

# 香玲核桃青皮破裂力学特性试验研究

陈秀文<sup>1,2</sup>, 李文彬<sup>1,2</sup>, 白效鹏<sup>1,2</sup>, 徐道春<sup>1,2</sup>

(1. 北京林业大学 工学院, 北京 100083; 2. 林业装备与自动化国家林草局重点实验室, 北京 100083)

**摘要:**为了给青核桃脱皮装备的设计提供理论依据并完善脱皮工艺,对香玲青核桃的几何特征进行测定,并利用微机控制电子万能试验机对其进行不同条件下的单因素力学特性试验。以青皮破裂力和破裂功耗为评价指标,分析了加载方向、加载速率、青核桃外形尺寸、刀片划割处理、阴凉放置处理及青皮含水率对青皮破裂的影响,并拟合了青核桃受压过程中压力随位移的变化曲线。结果表明:香玲青核桃平均球度为0.94,不同部位处青皮厚度不同,青核桃可以简化成非均匀外壳的球体;青皮受压破裂时裂纹只有1条且沿挤压方向延伸出现;青皮破裂受加载方向和外形尺寸的影响,沿纵径方向挤压时青皮更易破裂,青核桃尺寸等级越大,青皮越不易破裂;加载速率对青皮破裂力和破裂功耗的影响不显著;通过烘干降低青皮含水率会影响青皮破裂力和破裂功耗的大小;将青核桃在室内阴凉放置60 h或使用刀片划割后进行加载,青皮更易破裂。因此,为了更好地脱青皮,可以采取对青皮核桃进行分级、刀片划割青皮表面、阴凉放置等措施。

**关键词:**青核桃;脱皮;几何特征;力学特性试验

中图分类号:TS222+.1;O342 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2023)11-0135-06

## Cracking mechanical properties of Xiangling walnut green peel

CHEN Xiuwen<sup>1,2</sup>, LI Wenbin<sup>1,2</sup>, BAI Xiaopeng<sup>1,2</sup>, XU Daochun<sup>1,2</sup>

(1. School of Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Key Laboratory of State Forestry Administration for Forestry Equipment and Automation, Beijing 100083, China)

**Abstract:** In order to provide theoretical basis for the design of green walnut peeling equipment and improve the peeling process, the geometric characteristics of Xiangling green walnut were determined, and the single factor mechanical property tests were carried out under different conditions by microcomputer controlled electronic universal testing machine. The effects of loading direction, loading rate, overall dimension, blade cutting treatment, shade placement treatment and green peel moisture content were analyzed by using the cracking force and power consumption as evaluation indexes, and the curve of force changing with displacement during the loading process of green walnut was fitted. The results showed that the average sphericity of Xiangling green walnut was 0.94, and the thickness of green peel at different parts was not uniform, and the green walnut could be simplified as a sphere with non-uniform shell. There was only one crack in the green peel under compression and it appeared along the extrusion direction. The green peel cracking was affected by the loading direction and overall dimension. The green peel was easy to crack by extrusion along the longitudinal diameter. The larger the size grade of green walnut, the more difficult to break the peel. The effect of loading rates on the cracking force and power consumption of green peel was not significant. Reducing the moisture content of green peel by drying could affect the cracking force and power consumption of green peel. If the green walnut was squeezed after placing indoors in the shade for 60 h or

being cut with a blade, the green peel was obviously easier to crack. In order to better remove the peel of green walnut, measures can be taken such as grading, cutting the surface of green walnut with blades, placing in shade and so on.

