

莲藕屈服强度和抗压强度的测定与分析

郭洋民 夏俊芳 肖科星 桂 鹏

华中农业大学工学院, 武汉 430070

摘要 为探讨莲藕在压缩过程中的受力情况和不同藕节在不同的加载速率下抗压强度的变化规律, 采用质构仪对鄂莲 3537 的不同藕节进行压缩试验, 分析在不同的压缩速率下藕节间的压力-位移曲线, 并得到对应的屈服极限和破坏极限。压缩试验测定的结果表明: 各藕节的屈服极限和破坏极限都随着压缩速率的增加而增加; 相同压缩速率下, 3 种藕节屈服极限的大小依次是第 3 节最大、第 2 节次之、第 1 节最小, 不同藕节的破坏极限的大小依次是第 2 节最大、第 3 节次之、第 1 节最小。对屈服极限和破坏极限进行可重复双因素方差分析的结果表明: 压缩速率和不同藕节对莲藕表面的屈服极限和破坏极限有显著影响, 但两者的交互作用对莲藕表面的屈服极限和破坏极限无显著影响。

关键词 莲藕; 压缩; 屈服强度; 抗压强度

中图分类号 Q 66; S 645.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2015)01-0148-04

莲藕是中国重要的水生蔬菜和特色农产品, 具有很高的食用与药用价值, 市场前景广阔。目前, 莲藕从泥塘中采收后主要利用水枪冲刷, 较大的水压冲刷莲藕表面时会造成莲藕损伤。莲藕在贮运过程中, 彼此互相挤压、撞击对莲藕表面也会造成损伤。农业物料的力学特性与物料品种、含水率、成熟度以及物料形状有关^[1-5]。国内外学者利用质地分析仪和万能试验机对莲藕的抗压强度、纵向最大压溃力、表面抗压强度、剪切强度以及藕片与刀片的粘附力进行了测试与分析^[6], 并对莲藕的成熟度、切割时的加载速率和刀片刃角对莲藕切割阻力的影响等也进行了观察^[7], 但关于莲藕生物力学特性的研究较少。为减少莲藕在采收和运输贮运过程中的损失, 笔者通过压缩试验, 分析了莲藕不同藕节在不同加载速率下的屈服强度、抗压强度, 以及加载速率和不同藕节对屈服极限、抗压极限的影响, 旨在为设计高效率、低损伤、适应性强的莲藕采收和运输机具提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试莲藕于 2014 年 1 月采自湖北省武汉市, 品

种为鄂莲 3537。测试时选取藕节间无破坏, 表面无损伤、无明显缺陷的莲藕备用。

1.2 试验设备

选用美国 FTC 公司生产的 TMS-PRO 型质构仪, 其配套传感器最大量程为 1 000 N; 采用压缩压头为直径 10 mm 平顶圆柱压头。

1.3 测试方法

莲藕的形状差异较大, 同根莲藕上部分藕节比较短小, 商品化的莲藕一般会去除这些短小的藕节, 剩余部分一般有 3 节, 按照藕节分布顺序从藕根向外依次定义为第 1 节、第 2 节、第 3 节^[6]。选择当天采收的莲藕, 以不同的加载速率对莲藕的不同藕节进行压缩试验, 从中分别随机挑选出藕节粗细大致相同的莲藕 12 株, 按照不同压缩速率的需要分为 4 组, 每组试验重复 3 次, 试验样本共计 36 个, 测试时对藕节进行编号。压缩试验完成后将藕节中间部分切下, 进行含水率的测量。

压缩试验开始时, 将莲藕水平放置在质构仪压缩平台上。莲藕含水率较高, 属于软质物料, 故采用的压缩速度范围应该在 10~50 mm/min^[3]。试验采取 15、25、35、45 mm/min 4 种不同的加载速率匀速的施加载荷。莲藕的内部是有空隙的, 且边孔到

收稿日期: 2014-04-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(51275196); 国家公益性行业(农业)科研专项(201203059)

