

冬枣果实物理参数与生物特性研究

彭俊¹ MANUEL Vázquez-Arellano² 孙世鹏¹ 李瑞¹ 杨有刚¹ 崔永杰¹ 傅隆生^{1*}

(1. 西北农林科技大学 机械与电子工程学院, 陕西 杨凌 712100;

2. Institute of Agricultural Engineering, University of Hohenheim, Stuttgart 70599, Germany)

摘要 为确定冬枣的机械选择性收获参数, 试验测定不同成熟度果实的物理及生物特性参数, 对其物理及生物特性参数之间的关系进行研究。结果表明: 未熟期、白熟期和脆熟期的冬枣果实密度分别为 902.15、911.68 和 947.06 kg/m³, 硬度分别为 17.26、16.24 和 13.9 kg/cm², 果实成熟度越高果实密度越大而果实硬度越小, 脆熟期果实的密度及硬度与白熟期和未熟期果实的密度及硬度都存在显著性差异; 未熟期、白熟期和脆熟期果实的树枝与果柄分离力都大于果实与果柄分离力, 在机械振动收获时, 果实脱落发生在果实与果柄连接处, 分离力都随着成熟度的增加而减小, 白熟期和脆熟期果实的果实与果柄分离力存在显著性差异, 有望实现选择性收获; 白熟期和脆熟期果实的压缩曲线趋势相似, 都没有明显的生物屈服点。白熟期果实的破裂力为 145.77 N 显著大于脆熟期果实的破裂力 128.95 N, 果实和脆熟果实的压缩弹性模量均值分别为 2.09 和 1.89 MPa, 二者无显著性差异。果实破裂前, 果实所受压力与变形呈近似线性关系。

关键词 冬枣; 成熟度; 物理特性参数; 分离力; 压缩; 弹性模量

中图分类号 S183; S665.1

文章编号 1007-4333(2017)08-0095-06

文献标志码 A

Study on the physical and biological properties of winter jujube fruit

PENG Jun¹, MANUEL Vázquez-Arellano², SUN Shipeng¹, LI Rui¹, YANG Yougang¹,
CUI Yongjie¹, FU Longsheng^{1*}

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China;

2. Institute of Agricultural Engineering, University of Hohenheim, Stuttgart 70599, Germany)

Abstract Physical and biological properties of winter jujube in different maturity stages were studied in order to achieve mechanical selective harvesting. The results showed that: The density of winter jujube (902.15, 911.68 and 947.06 kg/m³) was increasing from under maturity to crisp maturity stage. The firmness (17.26, 16.24 and 13.9 kg/cm²) was decreasing from under maturity to crisp maturity stage. There were significant differences between density as well as hardness of crisp ripe fruits and that of white ripe and under ripe fruits. The detachment force between stem and branch is larger than that between fruit and stem, and both of them were decreasing as the fruit ripening. Therefore, the fruit detachment occurred at the location between stem and fruit under vibration harvesting. There was a significant difference in the detachment force of fruit and stalk between the white ripe fruits and the crisp ripe fruits, which indicated a possibility of selective mechanical harvesting. The compression curves of white ripe and crisp ripe fruits changed with a similar trend that both have not the bioyield point. The average maximum rupture force of white ripe fruits (145.77 N) was significantly greater than that of the crisp ripe fruits (128.95 N). The elastic modulus of the white ripe fruits (2.09 MPa) was slightly larger than that of the crisp ripe fruits (1.89 MPa). There was no significantly difference among elastic modulus. Before fruits rupture, linear function can be used to express the relationship between force and deformation.

Keywords winter jujube; maturity; mechanical parameters; detachment force; elastic modulus

收稿日期: 2016-07-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(31301242); 中国博士后科学基金项目(2015M572602); 陕西省自然科学基金基础研究计划-青年人才项目(2015JQ3065); 西北农林科技大学国际科技合作种子基金项目(A213021505)

第一作者: 彭俊, 硕士研究生, E-mail: jxpengjun@nwfau.edu.cn

通讯作者: 傅隆生, 副教授, 主要从事农业智能化技术与装备研究, E-mail: fulsh@nwfau.edu.cn

冬枣具有很高营养价值,有“百果之王”和“活维生素丸”的美誉^[1]。由于冬枣果实成熟期非同一时期,目前我国冬枣的收获主要依靠人工采摘,需要大量人力,随着种植面积的增加和农业劳动力转移加速,收获季节时雇工困难问题愈发突显,研究冬枣机械选择性收获对果农的增收减损具有重要的意义。

