

荸荠叶状茎形态解剖结构与抗倒伏性比较分析

江文¹, 高美萍¹, 陈丽娟¹, 蔡炳华¹, 黄诚梅²,
方彦蓉¹, 何青石³, 赖松新³

(1. 广西壮族自治区农业科学院生物技术研究所 南宁 530007; 2. 广西作物遗传改良生物技术重点开放实验室 南宁 530007; 3. 贺州市八步区农业科学研究所 广西贺州 542800)

摘要:以 10 个荸荠品种为材料, 采用石蜡切片法研究荸荠叶状茎显微结构与品种间差异及其与荸荠抗倒能力的关系。结果显示, 荸荠叶状茎横切面为圆形或是近圆形, 由表皮、同化组织、维管束和气腔组成; 表皮厚度在 11.699~14.691 μm 之间, 以大红袍的最薄, 桂蹄 3 号次之, 桂蹄 2 号最厚; 角质层厚度为 1.386~2.133 μm , 以贺州芳林最薄, 桂蹄 2 号最厚; 同化组织栅栏状排列, 向内是维管束, 其数量在 46~56 个。抗倒伏品种桂蹄 3 号、桂蹄 2 号、桂蹄 4 号等的维管束宽度与长度均大于易倒伏品种, 其维管束鞘细胞厚度较厚, 细胞排列紧密, 其中桂蹄 3 号综合表现最佳, 而易倒伏品种的维管束鞘较薄。荸荠叶状茎解剖结构的差异可以用于评价不同品种的抗倒伏性强弱, 可为抗倒伏荸荠品种选育提供筛选依据。

关键词:荸荠; 解剖结构; 抗倒伏能力

中图分类号: S645.3 文献标志码: A 文章编号: 1673-2871(2023)03-048-06

Comparative analysis of anatomical structure and lodging tolerance of leaf stem of water chestnut

JIANG Wen¹, GAO Meiping¹, CHEN Lijuan¹, CAI Binghua¹, HUANG Chengmei², FANG Yanrong¹, HE Qingshi³, LAI Songxin³

(1. Biotechnology Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, Guangxi, China; 2. Guangxi Genetic Improvement and Biotechnology Lab, Nanning 530007, Guangxi, China; 3. Babu District Institute of Agricultural Sciences, Hezhou 542800, Guangxi, China)

Abstract: 10 varieties of water chestnut were used as experimental materials. The microstructure of leaf stem and the difference among varieties of water chestnut were investigated and analyzed through the paraffin method. The results showed that the cross section of the leaf stem of water chestnut was round or nearly round, which was composed of epidermis, assimilating tissue, vascular bundle and air cavity. The thickness of skin is between 11.699-14.691 μm , with Dahongpao being the thinnest, followed by Guiti No. 3, and Guiti No. 2 being the thickest. The thickness of cuticle was 1.386-2.133 μm , with the thinnest Hezhoufanglin and the thickest Guiti No. 2. Assimilating tissues were arranged in a palisade shape, and inwards were vascular bundles, with a number of 46-56. The width and length of vascular bundle of lodging tolerant varieties Guiti No. 3, Guiti No. 2, Guiti No. 4 were larger than those of lodging varieties, and the thickness of vascular bundle sheath cells was thicker and the cells were arranged closely, and Guiti No. 3 showed the best comprehensive performance. The vascular bundle sheath of lodging tolerant varieties was thin. The differences of anatomical structure of leaf stem of water chestnut could be used to evaluate the lodging tolerance among varieties.

Key words: Water chestnut; Anatomical structure; Lodging resistance

荸荠 (*Eleocharis tuberosa* Schulut) 属莎草科 (Cyperaceae) 荸荠属 (*Eleocharis* R. Br.), 又名马蹄、地栗、乌芋等, 是莎草科荸荠属多年生草本植物^[1]。

其球茎即可作水果又可当蔬菜, 是我国出口创汇重要农产品之一。近年来, 广西荸荠种植规模发展迅速, 每年栽培面积达 2 万 hm^2 (30 万亩)^[1-2]。荸荠多