**Key words:** green walnuts; peeling; geometric characteristics; mechanical property tests

收稿日期:2022-06-24;修回日期:2023-07-01

基金项目:国家重点研发计划项目(2019YFD1002401-3)

作者简介:陈秀文(1998),男,在读硕士,研究方向为林业装备及自动化(E-mail)super\_cxw@163.com。

通信作者:徐道春,教授,博士生导师(E-mail)xudaochun@bjfu.edu.cn。

核桃是胡桃科植物,其果实营养丰富,是世界著名的“四大干果”之一,也是我国重要的木本油料<sup>[1]</sup>。截至2019年底,我国核桃干果产量约为468.9万t,种植面积约为807.6万hm<sup>2</sup>。核桃在国内多省、市都有种植<sup>[2]</sup>,是我国重要的经济树种之一。核桃果实主要由外层青皮、中间硬壳和内部果仁组成,带有青皮的核桃不易储存,核桃采收后如果不及时剥离青皮,将会使硬壳表面产生黑斑,甚至使果仁发生褐变和霉变,直接影响核桃的商品价值和市场竞争力<sup>[3]</sup>。为了能够高效地剥离青皮,国内外研发设计了多款青核桃脱皮装备<sup>[4-9]</sup>,但由于我国核桃品种繁多,且缺乏对青核桃特性的研究,现有的机械装备脱青皮效果不够理想<sup>[10-11]</sup>。因此,需要对青核桃的几何特征和青皮破裂力学特性进行相关试验分析,为青核桃脱皮装备的研发提供科学依据<sup>[12]</sup>。

目前国内学者对于油料作物果实的力学特性进行了一些研究。曹玉华等<sup>[13]</sup>通过对蓖麻蒴果进行物理特性测定和力学特性试验,分析了蓖麻蒴果的受力分布和受压载荷破坏强度。郑甲红等<sup>[14]</sup>对喷洒乙烯利的青核桃进行受力分析,通过有限元软件进行力学仿真,得到核桃坚果在剥离青皮后更易受压破裂的结论。黄志辉<sup>[15]</sup>、刘汝宽<sup>[16]</sup>等对油桐果和油桐籽的破壳力学特性进行研究,确定了破壳力的影响因素。薛强等<sup>[17]</sup>对油茶鲜果及油茶籽的压缩力学特性进行分析,得出加载方向和油茶果尺寸对油茶果破壳力有明显的影响,其中油茶籽的最大破壳力为339.87 N。

本文在前人研究的基础上,以香玲青核桃作为研究对象,通过力学试验研究不同因素对青皮破裂的影响,旨在为青核桃脱皮装备的开发及脱皮工艺的优化提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验所用核桃采自陕西省延安市黄龙县岷岷乡国家级核桃示范基地及四条梁核桃基地,品种选择在陕西、山东、北京、山西、河北等地均有大面积种植的香玲核桃<sup>[18-19]</sup>,采摘时间为2021年9月,此时香玲核桃已进入成熟期<sup>[20]</sup>,试验地点为陕西省延安市黄龙县(除特殊说明外,均在采摘后24 h内进行试验)。

DR-507A 微机控制电子万能试验机,电子游标卡尺,DHG-9030A 电热鼓风干燥箱,电子分析天平,称量瓶,干燥器等。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 青核桃几何特征测定

##### 1.2.1.1 青核桃尺寸及球度测定

随机挑选150颗表面完好的香玲青核桃,利用游

标卡尺测量3个互相垂直方向上的最大外径:横径( $a$ ),纵径( $b$ ),侧径( $c$ )<sup>[21]</sup>。其中横径为坚果缝合线对应青皮位置处的最大外径,可以通过青核桃表面存在的凹痕来判断,如图1a所示。对测量值进行统计,并利用公式(1)<sup>[22]</sup>计算青核桃的球度( $S_p$ )。