近年来,枣果收获机械方面的研究较多;主要有棒杆式红枣采摘机^[2-3]和自走式矮化密植红枣收获机^[4-5],其收获原理主要是振动收获。在机械振动设备的研发方面主要根据经验或有限的田间试验,没有明确的果实机械收获参数可供参考。

为了解果蔬的机械收获特性参数,国内外对果实物理生物特性参数进行了研究:已有研究用拉力计测定了柑橘^[6-7]、开心果^[8]、菠萝^[9]、番茄^[10]和猕猴桃^[11]等果实的分离力;Aslantas等^[12]研究了不同成熟期樱桃果实特征与分离力参数;散崆龙等^[13]对杏果成熟度特性参数与分离力进行相关性分析。这些研究结果为果实收获机械的设计提供了数据参考,但关于果实成熟度与物理特性参数之间关系的研究未见报道。此外,果实的压缩特性也是果实机械化采收中的重要参数,已有研究对红枣^[14]和荔枝^[15]的压缩力学特性进行了测定,研究结果为减少果实在机械收获过程中的损伤提供了理论依据。本研究拟以大荔冬枣果实为研究对象,研究不同成熟度果实的基本物理生物参数特性,并分析不同成熟度果实的密度、硬度以及分离力的关系,计算不同成熟度果实的压缩弹性模量,以期冬枣收获、加工和处理等机械装备的设计制造提供理论基础。

1 冬枣果实基本物理参数的测定

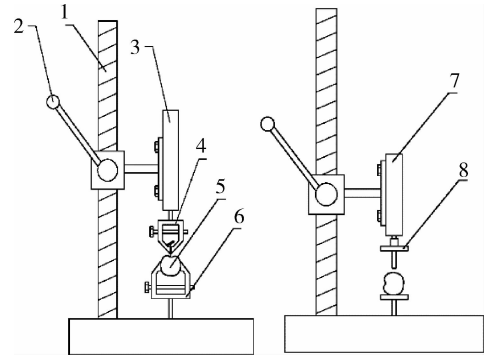
1.1 果实分离力测定

根据 GB/T 22345—2008《鲜枣质量等级》,采收期的冬枣可分为 3 类:未熟期、白熟期、脆熟期。脆熟期为果实着色至全红这一段时期,此时果实已长到该品种应有的大小,果肉呈绿白色或乳白色,含糖量高,质地脆,适宜鲜食。白熟期为果皮退绿至着色前这一段时期,此期果实已基本长到该品种应有的大小,果皮叶绿素减小,肉质较松,汁液少,含糖量低,适宜加工蜜枣。白熟期之前的果实称为未熟期,此时果实大小基本固定,果皮呈绿色。

试验样本为冬枣,于 2015 年 9 月 22 日采摘于陕西省大荔县,分别选取未熟期、白熟期和脆熟期冬枣果实各 30 个,要求样本果实、果柄和树枝齐全。

分离力测定分为 2 部分:果实与果柄分离力和树枝与果柄分离力。测定仪器包括:数显式推拉力计 SH-10,分辨率 0.005 N,及夹具和手压机架等。有研究表明施加在果柄上力的方向与果蒂至花萼轴线方向的夹角越大,果实的分离力越小^[16],所以本次测定的分离力为最大分离力,即拉力方向与果蒂至花萼轴线方向夹角为 0°时的分离力。测定果实与果柄分离力时将果实固定,通过夹具把果柄夹紧,加持部位为靠近果实的部分,以免影响测定树枝与果柄分离力。然后匀速转动升降手柄至果实与果柄分离,记录果柄与果实分离时拉力峰值。

冬枣果实与果柄连接处有分离层,果柄是从分离层处与果实分开,故测定完果实与果柄分离力后,可继续测定树枝与果柄分离力。将树枝固定,通过夹具把果柄夹紧,匀速转动升降手柄以至果柄与树枝分离,记录果柄断裂时拉力峰值,最后再测定被拉断果柄直径和长度,分离力测定示意图见图 1(a)。



1. 手压机架;2. 旋转手柄;3. 推拉力计;4. 上夹具;5. 果实;6. 下夹具;7. 数显式硬度计;8. 探头

1. Press frame; 2. Rotation handle; 3. Force gauge; 4. Upper fixture; 5. Fruit; 6. Lower fixture; 7. Digital fruit sclerometer; 8. Probe

