 10~30 d, 冬季果花后 10~40 d)、中期快速生长期(夏季果花后 30~50 d, 冬季果花后 40~70 d)、后期采前缓慢增长期(夏季果花后 50~60 d、冬季果花后 70~80 d), 与苹果^[17]、草莓^[18]、芒果^[19]果实的发育过程类似, 与陈志峰等^[20]对单季节莲雾果实的研究结果相似, 本研究在此基础上对比了不同季节果实生长发育特征, 其生育规律除周期有差异外, 均呈单‘S’型发育规律。果实质量快速增长期是果实膨大、产量及品质形成的关键时期, 且由于莲雾果实的生育周期相对较短, 因此, 在果实快速生长期前及时疏果、加强肥水管理, 确保充足的养分供应, 以促进果实的生长发育及品质的提升。冬、夏季果实发育前期单果鲜质量、横纵径无明显变化, 而成熟期时存在较大差异, 可能与冬季果实生长周期较长

表 6 冬、夏季成熟期莲雾果实主成分得分表

Tab. 6 Main component score table of wax apple fruit in winter and summer

Y_1	Y_2	Y	夏季/冬季果 Summer/Winter fruit	排名 Ranking
-3.31	0.95	-2.85	夏季果Summer fruit	6
-2.73	-1.46	-2.55	夏季果Summer fruit	5
-2.38	0.56	-2.06	夏季果Summer fruit	4
2.46	-1.29	2.06	冬季果Winter fruit	3
2.65	0.68	2.44	冬季果Winter fruit	2
3.30	0.57	3.01	冬季果Winter fruit	1

有关,这与戴宏芬等^[21]的研究相似,与张秀梅等^[22]对不同季节菠萝果实的研究相反,导致不同的原因可能与不同地区环境因素和栽培管理的不同以及不同作物果实发育形式不同有关。‘南鹿一号’莲雾果实果形指数相较于其他品种,如‘农科二号’,其整体果形指数较小,且冬、夏季果发育过程中果形指数存在较显著差异,相关研究表明,果实纵径、横径和果形指数属于多个基因共同控制的数量性状,如冬瓜^[23]等,莲雾果实可能也存在相关关系。

3.2 果实不同时期品质特征 果实品质很大程度上决定了果实的风味和口感,其中总酸含量是影响果实品质的重要因素^[24]。不同时期夏季果总酸波动幅度较冬季果小,冬、夏季成熟期果实总酸含量均较低,与万璐等^[25]、高贤玉等^[26]研究中的结果类似,且冬季果总酸较夏季稍低,与刘亚男等^[27]对不同月份菠萝果实品质变化规律中的研究不同,导致不同的原因可能与不同作物及不同季节光照、水分、矿质元素含量及栽培管理等的差异有关。甜度是许多水果的重要品质之一^[28],如西瓜^[29]、无花果^[30]等,‘南鹿一号’冬、夏季果实发育中可溶性糖变化趋势均为先慢后快,与火龙果^[31]等可溶性糖变化规律相似。可溶性固形物变化趋势与可溶性糖基本一致,均为先缓后快,与陈志峰等^[20]的研究相似,成熟期‘南鹿一号’果实可溶性固形物含量为11%~12%,基本都高于魏秀清等^[32]对不同莲雾品种品质分析中7种莲雾果实可溶性固形物含量值,这在一定程度上说明‘南鹿一号’果实的风味基础较好。抗坏血酸含量的高低也是衡量果实品质的重要指标,‘南鹿一号’莲雾果实抗坏血酸含量总体增长趋势为先慢后快,与刺梨果实^[33]抗坏血酸含量变化类似。冬、夏季果实抗坏血酸含量存在较显著差异,不同季节温度、湿度以及光强栽培管理方式等的差异可能是导致抗坏血酸含量差异的主要原因,每年5—7月三亚气温较高,可能导致了部分抗坏血酸分解流失,这与李苗苗等^[34]的研究相似。果实中糖、酸的含量以及它们的比例对风味有着决定性的作用^[35-36],‘南鹿一号’果实糖酸比花后40 d左右开始大幅提升,与该阶段可溶性糖的快速积累以及总酸的下降有关,这种变化可能与果实生长过程中的生化转变有关,随着果实的发育,总酸中的部分有机酸可能转化为糖,或