$$S_p = \sqrt[3]{abc/d} \quad (1)$$

式中: $d$ 取 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 中的最大值,mm。

##### 1.2.1.2 青皮厚度测定

随机挑选25颗表面完好的香玲青核桃,利用游标卡尺分别测量蒂部、横径腰部、侧径腰部和臀部4个部位青皮厚度,如图1b所示。

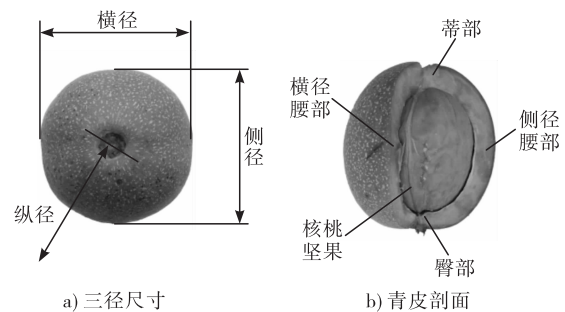


图1 青核桃三径尺寸及剖面构造

##### 1.2.2 青核桃力学特性试验

利用电子万能试验机对青核桃进行力学特性试验,试验步骤为:先通过电脑控制软件设定加载速率,然后将青核桃按照所需的加载方向放置在试验机的下刚性平板中心,并调节上平板压头使其处于与青核桃接触的临界点,将控制程序中的位移和压缩力清零,并点击运行按钮,试验开始。随着上平板压头的运行,软件中显示的压缩位移量和青核桃所受压力随之增大,当青核桃因受到过大的压力发生破裂时,试验机因压力发生骤减而自动停机,也可以通过软件设置为手动停机。试验结束后,将得到的加载过程中压力随位移变化的数据点导出,利用Origin软件绘制青核桃受压时压力随位移变化的曲线。

为了尽可能全面地研究不同因素对青皮破裂的影响,选取加载方向、加载速率、青核桃外形尺寸、刀片划割处理、阴凉放置和青皮含水率作为试验因素。试验指标为青皮破裂力和破裂功耗。青皮破裂力是指核桃青皮首次出现裂纹,压力-位移曲线发生骤降时的力值<sup>[23]</sup>。破裂功耗是核桃青皮破裂所需的功,根据青核桃受压时压力随位移的变化曲线,对开始加载直至青皮破裂力时的曲线段进行积分来计算<sup>[24]</sup>。

探究青皮含水率对青皮破裂的影响时,根据GB

5009.3—2016 测定核桃青皮的含水率。

## 2 结果与分析

### 2.1 青核桃的几何特征

#### 2.1.1 青核桃几何尺寸及球度

香玲青核桃的三径及球度计算结果见表1。

表1 青核桃三径及球度

项目	最大值	最小值	平均值
横径/mm	46.15	39.61	43.12
侧径/mm	48.00	40.94	44.61
纵径/mm	55.94	43.24	48.70
球度	0.98	0.86	0.94

由表1可以看出,香玲青核桃纵径最大,横径最小,侧径与横径比较接近。其三径均值小于甘肃陇南种植的香玲核桃<sup>[21]</sup>,这可能与地域和肥力等因素有关。本研究中的青核桃外形十分接近球体,且球度变化范围不大。因此对青核桃进行力学分析时将其视为球体。

对150颗香玲青核桃的纵径进行统计分析,结果见图2。

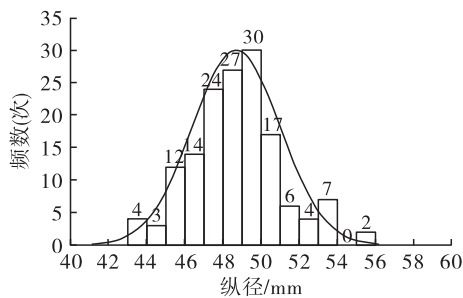


图2 纵径分布直方图

由图2可知,青核桃的纵径满足正态分布,根据纵径分布,可以将青核桃分为小组(<45 mm)、中组(≥45 mm且<51 mm)和大组(≥51 mm)3组,其中中组占比为82.67%。

#### 2.1.2 青皮厚度

香玲核桃青皮厚度测定结果见表2。

表2 香玲核桃青皮厚度 mm

项目	平均值	标准差
横径腰部	4.54	0.80
侧径腰部	5.76	0.80
蒂部	8.14	1.48
臀部	4.27	0.49

由表2可知:核桃不同部位青皮厚度不同,其中臀部的青皮厚度最小,变化幅度也最小;蒂部青皮厚度最大,离散程度也最大;侧径腰部青皮厚度要稍大于横径腰部。因此,核桃青皮不应轻易简化成均匀的外壳。

