

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2017.02.023

青菜头物理力学特性研究^①

薛元鹏, 陈俊杰, 叶进, 杨仕,
刘玲, 柳剑, 曾百功

西南大学 工程技术学院, 重庆 400715

摘要: 通过田间试验和实验室测定, 采用 SPSS 统计分析对收获期青菜头的物理特性进行分析, 得到了青菜头主要物理特性指标值的变化区间和分布频率; 应用 HG-500 数显推拉力计配套的软件, 通过拉伸试验法对收获期青菜头的拔取力、抗拉强度以及根茎剪切力等力学特性进行测试和分析, 得出了青菜头土壤自然状态下最大拔取力、茎叶的抗拉强度和根的抗剪强度等力学特性, 为青菜头收获和加工机械系统的开发提供科学依据。

关键词: 青菜头; 物理特性; 力学特性

中图分类号: S23

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2017)02-0147-06

青菜头的植物学名称是茎瘤芥, 通常又叫做包包菜、羊角菜、笋子菜、棒菜、榨菜等。青菜头栽培的原产地是川东长江流域地区, 目前青菜头的种植主要分布在重庆、浙江两省, 四川、湖北、江西、福建、江苏、安徽、河南等省也有栽培^[1]。闻名世界的涪陵榨菜, 作为重庆的一张特色名片, 也是中国重要的非物质文化遗产, 其主要原材料便是青菜头。随着农村劳动力的日益短缺和劳动力成本的不断增加, 特别是人工收获量大面广的榨菜青菜头, 工作环境差、劳动强度大、工作效率低, 已严重影响榨菜的产量、品质和经济效益, 成为制约榨菜产业可持续发展的一个重要因素。然而, 目前市场上青菜头收获机械仍是空白, 研发青菜头收获机械已迫在眉睫。

青菜头的基本物理力学特性是其收获机械装备设计与开发的基本依据, 是使收获机械和操作规程达到最佳工作性能、最大生产效率和最优质量的基础, 目前未见关于青菜头物理特性研究的相关文献。

本研究以收获期青菜头为研究对象, 通过基本几何参数测定, 探索其分布规律; 通过其拔取力、抗拉强度的测定, 可以为拔取夹持带的设计提供依据; 通过其根茎剪切力的测定, 为青菜头收获机切根装置提供依据^[2-3]。

1 试验材料及方法

1.1 试验材料

2015 年 1 月 24 日和 2 月 7 日在涪陵榨菜现代农业科技园区试验田进行了两次试验, 实验室使用的青菜头也取自该试验点。为防止青菜头因水分流失而影响试验效果, 获取的青菜头在 24 h 内完成了相关的实验室试验。试验的青菜头品种为涪杂 2 号品种, 其种植模式为平作, 育苗后人工移栽, 株距行距均为 30 cm, 地块坡度在 5~10°。

① 收稿日期: 2016-03-29

基金项目: 重庆市烟草专卖局科技计划项目(NY20140401070013); 重庆市农业技术创新工程中心自拟项目(NJXC2015001)。

作者简介: 薛元鹏(1991-), 男, 重庆梁平人, 硕士研究生, 主要从事农业机械研究。

通信作者: 叶进, 教授。

1.2 试验仪器及装置

海宝 HG-500 数显推拉力计(量程 0~500 N, 精度 0.1 N); ACS-30 电子计量秤(华鹰衡器有限公司); DGG-9070AD 型电热恒温鼓风干燥箱(上海森信试验仪器有限公司); 土壤硬度仪(0~40 mm, 0~500 kg/cm²); YB 电子天平(上海海康电子仪器厂); 自制的根茎剪切力测试装置; 游标卡尺、皮尺、钢直尺、角度测量仪、电子称、玻璃绳、记号笔、数码相机、电脑等仪器设备。

1.3 试验方法

1.3.1 土壤物理特性的测定

选择土壤含水率、土壤硬度和土壤比质量 3 个参数为土壤物理特性评价指标^[4-5], 3 项指标均随机在 10 处采集 10 份样土。土壤含水率采用烘干法, 参照 NY/T52-1987 土壤水分测定法; 土壤强度采用土壤硬度仪直接测量; 土壤比质量采用环刀法, 计算公式^[6]为

$$d_{vi} = \frac{M_i \times 100}{V(100 + W_i)}$$

式中: d_{vi} 为第 i 份土样的土壤比质量, g/cm³; M_i 为第 i 份土样的湿土质量, g; V 为环刀容积, cm³; W_i 为土壤含水率, %。

