

小麦茎秆的拉弯性能研究

胡 婷, 焦群英*, 付志一
(中国农业大学, 北京 100083)

摘要: 以成熟期的京冬八号小麦茎秆为研究对象, 分正常施肥和未施肥 2 个组, 进行了不同节间茎的拉伸和弯曲性能试验。结果表明, 小麦茎弹性模量值在 2.371~2.604Gpa, 叶鞘的弹性模量值在 1.246~1.391Gpa。带叶鞘小麦茎的抗弯刚度在 0.0067~0.0104Nm²。

关键词: 小麦; 茎秆; 叶鞘; 弹性模量; 抗弯刚度

中图分类号: S512.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-3268(2007)07-0028-04

On the Measurement of Tensile and Bending Mechanical Properties of Wheat Stalks

HU Ting, JIAO Qun ying*, FU Zhi yi
(China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: In this paper, wheat stalks in their fully mature stage were researched. Tensile and bending tests were carried out, on wheat stalks of different fertilization conditions (with and without fertilization), to obtain the Young's modulus, bending rigidity and relevant changing trends. Based on the experimental data, the Young's modulus ranged from 2.371 to 2.604Gpa, the Young's modulus of sheath ranged from 1.246 to 21.391Gpa, the rigidity modulus of stalk with sheath ranged from 0.0067 to 0.0104 Nm². This study will not only provide a reference for the high producing and breeding, but also be a fundamental study of wheat lodging.

Key words: Wheat stalk; Sheath; Young's modulus; Rigidity modulus

倒伏一直是影响小麦产量的重要因素。而茎秆的抗折力和承载能力的大小对植株倒伏起着决定作用^[1]。小麦茎秆是整个小麦植株的躯干, 是植株正常生长的基础, 更重要的是, 它决定了群体质量的好坏。目前已有学者从研究小麦茎秆的力学性质出发, 对小麦的抗倒伏性能进行了研究。袁红梅等应用三点弯曲试验得到了 3 个小麦品种茎秆基部 1~4 节的弹性模量, 并初步确定了小麦茎秆弹性模量随生长期的变化规律^[2]。李红波等人使用相同的方法测取了 2 个小麦品种不同生长期各节间的惯性矩、弹性模量及抗弯刚度, 以此对 2 个品种的抗倒性能做比较^[3]。O. Dogherty M. 等测量了小麦秆的物理参数: 含水量、杨氏模量、刚度、剪切强度, 讨论了

不同成熟度、含水量对茎秆性能的影响^[4]。本研究以成熟期的小麦茎秆为研究对象, 通过对小麦茎和叶鞘进行拉伸和四点弯曲试验, 获得其弹性模量、抗弯刚度等数值。其中, 茎秆的抗弯刚度决定着小麦茎部的抗倒伏能力, 抗弯刚度值越大, 茎秆抗倒伏能力越强, 可将抗弯刚度值作为评价小麦茎秆抗倒伏能力的指标。本研究旨在为小麦高产育种、小麦抗倒伏研究提供理论参考。

1 材料和方法

1.1 小麦茎叶拉伸试验

小麦试样于 2005 年 6 月取自中国农业大学试验基地, 品种为京冬八号。分正常施肥和未施肥 2

收稿日期: 2007-02-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10472132)