### 2.2 青核桃挤压过程压力-位移变化规律

取40颗中组青核桃,随机均分成4份,分别沿其横径方向(横向)、侧径方向(侧向)、臀部在上的纵径方向(纵向)、蒂部在上的纵径方向(纵向)以15 mm/min的速度匀速加载,直到压力骤减而自动停机。试验发现,在沿横径方向加载时,当试验机因压力骤减而自动停机时,青核桃表面青皮未发生破裂,而剥离青皮后,其坚果缝合线或缝合线附近表面产生裂纹。为进一步观察横向挤压时核桃青皮与坚果破损情况,将电子万能试验机设置为手动停机,再取10颗中组青核桃沿其横径方向加载,当观察到青皮破裂时手动控制停机,试验结束后将青皮剥离,观察坚果损伤情况。

不同方向加载时青核桃压力随位移的变化曲线如图3所示。

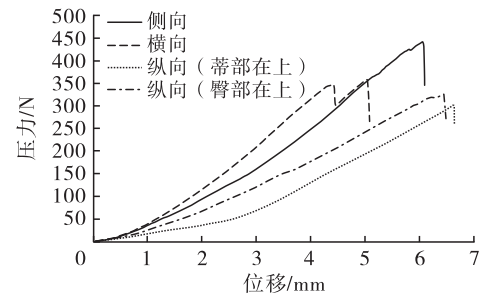


图3 不同方向加载时青核桃压力-位移曲线

由图3可知,加载初期,压力随位移变化曲线是非线性的,加载后期基本呈线性关系,当压力达到青皮破裂力时,青皮破裂,曲线发生骤降,加载过程无明显的屈服现象。沿横径方向加载时,当压力达到350 N,压缩位移达到4.5 mm,坚果出现裂纹。继续加载,青皮才会发生破裂。在沿横径方向加载的20颗核桃中,坚果先于青皮破裂的核桃有18颗,坚果裂纹主要出现在缝合线及缝合线附近表面,沿纵径和侧径方向加载鲜有此种情况。

沿纵径方向加载时,尽管蒂部和臀部的青皮厚度不同,但其青皮破裂力和破裂功耗十分接近。这主要是因为挤压方向相同,果柄和果臀同时受压,青皮破裂是由青核桃整体受压导致的,与上压板直接接触的位置没有明显关联,因此沿纵径方向加载无须区分果臀和果柄的位置。沿纵径方向加载时青皮破裂力的均值约为305 N,破裂功耗均值为814 MJ,小于沿侧径方向加载时的432 N和1197 MJ。试验证明挤压方向对青皮破裂有明显的影响,不能通过直接对香玲青核桃横径方向的挤压来剥离青皮。

### 2.3 青皮挤压破裂特征与分析

青核桃受压时青皮破裂特征如图4所示。

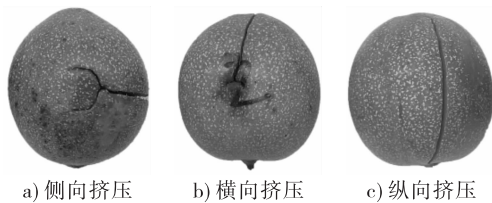


图4 不同加载方向青皮裂纹特征

由图4可看出,不同加载方向青皮破裂裂纹均只有1条,整个裂纹沿着施加力的方向延伸,裂纹宽度随挤压力的升高而增大。成熟的青核桃坚果和青皮之间在蒂部存在连接组织,其他位置存在间隙<sup>[3]</sup>,间隙从臀部到蒂部逐渐减小。

青皮破裂裂纹产生的过程:青皮在上平板压头的不断运动下受到上下压板的挤压力,由于青皮与坚果存在一定的缝隙,且青皮存在一定的厚度,与压板接触位置的青皮受压时会沿核桃坚果表面产生移动,距离接触位置越远,青皮的位移越大,受到的膨压力越大。挤压时与压板接触位置的青皮与坚果接触,对应的坚