1.3.2 青菜头基本几何参数的测定

参照青菜头生物学特性, 结合青菜头收获机的设计要求^[7], 选择青菜头茎瘤最大直径、距离球顶 5 cm 和 10 cm 处叶片展开最大宽度、实根和虚根长度、叶片夹角、植株质量、叶柄合拢处宽度等参数作为青菜头几何参数的评价指标, 分别测量每个样本的基本几何特征值, 用 SPSS 分析预测其变化区间及分布规律。青菜头几何特征测定术语如图 1 所示。样本选取按照 5 点取样法进行选取, 采样数量在 30~50 个之间。

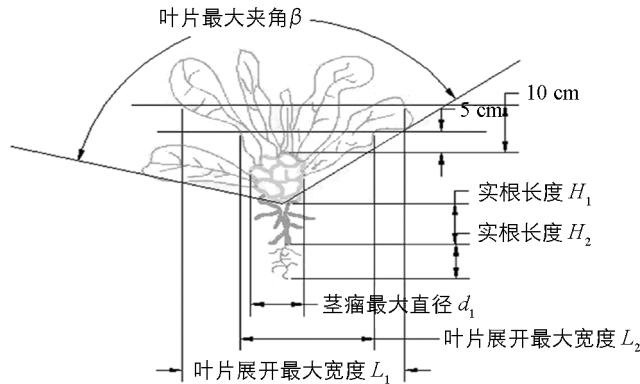


图 1 青菜头几何特性图



图 2 青菜头几何参数的测定

1.3.3 青菜头拔取力的测定

拔取力测定试验是测定整株青菜头完整地土壤里拔取出来时需要的力^[8-9]。用绳子系于青菜头茎叶的中部, 然后连接 HG-500 数显推拉力计, 测力计另一端与电脑相连, 如图 3 所示。与测力计配套的软件能够记录下青菜头在拔取过程中所施加力的全过程, 每 0.2 s 记录一个数据, 最终得到一条拔取力曲线。采用 5 点取样法选取 30 个样本。

1.3.4 青菜头抗拉力的测定

为测定青菜头的茎叶抗拉力, 测定中我们将青菜头植株的菜头部分用绳索固定于地面, 然后夹持叶柄向上拔取并逐渐增大拔取力, 直至叶柄全部断裂为止, 所测得最大瞬时拔取力即为青菜头叶柄的极限抗拉值。

1.3.5 青菜头根茎剪切力的测定

剪切分为正切和滑切两种基本形式, 本文对青菜头根部进行了正切以及多个角度的滑切试验, 所设计的试验装置如图 4 所示。将青菜头扶持住并将根部需要进行剪切的部位靠牢在定刀片之上, 另一边用手推动活动放置于导轨之上的带有测力组件和手柄的刀架, 沿导轨滑动完成对青菜头根的剪切并获得剪切力的实时数据。以离菜头球茎底部的距离为一个参数, 以动刀片相对定刀片的夹角为另一个参数设计试验, 以探索两个因素对切根力大小的影响规律^[10]。



图 3 青菜头拔取力的测定

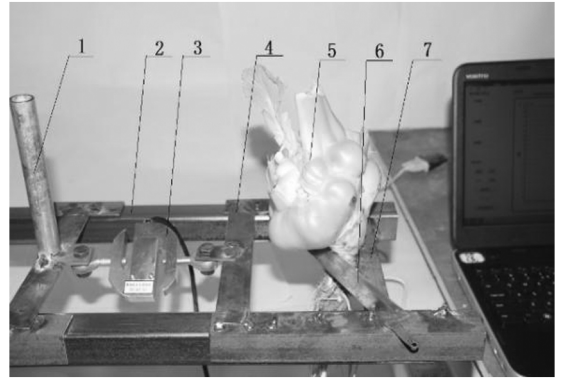
图 4 根茎剪切力测定装置
1. 推力手柄; 2. 导轨架; 3. 测力计; 4. 动刀片安装座; 5. 青菜头;
6. 动刀片; 7. 定刀片.

