

不同含水率下温 185 核桃仁力学特性试验研究

沈柳杨^{1,2}, 张 宏^{1,2*}, 李 勇¹, 唐玉荣^{1,2}

(1. 塔里木大学 机械电气化工程学院, 新疆 阿拉尔 843300;

2. 新疆维吾尔自治区教育厅普通高等学校现代农业工程重点实验室, 新疆 阿拉尔 843300)

摘要: 为了减少核桃在破壳过程中的机械损伤, 降低碎仁率, 提高核桃破壳质量和经济附加值, 对核桃仁的力学特性进行研究。以温 185 核桃为研究对象, 对其分别进行 0 h、1 h、2 h、3 h、5 h、8 h、12 h 的干燥处理, 通过手工去壳后对完整核桃仁分别从横向、缝向、纵向进行压缩力学特性试验, 研究不同含水率下核桃仁的受载及变形规律。运用 MATLAB 和 SPSS 软件进行数据处理, 并建立相关数学模型。结果表明: 核桃含水率在干燥 8 h 后趋于稳定; 在加载变形量 12 mm、加载速度 60 mm/min、起始加载力 0.5 N 的加载条件下, 核桃仁在横向上的受载和抗变形能力最强, 其韧性较好不易破碎, 所承受的加载力和变形量随含水率的减少总体呈现先增加后减少的趋势, 最大加载力为 175.5 N, 最大变形量为 11.78 mm。

关键词: 核桃; 力学特性; 含水率; 破壳取仁

中图分类号: S664.1 文献标志码: A 文章编号: 1004-3268(2016)07-0143-05

Experimental Study on Mechanical Properties of Wen 185 Walnut Kernel under Different Moisture Content

SHEN Liuyang^{1,2}, ZHANG Hong^{1,2*}, LI Yong¹, TANG Yurong^{1,2}

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Tarim University, Alar 843300, China;

2. The Key Laboratory of Modern Agriculture Engineering of Colleges & Universities under the Department of Education of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Alar 843300, China)

Abstract: In order to reduce the mechanical damage of walnut in the process of shell breaking, reducing the rate of broken kernels, and improving the quality of shell breaking and economic value added, the mechanical properties of walnut kernel were studied. This paper used Wen 185 walnut as the research object, respectively to do drying process of 0 h, 1 h, 2 h, 3 h, 5 h, 8 h, 12 h, and then to do mechanical properties test for complete walnut kernel by manually removing the shell respectively from the transverse direction, crack direction, longitudinal direction, studying the loading and deformation regularities of walnut kernel under the different moisture content. The test data was processed by using MATLAB and SPSS softwares, to establish the relevant mathematical models. The results showed that moisture content of walnut tended to be stable after being dried 8 hours; when the test was carried out under the loading conditions that loading deformation was 12 mm, loading speed was 60 mm/min, and the initial loading force was 0.5 N, the ability of resistance to loading and deformation was the strongest in the transverse direction, and the toughness of walnut kernel was better so that it was not easily broken. General speaking, loading force and deformation walnut kernel bore were firstly increased and then decreased with the decrease of moisture content, and the maximum loading force was 175.5 N, maximum deformation was

收稿日期: 2016-02-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(31160196); 新疆生产建设兵团工业科技攻关计划项目(2014BA014); 塔里木大学研究生科研创新项目(TDGRI201516)

作者简介: 沈柳杨(1989-), 男, 湖北黄冈人, 在读硕士研究生, 研究方向: 新型农业机械装备设计。

E-mail: feiyanghero@163.com

* 通讯作者: 张 宏(1975-), 男, 内蒙古武川人, 副教授, 主要从事农业机械化电气化研究。E-mail: zhghog@163.com

11.78 mm.