作者简介: 胡 婷(1980-), 女, 四川宜宾人, 在读博士研究生, 主要从事生物力学研究。

通讯作者: 焦群英(1946-), 男, 河北新河人, 教授, 主要从事振动与噪声控制与生物力学方面的研究。

个组,于小麦成熟期收获前几天进行随机抽样,每组各取 20 株,分别进行拉伸和弯曲两项试验。在试验

前测量小麦茎的几何尺寸,取平均值后列入表 1。
拉伸试验在力传感器和位移传感器精度分别为

表 1 京冬 8 号几何尺寸平均值

节位	正常施肥				未施肥			
	长度	外径	外径 *	壁厚	长度	外径	外径 *	壁厚
第 1 节	49. 6(2. 61)	3. 45(0. 04)	3. 24(0. 04)	0. 78(0. 01)	44. 2(3. 82)	3. 22(0. 06)	3. 01(0. 06)	0. 58(0. 02)
第 2 节	96. 4(2. 36)	3. 68(0. 03)	3. 42(0. 03)	0. 60(0. 01)	73. 4(2. 09)	3. 27(0. 05)	2. 96(0. 05)	0. 49(0. 02)
第 3 节	119. 4(2. 16)	4. 08(0. 04)	3. 80(0. 04)	0. 51(0. 01)	78. 3(2. 80)	3. 23(0. 07)	2. 88(0. 06)	0. 44(0. 01)
第 4 节	178. 0(1. 89)	4. 21(0. 04)	3. 85(0. 04)	0. 46(0. 01)	134. 9(2. 08)	3. 17(0. 07)	2. 78(0. 06)	0. 38(0. 01)
第 5 节	274. 4(2. 30)	3. 68(0. 03)	3. 09(0. 03)	0. 40(0. 01)	189. 9(6. 12)	2. 69(0. 07)	2. 06(0. 06)	0. 30(0. 01)
穗	71. 7(0. 50)	—	—	—	55. 5(1. 00)	—	—	—

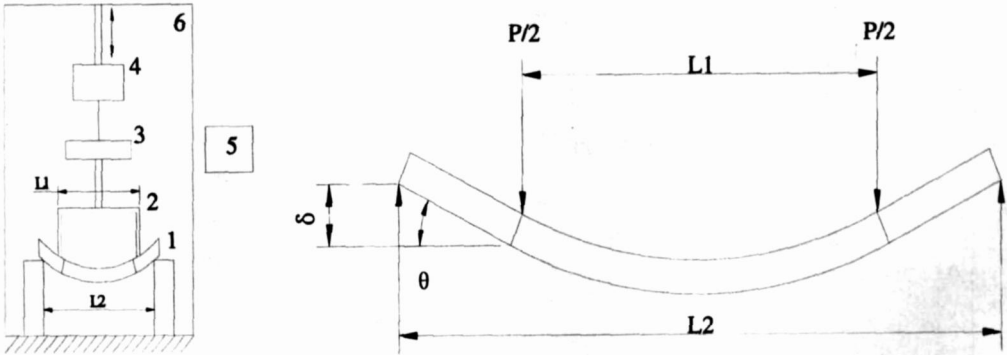
注: * 为去除叶鞘时的外径; 括号中为平均值的标准差
0. 01 N 和 0. 001 mm 的微机控制电子万能试验机上进行试验。拉伸试验使用中试验机自带夹头, 正常施肥和未施肥两组小麦均取主茎, 去叶鞘。将从下而上的 2~5 节茎制成长方形试件, 记录宽度和厚度。试验时出现打滑和在卡具中断裂的数据均被剔除, 每组取 10 个试样。将拉伸试验获得的力-位移曲线转化为应力-应变曲线, 转化关系为:

厚度; Δl —试样绝对伸长; l —试样初始长度。
取小麦第 4 节和第 5 节的叶鞘, 同样加工为长方形试件, 试验和数据处理方法均与茎拉伸试验相同。

1. 2 小麦茎叶弯曲试验

试验用小麦与拉伸试验相同。弯曲试验使用了自行设计四点加载装置(图 1), 为单节弯曲, L_1 为 50 mm, L_2 为 70 mm。试验中在试样两端插入硬质木棍, 用胶水粘牢, 增加接触处的刚度。插入木棍的长度为 10 mm。试验加载速率为 5 mm/min。

$\sigma = F/A$ $A = b \times t$ (1)
 $\epsilon = (\Delta l)/l$ $E = \sigma/\epsilon$ (2)
式中: F —拉力; A —横截面积; h —试样宽; t —试样



