

白萝卜常规力学特性试验

Experiments of mechanical properties on white radish

吕俊龙 杨薇 郭徽

LV Jun-long YANG Wei GUO Hui

(昆明理工大学现代农业工程学院, 云南省 昆明 650500)

(Faculty of Modern Agricultural Engineering, Kunming University of Science
and Technology, Kunming, Yunnan 650500, China)

摘要:为了获得白萝卜的力学性质并提供其在采收、运输、储藏及工业生产中必要的理论依据,以加载部位、方向、速度及含水率为影响因素进行试验,分析各因素对白萝卜常规力学特性(应力,弹性模量)的影响。结果表明:白萝卜的中部抗压能力较强、下部较弱(弹性模量分别为 2.16, 2.07 MPa);白萝卜是各向异性的,且轴向抗压能力比径向的强(弹性模量轴向 2.19 MPa、径向 1.98 MPa);含水率对弹性模量影响显著,且弹性模量随着含水率降低而增加。因此,白萝卜在运输和储藏过程中,应尽量避免径向受力。

关键词:白萝卜;应力;弹性模量

Abstract: In order to obtain mechanical properties and provide necessary theoretical basis in the harvest, transportation, storage and industrial production of the white radish, mechanical properties (stress, elastic modulus) of white radish were measured and analyzed. Loading position, the loading direction, loading speed and moisture content were considered as affecting factors on the mechanical properties of white radish. Results showed that the compression capability of central position of white radish was stronger, and the lower position's was weaker (elastic modulus were 2.16, 2.07 MPa respectively). White radish was anisotropic. The axial compressive strength was stronger than in radial direction (the elastic modulus of axial and radial directions were 2.19 MPa, 1.98 MPa respectively). The elastic modulus were increased with reduction of moisture content. So the radial force should be avoided during the transport process of white radish.

Keywords: white radish; stress; elastic modulus

白萝卜作为根菜类蔬菜,储藏量大、营养价值高,是中国的主要蔬菜之一^[1]。现代医学研究^[2]证实,白萝卜有促进消化、降低血脂、软化血管等众多功效,所以白萝卜及其提取

物,在调节冬春蔬菜供应上有着重要的作用。在云南,白萝卜产业的发展促进了其蔬菜产业化的开发及农民的增收;但是其生产效率低、卫生条件差;这使得云南的白萝卜很少进入国内外的终端市场^[3]。在国外,萝卜的生产加工已有很大发展,主要是腌渍干萝卜、萝卜丝等加工^[4]。

目前,国内外对农业物料力学特性的研究逐渐增多,如 Martin、Bajema、雷得天、徐树等^[5-8]均对马铃薯进行了力学特性的相关研究,建立了力-变形关系曲线,计算出了其破损应力、弹性模量等力学指标,并分析了影响其力学特性指标的各种因素;王荣等^[9]对葡萄和番茄的力学特性进行了试验研究,对整体葡萄和番茄的力-位移、刚度与变形的关系进行了试验测定与分析;张洪霞等^[10]通过对萝卜的力学性质的试验研究,获得其常规的力学参数,为其加工处理提供必要的理论依据。

国内外针对白萝卜加工的研究进展缓慢,相关文献^[10]较少且所考察的因素不够全面。本研究拟以加载部位、方向、速度和含水率为影响因素进行试验,以弹性模量为试验指标,分析各因素对白萝卜常规力学特性的影响,为白萝卜的采收分级、运输储藏、质量检测 and 实际生产加工提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 试验材料

白萝卜:品种为春白玉,购于云南市场。选取大小基本一致,无病虫害的新鲜白萝卜进行试验。

1.1.2 主要仪器设备

电热鼓风干燥箱:101-2 型,上海试验仪器厂有限公司;
电子式拉力试验机:WDS-2C 型,济南思达测试技术有限公司;

电子分析天平:BL310 型,精度 0.001 g,德国赛多利斯集团;

游标卡尺:量程 0~150 mm,精度 0.02 mm,成都成量工具有限公司。

作者简介:吕俊龙(1990—),男,昆明理工大学在读硕士研究生。
E-mail:276025571@qq.com

通讯作者:杨薇

收稿日期:2015-05-27

1.2 试验方法

白萝卜样品初始湿基含水率按照中国 GB 5009.3—2010《食品安全国家标准 食品中水分的测定》标准进行测定,其范围为 93.90~96.34 g/100 g,平均值为 95.12 g/100 g。每组试验取 6 个样品,结果取平均值。

白萝卜力学特性试验采用单因素试验^[11]:① 在其它参数固定的情况下对加载部位(上部、中部、下部)进行试验,并对其结果进行分析,找出最具代表性的部位作为下次试验的样品;② 加载方向的试验,方法同上,依此类推。试验样品的尺寸为 40 mm×40 mm×40 mm,每个样品试验后可在电子式拉力试验机的显示屏上观察到试样的力—变形曲线,见图 1。

