

# 成熟期南丰蜜橘力学特性试验\*

余佳佳<sup>1,2</sup>, 戚艳艳<sup>3</sup>, 饶洪辉<sup>1,2</sup>, 林金龙<sup>1,2</sup>, 石逸泽<sup>1,2</sup>

(1. 江西省现代农业装备重点实验室, 江西 南昌 330045; 2. 江西农业大学工学院, 江西 南昌 330045;

3. 江西省南昌市农机化管理站, 江西 南昌 330045)

**摘要:**为了明确南丰蜜橘采摘损伤的作用机理, 本课题组开展了成熟期南丰蜜橘的力学特性试验研究, 通过测试其三轴尺寸, 获得其平均质量和球度等参数。基于 TMS-Pro 质构仪开展了蜜橘表皮挤压和穿刺试验, 通过分析其应力—应变曲线, 获得了蜜橘表皮挤压应力和穿刺应力。试验结果表明: 南丰蜜橘平均质量为 35.38g, 表皮平均厚度为 1.38mm, 球形度为 88.67%; 蜜橘表皮的挤压应力为 20.60N~69.60N, 平均挤压应力为 35.77N, 方差结果表明蜜橘表皮挤压应力差异性较大, 蜜橘穿刺应力为 1.46N~2.59N, 平均穿刺压力为 2.08N。因此, 南丰蜜橘在采摘、运输和贮藏过程中, 其挤压应力不超过 20.60N, 穿刺压强不超过 0.16MPa。本结论可为南丰蜜橘损伤机理研究和采摘装置研制提供参考。

**关键词:**成熟期; 南丰蜜橘; 力学特性; 试验

**中图分类号:** S666

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1672-3872(2020)15-0007-03

## 0 引言

南丰蜜橘是我国宽皮柑橘良种之一, 作为江西传统的优质特色品种, 因果小、皮薄、少核、汁多、香甜等特点而享誉国内外, 素有“桔中之王”美称<sup>[1]</sup>。南丰蜜橘具有较好的优势和发展空间, 但存在农业机械装备不足和新技术应用不足等缺点。南丰蜜橘采摘时间主要集中在每年 11 月上旬至春节前后, 使得鲜果贮藏、保鲜和深加工等工作集中, 劳动强度大, 近年鲜果市场还有浙江柑橘、福建芦柑、砂糖橘等优质品种与之竞争, 冲击市场份额。随着我国城镇化发展、社会老龄化和劳动人口锐减等影响, 从业人员数量急剧减少。因此, 从蜜橘栽培、种植、管理、收获等生产环节来看, 生产仍以人工劳动力为主。南丰蜜橘皮薄、肉嫩、易损伤, 一旦腐烂会影响后续加工处理, 机械采摘难度大, 且采摘专用剪刀不可避免出现破坏表皮, 降低生产利润, 加上蜜橘采摘时间集中、劳动强度大。因此, 研究南丰蜜橘的力学特性对明确蜜橘采摘损伤机理和研制采摘装置具有重要的现实意义。

机械采摘和加工作业都会对南丰蜜橘产生机械损伤, 分析南丰蜜橘的内部应力和机械损伤特性, 姜松等<sup>[2-3]</sup>采用 TA-XTi2 型质地分析仪分别测试了青色、半成熟和成熟的柑橘最大承压力和穿刺力, 成熟柑橘最大承压不超过 100N, 最大穿刺力不超过 3N; 陈燕等<sup>[4-5]</sup>测定了柑橘的纵向果皮和果肉的弹性模量, 并采用有限元预测了夹持损伤; 王振亚<sup>[6]</sup>设计了一种对辊式柑橘剥皮机, 分析了果皮剥离和损伤机理; 陈红等<sup>[7-8]</sup>研究了宽皮柑橘机械损伤因素分析, 提出了挤压、跌落和振动时缓冲减损防护

措施, 同时也研究了柑橘的夹持剥皮特性, 明确了环割划皮剥皮效率最高; KRISHAN K. 等<sup>[9]</sup>开展柑橘采摘过程果实损伤的试验研究; 张水波等<sup>[10]</sup>研究了柑橘的抗压特性和硅胶之间的摩擦特性, 利用 Hertz 理论分析了柑橘的受力与变形量之间的关系。

为了明确成熟期南丰蜜橘在采摘、运输和贮藏过程损伤机理, 开展了南丰蜜橘的力学特性试验研究, 通过蜜橘挤压和穿刺试验, 分析其应力应变规律, 为明确蜜橘采摘损伤机理和研制蜜橘采摘装备提供参考。