1. 试样; 2. 加载装置; 3. 力传感器; 4. 位移传感器; 5. 计算机; 6. 支架
图 1 弯曲试验装置

加载中, 将插入木棍加强部分视作直线, 加载装置之间的小麦茎近似看作一段圆弧。压力 P 和位移 δ 可以由力传感器和位移传感器测出, 由转角 θ 可以计算出小麦茎的弯距 M 和曲率 C , 并得到抗弯刚度(式 3~6)。

2 结果与分析

2. 1 拉伸试验结果

试验数据经计算后得到茎和叶鞘弹性模量, 取平均值, 结果如表 2 所示。

试验中两组小麦拉伸试验的载荷位移曲线差异不大, 而未施肥组小麦壁厚薄, 所以表 2 中未施肥组的小麦第 2~4 茎节的弹性模量值均比正常施肥组的高。从生物学的角度看, 未施肥的小麦在自然条

$$\theta = \arctg[2 \delta / (L_2 - L_1)] \tag{3}$$
$$M = P(L_2 - L_1) / 4 \tag{4}$$
$$C = 2 \sin \theta / L_1 \tag{5}$$
$$EI = M / C \tag{6}$$

表 2 小麦茎弹性模量平均值(Gpa)

节位	正常施肥	未施肥
第 2 节	2. 568 (0. 012)	2 890 (0. 018)
第 3 节	2. 371 (0. 031)	2 819 (0. 019)
第 4 节	2. 604 (0. 014)	3. 297 (0. 023)
第 5 节	2. 462 (0. 018)	3. 031 (0. 017)
第 4 节叶鞘	1. 246 (0. 011)	1. 319 (0. 009)
第 5 节叶鞘	1. 391 (0. 019)	1. 402 (0. 008)

注: 括号中为平均值的标准差

件下生长, 结实率不高, 茎秆贮藏物质用于充实籽粒较少, 茎强度较高。随着肥料的施用, 小麦结实率提高, 穗重增加的同时使得茎贮藏物质大量转化, 削弱了茎的强度。施肥量的不同对第 4, 5 节叶鞘的弹性模量值没有明显的影响。

2. 2 弯曲试验结果

2. 2. 1 变形曲线的分析 为了得到小麦茎抗弯刚度值, 首先分析了试验中抗弯刚度的变化规律。图 2 为抗弯刚度随曲率变化的关系图。图 2 中 AB 段为加载装置与试样初始发生接触的数据, 此时载荷和位移均从零开始增长, 存在一定试验误差, 此时的数据并不能正确反应试样的抗弯刚度, 在数据处理时舍去。随着加载装置往下运动, 试样曲率逐渐增长, 此时抗弯刚度基本保持恒定, 由于截面在弯曲过程中发生变形而略有减少(BC 段)。之后抗弯刚度急剧减少, 试样失去承载能力, 发生失稳。

通过以上分析, 选取 BC 段的数据作为计算抗弯刚度的基础, 分别得到其 2~4 茎节的抗弯刚度值, 进行平均。

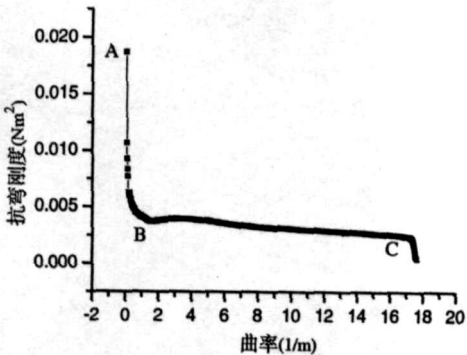


图 2 抗弯刚度随曲率的变化

2. 2. 2 叶鞘的影响 经计算可知, 正常施肥组的小麦茎, 从第 2 节到第 5 节的抗弯刚度值在 0. 0067 ~ 0. 0104 Nm²。去除叶鞘之后, 刚度值在 0. 0051 ~ 0. 0082 Nm²; 未施肥组小麦茎的抗弯刚度值在 0. 0038 ~ 0. 0062 Nm²(图 3, 4)。

