

小麦茎秆抗倒伏性能研究

范文秀¹, 侯玉霞¹, 冯素伟², 朱芳坤¹, 茹振钢^{2*}

(1. 河南科技学院 化学化工学院, 河南 新乡 453003; 2. 河南科技学院 小麦研究中心, 河南 新乡 453003)

摘要: 为了研究小麦茎秆纤维素与小麦茎秆抗倒伏性之间的关系, 采用微波辅助加热酸浸提法提取了小麦茎秆纤维素, 通过光学显微镜、扫描电子纤维镜(SEM)、傅里叶红外光谱(FTIR)、X-射线衍射光谱法(XRD)等方法对小麦茎秆纤维素光谱性能和形貌结构进行了表征。结果表明: 抗倒伏小麦百农矮抗 58 茎秆纤维素含量为 22.51%, 结晶度高达 74.47%; 微波辅助加热酸浸提法所提取的小麦茎秆纤维素纯度高, 具有典型的纤维素特征, 小麦茎秆纤维素晶体具有典型的纤维素 I 的结构; 小麦茎秆纤维素结构属结晶度高、大分子排列非常紧密的纤维; 小麦茎秆纤维素的结晶度和小麦茎秆的倒伏指数具有一定的相关性, 结晶度高, 倒伏指数小, 抗倒伏性能强; 结晶度可以用来表征小麦茎秆纤维素的强度, 有望作为衡量小麦茎秆质量的重要指标之一。

关键词: 纤维素; 结晶度; 红外光谱; X-衍射光谱; 小麦茎秆

中图分类号: S512.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2012)09-0031-04

Study on Cellulose and Lodging Resistance of Wheat Straw

FAN Wen-xiu¹, HOU Yu-xia¹, FENG Su-wei², ZHU Fang-kun¹, RU Zhen-gang^{2*}

(1. Department of Chemical Engineering, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China;
2. Wheat Research Center, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China)

Abstract: The relationship between cellulose and lodging resistance of wheat straw was studied in the paper. The cellulose was extracted from wheat straw by using microwave-assisted and acetic acid/nitric acid /water system. The structure and morphology of cellulose was characterized by means of fluorescent microscopy, fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), X-ray diffraction (XRD) and scanning electronic microscopy (SEM). The results of XRD showed that the crystallite of cellulose from wheat straw was typical of cellulose I, which was the perfect microfibrillar structure. For the very popular variety BN AK58, the content of cellulose in straw was as high as 22.51%, and crystallinity was 74.47%. The cellulose in wheat straw had high crystallinity, high orientation degree and tight structure. A significant inverse correlation between lodging index and crystallinity of straw cellulose was found. The crystallinity of cellulose could be used to characterize the strength of straw cellulose, and might also be taken as one of indices for judging the quality of wheat straw.

Key words: cellulose; crystallinity; FTIR; XRD; wheat straw

小麦是世界上第二大粮食作物, 在全球粮食贸易中占有十分重要的地位, 其种植面积和总产量均占我国粮食作物的 1/4 左右。在限制小麦产量的因素中, 倒伏是一个重要的因素, 抗倒伏是超高产的前

提和保障。长期以来, 国内外学者分别从小麦茎秆的形态结构、倒伏类型、机械强度等方面进行了大量研究, 其中有关小麦茎秆结构特征、生理特性和物理性状等与抗倒伏关系的研究报道较多, 但有关报道多侧

收稿日期: 2012-04-16

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2011BAD07B02); 河南省重大科技专项(081100110500); 河南省重点科技攻关项目(102101220032)