收稿日期: 2022-08-18; 修回日期: 2022-12-01

基金项目: 国家现代农业产业特色蔬菜体系贺州综合试验站 (CARS-G-24-21); 国家自然科学基金项目 (32060677); 广西农业科学院基

本科业务费 (桂农科 2021YT086); 广西特色八步马蹄试验站 (TS202125); 广西柳江特色水生蔬菜试验站 (桂 TS202204)

作者简介: 江文, 男, 研究员, 主要从事水生蔬菜品种资源收集、品种选育及示范应用研究。E-mail: 416499386@qq.com

通信作者: 黄诚梅, 女, 副研究员, 主要从事地方特色作物品种高产及分子机制研究。E-mail: 464319569@qq.com

生于池沼中或利用水田栽培,成株期易发生倒伏现象,导致秆枯病严重发生,对荸荠产量影响较大,减产20%~70%,甚至绝产^[3-5]。在玉米^[6]、水稻^[7]、小麦^[8]等禾本科作物上研究表明,茎秆的解剖学结构与其抗倒伏能力有密切关系,抗倒伏能力强的小麦^[9-10]、玉米^[11]、水稻^[7,12]和荞麦^[13]品种,其茎秆粗壮、机械组织细胞层数和维管束数目多且维管束面积大,维管束鞘较厚,细胞层数较多,细胞排列紧密。而荸荠叶片退化,光合作用主要依靠叶状茎为其地下球茎膨大提供能量。因此不同荸荠品种的抗倒伏能力对其产量高低起着关键性的作用,但不同荸荠品种叶状茎的解剖结构及其与抗倒伏能力的关系尚未有相关研究报道。为此,笔者以抗倒伏能力不同

的10个荸荠品种为材料,研究其叶状茎解剖结构特征,探讨其叶状茎解剖结构差异与抗倒伏能力的关系,旨在为荸荠的抗倒伏栽培和品种选育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地与供试材料

试验在广西农业科学院里建科学研究基地进行,供试品种详见表1(10个品种植株性状无明显差别,不同品种叶状茎粗度略有不同)。经多年的田间调查,调查方法参考《荸荠种质资源描述规范和数据标准》^[14],其中,桂蹄3号、桂蹄4号品种抗倒伏性强,大红袍、贵州安顺品种抗倒伏性差。

表1 供试的10个荸荠品种信息

品种	来源	抗倒伏能力
桂粉蹄1号	广西壮族自治区农业科学院生物技术研究所资源圃	中弱
桂蹄2号	广西壮族自治区农业科学院生物技术研究所资源圃	中强
桂蹄3号	广西壮族自治区农业科学院生物技术研究所资源圃	强
桂蹄4号	广西壮族自治区农业科学院生物技术研究所资源圃	强
阳江珍珠马蹄	广西壮族自治区农业科学院生物技术研究所资源圃	弱
贺州芳林	广西壮族自治区农业科学院生物技术研究所资源圃	中强
大红袍	广西壮族自治区农业科学院生物技术研究所资源圃	弱
贵州安顺	广西壮族自治区农业科学院生物技术研究所资源圃	弱
湖北枝江	广西壮族自治区农业科学院生物技术研究所资源圃	中弱
安徽阜阳	广西壮族自治区农业科学院生物技术研究所资源圃	中强

1.2 样本采集与石蜡切片制备方法

于2021年9月18日在广西壮族自治区农业科学院生物技术研究所资源圃进行样本采集,将采集的样品带回实验室,参照寇荫等^[15]的方法进行修剪、脱水、包埋、切片、染色、封片等步骤,制作石蜡切片。每个样本组织采集3小块,制备30个切片。将制作好的切片采用NIKON ECLIPSE E100正置光学显微镜进行观察,用NIKON DS-U3成像系统进行拍照。显微照片采用CaseViewer 2.2软件打开后可以1~400倍任意倍数放大后进行观察。使用CaseViewer 2.2扫描浏览软件选取组织的目的区域进行200倍成像,成像时尽量让组织充满整个视野,保证每张照片的背景光一致。成像完成后使用Image-Pro Plus 6.0分析软件统一以mm作为标准单位,分别测量每张切片荸荠叶片组织解剖结构指标,测量的指标选取表皮厚度、角质层厚度、组织厚度、维管束数、周长,单位长度维管束数量(n/mm)=维管束数量/组织周长,每个指标在每个切