者通过呼吸作用氧化为二氧化碳和水,或被钾离子和钙离子等中和,导致果实的酸味下降,甜味增加,其糖酸比总体变化趋势与‘灿烂’蓝莓^[37]等类似。‘南鹿一号’果实固酸比增长趋势表现为先慢后快,且在成熟期时达到最大,与大部分果实发育过程中固酸比的变化趋势类似,如早熟杏‘苏勒坦’^[38]和锦橙‘蓬安100号’^[39],且由于在该变化的过程中可溶性固形物含量逐渐升高,总酸含量变化幅度相对较小,可见‘南鹿一号’莲雾果实属于糖积累型果实。‘南鹿一号’冬、夏季成熟期果实各项品质指标存在较大差异,果实品质的主要影响因子为抗坏血酸、鲜质量、固酸比、糖酸比等,与云南省长果桑^[40]品质评价核心指标类似,且在主成分分析中冬季果品质综合评价远高于夏季果,这可能与果实的营养积累有关,营养积累是果实生育、品质形成的重要环节。有关研究表明,较长的果实生长周期可以使果实有足够的时间积累营养,如盘丰平等^[41]通过对‘阳光玫瑰’葡萄高效栽培的研究中得出生长周期较长的第1季果在单粒质量、可溶性固形物等均优于生育期较短的第2季果,与本研究结果类似。冬、夏季不同的环境对果实生育及品质同样有着重要的影响,如白天平均气温、夜间平均气温^[42]、昼夜温差^[43-45]等,较大的昼夜温差,对果实生育中营养的积累、糖分的转化、干物质积累等均有促进作用^[46],海南省三亚市冬、夏季夜间平均气温、昼夜温差等的不同,可能也是导致冬、夏季果品质有差异的原因。

4 结 论

综合以上分析,‘南鹿一号’莲雾夏季果花后20~50 d,冬季果花后30~70 d是果实生长发育较关键的阶段;夏、冬季果分别在花后50~60、60~80 d,可溶性糖、可溶性固形物、抗坏血酸等快速积累,该阶段为品质形成的关键阶段,同时为了使果实有更好的品质,夏、冬季果分别在花后30~50、50~70 d应当有充足的水肥供应及密切关注环境条件(温度、湿度、降水)等来维持果实较好的生长环境,该阶段是果实发育关键期,同时也是品质形成关键期。冬季果单果鲜质量、抗坏血酸含量、糖酸比、固酸比等均优于夏季果,且冬季果品质综合评价高于夏季果。造成这种差异的原因可能与冬、夏季温度、湿度、光强、果实生长周

期、养分积累等的不同有关,施肥对果实生长及品质、农艺技术的影响等还有待进一步的研究。

参考文献:

- [1] KHANDAKER M M, BOYCE A N, OSMAN N. The influence of hydrogen peroxide on the growth, development and quality of wax apple (*Syzygium samarangense*, [Blume] Merrill & L. M. Perry var. *jambu madu*) fruits [J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2012, 53: 101 – 110.
- [2] KHANDAKER M M, BOYCE A N. Growth, distribution and physiochemical properties of wax apple (*Syzygium samarangense*): a review[J]. *Australian Journal of Crop Science*, 2016, 10(12): 1640 – 1648.
- [3] VENKATACHALAM K, TECHAKANON C, THITITHANAKUL S. Impact of the ripening stage of wax apples on chemical profiles of juice and cider[J]. *ACS Omega*, 2018, 3(6): 6710 – 6718.
- [4] 杨光华, 杨小锋, 李劲松, 等. 莲雾种质资源分类研究进展[J]. *中国南方果树*, 2013, 42(1): 40 – 42.
- [5] KHANDAKER M M, BOYCE A N, OSMAN N, et al. Fruit development, pigmentation and biochemical properties of wax apple as affected by localized application of GA₃ under field conditions[J]. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 2013, 56(1): 11 – 20.
- [6] SHŪ Z H, MEON Z, TIRTAWINATA R, et al. Wax apple production in selected tropical Asian countries[J]. *Acta Horticulturae*, 2008(773): 161 – 164.
- [7] 陈荣, 丁海云, 李健文. 莲雾高产栽培技术[J]. *云南农业*, 2016(9): 43 – 44.
- [8] 杨荣萍, 陈贤, 张宏, 等. 莲雾研究进展[J]. *中国果菜*, 2009, 29(1): 41 – 43.
- [9] 孙勇, 高乐, 张先, 等. 莲雾营养成分及利用价值研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2021, 49(11): 23 – 25.
- [10] 黄建辉. 莲雾高产栽培技术[J]. *绿色科技*, 2018, 20(15): 95 – 100.
- [11] 韩剑, 罗仕争, 李海明. 海南莲雾的高产栽培技术[J]. *中国南方果树*, 2009, 38(5): 40 – 42.
- [12] 郑俊雄, 陈惠宗. 台湾黑珍珠莲雾优质高产栽培技术[J]. *台湾农业探索*, 2011(5): 21 – 22.
- [13] 中华人民共和国农业部. NY/T 2742—2015 水果及制品可溶性糖的测定 3, 5-二硝基水杨酸比色法[S]. 北京: 中国农业出版社, 2015.
- [14] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.86—2016 食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [15] 中华人民共和国农业部. NY/T 2637—2014 水果和蔬菜可溶性固形物含量的测定 折射仪法[S]. 北京: 中国农业出版社, 2015.
- [16] 国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. GB 12456—2021 食品安全国家标准 食品中总酸的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- [17] 杨文悦, 高美娜, 尹宝颖, 等. 不套袋栽培对红富士苹果果实品质的影响[J]. *北方园艺*, 2021(10): 41 – 47.
- [18] 刘遵春, 薛晓静, 郭志平. 日光温室中章姬草莓果实发育及营养成分变化规律研究[J]. *烟台果树*, 2021(4): 17 – 20.
- [19] 潘宏兵, 杜邦, 罗玲, 等. 凯特芒果果实生长发育规律研究[J]. *四川农业科技*, 2020(5): 20 – 23.
- [20] 陈志峰, 余东, 章希娟, 等. 莲雾果实发育过程果形与主要品质指标变化[J]. *东南园艺*, 2013, 1(1): 1 – 4.
- [21] 戴宏芬, 李俊成, 孙艺洪, 等. 大红火龙果正造果与反季节果生长发育的比较研究[J]. *广东农业科学*, 2022, 49(8): 46 – 53.
- [22] 张秀梅, 李建国, 窦美安, 等. 不同季节菠萝果实糖积累的差异[J]. *园艺学报*, 2010, 37(11): 1751 – 1758.
- [23] 陈婕英. 冬瓜果实形状的遗传分析与基因定位[D]. 南宁: 广西大学, 2021. doi: 10.27034/d.cnki.ggxu.2021.000307.
- [24] 赵婉彤, 薛杨, 孙珍珠, 等. 宽皮柑桔可滴定酸检测方法的对比研究[J]. *中国南方果树*, 2022, 51(2): 40 – 44.
- [25] 万璐, 李丽容, 张琳, 等. 气象条件对莲雾品质的影响初探[J]. *福建热作科技*, 2023, 48(1): 48 – 51.
- [26] 高贤玉, 张发明, 柏天琦, 等. 莲雾果实糖酸含量分析[J]. *热带农业科学*, 2019, 39(3): 75 – 79.
- [27] 刘亚男, 马海洋, 洗皓敏, 等. 菠萝不同月份采收果实品质变化规律研究[J]. *热带农业科学*, 2015, 35(10): 78 – 81.
- [28] JIANG H Z, JIANG X S, RU Y, et al. Sweetness detection and grading of peaches and nectarines by combining short-and long-wave Fourier-transform near-infrared spectroscopy[J]. *Analytical Letters*, 2021, 54(7): 1125 – 1144.
- [29] KIM Y H, PARK C W, KIM J S, et al. Smart packaging temperature indicator based on encapsulated thermochromic material for the optimal watermelon taste[J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2022, 16(3): 2347 – 2355.
- [30] 许云飞. 氮钾比例及施肥方式对无花果果实膨大期生长和果实品质的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2022. doi:10.27409/d.cnki.gxbnu.2022.001738.
- [31] 张瀚, 杨福孙, 胡文斌, 等. 火龙果果实生长及内含物变化规律[J]. *江苏农业科学*, 2022, 50(11): 161 – 168.
- [32] 魏秀清, 许玲, 章希娟, 等. 不同莲雾品种果实品质分析[J]. *东南园艺*, 2017, 5(6): 29 – 31.
- [33] 安华明, 樊卫国, 刘庆林, 等. 刺梨果实和叶片发育过程中抗坏血酸和抗氧化酶的协同变化[J]. *园艺学报*, 2007, 34(5): 1293 – 1296.
- [34] 李苗苗, 步佳佳, 张秀梅, 等. 不同产区冬夏季菠萝果实维生素的差异性研究[J]. *果树学报*, 2013, 30(5): 803 – 807.
- [35] HECKE K, HERBINGER K, VEBERİČ R, et al. Sugar-, acid-and phenol contents in apple cultivars from organic and integrated fruit cultivation[J]. *European Journal of Clinical Nutrition*, 2006, 60(9): 1136 – 1140.
- [36] 李小城, 许宝玉, 张成浩, 等. 叶面补硒对红美人硒含量的影响[J]. *浙江农业科学*, 2024, 65(2): 350 – 353.
- [37] 陈招芳, 李恒刚, 许轲, 等. 四川主栽蓝莓品种果实生