Key words: walnut; mechanical properties; moisture content; cracking walnut and fetching kernel

温 185 核桃是新疆著名核桃品种之一,具有很高的营养与食用价值^[1-2],深受消费者的欢迎。由于核桃外壳坚硬而核仁较脆,在机械破壳过程中经常出现大量的碎仁,造成很大的经济损失。为了减少破壳过程中的机械损伤,对核桃仁的力学特性进行研究具有重要的现实意义。在核桃破壳取仁研究方面,国内外相关学者进行了大量的研究工作,主要集中在核桃破壳的物理机械特性、力学特性等方面。吴子岳等^[3-5]利用薄壳理论和动态裂纹扩展理论对核桃的破壳原理进行了分析。Jakeway^[6]、Tang等^[7-8]、Koyuncu等^[9]研究得出了澳洲坚果果壳破裂的最小变形量的数据,表明减少破壳所需的果壳变形量可以改善整个破壳的效果。史建新等采用有限元法,对核桃破壳进行了力学分析与试验研究^[10-13]。乔园园等^[14]对新疆几种主产核桃的外形、内部结构、壳厚度及内褶面积等物理特性进行了研究。赵超^[15]利用压缩力学试验对核桃物理机械特性和力学特性进行了测定和分析。但纵观现有研究成果,对带壳核桃进行力学特性研究较多,而从核桃仁的力学特性角度,对核桃破壳取仁机制的研究却鲜有报道。鉴于此,以温 185 核桃为研究对象,对核桃进行干燥处理并通过手工去壳后,利用质构仪对完整核桃仁进行压缩力学特性试验,研究不同含水率下核桃仁的受载及变形规律,以期对核桃破壳取仁工艺研究提供参考。

1 材料和方法

1.1 材料与仪器设备

试验用温 185 核桃采于新疆温宿县核桃试验林场。质构仪,型号 TMS - PRO,精度 0.015%,由美国 FTC (Food Technology Corporation) 公司生产;电热鼓风机干燥箱,型号 GZX - 9140MBE,由上海博迅实业有限公司医疗设备厂生产;电子天平,型号

FA1104,由上海市安亭电子仪器厂生产;游标卡尺,量程为 0 ~ 150 mm,由上海申韩量具有限公司生产。

1.2 试验设计与方法

1.2.1 核桃的筛选与处理 对采摘的新鲜核桃进行去青皮和清洗处理之后,剔除壳体有裂缝、畸形的核桃。利用电子天平和游标卡尺进行称质量和尺寸测量,筛选出质量和尺寸相近的核桃 70 枚,本试验选用的核桃平均质量约为 15.79 g,平均直径约为 33.70 mm。然后按从小到大的顺序依次进行编号,并对其进行随机分组,每组 10 枚。

1.2.2 核桃含水率的测定 温 185 核桃样品含水率(湿基含水率)参照 GB5009.3—2010 进行测定,采用恒温烘焙法和称质量法。将清洗后筛选出的 70 枚核桃,静置在空气中 2 h,让核桃壳体表面水分自然挥发,分别放置在 7 个相同并标记组号的滤纸片上,然后统一放置在温度设定为 35 ℃ 的电热鼓风机干燥箱中分别进行 0 h、1 h、2 h、3 h、5 h、8 h、12 h 的干燥处理。每隔相应的时间后,从干燥箱中拿出对应组的核桃,进行称质量并记录数据,未达到规定干燥时间的组则继续放进烘箱中干燥,直至最后 1 组核桃全部取出后,干燥处理结束。

1.2.3 核桃仁的压缩力学试验 将每组核桃从干燥箱中取出称质量之后,通过手工去掉核桃外壳,选取 9 枚完整的核桃仁,并随机分为 3 组利用质构仪分别从横向(核桃仁缝合线垂直方向)、缝向(核桃仁缝合线短轴方向)、纵向(核桃仁缝合线长轴方向)进行压缩力学特性试验,每个方向重复 3 次,试验结果取平均值,施力加载方向如图 1 所示。试验过程中,质构仪可以对加载力、变形量等相关参数进行自动采集并记录。试验结束后,所有试验数据以 Excel 文件形式自动保存在与质构仪连接的计算机中,直接调出数据进行分析。