图 4 根茎剪切力测定装置

2 结果与分析

2.1 土壤物理特性

测定的土壤物理特性结果如表 1 所示. 土壤的含水率(26.35 ± 3.07)%, 土壤强度(18.26 ± 3.14) kg/cm^2 , 土壤容质量(1.89 ± 0.23) g/cm^3 , 试验地土壤结构状况具有代表性.

表 1 土壤物理特性参数

| 统计指标 | 土壤湿度/% | 土壤强度/ $(\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2})$ | 土壤容质量/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$ |
|------|--------|--|--|
| 平均值 | 26.35 | 18.26 | 1.89 |
| 最大值 | 29.42 | 21.4 | 2.12 |
| 最小值 | 23.28 | 15.12 | 1.66 |
| 标准差 | 1.91 | 1.92 | 0.13 |
| 变异系数 | 0.07 | 0.11 | 0.07 |

2.2 青菜头基本物理特性

青菜头茎瘤最大直径 d 、距离球顶 10 cm 和 5 cm 处叶片展开最大宽度 L_1 和 L_2 、实根和虚根长度 H_1 和 H_2 、叶片夹角 β 、植株质量、叶柄合拢后断面最大直径 D 的测试结果如表 2 所示.

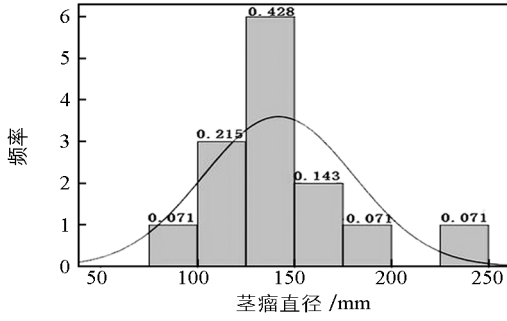
表 2 青菜头基本物理特性参数

| 特性参数 | 茎瘤的最大 | 叶片展开最大宽度/mm | | 根长/mm | | 叶片 夹角/ $^\circ$ | 质量/kg | | | 叶柄合拢后 断面最大 直径/mm |
|------|-----------|---------------|----------------|-------|----------|-----------------------|-------|------|------|------------------------|
| | 直径/ mm | 距离球 顶 5 cm | 距离球 顶 10 cm | 实根 | 加上 须根 | | 整株 | 去叶 | 球茎 | |
| 最大值 | 189 | 130 | 279 | 60 | 50 | 106 | 1.39 | 0.83 | 0.61 | 101 |
| 最小值 | 104 | 107 | 134 | 16 | 20 | 58 | 0.99 | 0.57 | 0.38 | 66 |
| 平均值 | 147.8 | 120 | 183.9 | 32.2 | 34.7 | 79.7 | 1.18 | 0.7 | 0.47 | 80 |
| 标准差 | 38.74 | 11.11 | 56.4 | 15 | 14 | 17.6 | 0.18 | 0.11 | 0.1 | 16.44 |
| 变异系数 | 0.27 | 0.09 | 0.31 | 0.46 | 0.41 | 0.22 | 0.15 | 0.16 | 0.2 | 0.2 |

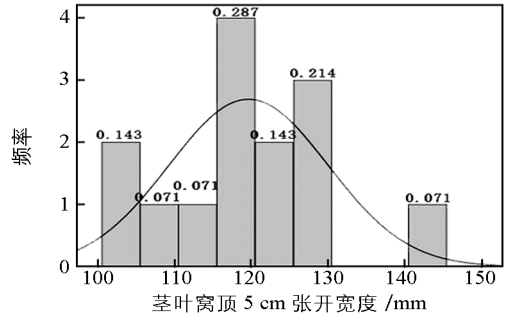
经过 SPSS 统计分析软件对测试结果数据进行处理后得到了茎瘤直径、叶片展开宽度、根长、叶片夹角、植株质量等测试指标的概率分布直方图和正态分布曲线图, 如图 5 所示. 通过对成熟期青菜头基本物理特性参数的检测和对数据的分析总结, 基本了解了青菜头各外形参数的基本范围, 为后期试验样机的设计和制作提供了必不可少的参考依据和数据基础.

