

湖南农业大学

硕士学位论文

棉秆纤维形态结构及其变化
规律的研究

吴 刚

二 00 九年六月

分类号_____

密 级_____

UDC_____

单位代码_____

湖南农业大学

硕 士 学 位 论 文

棉秆纤维形态结构及其变化规律的研究

Studies on Fibre Morphology and Mutation Regularity
of Cotton Stalk

研 究 生 姓 名 _____ 吴 刚 _____

指 导 教 师 _____ 孙焕良 _____ 教 授 _____

学 科 专 业 _____ 种子科学与工程 _____

研 究 方 向 _____ 作物种质资源利用 _____

提交论文日期 _____ 2009 年 6 月 16 日 _____

论文答辩日期 _____ 2009 年 6 月 5 日 _____

答辩委员会主席 _____ 刘 正 初 _____

论文评阅人 _____

学位授予日期 _____

二 00 九年六月

独 创 性 声 明

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得湖南农业大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

研究生签名：

时间：

年 月 日

关于论文使用授权的说明

本人完全了解湖南农业大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。同意湖南农业大学可以用不同方式在不同媒体上发表、传播学位论文的全部或部分内容。

(保密的学位论文在解密后应遵守此协议)

研究生签名：

时间：

年 月 日

导师签名：

时间：

年 月 日

摘 要

我国拥有大量的棉秆资源，但棉秆资源综合利用率极低，利用途径单一，造成了棉秆资源的巨大浪费。因此，有必要深入研究棉秆的特征特性及其纤维的分布规律，开辟新的高效利用途径，充分利用棉秆资源。

本研究以陆地棉 (*Gossypium hirsutum* L.)、海岛棉 (*Gossypium barbadense* L.)、草棉 (*Gossypium herbaceum* L.)、中棉 (*Gossypium nanking* Mcyen.) 四个栽培棉种和 44 个陆地棉不同类型的品种 (组合) 为试验材料，就棉秆韧皮纤维细胞群体形态结构和韧皮纤维、木质纤维的长度、宽度、长宽比等因素进行了比较，主要研究结论如下：

1. 四个栽培棉种韧皮纤维细胞群体、韧皮纤维、木质纤维的形态结构基本一致，且与红麻、黄麻酷似。韧皮纤维均较长，长宽比较大，但胞壁较厚，腔径较小；木质纤维则与之相反。总体上，棉秆韧皮纤维具有针叶木长纤维的特性，而木质纤维质量则类似于阔叶木纤维。四个栽培棉种中以陆地棉纤维综合质量最优，应是纤维利用的重点。
2. 四个栽培棉种棉秆韧皮纤维细胞群体的发育贯穿其生长的全过程，其韧皮纤维细胞群体、韧皮纤维、木质纤维在生长发育过程中都具有明显的阶段性。棉秆纤维细胞群体各项指标在部位间比较，总体上以中、下部较多，上部较少，在层次间比较则以中间层次较多，两端的层次较少。韧皮纤维与木质纤维长度、宽度、壁厚和腔径在部位间的变化与韧皮纤维细胞群体类似，所不同的是韧皮纤维与木质纤维在中下部即基本停止发育。从不同部位不同层次的比较上看，四个栽培棉种中仍然以陆地棉纤维综合质量最优。
3. 44 个陆地棉品种 (组合) 韧皮纤维和木质纤维的各项性能指标在品种间除纤维宽度没有显著性差异外，都存在显著或极显著的差异。但在不同类型之间，除杂交品种与常规品种在韧皮纤维群数上存在显著性差异外，都不存在差异显著性。因此，不同类型品种 (组合) 的棉秆纤维综合质量差异不明显，各品种 (组合) 中都有纤维质量较好的材料。所以，应进一步加大大陆棉种质资源发掘的范围与力度。

关键词：棉秆；韧皮纤维；木质纤维；形态

Abstract

China has a large amount of cotton stalk resources. But, it has very low resource utilization and the use of means is very single. The current situation of cotton stalk utilization caused tremendous waste of resources. So, we should study cotton characteristic and the distribution regularity of cotton fiber. We can create new utilization methods of cotton stalk while the achievement of study has been used.

In this research, the materials for tested were *Gossypium hirsutum* L., *Gossypium barbadense* L., *Gossypium herbaceum* L., *Gossypium nanking* Mcyen. and 44 varieties of different types of *Gossypium hirsutum* L.. Tissue measurements, phloem fiber cell group morphology, length(L), width(W), L/W, etc of phloem fiber cell and xylem fiber cell of these cotton species were compared. The main results were as follows:

1. For 4 cultivation species of cotton were tested in this study, the phloem fiber cell group, phloem fiber cell, xylem fiber cell morphology with a similar Kenaf and Jute. The amount of length, L/W and wall thickness of phloem fiber cell were larger than xylem fiber cell. But, cavity diameter of phloem fiber cell was smaller than xylem fiber cell. The phloem fiber cell morphology of cotton stalk was similar with conifer fiber cell. The xylem fiber cell morphology of cotton stalk was similar with hardwood fiber cell. The synthetic quality of fiber cell of *Gossypium hirsutum* L. was the best in tested 4 cultivation species of cotton.
2. In whole growth process, the development of the phloem fiber cell group morphology of cotton stalk wasn't stopped, the phloem fiber cell group morphology, phloem fiber and xylem fiber all had obvious increase phase. In central and lower sites, the indicators of the phloem fiber cell group morphology were larger than upper sites. In central stages, they were larger than external stages. The length, width, wall thickness, cavity diameter of the phloem and xylem fiber were compared in different sites. They were similar with the phloem fiber cell group morphology. But, the growth of phloem and xylem fiber stopped between the central site and the lower site. The synthetic quality of fiber cell of *Gossypium hirsutum* L. was the best in tested 4 cultivation species of cotton for the comparison in different sites and stages of cotton stalk.
3. The indicators about the phloem and xylem fiber quality of 44 varieties of *Gossypium*

hirsutum L. all had obvious imparity except fiber width. But, they all had not obvious imparity between the different types except the number of phloem fiber cell group between regular cotton and hybrid cotton. Therefore, the fiber quality of cotton stalk had not obvious imparity between the different types. There were many good materials of fiber quality in every type. So, we should explore germplasm resourses of *Gossypium hirsutum* L. in increased range and effort.

Key word: cotton stalk; phloem fiber; xylem fiber; morphology

目 录

第一章 绪论.	1
1 棉秆及其纤维的基本特征特性.	1
1.1 棉秆的形态结构.	1
1.2 棉秆的物理性质.	1
1.3 棉秆的化学性质.	2
1.4 棉秆纤维细胞的形态特征.	2
2 棉秆及其纤维的开发利用概况.	2
2.1 棉秆资源的农业化利用.	3
2.2 棉秆资源的工业化利用.	3
2.3 棉秆资源的燃料化利用.	4
3 棉秆纤维形态结构及其变化规律研究的意义.	4
第二章 棉秆纤维细胞及其群体形态结构的种间差异.	6
1 材料与方法.	6
1.1 供试材料.	6
1.2 FAA 液的配制.	6
1.3 纤维离析.	6
1.4 显微观察.	6
2 结果与分析.	7
2.1 棉秆纤维细胞群体的形态结构.	7
2.2 韧皮纤维细胞的形态结构.	8

2.3 木质纤维细胞的形态结构.	8
3 结论.	9
4 讨论.	10
4.1 棉秆造纸性能评价.	10
4.2 棉秆纺织性能评价.	10
第三章 棉秆韧皮纤维与木质纤维形态结构的部位间差异.	11
1 材料与方法.	11
2 结果与分析.	11
2.1 棉秆韧皮纤维细胞群体形态结构的部位间差异.	11
2.1.1 棉秆不同部位韧皮纤维细胞群体形态结构的差异.	11
2.1.1.1 棉秆不同部位纤维群数的差异.	11
2.1.1.2 棉秆不同部位纤维层数的差异.	12
2.1.1.3 棉秆不同部位纤维束数的差异.	12
2.1.1.4 棉秆不同部位束纤胞数的差异.	13
2.1.1.5 棉秆不同部位纤维细胞总数的差异.	13
2.1.2 棉秆不同层次韧皮纤维细胞群体形态结构的差异.	13
2.1.2.1 棉秆不同部位不同层次纤维束数的差异.	13
2.1.2.2 棉秆不同部位不同层次束纤胞数的差异.	15
2.1.2.3 棉秆不同部位不同层次纤维细胞总数的差异.	17
2.2 棉秆韧皮纤维细胞形态结构的部位间差异.	18
2.2.1 纤维细胞长度、宽度、长宽比.	18
2.2.2 纤维细胞荣凯尔系数、刚性系数、柔性系数.	20

2.3 棉秆木质纤维细胞形态结构的部位间差异.	22
2.3.1 纤维细胞长度、宽度、长宽比.	22
2.3.2 纤维细胞荣凯尔系数、刚性系数、柔性系数.	23
3 结论.	25
3.1 不同部位的韧皮纤维细胞群体、纤维细胞形态结构的差异.	25
3.2 不同层次的韧皮纤维细胞群体形态结构的差异.	26
3.3 不同部位相同层次的韧皮纤维细胞群体形态结构的差异.	26
3.4 总结.	26
4 讨论.	27
第四章 棉秆韧皮与木质纤维形态结构的品种间差异.	28
1 材料与方法.	28
1.1 供试材料.	28
1.2 取样.	29
2 结果与分析.	29
2.1 韧皮纤维细胞群体形态结构的品种间差异.	29
2.1.1 纤维细胞群数.	29
2.1.2 纤维细胞层数.	29
2.1.3 纤维细胞束数.	30
2.1.4 束纤维细胞数.	31
2.1.5 纤维细胞总数.	31
2.2 韧皮纤维细胞形态结构的品种间差异.	32
2.2.1 纤维细胞长度、宽度、长宽比.	32

2.2.2 纤维细胞荣凯尔系数、刚性系数、柔性系数.	34
2.3 木质纤维细胞形态结构的品种间差异.	36
2.3.1 纤维细胞长度、宽度、长宽比.	36
2.3.2 纤维细胞荣凯尔系数、刚性系数、柔性系数.	37
3 结论.	40
3.1 棉秆韧皮纤维细胞群体形态结构的品种间差异.	40
3.2 棉秆韧皮纤维细胞形态结构的品种间差异.	40
3.3 棉秆木质纤维细胞形态结构的品种间差异.	40
3.4 总结.	41
4 讨论.	41
附表.	43
附图版.	52
参考文献.	54
致谢.	57
作者简介.	58

第一章 绪论

棉秆是指棉花的秆基，即去掉枝叶及棉桃的棉花茎秆，是棉花副产品中产量最大的一种，远大于棉籽的产量，可占到棉花生物产量的64%左右^[1-3]。我国作为世界第一大产棉国，有着极其丰富的棉秆资源。据统计，1991~1995年每年棉秆平均产量全国为1758.5万吨，到2000年全国棉秆产量已达4000万吨^[4]。然而，我国棉秆资源综合利用率极低，利用途径单一。例如，我国棉花主产区新疆，主要采用直接焚烧和就地掩埋两种方式处理棉秆^[5]；湖南、湖北等长江流域棉花主产区对于棉秆的处理，除少量作为薪柴使用外，绝大部分被焚烧或丢弃在田间地头^[6]。这不但造成了生态环境污染，也是对自然资源的极大浪费。因此，综合利用棉秆资源对于节约资源、保护环境、增加农民收入、促进农业的可持续发展都具有重要的现实意义。

1 棉秆及其纤维的基本特征特性

在我国，棉秆原料在造纸和建筑人造板上应用较为广泛。一些学者对棉秆原料的特性做了初步研究。

1.1 棉秆的形态结构

棉秆的高度多在2m以下，主茎直径多在2cm以下，茎上生有很多分枝，掘出的根部长约20~30cm^[7]。从横切面上看，棉秆具有两个不同的区域：外部皮层和内部芯秆。棉秆外部皮层一般占棉秆重量的26%左右，由周皮、薄壁组织、韧皮部组成。最外层表皮呈撕裂状，色深，向内由木栓细胞构成周皮。周皮内为皮层薄壁细胞，受到挤压形状很不规则，再向内侧为束状韧皮纤维细胞呈规则排列，此外还含有射线细胞。棉秆芯秆含木质部和髓部，约占棉秆重量的72%，是棉秆的主体部分，由木纤维细胞、导管、木射线组成。木纤维细胞排列整齐，其胞腔较韧皮部的要大。导管散生在木质部中，由导管分子连接成一根根导管。径向排列的木射线非常明显，有单列，双列甚至三列的。总体而言，其结构与阔叶木非常相似。髓部（俗称髓芯）由薄壁细胞组成，细胞腔大，细胞壁薄。棉秆基部的组织结构紧密，不含髓芯，由下向上到枝条，髓芯所占比例逐渐增加到5%左右，全秆含髓芯为2%^[8]。

1.2 棉秆的物理性质

棉秆吸湿、吸水过程曲线与木材相似，绝干至最大吸湿率需20天左右，最大吸水率在第50天左右。棉秆的绝干容重、气干容重与基本容重分别为0.314g/cm³、0.318g/cm³、

0.200g/cm³，按木材容重分级，属最小级别范围，体积比较膨松。棉秆实质比重为1.499g/cm³，在木材实质比重（1.46~1.56g/cm³）范围内。由此可间接得知棉秆各类细胞壁物质组成与木材细胞壁的物质组成相同，干缩性与木材相似。棉秆干缩率的大小顺序为体积干缩率>弦向干缩率>径向干缩率，即具各向异性。棉秆在轴向抗拉强度、垂直抗拉强度、静曲强度等力学性质方面也与最低级的木材相当。就棉秆各部分而言，棉皮的轴向抗拉强度要大于其它部位^[9-11]。

1.3 棉秆的化学性质

棉秆木质部的灰分、抽出物、果胶较其它部位低，综纤维素、硝酸乙醇纤维素含量较高；髓芯抽出物及多戊糖含量高，这是造纸中应该除去却难以除去的物质；棉秆皮层的果胶、灰分、抽出物含量均较高、综纤维素含量与木质部大体相同。皮部与全秆、木质部比较， α -纤维素含量较高。棉花全秆与杨木相比，其纤维素与多戊糖含量较低，木素和抽出物含量稍高。棉秆果胶含量也要高于杨木，造纸过程中的泡沫较多^[8-9]。

1.4 棉秆纤维细胞的形态特征

棉秆纤维主要由木质纤维和韧皮纤维组成。棉秆韧皮纤维较长，壁上有节纹，纤维两端渐尖，端部为钝尖形，细胞腔较小，韧皮纤维细胞平均长度为2mm左右，平均宽度约17 μ m，长宽比为120。韧皮纤维细胞壁厚约5.5 μ m，壁腔比2.7左右，低于稻麦草类纤维，纤维较柔韧，有利于成纸结合。棉秆韧皮纤维细胞的长度和长宽比均较大，细胞壁较厚，具有针叶木长纤维的特性，具备生产高强度纸浆的基本条件。

棉秆木纤维平均长度低于其韧皮纤维，一般为0.8mm，在0.6~1.1mm范围内的占80%以上。木纤维的形态与阔叶木中的木纤维形态极其相似，为两端尖削的纺锤形，比韧皮纤维宽而短。木纤维细胞宽度约20 μ m，长宽比小，一般为40~50。细胞壁较薄，平均为2.85 μ m；细胞腔较大，平均为15 μ m，壁腔比仅为0.4。与韧皮纤维细胞一样，棉秆木纤维细胞壁上都有纹孔，但是数量较少，为椭圆形，孔径较小。

就全棉秆而论，韧皮纤维所占比例较小。全棉秆纤维平均长度1.01mm，平均宽度22.2 μ m，长宽比为46.4。细胞腔15.96 μ m，细胞壁厚度3.12 μ m，壁腔比0.39。其特点是纤维长度比较均匀，壁腔比小，柔软性能好，可与速生杨木纤维媲美^[8,12-16]。

2 棉秆及其纤维的开发利用概况

棉秆资源的利用途径可归为农业化利用、工业化利用、燃料化利用三大类。

2.1 棉秆资源的农业化利用

棉秆的农业应用主要有棉秆还田、饲料化利用、用作食用菌基质三种方式^[17]。秸秆还田是农作物秸秆农业应用的重要方式，可以培肥地力、调节土壤物理性能、优化农田生态环境^[18-21]。目前，棉秆还田使用技术较单一，主要采用粉碎还田的形式。但因棉秆自身特殊的植物形态和结构使得棉秆还田存在着较多问题：一是机械化作业程度低，粉碎设备易磨损；二是棉秆粉碎粒度过大，翻压入土后，腐熟度降低，不能当年成肥，无法达到快速培肥土壤的目的；三是棉秆还田质量不稳定，棉秆粉碎还田易造成土壤全层污染等^[22]。因此，棉秆还田技术还需作进一步深入的研究。

棉秆中较高的粗蛋白含量，磷、钙、无氮浸提物等营养物质也较为丰富，可作为纤维饲料应用^[23]。但因棉秆中粗纤维含量较高，且含有大量的木质素，使其干物质有效降解率和代谢能均较低，只能作为粗饲料使用^[24]，再加上含有棉酚，必须对棉秆进行一定的处理才能加以利用^[25]。现行的棉秆处理技术有物理法、化学法、生物法^[26-29]。物理法是指将棉秆切短、粉碎、浸泡后直接饲用，或干贮后饲用，物理法处理的棉秆粗纤维含量较高，消化率低，适口性差，农户很少使用。化学法是指利用酸、碱等化学物质处理棉秆，利用化学方法处理可使棉秆柔软，适口性增强，粗蛋白含量提高，粗纤维含量降低^[22]。生物法是指利用微生物发酵处理棉秆，经过生物法处理的棉秆质地柔软，适口性增强，消化率提高，各种营养成分也有明显提高，应用前景广阔^[25]。

棉秆与其它作物秸秆一样也可用作食用菌基质^[30,31]。利用棉秆废料培养食用菌，纤维素、木质素、半纤维素和粗蛋白等营养成分经过食用菌一套胞外酶的转化和利用，可长出高产量、高蛋白、高维生素含量和富含各种稀有物质的菌丝体和子实体，为人类提供营养食品和名贵药材。另外，部分菌对棉壳、棉秆中的游离棉酚有降解作用，这样收获食用菌的菌糠又是优质的家畜饲料。利用棉秆培养食用菌是一种低投入、高产出的产业，有较好的经济效益。

2.2 棉秆资源的工业化利用

棉秆工业化利用主要包括棉秆造纸、棉秆制造各种板材、棉秆化学加工利用。棉秆用于制浆造纸，在我国已研究多年，国外也有报道^[32-35]。国内外大多应用中性亚胺法生产半化学浆制造箱纸板、水泥袋纸、油毡原纸、绝缘纸板等产品^[32,35-37]。然而应用中性亚胺法制浆，蒸煮时对设备的腐蚀问题一直没有完全解决，高白度漂白也非常困难。虽然有人用CEH法漂白，制出了白度较好的纸浆^[38]，但其生产过程中污染较为严重。这就使棉秆的工业化造纸应用受到阻碍，特别是难以利用其生产高白度文化用纸。随着我国

经济的发展,社会对于高质量纸张的需求越来越高,而国内造纸企业的原材料缺口却越来越大,每年需进口大量的原材料。基于此,只要加强棉秆制浆新技术的研究,发展出更为合理的棉秆蒸煮工艺,同时研究棉秆浆的低污染漂白技术(ECF或TCF)^[9],适应不断提高的社会对环境的要求,棉秆的工业化造纸前景是非常广阔的。

棉秆除用于造纸外,还可用于制造棉秆纤维板、棉秆刨花板(碎料板)、棉秆水泥刨花板、棉秆重组材等各种板材^[7]。采用适当工艺制造的棉秆人造板,静曲强度、握钉力、吸水厚度、膨胀率等指标可达到木质板材的国家标准要求,是较为理想的木质板材代用材料,但占棉秆原料25%~35%的棉秆皮的存在,对板材的水平抗拉、静曲强度等主要性能有不利影响。现在的处理工艺都是在生产中尽量去除棉秆皮,这大大降低了棉秆原料的利用率,还需进一步研究解决。