图 1 果实分离力测定(a)和硬度测定(b)示意图

Fig. 1 Sketch map for measuring detachment force (a) and firmness (b) of winter jujube fruits

1.2 果实密度测定

试验样品为测定完分离力的未熟期、白熟期和脆熟期果实各 30 个。密度采用排水法测定^[17]。所用仪器为固体密度计,精度 0.001 g/cm³,测定环境温度 20 °C。密度由式(1)计算:

$$\rho = \frac{M_a}{M_a - M_w} \rho_w \quad (1)$$

式中: ρ 为果实密度,kg/m³; M_a 为果实在空气中的质量,kg; M_w 为果实在水中的质量,kg; ρ_w 为水密度,kg/m³。

1.3 果实硬度测定

果实表面硬度测定采用整果穿刺试验测定^[18]，测定样本为以上测定密度后的果实样本，未熟期、白熟期和脆熟期各 30 个。穿刺探头直径为 3.5 mm，为了避免接触到果核，穿刺深度设定为 5 mm。测定仪器为数显式果实硬度计 GY-4，分辨率为 0.01 kg/cm²，及夹具和手压机架等。测定时将果实固定，匀速转动升降手柄使硬度计探头下压并读取数据，测定部位为果实的赤道部位，分别读取 2 次相互垂直方向的表面硬度，然后取平均。硬度测试如图 1(b)所示。

1.4 果实压缩试验

通常冬枣收获只采摘白熟期和脆熟期果实，故压缩试验样本分别选取了白熟期果实和脆熟期果实各 10 个。压缩试验采用整果压缩方式，下压板固定

不动，上压头为刚性圆柱结构，压头垂直向下压缩速率为 10 mm/min。压缩方向为果实长度方向，即通过果蒂-花萼的轴线方向。仪器采用衡翼万能试验机 HY0580，精度 0.5 级。通过串口传输记录压缩过程中果实所受的力 F 以及果实变形 δ 。

根据赫兹接触理论^[19]，整果压缩弹性模量采用式(2)计算：

$$E = \frac{0.338K^{1.5}F(1-\nu^2)}{\delta^{1.5}} \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'} \right) \quad (2)$$

式中： E 为果实的弹性模量，MPa； F 为施加的外载荷，N； ν 为泊松比，通常水果和蔬菜的泊松比为 0.2~0.5^[20]，本研究取泊松比为 0.35； δ 为变形量，mm； R, R' 为接触处的 2 个主曲率半径，mm，曲率半径取果实与压头接触点的球面半径； K 为取决于曲率半径的常数，其值由表 1 得出。

表 1 半径常数 K 与 θ 值

Table 1 Value of radius constant K for various θ

θ	80	70	60	50	40	30	20	10
K	1.342	1.316	1.267	1.201	1.116	0.984	0.828	0.586

注： θ 由果实与压头接触点的 2 个主曲率决定， $\theta = \arccos[(R-R')/(R+R')]$

Note: θ is calculated using the radii of curvature of contact point, $\theta = \arccos[(R-R')/(R+R')]$

2 结果与分析

2.1 冬枣各项物理参数的测定结果

不同成熟期冬枣果实物理参数测定结果见

表 2：未熟期、白熟期和脆熟期枣果质量分别为 11.06、15.00 和 15.32 g，未熟期果实质量显著小于白熟期和脆熟期果实质量，白熟期果实和脆熟期果实的质量之间无显著性差异。

表 2 冬枣各参数试验测定结果

Table 2 Mechanical parameters of winter jujube

参数 Parameter	未熟期 Under ripe stage	白熟期 White ripe stage	脆熟期 Crisp ripe stage
质量/g Mass	11.06(4.76) a	15.00(3.92) b	15.32(4.47) b
长/mm Length	26.76(4.54) a	29.52(3.65) b	28.42(3.97) b
宽/mm Width	28.05(4.04) a	31.18(2.94) b	31.14(2.90) b
厚/mm Thickness	26.72(3.86) a	29.79(2.98) b	29.60(2.88) b
密度/(kg/m ³) Density	902.15(117.06) a	911.68(66.46) a	947.06(99.29) b
硬度/(kg/cm ²) Firmness	17.26(3.15) a	16.24(4.19) a	13.9(2.61) b

注：表中数据均为平均值，括号内为标准差，下表同；每行相同字母表示 0.05 水平无显著差异。

Note: Values are average and numbers in brackets are the standard deviation. The same in the following table.