2.3 青菜头拔取力和拔取效果

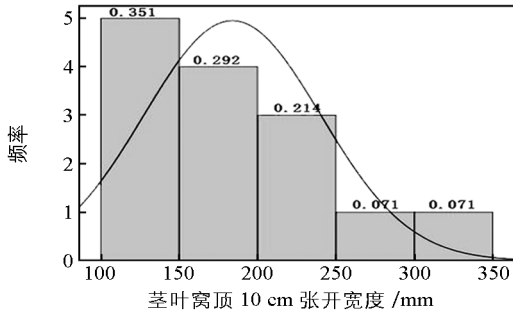
在自然土壤状态下进行青菜头拔取, 30 个样本中, 有 22 个青菜头被拔出, 另外 8 个青菜头在拔取的过程中茎叶断裂, 青菜头未被拔出, 青菜头的拔取成功率为 73.33%. 青菜头被拔出所需拉力测量结果如表 3 所示, 约有 86.7% 的青菜头所需拔取力在 110~230 N.



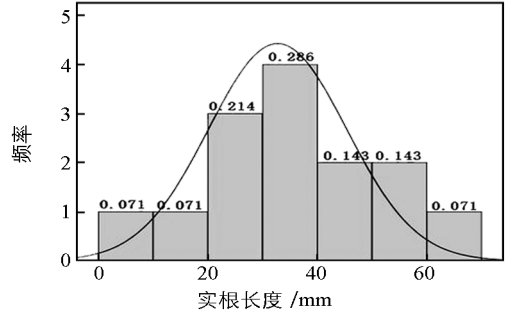
(a) 茎瘤最大直径频率分布



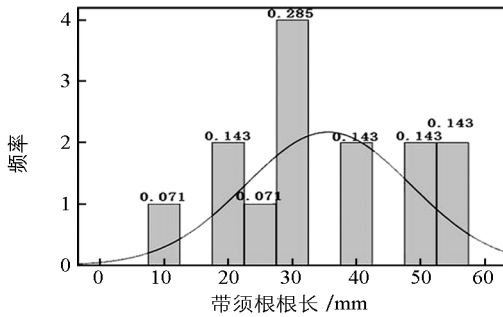
(b) 茎叶离球茎顶部 5 cm 展开最大宽度频率分布



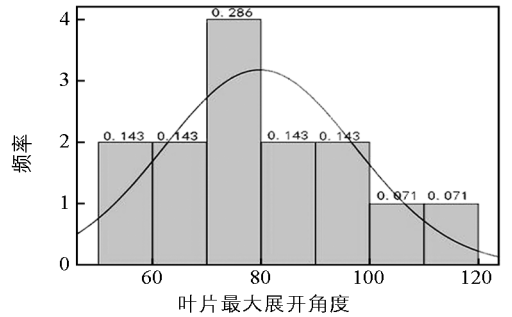
(c) 茎叶离球茎顶部 10 cm 展开最大宽度频率分布



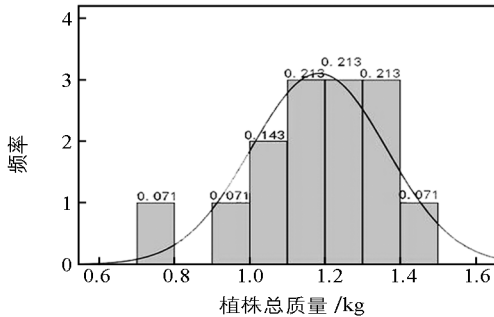
(d) 实根长度频率分布



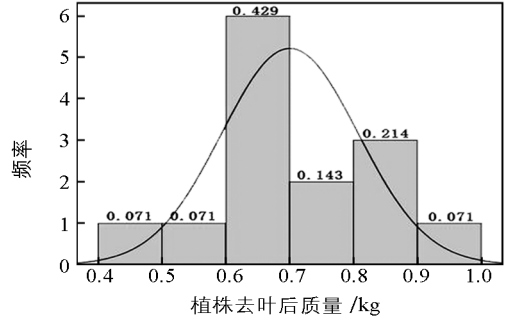
(e) 根总长 (连须根) 频率分布



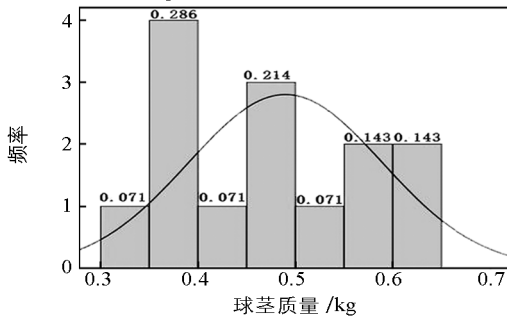
(f) 叶片间最大夹角频率分布



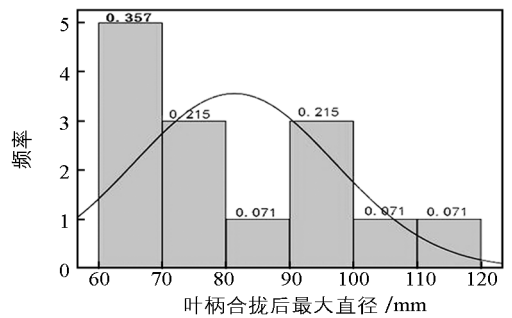
(g) 成熟植株总质量频率分布



(h) 成熟植株去叶后质量频率分布



(i) 成熟球茎质量频率分布



(j) 叶柄合拢后最大断面直径频率分布

图 5 青菜头主要物理参数概率分布直方图

表 3 土壤自然状态下青菜头拔取力

| 统计指标 | 拔取力/N | 统计指标 | 拔取力/N |
|------|-------|------|-------|
| 平均值 | 162.9 | 标准差 | 35.9 |
| 最大值 | 234.2 | 变异系数 | 0.2 |
| 最小值 | 82.5 | | |

2.4 青菜头茎叶抗拉力分析

测定结果如表 4 所示, 约有 85.7% 青菜头的抗拉力在 150~240 N。

表 4 茎叶抗拉强度试验测定结果

| 统计指标 | 茎叶抗拉强度/N | 统计指标 | 茎叶抗拉强度/N |
|------|----------|------|----------|
| 最大值 | 288.1 | 标准差 | 57.54 |