去除叶鞘时, 从第 2 节到第 5 节小麦茎秆的抗

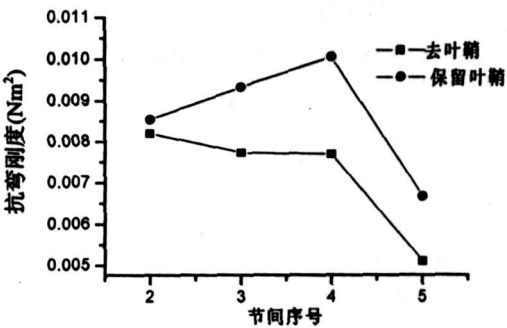


图 3 不同节位抗弯刚度的变化

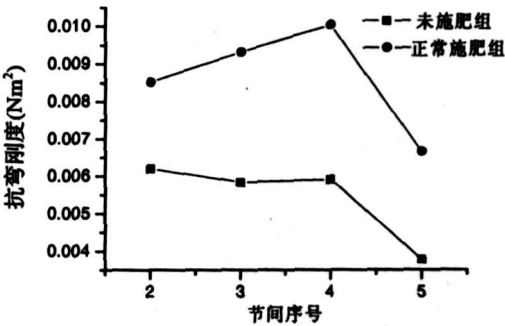


图 4 不同施肥情况抗弯刚度的变化

弯刚度逐渐下降, 第 5 节下降最快, 其抗弯刚度只有第 2 节的 60%。保留叶鞘时, 第 4 节的抗弯刚度值最大, 其次是第 3 节, 第 2 节变化不大。这跟小麦叶鞘的生长情况有关, 从图 3 可以看出, 随节位从下而上, 叶鞘厚度增加, 从而提高了茎秆的抗倒伏能力。以往的研究并没有考虑叶鞘的影响, 不能真实反映小麦茎的机械性能。施肥量的不同, 对茎秆的抗弯能力也有明显的影响(图 4), 施肥量增加使小麦茎秆的直径、壁厚较未施肥组有明显增加, 提高了抗弯刚度, 从而增加了茎秆的抗倒伏能力。

3 结论

- 1) 拉伸试验表明, 小麦茎弹性模量值在 2. 371 ~ 2. 604 Gpa, 叶鞘的弹性模量值在 1. 246 ~ 1. 391 G pa。
- 2) 四点弯曲试验表明, 带叶鞘小麦茎的抗弯刚度在 0. 0067 ~ 0. 0104 Nm²。叶鞘增强了小麦茎的抗弯能力, 以第 3 ~ 5 节最为明显。
- 3) 与正常施肥的小麦相比, 未施肥的小麦在穗长、茎节长、外径、壁厚等几何尺寸上存在明显差距, 抗弯刚度低于正常施肥的小麦, 但试验中 2 组小麦拉伸试验的载荷位移曲线差异不大, 即施肥量并未改变小麦茎秆的抗拉能力。正常施肥组的小麦茎中由于贮藏营养物质的空间大, (下转第 34 页)

用显著, 移栽后 30d, 3 种覆盖方式的根冠比表现为 $YM > ck > DM$, 其中 YM 的根冠比显著高于 DM 和 ck ; 移栽后 45d 的根冠比表现为 $ck > YM > DM$ 。液体地膜覆盖主要促进烟株根系的纵向生长, 移栽后 30d, 45d 均以 YM 的根系最长, 极显著高于 DM 和 ck 。液体地膜的这种覆盖效应, 便于烟株吸收土壤深层的养分, 建立合理的群体结构, 提高抗逆性, 防止早衰。

3) 覆盖栽培在提高烟株的根系活力和抗倒伏能力方面作用显著。移栽后 30d, 45d, 烟株的茎基粗和茎基部伤流强度均为 $DM > YM > ck$, 其中 DM 、 YM 覆盖效应明显优于 ck 。