利用棉秆原料还可制取多种化学制品^[7]。用化学法(酸法)和生物法(酶法)可从中制取葡萄糖做原料,发展精细化工,生产酒精、干冰、冷冰剂、灭火剂,也可抽取多种氨基酸或生产维生素C、香草醛,用于食品香精及电镀光亮剂,或以酶法从棉秆中提取有机酸混合物作为饲料添加剂,都可获得良好的经济效益。

2.3 棉秆资源的燃料化利用

、用部棉秆的热值在15MJ/kg以上,高于其它农作物秸秆^[5,39],是一类热值较高的生物质能源,可直接燃烧用于发电,也可经过处理后作为生物燃料使用。目前,棉秆燃料化利用主要有气化、液化、固化三种模式。棉秆经厌氧发酵制成沼气,或在气化装置内转化为燃气集中供应使用^[40],比较适合农村地区作为生活能源。但大规模推行秸秆制气还需解决气化系统投资偏高,燃气热值偏低,以及燃气中氮气与焦油含量偏高等问题^[41,42]。利用分层多级转化技术将棉秆转化为液体燃料^[43-45],或利用固化成型技术及碳化技术将棉秆转化成生物质型煤、木炭等固体燃料^[40],可广泛应用于发电、供热、烧锅炉等方面,而且方便运输,完全可以工业化应用。另外,棉秆还可直接燃烧用于发电,具有较高的经济效益但前期投资较大^[46,47]。将棉秆作为生物质能源开发利用,可大量代替常规能源,对于增加农民收入及社会的可持续发展都有重要的现实意义。

3 棉秆纤维形态结构及其变化规律研究的意义

棉秆农业化利用(棉秆还田、饲料化利用、用作食用菌基质)、工业化利用(棉秆造纸、制造各种板材、棉秆化学提取物)和燃料化利用虽具特色,但均存在着明显的缺陷和局限性,造成了棉秆资源的大量废弃,这就说明要充分利用棉秆资源,必须深入研

究棉秆的特征特性及其纤维的分布规律，开辟新的高效利用途径。鉴于棉秆韧皮纤维的形态结构与红麻、黄麻相似，棉秆韧皮纤维应该存在纺织利用的可能性。虽然前人对棉秆韧皮纤维细胞、木质纤维细胞的形态结构做了不少研究，但有关棉秆纤维形态结构的品种间差异、部位间差异等方面的研究至今未见报道。本文以4个棉花栽培种和44个陆地棉品种（组合）为材料，以陆地棉品种（系）的韧皮纤维为重点，对棉秆韧皮、木质纤维细胞的形态结构进行比较研究，以期进一步探明棉秆韧皮、木质纤维形态结构的基本特性，以及棉秆韧皮纤维的纺织利用价值，为棉秆的高效利用提供理论依据和参考指标。

第二章 棉秆纤维细胞及其群体形态结构的种间差异

棉秆造纸利用、建材利用、纺织利用实质上就是其韧皮纤维和木质纤维的利用。纤维形态结构决定着性能，纤维性能又决定着纤维的轻纺利用价值^[48]。本章旨在通过四个栽培棉种韧皮、木质纤维细胞及其群体形态结构的研究，进一步明确棉秆韧皮纤维和木质纤维的基本特性，为棉秆纤维的高效开发提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试栽培棉种包括陆地棉 (*Gossypium hirsutum* L.)、海岛棉 (*Gossypium barbadense* L.)、草棉 (*Gossypium herbaceum* L.) 和中棉 (*Gossypium nanking* Mcyen.)，对比种植于湖南农业大学试验农场。棉花采收完毕后，从每个棉种中取 5 株有代表性的植株，切取主茎中部 2.0cm 茎段，以 FAA 液固定；另取有代表性的植株 5 株，切取主茎中部 2.0cm 茎段剥离皮和骨，用于纤维离析。

1.2 FAA 液的配制

用 38% 甲醛、冰醋酸、70% 酒精以 1:1:18 (体积比) 的比例混合摇匀后，置于试剂瓶中备用。

1.3 纤维离析

取上述棉茎中部茎段剥离好的皮和骨，参照红麻纤维细胞硝酸酒精离析法^[48]，分别制取棉秆的韧皮纤维和木质纤维，具体做法为：切断、细劈成长约 1.5cm、宽 0.5cm 的小块，混匀后分别随机称取重 2.0g 的样品于 250ml 的三角瓶中；加入 50ml 硝酸(65%) 酒精(95%) 混合液(其体积比为 1:4)，装上冷凝管并通水，于 80℃ 水浴锅上消煮 30min；取下漂洗 3~4 次，再加入 50ml 的 2.0~3.0% 的氢氧化钠溶液，于 100℃ 水浴锅上消煮 30min，取下漂洗 2~3 次后，静置 6~12h，其间去除上部清液 3~4 次后，加盖软塞后反复摇动，使纤维充分离散，置于 50% 酒精溶液中，放入冰箱保存备用。

1.4 显微观察

将离析好并保存在 50% 酒精溶液中的韧皮纤维和木质纤维样品充分摇匀，用胶头吸管吸取少许悬浮有纤维细胞的溶液滴在载玻片上，滴一小滴 1% 番红 (用 50% 酒精溶液配制) 染色后加盖盖玻片，吸去玻片上及四周多余的液体，制成临时片供光学显微观察。

在光学显微镜下用目镜测微尺和测微台尺相互配合，在放大 100 倍的情况下，从每个样品中随机选取 100 个纤维细胞，观测纤维细胞长度（L）；在放大 400 倍的情况下，从每个样品中随机选取 50 个纤维细胞，观测纤维细胞宽度（D）、胞壁厚度（T）、胞腔直径（W）等，并由此求算出荣凯尔系数（ $2T/W$ ）、刚性系数（ $2T/D$ ）和柔性系数（ $100W/D$ ）。

另取 FAA 液固定的茎段，平均纵劈为 8 份，徒手切片，光学显微观测各材料的横切面及其韧皮部纤维群体的形态、结构、数量与木质部纤维细胞群体的形态结构。直接计数韧皮纤维群数；在横切面上随机选取 30 个纤维群计数纤维细胞束数，并计算出平均值，再以纤维细胞束数平均值×纤维群数得出纤维细胞束的总数；纤维细胞层数以初生位置为起点，由外向内计数；从上述观测的纤维群中每群随机选取 5 束纤维细胞计数束纤维细胞数，并求得总平均值做为束纤维细胞数；以束纤维细胞数×纤维细胞束总数得出纤维细胞总数。

2 结果与分析

2.1 棉秆纤维细胞群体的形态结构

光学显微观察表明，四个栽培棉种韧皮纤维的群体形态结构与红麻、黄麻纤维相类似^[48,49]：初生和次生韧皮纤维均呈束状结构（附图版 I—1~5），在棉茎的切线向形成若干个梯形或长方形的纤维群（附图版 I—6~9，II—10），在其径向又组成多个纤维层（附图版 II—11~15），韧皮纤维细胞群数、层数、束纤维数、纤维总数等因棉种而异。从表 1 可知：纤维群数以海岛棉和陆地棉较多，分别达 82.3 和 89.3 群，较草棉和中棉高 40.0%左右；单群纤维束数和纤维细胞数以中棉较多，分别高达 33.52 束和 1136.3 个，明显高于其它三种栽培棉；纤维层数以草棉和海岛棉较多，陆地棉明显较少；单层纤维细胞数以中棉和陆地棉较多，分别达 89.3 和 84.2 个。主茎中部的纤维束数以海岛

表 2.1 四个栽培棉种韧皮部纤维细胞群体形态结构的比较

Table 2.1 The comparison of phloem fiber cell group morphology for 4 cultivation species of cotton

供试棉种	纤维群数	单群束数	单群纤维细胞数	纤维层数	单层纤维细胞数	纤维束数	单束纤维细胞数	纤维细胞总数
草棉	64.0	19.40	514.3	6.63	45.1	1241.6	26.56	32976.9
中棉	56.7	33.52	1136.3	5.47	89.3	1900.6	33.90	64430.3
海岛棉	89.3	28.06	580.9	6.63	52.2	2501.3	20.74	51877.0
陆地棉	82.3	26.50	925.4	6.17	84.2	2181.0	34.92	76160.5
平均	73.1	26.86	779.5	6.22	67.7	1963.5	29.02	41861.2

棉最多，陆地棉和中棉次之，草棉明显较少；束纤胞数以陆地棉和中棉的最多，草棉次之，海岛棉最少，仅 20.74 个；纤维细胞总数则以陆地棉最多，其余依次为中棉、海岛棉和草棉。

2.2 韧皮纤维细胞的形态结构

四个栽培棉种韧皮部纤维细胞的形态结构基本一致，且与红麻和黄麻相似^[48,49]。其韧皮纤维细胞长度、宽度、壁厚、腔径等存在不同程度的差异。从表 2 可知，单纤维长度为 1.72~2.82mm，以陆地棉最长，是海岛棉的 1.64 倍；纤维长度的变异系数相对较大，在 32.66~51.82%之间；纤维宽度平均为 19.71 μ m，以陆地棉和草棉较大，分别达 22.07 和 18.94 μ m；长宽比值为 88.25~127.78，以陆地棉最大；荣凯尔比值和刚性系数分别为 1.56~4.60 和 0.61~0.82，以草棉最大，陆地棉最小；而柔性系数为 17.85~39.01，以陆地棉最大，草棉最小，恰好与荣凯尔系数相反。因此，综合考虑韧皮纤维细胞的形

表 2.2 四个栽培棉种韧皮部纤维细胞形态结构的比较
Table 2.2 The comparison of phloem fiber cell morphology for 4 cultivation species of cotton

供试棉种	长度 (mm)	长度变异 CV%	宽度 (μ)	长宽比值	壁厚 (μ)	腔径 (μ)	荣凯尔比值	刚性系数	柔性系数
草棉	1.74	51.82	18.94	91.87	7.78	3.38	4.60	0.82	17.85
中棉	2.15	43.53	18.33	117.29	6.25	5.83	2.14	0.68	31.80
海岛棉	1.72	32.66	19.49	88.25	7.58	4.29	3.53	0.78	22.01
陆地棉	2.82	42.56	22.07	127.78	6.73	8.61	1.56	0.61	39.01
平均	2.11	42.39	19.71	106.30	7.09	5.53	2.96	0.72	27.26

态结构，造纸性能（主要是柔性系数）以陆地棉较好。

2.3 木质纤维细胞的形态结构

四个栽培棉种木质部纤维细胞呈射线状排列（附图版 I—6, 7, 9, II—10），其形态结构亦类似于红麻和黄麻的木质部纤维^[48,49]。显微观察表明，四个栽培棉种木质纤维细胞较粗短，种间差异相对较小，纤维长度为 0.60~0.87mm，宽度为 17.32~24.47 μ m，长宽比值为 32.28~38.74，明显低于其韧皮纤维，分别为韧皮纤维的 29.30~45.93%、94.46~125.55%和 30.32~36.58%，但腔径较大而胞壁较薄，分别是韧皮纤维的 2.66 和 0.66 倍。四个栽培棉种中，陆地棉和海岛棉的木质部纤维相对较长较粗，长宽比值的差异较小，壁腔比的变异相对较大（表 3）。根据荣凯尔系数、刚性系数和柔性系数^[50]，海岛棉的木质部纤维属一级造纸材，草棉、中棉和陆地棉均属二级材，均优于其韧皮部

纤维。

表 2.3 四个栽培棉种木质部纤维细胞形态结构的比较
Table 2.3 The comparison of xylem fiber cell morphology for 4 cultivation
species of cotton

供试 棉种	长度 (mm)	长度变 异 CV%	宽度 (μ)	长宽 比值	壁厚 (μ)	腔径 (μ)	荣凯尔 比 值	刚性 系数	柔性 系数
草 棉	0.60	21.84	18.27	32.84	3.06	12.15	0.50	0.33	66.50
中 棉	0.63	32.69	17.32	36.37	3.12	11.08	0.56	0.36	63.97
海岛棉	0.79	20.92	24.47	32.28	2.73	19.01	0.29	0.22	77.68
陆地棉	0.87	24.80	22.46	38.74	3.09	16.28	0.38	0.28	72.48
平 均	0.72	25.06	20.63	35.06	3.00	14.63	0.43	0.30	70.16

3. 结论

1. 四个栽培棉种的韧皮纤维细胞及其群体形态结构基本一致，且与红麻、黄麻酷似：初生和次生韧皮纤维细胞均呈束状结构，若干纤维束在棉茎的切线方向组成数量不等的梯形或长方形纤维群，在其直径方向又组成多个纤维层。显微观察表明，四个栽培棉种韧皮纤维细胞群体形态结构各项指标存在着程度不等的差异。韧皮纤维细胞群数、层数、束数、束细胞数和纤维细胞总数分别为 56.7~89.3 群、5.47~6.63 层、1241.6~2501.3 束、20.74~34.92 个和 32976.9~72160.5 个，其中又以陆地棉较多。
2. 四个栽培棉种的韧皮纤维形态结构与红麻、黄麻相似。韧皮纤维长度在 1.74~2.82mm 之间，属于较长纤维范畴。韧皮纤维宽度在 18.33~22.07 μ m 之间，长宽比在 88.25~127.78 之间，属细长纤维型。韧皮纤维胞壁较厚（6.25~7.78 μ m），腔径较小（3.38~8.61 μ m），荣凯尔比值较大（1.56~4.60），但仍低于稻麦草类纤维^[27]，纤维较柔韧。综合以上因素，本次试验的四个栽培棉种棉秆韧皮纤维具有针叶木长纤维的特性，其中又以陆地棉韧皮纤维性能最好。
3. 四个栽培棉种的木质纤维形态结构亦与红麻、黄麻相似。木质纤维与韧皮纤维相比，长度（0.60~0.87mm）较短，长宽比（32.28~38.74）较小，但木质纤维壁薄（2.73~3.09 μ m），腔径大（11.08~19.01 μ m），荣凯尔比值（0.29~0.56）较小，柔性系数（63.97~77.68）较大，纤维柔软性能较好。总体而言，四个栽培棉种棉秆木质纤维质量类似于阔叶木纤维，其中又以海岛棉木质纤维性能最好，陆地棉次之。
4. 综合韧皮纤维细胞群体、韧皮纤维与木质纤维的各项性能指标，四个栽培棉种中纤维综合质量以陆地棉最优。

4. 讨论

4.1 棉秆造纸性能评价

棉秆纤维造纸是其纤维利用的一个重要方面。综合棉秆纤维长度、宽度、长宽比、壁厚、腔径、荣凯尔系数等纤维性能指标，棉秆韧皮纤维具有针叶木长纤维的特性，而棉秆木质纤维质量类似于阔叶木纤维，都可单独作为优良的造纸纤维来源^[8]。然而，现阶段棉秆纤维造纸利用在生产上都以全棉秆为原料，使棉秆韧皮纤维和木质纤维各自的优点无法体现，造成棉秆纤维难以制造高品质纸张的现状。

因此，笔者认为从造纸利用的角度看，剥离棉秆皮骨后分别制取纸浆，有利于提高纸浆的纤维均匀度和纸制品的质量，不失为提高棉秆纤维造纸利用价值的好方法。而且，四个栽培种中以陆地棉纤维综合质量最好，所以其利用重点应是陆地棉，正好符合我国棉花生产的实际情况。

4.2 棉秆纺织性能评价

四个栽培棉种韧皮、木质纤维细胞及其群体的形态结构与红麻、黄麻接近。而国内外红麻、黄麻韧皮纤维主要用作纺织材料，多用于包装材料、装饰材料、特色服饰、工艺品、地毯垫布等系列制品的开发。据此，笔者认为棉秆韧皮纤维同样存在纺织利用的可能性，而且既可用于纯纺也可用于混纺。棉秆木质纤维因纤维长度与长宽比较小，较难在纺织上利用。但木质纤维壁厚较小，腔径较大，纤维比较柔软，因此其在混纺上应有一定的利用价值。

另外，从四个栽培棉种棉秆纤维各项指标的比较来看，棉秆纤维轻纺利用的重点也应该是陆地棉。

第三章 棉秆韧皮纤维与木质纤维形态结构的部位间差异

棉秆韧皮、木质纤维细胞发育贯穿其生长的全过程，纤维细胞所处的位置不同，分生形成和分化发育的时间不同，形态结构应该有所差异。本章在第二章初步探明棉秆韧皮、木质纤维细胞及其群体形态结构种间差异的基础上，进一步探讨棉秆韧皮、木质纤维形态结构的部位间差异。

1 材料与方法

群体 an 外层表皮呈撕裂状，色深，向内由木栓细胞构成周皮。周皮内方供试栽培棉种为陆地棉（*Gossypium hirsutum* L.）、海岛棉（*Gossypium barbadense* L.）中棉（*Gossypium nanking* Mcyen.）和草棉（*Gossypium herbaceum* L.），对比种植于湖南农业大学试验农场。待棉花收获完毕后，从每个棉种中取 5 株有代表性的植株，保留主茎作为试验材料。用卷尺量出上述材料的长度，并以此为准平均分为 5 个部分，分别作为主茎的上、中上、中、中下、下部。切取各部位中部 2.0cm 的茎段用于试验。FAA 液固定保存、纤维离析与纤维形态结构的显微观察同第二章。

2 结果与分析

2.1 栽培棉种韧皮纤维细胞群体形态结构的部位间差异

2.1.1 栽培棉种不同部位韧皮纤维细胞群体形态结构的差异

2.1.1.1 栽培棉种茎秆不同部位纤维群数的差异

四个栽培棉种茎秆各部位纤维群数从纤维发育的角度看，存在较大差异。由表 3.1 可知，陆地棉纤维群数由下往上呈现由少到多再减少的趋势，以中部最多，为 88.3 群，上部最少，为 56.0 群。中棉、海岛棉和草棉总体上看纤维群数下多上少，但具体情况又各有不同。中棉以下部最多，中上部最少，分别为 72.0 和 46.7 群；海岛棉以中下部最多，中上部最少，分别为 94.0 和 61.3 群；草棉以中下部最多，上部最少，分别为 64.7

表 3.1 四个栽培棉种茎秆不同部位纤维群数的比较

Table 3.1 The comparison of the number of fiber cell group in different sites of cotton stalk

观察部位	陆地棉	中 棉	海岛棉	草 棉	平 均
上 部	56.0	50.7	62.7	28.7	49.5
中上部	59.3	46.7	61.3	41.3	52.2
中 部	88.3	56.7	77.3	57.3	69.9
中下部	79.0	68.7	94.0	64.7	76.6

下 部	65.3	72.0	84.0	56.0	69.3
-----	------	------	------	------	------

和 28.7 群。各部位纤维群数在中部以陆地棉最多，其余部位都以草棉最多。上部和中部纤维群数以草棉最少，其中尤以上部最为明显，仅为 28.7 群，其余棉种中最少的中棉也比草棉高出 77%，最多的海岛棉比之高出了一倍以上。中部以中棉最少，中下部与下部以草棉最少。总体上，纤维群数以陆地棉和海岛棉相对较多，中棉和草棉相对较少。

2.1.1.2 栽培棉种茎秆不同部位纤维层数的差异

按照棉秆发育的顺序，棉秆下部的韧皮纤维发育要先于上部，据此推测，棉秆下部的纤维层数也要大于上部。观察的结果（表 3.2）表明，所有棉种的纤维层数都呈现由下部到上部逐渐减少的趋势，与推测一致。中棉在各部位上纤维层次都最少，明显小于其它三个栽培棉种。陆地棉纤维层数除在中部小于海岛棉和草棉外，其余各部位均大于海岛棉和草棉，但总体差异不大。

表 3.2 四个栽培棉种茎秆不同部位纤维层数的比较
Table 3.2 The comparison of the number of fiber cell stage in different sites of cotton stalk