Same letters in each row represent no significant difference at 0.05 level.

未熟期果实尺寸(长、宽、厚)显著小于白熟期和脆熟期果实尺寸,而白熟期果实尺寸与脆熟期果实尺寸无显著性差异。

不同成熟期冬枣果实密度分别为 902.15、911.68 和 947.06 kg/m³,密度随着成熟度增加而增大。脆熟期果实密度显著大于未熟期和白熟期果实密度,显著水平分别为 0.03 和 0.02。

未熟期、白熟期和脆熟期果实硬度分别为 17.26、16.24 和 13.9 kg/cm²,硬度随着果实的成熟度增大而降低。脆熟期果实硬度显著小于白熟期和未熟期果实的硬度,显著水平分别为 0.007 和 0.000 1。

2.2 冬枣分离力试验结果

不同成熟期冬枣果柄尺寸和分离力测定结果见表 3:脆熟期果实果柄直径最小,果柄长度最大,脆熟期果实的果柄直径显著小于未熟期和白熟期果实

果柄直径,显著水平分别为 0.03 和 0.01;脆熟期果实果柄长度显著大于未熟期和白熟期果柄长度,显著水平分别为 0.008 和 0.001。

脆熟期果实的果实与果柄分离力和树枝与果柄分离力最小(分别为 3.42 和 4.96 N),未熟期果实的果实与果柄分离力和树枝与果柄分离力最大(分别为 4.12 和 5.41 N),分离力随着成熟度增加而减小。树枝与果柄分离力大于果实与果柄分离力,故在机械振动收获时,一般果实脱落发生在果实与果柄连接处。同一成熟度下,果实与果柄分离力显著小于树枝与果柄分离力。不同成熟度下,果实的树枝与果柄分离力之间无显著性差异,脆熟期果实的果实与果柄分离力显著小于白熟期和未熟期果实的果实与果柄分离力,显著水平分别为 0.008 和 0.002。因此,对白熟期、脆熟期果实进行机械选择性收获成为一种可能。

表 3 冬枣果柄分离力试验结果

Table 3 Detachment force test result of winter jujube

参数 Parameters	未熟期 Under ripe stage	白熟期 White ripe stage	脆熟期 Crisp ripe stage
果柄直径/mm Diameter of stem	1.45(0.41) a	1.50(0.42) a	1.33(0.37) b
果柄长度/mm Length of stem	7.24(1.99) a	7.19(1.57) a	9.36(2.48) b
果实与果柄分离力/N Detachment force between fruit and stem	4.12(0.68) Aa	3.97(1.09) Aa	3.42(1.10) Ab
树枝与果柄分离力/N Detachment force between stem and branch	5.41(1.12) Ba	5.16(1.30) Ba	4.96(1.55) Ba

注:同行相同小写字母表示在 0.05 水平无显著性差异;同列相同大写字母表示 0.05 水平上无显著性差异。

Note: Same lowercase letters in each row and same capital letters in each column represent no significant differences at 0.05 level.

2.3 冬枣的压缩特性

本研究得到的冬枣果实压缩力与变形的关系见图 2。白熟期和脆熟期枣果沿长度方向的压缩曲线趋势相似,都没有明显的生物屈服点,压力达到破裂极限值后突然下降,果实破裂。开始压缩到果实破裂阶段,果实所受压力与变形近似线性关系。随着压头持续下压,压力又呈上升趋势。

通过压缩曲线数据计算所得果实压缩力学参数见表 4,白熟期果实的平均破裂力大于脆熟期果实的平均破裂力,分别为 145.77 和 128.95 N,二者的

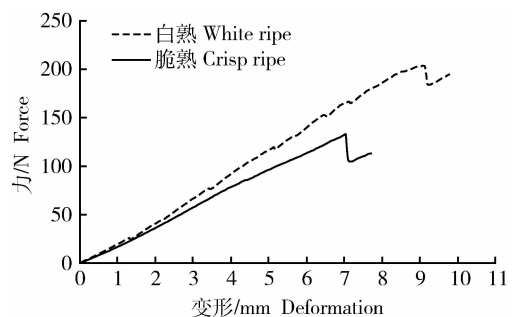


图 2 冬枣压缩力与变形的关系

Fig. 2 Force-deformation curve of winter jujube

表4 冬枣压缩力学参数

Table 4 Compression mechanical parameters of winter jujube

成熟度 Maturity	破裂力/N Rupture force	弹性模量/MPa Elastic modulus	破裂相对变形/% Relative deformation
白熟期 White ripe stage	145.77(26.49) a	2.09(0.43) a	22.22(3.06) a
脆熟期 Crisp ripe stage	128.95(17.70) b	1.89(0.55) a	25.62(4.50) b

注：同列相同字母表示 0.05 水平上无显著性差异。

Note: The same letters in each column are not significantly different at 0.05 level from each other.