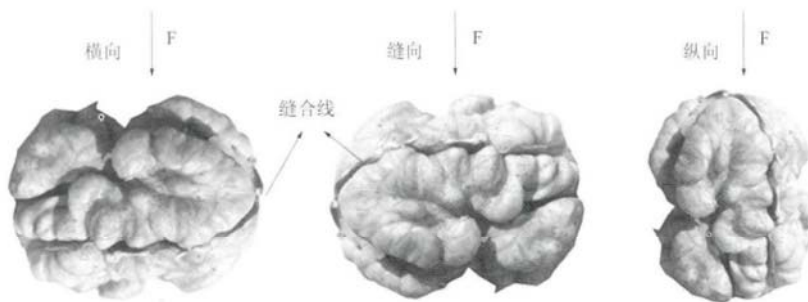


图 1 核桃仁压缩施力加载方向

本试验是在加载变形量 12 mm、加载速度 60 mm/min、起始加载力 0.5 N 的条件下进行核桃仁的压缩力学特性试验。前期的破壳取仁研究发现^[16-17],核桃含水率和加载方向这 2 个因素对破壳过程中核桃仁的影响较大,因此选取含水率和加载方向为试验因素,核桃仁受载时的最大加载力(压力曲线波峰所对应的压力)以及最大变形量(最大加载力所对应的变形量)为试验指标。

1.3 数据处理

利用 MATLAB 7.1 和 SPSS 19.0 软件进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 干燥时间对核桃含水率的影响及数学模型

按照核桃含水率的测定方法,利用 MATLAB 软件对试验数据进行处理,得出干燥时间对含水率的影响规律(图 2)。从图 2 可以看出,随着干燥时间的增加,核桃含水率基本呈现逐渐下降直至稳定的趋势。在干燥 8 h 之前,含水率下降比较快,而在 8 h 之后含水率下降比较平稳,这表明在干燥 8 h 之后核桃含水率基本趋于稳定,即含水率不再随干燥时间的增加而发生较大的变化。利用 MATLAB 软件拟合工具箱对干燥时间和含水率之间的关系进行拟合分析并建立数学模型,所得的拟合方程为: $Y = -0.01892X^3 + 0.4945X^2 - 4.305X + 18.05$,相关系数 $R^2 = 0.998$,拟合效果较好。其中, X 为干燥时间(h); Y 为核桃含水率(%)。由拟合方程可知,干燥时间与含水率之间关系近似为 3 次函数。

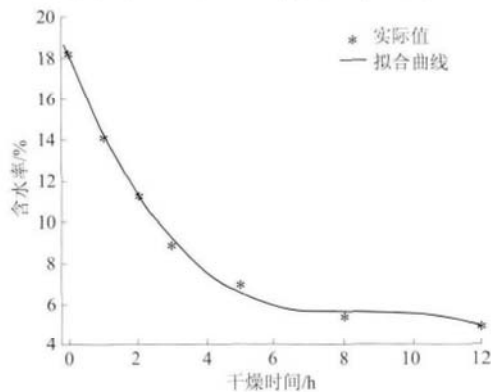


图 2 干燥时间对核桃含水率的影响

2.2 核桃仁的压缩力学特性曲线与分析

在相同含水率下,不同加载方向上的核桃仁压缩力学特性曲线形态相似,其典型的压缩力学特性曲线如图 3 所示。在相同加载方向,不同含水率下核桃仁的压缩力学特性曲线如图 4、5、6 所示。由图 3 可知,核桃仁沿缝向、横向和纵向从开始受力至第