观察部位	陆地棉	中 棉	海岛棉	草 棉	平 均
上 部	2.77 ± 0.66	1.74 ± 0.65	2.23 ± 0.06	2.45 ± 0.39	2.30
中上部	5.25 ± 1.67	3.00 ± 1.42	4.66 ± 0.18	4.15 ± 1.05	4.27
中 部	6.36 ± 1.16	5.16 ± 1.42	7.32 ± 0.67	6.98 ± 2.22	6.46
中下部	8.39 ± 2.06	6.19 ± 1.29	8.10 ± 1.66	8.08 ± 1.47	7.69
下 部	11.50 ± 0.50	9.14 ± 1.06	11.15 ± 1.49	10.40 ± 1.23	10.55

2.1.1.3 栽培棉种茎秆不同部位纤维束数的差异

四个栽培棉种各部位纤维束数与纤维层数表现出相同的趋势，都是由下往上逐渐减少（表 3.3）。各部位纤维束数，都以草棉为最少，陆地棉在上部、中下部、下部最多，分别为 424、1839、2237；中上部、中部最多的是海岛棉，分别为 932、1607。从总体上看，陆地棉与海岛纤维束数较为相近，明显高于中棉和草棉。除陆地棉各部位的增长较为均匀一致外，其余三个棉种都有一个明显的增长高峰，且都是在中上部到中部之间。

表 3.3 四个栽培棉种茎秆不同部位纤维束数的比较
Table 3.3 The comparison of the number of fiber cell bunch in different sites of cotton stalk

观察部位	陆地棉	中 棉	海岛棉	草 棉	平 均
上 部	424 ± 260	271 ± 92	367 ± 52	255 ± 49	329
中上部	859 ± 453	490 ± 174	932 ± 43	480 ± 201	690
中 部	1329 ± 214	1141 ± 364	1607 ± 208	1061 ± 313	1285
中下部	1839 ± 299	1384 ± 111	1816 ± 260	1331 ± 747	1593

下 部	2237 ± 253	1712 ± 434	2106 ± 249	1581 ± 306	1909
-----	------------	------------	------------	------------	------

2.1.1.4 栽培棉种茎秆不同部位束纤维细胞数的差异

纤维观察的结果（表 3.4）表明，各部位束纤维细胞数，陆地棉和海岛棉变化趋势大体一致，都是由下至上逐渐减少，只是海岛棉中上部略高于中部，分别为 23.06 和 22.83，但是差异极小。中棉和草棉束纤维细胞数变化趋势与陆地棉和海岛棉不同，从下至上呈现由多到少再增多的趋势，但都以下部最大。两者之间的差别仅在于最小值中棉出现于中部（27.35），草棉出现于中上部（23.87）。海岛棉除下部束纤维细胞数为 33.27 略高于草棉的 31.83 外，其余各部位束纤维细胞数都最少。上部、中上部束纤维细胞数以中棉最多，中部以下各部位束纤维细胞数以陆地棉最多。除上部束纤维细胞数种间差异相对较大外，其余各部位种间差异相对较小。

表 3.4 四个栽培棉种茎秆不同部位束纤维细胞数的比较
Table 3.4 The comparison of the number of fiber cell per bunch in different sites of cotton stalk

观察部位	陆地棉	中 棉	海岛棉	草 棉	平 均
上 部	24.85	34.88	18.97	31.17	27.47
中上部	25.92	29.89	23.06	23.87	25.69
中 部	29.52	27.35	22.83	28.10	26.95
中下部	37.38	33.98	28.07	30.77	32.55
下 部	37.56	35.42	33.27	31.83	34.52

2.1.1.5 栽培棉种茎秆不同部位纤维细胞总数的差异

由表 3.5 可知，各棉种不同部位纤维细胞总数总体趋势都是由下往上逐渐减少。各部位纤维细胞总数最多的都是陆地棉，上部以海岛棉最少，为 6962；其余部位都以草棉最少，分别为 11458、29814、40955、50323。总体上，纤维细胞总数以陆地棉相对较多，中棉和草棉相对较少。

表 3.5 四个栽培棉种茎秆不同部位纤维细胞总数的比较
Table 3.5 The comparison of the number of fiber cell in different sites of cotton stalk

观察部位	陆地棉	中 棉	海岛棉	草 棉	平 均
上 部	10552	9452	6962	7948	8729
中上部	22317	14646	21492	11458	17478
中 部	39232	31206	36688	29814	34235
中下部	68742	47028	50975	40955	51925
下 部	84022	60639	70067	50323	66263

2.1.2 栽培棉种不同层次初皮纤维细胞群体形态结构的差异

2.1.2.1 栽培棉种茎秆不同部位不同层次纤维束数的差异

四个栽培棉种茎秆各部位不同层次纤维束数变化趋势较为一致，从第 1 层开始，除

中棉的上部和中上部持续下降外，都遵循先逐渐上升，达到最大值后，又迅速下降的趋势（图 3.1~3.4）。各棉种不同部位纤维束数最大值出现位置相对集中，上部和中上部基本出现在第 1、2 层，只有海岛棉中上部出现在第 3 层；中部和中下部基本出现在第 4、5 层，只有中棉中部出现在第 3 层；下部出现在第 7~9 层。陆地棉、中棉、草棉上部与中上部纤维束数最大值较为接近，小于中部以上各部位；中部以上各部位之间最大值也较为接近。海岛棉与其余三个棉种有所不同，其中上部、中部、中下部最大值比较接近，大于上部与下部；上部与下部之间比较接近。四个栽培棉种各部位纤维束数的最小值都出现在最后一层，在 1~93 之间。50 以上的只有陆地棉与海岛棉下部，分别为 93 和 65，10~50 之间的有陆地棉中上部、中棉上部、海岛棉中上部与中部、草棉上部与中上部，分别为 17、19、12、12、42 和 11，其余的小于 10（附表 1）。

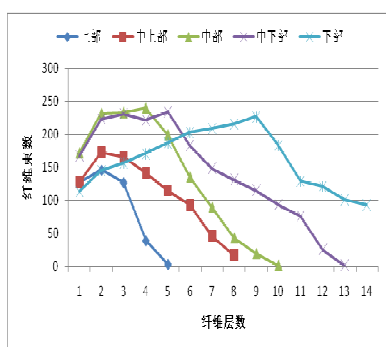


图 3.1 陆地棉不同部位不同层次纤维束数比较
Fig 3.1 The comparison of the number of fiber cell bunch in different sites and stages of *Gossypium hirsutum* L.

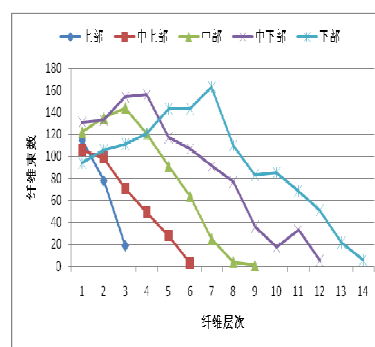


图 3.2 中棉不同部位不同层次纤维束数比较
Fig 3.2 The comparison of the number of fiber cell bunch in different sites and stages of *Gossypium nankingense* Mcyen..

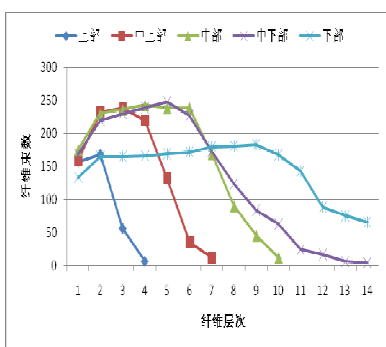


图 3.3 海岛棉不同部位不同层次纤维束数比较
Fig 3.3 The comparison of the number of fiber cell bunch in different sites and stages of *Gossypium barbadense* L.

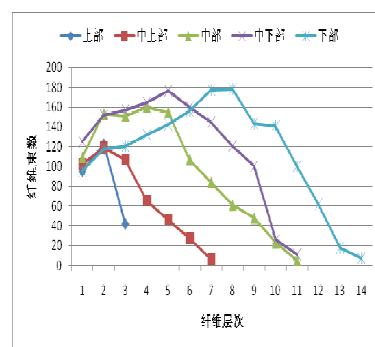


图 3.4 草棉不同部位不同层次纤维束数比较
Fig 3.4 The comparison of the number of fiber cell bunch in different sites and stages of *Gossypium herbaceum* L.

四个栽培棉种各部位间纤维束数的变化趋势随层次变化有所不同（图 3.5~3.8）。在第 5 层之前，各棉种从下往上，纤维束数基本按照由少增多再减少的趋势变化。只有中棉在第一层略有不同，其上部纤维束数为 115，比中上部的 106 有所增加，但增幅不大。至第 5 层，中棉各部位纤维束数的变化已变为由多逐渐减少，其它三个棉种变化趋势与前面保持一致（附表 1）。从第 7 层开始，四个栽培棉种各部位纤维束数已全部按

照由多逐渐减少的趋势变化。综合四个栽培棉种不同部位各层次间的情况看，陆地棉与海岛棉的纤维束数要明显多于中棉和草棉。

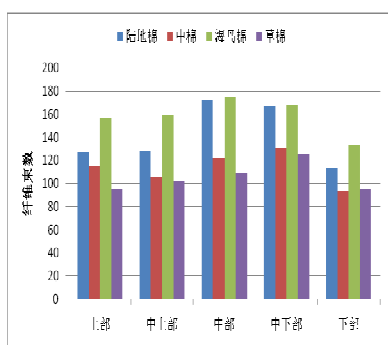


图 3.5 四个栽培棉种不同部位第 1 层纤维束数比较
Fig 3.5 The comparison of the number of fiber cell bunch for the first stage in different sites of cotton stalk

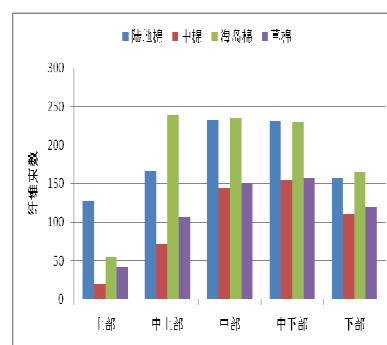


图 3.6 四个栽培棉种不同部位第 3 层纤维束数比较
Fig 3.6 The comparison of the number of fiber cell bunch for the third stage in different sites of cotton stalk

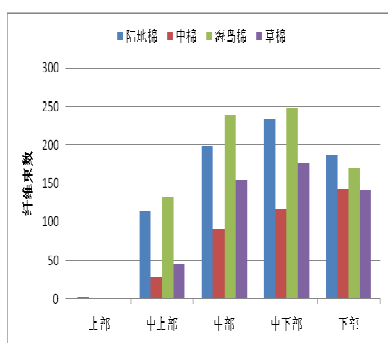


图 3.7 四个栽培棉种不同部位第 5 层纤维束数比较
Fig 3.7 The comparison of the number of fiber cell bunch for the fifth stage in different sites of cotton stalk

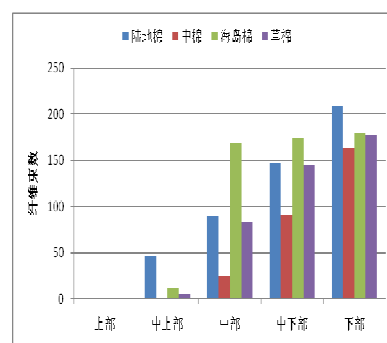


图 3.8 四个栽培棉种不同部位第 7 层纤维束数比较
Fig 3.8 The comparison of the number of fiber cell bunch for the seventh stage in different sites of cotton stalk

2.1.2.2 栽培棉种茎秆不同部位不同层次束纤维细胞数的差异

四个栽培棉种不同部位不同层次间束纤维细胞数的变化较为复杂（图 3.9~3.12）。各部位具体表现如下（附表 2）：上部都为持续下降；中上部陆地棉为降→升→降→升→降，中棉和海岛棉为降→升→降，草棉为升→降；中部陆地棉为持续下降，中棉和海岛棉为降→升→降，草棉为降→升→降→升→降→升；中下部陆地棉为降→升→降，中棉和海岛棉为降→升→降→升→降，草棉为降→升→降→升→降→升；下部陆地棉和海岛棉为降→升→降，中棉为升→降→升→降→升，草棉为降→升→降→升→降→升。四个棉种上部至中部束纤维细胞数最大值基本集中在第 1 层，只有草棉中上部第 2 层略高于第 1 层，分别为 25 和 24.8。中下部和下部情况正好相反，束纤维细胞数最大值出现位置分布较广，普遍分布在 3~7 层之间，只有海岛棉下部出现在第 9 层。束纤维细胞数最小值，除陆地棉下部分布在第 2 层，草棉中部和下部分布在第 6 和第 11 层外，都位于最后一层。

四个栽培棉种不同部位束纤维细胞数在各层次上的变化各不相同（图 3.13~3.16）。由下往上的变化趋势，各棉种的具体表现如下（附表 2）：陆地棉在第 1、3、4、5 层为升

→降，第2层为降→升→降，但下部和中下部束纤胞数分别为26.7和26.1，差异很小，

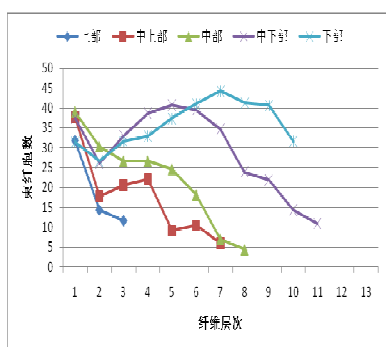


图 3.9 陆地棉不同部位不同层次束纤胞数比较
Fig 3.9 The comparison of the number of fiber cell per bunch in different sites and stages of *Gossypium hirsutum* L.

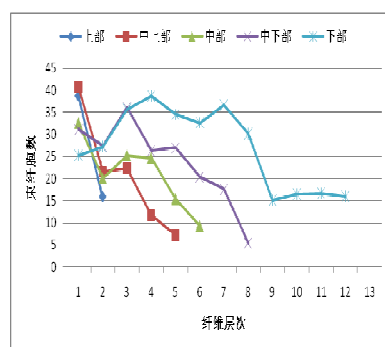


图 3.10 中棉不同部位不同层次束纤胞数比较
Fig 3.10 The comparison of the number of fiber cell per bunch in different sites and stages of *Gossypium nanking* Mcyen.

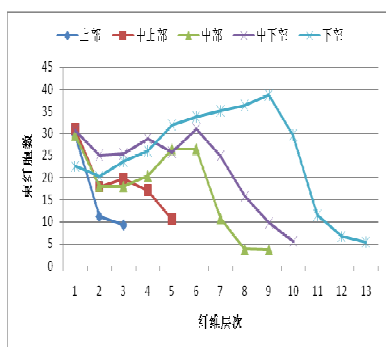


图 3.11 海岛棉不同部位不同层次束纤胞数比较
Fig 3.11 The comparison of the number of fiber cell per bunch in different sites and stages of *Gossypium barbadense* L.

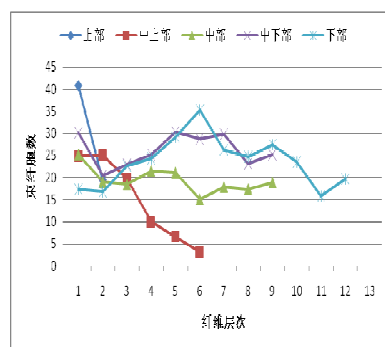


图 3.12 草棉不同部位不同层次束纤胞数比较
Fig 3.12 The comparison of the number of fiber cell per bunch in different sites and stages of *Gossypium herbaceum* L.

第5层以后的各层次为持续下降；中棉在第1、3层为升→降，第2层为升→降→升→降，其下部和中下部束纤胞数分别为27.3和27.4，几乎没有差异，变化趋势也可近似为降→升→降，第3层以后各层次为持续下降；海岛棉第1、3层为升→降→升→降，第2、4层为升→降，第5层为降→升→降，第5层后为持续下降；草棉第1、3层为升→降→升，第2层为升→降→升→降，第4、5层为升→降，第5层后为持续下降。从上可看出，四个栽培棉种不同部位束纤胞数在第1~5层变化较为复杂，第5层以后各层次变化较为一致。不同层次不同部位的束纤胞数在四个栽培棉种间存在不同程度的种间差异。

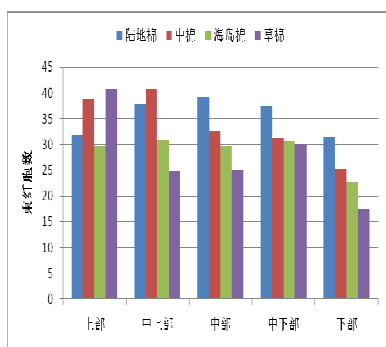


图 3.13 四个栽培棉种不同部位第1层束纤胞数比较
Fig 3.13 The comparison of the number of fiber cell per bunch for the first stage in different sites of cotton stalk

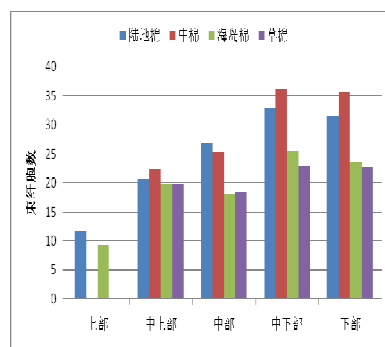


图 3.14 四个栽培棉种不同部位第3层束纤胞数比较
Fig 3.14 The comparison of the number of fiber cell per bunch for the third stage in different sites of cotton stalk

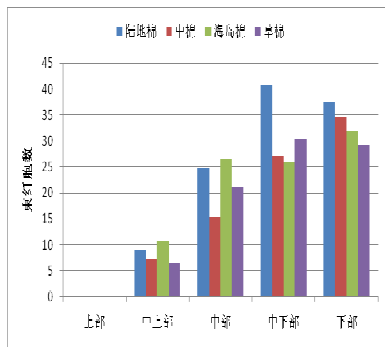


图 3.15 四个栽培棉种不同部位第 5 层束纤维细胞数比较
Fig 3.15 The comparison of the number of fiber cell per bunch for the fifth stage in different sites of cotton stalk

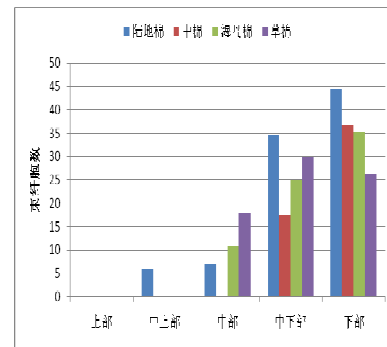


图 3.16 四个栽培棉种不同部位第 7 层束纤维细胞数比较
Fig 3.16 The comparison of the number of fiber cell per bunch for the seventh stage in different sites of cotton stalk

2.1.2.3 栽培棉种茎秆不同部位不同层次纤维细胞总数的差异

四个栽培棉种不同部位不同层次纤维细胞数的变化相对一致（图 3.17~3.20）。在上部和上中部，各棉种都表现出持续下降的趋势；在中部，陆地棉和中棉表现为持续下降，海岛棉呈现先降后升再下降的趋势，草棉呈现先升后降的趋势；在中下部和下部，各棉种基本表现为先升后降的趋势，只有草棉在中下部表现为先降后升再下降的趋势。各栽培棉种不同部位纤维细胞数最大值的分布层次也相对集中，中部及以上各部位除海岛棉中部位于第 3 层外，其余的都位于第 1 层，中下部与下部基本位于第 3、4 层，只有中棉中下部位位于第 2 层。纤维细胞数最小值基本都位于最后一层，只有陆地棉下部位

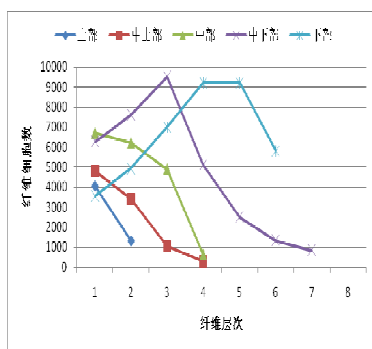


图 3.17 陆地棉不同部位不同层次纤维细胞总数比较
Fig 3.17 The comparison of the number of fiber cell in different sites and stages of *Gossypium hirsutum* L.