郭洋民, 硕士研究生。研究方向: 现代农业装备设计。E-mail: guoyangminniu@163.com

通信作者: 夏俊芳, 博士, 教授。研究方向: 现代农业装备设计。E-mail: xjf@mail.hzau.edu.cn

表皮的范围是 4~10 mm^[6]。为避免边孔对莲藕压缩特性的影响,并保持试验所得数据能够反映莲藕的物理机械特性,压缩的目标位移设置为 4 mm。

2 结果与分析

2.1 莲藕藕节压缩过程中压力的变化规律

莲藕在压缩过程中的压力-位移的关系均类似于图 1 所示的曲线。从中选取样本鄂莲 3537 第 2 节在加载速率为 25 mm/min 时得到的压力-位移变化曲线。如图 1 所示,分析莲藕在压缩过程中压缩力随位移的变化规律。

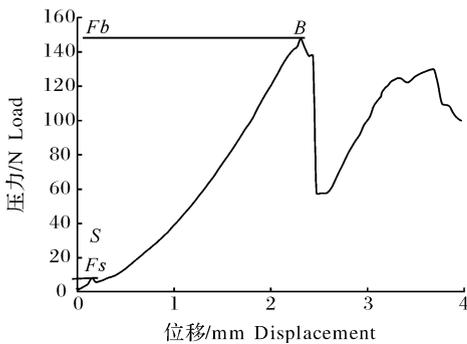


图 1 莲藕压缩过程中压力-位移变化曲线

Fig. 1 Force-displacement curve of lotus root during the compression process

由图 1 可以看出,平顶圆柱压头在进行加载的时候曲线有 2 个明显的峰值点: S 点和 B 点。从原点到 S 点的加载阶段,压力随位移的增加而平稳的增加。到达 S 点时出现第 1 个峰值,此点称为生物的屈服极限点,所对应纵坐标的压力值 F_s 称之为生物屈服极限。此时莲藕吸收外部压力传递的能量称为变形能,其数值为生物屈服点下方变形曲线与横坐标围成的面积。在试验过程还发现,压力小于 F_s 时压头不会对莲藕产生明显的损伤^[8]。当压力继续增加时,压缩将进入塑性变形过程,这个过程产生的变形和损伤不可恢复。直到曲线达到 B 点时出现第 2 个峰值, B 点称为破坏极限点,所对应纵坐标的压力值 F_b 称为破坏极限。压力达到破坏极限时,莲藕表面出现明显压痕,此时莲藕果实所吸收的能量称为破坏能。

2.2 莲藕压缩特性参数的分布规律

莲藕不同藕节在不同的压缩速率下的生物屈服极限、破坏极限的分布规律如图 2 和图 3 所示。

由图 2 和图 3 可以看出,测试过程中,当压缩速

度从 15 mm/min 增加到 45 mm/min 时,各藕节的屈服极限和破坏极限都随之增加。这是因为莲藕含水率较高,组织较脆嫩,随着压缩速度的增加,莲藕果实细胞内液体的粘性阻尼也随之增大,故承载能力提高^[9]。

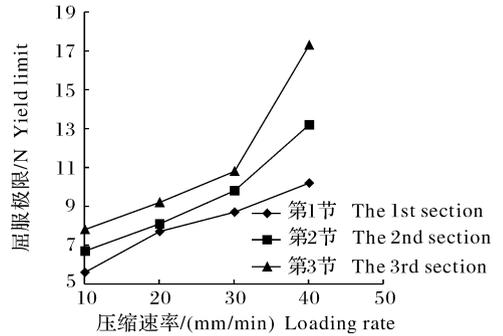


图 2 莲藕屈服极限的分布规律

Fig. 2 The distribution of lotus root yield limit

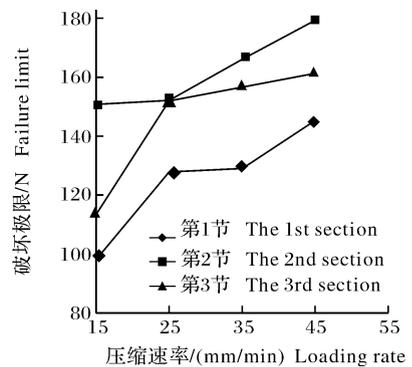


图 3 莲藕破坏极限的分布规律

Fig. 3 The distribution of lotus root failure limit

由图 2 可知,在不同藕节之间屈服极限的大小依次是第 3 节最大、第 2 节次之、第 1 节最小。由图 3 可知,不同藕节破坏极限的大小关系依次是第 2 节最大、第 3 节次之、第 1 节最小。莲藕在破坏极限点时,莲藕组织内部细胞发生滑移、变形,在宏观上表现为结构的破坏。