1 次压力波峰前,核桃仁压力与变形量基本呈现线性变化关系,这表明核桃仁在此阶段主要发生弹性变形;当核桃仁受力到达压力波峰时,核桃仁所受到的压力开始骤降,这是因为核桃仁的宏观结构发生破坏,导致其抗压和抗变形的能力减弱。此外,由图 3 还可以看出,核桃仁在横向上的受载和抗变形能力比其他 2 个方向上强,表明核桃仁在横向受压时韧性较好,不易破碎。

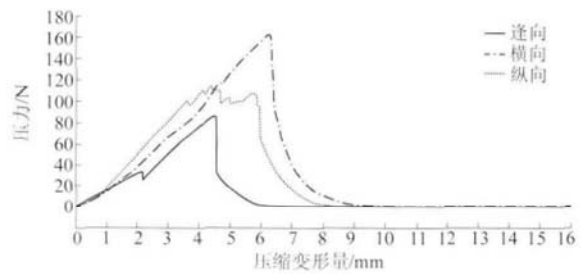


图 3 不同加载方向上核桃仁的典型压缩力学特性曲线

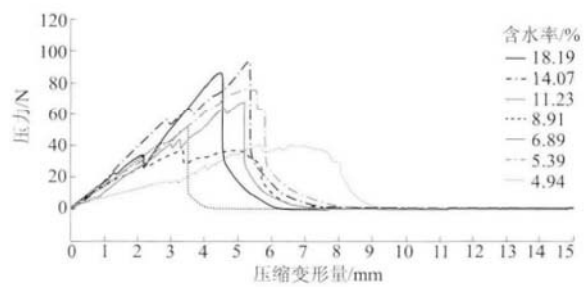


图 4 缝向上核桃仁的压缩力学特性曲线

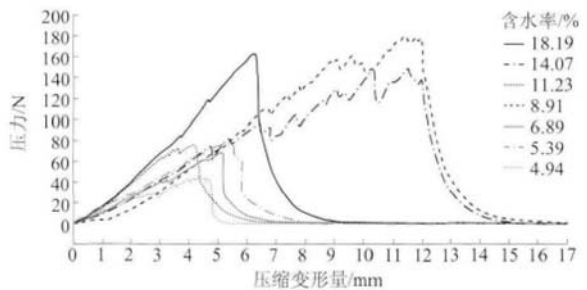


图 5 横向上核桃仁的压缩力学特性曲线

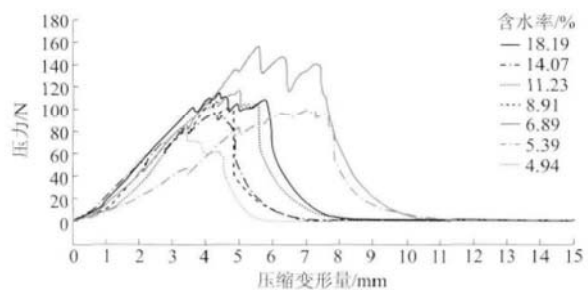


图 6 纵向上核桃仁的压缩力学特性曲线

由图 4、5、6 可知,在相同加载方向,不同含水率下核桃仁的压缩力学特性曲线形态和规律也基本相似,但核桃仁压缩时所承受的最大加载力(压力曲

线峰值)和最大变形量随含水率的变化呈现不同的特点。在缝向上,最大加载力随含水率的降低呈现先增后减再增最后至递减的变化规律,含水率为14.07%时所对应的最大加载力值最大,最大加载力低于100 N,对应的最大变形量小于6 mm;在横向上,最大加载力随含水率的降低呈现先减后增再减的变化趋势,含水率为8.91%时所对应的最大加载力值最大,最大加载力低于180 N,对应的最大变形量可达到12 mm左右;在纵向上,最大加载力随含水率的降低也基本呈现先减后增再减的变化趋势,含水率为6.89%时所对应的最大加载力值最大,最大加载力低于160 N,而对应的最大变形量可达到6 mm左右。因此,含水率和加载方向对核桃仁压缩时所承受的最大加载力和最大变形量有不同程度的影响。

