广东农业科学 2020，47（7）：52-60
Guangdong Agricultural Sciences doi:10.16768/j.issn.1004-874X.2020.07.007

何声团，苏记春，林春梅，詹园凤，党选民 . 海南设施无土栽培小型西瓜品种筛选研究［J］. 广东农业科学，2020，47（7）：52-60.

海南设施无土栽培小型西瓜品种筛选研究

何声团[1]，苏记春[1]，林春梅[1]，詹园凤[2]，党选民[2]

（1. 海南现代设施农业研究院有限公司，海南 陵水 572400；
2. 中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所，海南 海口 571101）

摘 要：【目的】筛选适宜海南陵水设施无土栽培的小型耐裂精品西瓜品种，以满足人们对高品质西瓜的需求，促进海南设施西瓜产业发展。【方法】在陵水设施大棚内，以纯椰糠为栽培基质，采用营养液滴灌立体吊蔓栽培方式，以美月为对照种，对21个西瓜品种进行了产量、果实性状及品质性状比较与分析。【结果】供试西瓜品种单果重介于1.35~2.05 kg，每667 m² 产量为1 799.4~2 727.3 kg，其中单果重和产量最高的是L600；中部可溶性固形物含量变化为9.9%~12.9%，其中琼香最高；西瓜可溶性糖以果糖为主，其次为葡萄糖，可溶性糖含量介于54.94~87.65 mg/g，其中热研墨玉最高；糖酸比变化范围为20.22~53.41，其中万福来最高；果皮硬度变化范围为32.56~69.41 kg/cm²，显著高于对照种美月的品种有锦绣前程、艳玲、金镶玉、美蓉、琼美、全美2K、全美4K、4126、3416、L600；根据平均隶属函数值进行综合评价，L600排名第一，其次为锦绣前程。【结论】综合产量、品质及果皮特性指标，筛选出品质优良且耐裂果的L600和锦锈前程为适宜海南陵水设施无土栽培的小型西瓜品种。

关键词：小型西瓜；无土栽培；品种筛选；隶属函数法

中图分类号：S642 **文献标志码：**A **文章编号：**1004-874X（2020）07-0052-09

Screening of Mini Watermelon Under Soilless Culture in Greenhouse in Hainan

HE Shengtuan[1], SU Jichun[1], LIN Chunmei[1], ZHAN Yuanfeng[2], DANG Xuanmin[2]

（1. *Hainan Modern Facility Agricultural Research Institute Co., Ltd., Lingshui* 572400, *China;*
2. *Tropical Crops Genetic Resources Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou* 571101, *China*）

Abstract:【Objective】The aim of this study was to screen out crack resistant and high-quality miniwatermelons under soilless cultivation in Lingshui of Hainan, which could meet people's demand for high-quality watermelons and promote the development of Hainan facility watermelon industry.【Method】In the greenhouses of Lingshui, all watermelons were planted by three-dimensional creeper cultivation method with pure coconut dust as cultivation matrix and nutrient liquid drip irrigation. With Meiyue as the control variety, the yield, fruit characters and quality characters of 21 watermelon varieties were compared and analyzed.【Result】Among all the watermelon varieties tested, the single fruit weight varied from 1.35 to 2.05 kg, and the yield varied from 1 799.4 to 2 727.3 kg per 667 m², among which L600 had the highest single fruit weight and yield. The soluble solid content in the center varied from 9.9% to 12.9%, and that of Qiongxiang was the highest. The soluble sugar of watermelon was mainly fructose, followed by glucose, and the soluble sugar content was 54.94-

收稿日期：2020-04-19

基金项目：陵水县科学技术研究与开发资金；中国热带农业科学院基本科研业务费专项（1630032017012，1630032017027）

作者简介：何声团（1991—），男，助理农艺师，研究方向为热带设施农业栽培，E-mail：499720963@qq.com

通信作者：党选民（1965—），男，研究员，研究方向为蔬菜遗传育种与栽培，E-mail：evergreen088@163.com

87.65 mg/g, among which Reyanmoyu was the highest. The sugar-acid ratio ranged from 20.22 to 53.41, among which Wanfulai was the highest. The range of rind hardness was 32.56-69.41 kg/cm², and the rind hardness of the 10 varieties(Jinxiuqiancheng, Yanling, Jinxiangyu, Meirong, Qiongmei, Quanmei 2K, Quanmei 4K, 4126, 3416, L600) was significantly higher than that of Meiyue. Based on the average membership function values, the L600 ranked first, followed by the Jinxiuqiancheng【Conclusion】Based on the comprehensive evaluation on indicators of yield, quality and pericarp characteristics, L600 and Jinxiuqiancheng with good quality and crack resistant were selected as watermelon varieties suitable for soilless cultivation in greenhouses in Lingshui of Hainan province.

Key words: mini watermelon; soilless culture; variety screening; membership function method