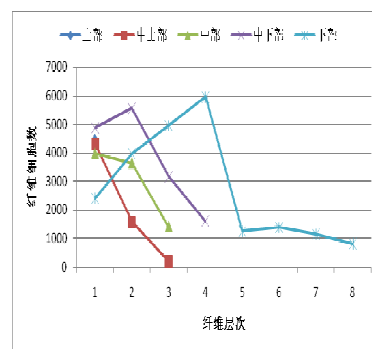


图 3.18 中棉不同部位不同层次纤维细胞总数比较
Fig 3.18 The comparison of the number of fiber cell in different sites and stages of *Gossypium nanking* Mcyen.

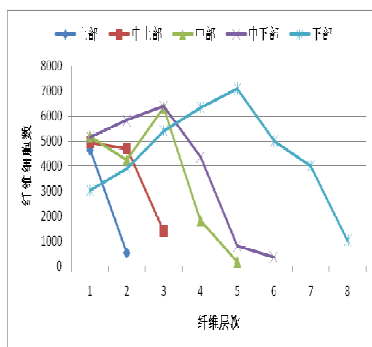


图 3.19 海岛棉不同部位不同层次纤维细胞总数比较
Fig 3.19 The comparison of the number of fiber cell in different sites and stages of *Gossypium barbadense* L.

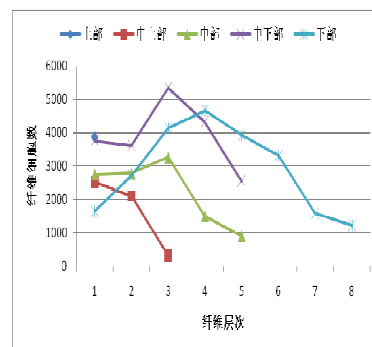


图 3.20 草棉不同部位不同层次纤维细胞总数比较
Fig 3.20 The comparison of the number of fiber cell in different sites and stages of *Gossypium herbaceum* L.

于第 1 层，为 3561，远小于最后一层的 5833（附表 3）。

四个栽培棉种不同部位纤维细胞数的变化趋势随层次变化各有不同（图 3.21～3.24）。从下至上，在第 1 层，陆地棉和海岛棉一致，表现为先升后降；中棉和草棉一致，表现为先升后降再上升。在第 2 层，海岛棉表现为先升后降再上升后又下降，其它三个棉种表现一致，都是先升后降。至第 3 层，情况又有改变：中棉表现为持续下降，其它三个棉种一致，都表现为先升后降。从第 4 层开始，以后的各个层次四个栽培棉种都表现出持续下降的趋势（附表 3）。与束纤维数一样，不同层次不同部位的纤维细胞数在四个栽培棉种间存在不同程度的差异。

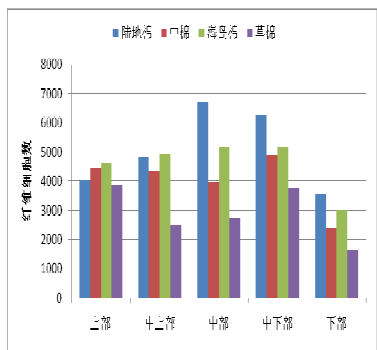


图 3.21 四个栽培棉种不同部位第 1 层纤维细胞总数比较
Fig 3.21 The comparison of the number of fiber cell for the first stage in different sites of cotton stalk

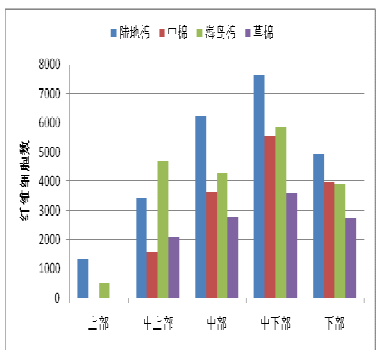


图 3.22 四个栽培棉种不同部位第 3 层纤维细胞总数比较
Fig 3.22 The comparison of the number of fiber cell for the third stage in different sites of cotton stalk

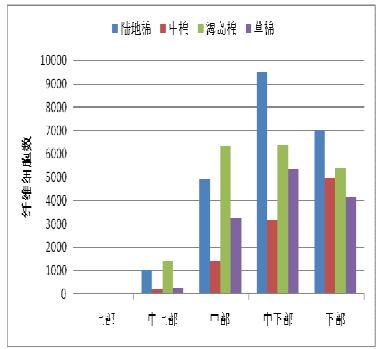


图 3.23 四个栽培棉种不同部位第 5 层纤维细胞总数比较
Fig 3.23 The comparison of the number of fiber cell for the fifth stage in different sites of cotton stalk

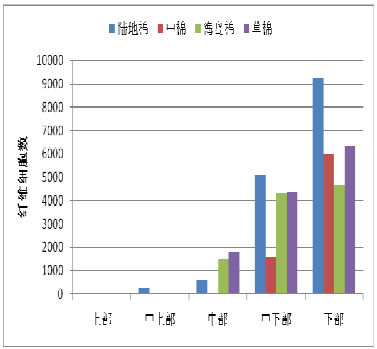


图 3.24 四个栽培棉种不同部位第 7 层纤维细胞总数比较
Fig 3.24 The comparison of the number of fiber cell for the seventh stage in different sites of cotton stalk

2.2 栽培棉种韧皮纤维细胞形态结构的部位间差异

2.2.1 韧皮纤维细胞的长度、宽度、长宽比

由表 3.6 可知，四个栽培棉种韧皮纤维细胞长度从上部到下部逐渐增加，到中下部达到最大值后又有所下降。中部以上各部位间的增长幅度较大且比较均匀，中部和中下部之间的增长量很小，中下部和下部之间几乎没有增长。以上说明在中部以上的韧皮纤维细胞处于迅速伸长时期，在中部和中下部之间伸长生长变得极为缓慢，至中下部伸长生长基本停止。在相同部位上，韧皮纤维细胞长度都以陆地棉最大，海岛棉最小。海岛

棉和草棉的纤维细胞长度较为接近。

表 3.6 四个栽培棉种茎秆不同部位韧皮纤维细胞长度（mm）的比较

Table 3.6 The comparison of length(mm) for phloem fiber cell in different sites of cotton stalk

观察部位	陆地棉	中 棉	海岛棉	草 棉	平 均
上 部	1.26	1.01	0.88	0.92	1.02
中上部	1.95	1.52	1.27	1.33	1.52
中 部	2.69	2.13	1.68	1.74	2.06
中下部	2.83	2.23	1.74	1.82	2.16
下 部	2.77	2.17	1.69	1.81	2.11

四个栽培棉种韧皮纤维细胞宽度与长度的变化基本一致,也是从上部到下部逐渐增加,中部与中下部之间生长极为缓慢,至中下部基本停止增宽(表 3.7)。但与纤维细胞长度不同的是,纤维细胞宽度的增长在上部与中部之间有一个明显的增长高峰,其后宽度生长明显下降。在相同部位上,韧皮纤维细胞宽度都以陆地棉最大,上部以海岛棉最小,中下部至下部都以中棉最小。从总体上看,中棉、海岛棉和草棉纤维细胞宽度较为接近。

表 3.7 四个栽培棉种茎秆不同部位韧皮纤维细胞宽度（μm）的比较

Table 3.7 The comparison of width(μm) for phloem fiber cell in different sites of cotton stalk

观察部位	陆地棉	中 棉	海岛棉	草 棉	平 均
上 部	8.11	7.19	7.18	7.62	7.53
中上部	17.68	14.53	15.03	15.19	15.61
中 部	21.91	17.82	18.97	18.54	19.31
中下部	22.94	18.86	19.79	19.72	20.33
下 部	22.67	18.34	19.21	19.09	19.83

由于韧皮纤维细胞宽度在上部与中上部之间存在一个明显的增长高峰,所以四个栽培棉种的纤维细胞长宽比并没有表现出由上部到下部逐渐增加的变化趋势,而是从上部

表 3.8 四个栽培棉种茎秆不同部位韧皮纤维细胞长宽比的比较

Table 3.8 The comparison of length/width for phloem fiber cell in different sites of cotton stalk

观察部位	陆地棉	中 棉	海岛棉	草 棉	平 均
上 部	155.36	140.47	122.56	120.73	134.78
中上部	110.29	104.61	84.50	87.56	96.74
中 部	122.77	119.53	88.56	93.85	106.18
中下部	123.37	118.24	87.92	92.29	105.46
下 部	122.19	118.32	87.97	94.81	105.82

到中部之间迅速下降,其后又逐渐缓慢增加,只是陆地棉的下部比中下部略有减少(表

3.8)。在部位间进行比较,陆地棉、中棉、海岛棉和草棉的韧皮纤维细胞长宽比的峰值都出现在上部,分别达到 155.36、140.47、122.56 和 120.73,都明显大于其它部位。四个栽培棉种韧皮纤维细胞长宽比的最小值出现在中上部,与其下的部位比较差异相对较小。在相同部位上,韧皮纤维细胞长宽比仍然都以陆地棉最大,上部以草棉最小,中上部到下部都以海岛棉最小。总体上,海岛棉和草棉的纤维细胞长宽比相对较小,陆地棉和中棉的纤维细胞长宽比相对较大。

2.2.2 韧皮纤维细胞的荣凯尔系数、刚性系数、柔性系数

四个栽培棉种的韧皮纤维细胞壁厚的变化类似于韧皮纤维细胞宽度。不同的是,其增长高峰出现在中上部到中部之间(表 3.9)。韧皮纤维细胞壁厚在相同的部位上都以草棉最大,中棉最小。海岛棉和草棉较为接近,相对较大;陆地棉和中棉较为接近,相对较小。

表 3.9 四个栽培棉种茎秆不同部位韧皮纤维细胞壁厚(μm) 的比较
Table 3.9 The comparison of wall thickness(μm) for phloem fiber cell in different sites of cotton stalk

观察部位	陆地棉	中 棉	海岛棉	草 棉	平 均
上 部	1.51	1.26	1.65	1.78	1.55
中上部	2.82	2.61	3.17	3.22	2.96
中 部	6.69	6.15	7.53	7.84	7.05
中下部	7.04	6.52	7.89	8.27	7.43
下 部	6.72	6.18	7.33	7.95	7.05

由于韧皮纤维细胞宽度与壁厚生长高峰出现在相邻的部位之间,所以四个栽培棉种韧皮纤维细胞腔径的峰值与壁厚一样出现在中上部(表 3.10)。韧皮纤维细胞腔径受韧皮纤维细胞宽度与壁厚的共同影响,其变化情况要比韧皮纤维细胞宽度与壁厚都复杂。在不同部位间比较,陆地棉、中棉、海岛棉的最小值都出现在上部,分别为 5.09、4.67、3.88,草棉的最小值出现在中部,为 2.86。中部以下变化与纤维细胞宽度与壁厚一致,都是在中部到下部之间缓慢增长,。相同部位的比较,陆地棉在各个部位上腔径都最大,

表 3.10 四个栽培棉种茎秆不同部位韧皮纤维细胞腔径(μm) 的比较
Table 3.10 The comparison of cavity diameter(μm) for phloem fiber cell in different sites of cotton stalk

观察部位	陆地棉	中 棉	海岛棉	草 棉	平 均
上 部	5.09	4.67	3.88	4.06	4.43
中上部	12.04	9.31	8.69	8.75	9.70
中 部	8.53	5.52	3.91	2.86	5.21
中下部	8.86	5.82	4.01	3.18	5.47
下 部	9.23	5.98	4.55	3.19	5.74

上部与中上部以海岛棉最小，中部到下部都以草棉最小。在上部与中上部，海岛棉和草棉腔径较为接近，但从中部以下两者之间的差异明显增大。总体而言，陆地棉腔径相对较大，草棉相对较小。

韧皮纤维细胞荣凯尔系数的变化也比较复杂：从上部到中上部，陆地棉、海岛棉、草棉变化一致，都是从上部开始下降到中上部的最小值（分别为 0.47、0.73、0.74），而中棉的最小值出现在上部（0.54），中上部比上部略有增加。从中上部到下部，陆地棉、中棉、海岛棉变化一致，都是从中上部到中部迅速增长，而后缓慢增长，在中下部达到最大值（分别为 1.59、2.24、3.94）后又略有下降。而草棉则从中上部开始迅速增加，在中部达到最大值（5.48），而后又缓慢下降。但四个栽培棉种相同的是，在中上部与中部之间存在一个明显的增长高峰，以韧皮纤维细胞壁厚一致。韧皮纤维细胞荣凯尔系数在相同部位上都以草棉最大，上部以中棉最小，中上部到下部都以陆地棉最小。与韧皮纤维细胞腔径一样，海岛棉和草棉的韧皮纤维细胞荣凯尔系数较为接近，从中部以下两者之间的差异明显增大（表 3.11）。

表 3.11 四个栽培棉种茎秆不同部位韧皮纤维细胞荣凯尔系数的比较

Table 3.11 The comparison of 2T/D for phloem fiber cell in different sites of cotton stalk					
观察部位	陆地棉	中 棉	海岛棉	草 棉	平 均
上 部	0.59	0.54	0.85	0.88	0.72
中上部	0.47	0.56	0.73	0.74	0.63
中 部	1.57	2.23	3.85	5.48	3.28
中下部	1.59	2.24	3.94	5.20	3.24
下 部	1.46	2.07	3.22	5.19	2.99

四个栽培棉种的韧皮纤维细胞刚性系数与壁厚一样，在中上部与中部之间存在一个明显的增长高峰。陆地棉、海岛棉、草棉韧皮纤维细胞刚性系数最小值都出现在中上部，分别为 0.32、0.42、0.42，中棉最小值出现在上部，为 0.35，与韧皮纤维细胞荣凯尔系数一致。中部到下部的韧皮纤维细胞刚性系数几乎没有变化。韧皮纤维细胞刚性系数在

表 3.12 四个栽培棉种茎秆不同部位韧皮纤维细胞刚性系数的比较

Table 3.12 The comparison of rigid coefficient for phloem fiber cell in different sites of cotton stalk					
观察部位	陆地棉	中 棉	海岛棉	草 棉	平 均
上 部	0.37	0.35	0.46	0.47	0.41
中上部	0.32	0.38	0.42	0.42	0.39
中 部	0.61	0.69	0.79	0.85	0.74
中下部	0.61	0.69	0.80	0.84	0.74
下 部	0.59	0.67	0.76	0.83	0.71

相同部位上也都以草棉最大，最小值情况与韧皮纤维细胞荣凯尔系数一致。从总体上看，韧皮纤维细胞刚性系数海岛棉与草棉较为接近，相对较大；陆地棉和中棉较为接近，相对较小（表 3.12）。

四个栽培棉种的韧皮纤维细胞柔性系数在中上部与中部之间存在一个明显的下降高峰。与韧皮纤维细胞刚性系数类似，陆地棉、海岛棉、草棉韧皮纤维细胞柔性系数峰值都出现在中上部，分别为 68.10、57.82、57.60，中棉峰值出现在上部，为 64.95。陆地棉、中棉、海岛棉在中上部与中下部表现出持续下降的趋势，至中下部后又略有上升，

表 3.13 四个栽培棉种茎秆不同部位韧皮纤维细胞柔性系数的比较

Table 3.13 The comparison of slender coefficient for phloem fiber cell in different sites of cotton stalk

观察部位	陆地棉	中 棉	海岛棉	草 棉	平 均
上 部	62.76	64.95	54.04	53.28	58.76
中上部	68.10	64.07	57.82	57.60	61.90
中 部	38.93	30.98	20.61	15.43	26.49
中下部	38.49	30.86	20.26	16.13	26.44
下 部	40.71	32.61	23.69	16.71	28.43

但中部到下部的差异极小。而草棉在中部达到最小值后又缓慢增长。韧皮纤维细胞柔性系数在相同部位上的比较：上部以中棉最大，中上部到下部都以陆地棉最大，各个部位都以草棉最小。从上部与中上部看，陆地棉与中棉较为接近，相对较大；海岛棉与草棉较为接近，相对较小。在中部到下部，四个栽培棉种间的差异明显增大（表 3.13）。

2.3 栽培棉种木质纤维细胞形态结构的部位间差异

2.3.1 木质纤维细胞长度、宽度、长宽比

四个栽培棉种木质纤维细胞的伸长与韧皮纤维细胞类似，都是在上部与中部之间较为均匀的伸长，中部到中下部之间伸长速度放缓，至中下部后又有所下降。在各个部位上，木质纤维细胞长度都以陆地棉最大，上部和下部以草棉最小，分别为 0.19、0.63，中上部到中下部以中棉最小，分别为 0.39、0.61、0.69。总体上，木质纤维细胞长度以

表 3.14 四个栽培棉种茎秆不同部位木质纤维细胞长度（mm）的比较

Table 3.14 The comparison of length(mm) for xylem fiber cell in different sites of cotton stalk

观察部位	陆地棉	中 棉	海岛棉	草 棉	平 均
上 部	0.29	0.21	0.24	0.19	0.23
中上部	0.57	0.39	0.52	0.41	0.47
中 部	0.86	0.61	0.80	0.65	0.73
中下部	0.98	0.69	0.89	0.71	0.82
下 部	0.87	0.64	0.81	0.63	0.74

陆地棉与海岛棉相对较大，中棉和草棉相对较小（表 3.14）。

由表 3.15 可知，木质纤维细胞宽度在上部与中上部之间也存在一个明显的增长高峰，从中上部开始增速逐渐放慢，至中下部后又有所下降。在相同部位上，木质纤维细胞宽度都以海岛棉最大，中棉最小。总体来看，木质纤维细胞宽度以陆地棉与海岛棉相对较大，中棉与草棉相对较小。

因为木质纤维细胞长度与宽度的变化与韧皮纤维细胞类似，所以四个栽培棉种木质

表 3.15 四个栽培棉种茎秆不同部位木质纤维细胞宽度（ μm ）的比较

Table 3.15 The comparison of width(μm) for xylem fiber cell in different sites of cotton stalk

观察部位	陆地棉	中 棉	海岛棉	草 棉	平 均
上 部	7.92	6.63	8.44	7.11	0.75
中上部	16.27	12.95	18.25	14.49	15.49
中 部	22.24	17.34	24.38	18.46	20.61
中下部	23.08	17.87	24.99	19.01	21.24
下 部	22.38	17.09	24.27	18.49	20.56

纤维细胞长宽比最小值也应该出现在中上部，但实际情况并非如此。由表 3.16 可知，陆地棉和中棉的最小值出现在中上部，海岛棉和草棉的最小值出现在上部，且上部与中上部的差异并不大，远未达到韧皮纤维细胞长宽比的水平。造成这种现象的原因应该是木质纤维细胞长度在上部与中上部之间的增长幅度要比韧皮纤维细胞大，抵消了木质纤维细胞宽度增长带来的影响。木质纤维细胞长宽比中部到中下部的变化与木质纤维细胞长度和宽度的变化较为一致。在相同部位上，木质纤维细胞长宽比都以陆地棉最大，上部和中部以草棉最小，中部到下部以海岛棉最小。四个栽培棉种木质纤维细胞长宽比在不同部位上存在不同的差异。

表 3.16 四个栽培棉种茎秆不同部位木质纤维细胞长宽比的比较

Table 3.16 The comparison of length/width for xylem fiber cell in different sites of cotton stalk

观察部位	陆地棉	中 棉	海岛棉	草 棉	平 均
上 部	36.62	31.67	28.44	26.72	30.86
中上部	35.03	30.12	28.49	28.30	30.49
中 部	38.67	35.18	32.81	35.21	35.47
中下部	42.46	38.61	35.61	37.35	38.51
下 部	38.87	37.45	33.37	34.07	35.94

2.3.2 木质纤维细胞的荣凯尔系数、刚性系数、柔性系数

木质纤维细胞壁厚的变化与韧皮纤维细胞不太一样：从上部到中部的增长比较均匀，中部到中下部之间增长放慢，至中下部后略有下降。木质纤维细胞壁厚在各个部位

上都以海岛棉最少，草棉在上部、中部最大，分别为 1.11、3.07，陆地棉在中上部、中下部、下部最大，分别为 2.18、3.32、3.11。总体上，陆地棉、中棉、草棉的木质纤维细胞壁厚较为接近，相对较大，海岛棉相对较小（表 3.17）。