片的不同部位随机测量20次。

1.3 数据统计与分析

采用Microsoft Excel 2007软件进行试验数据处理,采用DPSv14.10统计软件对不同荸荠品种的叶片组织解剖结构指标进行统计分析,以Duncan多重比较检验差异显著性,并用Microsoft Excel 2007软件绘制相应的图表。

2 结果与分析

2.1 荸荠植株叶状茎组织解剖结构特征及不同品种的差异

荸荠叶状茎横切面为圆形或是近圆形,由表皮、同化组织、维管束和气腔组成。对10个荸荠品种叶状茎解剖结构进行比较(表2),其组织周长在13.295~17.677 mm之间,大红袍最小,桂蹄3号最大;组织厚度在0.404~0.661 mm之间,阳江珍珠马蹄最薄,桂蹄3号最厚,这两者之间的差异均达到极显著水平。表皮外侧均有不同程度的角质层分

表2 不同荸荠品种叶状茎组织解剖指标比较

品种	表皮厚度/ μm	角质层厚度/ μm	组织厚度/mm	组织周长/mm
桂粉蹄1号	13.477±0.937 bB	1.436±0.231 dD	0.477±0.037 fgEF	15.438±0.037 fE
桂蹄2号	14.691±1.035 aA	2.133±0.291 aA	0.599±0.034 bB	16.298±0.036 cB
桂蹄3号	11.828±1.202 cC	1.744±0.197 bBC	0.661±0.044 aA	17.677±0.034 aA
桂蹄4号	13.682±1.563 bAB	1.527±0.275 cdCD	0.655±0.029 aA	16.426±0.004 bB
阳江珍珠马蹄	13.403±0.987 bB	1.716±0.304 bcBC	0.404±0.031 hG	14.032±0.128 gF
贺州芳林	13.451±1.075 cC	1.386±0.262 dD	0.531±0.040 cdCD	15.435±0.024 fE
大红袍	11.699±0.796 cC	1.866±0.229 bAB	0.453±0.023 gF	13.295±0.051 hG
贵州安顺	14.094±1.028 abAB	1.932±0.221 abAB	0.551±0.034 cC	15.551±0.065 fDE
湖北枝江	13.608±0.986 bAB	2.130±0.385 aA	0.494±0.031 efE	15.670±0.084 eD
安徽阜阳	13.661±1.185 bAB	1.866±0.231 bAB	0.512±0.041 deDE	15.875±0.081 dC

注:同列数字后不同大、小字母分别表示不同品种间在0.01水平差异极显著,在0.05水平差异显著。后同。

化,表皮厚度在11.699~14.691 μm 之间,以大红袍最薄,桂蹄3号次之,桂蹄2号最厚;角质层厚度为1.386~2.133 μm ,以贺州芳林最薄,桂蹄2号最厚,两者差异极显著。表皮内是同化组织,栅栏状排列。同化组织向内是维管束,由维管束鞘、韧皮部及木质部等组成,维管束数量在46~56个,平均单位长度维管束数量在2.979~3.987个之间,后生木质部在木质部两侧。维管束之间是气腔,向内是中央气腔(图1)。

图2为参试的10个荸荠品种的距基部18 cm叶状茎维管束显微结构。从图2可以看出,不同品种的叶状茎维管束排列规律不尽相同,大部分品种的维管束呈圆状排列,交替状的排列在叶状茎薄壁组织中。

2.2 不同荸荠品种维管束结构差异

在维管束数量上,抗倒伏与易倒伏品种没有明显差异,其中以阳江珍珠马蹄数量最少。抗倒伏品种桂蹄3号、桂蹄2号、桂蹄4号、贺州芳林、安徽阜阳等的维管束长度均显著大于易倒伏品种大红袍、阳江珍珠马蹄、桂粉蹄1号、湖北枝江、贵州安顺,且这5个抗倒伏品种的维管束宽度也大于易倒伏品种(表3)。除了阳江珍珠马蹄外,抗倒伏品种的维管束鞘细胞厚度较厚,细胞排列紧密;而易倒伏品种的维管束鞘较薄。