【研究意义】西瓜是我国的重要经济作物，种植面积和产量均居世界首位。随着人们生活水平的提高、家庭小型化及观光体验式农业的兴起，传统的大果型西瓜已不能完全满足市场需求，小果型西瓜以其外观美、品质好、易携带、经济效益高等优点深受广大市民和瓜农的欢迎，种植面积不断扩大，市场应用前景十分广阔[1-2]。海南省位于我国最南端，具有独特的地理气候条件和生态环境，是我国重要的南菜北运基地之一[3]。近年来，随着海南设施农业的发展，设施西瓜已成为当地优势农产品，尤其是小果型西瓜优势更明显。然而生产中广泛应用的小果型西瓜品种皮薄且脆，裂果率一般在20%左右，严重时达到80%，极大地限制了小果型西瓜的生产与推广[4-5]。因此，筛选耐裂优质的精品小西瓜品种对产业发展有着十分重要的意义。【前人研究进展】党选民等选育了适合海南设施栽培的高档礼品西瓜品种美月和琼丽，并在海南各地进行了示范推广[5-6]。吴海波等[2]2019年在海南三亚设施大棚内开展了7个品种的适应性比较试验，筛选出众天红和朝霞两个适宜在三亚地区栽培推广的小果型西瓜品种，但是未进行果实耐裂性评价鉴定，因此不能确定这两个品种是否耐裂。目前，海南主要栽培的小果型西瓜品种有早春红玉、万福来、拿比特、小兰、美月等[7]。海南陵水发展设施小果型西瓜生产多年，品种以美月为主，虽然该品种综合性状优良，但是皮脆易裂果、不耐贮运，影响了产业的扩大发展，急需引进并筛选品质优良且耐裂果的小果型西瓜品种，以满足市场需求、提升经济效益。裂果是果实对内部生长与外界环境不协调而使果实表面出现开裂的现象，属于生理性病害[8]，果实裂果受内部因素和外界环境因素的共同影响[9]。相关研究认为，西瓜裂果与水、光照、温度等外界环境[4]以及果皮结构[10]、遗传特性[11-12]有关，并精细定位到抗裂果相关基因*CIERF4*，为优质耐裂西瓜品种定向选育提供了重要的分子基础[13]。【本研究切入点】从收集引进优良小型西瓜品种着手，利用高效液相色谱技术精准鉴定西瓜的可溶性糖、有机酸含量等主要品质指标，结合质构仪精准测定西瓜果皮硬度，采用隶属函数法综合评价西瓜品质、产量和果皮硬度等指标，筛选适宜陵水设施无土栽培的优质耐裂小果型精品西瓜品种。【拟解决的关键问题】在西瓜生产中通常是耐裂品种不优质，而优质品种又不耐裂，也有少数较耐裂且品质优良的品种，但是缺乏科学准确的评价方法。本研究将西瓜主要品质性状评价与质构仪精准鉴定果皮硬度相结合进行综合评价，以获得西瓜果皮硬度与耐裂性的相关标准，为筛选耐裂质优的西瓜品种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为国内外收集的22个西瓜品种，其品种名称及来源地见表1。

1.2 试验方法

2019年冬季，将22个供试西瓜品种（含对照种美月）进行穴盘育苗，当2叶1心时定植于海南现代设施农业研究院有限公司的设施大棚的无纺布种植袋（25 L）内，每个品种随机设3个试验小区，每个小区30株，共计90株，行间距为宽行2 m、窄行0.5 m，株间距0.4 m，营养液配方参照日本山崎配方[14]，栽培基质为纯椰糠，栽培管理采用吊蔓栽培，双蔓整枝，人工授粉，每株留1个果。

1.2.1 果实性状指标及产量测定 在果实成熟期，每个品种每小区选取3个正常发育的成熟果实，每个品种3次重复。参照《西瓜种质资源描

表 1　供试西瓜品种及来源

Table 1　Watermelon varieties and sources

品种 Variety	来源 Source	品种 Variety	来源 Source
锦绣前程 Jinxiuqiancheng	上海惠和种业有限公司	三彩麒麟 Sancaiqilin	上海惠和种业有限公司（日本品种）
艳玲 Yanling	上海惠和种业有限公司	黄金小兰 Huangjinxiaolan	上海惠和种业有限公司（日本品种）
早春红玉 Zaochunhongyu	上海惠和种业有限公司引进(日本品种)	美都 Meidu	新疆昌吉市丰成种业有限公司
金镶玉 Jinxiangyu	上海惠和种业有限公司引进(日本品种)	热研墨玉 Reyanmoyu	热带作物品种资源研究所
美蓉 Meirong	上海惠和种业有限公司引进(日本品种)	4126	郑州果树研究所
琼美 Qiongmei	热带作物品种资源研究所	3416	郑州果树研究所
琼玉 Qiongyu	热带作物品种资源研究所	万福来 Wanfulai	上海惠和种业有限公司引进（日本品种）
琼香 Qiongxiang	热带作物品种资源研究所	黄皮爱娘 Huangpi’ainiang	上海惠和种业有限公司引进（日本品种）
全美 2K Quanmei 2K	新疆昌吉市丰成种业有限公司	琼丽 Qiongli	热带作物品种资源研究所
全美 4K Quanmei 4K	新疆昌吉市丰成种业有限公司	L600	天津市桑田梓地农业科技有限公司引进（日本品种）
黑晶 Heijing	上海市农业科学院	美月 Meiyue（CK）	海南陵水润达现代农业科技发展有限责任公司

述规范和数据标准》[15]的方法进行果型、果皮色、果肉色、单果重、果皮厚度的评价测定。在果实成熟期，称取小区所有西瓜质量，再将小区产量折算成每 667 m^2 产量。

1.2.2　*果实品质指标测定*　在果实成熟期，每个品种每小区取 3 个正常发育的果实，每个品种均设 3 次重复。参照《西瓜种质资源描述规范和数据标准》[15]方法，进行中部、边部的可溶性固形物含量测定和果肉口感评价，采用品尝法进行果肉口感的描述评价。

可溶性糖、酸含量测定：每个品种取3个西瓜的果肉混和，用榨汁机打成果汁，取1 g样品于12 mL离心管，加入5 mL超纯水混合，超声提取20 min，10 000 r/min离心10 min，取上清；残渣加入5 mL超纯水重复提取1次，合并两次上清液，定容至10 mL。然后吸取1 mL上清液用0.22 μm滤膜过滤后待用。参照詹园凤等[16]的高效液相色谱法测定葡萄糖、果糖、蔗糖含量；可溶性糖含量为葡萄糖、果糖、蔗糖含量之和。柠檬酸、苹果酸测定采用高效液相色谱法，检测器为Agilent1260 G1315D DAD检测器，色谱柱为安捷伦Eclipse XDB-C18（5 μm，4.6 mm × 250 mm），流动相为0.01 mol/L KH_2PO_4（pH 2.7），流速0.8 mL/min，柱温30℃，进样量5 μL，运行12 min；总酸含量为柠檬酸和苹果酸含量之和。