木质纤维细胞腔径的增长与木质纤维细胞宽度一样，也在上部与中上部之间存在一

表 3.17 四个栽培棉种茎秆不同部位木质纤维细胞壁厚（ μm ）的比较

Table 3.17 The comparison of wall thickness(μm) for xylem fiber cell in different sites of cotton stalk

观察部位	陆地棉	中 棉	海岛棉	草 棉	平 均
上 部	0.99	1.02	0.78	1.11	0.98
中上部	2.18	2.04	1.89	2.15	2.07
中 部	3.06	3.03	2.67	3.07	2.96
中下部	3.32	3.19	2.90	3.27	3.17
下 部	3.11	3.07	2.79	3.09	3.02

表 3.18 四个栽培棉种茎秆不同部位木质纤维细胞腔径（ μm ）的比较

Table 3.18 The comparison of cavity diameter(μm) for xylem fiber cell in different sites of cotton stalk

观察部位	陆地棉	中 棉	海岛棉	草 棉	平 均
上 部	5.94	4.59	6.88	4.89	5.58
中上部	11.91	8.87	14.47	10.19	11.36
中 部	16.12	11.28	19.04	12.32	14.69
中下部	16.44	11.49	19.19	12.47	14.90
下 部	16.16	10.95	18.69	12.31	14.53

个明显的增长高峰，只是陆地棉与草棉的增长高峰相对更为明显。中上部以下增长逐渐放慢，至中下部后略有下降。在相同的部位上，木质纤维细胞腔径都以海岛棉最大，中棉最小。中棉和草棉的木质纤维细胞腔径相对较小，海岛棉相对较大（表 3.18）。

木质纤维细胞荣凯尔系数的变化，陆地棉、中棉和草棉都是从上至下逐渐增长，至中下部后陆地棉略有下降，中棉和海岛棉几乎没有变化。草棉则是先有所下降后又逐渐回升至中下部后又略有下降，其最小值出现在中上部（0.42）。木质纤维细胞荣凯尔系数在各个部位上都以海岛棉最小，上部最大的是草棉，中上部到下部最大的是中棉。与

表 3.19 四个栽培棉种茎秆不同部位木质纤维细胞荣凯尔系数的比较

Table 3.19 The comparison of 2T/D for xylem fiber cell in different sites of cotton stalk

观察部位	陆地棉	中 棉	海岛棉	草 棉	平 均
上 部	0.33	0.44	0.23	0.45	0.36
中上部	0.37	0.46	0.26	0.42	0.38
中 部	0.38	0.54	0.28	0.50	0.43
中下部	0.40	0.56	0.30	0.52	0.45
下 部	0.38	0.56	0.30	0.50	0.44

木质纤维细胞腔径相反，木质纤维细胞荣凯尔系数以草棉和中棉相对较大，海岛棉相对较小（表 3.19）。

由表 3.20 可知木质纤维细胞刚性系数的变化与木质纤维细胞荣凯尔系数类似，只是中棉从上部到下部一直在缓慢增长。木质纤维细胞刚性系数在各个部位上都以海岛棉最小，中棉最大。与木质纤维细胞荣凯尔系数一样，木质纤维细胞刚性系数也以草棉和中棉相对较大，海岛棉相对较小。

表 3.20 四个栽培棉种茎秆不同部位木质纤维细胞刚性系数的比较
Table 3.20 The comparison of rigid coefficient for xylem fiber cell in different sites of cotton stalk

观察部位	陆地棉	中 棉	海岛棉	草 棉	平 均
上 部	0.25	0.31	0.18	0.31	0.26
中上部	0.27	0.32	0.21	0.30	0.28
中 部	0.28	0.35	0.22	0.33	0.30
中下部	0.29	0.36	0.23	0.34	0.31
下 部	0.28	0.40	0.23	0.33	0.31

由表 3.21 陆地棉、中棉、海岛棉木质纤维细胞柔性系数变化趋势类似，都是由上至下逐渐减少，只是陆地棉和海岛棉在中下部和下部之间又略有增加。而草棉则是先上升，在中上部到达最大值（70.32）后又逐渐下降，至中下部后又略有增加。在相同部位上木质纤维细胞柔性系数都以海岛棉最大，上部以草棉最小，中上部到下部以中棉最小。与木质纤维细胞刚性系数相反，木质纤维细胞柔性系数以海岛棉相对较大，中棉和草棉相对较小。

表 3.21 四个栽培棉种茎秆不同部位木质纤维细胞柔性系数的比较
Table 3.21 The comparison of slender coefficient for xylem fiber cell in different sites of cotton stalk

观察部位	陆地棉	中 棉	海岛棉	草 棉	平 均
上 部	75.00	69.23	81.25	68.78	73.57
中上部	73.20	68.49	79.29	70.32	72.83
中 部	72.48	65.05	78.10	66.74	70.59
中下部	71.23	64.30	76.79	65.60	69.48
下 部	72.21	64.07	77.01	66.58	69.97

3 结论

3.1 不同部位的韧皮纤维细胞群体、纤维细胞形态结构的差异

供试的四个栽培棉种在棉秆韧皮纤维细胞群体的 5 项观测指标中纤维细胞层数、纤维细胞束数、纤维细胞总数在不同部位上都表现出从上到下逐渐增大的规律性。而纤维

细胞群数与束纤维细胞数在不同部位间的变化则要复杂得多，四个栽培棉种情况各有不同。但总体而言，仍以中部以下居多。

棉秆韧皮纤维细胞的长度、宽度、壁厚在上部至中下部之间都处于一个持续增长的过程，但在中下部和下部之间又都略有下降，其中部以下各部位间的差异很小。韧皮纤维细胞的宽度、壁厚在生长发育过程中都存在一个明显的发育高峰期，与苧麻韧皮纤维类似^[51]，所不同的是宽度的发育高峰出现在上部至中上部之间，壁厚的发育高峰出现在中上部至中部之间。因此，韧皮纤维细胞长宽比、腔径、荣凯尔系数等指标在不同部位间的变化较为复杂，没有明显的规律性。总体而言，棉秆韧皮纤维细胞上部、中上部的长度较短，明显短于中部以下各部位；但由于其壁厚较小，腔径较大，在荣凯尔系数、刚性系数等指标上又明显优于中部以下各部位。

棉秆木质纤维细胞形态结构的各项指标在不同部位间的变化与韧皮纤维细胞类似。不同的是，木质纤维细胞只在宽度的生长发育过程中存在一个明显的发育高峰期。而且，木质纤维长宽比、荣凯尔系数、刚性系数、柔性系数等指标在各部位间的差异都相对较小，纤维质量较为均匀。

3.2 不同层次的韧皮纤维细胞群体形态结构的差异

四个栽培棉种不同层次的纤维细胞群体形态结构变化较为复杂。但从总体上看，纤维细胞束数、纤维细胞总数以中间的层次居多，内、外两端的层次为少，而且都以最后一层最少。而束纤维细胞数层次间的变化有所不同，一般以第一层的为最多，其余层次间的变化与纤维细胞束数、纤维细胞总数相似。

3.3 不同部位相同层次的韧皮纤维细胞群体形态结构的差异

四个栽培棉种不同部位相同层次的纤维细胞群体形态结构变化也较为复杂，情况各有不同。从总体上看，纤维细胞束数、束纤维细胞数、纤维细胞总数从第七层开始，都以下部最多；第七层之前则多以中部、中下部较多，上部和下部相对较少，只是在第一层时各部位间的差异相对较小，甚至会出现上部、中上部大于中部、中下部的现象。

3.4 总结

从本研究得出的结果上看，棉秆纤维细胞群体的发育贯穿其生长的全过程，但棉秆韧皮纤维和木质纤维单纤维的发育在中下部基本停止，不再增长、增粗，壁厚也不再增加。棉秆韧皮纤维和木质纤维在中部之前的发育明显快于中部至中下部之间的发育，说明棉秆纤维细胞发育具有明显的阶段性。而且，通过韧皮纤维细胞群体形态结构不同层

次以及不同部位相同层次间的变化可以看出，各层纤维细胞群体的发育早期要明显快于晚期。可见韧皮纤维细胞群体的发育也具有明显的阶段性。另外，从不同部位不同层次的韧皮纤维细胞群体、韧皮纤维与木质纤维综合性能指标上看，四个栽培棉种中仍然以陆地棉综合质量最好。

4 讨论

4.1 棉秆韧皮纤维细胞群体的发育贯穿其生长的全过程，但其在部位间和层次间的变化却又比较复杂，没有表现出十分明显的规律性。造成这种现象的原因，可能是其自身的遗传基因与外界环境因素的共同影响。因此，在进一步对棉秆纤维发育的研究中，应考虑栽培因素的影响。

4.2 棉秆韧皮纤维细胞群体及纤维细胞的形态结构在其生长发育过程中都存在明显的阶段性，这应该是受遗传基因控制的。因此，笔者认为要弄清楚棉秆纤维细胞的生长发育规律有必要深入到分子水平。

4.3 棉秆纤维性能在不同部位间存在着不同的差异，但总体上都是上部纤维较短，壁厚较小，腔径较大；中部、下部纤维较长，壁厚较大，腔径较小。据此，笔者认为不同部位的棉秆纤维性能各有优势，在对其进行利用时，应尽可能多的收获棉秆材料。具体可从以下三个方面着手：① 棉秆收获时，应尽量齐地面收取。② 充分剥取棉秆皮，使韧皮纤维综合性能指标更加优良。③ 由于棉秆上部的皮层较薄，剥取困难，而且棉花分枝较多，不利于机械操作，人工操作又费时费力，经济效益低。因此，应尽快研究出高效的剥取技术和机械。

4.4 棉秆纤维综合质量在不同部位不同层次间依然以陆地棉为最优，进一步证明了棉秆纤维在纺织与造纸的利用中，其重点应是陆地棉。

第四章 棉秆韧皮与木质纤维形态结构的品种间差异

棉秆韧皮纤维和木质纤维作为茎秆的一个重要组成部分，纤维细胞及其群体的形态结构必然受到品种遗传基因的制约，存在明显的品种间差异。本章在第二章、第三章初步探明棉秆韧皮、木质纤维形态结构种间及部位间差异的基础上，以 44 个不同类型的陆地棉品种（组合）为材料，进一步探讨棉秆韧皮、木质纤维形态结构的品种间差异。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试品种包括陆地棉不同类型品种（组合）44 份，其中：国内品种 28 份，墨西哥品种 16 份，常规棉品种 29 份，杂交棉品种 15 份（表 1）。完全随机种植于湖南农业大学试验农场。

表 3.1 各供试品种情况
Table 3.1 A list of tested species of *Gossypium hirsutum* L.

序号	品种名称	产地	备 注	序号	品种名称	产地	备 注
1	901	国内	常规品种	23	农杂 6	国内	F1, 泗棉 3 号×97006
2	94-41	国内	常规品种，长绒棉	24	农杂 16	国内	F1, 泗棉 3 号× 97016, 抗虫
3	94042	国内	常规品种	25	农杂 18	国内	F1, 泗棉 3 号× 97018, 抗虫
4	96-1	国内	常规品种，转基因抗虫棉	26	农杂 41	国内	F1, 泗棉 3 号×97041
5	96-5	国内	常规品种，产量低，长柱头	27	农杂 42	国内	F1, 泗棉 3 号×97042
6	96-100	国内	常规品种，长绒棉	28	农杂 43	国内	F1, 泗棉 3 号×97043
7	97001	墨西哥	常规品种	29	农杂 46	国内	F1, 湘棉 10 号× 97011
8	97002	墨西哥	常规品种	30	农杂 47	国内	F1, 湘棉 10 号× 97002
9	97003	墨西哥	常规品种	31	农杂 99	国内	F1, 湘棉 16 号× 97022
10	97006	墨西哥	常规品种	32	农杂 100	国内	F1, 湘棉 16 号× 97028
11	97007	墨西哥	常规品种	33	农杂 101	国内	F1, E-81×96-1
12	97008	墨西哥	常规品种	34	农杂 102	国内	F1, 96-5×901
13	97011	墨西哥	常规品种	35	农杂 106	国内	F1, 96-5×97007
14	97016	墨西哥	常规品种，转基因抗虫棉	36	农杂 108	国内	F1, 96-5×97008
15	97017	墨西哥	常规品种，转基因抗虫棉	37	湘棉 10 号	国内	常规品种
16	97018	墨西哥	常规品种，转基因抗虫棉	38	湘棉 15 号	国内	常规品种
17	97019	墨西哥	常规品种，转基因抗虫棉	39	湘棉 16 号	国内	常规品种，低酚棉

18	97022	墨西哥	常规品种	40	湘棉 17 号	国内	常规品种
19	97028	墨西哥	常规品种	41	泗棉 3 号	国内	常规品种
20	97040	墨西哥	常规品种	42	中棉 12 号	国内	常规品种
21	97041	墨西哥	常规品种	43	E-81	国内	常规品种, 低酚棉, 柱头外露
22	97043	墨西哥	常规品种	44	海陆杂交棉	国内	F5

1.2 取样

所有品种于棉花收获完毕后同时取样, 从每个品种中取 5 株有代表性的植株, 切取主茎中部 2.0cm 茎段作为试验材料。FAA 液固定、纤维离析与纤维形态结构的显微观察同第二章。

2 结果与分析

2.1 韧皮纤维细胞群体形态结构的品种间差异

2.1.1 纤维细胞群数

本次试验的 44 个陆地棉品种 (组合), 韧皮纤维细胞群数在 60.8~92.8 之间, 平均值为 78.9。其中, 纤维细胞群数较少的是农杂 18 (60.8)、农杂 43 (67.6)、湘棉 17 (68.4) 和 97002 (68.8); 纤维细胞群数较多的是 97017 (92.8)、中棉 12 (91.6) 和 97007 (89.2) (附表 1)。由表 4.2 可知, 常规品种的纤维细胞群数要多于杂交品种, 墨西哥品种的纤维细胞群数也略多于国内品种。不同类型品种 (组合) 的变异程度差异不大。统计分析表明, 44 个陆地棉品种 (组合) 纤维细胞群数在品种间存在显著性差异, 在相对应的不同类型之间, 杂交品种与常规品种存在显著性差异, 国内品种与墨西哥品种没有显著性差异 (表 4.7)。

表 4.2 棉秆韧皮纤维细胞群数比较

Table 4.2 The comparison of the number of phloem fiber cell group for cotton stalk

品种类型	最大值	最小值	极差	平均值	标准差	变异系数(%)
供试品种	92.8	60.8	32.0	78.9	8.09	10.25
常规品种	92.8	68.4	24.4	80.8	6.91	8.55
杂交品种	86.8	60.8	26.0	75.3	6.92	9.19
国内品种	91.6	60.8	30.8	78.3	7.58	9.68
国外品种	92.8	68.8	24.0	80.1	6.86	8.56

2.1.2 纤维细胞层数

在供试的 44 个陆地棉品种 (组合) 中, 韧皮纤维细胞层数在 4.67~7.56 之间, 平

均值为 5.91。其中，韧皮纤维细胞层数较少的是农杂 42 (4.67)、97040 (4.74) 和 97019 (4.87)；较多的是 96-5 (7.56)、96-100 (7.12)、湘棉 16 (7.23) (附表 4)。由表 4.3 可知，常规品种纤维细胞层数要明显多于杂交品种，国内品种纤维细胞层数略多于墨西哥品种。杂交品种的变异相对较小，其它三个类型的变异相对较大。统计分析表明，供试棉种（组合）的纤维细胞层数在品种间存在显著性差异，在相对应的不同类型之间没有差异显著性（表 4.7）。

表 4.3 棉秆韧皮纤维细胞层数比较

Table 4.3 The comparison of the number of phloem fiber cell stage for cotton stalk

品种类型	最大值	最小值	极差	平均值	标准差	变异系数(%)
供试品种	7.56	4.67	2.89	5.91	0.74	12.52
常规品种	7.56	4.74	2.82	6.06	0.80	13.20
杂交品种	6.32	4.67	1.65	5.63	0.49	8.70
国内品种	7.56	4.67	2.89	5.95	0.73	12.27
国外品种	7.02	4.74	2.28	5.84	0.76	13.01

2.1.3 纤维细胞束数

供试的 44 个陆地棉品种（组合）的韧皮纤维细胞束数在 1728.4~2588.0 之间，平均值为 2176.4。其中，韧皮纤维细胞束数较少的是农杂 18 (1728.4)、农杂 42 (1856.4)、农杂 43 (1890.4) 和湘棉 10 (1800.0)；较多的是 96-5 (2588.0)、97011 (2510.8) 和 97017 (2529.2) (附表 1)。由表 4.4 可知，韧皮纤维细胞束数常规品种多于杂交品种，国内品种多于墨西哥品种，但差异都较小。不同类型陆地棉品种（组合）的变异程度差异不大。供试棉种（组合）的韧皮纤维细胞束数的统计显著性与纤维细胞层数相同（表 4.7）。

表 4.4 棉秆韧皮纤维细胞束数比较

Table 4.4 The comparison of the number of phloem fiber cell bunch for cotton stalk

品种类型	最大值	最小值	极差	平均值	标准差	变异系数(%)
供试品种	2588.0	1728.4	859.6	2176.4	208.03	9.56
常规品种	2588.0	1800.0	788.0	2218.3	213.29	9.62
杂交品种	2495.6	1728.4	767.2	2092.4	195.85	9.36
国内品种	2588.0	1728.4	859.6	2182.7	225.35	10.32
国外品种	2529.2	1912.8	616.4	2162.5	196.90	9.11

2.1.4 束纤维细胞数

供试的 44 个陆地棉品种（组合）的韧皮纤维束细胞数在 26.09~38.81 之间，平均值为 33.67。其中，韧皮纤维细胞束细胞数较少的是海陆 F₅（26.09）、中棉 12（28.43），较多的是 96-5（38.81）、农杂 47（38.34）（附表 4）。由表 4.5 可知，常规品种韧皮纤维细胞束细胞数多于杂交品种，国内品种韧皮纤维细胞束细胞数多于墨西哥品种，但差异都极小。墨西哥品种的变异程度最小，杂交品种与国内品种的变异程度接近，变异相对较大。供试棉种（组合）韧皮纤维细胞束细胞数的统计显著性与纤维细胞层数相同（表 4.7）。

表 3.5 棉秆韧皮纤维束细胞数比较

Table 3.5 The comparison of the number of phloem fiber cell per bunch for cotton stalk

品种类型	最大值	最小值	极差	平均值	标准差	变异系数(%)
供试品种	38.81	26.09	12.72	33.67	2.37	7.04
常规品种	38.81	28.43	10.38	33.68	2.12	6.29
杂交品种	38.34	26.09	12.25	33.64	2.70	8.03
国内品种	38.81	26.09	12.72	33.78	2.72	8.05
国外品种	37.90	30.87	7.03	33.46	1.58	4.72

2.1.5 纤维细胞总数

供试的 44 个陆地棉品种（组合）的韧皮纤维细胞总数在 60815.66~100440.28 之间，平均值为 73128.69。其中，韧皮纤维细胞总数较少的是农杂 42（60815.66）、海陆 F₅（61285.41）；较多的是 96-5（100440.28）、湘棉 16（92255.76）（附表 4）。由表 3.6 可知，常规品种韧皮纤维细胞总数多于杂交品种，国内品种韧皮纤维细胞总数多于墨西哥品种，但差异都较小，与韧皮纤维细胞束细胞数相类似。从变异程度上看，杂交品种与

表 4.6 棉秆韧皮纤维细胞总数比较

Table 4.6 The comparison of the number of phloem fiber cell for cotton stalk

品种类型	最大值	最小值	极差	平均值	标准差	变异系数(%)
供试品种	100440.28	60815.66	39624.62	73128.69	8972.88	12.27
常规品种	100440.28	62244.00	38196.28	74707.34	9051.58	12.12
杂交品种	78012.46	60815.66	17196.80	70076.63	5881.24	8.39
国内品种	100440.28	60815.66	39624.62	73596.50	8906.22	12.10
国外品种	88179.30	64078.80	24100.50	72310.03	7013.83	9.70

墨西哥品种变异相对较小，国内品种与常规品种变异相对较大。由此可知，国内常规品种纤维细胞总数的变异是比较大的。供试棉种（组合）韧皮纤维细胞束纤维数的统计显著性与纤维细胞层数相同（表 4.7）。