作者简介: 范文秀(1963-), 男, 河南辉县人, 教授, 主要从事分析化学的教学和科研工作。E-mail: fwxiu@yahoo.com.cn

* 通讯作者: 茹振钢(1958-), 男, 河南沁阳人, 教授, 硕士生导师, 河南省小麦抗病虫育种首席专家, 主要从事小麦遗传育种研究与教学工作。

重于对某些性状的分析,而缺少茎秆细胞壁的化学成分分析^[1],在已有的植物细胞壁化学组成对茎秆抗倒伏作用的研究中,主要集中在纤维素和木质素。木质素对于维持茎秆机械强度具有明显的作用^[2-3],纤维素是地球上最丰富的植物多糖,纤维素以微纤丝的形式存在,它是由几十个(1→4)β-D-葡聚糖链沿其长度方向相互以氢键结合形成的拟晶体。不同植物细胞壁的一个共同特点是,微纤丝在细胞壁的不同层次中的方向互不相同。这一特点使得细胞壁获得了在任意方向上都具有很高机械强度的力学效果。有资料表明^[4],纤维素对茎秆抗倒伏能力具有较大的贡献,但并未见从分子水平深入研究这一问题的报道。为此,本研究对小麦茎秆纤维素组织进行了化学定位,采用微波辅助加热酸浸提法提取了小麦茎秆纤维素,通过扫描电镜(SEM)对小麦茎秆纤维素形貌结构进行了表征,利用傅里叶红外光谱(FTIR)、X射线衍射(XRD)分析了茎秆纤维素光谱性能,从纤维素的角度研究了不同小麦品种的抗倒伏性,旨在为小麦新品种的选育和实现小麦高产、稳产、优质提供依据。

1 材料和方法

1.1 材料来源

供试小麦品种为百农矮抗 58、郑麦 9023、豫麦 18 号、平安 6 号、豫麦 49、周麦 18,6 个品种均来自河南科技学院小麦研究中心,采样时间为 2011 年 5 月 13 日。

1.2 小麦茎秆纤维素的组织化学定位

对茎秆纤维素组织的化学定位方法采用 Calcofluor 染色法^[4]。具体步骤:选取小麦茎秆的新鲜徒手切片(约 20 mm),用 0.005% 的水溶性 Calcofluor 染色(荧光增白剂 28,西格马公司)3 min 后,在高级多功能研究型生物显微镜(TE2000-S,日本尼康公司)下观察、拍照,采用的激发和阻断滤色镜分别为 FT365 和 LP420。

1.3 小麦茎秆纤维素的提取

将小麦茎秆洗净,放入干燥箱中低温干燥。干燥

后的小麦茎秆去除茎节,留下节间,将节间放入微型植物粉碎机中粉碎过筛后,按文献^[5]的方法,加入醋酸和硝酸(80%的醋酸和 20%的硝酸,固液比为 1:25),采用微波加热法提取纤维素,低温干燥后备用。

1.4 纤维素的形态结构分析

采用 Quanta 200 环境扫描电镜(美国 FEI 公司)观察纤维素的形态结构。

1.5 纤维素的红外光谱分析方法

采用傅里叶红外光谱仪(TENSOR27,德国 BRUKER 公司),用溴化钾压片法进行测试。将 2 mg 纤维素样品与 200 mg 的溴化钾充分混合,经过反复研磨后转入模具中,抽成真空,加压制成透明片。测试波数为 4 000~400 cm⁻¹。

1.6 纤维素的 X 射线衍射分析

采用日本理学公司生产的 D/Max 2500 型 X 射线衍射仪对样品进行分析。分析条件:Cu 靶,自动单色器滤波,波长 1.540 56 Å,管压 40 kV,管流 200 mA,在 10~50°进行扫描。扫描速度 5°/min。根据 X 衍射谱图,借助 Origin 7.5 软件中的高斯函数对 X 射线衍射图谱中的结晶叠合峰和非结晶叠合峰进行分解,计算出峰面积,根据(1)式计算纤维素的结晶度^[6]:

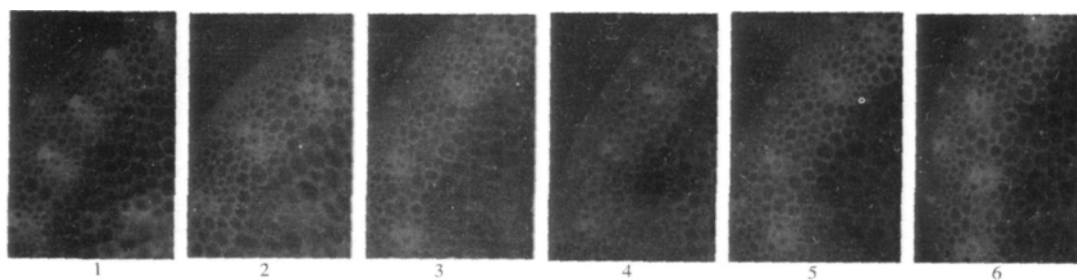
$$X_d/\% = \left[1 - \frac{S_a}{S_a + S_p} \right] \times 100\% \quad (1),$$