糖酸比为可溶性糖含量与总酸含量比值。

1.2.3　*果皮硬度测定*　在果实成熟期，每个品种每小区选取 3 个正常发育的成熟果实，每个品种均设 3 次重复。采用质构仪 TA. XTplus（Stable Micro Systems Ltd.，Godalming,Surrey，UK），探头为 P/2E，参照 Liao 等[13]方法沿果实最大直径圆圈处测定 4 个点的果皮压力，4 个点的平均值即为每个果实的果皮硬度值。

1.2.4　*综合评价方法*　利用模糊数学隶属函数法对产量、可溶性糖含量、糖酸比、果实硬度和果皮厚度指标赋予相同的权重值，其中产量、可溶性糖含量、糖酸比、果实硬度采用隶属函数公式计算其函数值；果皮厚度采用反隶属函数公式计算其函数值。根据 5 个指标的隶属函数平均值大小对各品种进行综合比较排序。

隶属函数公式为：

$$U_{ij}=(X_{ij}-X_{jmin})/(X_{jmax}-X_{jmin})$$

反隶属函数公式为：

$$U_{ij}=1-(X_{ij}-X_{jmin})/(X_{jmax}-X_{jmin})$$

式中，U_{ij} 表示 i 品种 j 指标的隶属函数值；X_{ij} 表示 i 品种 j 指标的测定值；X_{jmin} 表示所有品种 j 指标的最小值；X_{jmax} 表示所有品种 j 指标的最大值。

1.3　数据分析

试验数据均采用 SPSS 16.0 软件单因素方差（*One-way ANOVA*）分析，*Duncan* 多重比较进行差异显著性分析。

2　结果与分析

2.1　不同品种西瓜果实性状及产量比较

由表 2 可知，22 个供试西瓜品种中，圆果品种 12 个、椭圆果品种 9 个、长椭圆果品种 1 个。果肉颜色以红色为主，黄色品种 5 个，橙色品种 1 个。各品种西瓜果实的单果重介于 1.35~2.05 kg，显著高于对照种美月的有 L600、琼美、美都等品种，其中单果重最大的是 L600、最小的是全

表 2　不同品种西瓜果实性状及产量比较

Table 2　Comparison of fruit characters and yields of different watermelon varieties

品种 Variety	果型 Fruit shape	果皮色 Rind color	果肉色 Flesh color	单果重 Weight of single fruit（kg）	产量 Yield（kg/667m²）
锦绣前程 Jinxiuqiancheng	椭圆	绿底覆墨绿细条纹	红	1.37fg	1829.1g
艳玲 Yanling	椭圆	绿底覆墨绿中条纹	红	1.79abcde	2390.8abcde
早春红玉 Zaochunhongyu	圆	绿底覆墨绿细条纹	红	1.56defg	2088.5defg
金镶玉 Jinxiangyu	圆	黑	黄	1.51efg	2006.9efg
美蓉 Meirong	圆	绿底覆墨绿细条纹	红	1.39fg	1846.8fg
琼美 Qiongmei	椭圆	绿底覆墨绿中条纹	红	1.93ab	2579.1ab
琼玉 Qiongyu	圆	绿底覆墨绿中条纹	黄	1.56defg	2087.0defg
琼香 Qiongxiang	椭圆	绿底覆墨绿细条纹	红	1.46fg	1950.6fg
全美 2K Quanmei 2K	椭圆	绿底覆墨绿细条纹	红	1.35g	1799.4g
全美 4K Quanmei 4K	圆	绿底覆墨绿中条纹	红	1.83abcd	2439.7abcde
黑晶 Heijing	圆	黑	黄	1.56defg	2081.0defg
三彩麒麟 Sancaiqilin	圆	绿底覆墨绿细条纹	橙	1.89abc	2528.7abc
黄金小兰 Huangjinxiaolan	圆	绿底覆墨绿中条纹	黄	1.42fg	1891.3fg
美都 Meidu	圆	绿底覆墨绿中条纹	红	1.93ab	2579.1ab
热研墨玉 Reyanmoyu	圆	黑	黄	1.81abcd	2414.5abcde
4126	圆	绿底覆墨绿细条纹	红	1.67bcdef	2235.2bcdef
3416	长椭	绿底深绿色网纹	红	1.57defg	2092.9defg
万福来 Wanfulai	椭圆	绿底覆墨绿细条纹	红	1.56defg	2078.1defg
黄皮爱娘 Huangpi’ainiang	圆	黄底金黄细条纹	红	1.47fg	1968.4fg
琼丽 Qiongli	椭圆	绿底覆墨绿细条纹	黄	1.63cdefg	2172.9cdefg
L600	椭圆	绿底覆墨绿细条纹	红	2.05a	2727.3a
美月 Meiyue（CK）	椭圆	绿底覆墨绿细条纹	红	1.57defg	2092.9defg

注：同列数据后小写英文字母不同者表示差异显著。

Note: Different lowercase letters after the data in the same column represent significant differences.