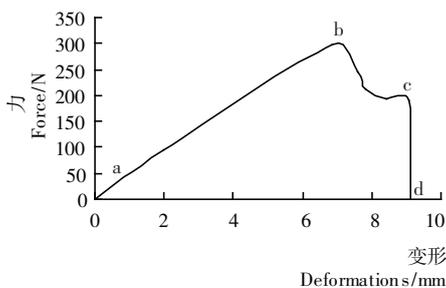


图 1 白萝卜压缩的力—变形曲线

Figure 1 The compressional force-deformation curve of white radish

由图 1 可知,图中 ab 段表示力值随变形量的增大而增大,在变形达到 b 点时,力值达到最大,即峰值或破裂力 F_{max} 的值,b 点对应的变形量即是达到破裂力时对应的变形量 ΔL ,此时可观察到试样有一道明显的裂缝和出水现象,说明白萝卜已经破损;此后设备仍对白萝卜进行压缩,力值随着变形量的增大而减小,这一点可以从图 1 中 bc 段看出;cd 段则表明压缩到 c 点时,试样已被破坏,设备便停止继续压缩开始自动返回,这一返回的过程,力急剧变小直到为零,而变形量则为 c 点所对应的变形量。

弹性模量按式(1)计算:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{F_{max}}{A} \times \frac{L}{\Delta L} \quad (1)$$

式中:

E ——弹性模量,MPa;

σ ——应力,MPa;

ϵ ——应变;

F_{max} ——试样受到的破裂力,N;

A ——试样受力面积, mm^2 ;

L ——试样初始长度,mm;

ΔL ——试样破裂时对应的变形量,mm。

2 结果与分析

白萝卜的力学特性试验条件如未特殊注明,试验样品的含水率均是初始湿基含水率(95.12 g/100 g),加载速度均为 10 mm/min,加载方向均为轴向。

2.1 加载部位对白萝卜弹性模量的影响

由图 2 可知,白萝卜中部的平均弹性模量为 2.16 MPa,

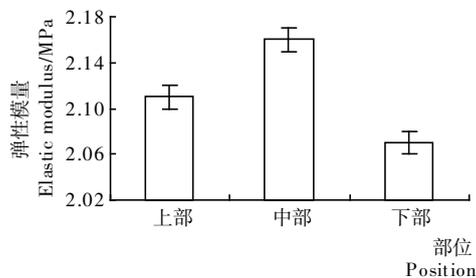


图 2 白萝卜不同部位的弹性模量

Figure 2 The elastic modulus in different parts of white radish

上部为 2.11 MPa,下部为 2.07 MPa;说明白萝卜不同部位的力学性能存在差异,其中部的抗压能力较强,下部较弱,故后续试验均采用白萝卜的中部作为样品。

2.2 加载方向对白萝卜弹性模量的影响

由图 3 可知,白萝卜轴向压缩时弹性模量为 2.19 MPa,径向弹性模量为 1.98 MPa,差异较明显;这与张洪霞等^[10]研究所得的萝卜不同方向存在差异的结果是一致的;由此可以得出,白萝卜是各向异性的,且白萝卜轴向抗压能力比径向抗压能力强,故后面均按轴向施力的加载方式进行试验。

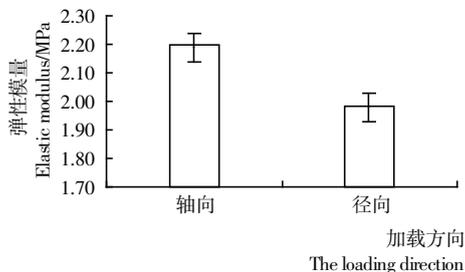


图 3 白萝卜在不同加载方向的弹性模量

Figure 3 The elastic modulus in different loading directions of white radish

2.3 加载速度对白萝卜应力、弹性模量的影响

由表 1 可知,加载速度的改变会对应力、弹性模量等力学性质产生影响,但其影响没有加载方向对力学性质的影响大。由表 2 可知,在 α 为 0.05 的情况下, $F = 0.715 < F_{crit} = 2.759$,说明加载速度对弹性模量的影响不显著。

表 1 白萝卜在不同加载速度的应力、弹性模量

Table 1 The stress, elastic modulus in different loading speeds of white radish

加载速度 v / ($mm \cdot min^{-1}$)	应力 σ_{max} / MPa	弹性模量 E / MPa
10	0.70	1.95
20	0.75	2.26
30	0.57	2.03
40	0.60	2.20
50	0.64	2.23