果部位也受到压力而变形,坚果整体还对部分青皮内壁产生一个向外的膨压力,此时与坚果之间的间隙越小,距离压板接触位置越远处的青皮受到的膨压力越大,青皮所受的拉应力也越大<sup>[25-26]</sup>。青皮在多个力的作用下发生破裂,并向挤压位置延伸。

沿横径方向加载时,由于横径处坚果的破裂力值较小<sup>[27-28]</sup>,青皮厚度也较小,青皮受到的膨压力还未达到青皮破裂值时,坚果就由于自身受压变形而产生裂纹。坚果可以看成空心的薄球体<sup>[29]</sup>,所以裂纹通常产生于压力直接作用位置。

## 2.4 不同因素对青皮破裂的影响

### 2.4.1 加载速率的影响

取50颗中组青核桃,将其随机均分成5份进行不同速率的加载试验。考虑到纵径方向的稳定性较差,横径方向加载坚果较易破裂,选择侧径方向进行加载,加载速率设置为10、15、20、25、30 mm/min<sup>[30]</sup>,试验结果如表3所示。

表3 不同加载速率下的青皮破裂力和破裂功耗

加载速率/ (mm/min)	不同试样的青皮破裂力/N										破裂力 均值/N	破裂功耗 均值/MJ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
10	473.3	392.2	412.2	448.1	329.7	575.0	327.1	423.5	573.1	492.8	444.7	1 180
15	431.4	441.7	511.3	439.9	373.0	426.3	420.4	481.4	394.5	379.6	430.0	1 142
20	478.1	398.7	508.3	417.2	566.3	321.1	361.9	409.4	431.2	448.8	434.1	1 167
25	440.9	451.4	488.6	380.4	398.3	446.3	427.4	514.0	394.6	472.3	441.4	1 078
30	478.7	451.0	473.9	439.2	574.2	338.3	459.6	462.6	509.4	423.4	461.0	1 214

在每份中挑选出青皮破裂力和压缩位移与其均值相近的值作加载曲线,结果如图5所示。

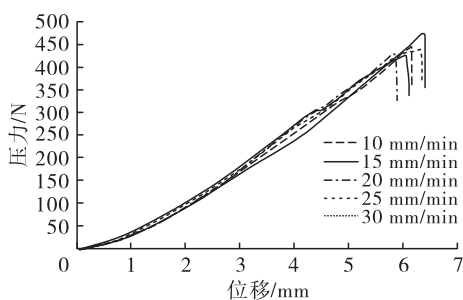


图5 不同加载速率青核桃压力-位移曲线

由图5可知,当以不同速率对青核桃进行加载时,压力与位移的变化规律具有相似性。由表3可知,不同加载速率下青皮破裂力及破裂功耗的均值差别较小。对表3中的数据进行单因素方差分析,以青皮破裂力作为因变量,加载速率作为因子,计算出显著性水平大于0.05,说明上述5个不同的加载速率对青皮破裂力的影响不显著。因此,在脱皮作业时,可以通过适当提高加载速率的方式来提高生产效率。

### 2.4.2 青核桃外形尺寸的影响

分别取10颗小组、中组和大组青核桃,沿其侧向以15 mm/min速率对其进行均匀加载,其青皮破裂力和破裂功耗均值分别为小组363 N、996 MJ,中组429 N、1 168 MJ,大组471 N、1 349 MJ,部分加载曲线如图6所示。