美 2K。每 667 m² 产量在 1 799.4~2 727.3 kg 之间变化，显著高于对照种美月的品种有三彩麒麟、琼美、美都和 L600，其中 L600 产量最高，琼美次之，产量显著低于对照种美月的有锦绣前程和全美 2K，其中全美 2K 产量最低。

2.2　不同品种西瓜果实内在品质比较

由表 3 可知，22 个西瓜品种的中部可溶性固形物含量介于 9.9%~12.9%，其中琼香最高、早春红玉（12.8%）次之、琼玉和三彩麒麟最低，高于对照种美月的有锦绣前程、琼香、早春红玉等 7 个品种；边部可溶性固形物含量在 7.9%~10.5% 之间变化，其中琼香最高、琼玉最低，高于对照种美月的有锦绣前程、早春红玉、琼美等 11 个品种。

果糖、葡萄糖和蔗糖是西瓜果实中主要的可溶性糖，其含量和组成对果实品质具有重要作用。由表 3 可知，供试西瓜果实的可溶性糖以果糖为主、占可溶性糖的 50% 左右，其次是葡萄糖。果糖含量变化范围为 28.87~50.43 mg/g，显著高于对照种美月的有热研墨玉、美都、万福来和黄皮爱娘；葡萄糖含量为 8.12~30.18 mg/g，显著高于对照种美月的仅有热研墨玉；蔗糖含量变化范围为 0.45~30.18 mg/g，显著高于对照种美月的有锦绣前程、早春红玉、琼香等 8 个品种；可溶性糖含量在 54.94~87.65 mg/g 之间变化，高于对照种美月的有热研墨玉、万福来、锦绣前程等 8 个品种。

供试西瓜果实的苹果酸含量变化为 0.77~2.11 mg/g，其中琼玉最高、万福来最低；柠檬酸含量变化为 0.17~1.11 mg/g，其中 4126 最高、琼玉最低；总酸含量变化为 1.25~2.72 mg/g，其中 4126 最高、万福来最低。糖酸比变化在 20.22~53.41 之间，显著高于对照种美月的有万福来和黄皮爱娘。

果肉细脆汁多口感好的品种有锦绣前程、早春红玉、琼香等 12 个品种；果肉较硬、味甜口感较好的品种有 L600、万福来和 3416；果肉味淡、口感一般的有艳玲、琼玉等 7 个品种。

相关性分析结果（表 4）表明，西瓜中部可

表 3　不同品种西瓜果实内在品质比较

Table 3　Comparison of fruit internal quality of different watermelon varieties

品种 Variety	可溶性固形物 Soluble solids		果糖 Fructose（mg/g）	葡萄糖 Glucose（mg/g）	蔗糖 Sucrose（mg/g）	可溶性糖 Soluble sugar（mg/g）	苹果酸 Malic acid（mg/g）	柠檬酸 Citric acid（mg/g）	总酸 Total acid（mg/g）	糖酸比 Sugar acid ratio	果肉口感 Fruit taste
	中部 Center（%）	边部 Edge（%）									
锦绣前程 Jinxiuqiancheng	12.4abc	9.3abc	36.56defg	17.73bcde	24.13ab	78.42ab	1.27ef	0.56def	1.83cde	43.07abc	肉脆爽口，好
艳玲 Yanling	10.8de	8.5bc	39.07cdef	21.85abc	2.17e	63.09bc	1.68abcde	0.29ghij	1.97bcde	32.31cde	肉硬，一般
早春红玉 Zaochunhongyu	12.8ab	9.2abc	34.49fg	18.25bcd	26.87a	79.62ab	1.46cdef	0.97ab	2.43ab	33.12cde	肉脆爽口，好
金镶玉 Jinxiangyu	11.3cde	8.5bc	37.56def	12.89cde	17.77abc	68.23abc	1.59bcde	0.21ij	1.80cde	38.31bcd	肉脆，好
美蓉 Meirong	10.9cde	8.4bc	38.20cdef	18.71bcd	9.93cde	66.84abc	1.70abcde	0.70cd	2.40ab	27.89de	肉脆，好
琼美 Qiongmei	11.8abcd	9.3abc	37.95cdef	18.22bcd	18.53abc	74.70abc	1.44def	0.71cd	2.16bcd	35.06bcd	肉脆爽口，好
琼玉 Qiongyu	9.9e	7.6c	38.28cdef	17.04bcde	4.59e	59.90bc	2.11a	0.17j	2.28abc	26.34de	肉脆，一般
琼香 Qiongxiang	12.9a	10.5a	37.84cdef	17.49bcde	24.01ab	79.33ab	1.26ef	0.70cd	1.95bcde	40.48abcd	肉细爽口，好
全美 2K Quanmei 2K	11.7abcd	9.4ab	35.65defg	17.96bcd	26.50a	80.11ab	1.42def	0.62cde	2.04bcd	39.49bcd	肉脆，好
全美 4K Quanmei 4K	10.6de	8.9abc	36.79defg	18.12bcd	15.44bcd	70.35abc	1.39ef	0.43efgh	1.82cde	38.83bcd	肉硬，一般
黑晶 Heijing	11.2cde	9.2abc	41.19bcdef	21.81abc	6.83de	69.82abc	1.67abcde	0.40fghi	2.07bcd	35.21bcd	肉脆，好
三彩麒麟 Sancaiqilin	9.9e	8.1bc	36.85defg	22.86abc	0.45e	60.16bc	1.95abc	0.23hij	2.18bcd	28.90cde	肉脆，一般
黄金小兰 Huangjinxiaolan	10.3de	8.5bc	43.54abcde	24.97ab	0.77e	69.28abc	2.02ab	0.18j	2.21bcd	31.64cde	肉脆，一般
美都 Meidu	10.4de	9.0abc	47.96ab	22.31abc	0.65e	70.92abc	1.57bcde	0.30ghij	1.87cde	38.91bcd	肉酥脆，一般
热研墨玉 Reyanmoyu	11.3cde	8.8abc	50.43a	30.38a	6.85de	87.65a	1.69abcde	0.60cde	2.29abc	38.36bcd	肉细脆，好
4126	11.8abcd	9.6ab	38.06cdef	8.12e	8.76cde	54.94c	1.60bcde	1.11a	2.72a	20.22e	肉细脆，好
3416	11.1cde	9.3abc	43.45abcde	16.45bcde	5.16e	65.05bc	1.27ef	0.45efg	1.72de	37.83bcd	肉硬，较好
万福来 Wanfulai	11.1cde	9.7ab	44.03abcd	20.94abc	15.63bcd	80.61ab	0.77g	0.91b	1.68f	53.41a	肉粗，较好
黄皮爱娘 Huangpi’ainiang	10.3de	8.7bc	46.38abc	23.97ab	2.03e	72.39abc	0.98fg	0.53def	1.51ef	49.41ab	肉硬，一般
琼丽 Qiongli	11.7abcd	9.4ab	28.87g	14.78bcde	21.57ab	65.23bc	1.38ef	0.60cde	1.98bcde	32.89cde	肉酥脆，好
L600	11.2cde	8.7bc	35.48defg	10.24de	18.26abc	63.98bc	1.92abcd	0.31ghij	2.23bc	28.11de	肉较硬，较好
美月 Meiyue（CK）	11.5bcd	8.9abc	34.76efg	18.41bcd	17.45abc	70.62abc	1.47cdef	0.79bc	2.26abc	31.37cde	肉酥脆，好