式中: S_a 为无定型峰的峰面积, S_p 为结晶峰的峰面积之和。

2 结果与分析

2.1 不同小麦品种纤维素组织的化学显色分析

图 1 表明,小麦茎秆整个横切面的各种组织上均有纤维素的分布,但荧光强度不均一,在维管束区域尤为强烈,此外,通过比较不同小麦茎秆横切面的纤维素荧光,发现荧光强度强弱依次为百农矮抗 58、郑麦 9023、周麦 18、豫麦 49、平安 6 号、豫麦 18。百农矮抗 58 的纤维素含量最高(22.51%)。



1. 百农矮抗 58; 2. 豫麦 49; 3. 平安 6 号; 4. 豫麦 18; 5. 周麦 18; 6. 郑麦 9023

图 1 Calcofluor 染色后纤维素的细胞组织显微荧光照片(放大 500 倍)

2.2 小麦茎秆纤维素的形态结构

采用扫描电镜(SEM)观察纤维素的形态结构,6种小麦茎秆纤维素的形貌特征相同。由图2可以看出,茎秆纤维素的纵向表面不平整,大部分细胞壁上有裂纹,可以看到样品中链状结构的纤维素大分子。纤维素分子“并肩”排列,在每2条链状结构之间还存在着一些细微结构,它们连接着2条纤维素分子,从而使小麦秸秆形成了复杂结构,有结晶或类结晶的纤维丝,纤维丝的结晶区可能就是 β -D-葡萄糖区,而中央的结晶区则可能是甘露糖或木糖的存在部位,非结晶的或结晶程度差的表面区包围着中央的结晶核。



图2 小麦茎秆纤维素的扫描电镜(SEM)照片

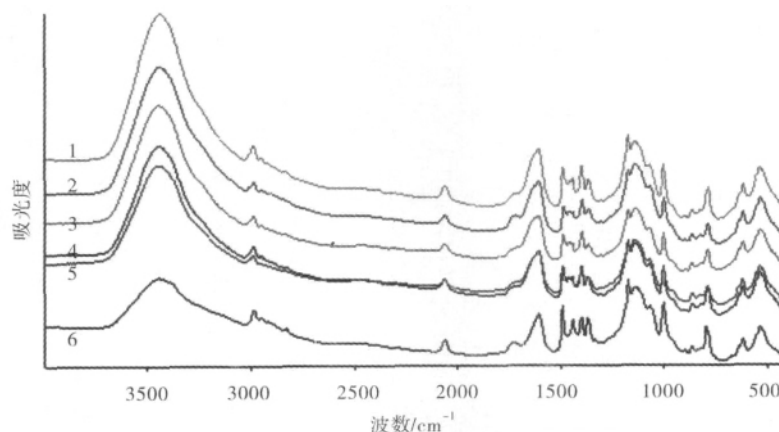
2.3 不同小麦品种茎秆纤维素的傅里叶红外光谱(FTIR)分析

不同小麦品种茎秆提取的纤维素的红外光谱基本相同,但在细微处仍有差别,图3是6种小麦茎秆

纤维素的红外光谱图片,它具有典型的纤维素的光谱特征,图中 3439 cm^{-1} 附近的吸收峰是-OH的伸缩振动吸收,是所有纤维素的特征谱带; 2985 cm^{-1} 处的吸收峰归属为C-H的伸缩振动峰; 1612 cm^{-1} 的吸收峰归属为C=O的伸缩振动峰; 1360 cm^{-1} 处的吸收峰为C-H的弯曲振动; 1135 cm^{-1} 处的强吸收峰可归属为C-O的伸缩振动; 993 cm^{-1} 附近的吸收峰是纤维素中醚键的特征峰; 870 cm^{-1} 为环状C-O-C不对称面外伸缩振动产生的特征峰,木质素的特征吸收峰^[7](1510 cm^{-1})没有出现,说明纤维素中不含木质素,提取的小麦茎秆纤维素的纯度很高。