| 最小值 | 148.8 | 变异系数 | 0.25 |
| 平均值 | 228.01 | | |

2.5 青菜头根茎剪切力分析

从表 5 可以看出, 每个青菜头根的剪切力大小均随着剪切位置与青菜头茎瘤底部的距离增大而增大, 其造成的原因主要是主根的木质化情况, 离茎瘤底部越远, 木质化越严重, 其纤维也越多。根的剪切力随着动定刀片间夹角的增大而减小, 综合考虑动刀片行程, 取夹角达到 60° 左右时为最佳。

表 5 根剪切力检测结果

| 动定刀片夹角 | 统计指标 | 剪切位置距离球茎底端距离/mm | | |
|--------|-------|-----------------|---------|--------|
| | | 20 | 10 | 0 |
| 15 | 平均值/N | 379.76 | 253.16 | 213.66 |
| | 最大值/N | 473.3 | 381.9 | 242.5 |
| | 最小值/N | 320.5 | 172.8 | 176.7 |
| | 标准差 | 59.51 | 101.95 | 28.20 |
| | 变异系数 | 0.16 | 0.40 | 0.13 |
| 30 | 平均值/N | 251.25 | 193.36 | 142.46 |
| | 最大值/N | 358.5 | 259.8 | 155.3 |
| | 最小值/N | 177.1 | 165.8 | 116.2 |
| | 标准差 | 52.22 | 36.98 | 33.85 |
| | 变异系数 | 0.21 | 0.19 | 0.24 |
| 45 | 平均值/N | 222.75 | 152.175 | 116.05 |
| | 最大值/N | 250.3 | 172.8 | 176.7 |
| | 最小值/N | 158.5 | 116.3 | 99.3 |
| | 标准差 | 43.136 | 26.5 | 42.1 |
| | 变异系数 | 0.19 | 0.17 | 0.36 |
| 60 | 平均值/N | 174.02 | 128.7 | 100.97 |
| | 最大值/N | 192.5 | 148.3 | 112.9 |
| | 最小值/N | 142.1 | 97.6 | 75.2 |
| | 标准差 | 22.59 | 22.98 | 19.49 |
| | 变异系数 | 0.13 | 0.18 | 0.19 |