注：同列数据后小写英文字母不同者表示差异显著。

Note: Different lowercase letters after the data in the same column represent significant differences.

溶性固形物含量与边部可溶性固形物含量、蔗糖含量、可溶性糖含量呈极显著正相关，与果糖含量、葡萄糖含量呈负相关。边部可溶性固形物含量与蔗糖含量呈极显著正相关，与果糖含量、葡萄糖含量呈负相关。可溶性糖含量与果糖、葡萄糖和蔗糖含量呈极显著正相关。果糖含量与葡萄糖含量呈极显著正相关，而与蔗糖含量呈极显著负相关。葡萄糖含量与蔗糖含量呈显著负相关。西瓜的糖含量高低是西瓜育种和品种筛选的重要品质指标，不同的品种其积累的果糖、葡萄糖和蔗糖含量不同，可溶性固形物含量也不同，相关分析结果可知筛选甜度高的西瓜品种可用可溶性固形物含量或可溶性糖含量指标作为评价标准。

2.3　不同品种西瓜果皮特性比较

由表 5 可知，不同品种西瓜的果皮硬度差异较大，果皮硬度显著高于对照种美月的有锦绣前程、美蓉、全美 2K、全美 4K 等 10 个品种，其中果皮硬度最大的为全美 4K（69.41 kg/cm^2）；与对照种美月差异不显著的有黑晶、美都等 11 个品种，这些品种生产上均表现为皮较脆、易裂果。果皮厚度大于 0.6 cm 的有艳玲、早春红玉等 10 个品种；果皮较薄的有锦绣前程、美蓉等 12 个

表 4　西瓜果实内在品质性状相关性分析

Table 4　Correlation analysis of internal quality characters of watermelon fruits

品质性状 Quality character	中部可溶性固形物含量 Central soluble solid content	边部可溶性固形物含量 Edge soluble solid content	果糖含量 Fructose content	葡萄糖含量 Glucose content	蔗糖含量 Sucrose content	可溶性糖含量 Soluble sugar content
中部可溶性固形物含量 central soluble solid content	1.000					
边部可溶性固形物含量 Edge soluble solid content	0.687**	1.000				
果糖含量 Fructose content	−0.240	−0.176	1.000			
葡萄糖含量 Glucose content	−0.118	−0.188	0.696**	1.000		
蔗糖含量 Sucrose content	0.656**	0.380**	−0.486**	−0.263*	1.000	
可溶性糖含量 Soluble sugar content	0.363**	0.126	0.489**	0.683**	0.445**	1.000

注：* 表示差异显著，** 表示差异极显著。

Note: * represents significant difference, ** represents extremely significant difference.

品种。综合果皮硬度和厚度结果筛选出皮薄且硬度较大的品种为锦绣前程、金镶玉、美蓉、全美 2K、4126 和 L600。

表 5　不同品种西瓜果皮性状比较

Table 5　Comparison of rind characters of different watermelon varieties

品种 Variety	硬度 Hardness（kg/cm²）	厚度 Thickness（cm）
锦绣前程 Jingxiuqiancheng	48.81de	0.53de
艳玲 Yanling	64.60b	0.73abcd
早春红玉 Zaochunhongyu	34.09gh	0.63bcde
金镶玉 Jinxiangyu	45.20ef	0.60cde
美蓉 Meirong	42.56f	0.53de
琼美 Qiongmei	50.26d	0.87ab
琼玉 Qiongyu	37.80g	0.63bcde
琼香 Qiongxiang	36.14gh	0.53de
全美 2K Quanmei 2K	46.39def	0.53de
全美 4K Quanmei 4K	69.41a	0.90a
黑晶 Heijing	32.56h	0.43e
三彩麒麟 Sancaiqilin	33.50gh	0.70abcd
黄金小兰 Huangjinxiaolan	35.39gh	0.43e
美都 Meidu	33.13gh	0.87ab
热研墨玉 Reyanmoyu	35.20gh	0.57de
4126	44.86ef	0.50de
3416	56.54c	0.70de
万福来 Wanfulai	33.58gh	0.83abc
黄皮爱娘 Huangpi’ainiang	34.61gh	0.50de
琼丽 Qiongli	33.92gh	0.50de
L600	46.59def	0.50de
美月 Meiyue（CK）	36.56gh	0.53de

注：同列数据后小写英文字母不同者表示差异显著。

Note: Different lowercase letters after the data in the same column represents significant differences.