3 讨论与结论

荸荠叶片缺如,秆俗称为叶状茎,其横切面性状与同属 *Eleocharis retroflexa* (Poir.) Urban (贝壳叶

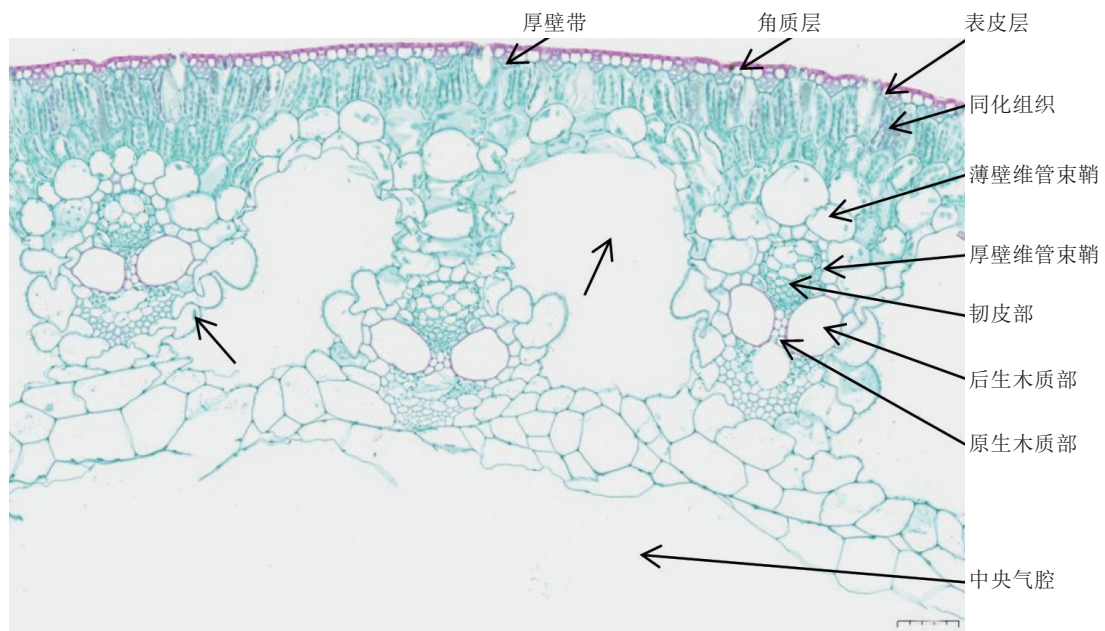
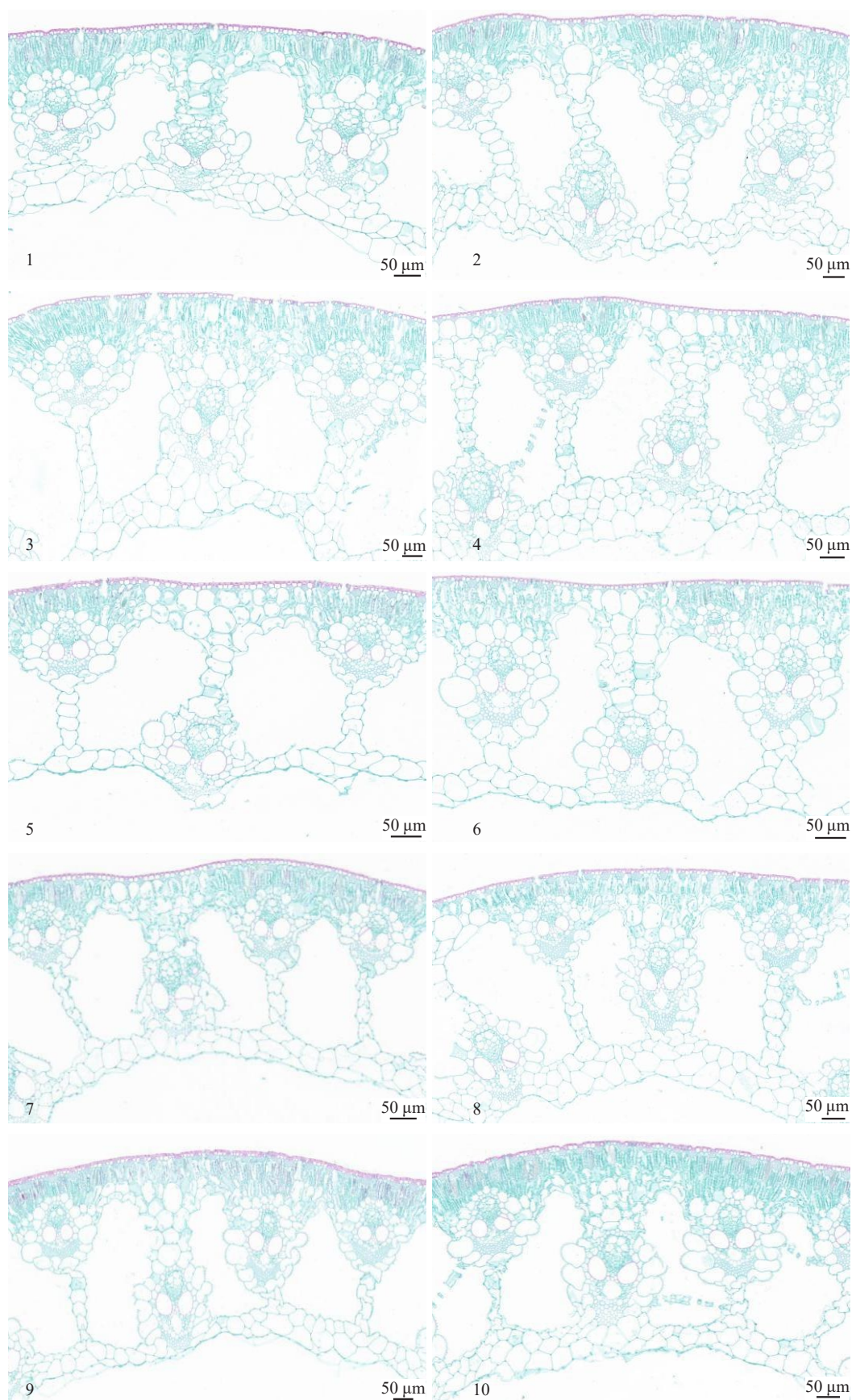