因此,在实际应用中,可以根据莲藕不同藕节的压缩特性来选择应用方案,如第 1 节比较适合直接切片进行深加工,可以减少加工机械的功率消耗。而第 2 节和第 3 节,抵抗机械损伤能力更强,更适合于储藏、运输。

2.3 藕节间的屈服极限和破坏极限

不同压缩速率下莲藕不同藕节的屈服极限和破坏极限值如表 1 所示。对其进行可重复双因素方差分析,可获得压缩速率、藕节及其交互作用对莲藕屈服极限影响的差异程度。由表 2 可知,压缩速率在

15~45 mm/min 范围时,对莲藕 3 种藕节的屈服极限影响极显著($P<0.01$)。分析结果表明,莲藕的不同藕节在各个速率下对莲藕的屈服极限影响也是极显著($P<0.01$)。压缩速率和不同藕节的交互作用对莲藕的屈服极限无显著影响($P>0.05$)。

同理,对莲藕不同藕节在不同压缩速率下的抗压强度进行可重复双因素方差分析,结果显示:压缩速率对抗压强度的影响概率 P 值为 $2.28 \times 10^{-5} < 0.01$,表明压缩速率对抗压强度的影响为极显著;不同藕节对抗压强度的影响概率 P 值为 $6.37 \times 10^{-6} < 0.01$,表明不同藕节对抗压强度的影响也是极显著;藕节与压缩速率的交互作用对抗压强度的影响概率 P 值为 $0.4076 > 0.05$,表明两者的交互作用对抗压强度的影响不显著。

表 1 不同藕节在不同压缩速率下的屈服极限和破坏极限
Table 1 The yield limit and failure limit of different internodes with different loading rate

压缩速率/ (mm/min) Loading rate	屈服极限 Yield limit			破坏极限 Failure limit		
	1	2	3	1	2	3
15	4.2	6.1	5.4	72.7	148.3	117.7
	5.3	6.4	7.8	139.7	147.4	125.2
	7.3	7.6	10.2	82.0	156.8	97.4
25	5.3	7.9	7.3	102.8	150.2	157.7
	7.3	8.0	9.0	136.8	152.3	158.0
	10.5	8.4	11.3	144.6	153.9	140.3
35	6.8	8.7	10.6	127.1	166.6	159.3
	9.4	10.2	10.8	137.9	163.6	155.7
	9.9	10.5	11.0	122.0	168.2	154.8
45	8.4	11.7	14.0	153.6	186.3	168.0
	10.3	13.6	15.3	143.2	181.3	162.7
	11.9	14.3	22.6	139.2	170.2	153.2

表 2 莲藕不同藕节在不同压缩速率下的屈服强度方差分析

Table 2 The variance analysis of yield strength with different lotus internodes and different rates

差异源 Variation factor	平方和 Sum of squares	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	F 值 F value	P 值 P value	F 评判 F crit
样本 Sample	231.9875	3	77.32917	18.57758	1.89×10^{-6}	3.008787
列 Column	62.765	2	31.3825	7.539339	0.002879	3.402826
交互 Interaction	30.955	6	5.159167	1.239439	0.321594	2.508189
内部 Internal	99.9	24	4.1625			
总计 Total	425.6075	35				

3 讨论

通过压缩试验得到莲藕在压缩过程中的压力-位移曲线,以及对曲线中力的变化分析,可得到莲藕在压缩过程中力的变化规律,发现莲藕在压缩过程中压力存在 2 个峰值点,即屈服极限和破坏极限。压力小于屈服极限时,莲藕表面并没有产生明显伤痕,压力值从屈服极限向破坏极限逐渐增加时,莲藕进入塑性变形阶段。莲藕在破坏极限点时,莲藕组织内部细胞发生滑移、变形,在宏观上表现为结构的破坏。