## 1 南丰蜜橘力学特性测试

### 1.1 试验材料与仪器

试验用南丰蜜橘同批次购买于江西农业大学水果市场, 果实无病害、无损伤、表皮和成熟度一致。试验设备有: TMS-Pro 质构仪(美国 FTC 公司)、CX-I2000 电子秤(东莞市南城长协电子制品厂)、游标卡尺。

### 1.2 试验方法

利用 TMS-Pro 质构仪分别对南丰蜜橘开展挤压和穿刺试验, 穿刺探头选用直径 2mm 的圆柱体, 设置运行最小感应力为 0.1N, 运行速度为 30mm/min, 回程速度为 50mm/min, 每个处理重复 10 次, 获得蜜橘表皮损伤的挤压应力和穿刺应力。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 南丰蜜橘外形尺寸参数测定

表 1 南丰蜜橘的三轴尺寸参数

名称	均值	方差
长/mm	45.29	6.33
宽/mm	44.96	6.84
厚/mm	31.81	6.27
球形度/%	88.67	6.94
质量/g	35.83	35.88
果皮厚度/mm	1.38	0.06
果瓣数量/个	10.55	1.60

**基金项目:**江西省教育厅科技计划项目“南丰蜜橘力学特性测试和剪切技术研究”(GJJ150392)

**作者简介:**余佳佳(1984—), 男, 湖北鄂州人, 博士, 讲师, 研究方向: 现代农业装备设计。

**通信作者:**饶洪辉(1978—), 男, 江西丰城人, 博士, 副教授, 研究方向: 现代农业装备设计。

随机测量 40 颗成熟的南丰蜜橘的外形尺寸, 统计其平均值和方差, 结果如表 1 所示。

从表 1 可知: 蜜橘表皮厚度仅 1.38mm, 方差为 0.06; 果瓣数量为 10.55 个, 方差为 1.60, 表明蜜橘的表皮都很薄, 果瓣数量集中, 球形度为 88.67%, 三轴尺寸长、宽、厚方差分别为 6.33、6.84 和 6.27, 表明蜜橘外形尺寸差异较大。

## 2.2 南丰蜜橘挤压损伤的应力——应变分析

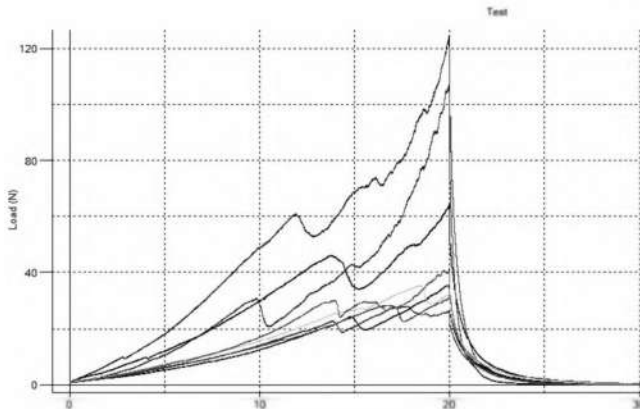


图 1 南丰蜜橘挤压受力图

将蜜橘水平放置在质构仪底部托盘上, 设定参数, 运行机器, 获得其应力—变形曲线, 如图 1 所示, 根据挤压试验结果, 得到挤压应力, 如表 2 所示。当南丰蜜橘受到机械挤压时, 表皮发生弹性形变, 当应力大于 20.60N 时, 表皮的形变量超过其上限, 发生机械损伤, 在曲线第一个突变点处应力突然变小, 此时, 蜜橘表皮挤压开始出现破裂, 应力急剧变小。

当质构仪继续挤压蜜橘时, 蜜橘中心轴方向持续受到不断增大的正应力作用, 其周向持续发生变形, 内部果瓣折叠, 由于果瓣的弧形结构, 其中部果肉多, 两端果肉少, 导致折叠过程中果肉挤压直至撕裂, 形成曲线的第二个突变点, 此时应力突然减小; 当质构仪的机械挤压持续作用, 果瓣不断被撕裂, 形成了锯齿状曲线, 直至运行至设置数值。测试 10 个南丰蜜橘的挤压应力, 如表 2 所示。

表 2 南丰蜜橘挤压应力

序号	挤压应力/N
1	69.60
2	41.90
3	34.10
4	26.10
5	35.30
6	23.20
7	20.60
8	53.80
9	29.10
10	24.00
均值	35.77
方差	241.62

从表 2 试验结果可知: 蜜橘挤压应力在 20.60N~69.60N, 平均挤压应力为 35.77N, 方差为 241.62, 表明不同蜜橘所受挤压应力差异较大。因此, 南丰蜜橘采摘、运输和贮藏过程中, 应保持其挤压应力不超过 20.60N。