2.3 含水率和加载方向对最大加载力及最大变形量的影响

利用 SPSS 软件对试验数据进行处理,含水率和加载方向对核桃仁在受载过程中最大加载力及最大变形量的影响规律如图 7 和图 8 所示。核桃仁的压缩形态如图 9 所示。

对于最大加载力,在 3 个不同的加载方向上,横向受载最为明显(图 7)。不同含水率下核桃仁受载时加载方向对最大加载力的影响程度依次为横向 > 纵向 > 缝向,表明核桃仁在横向上的受载能力最强,所承受的加载力随含水率的降低总体呈现先增后减的趋势,最大峰值为 175.5 N。

对于最大变形量,在 3 个不同的加载方向上,也是横向受载最为明显(图 8)。在含水率为18.19%、14.07%、4.94%时,核桃仁在缝向和纵向上受载时加载方向对最大变形量的影响程度基本相近,这是因为当含水率过高或过低时,核桃仁的抗压强度较低,抗变形能力减弱,只有当含水率适中时核桃仁才具有较好的抗变形能力;而在含水率为11.23%、

8.91%、6.89%、5.39%时,加载方向对核桃仁受载时最大变形量的影响程度依次为横向 > 纵向 > 缝向,表明核桃仁在横向上的抗变形能力最强,所承受的变形量随含水率的降低也基本呈现先增后减的趋势,最大变形量为 11.78 mm。

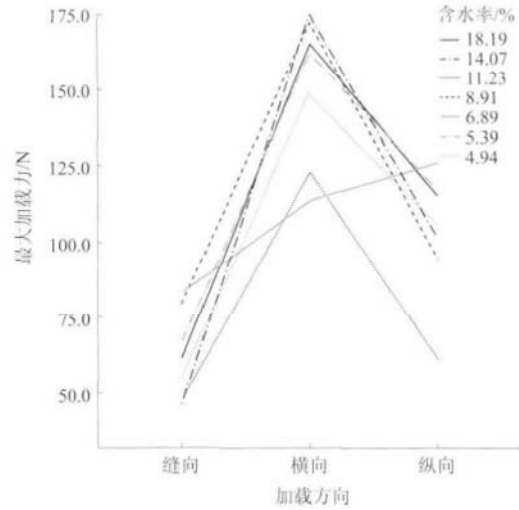


图 7 不同含水率下各方向核桃仁最大加载力的变化

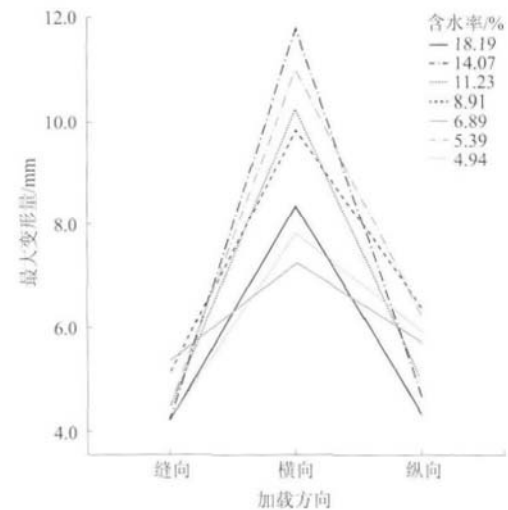


图 8 不同含水率下各方向核桃仁最大变形量的变化



a. 压缩前; b. 压缩变形; c. 压缩后

图 9 核桃仁的压缩形态

3 结论与讨论

本试验结果表明,随着干燥时间的增加,温 185

核桃的含水率在逐渐下降,在干燥时间为 8 h 之前,含水率下降速率比较快,而在 8 h 之后含水率下降速率比较平稳且基本趋于稳定。利用 MATLAB 软

件对干燥时间和含水率之间的关系进行拟合分析,拟合方程为: $Y = -0.01892X^3 + 0.4945X^2 - 4.305X + 18.05$,相关系数 $R^2 = 0.998$,拟合效果较好,表明模型具有一定的可靠性。