2.4　不同品种西瓜品质的综合评价

根据平均隶属函数值对各品种西瓜品质进行综合比较，结果见表 6。由表 6 可知，L600 综合评价得分最高，其产量高、果实品质好、果皮韧性好、耐贮性好且皮薄；其次是锦绣前程，该品种含糖量高、糖酸比高、果皮薄且韧性好，但产量较低；琼香位列第三，该品种含糖量最高、品质好，但是皮脆易裂果。综合评分较高的还有艳玲、全美 4K 和琼美等 3 个品种，这些品种果大、产量高、皮硬、耐裂，但皮厚，除琼美中部可溶性固形物较高外，艳玲和全美 4K 品质一般。因此，综合比较筛选出较适宜海南陵水设施无土栽培且耐裂、薄皮的西瓜品种为 L600 和锦绣前程。

3　讨论

西瓜果肉的可溶性固形物含量是西瓜甜度和品质的重要指标，果糖、葡萄糖和蔗糖是西瓜果实中主要的可溶性糖，其含量和组成对果实品质具有重要作用。本研究结果表明，西瓜果肉的可溶性糖以果糖为主、其次是葡萄糖，酸以苹果酸为主。张帆等[17]研究结果表明，西瓜中心部位和边缘部位的可溶性固形物含量都与各种糖含量呈极显著正相关，总糖对西瓜甜度影响最大。这与本研究结果不完全一致，本研究表明可溶性固形物含量与蔗糖和可溶性糖含量呈显著正相关，而与果糖和葡萄糖含量呈负相关，这可能与不同的栽培基质或气候有关，有关不同栽培基质与不同糖的积累关系还有待进一步研究。

本研究结果表明，22 个西瓜品种中，红肉类型的西瓜中部可溶性固形物含量、果肉可溶性糖

表 6　不同品种西瓜品质的综合评价

Table 6　Comprehensive evaluation on the quality of different watermelon varieties

品种 Variety	产量 Yield	中部可溶性固形物含量 Central soluble solid content	糖酸比 Sugar acid ratio	果皮硬度 Rind hardness	果皮厚度 Rind thickness	平均隶属函数值 Average membership function value
L600	1.000	0.422	0.238	0.381	0.851	0.578
锦绣前程 Jinxiuqiancheng	0.032	0.833	0.688	0.441	0.787	0.556
琼香 Qiongxiang	0.163	1.000	0.610	0.097	0.787	0.532
艳玲 Yanling	0.637	0.311	0.364	0.869	0.362	0.509
全美 4K Quanmei 4K	0.690	0.222	0.561	1.000	0.000	0.495
琼美 Qiongmei	0.840	0.622	0.447	0.480	0.064	0.491
热研墨玉 Reyanmoyu	0.663	0.467	0.547	0.072	0.702	0.490
全美 2K Quanmei 2K	0.000	0.611	0.581	0.375	0.787	0.471
3416	0.316	0.400	0.531	0.651	0.426	0.465
早春红玉 Zaochunhongyu	0.312	0.978	0.389	0.042	0.574	0.459
4126	0.470	0.622	0.000	0.334	0.851	0.455
琼丽 Qiongli	0.403	0.589	0.382	0.037	0.851	0.452
金镶玉 Jinxiangyu	0.224	0.478	0.545	0.343	0.638	0.446
黑晶 Heijing	0.304	0.444	0.452	0.000	1.000	0.440
黄皮爱娘 Huangpi’ainiang	0.182	0.133	0.879	0.056	0.851	0.420
万福来 Wanfulai	0.300	0.400	1.000	0.028	0.149	0.375
美蓉 Meirong	0.051	0.344	0.231	0.271	0.787	0.337
黄金小兰 Huangjinxiaolan	0.099	0.144	0.344	0.077	1.000	0.333
美都 Meidu	0.840	0.156	0.563	0.015	0.064	0.328
三彩麒麟 Sancaiqilin	0.786	0.011	0.262	0.026	0.426	0.302
琼玉 Qiongyu	0.310	0.000	0.184	0.142	0.574	0.242
美月 Meiyue（CK）	0.316	0.522	0.336	0.109	0.787	0.414

含量普遍高于黄肉类型。红肉类型的西瓜中部可溶性固形物含量高于 12% 的有 3 个品种，可溶性糖含量大于 70 mg/g 的有 11 个品种。而黄肉类型西瓜中，中部可溶性固形物含量最高为 11.7%、可溶性糖含量均低于 70 mg/g，这可能与不同瓤色西瓜糖分积累的代谢有关，因此建议不同瓤色的西瓜品种筛选最好分类进行。

Liao 等[13]研究表明西瓜果皮硬度与果实抗裂果性呈正相关，这与本研究结果一致。江海坤等[18]认为，西瓜裂果率与果皮硬度、果皮厚度呈显著负相关，高美玲等[19]研究表明西瓜果皮厚度和果皮硬度都呈连续变异的数量性状，果皮厚度越大越抗裂，本研究结果也表明西瓜果皮硬度与果皮厚成显著正相关，但是皮薄的西瓜也有果皮硬度较大的，如锦绣前程、L600 的果皮厚度分别为 0.53、0.50 cm，果皮硬度分别为 48.81、46.59 kg/cm^2，显著高于对照种美月（36.56 kg/cm^2）。

隶属函数法广泛应用于植物抗性评价及品种筛选[20-22]。西瓜品种的筛选鉴定需要考虑品质、产量、果实性状等诸多因素，而对小果型西瓜品种的筛选，其品质、产量和耐裂性尤为重要。本研究利用隶属函数法将品质、产量及果皮硬度等性状指标进行综合评价，筛选出品质、产量与对照种相当、但皮韧性较对照种强的、适合海南陵水设施无土栽培的小型西瓜品种为锦绣前程和 L600。

4　结论

本研究在海南陵水设施大棚内，采用立体吊蔓无土栽培方式，以美月为对照种，对 21 个国内外西瓜品种进行了产量、品质、果皮特性等指标的比较分析，结果表明：21 个品种中单果重和产量显著高于对照种美月的有 L600、琼美、美都和三彩麒麟；中部可溶性固形物含量显著高于对照种美月的有琼香，高于美月但差异不显著的品种有锦绣前程、早春红玉、琼美、全美 2K、4126、琼丽；西瓜可溶性糖以果糖为主，其次为葡萄糖，可溶性糖含量高于对照种美月的有锦绣前程、早春红玉、琼美、全美 2K、万福来、黄皮爱娘、热