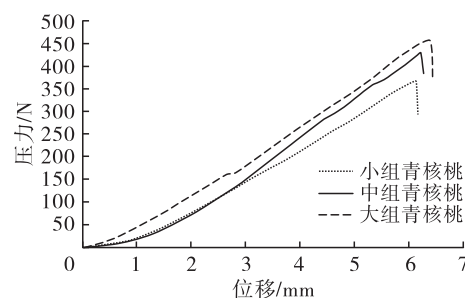


图6 不同外形尺寸青核桃压力-位移曲线

由图6可知,随着青核桃外形尺寸的增大,青皮破裂力和破裂功耗均值也随之增大,且差别较为明显。因此,在设计脱皮装备时,有必要对青核桃进行分级处理。

### 2.4.3 刀片划割处理的影响

取20颗中组青核桃,均分为2份,其中1份不作处理,另外1份用刀片进行划割处理,即在青皮表面任意位置划割1次,划割长度为20 mm左右,划割深度接近青皮厚度,处理完毕后沿侧径方向以15 mm/min的速率匀速加载,划割处理后青核桃的青皮破裂力均值为281 N,远小于未划割处理的437 N,划割处理后的青核桃的破裂功耗均值为632 MJ,也小于未划割处理的1 202 MJ。部分加载曲线如图7所示。

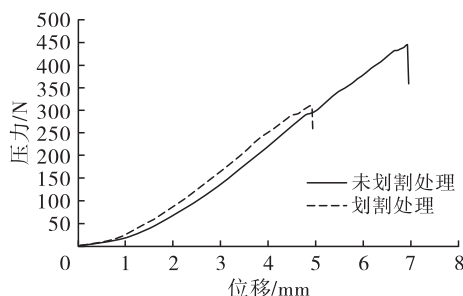


图7 刀片划割处理前后青核桃压力-位移曲线

由图7可知,通过划割对青皮表面进行处理后再进行加载能够极大地降低青皮破裂力和破裂功耗。因此,可以在青核桃脱皮装备中加入划割处理的工序。

### 2.4.4 阴凉放置的影响

取20颗中组青核桃,均分为2份,其中1份于采摘后24 h内进行力学特性试验,另外1份在室内阴凉放置60 h后再进行力学特性试验,结果表明,24 h内加载的青皮破裂力均值为412 N,破裂功耗均值为1 080 MJ,均大于放置60 h后的372 N和1 013 MJ。部分加载曲线如图8所示。

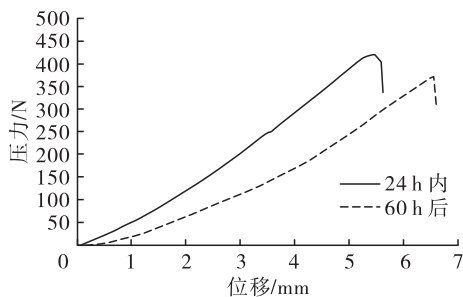


图8 阴凉放置前后青核桃压力-位移曲线

由图8可知,随着阴凉放置时间的延长,青皮破裂力和破裂功耗均值均降低。这主要是因为青核桃采摘后经过阴凉放置会促进青皮与坚果分离<sup>[31-32]</sup>,同时青皮的含水率也有所降低,使其更容易破裂。试验结果说明青核桃存放2~3 d后进行脱皮作业会有更好的效果。

### 2.4.5 青皮含水率的影响

取30颗中组青核桃,均分为3份,其中1份不烘

干,另外2份通过恒温干燥箱烘干来降低含水率,通过预试验确定烘干温度为40℃,烘干时间为6 h和12 h。将这3份青核桃沿其侧径方向以15 mm/min的速率匀速加载,结果表明,不烘干处理的青皮破裂力均值为425 N,破裂功耗均值为1 121 MJ,青皮含水率为91.2%;烘干6 h的青皮破裂力均值为388 N,破裂功耗均值为1 028 MJ,青皮含水率为89.8%;烘干12 h的青皮破裂力均值为476 N,破裂功耗均值为1 499 MJ,青皮含水率为88.9%。部分加载曲线如图9所示。