破裂力存在显著性差异。成熟度越高果实硬度越低，故其抵抗破坏的能力越弱。

白熟期冬枣果实的弹性模量略大于脆熟期果实的弹性模量，分别为 2.09 和 1.89 MPa，白熟果实与脆熟果实的弹性模量之间无显著性差异。脆熟果实的相对变形(25.62%)显著大于白熟期的相对变形(22.22%)。由于果实成熟度越大，果实肉质越松软，果实刚度越小，这与李成等^[19]对果实成熟度与弹性模量关系研究结果比较吻合，其研究结果表明果实越成熟，其压缩弹性模量越小。

3 结 论

1)冬枣果实成熟度越高，果实平均质量和尺寸也越大，未熟期果实质量和尺寸与白熟期和脆熟期果实的质量和尺寸存在显著性差异。未熟期、白熟期和脆熟期的枣果密度分别为 902.15、911.68 和 947.06 kg/m³，硬度分别为 17.26、16.24 和 13.9 kg/cm²；枣果密度随着成熟度增加而增大；而硬度随着果实成熟度增加而减小。脆熟期果实密度和硬度与白熟期和未熟期果实密度和硬度存在显著性差异。

2)分离力随着成熟度增加而减小。同一成熟度下，果实与果柄分离力显著小于树枝与果柄分离力，故在机械振动收获时，一般果实脱落发生在果实与果柄连接处。脆熟期果实的果实与果柄分离力显著小于白熟期和未熟期果实的果实与果柄分离力，因此，对白熟期、脆熟期果实进行机械选择性收获成为一种可能。

3)白熟期果实的破裂力(145.77 N)显著大于脆熟期果实的破裂力(128.95 N)。白熟期果实的压缩弹性模量(2.09 MPa)略大于脆熟期的弹性模

量(1.89 MPa)，弹性模量之间无显著性差异。

参考文献 References

- [1] 武之新,武婷.冬枣优质丰产栽培新技术[M].北京:金盾出版社,2007
Wu Z X, Wu T. *The New Technology of Jujube High Yield Cultivation*[M]. Beijing: Jindun Publishing House, 2007 (in Chinese)
- [2] 范修文,张宏,马少辉,李传峰,张洪洲,孟炜.棒杆式红枣采摘机的设计与计算[J].塔里木大学学报,2013,25(3):34-38
Fan X W, Zhang H, Ma S H, Li C F, Zhang H Z, Meng W. Design and calculation of rod type red jujube picking machine [J]. *Journal of Tarim University*, 2013, 25(3): 34-38 (in Chinese)
- [3] 黄俊清,王伟,范修文,廖结安.一种振摇式红枣采收设备设计与仿真[J].塔里木大学学报,2012,24(4):45-47
Huang J Q, Wang W, Fan X W, Liao J A. A kind of vibration wave type red jujube harvest equipment design simulation[J]. *Journal of Tarim University*, 2012, 24(4): 45-47 (in Chinese)
- [4] 何荣.自走式矮化密植红枣收获机激振装置的设计及试验研究[D].石河子:石河子大学,2014
He R. Design and experimental study of excitation device of self-propelled dwarf and close planting jujube harvester[D]. Shihezi: Shihezi University, 2014 (in Chinese)
- [5] 付威,何荣,曲金丽,孙雨,王丽红,坎杂.自走式矮化密植红枣收获机的设计[J].农机化研究,2014(4):106-109
Fu W, He R, Qu J L, Sun Y, Wang L H, Kan Z. Design of self-propelled dwarf and close planting jujube harvester[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2014(4): 106-109 (in Chinese)
- [6] Bora, G, Ehsani, R, Hebel, M, Lee, K. In-situ measurement of the detachment force of individual oranges harvested by a canopy shaker harvesting machine [J]. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 2007(120):38-40
- [7] Savary S K J U, Ehsani R, Salyani M, Hebel M A, Bora G C.