研墨玉、美都；糖酸比显著高于美月的是万福来和黄皮爱娘；果皮薄且硬度较大的品种有锦绣前程、金镶玉、美蓉、全美 2K、4126 和 L600。利用隶属函数法综合评价，筛选出 L600 和锦绣前程为适合海南陵水设施无土栽培的优质耐裂小型西瓜品种。

参考文献（References）：

[1] 攸学松, 曾剑波, 朱莉, 陈艳利, 李云飞, 马超, 李婷, 张莹. 无土栽培条件下红肉类型小型西瓜新品种比较试验[J]. 园艺与种苗, 2019,39(1): 5-7,15. doi:10.16530/j.cnki.cn21-1574/s.2019.01.002.
YOU X S, ZENG J B, ZHU L,CHEN Y L, LI Y F, MA C, LI T, ZHANG Y. Comparative experiment of new mini-watermelon varieties with red flesh color under soilless culture conditions[J]. *Horticulture & Seed*, 2019, 39(1): 5-7,15. doi:10.16530/j.cnki.cn21-1574/s.2019.01.002.

[2] 吴海波, 任海龙, 王平勇, 陈积豪, 周勃, 符小发, 徐志红, 徐永阳. 三亚地区冬季设施栽培小果型西瓜品种比较试验[J]. 中国热带农业, 2019(1): 33-37. doi:10.3969/j.issn.1673-0658.2019.01.009.
WU H B, REN H L, WANG P Y, CHEN J H, ZHOU B, FU X F, XU Z H, XU Y Y. Comparation test of small fruit watermelon varieties in winter greenhouse production in Sanya[J]. *China Tropical Agriculture*, 2019(1): 33-37. doi:10.3969/j.issn.1673-0658.2019.01.009.

[3] 党选民, 李建国, 曹振木, 刘昭华, 张秀明. 海南省西瓜生产现状及发展对策[J]. 中国瓜菜, 2005(5):52-54. doi:10.3969/j.issn.1673-2871.2005.05.024.
DANG X M, LI J G, CAO Z M, LIU Z H, ZHANG X M. Current situation and development measures of watermelon production in Hainan province[J]. *China Cucurbits and Vegetables*, 2005(5):52-54. doi:10.3969/j.issn.1673-2871.2005.05.024.

[4] 曾学军, 秦冲, 宁斌. 早春大棚中小果型西瓜裂果原因及防治对策[J]. 长江蔬菜, 2016,(11):42-43. doi: 10.3865/j.issn.1001-3547.2016.11.018.
ZENG X J,QIN C,NING B. Causes and control measures of mini-watermelon in greenhouses in early spring[J]. *Journal of Changjiang Vegetable*, 2016,(11):42-43. doi: 10.3865/j.issn.1001-3547.2016.11.018.

[5] 党选民, 张洪溢, 郭永涛, 曹振木, 詹园凤, 杨衍, 刘维侠, 王镇. 高档礼品西瓜新品种美月的选育[J]. 长江蔬菜, 2009(2): 48-50. doi: 10.3865/j.issn.1001-3547(x).2009.01.017.
DANG X M, ZHANG H Y, GUO Y T, CAO Z M, ZHAN Y F, YANG Y, LIU W X, WANG Z. Development of a new high quality watermelon hybrid, Meiyue[J]. *Journal of Changjiang Vegetable*, 2009(2): 48-50. doi: 10.3865/j.issn.1001-3547(x).2009.01.017.

[6] 詹园凤,党选民,张秀明. 小型西瓜新品种琼丽的选育[J].中国蔬菜, 2013(24): 76-78. doi: 10.3969/j.issn.1000-6346.2013.24.020.
ZHAN Y F,DANG X M,ZHANG X M.A new mini-watermelon F1 hybrid— 'Qiongli'[J]. *China Vegetables*, 2013(24): 76-78. doi: 10.3969/j.issn.1000-6346.2013.24.020.

[7] 别之龙, 戴照义, 杨小锋. 湖北省和海南省设施西瓜甜瓜主产区调研报告[J]. 中国瓜菜, 2019,32(1):37-41. doi: 10.16861/j.cnki.zggc.20190109.002.
BIE Z L, DAI Z Y, YANG X F. Research report on the main production areas of watermelon and melon in Hubei province and Hainan province[J]. *China Cucurbits and Vegetables*, 2019,32(1): 37- 41. doi: 10.16861/j.cnki.zggc.20190109.002.

[8] 马雯彦, 庞晓明, 续九如, 李颖岳. 果实裂果影响因子研究进展[J]. 华中农业大学学报, 2010,29(6):798-804. doi: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2010.06-010.
MA W Y, PANG X M, XU J L, LI Y Y. Advances in research on the factors influencing fruit cracking[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2010,29(6):798-804. doi: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2010.06-010.

[9] CAPEL C, YUSTE-LISBONA F J, LOPEZ-CASADO G, ANGOSTO T, CUARTERO J, LOZANO R, CAPEL J. Multi-environment QTL mapping reveals genetic architecture of fruit cracking in a tomato RIL *Solanum lycopersicum* × *S. pimpinellifolium* population[J]. *Theor Appl Genet*, 2017,130(1): 213–222. doi: 10.1007/s00122-016-2809-9.

[10] 满艳萍, 张建农. 不同贮运性西瓜果皮显微结构的差异[J]. 甘肃农业大学学报, 2006, 41(4): 64-67. doi: 10.3969/j.issn.1003-4315.2006.04.017.
MAN Y P, ZHANG J N. Pericarp microstructure difference among watermelon types with different storage and transport quality[J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2006,41(4):64-67. doi: 10.3969/j.issn.1003-4315.2006.04.017.