表 4.7 棉秆韧皮纤维群体形态结构的 F 检验结果与统计显著性
Table 4.7 F test and statistics significance for phloem fiber cell group
morphology of cotton stalk

项目	纤维群数	纤维层数	纤维束数	束纤维数	纤维总数
品种间	12.869 [*]	8.557 ^{**}	34.737 ^{**}	81.896 ^{**}	30.544 ^{**}
杂交—常规	5.863 [*]	3.354	3.475	0.052	3.165
国内—墨西哥	0.599	0.206	0.085	0.183	0.235

注：* 表示差异显著（5%水平），** 表示差异极显著（1%水平）。

2.2 韧皮纤维细胞形态结构的品种间差异

2.2.1 纤维细胞长度、宽度、长宽比

单纤维长度是衡量纤维原料优劣的重要标志之一。棉花韧皮纤维长度比针叶材短，但又比阔叶材明显要长，属于较长纤维类型。本次试验的 44 个陆地棉品种（组合）的纤维长度在 1.98~3.05mm 之间，平均长度为 2.42mm。纤维长度较短的是农杂 106（1.98mm）、农杂 46（2.05mm）和 97016（2.04mm）；纤维长度较长的是农杂 100（3.05mm）、农杂 102（2.97 mm）和 97040（2.97 mm）（附表 5）。由表 4.8 可知，不同类型陆地棉品种（组合）之间韧皮纤维长度的差异极小，杂交品种略长于常规品种，国内品种略长于墨西哥品种。长度变异以常规品种最小，杂交品种最大。

表 4.8 棉秆韧皮纤维细胞长度(mm)比较
Table 4.8 The comparison of length(mm) for phloem fiber cell of cotton stalk

品种类型	最大值	最小值	极差	平均值	标准差	变异系数(%)
供试品种	3.05	1.98	1.07	2.42	0.26	10.74
常规品种	2.97	2.04	0.93	2.41	0.23	9.54
杂交品种	3.05	1.98	1.07	2.42	0.30	12.40
国内品种	3.05	1.98	1.07	2.43	0.26	10.70
国外品种	2.97	2.04	0.93	2.39	0.25	10.46

44 个陆地棉品种（组合）中，韧皮纤维宽度在 20.70μm~24.13μm 之间，平均宽度为 22.17μm。纤维宽度较窄的是农杂 6（20.70μm）、97006（20.80μm）和 97022（20.92μm）；

纤维宽度较宽的是 97016 (24.13 μm)、中棉 12 (23.82 μm) 和 97040 (23.43 μm) (附表 2)。由表 4.9 可知, 不同类型陆地棉品种 (组合) 之间韧皮纤维宽度的差异极小, 杂交品种略宽于常规品种, 国内品种略宽于墨西哥品种, 与韧皮纤维长度的情况相似。宽度变异都较小。

一般认为纤维细长, 其造纸性能和纺织性能好。纤维的纤细程度可从长宽比值中显

表 4.9 棉秆韧皮纤维细胞宽度(μm)比较

Table 4.9 The comparison of width(μm) for phloem fiber cell of cotton stalk

品种类型	最大值	最小值	极差	平均值	标准差	变异系数(%)
供试品种	24.13	20.70	3.43	22.17	0.73	3.29
常规品种	24.13	20.80	3.33	22.16	0.79	3.56
杂交品种	23.30	20.70	2.60	22.20	0.78	3.51
国内品种	23.82	20.70	3.12	22.27	0.68	3.05
国外品种	24.13	20.80	3.33	22.01	0.89	4.04

示出来。棉花韧皮纤维细胞长宽比要比针叶材和阔叶材都大。44 个陆地棉品种 (组合) 中, 纤维长宽比在 84.54~135.98 之间, 平均值为 108.96。其中, 纤维长宽比较小的是 97016(84.54)、农杂 46(88.10); 纤维长宽比较大的是农杂 100(135.98)、97041(130.88)、农杂 102 (130.66) (附表 5)。与纤维长度和纤维宽度相对应, 不同类型陆地棉品种 (组合) 之间纤维长宽比的差异极小, 杂交品种略大于常规品种, 国内品种也略大于墨西哥品种。纤维长宽比变异与纤维长度情况类似, 也以常规品种最小, 杂交品种最大 (表 4.10)。

表 4.10 棉秆韧皮纤维细胞长宽比比较

Table 4.10 The comparison of length/width for phloem fiber cell of cotton stalk

品种类型	最大值	最小值	极差	平均值	标准差	变异系数(%)
供试品种	135.98	84.54	51.44	108.96	10.95	10.05
常规品种	130.88	84.54	46.34	108.89	9.59	8.81
杂交品种	135.98	88.10	47.88	109.16	13.12	12.02
国内品种	135.98	88.10	47.88	109.00	10.78	9.89
国外品种	130.88	84.54	46.34	108.90	11.26	10.34

统计分析表明, 供试棉种 (组合) 韧皮纤维细胞长度与长宽比在品种间存在显著性差异, 但纤维细胞宽度在品种间没有显著性差异。相对应的不同类型品种 (组合) 之间,

纤维细胞长度、宽度和长宽比都不存在显著性差异（表 4.16）。

2.2.2 纤维细胞荣凯尔系数、刚性系数、柔性系数

纤维细胞 2 倍壁厚与腔径的比值(也称荣凯尔系数)对制浆和纺纱的质量影响较大。荣凯尔系数小的纤维细胞壁薄而胞腔直径大,这种纤维比较柔韧,比较适合纺织和造纸。44 个陆地棉品种(组合)韧皮纤维壁厚以 97040 (4.95 μm) 最小, 97016 (9.98 μm) 最大, 平均为 6.54 μm ; 纤维腔径与纤维壁厚正好相反, 以 97016 (4.17 μm) 最小, 97040 (13.53 μm), 平均为 9.16 μm ; 荣凯尔系数与纤维壁厚一致, 以 97040 (0.73) 最小, 97016 (4.79) 最大, 平均为 1.50 (附表 5)。不同类型陆地棉品种(组合)之间, 纤维壁厚、纤维腔径和荣凯尔系数都没有明显差异。其中纤维壁厚杂交品种略大于常规品种, 国内品种略大于墨西哥品种(表 4.11); 纤维腔径常规品种略大于杂交品种, 墨西哥品种略大于国内品种(表 4.12); 荣凯尔系数常规品种与杂交品种几乎没有差异, 墨西哥品种略大于国内品种(表 4.13)。从变异程度上看, 纤维细胞壁厚、腔径、荣凯尔系数的情

表 4.11 棉秆韧皮纤维细胞壁厚(μm)比较

Table 4.11 The comparison of wall thickness(μm) for phloem fiber cell of cotton stalk						
品种类型	最大值	最小值	极差	平均值	标准差	变异系数(%)
供试品种	9.98	4.95	5.03	6.54	0.84	12.84
常规品种	9.98	4.95	5.03	6.45	0.94	14.57
杂交品种	7.48	5.47	2.01	6.61	0.58	8.77
国内品种	7.53	4.96	2.57	6.57	0.64	9.74
国外品种	9.98	4.95	5.03	6.39	1.09	17.06

表 4.12 棉秆韧皮纤维细胞腔径(μm)比较

Table 4.12 The comparison of cavity diameter(μm) for phloem fiber cell of cotton stalk						
品种类型	最大值	最小值	极差	平均值	标准差	变异系数(%)
供试品种	13.53	4.17	9.36	9.16	1.58	17.25
常规品种	13.53	4.17	9.36	9.26	1.62	17.49
杂交品种	10.39	7.74	2.65	8.97	0.90	10.03
国内品种	11.81	7.24	4.57	9.12	1.07	11.73
国外品种	13.53	4.17	9.36	9.23	1.87	20.26

况较为类似, 都以杂交品种和国内品种相对较小, 常规品种和墨西哥品种相对较大。其

中，尤以常规品种和墨西哥品种的荣凯尔系数变异最大，分别达 46.67%和 57.79%。

纤维细胞刚性系数和柔性系数也是影响纤维造纸和纺织性能的重要指标。44 个陆地棉品种（组合）的纤维细胞刚性系数以 97040（0.42）最小，97016（0.83）最大，平

表 4.13 棉秆韧皮纤维细胞荣凯尔系数比较

Table 4.13 The comparison of 2T/D for phloem fiber cell of cotton stalk

品种类型	最大值	最小值	极差	平均值	标准差	变异系数(%)
供试品种	4.79	0.73	4.06	1.50	0.59	39.33
常规品种	4.79	0.73	4.06	1.50	0.70	46.67
杂交品种	1.93	1.05	0.88	1.50	0.26	17.33
国内品种	2.08	0.84	1.24	1.47	0.29	19.73
国外品种	4.79	0.73	4.06	1.54	0.89	57.79

均值为 0.59。纤维细胞柔性系数以 97016（17.28）最小，97040（57.75）最大，与刚性系数刚好相反，平均值为 41.39（附表 5）。不同类型陆地棉品种（组合）之间，纤维细胞刚性系数和柔性系数都没有明显差异，不同之处在于刚性系数杂交品种略大于常规品

表 4.14 棉秆韧皮纤维细胞刚性系数比较

Table 4.14 The comparison of rigid coefficient for phloem fiber cell of cotton stalk

品种类型	最大值	最小值	极差	平均值	标准差	变异系数(%)
供试品种	0.83	0.42	0.41	0.59	0.06	10.17
常规品种	0.83	0.42	0.41	0.58	0.07	12.07
杂交品种	0.66	0.51	0.15	0.59	0.04	6.78
国内品种	0.68	0.46	0.22	0.59	0.05	8.47
国外品种	0.83	0.42	0.41	0.58	0.09	15.52

表 4.15 棉秆韧皮纤维细胞柔性系数比较

Table 4.15 The comparison of slender coefficient for phloem fiber cell of cotton stalk

品种类型	最大值	最小值	极差	平均值	标准差	变异系数(%)
供试品种	57.75	17.28	40.47	41.39	6.54	15.80
常规品种	57.75	17.28	40.47	41.87	7.31	17.46
杂交品种	48.71	34.10	14.61	40.46	4.32	10.68
国内品种	54.34	32.47	21.87	41.00	5.02	12.24
国外品种	57.75	17.28	40.47	42.07	8.40	19.97

种，国内品种略大于墨西哥品种，柔性系数正好与之相反。（表 4.14、4.15）。

对供试棉种（组合）韧皮纤维细胞壁厚、腔径、荣凯尔系数、刚性系数和柔性系数进行统计分析，结果表明以上各项指标在品种间存在极显著差异。在相对应的不同类型品种（组合）之间，韧皮纤维细胞壁厚、腔径、荣凯尔系数、刚性系数和柔性系数不存在显著性差异（表 4.16）。

表 4.16 棉秆韧皮纤维形态结构的 F 检验结果与统计显著性
Table 4.16 F test and statistics significance for phloem fiber cell morphology of cotton stalk

项目	纤维 长度	纤维 宽度	纤维长 宽比	纤维 壁厚	纤维 腔径	荣凯尔 系数	刚性 系数	柔性 系数
品种间	3.733 [*]	1.564	3.672 [*]	15.795 ^{**}	23.269 ^{**}	63.746 ^{**}	18.533 ^{**}	28.366 ^{**}
杂交— 常规	0.019	0.032	0.368	0.388	0.079	0.026	0.449	0.322
国内— 墨西哥	0.161	1.084	0.469	0.061	0.024	0.126	0.266	0.211

注：* 表示差异显著（5%水平），** 表示差异极显著（1%水平）。

2.3 木质纤维细胞形态结构的品种间差异

2.3.1 木质纤维细胞长度、宽度、长宽比

棉秆木质纤维细胞的长度较韧皮纤维要短。44 个陆地棉品种（组合）中，以 97040（0.52mm）最短，海陆 F₅（0.98mm）最长，平均值为 0.83mm（附表 6）。不同类型棉花品种（组合）之间，木质纤维细胞长度差异极小，杂交品种略大于常规品种，墨西哥品种略大于国内品种。长度变异以杂交品种最小，常规品种最大（表 4.17）。

表 4.17 棉秆木质纤维细胞长度(mm)比较
Table 4.17 The comparison of length(mm) for xylem fiber cell of cotton stalk

品种类型	最大值	最小值	极差	平均值	标准差	变异系数(%)
供试品种	0.98	0.52	0.46	0.83	0.11	13.25
常规品种	0.97	0.52	0.45	0.83	0.11	13.25
杂交品种	0.98	0.62	0.36	0.85	0.09	10.59
国内品种	0.98	0.54	0.44	0.82	0.10	12.20
国外品种	0.97	0.52	0.45	0.85	0.11	12.94

棉秆木质纤维细胞宽度与韧皮纤维差异不大。44 个陆地棉品种（组合）中，以中棉 12（20.52 μm ）最小，901（24.87 μm ）最大，平均值为 22.39 μm （附表 6）。不同类型陆地棉品种（组合）之间，木质纤维细胞宽度差异不大，杂交品种略大于常规品种，国内品种略大于墨西哥品种。宽度变异以墨西哥品种最小，国内品种最大。（表 4.18）。

棉秆木质纤维细胞较韧皮纤维短而粗，长宽比较短。与木质纤维长度一样，44 个棉花品种（组合）中，以 97040（22.34）最小，海陆 F₅（44.53）最大，平均值为 37.31（附表 6）。不同类型棉花品种（组合）之间，木质纤维细胞长宽比差异也不大，杂交品种略大于常规品种，墨西哥品种略大于常规品种。长宽比变异以杂交品种最小，常规品种最大（表 4.19）。

统计分析表明，与韧皮纤维类似，木质纤维宽度在品种间并不具有显著性差异。木质纤维长度与长宽比在品种间存在极显著的差异。在相对应的不同类型品种（组合）之间，木质纤维细胞长度、宽度和长宽比都不具有显著性差异（表 4.25）。

表 4.18 棉秆木质纤维细胞宽度(μm)比较

Table 4.18 The comparison of width(μm) for xylem fiber cell of cotton stalk

项目	最大值	最小值	极差	平均值	标准差	变异系数(%)
供试品种	24.87	20.52	4.35	22.39	1.05	4.69
常规品种	24.87	20.52	4.35	22.31	1.03	4.62
杂交品种	24.35	20.57	3.78	22.49	1.28	5.69
国内品种	24.87	20.52	4.35	22.47	1.44	6.41
国外品种	24.30	20.78	3.52	22.20	0.74	3.33

表 4.19 棉秆木质纤维细胞长宽比比较

Table 4.19 The comparison of length/width for xylem fiber cell of cotton stalk

项目	最大值	最小值	极差	平均值	标准差	变异系数(%)
供试品种	44.53	22.34	22.19	37.31	5.06	13.56
常规品种	44.49	22.34	22.15	37.10	5.37	14.47
杂交品种	44.53	28.81	15.72	37.72	4.25	11.27
国内品种	44.53	25.09	19.44	36.65	4.73	12.91
国外品种	44.49	22.34	22.15	38.47	5.30	13.78

2.3.2 木质纤维细胞荣凯尔系数、刚性系数、柔性系数

棉秆木质纤维细胞较韧皮纤维壁薄而腔径大，荣凯尔系数较小。44 个陆地棉品种（组合）中，木质纤维细胞壁厚以 97007（2.23 μm ）最小，901（6.00 μm ）最大，平均值为 3.73 μm ；木质纤维细胞腔径以农杂 41（12.86 μm ）最小，97040（16.92 μm ）最大，平均值为 14.85 μm ；木质纤维细胞荣凯尔系数与壁厚一样，以 97007（0.27）最小，901（0.93）最大，平均值为 0.52（附表 6）。不同类型棉花品种（组合）之间，木质纤维细胞壁厚、腔径、荣凯尔系数差异相对较小。木质纤维细胞壁厚杂交品种大于常规品种，国内品种大于墨西哥品种；变异系数以杂交品种最小，常规品种最大（表 4.20）。木质纤维细胞腔径常规品种大于杂交品种，墨西哥品种大于国内品种；变异系数以墨西哥品种最小，国内品种最大（表 4.21）。木质纤维细胞荣凯尔系数常规品种大于杂交品种，国内品种大于墨西哥品种；变异系数以墨西哥品种最小，常规品种最大（表 4.22）。

表 4.20 棉秆木质纤维细胞壁厚(μm)比较

Table 4.20 The comparison of wall thickness(μm) for xylem fiber cell of cotton stalk

项目	最大值	最小值	极差	平均值	标准差	变异系数(%)
供试品种	6.00	2.23	3.77	3.73	0.95	25.47
常规品种	6.00	2.23	3.77	3.62	0.95	26.24
杂交品种	5.73	2.47	3.26	3.96	0.90	22.73
国内品种	6.00	2.33	3.67	3.92	0.96	24.49
国外品种	5.37	2.23	3.14	3.40	0.82	24.12

表 4.21 棉秆木质纤维细胞腔径(μm)比较

Table 4.21 The comparison of cavity diameter(μm) for xylem fiber cell of cotton stalk

项目	最大值	最小值	极差	平均值	标准差	变异系数(%)
供试品种	16.92	12.86	4.06	14.85	1.11	7.47
常规品种	16.92	12.87	4.05	15.04	1.09	7.25
杂交品种	15.95	12.86	3.09	14.49	1.06	7.32
国内品种	16.17	12.86	3.31	14.55	1.09	7.49
国外品种	16.92	13.56	3.46	15.39	0.93	6.04

棉秆木质纤维细胞刚性系数较韧皮纤维要小。44 个陆地棉品种（组合）中，木质纤维细胞刚性系数以 97007（0.21）最小，901（0.48）最大，平均值为 0.33（附表 6）。不同类型棉花品种（组合）之间，木质纤维细胞刚性系数差异较小，杂交品种大于常规

品种，国内品种大于墨西哥品种。变异系数以杂交品种最小，墨西哥品种最大（表 4.23）。

表 4.22 棉秆木质纤维细胞荣凯尔系数比较

Table 4.22 The comparison of 2T/D for xylem fiber cell of cotton stalk

项目	最大值	最小值	极差	平均值	标准差	变异系数(%)
供试品种	0.93	0.27	0.66	0.52	0.17	32.69
常规品种	0.93	0.27	0.66	0.48	0.17	35.42
杂交品种	0.89	0.32	0.57	0.56	0.17	30.36
国内品种	0.93	0.29	0.64	0.54	0.18	33.33
国外品种	0.79	0.27	0.52	0.45	0.13	28.89

棉秆木质纤维细胞柔性系数较韧皮纤维要大。44 个陆地棉品种（组合）中，木质纤维细胞柔性系数与刚性系数刚好相反，以 901（51.75）最小，97007（78.89）最大，平均值为 65.58（附表 6）。不同类型陆地棉品种（组合）之间，常规品种木质纤维细胞柔性系数略大于杂交品种，墨西哥品种木质纤维细胞柔性系数明显大于国内品种。变异系数以墨西哥品种最小，常规品种最大（表 4.24）。

表 4.23 棉秆木质纤维细胞刚性系数比较

Table 4.23 The comparison of rigid coefficient for xylem fiber cell of cotton stalk

项目	最大值	最小值	极差	平均值	标准差	变异系数(%)
供试品种	0.48	0.21	0.27	0.33	0.07	21.21
常规品种	0.48	0.21	0.27	0.32	0.07	21.88
杂交品种	0.47	0.24	0.23	0.35	0.07	20.00
国内品种	0.48	0.23	0.25	0.35	0.08	22.86
国外品种	0.44	0.21	0.23	0.31	0.08	25.81

表 4.24 棉秆木质纤维细胞柔性系数比较

Table 4.24 The comparison of slender coefficient for xylem fiber cell of cotton stalk

项目	最大值	最小值	极差	平均值	标准差	变异系数(%)
供试品种	78.89	51.75	27.14	65.58	7.33	11.18
常规品种	78.89	51.75	27.14	66.04	7.43	11.25
杂交品种	75.98	52.94	23.04	64.70	6.84	10.57
国内品种	77.29	51.75	25.54	63.27	7.50	11.85
国外品种	78.89	55.80	23.09	69.63	6.18	8.88