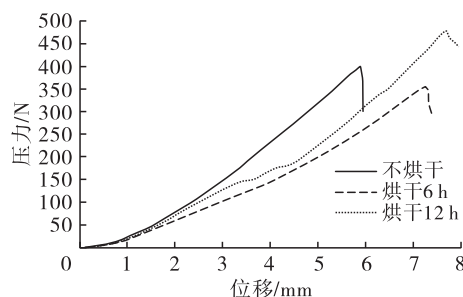


图9 不同青皮含水率下青核桃压力-位移曲线

由图9可知,青皮破裂力和破裂功耗均随着青皮含水率的降低呈先下降再升高的变化规律。通过烘干将青皮含水率降低到88.9%时,青皮破裂力和破裂功耗相比于未经过烘干处理的组别发生了较大的升高,且存在坚果先于青皮破裂的现象。试验结果说明,可以考虑通过控制青皮含水率的方式来制订脱青皮有关的前处理方法,但因为存在需要寻找适合脱青皮的最优含水率,并要解决如何精准控制含水率并降低成本等问题,所以实现起来较为困难。

## 3 结论

(1)香玲青核桃的平均球度为0.94,横径和侧径较为接近,在装备设计过程中可以将其看作为球体。不同部位处的青皮厚度相差较大,在力学分析时不应轻易将青皮简化为均匀外壳。

(2)香玲青核桃皮受压时压力-位移的变化曲线在加载初期呈非线性变化,后期为线性变化,整个过程无明显的屈服点出现。青皮破裂时裂纹只有1条且沿着施加力的方向延伸。沿横径方向加载时,坚果先于青皮破裂,主要是因为横径处坚果的破裂力较小,青皮厚度也小。加载方向对青皮破裂有重要的影响,沿纵径方向加载时青皮更易破裂。

(3)利用单因素方差分析确定了加载速率对青皮破裂的影响不显著。青核桃尺寸等级越大,青皮越不易破裂。刀片划割处理能够极大地降低青皮破裂力和破裂功耗,划割前的青皮破裂力和破裂功耗

分别为 437 N 和 1 202 MJ, 划割后青皮破裂力降至 281 N, 破裂功耗降至 632 MJ。将青核桃在室内阴凉放置 60 h 后青皮破裂力由 412 N 降至 372 N。青皮破裂力和破裂功耗随着青皮含水率的降低基本呈先下降再升高的趋势。