[11] 江海坤, 袁希汉, 章镇, 苏小俊, 徐海, 宋波, 陈龙正, 安林海, 单奇伟, 张其安. 西瓜裂果性状的基因型研究[J]. 华北农学报, 2009,24(S1):104-109. doi: 10.7668/hbnxb.2009.S1.027.
JIANG H K, YUAN X H,ZHANG Z,SU X J, XU H,SONG B,CHEN L Z, AN L H, SHAN Q W, ZHANG Q A.Research on genotype in fruit cracking of watermelon[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2009, 24(S1):104-109. doi: 10.7668/hbnxb.2009.S1.027.

[12] 江海坤, 许晓婷, 王明霞, 严从生, 王艳, 田红梅, 刘茂, 张其安, 方凌. 西瓜裂果性状 QTL 相关性分析[J]. 园艺学报, 2014, 41(S): 2738.
JIANG H K, XU X T, WANG M X, YAN C S, WANG Y, TIAN H M, LIU M, ZHANG Q A, FANG L. QTL correlation analysis of watermelon cracking characters [J]. *Acta Horticulturea Sinica*, 2014, 41(S): 2738.

[13] LIAO N Q, HU Z Y, LI Y Y, HAO J F, CHEN S N, XUE Q, MA Y Y, ZHANG K J, MAHMOUD A, ALI A, MALANGISHA G K, LYV X L, YANG J H, ZHANG M F. Ethylene-responsive factor 4 is associated with the desirable rind hardness trait conferring cracking resistance in fresh fruits of watermelon[J]. *Plant Biotechnology Journal*, 2019: 1-12. doi: 10.1111/pbi.13276.

[14] 张庆霞, 金伊洙. 设施园艺[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
ZHANG Q X, JIN Y Z. Horticultural facilities[M]. Beijing: Chemical Industry Press,2009.

[15] 马双武, 刘君璞 . 西瓜种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京 : 中国农业出版社, 2005.
MA S W, LIU J P. Descriptors and data standard for watermelon (*Citrullus schrad*) [M]. Beijing: China Agriculture Press,2005.

[16] 詹园凤, 贺浥, 党选民 . HPLC-ELSD 法测定礼品西瓜果实可溶性糖的种类和含量[J]. 南方农业学报, 2014,45(11): 2005-2008. doi: 10.3969/j. issn.2095-1191.2014.11.2005.
ZHAN Y F,HE H,DANG X M. Determination of contents and components of water-solublesugar in watermelon fruit by HPLC-ELSD [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2014, 45(11): 2005-2008. doi: 10.3969/j. issn.2095-1191.2014.11.2005.

[17] 张帆, 宫国义, 王倩, 何洪巨, 许勇 . 西瓜品质构成分析[J]. 果树学报, 2006, 23(2): 266-269. doi: 10.13925/j.cnki.gsxb.2006.02.030.
ZHANG F, GONG G Y, WANG Q, HE H J, XU Y. Analysis of watermelon quality structure [J]. *Journal of Fruit Science*, 2006, 23 (2): 266-269. doi: 10.13925/j.cnki.gsxb.2006.02.030.

[18] 江海坤, 袁稀汉, 章镇, 张其安, 苏小俊, 徐海, 宋波, 陈龙正, 安林海, 单奇伟 . 西瓜主要农艺性状与裂果性状的相关及通径分析[J]. 中国蔬菜, 2009(16): 31-35.
JIANG H K, YUAN X H, ZHANG Z, ZHANG Q A, SU X J, XU H, SONG B, CHEN L Z, AN L H, SHAN Q W. Correlation and path analysis between the main agronomic and fruit cracking traits of watermelon [J]. *China Vegetables*, 2009(16): 31-35.

[19] 高美玲, 李佳益, 于长宝, 魏晓明 . 小型西瓜裂果相关性状遗传分析及相关性研究[J]. 北方园艺, 2016,40(17):1-4. doi: 10.11937/bfyy. 201617001.
GAO M L, LI J Y, YU C B, WEI X M.Genetic analysis and correlation study on cracking related traits in mini-watermelon [J]. *Northern Horticulture*, 2016,40(17):1-4. doi: 10.11937/bfyy. 201617001.

[20] 张慧, 高英波, 张发军, 李宗新, 温立玉, 薛艳芳, 钱欣, 代红翠, 李源方, 刘开昌 . 鲜食玉米品种筛选与综合评价[J]. 山东农业科学, 2019, 51(6):38-42. doi:10.14083 /j.issn.1001-4942.2019.06.008.
ZHANG H, GAO Y B, ZHANG F J, LI Z X, WEN L Y. Screening and comprehensive evaluation of fresh corn varieties [J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2019, 51(6):38-42. doi:10.14083/ j.issn.1001-4942.2019.06.008.

[21] 高子星, 马进芳, 胡晓辉 . 高寒地区日光温室不同番茄品种产量和品质的比较[J]. 北方园艺, 2019,43(15): 61-68. doi: 10.11937/ bfyy.20190176.
GAO Z X, MA J F, HU X H.Comparison of yield and quality of fruit tomato cultivars in solar greenhouse in high and cold area [J]. *Northern Horticulture*, 2019,43(15): 61-68. doi: 10.11937/ bfyy.20190176.

[22] 张文娥, 王飞, 潘学军 . 应用隶属函数法综合评价葡萄种间抗寒性[J]. 果树学报, 2007, 24(6): 849-853. doi:10.13925/j.cnki. gsxb.2007.06.029.
ZHANG W, WANG F, PAN X J. Comprehensive evaluation on cold hardiness of *Vitis* species by Subordinate Function (SF) [J]. *Journal of Fruit Science*, 2007, 24(6): 849-853. doi:10.13925/j.cnki. gsxb.2007.06.029.

（责任编辑　张辉玲）