表 2 加载速度对弹性模量的方差分析

Table 2 The ANOVA of loading speeds to the elastic modulus

差异源	方差	自由度	均方差	F 值	P 值	显著性
组间	0.451	4	0.113	0.715	0.590	
组内	3.942	25	0.158			
总计	4.393	29				

2.4 不同含水率下白萝卜的应力、弹性模量

由表 3 可知,含水率的变化会对白萝卜的力学性质产生影响。由图 4 可知,弹性模量、应力值随含水率的降低呈线性增大,这与前人^[12,13]得出的一些农业物料弹性模量随着含水率降低而增大的结果一致。究其原因,随着含水率降低,白萝卜逐渐变干、变硬甚至脆化,使干物质变得更加紧凑坚固,其抗压能力变得越来越强,弹性模量也越来越大。由表 4 可知,含水率与应力、弹性模量呈明显的线性关系。

表 3 白萝卜在不同含水率下的应力、弹性模量

Table 3 The stress, elastic modulus in different moisture content of white radish

湿基含水率 $M/$ ($10^{-2}g \cdot g^{-1}$)	应力 $\sigma_{max}/$ MPa	弹性模量 $E/$ MPa
95.12	0.73	2.48
79.63	0.97	2.63
71.25	2.20	5.19
61.48	2.23	5.78
49.13	3.10	7.14
40.08	4.06	9.31
31.20	4.77	10.37

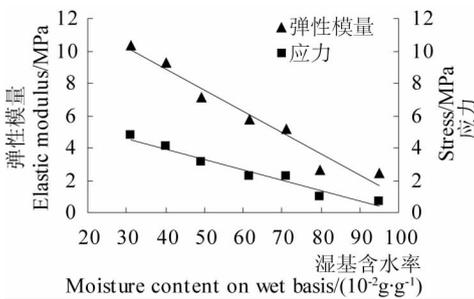


图 4 白萝卜应力、弹性模量随湿基含水率的拟合曲线

Figure 4 The fitting curves of elastic modulus and stress of white radish with moisture content on wet basis

表 4 白萝卜不同含水率下应力、弹性模量的回归方程

Table 4 The regression equation of stress, elastic modulus in different moisture content of white radish

指标	回归方程	R^2
应力	$\sigma = -0.0655M + 6.5892$	0.9550
弹性模量	$E = -0.1322M + 14.1880$	0.9471

3 结论

(1) 白萝卜中部的弹性模量最大,即其抗压能力最强,上部次之,下部最弱;白萝卜是各向异性的,且轴向抗压能力比径向抗压能力强。

(2) 含水率与弹性模量、应力呈明显的线性关系,均随着含水率的减小而增大。

(3) 白萝卜在分级装箱、运输及储藏过程中建议竖着装箱,避免其径向受力。

参考文献

- 朱信阳, 李军民. 白萝卜的开发价值及其栽培技术[J]. 中国果菜, 2010(3): 28~29.
- 尹显锋, 刘丹. 浅谈白萝卜的开发利用现状[J]. 中国果菜, 2011(26): 139~142.
- 长戈. 云南萝卜产业的崛起与前瞻[J]. 致富天地, 2006(4): 43.
- 王春丽, 张贵生. 萝卜的研究价值及开发应用前景[J]. 长江蔬菜, 2011(10): 57~59.
- Martin G, Alison E. Fracture strengths of potato tissue under compression and tension at two rates of loading[J]. Food Research International, 1995, 28(4): 397~402.
- Bajema R W, Hyde G M, Baritelle A L. Turgor and temperature effects on dynamic failure properties of potato tuber tissue[J]. Transactions of the ASAE, 1998, 41(3): 741~746.
- 雷得天, 马小愚. 马铃薯组织破坏时的力学性能及其流变学模型[J]. 农机机械学报, 1991(2): 63~67.
- 徐树来, 魏晓东, 刘磊, 等. 固体农业物料力学特性的研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 1998, 10(3): 40~44.
- 王荣, 焦群英, 魏德强, 等. 葡萄与番茄宏观力学特性参数的确定[J]. 农机工程学报, 2004, 20(2): 54~57.
- 张洪霞, 许昌龙, 曾明. 萝卜的常规力学性质的试验研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2003, 15(2): 79~81.
- 潘丽军, 陈锦权. 试验设计与数据处理[M]. 南京: 东南大学出版社, 2007.
- 李季成, 权龙哲, 罗立娜. 稻米含水率对其弹性模量的影响[J]. 东北农业大学学报, 2008, 39(4): 1~4.
- 吴明清, 郭文松, 李传峰. 红枣含水率对其弹性模量的影响分析[J]. 塔里木大学学报, 2013, 25(3): 14~17.