- Study of force distribution in the citrus tree canopy during harvest using a continuous canopy shaker[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2011, 76(1): 51-58
- [8] Polat R, Acar I, Bilim H I C, Saglam R, Erol A K B. Determination of spring rigidity and fruit detachment force with respect to harvesting technique in pistachio nut trees[J]. *African Journal of Agricultural Research*, 2011, 6(3): 532-537
- [9] Kender W J, Hartmond U. Variability in detachment force and other properties of fruit within orange tree canopies[J]. *Fruit Varieties Journal*, 1999, 53(2): 105-109
- [10] 张进, 毕新胜, 肖彬彬, 黄国伟. 加工番茄果茎分离力研究[J]. *安徽农业科学*, 2012, 40(8): 5051-5053
Zhang J, Bi X S, Xiao B B, Huang G W. Study on separation force between tomato (*Lycopersicon esculentum*) fruit and stalk[J]. *Journal of Anhui Agriculture Science*, 2012, 40(8): 5051-5053 (in Chineses)
- [11] 傅隆生, 张发年, 槐岛芳德, 李桢, 王滨, 崔永杰. 猕猴桃采摘机器人末端执行器设计与试验[J]. *农业机械学报*, 2015, 46(3): 1-8
Fu L S, Zhang F N, Huaidao F D, Li Z, Wang B, Cui Y J. Development and experiment of end-effector for kiwifruit harvesting robot[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2015, 46(3): 1-8 (in Chineses)
- [12] Aslantas R, Angin I, Gokalp Boydas M, Ozkan G, Kara M. Fruit characteristics and detachment parameters of sour cherry (*Prunus cerasus* L cv 'Kütahya') as affected by various maturity stages[J]. *Erwerbs-Obstbau*, 2016, 58(2): 127-134
- [13] 散鋈龙, 刘旋峰, 牛长河, 孙小丽, 郭兆峰, 乔园园, 刘向东, 王学农. 杏果实成熟度特性参数与果柄分离力的相关性分析[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(23): 62-68
San Y L, Liu X F, Niu C H, Sun X L, Guo Z F, Qiao Y Y, Liu X D, Wang X N. Relativity analysis between characteristic parameters of apricot's ripeness and its fruit removal force[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(23): 62-68 (in Chineses)
- [14] 付威, 何荣, 坎杂, 张慧明, 王丽红, 杨红英, 孙雨. 红枣力学特性的试验研究[J]. *石河子大学学报: 自然科学版*, 2013, 31(4): 518-522
Fu W, He R, Kan Z, Zhang H M, Wang L H, Yang Y H, Sun Y. Experimental study on mechanical properties of red jujube [J]. *Journal of Shihezi University: Natural Science*, 2013, 31(4): 518-522 (in Chineses)
- [15] 陈燕, 蔡伟亮, 邹湘军, 向和平. 荔枝鲜果挤压力学特性[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(8): 360-364
Chen Y, Cai W L, Zou X J, Xiang H P. Extrusion mechanical properties of fresh litchi [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(8): 360-364 (in Chineses)
- [16] Ibrahim A A, Al-Jalil H F, Al-Duri S M. Fruit detachment force and selective harvest of Zahdi date variety[J]. *Journal of Agriculture and Water Resource Research*, 1986, 5(2): 81-96
- [17] Razavi S M A, Bahram-Parvar M. Some physical and mechanical properties of kiwifruit[J]. *International Journal of Food Engineering*, 2007, 3(6): 1-14
- [18] 马庆华, 王贵禧, 梁丽松. 质构仪穿刺试验检测冬枣质地品质方法的建立[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(6): 1210-1217
Ma Q H, Wang G X, Liang L S. Establishment of the detecting method on the fruit texture of Dongzao by puncture test[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(6): 1210-1217 (in Chineses)
- [19] 李成. 番茄果实的基础物理特征及力学性质的研究与应用探讨[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2005
Li C. Study of tomato basic physical properties and mechanical properties and its application research[D]. Harbin: Northeast Agriculture University, 2005 (in Chineses)
- [20] 卿艳梅, 李长友, 黄汉东, 曹玉华. 龙眼力学特性的有限元分析[J]. *农业机械学报*, 2011, 42(6): 143-147
Qin Y M, Li C Y, Huang H D, Cao Y H. Finite element analysis on mechanical properties of Longan[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2011, 42(6): 143-147 (in Chinese)

责任编辑: 刘迎春