刘奎等^[18]、高警等^[19]分别对核桃机械破壳过程中核桃仁的损伤特征和规律,以及影响核桃破壳力大小的因素进行了研究,对样本不同加载速度、不同加载方向、不同品种进行相关力学特性试验,结果表明:不同加载速度、不同加载方向、不同品种的核桃在机械破壳过程中对核桃仁破损的影响比较显著,对核桃破壳前进行预处理可以减小破壳力。本试验通过对核桃仁的压缩力学试验结果进行分析,表明在加载变形量为 12 mm,加载速度为 60 mm/min,起始加载力为 0.5 N 的加载条件下,核桃仁在横向上的受载和抗变形能力最强,核桃仁的韧性较好不易破碎,所承受的加载力和变形量随含水率的减少总体呈现先增后减的趋势,最大加载力为 175.5 N,最大变形量为 11.78 mm,该结果可为核桃破壳机械设计以及破壳工艺等研究提供参考。

参考文献:

- [1] 孙树杰,王兆华,宋康,等.核桃营养价值及功能活性研究进展[J].中国食物与营养,2013,19(5):72-74.
- [2] 冯春艳,荣瑞芬,刘雪峥.核桃仁及内种皮营养成分分析研究进展[J].食品工业科技,2011,32(2):408-411.
- [3] 吴子岳.绵核桃剥壳取仁机械的研究[J].农业工程学报,1995,11(4):164-169.
- [4] 吴子岳.核桃剥壳的力学分析[J].南京农业大学学报,1995,18(3):116-123.
- [5] 辛动军.核桃破壳取仁方法及试验研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2002.
- [6] Jakeway L A. Analysis of simulated compression cracking of macadamia integrifolia [D]. Honolulu, HI, USA: University of Hawaii, 1977.
- [7] Tang G P. Deformation and moisture content in machine cracking of macadamia [D]. Honolulu, HI, USA: University of Hawaii, 1981.
- [8] Tang G P, Liang T, Munchmeyer F. A variable deformation macadamia nut cracker [J]. Transactions of the ASAE, 1982, 25(6):1506-1511.
- [9] Koyuncu M A, Ekinci K, Savran E. Cracking characteristics of walnut [J]. Biosystems Engineering, 2004, 87(3):305-311.
- [10] 史建新,赵海军,辛动军.基于有限元分析的核桃脱壳技术研究[J].农业工程学报,2005,21(3):185-188.
- [11] 闫茹,高警,郑甲红,等.基于 Workbench 的核桃破壳力学特性分析[J].农机化研究,2014(10):38-41.
- [12] 周军,史建新.气爆式核桃破壳有限元力学分析[J].农机化研究,2014(12):65-69.
- [13] 何义川,史建新.核桃壳力学特性分析与试验[J].新疆农业大学学报,2009,32(6):70-75.
- [14] 乔园园,史建新,董远德.影响核桃壳仁脱离的主要因素[J].农机化研究,2008(4):43-45.
- [15] 赵超.山核桃破壳力学分析[J].西南大学学报(自然科学版),2012,34(9):123-127.
- [16] 李勇,张宏,郝忠诚.温 185 薄壳核桃破壳取仁试验研究[J].农机化研究,2014(7):174-177.
- [17] 张宏,马岩,兰海鹏,等.温 185 核桃破壳取仁工艺试验研究[J].安徽农业科学,2014(21):7187-7190.
- [18] 刘奎,李忠新,杨莉玲,等.机械破壳时核桃仁损伤特征研究[J].农产品加工(学刊),2014(16):41-44.
- [19] 高警,郑甲红,闫茹,等.对影响核桃破壳力大小因素的探究[J].农机化研究,2014(9):186-189.