图1 荸荠叶状茎的横切面显微结构(桂粉蹄1号)



注:1. 桂粉蹄 1 号;2. 桂蹄 2 号;3. 桂蹄 3 号;4. 桂蹄 4 号;5. 阳江珍珠马蹄;6. 贺州芳林;7. 大红袍;8. 贵州安顺;9. 湖北枝江;10. 安徽阜阳。

图 2 不同荸荠品种叶状茎维管束结构

表3 不同荸荠品种维管束结构特征

品种	维管束数	维管束宽度/ μm	维管束长度/ μm	维管束鞘细胞厚度/ μm
桂粉蹄 1 号	56 \pm 1 abA	165.195 \pm 15.191 deD	184.785 \pm 31.238 dC	46.765 \pm 7.389 bcB
桂蹄 2 号	55 \pm 1 abAB	203.850 \pm 16.872 aAB	219.575 \pm 21.130 aA	49.280 \pm 7.419 bcB
桂蹄 3 号	53 \pm 0 cB	210.225 \pm 13.156 aA	220.155 \pm 15.734 aA	60.140 \pm 6.787 aA
桂蹄 4 号	56 \pm 1 abA	192.575 \pm 16.394 bcBC	211.355 \pm 17.420 abAB	50.755 \pm 5.571 bB
阳江珍珠马蹄	46 \pm 1 dC	157.660 \pm 11.022 eD	160.890 \pm 10.932 eD	48.595 \pm 5.094 bcB
贺州芳林	56 \pm 2 aA	192.485 \pm 22.760 bcBC	218.880 \pm 17.974 aA	46.270 \pm 4.618 cB
大红袍	53 \pm 1 cB	136.000 \pm 6.475 fE	148.950 \pm 14.931 eD	39.565 \pm 4.603 dC
贵州安顺	55 \pm 1 abAB	170.985 \pm 13.148 dD	188.975 \pm 19.393 cdC	46.120 \pm 5.744 cB
湖北枝江	54 \pm 1 bcAB	186.390 \pm 15.282 cC	185.640 \pm 32.209 cdC	46.315 \pm 4.178 cB
安徽阜阳	56 \pm 1 abA	199.515 \pm 19.226 abABC	199.780 \pm 17.147 bcBC	46.470 \pm 5.027 cB