## 2.3 南丰蜜橘穿刺损伤应力——应变分析

将蜜橘水平固定在质构仪上, 按照设定参数开展穿刺试验, 获得其应力—变形曲线, 如图 2 所示。

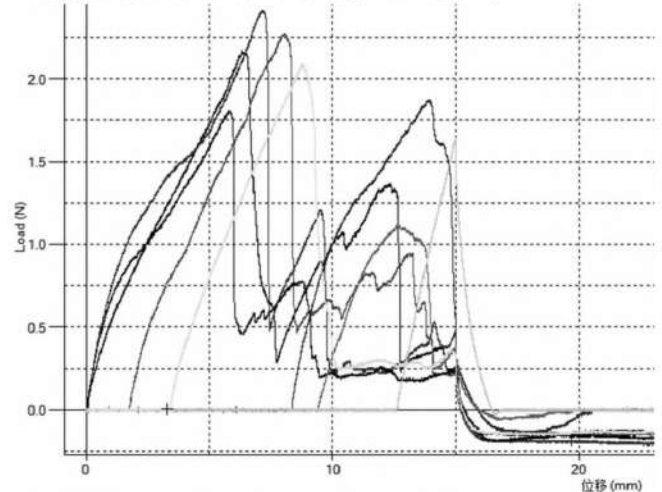


图 2 南丰蜜橘穿刺受力图

当圆柱形穿刺探头作用在蜜橘表皮时, 由于皮薄, 其应力较小, 随着穿刺应力增大, 表皮被刺破时, 其曲线发生第一次突变, 应力急剧减小; 当探头继续穿刺, 接触果肉时, 穿透内部果皮和果肉, 产生第二个和第三个突变, 直至穿透整个果瓣, 形成断崖式的急剧变化曲线, 如图 2 所示。

从穿刺曲线峰值可看出, 表皮穿刺应力大于果瓣穿刺应力, 即第 1 个峰值大于第 2 个峰值, 表明蜜橘外部表皮硬度大于内部果瓣。重复 10 次试验, 获得其穿刺应力, 如表 3 所示。

表 3 南丰蜜橘穿刺应力

序号	穿刺应力/N	穿刺压强/MPa
1	2.59	0.82
2	2.34	0.75
3	2.29	0.73
4	2.36	0.75
5	1.46	0.46
6	2.16	0.69
7	1.61	0.51
8	2.42	0.77
9	2.27	0.72
10	1.81	0.58
均值	2.08	0.66
方差	0.11	0.01

根据表 3 试验结果可知: 蜜橘表皮穿刺的应力为 1.46 N~2.59N, 平均穿刺应力为 2.08N, 方差为 0.11, 换算成穿刺压强为 0.46MPa~0.82MPa, 其平均压强 (下转第 13 页)



### 3 讨论

本研究从莲的全基因组中共鉴定到 30 个莲 ARF 基因。目前已有不少植物中的 ARF 基因家族被鉴定出来,但是不同的植物,其 ARF 基因家族成员数量也不相同。本实验从莲中鉴定出来 30 个 LARF 基因,比拟南芥和苹果鉴定到的基因多,与玉米<sup>[2]</sup>的 31 个 LARF 基因相似,但少于从大豆中鉴定的 51 个和香蕉中<sup>[3]</sup>的 47 个家族成员。有趣的是,莲的 ARF 数量与玉米相似,但其基因组却远小于玉米,虽然莲 ARF 数量大于苹果,但其基因组也是不如苹果大。由此可以推测,植物基因组的大小在决定 ARF 在基因组中的数量上不起绝对性作用。但也有可能是因为比对分析工具不够成熟,无法完全鉴定出其全部的基因家族成员。有理由相信随着高通量测序技术的进步,更多的 ARF 基因家族成员会被鉴定出来。

ARF 基因家族在调节植物生长和发育方面起着至关重要的作用,可调控植物生长发育的许多重要环节。本实验利用生物信息学方法在全基因组水平上分析了莲 ARF 基因家族,并对其基因结构、理化性质、蛋白保守结构域、系统进化树进行了分析,为进一步探讨莲 ARF 基因的功能提供了一定的数据支持。

#### 参考文献:

- [1] 蒋素梅,陶均,李玲.早期生长素响应蛋白在生长素信号转导中的作用[J].植物生理学通讯,2005,41(1):125-130.
- [2] 胡晓,侯旭,袁雪,等.ARF 和 Aux/IAA 调控果实发育成熟机制研究进展[J].生物技术通报,2017,33(12):37-44.