对供试棉种（组合）木质纤维细胞壁厚、腔径、荣凯尔系数、刚性系数和柔性系数进行统计分析，结果表明腔径与柔性系数在品种间差异显著，壁厚、荣凯尔系数、刚性

表 4.25 棉秆木质纤维形态的 F 检验结果与统计显著性

Table 4.25 F test and statistics significance for xylem fiber cell morphology of cotton stalk

项目	纤维 长度	纤维 宽度	纤维长 宽比	纤维 壁厚	纤维 腔径	荣凯尔 比值	刚性 系数	柔性 系数
品种间	5.706 ^{**}	1.235	18.238 ^{**}	43.897 ^{**}	6.893 [*]	96.496 ^{**}	27.978 ^{**}	15.639 [*]
杂交— 常规	0.376	0.268	1.306	2.456	0.144	1.523	1.751	1.444
国内— 墨西哥	0.732	0.680	3.157	6.387	1.322	4.117	4.271	3.818

注：* 表示差异显著（5%水平），** 表示差异极显著（1%水平）。

系数差异在品种间极显著。与韧皮纤维细胞类似，在相对应的不同类型品种（组合）之间，以上各项指标不具有显著性差异（表 4.25）。

3 结论

3.1 棉秆韧皮纤维细胞群体形态结构的品种间差异

供试的 44 个陆地棉品种（组合）韧皮纤维群数在品种间存在显著性差异，纤维层数、纤维束数、束纤维数、纤维总数在品种间存在极显著性差异。杂交品种与常规品种之间，除纤维群数存在显著性差异外，其余指标都不存在显著性差异。国内品种与墨西哥品种之间则在各项指标上都不存在显著性差异。其中以 94-41、96-5、97011 和湘棉 16 综合质量较优（附表 4）。

3.2 棉秆韧皮纤维细胞形态结构的品种间差异

供试陆地棉品种（组合）韧皮纤维宽度在品种间不存在显著性差异，纤维长度、长宽比在品种间存在显著性差异，纤维壁厚、腔径、荣凯尔系数、刚性系数、柔性系数在品种间存在极显著性差异。韧皮纤维细胞形态结构的各项指标在杂交品种与常规品种之间、国内品种与墨西哥品种之间都不存在显著性差异。其中以 97040、97041、农杂 41、农杂 100 和农杂 102 综合质量较优。

3.3 棉秆木质纤维细胞形态结构的品种间差异

与韧皮纤维类似，木质纤维宽度在品种间也不存在显著性差异。所不同的是，木质纤维腔径在品种间存在显著性差异，纤维长度、长宽比在品种间存在极显著性差异。木质纤维细胞形态结构的其余指标的差异显著性与韧皮纤维一致。同样，木质纤维细胞形态结构的各项指标在杂交品种与常规品种之间、国内品种与墨西哥品种之间也都不存在显著性差异。其中以 97002、97006、97007、97008、农杂 108 和海陆 F₅ 综合质量较优。

3.4 总结

综合韧皮纤维细胞群体、韧皮纤维细胞和木质纤维细胞形态结构的情况可以看出，棉秆纤维性能指标在品种间存在显著或极显著的差异，但是在不同的类型之间基本不存在显著性差异。因此，在不同类型的陆地棉品种（组合）中都有纤维质量较优的材料。但供试品种（组合），都只是某几项性能指标较优，没有任何品种（组合）棉秆纤维综合性能比较突出的。另外，杂交品种的纤维在多数指标上的变异相对较小，因此总体上看，杂交品种的纤维细胞形态结构相对较为一致。这很可能是杂交品种的父本较为单一（表 3.1），遗传基础相对较为单纯所致，也预示着棉秆纤维的品质可以通过杂交来改良。

4 讨论

4.1 棉花作为一种以收获种子纤维为主的作物，棉秆只是其副产品，决定了棉秆纤维质量不能作为棉花种植品种选择的主要依据。而棉秆纤维的高效利用又要求棉秆纤维质量优良的材料。但从本研究得出的结论可以看出，棉秆纤维质量在不同类型的棉花品种（组合）间并没有显著差异，且其中都有纤维质量较为优良的材料。因此，笔者认为棉秆纤维的高效利用与棉花种植品种选择之间并不存在不可解决的矛盾。

4.2 从我国棉秆的资源量以及棉秆利用的现状看，棉秆纤维在造纸和纺织上的利用确实不失为一种为棉农增收、充分利用自然资源的高效利用方法。但现有陆地棉品种（组合）都只是某几项性能指标较为优良，棉秆纤维综合质量并不特别突出，给棉秆纤维的高效利用造成了一定的障碍。同时，理论上通过杂交又可以选育出棉秆纤维质量较好的品种。因此，笔者认为今后的棉花育种工作还应兼顾棉秆的纤维质量，弄清楚棉秆纤维细胞发育的遗传规律，选育出种子纤维与棉秆纤维综合质量具优的棉花品种（组合），为棉秆纤维的高效利用提供优质原料。

4.3 本次试验的 44 个陆地棉品种（组合）中，以常规品种拥有相对较多的棉秆纤维质量优良的材料，因此在棉秆纤维品质育种的实际应用中，应重点在常规品种中选取材料进行配组。另外，在常规品种中又以国外品种拥有相对较多的优良材料。迄今为止，我

国共收集保存有国内外陆地棉品种资源 6822 份^[52]，此次参与试验的陆地棉品种（组合）仅占其中的 0.64%，仍有大量的品种资源未被发掘利用。据此，笔者认为在加强棉秆纤维质量优良品种选育的同时，还应做好以下两个方面的工作：① 加大国外陆地棉品种资源的引进力度。② 对已收集到的陆地棉品种资源做进一步鉴定。

附表1 四个栽培棉种茎秆不同部位不同层次纤维束数的比较

Table 1 The comparison of the number of fiber cell bunch in different sites and stages of cotton stalk

观察部位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
上部	127	146	127	39	3									
陆 中上部	128	173	166	142	115	93	46	17						
地 中部	172	232	233	240	199	135	89	43	19	1				
棉 中下部	167	223	231	221	234	183	148	131	115	93	76	25	1	
下部	113	145	157	171	187	203	209	216	227	184	129	121	101	93
上部	115	78	19											
中 中上部	106	99	71	49	28	3								
中部	122	135	144	121	91	64	25	4	1					
棉 中下部	131	133	154	156	117	107	91	77	36	17	33	5		
下部	94	106	111	121	143	143	163	110	83	85	69	51	22	6
上部	157	168	56	6										
海 中上部	159	232	239	220	132	35	12							
岛 中部	175	230	236	243	239	239	169	90	45	12				
棉 中下部	168	220	230	239	248	227	174	124	84	63	24	17	6	4
下部	133	165	165	166	169	172	180	181	183	168	143	88	75	65
上部	95	123	42											
草 中上部	102	119	107	65	46	27	6							
中部	109	153	151	160	155	107	84	61	48	23	5			
棉 中下部	125	152	157	165	177	160	145	121	101	26	11			
下部	95	117	120	132	142	156	177	178	143	141	100	62	18	7
上部	124	129	61	11	1									
平 中上部	124	157	146	118	80	40	16	4						
中部	145	188	191	191	171	136	92	50	28	9	1			
均 中下部	148	182	193	195	194	169	140	113	84	50	36	12	2	1
下部	109	133	138	148	160	169	182	171	159	145	110	81	54	43

附表2 四个栽培棉种茎秆不同部位不同层次束纤维细胞数的比较

Table 2 The comparison of the number of fiber cell per bunch in different sites and stages of cotton stalk

观察部位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
上部	31.9	14.4	11.7										
陆 中上部	37.7	17.8	20.6	22.1	9.1	10.4	5.9						
地 中部	39.1	30.4	26.7	26.7	24.7	18.2	7.0	4.5					
棉 中下部	37.5	26.1	33.0	38.6	40.7	39.4	34.6	23.9	21.9	14.3	10.9		
下部	31.4	26.7	31.6	33.0	37.4	41.0	44.3	41.3	40.7	31.7			
上部	38.8	15.9											
中 中上部	40.8	21.6	22.3	11.8	7.3								
中部	32.6	20.1	25.3	24.7	15.4	9.3							
棉 中下部	31.2	27.4	36.1	26.3	27.0	20.4	17.6	5.4					
下部	25.3	27.3	35.7	38.8	34.6	32.7	36.7	30.2	15.1	16.5	16.7	16.0	
上部	29.7	11.2	9.3										
海 中上部	31.0	17.9	19.7	17.1	10.6								
岛 中部	29.7	18.1	18.0	20.4	26.5	26.5	10.8	3.8	3.7				
棉 中下部	30.7	25.1	25.4	28.9	25.8	31.1	25.0	15.8	9.8	5.6			
下部	22.6	20.2	23.7	26.1	31.9	33.8	35.2	36.4	38.8	29.7	11.4	6.6	5.3
上部	40.8	19.5											
草 中上部	24.8	25.0	19.7	9.9	6.6	3.1							
中部	25.2	19.0	18.5	21.5	21.1	15.1	17.9	17.4	18.9				
棉 中下部	30.1	20.4	23.0	25.2	30.3	28.7	29.8	23.2	25.2				
下部	17.4	16.9	22.7	24.4	29.2	35.3	26.3	24.7	27.5	23.5	15.8	19.7	
上部	35.3	15.3	5.3										
平 中上部	33.6	20.6	20.6	15.2	8.4	3.4	1.5						
中部	31.7	21.9	22.1	23.3	21.9	17.3	8.9	6.4	5.7				
均 中下部	32.4	24.8	29.4	29.8	31.0	29.9	26.8	17.1	14.2	5.0	2.7		
下部	24.2	22.8	28.4	30.6	33.3	35.7	35.6	33.2	30.5	25.4	11.0	10.6	1.3

附表 3 四个栽培棉种茎秆不同部位不同层次纤维细胞数的比较
Table 3 The comparison of the number of fiber cell in different sites and stages of cotton stalk

观察部位		1	2	3	4	5	6	7	8
陆地棉	上部	4062	1316						
	中上部	4823	3411	1038	270				
	中部	6722	6222	4904	619				
	中下部	6270	7618	9517	5113	2512	1336	831	
	下部	3561	4944	7005	9239	9222	5833		
中棉	上部	4450							
	中上部	4325	1577	205					
	中部	3980	3643	1406					
	中下部	4878	5564	3161	1607				
	下部	2409	3971	4955	5963	1260	1393	1147	810
海岛棉	上部	4654	519						
	中上部	4934	4695	1395					
	中部	5192	4255	6341	1822	163			
	中下部	5158	5837	6386	4355	825	356		
	下部	3017	3913	5401	6336	7089	4990	3998	1003
草棉	上部	3863							
	中上部	2530	2102	304					
	中部	2754	2788	3264	1504	907			
	中下部	3754	3621	5354	4330	2553			
	下部	1648	2724	4146	4663	3924	3307	1580	1221
平均	上部	4257	459						
	中上部	4153	2946	736	68				
	中部	4662	4227	3979	986	268			
	中下部	5015	5660	6105	3851	1473	423	208	
	下部	2659	3888	5377	6550	5374	3881	1681	759

附表4 陆地棉不同品种(组合)韧皮纤维细胞群体形态结构的比较

Table 4 The comparison of phloem fiber cell group morphology for tested species of *Gossypium hirsutum* L.

序号	供试品种	纤维群数	纤维层数	纤维束数	束纤维数	纤维总数
1	901	73.6	5.65	2066.8	35.26	72875.37
2	94-41	88.8	6.69	2428.0	35.50	86194.00
3	94042	82.4	6.37	2312.9	32.87	76025.02
4	96-1	80.8	6.63	2292.0	32.48	74444.16
5	96-5	83.2	7.56	2588.0	38.81	100440.28
6	96-100	86.8	7.12	2492.8	31.85	79395.68
7	97001	80.2	5.13	2146.4	32.25	69221.40
8	97002	68.8	5.11	1912.8	33.50	64078.80
9	97003	88.0	5.59	2077.6	33.37	69329.51
10	97006	77.6	5.50	2115.2	32.36	68447.87
11	97007	89.2	6.07	2266.8	32.71	74147.03
12	97008	71.2	6.31	1961.2	33.23	65170.68
13	97011	86.4	6.87	2510.8	35.12	88179.30
14	97016	79.4	7.02	2455.6	34.17	83907.85
15	97017	92.8	6.84	2529.2	32.40	81946.08
16	97018	82.4	6.52	2308.8	33.49	77321.71
17	97019	71.6	4.87	1930.4	37.90	73162.16
18	97022	70.4	5.23	2102.8	35.18	73976.50
19	97028	84.4	5.87	1995.2	33.69	67218.29
20	97040	80.8	4.74	2031.2	31.78	64551.54
21	97041	80.0	5.08	2008.4	33.31	66899.80
22	97043	78.4	6.71	2248.2	30.87	69401.93
23	农杂 6	70.8	5.01	1980.8	33.70	66752.96
24	农杂 16	73.2	5.75	2036.3	34.56	70374.53
25	农杂 18	60.8	4.96	1728.4	37.10	64123.64
26	农杂 41	71.8	5.56	1958.6	33.97	66533.64
27	农杂 42	70.8	4.67	1856.4	32.76	60815.66
28	农杂 43	67.6	4.90	1890.4	34.25	64746.20
29	农杂 46	73.2	6.18	2179.2	35.11	76511.71
30	农杂 47	72.0	5.69	2040.8	38.34	78244.27
31	农杂 99	80.9	6.32	2230.6	30.74	68568.64
32	农杂 100	82.9	5.94	2108.5	34.89	73565.57
33	农杂 101	86.8	5.61	2326.0	33.16	77130.16

34	农杂 102	79.5	5.57	2495.6	31.26	78012.46
35	农杂 106	85.9	6.17	2095.3	32.84	68809.65
36	农杂 108	80.1	5.98	2109.7	35.87	75674.94
37	湘棉 10	72.4	4.89	1800.0	34.58	62244.00
38	湘棉 15	88.0	5.60	2152.0	36.26	78031.52
39	湘棉 16	86.8	7.23	2476.0	37.26	92255.76
40	湘棉 17	68.4	6.49	2250.4	33.89	76266.06
41	泗棉 3	75.6	5.26	2040.8	32.42	66162.74
42	中棉 12	91.6	6.78	2406.4	28.43	68413.95
43	E-81	83.2	5.88	2423.6	31.69	76803.88
44	海陆 F ₅	74.0	6.12	2349.0	26.09	61285.41
	平 均	78.9	5.91	2176.4	33.67	73128.69

附表 5 陆地棉不同品种（组合）韧皮纤维细胞形态结构的比较

Table 5 The comparison of phloem fiber cell morphology for tested species of
Gossypium hirsutum L.

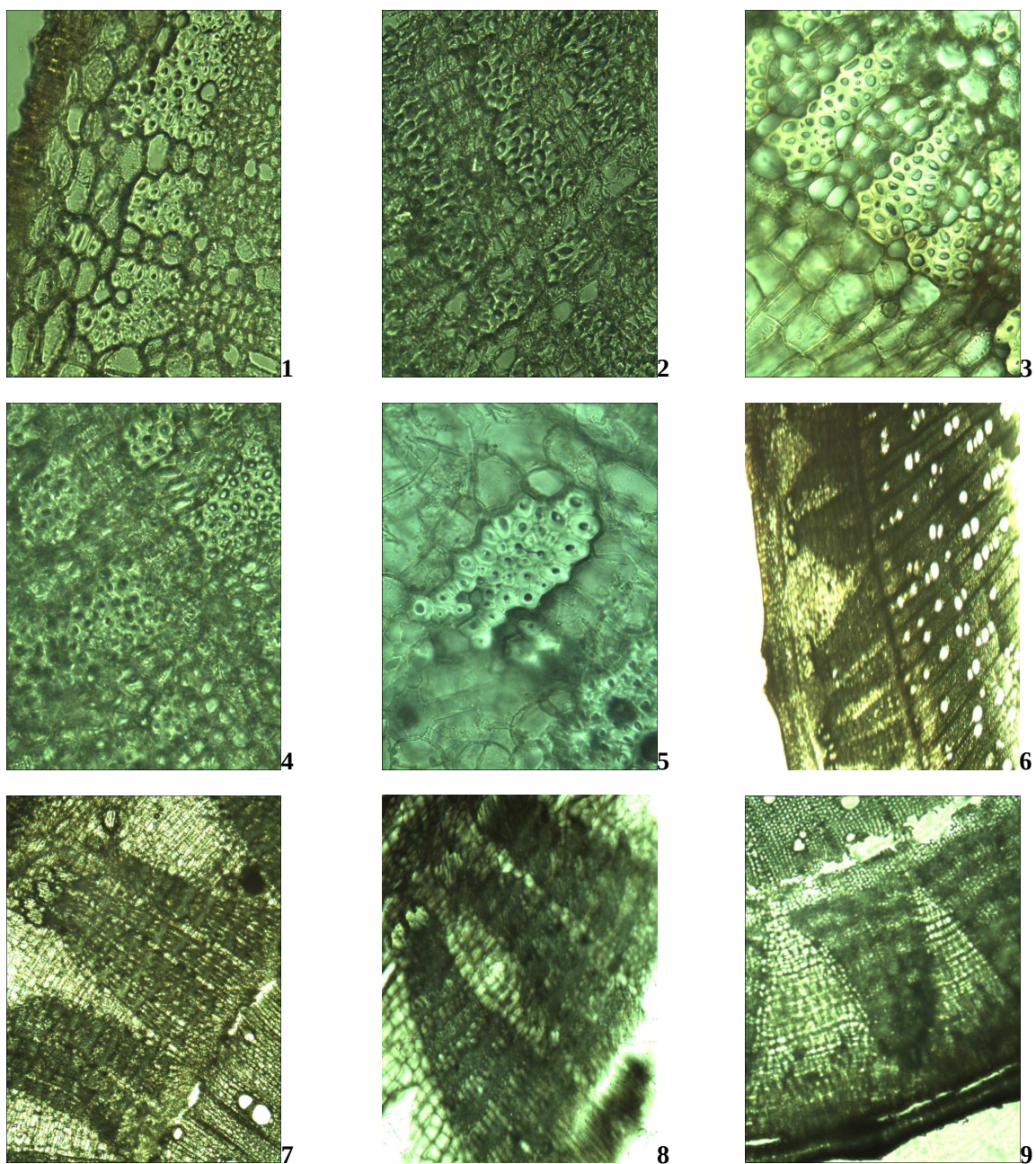
序号	供试品种	长度 (mm)	宽度 (μm)	壁厚 (μm)	腔径 (μm)	长宽 比值	荣凯尔 系数	柔性 系数	刚性 系数
1	901	2.64	22.93	7.03	8.87	115.13	1.59	38.68	0.61
2	94-41	2.44	22.20	5.99	10.22	109.91	1.17	46.04	0.54
3	94042	2.46	22.57	6.02	10.53	108.99	1.14	46.65	0.53
4	96-1	2.66	22.21	5.88	10.45	119.77	1.13	47.05	0.53
5	96-5	2.28	21.63	6.62	8.39	105.41	1.58	38.79	0.61
6	96-100	2.46	21.67	6.58	8.51	113.52	1.55	39.27	0.61
7	97001	2.41	21.97	6.30	9.37	109.70	1.34	42.65	0.57
8	97002	2.56	21.60	5.75	10.10	118.52	1.14	46.76	0.53
9	97003	2.22	21.25	7.18	6.89	104.47	2.08	32.42	0.68
10	97006	2.14	20.80	5.23	10.34	102.88	1.01	49.71	0.50
11	97007	2.18	21.30	6.53	8.24	102.35	1.58	38.69	0.61
12	97008	2.49	21.37	6.35	8.67	116.52	1.46	40.57	0.59
13	97011	2.44	23.03	6.93	9.17	105.95	1.51	39.82	0.60
14	97016	2.04	24.13	9.98	4.17	84.54	4.79	17.28	0.83
15	97017	2.23	21.73	6.53	8.67	102.62	1.51	39.90	0.60
16	97018	2.26	22.33	6.57	9.19	101.21	1.43	41.16	0.59
17	97019	2.41	22.23	5.95	10.33	108.41	1.15	46.47	0.54
18	97022	2.30	20.92	5.60	9.72	109.94	1.15	46.46	0.54
19	97028	2.14	22.03	5.95	10.13	97.14	1.17	45.98	0.54
20	97040	2.97	23.43	4.95	13.53	126.76	0.73	57.75	0.42
21	97041	2.81	21.47	5.78	9.91	130.88	1.17	46.16	0.54
22	97043	2.71	22.50	6.65	9.30	120.44	1.43	41.33	0.59
23	农杂 6	2.21	20.70	6.01	8.68	106.76	1.38	41.93	0.58
24	农杂 16	2.31	21.85	7.01	7.83	105.72	1.79	35.84	0.64
25	农杂 18	2.30	22.43	6.55	9.33	102.54	1.40	41.60	0.58
26	农杂 41	2.73	21.33	5.47	10.39	127.99	1.05	48.71	0.51
27	农杂 42	2.37	21.97	6.82	8.33	107.87	1.64	37.92	0.62
28	农杂 43	2.33	23.30	7.28	8.74	100.00	1.67	37.51	0.62
29	农杂 46	2.05	23.27	7.38	8.51	88.10	1.73	36.57	0.63
30	农杂 47	2.22	22.70	7.48	7.74	97.80	1.93	34.10	0.66
31	农杂 99	2.63	23.03	6.48	10.07	114.20	1.29	43.73	0.56

32	农杂 100	3.05	22.43	6.62	9.19	135.98	1.44	40.97	0.59
33	农杂 101	2.53	22.07	6.87	8.33	114.64	1.65	37.74	0.62
34	农杂 102	2.97	22.73	6.20	10.33	130.66	1.20	45.45	0.55
35	农杂 106	1.98	21.20	6.73	7.74	93.40	1.74	36.51	0.63
36	农杂 108	2.24	21.20	5.53	10.14	105.66	1.09	47.83	0.52
37	湘棉 10	2.74	22.75	6.25	10.25	120.44	1.22	45.05	0.55
38	湘棉 15	2.43	22.57	7.38	7.81	107.67	1.89	34.60	0.65
39	湘棉 16	2.18	21.73	6.62	8.49	100.32	1.56	39.07	0.61
40	湘棉 17	2.21	21.73	4.96	11.81	101.70	0.84	54.34	0.46
41	泗棉 3	2.20	22.30	7.53	7.24	98.65	2.08	32.47	0.68
42	中棉 12	2.68	23.82	7.28	9.26	112.51	1.57	38.87	0.61
43	E-81	2.24	22.30	6.67	8.96	100.45	1.49	40.18	0.60
44	海陆 F ₅	2.42	22.80	6.78	9.24	106.14	1.47	40.53	0.59
	平 均	2.42	22.17	6.54	9.16	108.96	1.50	41.39	0.59

附表 6 陆地棉不同品种（组合）木质纤维细胞形态结构的比较
Table 6 The comparison of xylem fiber cell morphology for tested species of
Gossypium hirsutum L.