#### 参考文献:

- [1] 张有林, 原双进, 王小纪, 等. 基于中国核桃发展战略的核桃加工业的分析与思考[J]. 农业工程学报, 2015, 31(21): 1-8.
- [2] 中华人民共和国国家林业和草原局. 2019 中国林业和草原统计年鉴[M]. 北京: 中国林业出版社, 2020.
- [3] LIU M Z, LI C H, CAO C M, et al. Walnut fruit processing equipment: academic insights and perspectives [J]. Food Eng Rev, 2021, 13(4): 822-857.
- [4] WEI F, CHEN Q M, DU Y M, et al. Effects of hulling methods on the odor, taste, nutritional compounds, and antioxidant activity of walnut fruit[J/OL]. LWT - Food Sci Technol, 2020, 120: 108938 [2022-06-20]. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108938>.
- [5] 杨忠强, 李忠新, 杨莉玲, 等. 核桃脱青皮技术及其装备研究[J]. 食品与机械, 2013, 29(6): 121-124, 142.
- [6] 石章成. 小型高效核桃脱青皮机设计与数值模拟[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2019.
- [7] 杨忠强. 卧式青核桃脱皮机的设计与试验研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2021.
- [8] HUSSAIN S Z, AHAD T, RATHER A H, et al. Development of walnut dehulling machine and assessment of its performance using Ethepon and Tween-80 as pre-treatments for hull loosening[J]. J Food Sci Technol, 2016, 53(6): 2835-2843.
- [9] ALI M, DIXIT J, LOHAN S K. Development of motorized walnut dehuller[J]. J Agric Eng, 2017, 54(4): 43-48.
- [10] 刘警, 于秋香, 李扬, 等. 我国核桃生产的现状问题及发展对策[J]. 北方果树, 2020(6): 38-41.
- [11] 张永成, 马佳乐, 唐玉荣, 等. 我国核桃初加工现状与分析[J]. 食品工业, 2020, 41(7): 198-202.
- [12] 连文香, 席海亮, 展靖华, 等. 青核桃脱皮技术及装备发展研究[J]. 机械研究与应用, 2021, 34(4): 214-218.
- [13] 曹玉华, 李长友, 卿艳梅, 等. 蓖麻蒴果剥壳力学特性的试验[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2009, 30(5): 446-449.
- [14] 郑甲红, 吴东泽, 梁金生, 等. 基于 Workbench 的青核桃力学特性分析[J]. 食品与机械, 2015, 31(5): 86-88, 131.
- [15] 黄志辉, 王红建, 刘汝宽, 等. 油桐果实破壳力学特性及主要影响因素研究[J]. 河北农业大学学报, 2017, 40(4): 78-83.
- [16] 刘汝宽, 肖志红, 李昌珠, 等. 油桐籽破壳力学特性及主要影响因素研究[J]. 中国油脂, 2018, 43(9): 132-134.
- [17] 薛强, 郭京臣, 杨硕, 等. 油茶鲜果静压力学特性试验[J]. 沈阳农业大学学报, 2020, 51(5): 593-598.
- [18] 王振元, 翟梅枝, 毛光瑞, 等. 陕西主栽核桃品种‘香玲’对水分胁迫的生理生化响应[J]. 西北农业学报, 2014, 23(10): 145-151.
- [19] 赵登超, 刘方春, 曾宪泉, 等. 早实核桃‘香玲’低产园更新改造技术[J]. 生物灾害科学, 2020, 43(4): 392-396.
- [20] 景娜娜, 王嘉欣, 钟紫璇, 等. 冻藏处理对‘香玲’核桃果实贮藏品质与生理的影响[J]. 北方园艺, 2021(1): 100-107.
- [21] 巩芳娥, 虎云青, 高瑞琴, 等. 甘肃陇南‘香玲’核桃成熟过程中表型特征、脂肪酸组成与含量的变化[J]. 中国油脂, 2021, 46(3): 34-38, 51.
- [22] 周祖镠. 农业物料学[M]. 北京: 农业出版社, 1994: 12-49.
- [23] ALTUNTAS E, ERKOL M. The effects of moisture content, compression speeds, and axes on mechanical properties of walnut cultivars [J]. Food Bioprocess Technol, 2011, 4(7): 1288-1295.
- [24] SU Y, CUI T, ZHANG D X, et al. Effects of shape feature on compression characteristics and crack rules of maize kernel[J/OL]. J Food Process Pres, 2020, 44(1): e14307 [2022-06-24]. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14307>.
- [25] 谢志平, 郎彦城, 陈璐琪. 类球体果实生物力学特性研究综述[J]. 中国农机化学报, 2021, 42(9): 96-106.
- [26] 卿艳梅, 曹玉华, 李长友, 等. 龙眼鲜果剥壳力学特性[J]. 农业工程学报, 2010, 26(5): 122-126.
- [27] 郑甲红, 吴东泽, 梁金生, 等. 青核桃去皮过程的受力分析[J]. 农机化研究, 2015, 37(8): 153-156.
- [28] GVLISOY E, KUS E, ALTIKAT S. Determination of physico-mechanical properties of some domestic and foreign walnut (*Juglans regia* L.) varieties[J]. Acta Sci Pol - Hortoru, 2019, 18: 67-74.
- [29] ZHANG H, SHEN L Y, LAN H P, et al. Mechanical properties and finite element analysis of walnut under different cracking parts[J]. Int J Agric Biol Eng, 2018, 11(6): 81-88.
- [30] 朱占江, 杨忠强, 李源, 等. 青核桃脱皮力学特性分析[J]. 中国农业科技导报, 2017, 19(6): 83-89.
- [31] 梁金生, 曹巨江, 吴东泽. 催熟青皮核桃挤压式脱皮方法的试验与分析[J]. 食品与机械, 2016, 32(6): 100-102.
- [32] 潘莉, 李勇鹏, 宁德鲁, 等. 不同保鲜方法对核桃青皮感官及核桃仁可溶性蛋白含量的影响[J]. 中国油脂, 2021, 46(9): 103-107.