压缩试验结果表明:当质构仪的压缩速率从 15 mm/min 增加到 45 mm/min 时,各个藕节的屈服极限和破坏极限都随着增加;在不同藕节之间,屈服极限的大小依次是第 3 节最大、第 2 节次之、第 1 节最小;不同藕节的破坏极限的大小关系依次是第 2 节最大、第 3 节次之、第 1 节最小。

对不同压缩速率下莲藕不同藕节的抗压强度值进行可重复双因素方差分析的结果表明:压缩速率在 15~45 mm/min 范围内变化时,对莲藕 3 种藕节

的破坏极限和屈服极限影响极显著($P<0.01$)。莲藕的不同藕节对各个速率下的破坏极限和屈服极限影响也是极显著($P<0.01$),而压缩速率和不同藕节的交互作用对莲藕的屈服极限和破坏极限无显著影响($P>0.05$)。

试验结果表明,莲藕不同藕节在不同压缩速率下的压缩特性差异明显,这可为莲藕的采挖、运输及加工相关方面的力学参数选择提供理论基础,如第 1 节比较适合直接切片进行深加工,而第 2 节和第 3 节抵抗机械损伤能力更强,更适合储藏与运输。但农业物料的物理特性变化较大,本试验仅对鄂莲 3537 单一品种莲藕的压缩规律进行了分析,今后还应选择其他品种的莲藕进行试验,进一步系统探讨莲藕的抗压特性和压缩规律。

参 考 文 献

- [1] 陈坤杰,徐伟梁. 含水率对稻谷机械特性的影响[J]. 农业机械学报, 2005, 36(11): 171-172, 175.
- [2] CUQ B, GONCALVES F, MAS J F. Effects of moisture content and temperature of spaghetti on their mechanical proper-

- ties [J]. Jour of Food Engi, 2003, 59(1): 51-60.
- [3] AYDIN C. Physical properties of almond nut and kernel [J]. Jour of Food Eng, 2003, 60(3): 315-320.
- [4] NIMKAR P M, CHATTOPADYAY P K. Some physical properties of green gram [J]. Jour of Agri Engi Rese, 2001, 80(2): 183-189.
- [5] 谢丽娟. 莲子破裂最佳位置的有限元模拟及试验研究[D]. 武汉: 华中农业大学图书馆, 2005.
- [6] 毕伟. 莲藕物料特性及切片技术研究[D]. 镇江: 江苏大学图书馆, 2006.
- [7] 袁巧霞, 胡凌. 莲藕切割阻力影响因素试验分析[J]. 农业机械学报, 2008, 39(2): 208-211.
- [8] 李小昱, 王为. 苹果压缩特性的研究[J]. 西北农业大学学报, 1998, 26(2): 107-110.
- [9] 吴德光, 蒋小明. 农产品压缩试验研究及其应用 I. 压缩试验方法[J]. 云南农业大学学报, 1990, 5(3): 171-176.

Determination and analysis on the yield strength and compressive strength of lotus roots

GUO Yang-min XIA Jun-fang XIAO Ke-xing GUI Peng

College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract In order to analyze the loading variation of lotus roots during the process of being compressed and the variation rules of compressive strength of different lotus rhizome nodes under different loading rates, different lotus rhizome nodes of Elian 3537 were selected as the research objects. The pressure displacement curves of different lotus rhizome nodes under different compressive rates were obtained from compression tests by using the texture analyzer, and the corresponding yield limit and failure limit were obtained, too. The result showed that the yield limit and failure limit increased with the rise of the compressive rates. When compressing rate was the same, the 3rd of the lotus rhizome nodes could sustain the maximum yield limit, followed by the 2nd, and the the 1st the minimum. As for the failure limit of the lotus rhizome nodes, the 2nd has the maximum one, followed by the 3rd, and the 1st successively. Two-factor variance analysis with duplication was used to analyze the yield limit and the failure limit, the results showed that both the compression rate and the lotus rhizome nodes had significant effect on the compressive strength of the lotus root surface. Meanwhile, the interaction between them had no significant effect on the compressive strength of lotus root surface.

Key words lotus root; compression; yield strength; compressive strength

(责任编辑: 陈红叶)