序 号	供试 品种	长度 (mm)	宽度 (μm)	壁厚 (μm)	腔径 (μm)	长宽 比值	荣凯尔 系数	柔性 系数	刚性 系数
1	901	0.86	24.87	6.00	12.87	34.58	0.93	51.75	0.48
2	94-41	0.82	21.65	3.12	15.41	37.88	0.40	71.18	0.29
3	94042	0.54	21.52	3.52	14.48	25.09	0.49	67.29	0.33
4	96-1	0.79	21.38	2.83	15.72	36.95	0.36	73.53	0.26
5	96-5	0.75	22.25	3.52	15.21	33.71	0.46	68.36	0.32
6	96-100	0.86	21.37	2.60	16.17	40.24	0.32	75.67	0.24
7	97001	0.88	22.28	3.75	14.78	39.50	0.51	66.34	0.34
8	97002	0.87	21.58	2.40	16.78	40.32	0.29	77.76	0.22
9	97003	0.92	23.03	4.33	14.37	39.95	0.60	62.40	0.38
10	97006	0.89	21.57	2.52	16.53	41.26	0.30	76.78	0.23
11	97007	0.94	21.13	2.23	16.67	44.49	0.27	78.89	0.21
12	97008	0.89	20.78	2.45	15.88	42.83	0.31	76.42	0.24
13	97011	0.88	21.07	2.75	15.57	41.77	0.35	73.90	0.26
14	97016	0.66	21.63	3.25	15.13	30.51	0.43	71.27	0.30
15	97017	0.94	24.30	5.37	13.56	38.68	0.79	55.80	0.44
16	97018	0.89	21.72	3.23	15.26	40.98	0.42	70.26	0.30
17	97019	0.85	21.63	3.30	15.03	39.30	0.44	69.49	0.31
18	97022	0.86	22.55	3.68	15.19	38.14	0.48	67.36	0.33
19	97028	0.77	22.77	4.17	14.43	33.82	0.58	63.37	0.37
20	97040	0.52	23.28	3.18	16.92	22.34	0.38	72.68	0.27
21	97041	0.90	22.97	3.83	15.31	39.18	0.50	66.65	0.33
22	97043	0.97	22.83	4.03	14.77	42.49	0.55	64.70	0.35
23	农杂 6	0.69	23.95	4.98	13.99	28.81	0.71	58.41	0.42
24	农杂 16	0.91	22.83	3.97	14.89	39.86	0.53	65.22	0.35
25	农杂 18	0.85	23.50	5.22	13.06	36.17	0.80	55.57	0.44
26	农杂 41	0.89	22.42	4.28	12.86	39.70	0.74	57.36	0.38
27	农杂 42	0.82	21.67	3.57	14.53	37.84	0.49	67.05	0.33
28	农杂 43	0.88	24.35	5.73	12.89	36.13	0.89	52.94	0.47
29	农杂 46	0.86	21.82	3.22	15.38	39.41	0.42	70.49	0.30
30	农杂 47	0.72	21.60	4.37	12.86	33.33	0.68	59.54	0.40
31	农杂 99	0.87	23.50	4.40	14.70	37.02	0.60	62.55	0.37

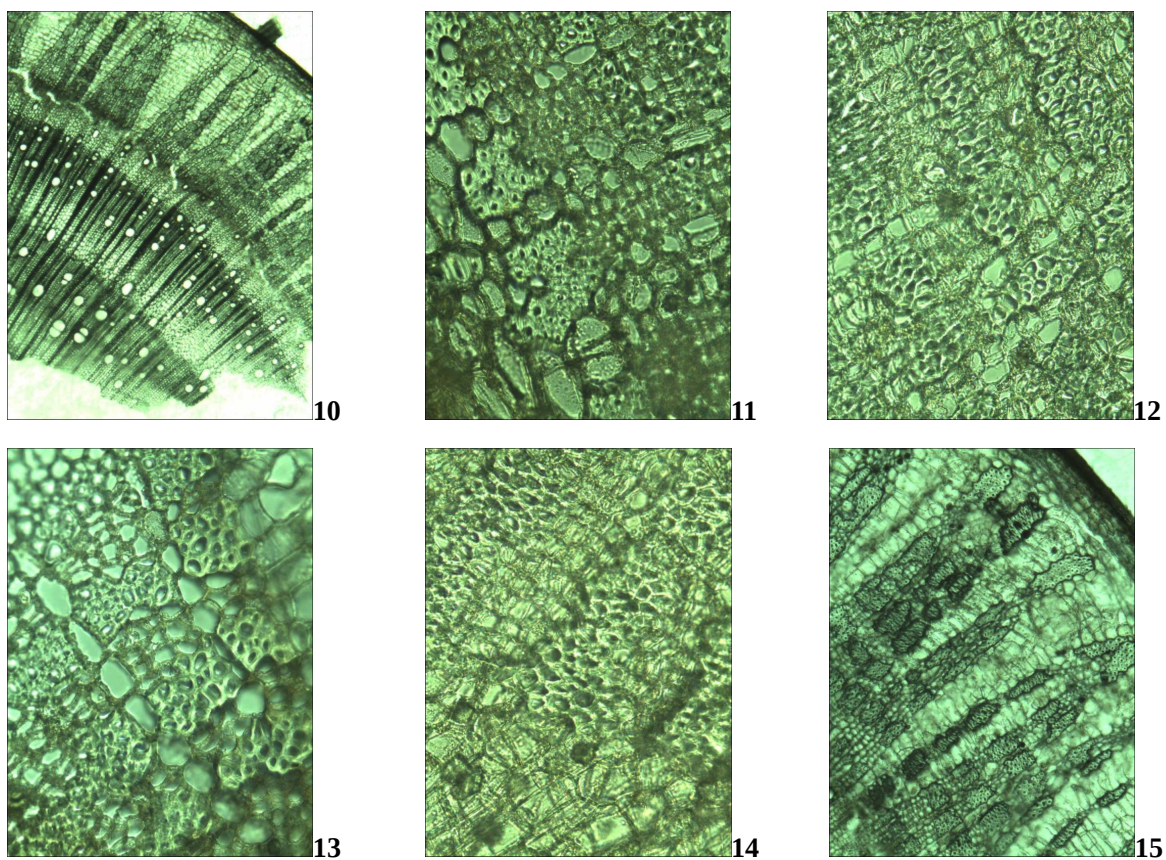
32	农杂 100	0.94	22.87	3.77	15.33	41.10	0.49	67.03	0.33
33	农杂 101	0.92	22.47	3.88	14.71	40.94	0.53	65.47	0.35
34	农杂 102	0.88	22.97	4.05	14.87	38.31	0.54	64.74	0.35
35	农杂 106	0.62	20.75	2.52	15.71	29.88	0.32	75.71	0.24
36	农杂 108	0.88	20.57	2.47	15.63	42.78	0.32	75.98	0.24
37	湘棉 10	0.72	23.25	5.05	13.15	30.97	0.77	56.56	0.43
38	湘棉 15	0.96	23.10	4.48	13.14	41.56	0.76	56.88	0.43
39	湘棉 16	0.87	22.27	3.60	15.07	39.07	0.48	67.67	0.32
40	湘棉 17	0.72	22.90	4.23	14.44	31.44	0.59	63.06	0.37
41	泗棉 3	0.67	23.30	5.03	13.24	28.76	0.76	56.82	0.43
42	中棉 12	0.84	20.52	2.33	15.86	40.94	0.29	77.29	0.23
43	E-81	0.92	23.48	4.12	15.24	39.18	0.54	64.91	0.35
44	海陆 F ₅	0.98	22.01	3.03	15.95	44.53	0.38	72.47	0.28
	平 均	0.83	22.39	3.73	14.85	37.31	0.52	65.58	0.33



附图版 I 四个栽培棉种和红麻茎中部横切面结构

**Fig I Structure of cross section in central stem of 4 cultivation species
of cotton and kenaf**

1.草棉 $\times 400$; 2.海岛棉 $\times 400$; 3.陆地棉 $\times 400$; 4.中棉 $\times 400$; 5.红麻 $\times 400$;
6.草棉 $\times 40$; 7. 海岛棉 $\times 100$; 8.陆地棉 $\times 100$; 9.中棉 $\times 100$;



附图版 II 四个栽培棉种和红麻茎中部横切面结构

Fig II Structure of cross section in central stem of 4 cultivation species
of cotton and kenaf

10.红麻×40; 11.草棉×400; 12.海岛棉×400; 13.陆地棉×400;
14.中棉×400; 15.红麻×100;

参考文献

- [1] 詹怀宇.纤维化学与物理.北京:科学出版社,2005
- [2] 杨淑惠.植物纤维化学(第三版).北京:中国轻工业出版社,2001
- [3] 刁操铨.作物栽培学各论(南方本).北京:中国农业出版社,1994
- [4] 武云亮.开发利用棉副产品促进棉花产业发展[J].江西棉花,1998, (6):35~37
- [5] 冯刚,吴永新,地里夏提·艾和买提.新疆棉秆资源的开发利用[J].水利电力机械,2006,28(12):50~52
- [6] 管锋,杨连勇,姜守全,等.湘北棉区棉秆综合利用初探[J].中国农村小康科技,2006, (12):49~50
- [7] 孙照斌,马兰菊.试论棉秆的工业化利用[J].建筑人造板,2001,(3):20~24
- [8] 杨淑惠,李友森,高扬.棉秆原料特性的分析研究[J].中国造纸,1989, (2):20~28
- [9] 王键,詹怀宇,陈嘉川.棉秆制浆造纸应用前景[J].黑龙江造纸,2006,(1):33~34
- [10] 宋孝周,郭康权.棉秆特性及其重组板材的研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2007,35(11):106~110
- [11] 徐学耘.棉秆原料的初步分析[J].建筑人造板,1994,(3):24~30
- [12] 陈国符,郭义明.植物纤维化学.北京:轻工业出版社,1980
- [13] 江苏农业大学和华南农业大学主编.植物学.上海:上海科技出版社,1978
- [14] 中国农科院棉花研究所主编.中国棉花栽培学.上海:上海科技出版社,1978
- [15] 袁世炬,刘智,许京钟.棉秆造纸生产利用[J].湖北工学院学报,1996,11(1):62~66
- [16] 姚光裕.棉秆在造纸工业中的应用[J].适用技术市场,1990, (10):17~18
- [17] 李金霞,卞科,许斌.棉秆资源特性及其在农业上的应用[J].河南农业科学,2007,(1):46~49
- [18] 石磊,赵由才,柴晓利.我国农作物秸秆的综合利用技术进展[J].中国沼气,2005,23 (2):11~19
- [19] 韩鲁佳,闰巧娟,刘向阳.中国农作物秸秆资源及其利用现状[J].农业工程学报,2002,18(3):87~ 91
- [20] 张艳哲,李毅.秸秆综合利用技术进展[J].纤维素科学与技术,2003,11(2):57~61
- [21] 夏萍,江家伍.机械化秸秆还田技术及配套机具[J].安徽农业大学学报,2001,28(1):106~108
- [22] 吴杰.新疆棉花秸秆利用现状分析和探讨[J].中国棉花,2005,33(2):9~11
- [23] 许国英,热合木都拉,马英杰.棉花秸秆的饲用价值研究[J].新疆畜牧业,1998,(3):10~11
- [24] 魏敏,雒秋江,潘榕,等.对棉花秸秆饲用价值的评价[J].新疆农业大学学报,2003, 26(1):1~4
- [25] 许宗运,张锐.棉秆不同微贮效果研究[J].中国草食动物,1999,1(4):22~24
- [26] 贾昕宇,王宏立,张吉军.农作物秸秆资源的开发与利用[J].农机化研究,2007,(7):217~219
- [27] 苏绣峡,邱 山.秸秆饲料开发利用的思考[J].中国饲料,1996, (12):5~7

- [28] 郭佩玉.秸秆综合利用的重大发现[J].中国饲料,1992, (12):20~24
- [29] 晏向华.秸秆饲料资源的开发与应用研究的新进展[J].粮食与饲料工业,2000, (5):22~25
- [30] 赵小伊,陈发.棉副产品加工及综合利用技术的的应用与发展[J].新疆农机化,2004, (2):53~55
- [31] M K Basak,Sunanda Chaduri.Recycling of jute waste for edible mushiroom production[J].Industrial Crop and Products,1996, (5):173~176
- [32] Shalha J.Blending of Cotton stalk pulp with bagasse pulp for papermaking[J].Biological Wastes 1990,31(2):37~43
- [33] S Jahan,M Quarterly.Blending of nonwood fiber pulps for making paper[J].Joumal of Indian Pulp and Paper Technical Association,2001,13(2):7~12
- [34] Kirci,Huseyn.Aikali sulfite anthraquinone ethanol(Asae) pulping of cotton stalks(Gossypium hirsutum L.) [J].Turkish Journal of Agriculture and Forestry,1997,21(6):573~577
- [35] Khanolkar V D.Punec pulping pudumjee develops clean nonwood pulping[J].Asia Pacific Papermaker,1998,8(12):32~33
- [36] 肖惠华.碱法全棉秆制牛皮箱纸板的小型试验技术报告[J].山东造纸,1987,(3):20
- [37] Shabaka A.Infrared spectroscopic studies of the molecular structure of grafted cotton stalk pulp[J].Polyer-plastics Technology and Engineering,1990,29(1):167~173
- [38] 雷建民.全棉秆制文化用纸工艺的探索[J].纸和造纸,1996,(4):44~45
- [39] Wayanec.Using cotton plant residue produce briquettes[J].Biomass and bioen-ergy,2000,(18):201~208
- [40] 刘丽香,吴承祯,洪伟,等.农作物秸秆综合利用的进展[J].亚热带农业研究,2006,2(1):75~80
- [41] 胡夏明.秸秆气化系统经济效益评价[J].中国农机化,2001,(5):37~38
- [42] 陈乐生.关于秸秆气化中的问题与建议[J].江西能源,2001,(1):46~47
- [43] 陈洪章,徐建,姚建中,等.秸秆分层多级转化液体燃料新工艺的研究进展[J].生物加工过程,2005,3(1):9~13
- [44] T A Gemtos,Th Tsiricoglou.Harvesting of cotton residue for energy production[J].Biomass and Bioenergy,1999,(16):51~59
- [45] D H White,W E Coates.Concersion of cotton plant and cotton gin residues to fuels by the extruder feeder liquefaction process[J].Bioresource Technology,1996,(56):117~123
- [46] 郑凤英,张英珊.我国秸秆资源的利用现状及其综合利用前景[J].资源发展,2007,(1):25~26
- [47] 曹稳根,高贵珍,方雪梅,等.我国农作物秸秆资源及其利用现状[J].宿州学院学报,2007,22(6):110~

- [48] 孙焕良,赵立宁,栗建光,等.红麻及其同属近缘植物韧皮纤维与木质纤维形态结构研究[J].中国造纸学报,1995,(1):1~6
- [49] 黄敬芳,邝秀明,孙焕良,等.主要麻类作物韧皮纤维发育规律研究[J].中国麻作,1994,16(麻类纤维研究专辑):1~34
- [50] 郭义明.植物纤维化学(第二版).北京:中国轻工业出版社,1991
- [51] 孙焕良,邝秀明.苧麻韧皮纤维发育规律研究 I .麻株韧皮纤维细胞发育过程的定位研究[J]. 中国麻作, 1994,16(3):13~16
- [52] 杜雄明,周忠丽,贾银华,等.中国棉花种质资源的收集与保存[J].棉花学报,2007,19(5):346~353

致 谢

首先，我要衷心感谢我的导师—孙焕良教授。本论文从选题、资料收集、设计、实施到撰写、修改，每一个环节都是在恩师悉心指导下完成的。多年来，恩师从学习、生活上给了我诸多关心、照顾，并在我意志最消沉的时期给予我巨大的鼓舞，使我能重新振作起来，完成学业。恩师严谨的治学态度、朴素的生活作风、诲人不倦的教导令我受益匪浅。在今后的学习工作中，我将谨记恩师的教诲，以恩师为榜样，认真学习，努力工作。

另外，我还要感谢在学习和论文实施过程中所有帮助过我的老师和同学。感谢苎麻所李罗先老师不辞辛劳的帮助我取样，处理样品；感谢师母杨霞老师从百忙之中抽空帮我测量数据；感谢师兄贺再新博士在学习和生活中对我的鼓励和支持；感谢孟桂元、贺勇、张海星、伍波、朱洁文等在学习与工作中对我的支持与帮助。

最后，我要感谢我的家人，正是他们无私的关怀、帮助和支持，才使我得以最终完成学业，特别是我的母亲，一直在背后默默的支持着我，在精神上给了我巨大的鼓励。

感谢恩师！感谢家人！感谢一切帮助和关心过我的人！感谢你们给予我的一切！

吴 刚

2009年5月

作者简介

姓 名：吴刚

性 别：男

籍 贯：湖南湘潭

出生年月：1977.10

主要学习和工作经历

1997.09—2001.06 湖南农业大学攻读农学学士

2001.09—2004.06 江苏新沂农药有限公司工作

2005.09—2009.06 湖南农业大学攻读农学硕士

发表论文

苎麻不育特性的研究现状与展望. 作物研究, 2007, 21(5): 690~692