3 结 论

在土壤含水率(26.35±3.07)%、土壤强度(18.26±3.14) kg/cm²、土壤容质量(1.89±0.23) g/cm³ 条件下, 对重庆市涪陵地区平作收获期青菜头的物理力学特性进行了研究, 得出结论如下:

1) 85.8% 的青菜头茎瘤直径在 100~200 mm 之间, 92.9% 的青菜头叶柄展开宽度在距离茎瘤顶部 5 cm 处的变化区间在 100~130 mm 之间, 叶柄展开宽度在距离茎瘤顶部 10 cm 处变化区间较为分散, 78.7% 的青菜头实根长度在 20~60 mm 区间变化, 根总长度取值的正态曲线较为平缓, 相对

较为分散; 71.5% 的青菜头叶柄间最大夹角变化区间为 60~100°。成熟植株、去叶后植株以及茎瘤的质量较为集中, 其中有 79% 的植株质量在 0.9~1.4 kg 之间, 93% 的茎瘤质量在 0.35~0.65 kg 之间; 约有 90% 的青菜头叶柄夹拢后断面宽度在 60~100 mm 之间。

2) 田间青菜头生长情况差异较大, 其拔取力为 82.5~234.2 N, 分布较分散。在拔取的过程中, 拔取成功率为 73.33%, 其原因主要是因为青菜头茎叶含纤维较少, 水分较多, 非常容易折断, 加之部分青菜头虚根较为发达, 入土较深, 所需拔取力已经远大于茎叶的抗拉强度。

3) 青菜头茎叶抗拉力为 148.8~288.1 N, 茎叶的抗拉强度差异较大。

4) 青菜头主根离球茎越远, 木质化越严重, 其剪切力也越大, 故根茎剪切装置应尽量靠近青菜头球茎, 剪切装置动定刀片的夹角选择 60°左右为最佳。

5) 土壤物理特性参数的变异系数均小于 15%, 说明土壤结构状况相差不大, 具有代表性; 但青菜头基本物理特性以及拔取力, 茎叶抗拉力和根茎抗剪切力的变异系数绝大多数大于 15%, 说明青菜头个体差异较大, 要想实现机械化收获可考虑从种植农艺上进行配套改进。

参考文献:

- [1] 中国农业科学院蔬菜花卉所. 中国蔬菜品种志[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2001.
- [2] 陈海涛, 任珂珂, 余嘉. 北方垄作萝卜物理力学特性[J]. 农业工程学报, 2016, 6(26): 163-169.
- [3] 李凯锋, 杨炳南, 杨德秋, 等. 胡萝卜物理力学特性的试验研究[J]. 农机化研究, 2016(5): 169-175.
- [4] 邵明安, 王全九, 黄明斌. 土壤物理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [5] 国家标准局. 土壤水分测定法: NY/T 52-1987 [S/OL]. (2015-12-11) [2016-01-10]. <http://www.tsinfo.js.cn/inquiry/gbtdetails.aspx?A100=NY/T%2052-1987>.
- [6] 黄昌勇, 徐建明. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010.
- [7] 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007.
- [8] 周成, 陈海涛, 李丽霞. 结球甘蓝物理力学特性研究[J]. 农机化研究, 2013(6): 134-138.
- [9] 周成. 甘蓝收获关键技术及装备研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2013.
- [10] 李小强. 4YB-I 型甘蓝收获机的改进设计[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2013.

Study on Physical and Mechanical Properties of Tumorous Stem Mustard

XUE Yuan-peng, CHEN Jun-jie, YE Jin,
YANG Shi, LIU Ling, LIU Jian, ZENG Bai-gong

School of Engineering and Technology, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: In order to provide a scientific guidance for the development of the harvester and the processing machine system for tumorous stem mustard (*Brassica juncea* var. *tumida* Tsen et Lee), based on the data of field and lab measurements of the crop at harvest, the SPSS software was employed to analyze its physical properties. The variation range and distribution frequencies of the main physical property indexes were obtained. A tensile test was carried out to test the mechanical properties using the software of digital force gauge HG-500, and the maximum pulling force for the crop under natural soil conditions, the tensile strength of the stem and the leaves and the cut force of the root were obtained simultaneously.

Key words: tumorous stem mustard; physical property; mechanical property