2.4 小麦茎秆纤维素的X-衍射光谱特征

茎秆纤维素是有结晶区和无定型区交错结合的复杂体系,采用X-射线照射样品,具有结晶结构的物质会发生衍射并形成具有一定特性的X-衍射图。图4表明,6种茎秆纤维素X-衍射图的形状基本相同,吸收峰的位置非常接近,小麦秸秆纤维素的衍射曲线具有很高的分辨率,衍射峰的 2θ 角分别为: 15.4° 、 22.0° 、 34.4° , $2\theta=22.0^\circ$ 附近出现的是002面衍射的极大峰值, $2\theta=34.4^\circ$ 附近的小峰为004面衍射的衍射强度,即结晶区的衍射强度, $2\theta=15.5^\circ$ 附近出现的衍射峰为无定形区的衍射强度,小麦茎秆纤维素特征衍射峰与棉纤维特征衍射峰对应的 2θ 角位置(15.1° 、 22.6° 、 34.7°)十分接近,这说明小麦秸秆纤维素晶体具有典型的纤维素I的结构^[8-9]。



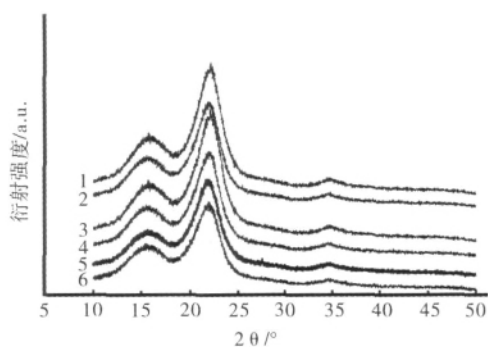
1. 周麦 18; 2. 豫麦 49 号; 3. 平安 6 号; 4. 豫麦 18 号; 5. 百农矮抗 58; 6. 郑麦 9023

图3 小麦茎秆纤维素的红外光谱

2.5 小麦茎秆纤维素的结晶度与抗倒伏性分析

纤维素的结晶度是指纤维素构成的结晶区占纤维素整体的百分率,它反映纤维素聚集时形成结晶的程度^[9],根据小麦茎秆纤维素的X-衍射图以及公式(1)可以计算出小麦茎秆结晶度。小麦茎秆的倒伏指数^[10]是植株质量、重心高度和茎秆机械强度的

综合体现,可以用来准确、可靠地评价小麦茎秆材料的抗倒性。倒伏指数越小,抗倒性越强(表1)。研究表明,纤维素大分子的排列一般存在2种状态,即某些局部区域呈结晶态的结晶区和一些区域呈非结晶态的非晶区。结晶区中纤维大分子有规律地整齐排列,纤维中大分子不呈结晶态的非晶区,其中大



1. 周麦 18; 2. 郑麦 9023; 3. 百农矮抗 58;
4. 平安 6 号; 5. 豫麦 49 号; 6. 豫麦 18 号

图 4 小麦茎秆纤维素的 X-衍射光谱

分子排列比较紊乱,堆砌比较疏松。纤维素的结晶度较高时,机械强度较高,形变较小;结晶度较低时机械强度较低,形变较大。因此,茎秆纤维素的结晶度可以作为表征茎秆中纤维素机械强度的一个物理量,从表 1 可以看出,不同小麦品种抗倒伏能力不同,结晶度高,倒伏指数较小,抗倒伏能力强。小麦茎秆的纤维素的结晶度和倒伏指数存在某种联系,但小麦茎秆纤维素的结晶度仅能说明纤维素的强度,倒伏指数则是小麦茎秆各种组分性能的综合体现,其中可能包括木质素、纤维素、小麦茎秆高度和小麦茎秆节间距等因素。郑麦 9023、周麦 18 和百农矮抗 58 的结晶度分别为 74.91%、75.04%、74.47%,结晶度都较高,倒伏指数较小,抗倒伏能力较强。小麦茎秆纤维素的结晶度有可能成为抗倒伏品种选育的一个重要指标,小麦茎秆纤维素的结晶度和倒伏指数之间的定量关系需要进一步的研究。