荸荠)^[16]、*Eleocharis pellucida* J. Presl & C. Presl(透明鳞荸荠)^[17]等秆结构极相似。横切面为圆形或是近圆形,由表皮、同化组织、维管束和气腔组成^[17]。

荸荠在大田的生长周期有4个时期:缓苗期、分蘖期(营养生长期)、球茎形成期(营养生长和生殖生长期并进期)以及球茎膨大期^[18]。进入球茎形成期,地上部分营养物质快速转移到地下供球茎膨大,抵抗力降低,同时此阶段田间密度较大,荸荠品种叶状茎抗倒伏能力弱,易造成田间大面积倒伏,叶状茎有效光合面积大幅度减少,病虫害危害加速。这将严重影响球茎膨大,造成减产甚至绝收。因此,在品种选育过程中,把抗倒伏能力作为品种选育的主要指标之一,才能更好确保高产稳产。

影响植物茎秆机械强度的因素很多,其中包括形态性状、解剖特征和茎秆化学组分等^[12]。在水稻、小麦等茎秆显微结构中,维管束对茎秆抗倒伏起重要作用,其中主要起支持作用的是维管束鞘,起到骨架的作用^[12,19-20]。维管束包括维管束鞘、韧皮部和木质部三部分。在维管束中,主要起支持作用的是维管束鞘,其厚度对抗折强度起重要作用,维管束长度和宽度可作为评价茎秆质量优劣的良好指标^[21]。在水稻^[12]、小麦^[22-23]、玉米^[6,24]、荞麦^[13]等有茎秆植物上研究表明,茎秆抗倒伏能力与茎秆解剖结构密切相关,其机械组织层数和厚度、茎壁厚度、大维管束数目、维管束面积、维管束鞘厚度等与植株抗倒伏能力相关;抗倒伏品种茎秆基部机械组织细胞层数、茎壁厚度、大维管束数目、维管束面积、维管束鞘厚度均大于易倒伏品种。笔者的研究着重从解剖结构方面分析荸荠叶状茎显微结构与品种间差异及其与荸荠抗倒能力的关系。结果显示,荸荠叶状茎横切面为圆形或是近圆形,由表皮、同化组织、维管束和气腔组成。供试的10个品种中,表

皮、角质层、同化组织、维管束等结构均表现出一定的差异。抗倒伏品种桂蹄3号、桂蹄2号、桂蹄4号的维管束宽度与长度均大于易倒伏品种,其维管束鞘细胞厚度较厚,细胞排列紧密;易倒伏品种的维管束鞘较薄,这与在水稻^[9]上的研究结果一致,而维管束数量在抗倒伏与易倒伏品种之间无相关性,这与在其他作物上^[12-13,19-20,25-26]的研究有所不同,可能与荸荠生长特性密切相关。

在供试的荸荠10个材料中,叶状茎横切面为圆形或是近圆形,由表皮、同化组织、维管束和气腔组成。各个材料的叶状茎横切面结构均有明显差异,组织周长以桂蹄3号最大,为17.677 mm,有利于光合作用;表皮厚度以大红袍最薄,为11.699 mm,桂蹄3号次之,桂蹄2号最厚,为14.691 mm;角质层厚度以贺州芳林最薄、桂蹄2号最厚;同化组织栅栏状排列,向内是维管束,数量为46~56个。抗倒伏品种桂蹄3号、桂蹄2号、桂蹄4号等的维管束宽度与长度均大于易倒伏品种,其维管束鞘细胞厚度较厚,细胞排列紧密,其中桂蹄3号综合表现最佳,而易倒伏品种的维管束鞘较薄。综上所述,荸荠叶状茎的解剖结构差异可以用于评价不同品种的抗倒伏,可为抗倒伏荸荠品种选育提供筛选依据,为今后开展高产育种中抗倒伏品种的选育提供一定的理论基础。

参考文献

- [1] 江文,黄诚梅,高美萍,等.荸荠新品种桂蹄4号的选育[J].中国蔬菜,2020(9):91-93.
- [2] 江文,陈丽娟,黄诚梅,等.荸荠新品种桂蹄3号的选育[J].中国蔬菜,2022(3):109-112.
- [3] 赖传雅,梁钧,白志良,等.荸荠秆枯病原菌研究[J].广西农业大学学报,1996,15(2):93-97.
- [4] 潘丽,朱志贤,吕茹婧,等.荸荠秆枯病菌生物学特性研究[J].长江蔬菜,2011(16):75-79.