- [3] 李濯雪,陈信波.植物组织特异性启动子及相关顺式作用元件研究进展[J].生物学杂志,2015,32(6):91-95.
- [4] 刘振华,于延冲,向凤宁.生长素响应因子与植物的生长发育[J].遗传,2011,33(12):1335-1346.
- [5] Ulmasov T, Hagen G, Guifoyle TJ. ARF1. A Transcription factor and auxiliary response [J]. Science, 1997, 276(5320): 1865-1868
- [6] Okushima Y, Overvoorde P J, Arima K, et al. Functional genomic analysis of the AUXIN RESPONSE FACTOR gene family members in Arabidopsis thaliana: unique and overlapping functions of ARF7 and ARF19[J]. Plant Cell, 2005, 17(2): 444-463
- [7] 孙亭亭,张磊,陈乐,等.普通烟草 ARF 基因家族序列的鉴定与表达分析[J].植物遗传资源学报,2016,17(1):62-168.
- [8] 刘松瑜,闫艳秋,冯秋硕,等.番茄生长素响应因子基因 SlARF12 在果实发育过程中的功能分析[J].园艺学报,2018,45(4):678-690
- [9] 汪琨璧,付亚雄,刘思琪,等.水稻 ARF 基因家族新成员 ADP-Ribosylation Factor-Like Protein 5(OsARFL5)的克隆及表达分析[J].分子植物育种,2019,17(3):693-699.
- [10] 李小平,曾庆发,张根生,等.大豆生长素响应因子 GmARF16 参与调节叶片衰老进程[J].中国细胞生物学学报,2014(12):1636-1643.
- [11] John Lamb, Aleksandra I. Jarmolinska, Mirco Michel, et al. An Interactive Database of Structure Predictions of Pfam Families [J]. Journal of Molecular Biology, 2019.
- [12] 杨浩,杜中军,徐立,等.香蕉 ARF3 基因全长克隆及其对枯萎病菌的响应特性分析[J].分子植物育种,2013,11(2):199-203.
- [13] GUILFOYLE T J. The PBI domain in auxin response factor and Aux/IAA proteins: a versatile protein interaction module in the auxin response. The Plant Cell, 2015, 27(1): 33-43.

(上接第 8 页)为 0.66 MPa,因此,为了保证蜜橘不损伤,其穿刺应力应小于 1.46 N,穿刺压强应不超过 0.46 MPa。

### 3 结论

1)测量了南丰蜜橘的三轴尺寸和物料参数,明确了蜜橘的平均质量为 35.38g,表皮平均厚度为 1.38mm,球形度为 88.67%。

2)基于质构仪开展了南丰蜜橘挤压试验,获得了蜜橘表皮损伤的应力应变曲线,其平均挤压应力为 35.77N,最小挤压应力为 20.60N,最大挤压应力为 69.60N,方差结果表明蜜橘表皮挤压应力差异性较大。

3)开展了蜜橘穿刺试验,获得了蜜橘穿刺的应力应变曲线,其平均穿刺应力为 2.08N,最小穿刺应力为 1.46N,方差结果表明其穿刺压力变化不大,大小范围为 1.46N~2.59N。

#### 参考文献:

- [1] 傅火生,王译义,葛斌,等.南丰蜜桔优良株系:“杨小 2—6”的选育[J].中国南方果树,1999(6):6-7.

- [2] 姜松,鲍黄贵,蔡健荣,等.不同成熟度柑橘力学特性研究[J].食品工业科技,2009,30(12):117-119.
- [3] 姜松,鲍黄贵,蔡健荣,等.柑橘力学差异性研究[J].江苏农业科学,2009(5):244-246.
- [4] 陈燕,谈建豪,蒋志林,等.柑橘机器人夹持损伤有限元预测及试验验证[J].华南农业大学学报,2016,37(5):98-102.
- [5] 陈燕,蒋志林,李嘉威,等.基于机器人采摘的柑橘果柄切割力学特性研究[J].河南农业科学,2017,46(4):147-150.
- [6] 王振亚.基于对辊式剥皮机的柑橘果皮剥离及果肉损伤机理研究[D].武汉:华中农业大学,2016.
- [7] 陈红,尹伊君,潘海兵,等.宽皮柑橘机械损伤致损因素分析及缓冲减损防护措施[J].农业工程学报,2018,34(1):258-266.
- [8] 陈红,徐翔宙,尹伊君,等.宽皮柑橘移动夹持剥皮力学特性与果皮分离特性试验研究[J].农业工程学报,2017,33(14):25-31.
- [9] KRISHAN K.,SINGH B.,SREENIVASULA R.. Post-harvest physico-mechanical properties of orange peel and fruit[J]. Journal of Food Engineering, 2006,73:112-120.
- [10] 张水波,鲍官军,杨庆华,等.基于机器人采摘的柑橘机械特性研究[J].浙江工业大学学报,2012,40(3):340-344.