- 长发育过程中的品质变化规律[J]. [食品与发酵工业](#), 2020, 46(12): 244–250.
- [38] 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.
- [39] 沈凯, 蒲大光, 郑恒军, 等. “蓬安 100 号”锦橙果实发育后期品质的变化[J]. [中国南方果树](#), 2014, 43(1): 41–43.
- [40] 杨加虎, 丁志伟, 李莎, 等. 云南省长果桑果实品质分析与综合评价[J]. [西南农业学报](#), 2024, 37(5): 990–1000.
- [41] 盘丰平, 莫伟健, 韦荣福, 等. “阳光玫瑰”葡萄在桂东南地区的引种表现及一年两收优质高效栽培技术[J]. [中国南方果树](#), 2022, 51(4): 185–189.
- [42] 李许真, 刘丹, 吕清海, 等. 水肥供应水平及环境因子对番茄果实生长的影响[J]. [西南农业学报](#), 2023, 36(1): 144–151.
- [43] 刘健伟, 方寒寒, 倪小明, 等. 浙北山地桃树不同树形对产量、品质和成本的影响[J]. [浙江农业科学](#), 2024, 65(3): 614–617.
- [44] 王程宽, 黄振东, 刘兴泉, 等. 气象因子对红美人柑橘品质的影响[J]. [浙江农业学报](#), 2020, 32(10): 1798–1808.
- [45] 张禹, 黄洁帆, 乔沈启, 等. 河北省野生红树莓果实品质差异分析及评价[J]. [果树学报](#), 2024, 41(4): 712–724.
- [46] 徐柳溪, 丁立芳, 李秋月. 北京红富士苹果气候品质评价标准研究[J]. [智慧农业导刊](#), 2022, 2(3): 26–28.

Growth and quality formation of the fruit of wax apple ‘Nanlu No. 1’

XU Danyong^{1#}, WANG Yuanming¹, LIN Sihong¹, WANG Yuyang¹, LI Huadong²,
XING Jun³, MA Yalong³, LIN Dian^{1*}

(1. School of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China; 2. Sinochem (Hainan) AgroEcology Co., LTD., Sanya, Hainan 572000, China; 3. Sanya Nanlu Industrial Co., LTD., Sanya, Hainan 572000, China)

Abstract: Four-year-old trees of wax apple ‘Nanlu No.1’ (*Syzygium samarangense* (BL.) Merr. et Perry) of similar growth vigor located in Yazhou District, Sanya City, Hainan Province were selected to observe the fruit growth and development and determine their fruit quality to elucidate the fruit growth development and quality formation patterns. A comprehensive two-year tracking experiment was conducted from 2022 to 2024, starting from 10 days after flowering to the maturity of the fruit in both summer and winter seasons. Dynamic changes in fruit size and flesh quality indicators were systematically observed and evaluated. Results indicated significant differences in external quality indicators, such as fruit size and shape index from 10 days after flowering to maturity and in internal quality indicators from the fruit expansion stage to maturity. Single fruit weight and the contents of soluble sugar, ascorbic acid and soluble solids all showed a significant increasing trend. In contrast, total acid content and fruit shape index exhibited a less pronounced trend. Notable differences were observed in fruit quality indicators at maturity in different seasons, with the winter fruits scoring higher in principal component analysis compared to the summer fruits. The critical growth and development periods were identified as 30–70 days after flowering for the summer fruits and 20–50 days after flowering for the winter fruits. The critical quality formation periods were 60–80 days and 50–60 days after flowering for the winter and summer fruits, respectively. The optimal harvesting time was approximately 80 days after flowering for the winter fruits and 60 days after flowering for the summer fruits, at which time the overall indicators of the contents of soluble sugars, soluble solids and ascorbic acid, and sugar-acid ratio were the best. The primary factors influencing fruit quality at maturity included ascorbic acid content, transverse and longitudinal diameter, fresh weight, solids-acid ratio, sugar-acid ratio, and fruit shape index, with the winter fruits demonstrating superior overall quality over the summer fruits.

Keywords: wax apple; ‘Nanlu No.1’; quality; principal component analysis

(责任编辑:钟云芳)