表 1 小麦茎秆纤维素的结晶度与小麦茎秆的倒伏指数

品种	结晶度/%	倒伏指数
百农矮抗 58	74.47	0.45
豫麦 18 号	72.21	0.89
平安 6 号	72.99	0.86
豫麦 49 号	72.41	0.86
郑麦 9023	74.91	0.71
周麦 18 号	75.04	0.54

3 结论与讨论

纤维素的组织化学显色分析表明,高抗倒伏品种百农矮抗 58、郑麦 9023、周麦 18 小麦茎秆纤维素的含量高,其中百农矮抗 58 的纤维素含量最高,为 22.51%;扫描电子显微镜观察结果表明,6 个小麦品种茎秆纤维素的纵向表面不平整,大部分细胞壁上有裂纹,可以看到样品中链状结构的纤维素大分子;傅立叶红外光谱分析可知,不同小麦茎秆纤维

素的红外光谱具有典型的纤维素特征,所提取的纤维素纯度较高,不含木质素;X-衍射光谱分析表明,小麦秸秆纤维素晶体具有典型的纤维素 I 的结构,不同小麦品种茎秆纤维素的结晶度不同,倒伏指数和小麦茎秆纤维素的结晶度具有一定的相关性,结晶度高,小麦茎秆的倒伏指数低,抗倒伏能力强。结晶度可以用来表征小麦茎秆纤维素的强度,也有可能成为衡量小麦茎秆质量的重要指标之一。

参考文献:

- [1] Crook M J, Ennos A R. The effect of nitrogen and growth regulators on stem and root characteristics associated with lodging in two cultivars of winter wheat [J]. J Exper Bot, 1995, 46: 931-938.
- [2] Zhu L, Shi G X, Li Z S. Anatomical and chemical features of high-yield wheat cultivar with reference to its parents [J]. Acta Bot Sin, 2004, 46(5): 565-572.
- [3] Jones L, Ennos A R, Turner S R. Cloning and characterization of irregular xylem4 (irx4): A severely lignin-deficient mutant of *Arabidopsis* [J]. Plant J, 2001, 26(2): 205-216.
- [4] Li Y H, Qian Q, Zhou Y H. Brittle Culm1, which encodes a COBRA-like protein, affects the mechanical properties of rice plants [J]. Plant Cell, 2003, 15: 2020-2031.
- [5] 孙晓锋, 王海洪, 胡永红. 秸秆纤维素的一步快速提取和水解 [J]. 高等学校化学学报. 2010, 31(9): 1901-1904.
- [6] Stewart D, Yahiaoui N, McDougall G J, et al. Fourier-transform infrared and Raman spectroscopic evidence for the incorporation of cinnamaldehydes into the lignin of transgenic tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) plants with reduced expression of cinnamyl alcohol dehydrogenase [J]. Plant, 1997, 201: 311-318.
- [7] 孙居娟, 田俊莹, 顾振亚. 竹原纤维与竹浆纤维结构和热性能的比较 [J]. 天津工业大学学报, 2006, 25(12): 37-40.
- [8] 刘福娟, 黄莉茜. 竹纤维素的结构表征 [J]. 纤维素科学与技术, 2007, 15(4): 43-48.
- [9] Sang Youn O H, Dong Ii Yoo, Younsook Shin, et al. Crystalline structure analysis of cellulose treated with sodium hydroxide and carbon dioxide by means of X-ray diffraction and FTIR spectroscopy [J]. Carbohydrate Research, 2005, 340: 2376-2391.
- [10] 冯素伟, 李笑慧, 董娜. 小麦品种百农矮抗 58 茎秆特性分析 [J]. 河南科技学院学报. 2009, 37(4): 1-3.