- [5] 李清铤,王连荣.江苏荇荠秆枯病的发生、危害及病原菌鉴定[J].江苏农学院学报,1985,6(4):37-39.
- [6] 王群瑛,胡昌浩.玉米茎秆抗倒特性的解剖研究[J].作物学报,1991,17(1):70-75.
- [7] 罗茂春,田翠婷,李晓娟,等.水稻茎秆形态结构特征和化学成分与抗倒伏关系综述[J].西北植物学报,2007,27(11):2346-2353.
- [8] 杨霞,王红娟,徐文静,等.不同抗倒性小麦品种的茎秆结构及其化学成分和力学特性分析[J].河南农业大学学报,2012,46(4):370-373.
- [9] PENG D L, CHEN X G, YIN Y P, et al. Lodging resistance of winter wheat (*Triticum aestivum* L.): lignin accumulation and its related enzymes activities due to the application of paclobutrazol or gibberellin acid[J]. Field Crops Research, 2014, 157: 1-7.
- [10] KONG E Y, LIU D C, GUO X L, et al. Anatomical and chemical characteristics associated with lodging resistance in wheat[J]. Crop Journal, 2013, 1(1): 43-49.
- [11] MI C Q, ZHANG X D, LI S M, et al. Assessment of environment lodging stress for maize using fuzzy synthetic evaluation[J]. Mathematical and Computer Modelling, 2011, 54 (3/4): 1053-1060.
- [12] 杨艳华,朱镇,张亚东,等.水稻茎秆解剖结构与抗倒伏能力关系的研究[J].广西植物,2012,32(6):834-839.
- [13] 汪灿,阮仁武,袁晓辉,等.荞麦茎秆解剖结构和木质素代谢及其与抗倒性的关系[J].作物学报,2014,40(10):1846-1856.
- [14] 李峰,柯卫东,刘义满,等.荇荠种质资源描述规范和数据标准[M].北京:中国农业科学技术出版社,2013.
- [15] 寇萌,尹秋龙,焦菊英.黄土丘陵沟壑区10种单子叶植物叶片解剖结构及环境适应性[J].西北植物学报,2019,39(1):102-109.
- [16] GOVINDARAJALU E. Systematic anatomy of South Indian Cyperaceae: *Eleocharis* R. Br., *Rhynchospora* Vahl and *Scleria* Bergius[J]. Adansonia, 1975, 14(4): 581-632.
- [17] 董士香,郭成勇,周广明,等.山东莎草科一新记录植物:透明鳞荇荠[J].广西植物,2013,33(2):279-282.
- [18] 蒙平,陈丽娟,杭玲,等.荇荠高产栽培与利用[M].北京:金盾出版社,2008.
- [19] SHERRATT M J, BALDOCK C, HASTON J L, et al. Fibrillin microfibrils are stiff reinforcing fibers in compliant tissues[J]. Journal of Molecular Biology, 2003, 332(1): 183-193.
- [20] 冯素伟,姜小琴,胡铁柱,等.不同小麦品种茎秆显微结构与抗倒强度关系研究[J].中国农学通报,2012,28(36):57-62.
- [21] 王勇,李晴棋,李朝恒,等.小麦品种茎秆的质量及解剖学研究[J].作物学报,1998,24(4):452-458.
- [22] 管延安,李建和,任莲菊,等.禾谷类作物倒伏性的研究[J].山东农业科学,1998,30(5):51-54.
- [23] PINTHUS M J. Lodging in wheat, barley, and oats: the phenomenon, its causes, and preventive measures[J]. Advances in Agronomy, 1974, 25: 209-263.
- [24] 蒋傲男,闫静琦,卢海博,等.不同春玉米品种茎秆显微结构对抗折强度的响应[J].玉米科学,2020,28(5):53-59.
- [25] ISHIMARU K, TOGAWA E, OOKAWA T, et al. New target for rice lodging resistance and its effect in a typhoon[J]. Planta, 2008, 227(3): 601-609.
- [26] WANG J, ZHU J M, LIN Q Q, et al. Effects of stem structure and cell wall components on bending strength in wheat[J]. Chinese Science Bulletin, 2006, 51(7): 815-823.