4) 液体地膜主要成分为有机可降解高分子材料, 在田间有效期为 40~60d, 基本可满足烟苗生长对温度的需要, 之后会逐渐降解变成腐殖酸肥料, 对农田无污染, 且使用方便。有关液体地膜对烟田土壤水热环境、土壤酶和微生物活性的影响有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 刘国顺. 烟草栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 200-211.
- [2] 赵素荣, 张书荣, 徐霞, 等. 农膜残留污染研究[J]. 农业环境与发展, 1998(3): 7-10.
- [3] 唐经祥, 孙敬权, 任四海. 烤烟地膜覆盖栽培存在的问题及对策[J]. 烟草科技, 2000(9): 42-44.
- [4] Haruyuki Kaneshiro. Plastic litter pollution in the marine environment[J]. Journal of the Mass Spectrometry Society of Japan, 1999, 47(6): 319-321.
- [5] 杨青华, 韩锦峰, 贺德先, 等. 液体地膜覆盖保水效应研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(3): 29-32.
- [6] 王建红, 李英法, 陶晓东. 液体生态地膜不同用量对小

米草生长及产量的影响[J]. 草原与草坪, 2003(2): 47-48.

- [7] 张尚法, 孔向军, 张真. 白术喷施液态地膜对产量和效益的影响[J]. 安徽农业科学, 2003, 31(5): 850-853.
- [8] 王渊亮, 张尚法. 马铃薯浇施液态地膜试验初报[J]. 江苏农业科技, 2002(6): 16-17.
- [9] 曹元英, 乜振德, 朱坤永. 液态地膜在大豆上的应用效果研究[J]. 现代化农业, 2000(6): 11-12.
- [10] 王小彬, 蔡典雄, 刘小秧, 等. 液膜覆盖对旱地小麦种植体系土壤微生物区系的影响[J]. 土壤学报, 2005, 42(4): 692-695.
- [11] 黄鹏. 春小麦液膜覆盖栽培效应研究[J]. 甘肃科学学报, 2001, 13(1): 44-47.
- [12] 王小彬, 蔡典雄. 旱作农田保护性耕作—液膜—施肥综合技术研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(6): 22-25.
- [13] 黄占斌, 辛小桂, 李友乾, 等. 液态地膜和植生带对土壤水温和玉米成苗的影响[J]. 水土保持通报, 2004, 24(1): 43-45.
- [14] 杨青华, 黄勇, 马二培. 液体地膜覆盖对棉花根系生长发育的影响[J]. 生态学杂志, 2006, 25(3): 299-302.
- [15] 杨青华, 韩锦峰, 贺德先. 液体地膜育苗对棉花生育与产量的影响研究[J]. 棉花学报, 2004, 16(4): 216-222.
- [16] 杨青华, 韩锦峰, 贺德先. 液体地膜覆盖对棉田土壤微生物和酶活性的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(6): 1312-1317.
- [17] 罗春燕, 龙怀玉, 张延春, 等. 覆盖液态地膜对烟田土壤温度及烤烟生长的影响[J]. 中国农学通报, 2005, 21(9): 296-298.
- [18] 赵全志, 高尔明, 黄丕生, 等. 水稻穗茎节与基部节间伤流的比较及其氮素调控研究[J]. 作物学报, 2001, 27(1): 103-109.

(上接第 30 页) 使得弹性模量值较未施肥组低。施肥量对小麦茎抗拉和抗弯能力的影响还应从生物学的角度, 对木质部、维管束等小麦茎组成部分的生长情况进行进一步的研究。

参考文献:

- [1] Crook, M J, Ennos A R. Stem and root characteristics associated with lodging resistance in four winter wheat cultivars[J]. J Agric Sci Cambridge, 1994, 123: 167-174.

- [2] 袁红梅, 郭玉明, 李红波. 小麦茎秆弯折力学性能的试验研究[J]. 山西农业大学学报, 2005, 25(2): 173-176.
- [3] 李红波, 郭玉明, 陈维毅. 冬小麦茎秆的力学性质研究[J]. 太原理工大学学报, 2006, 37(1): 31-34.
- [4] O'Dogherty M, Huber J, Dyson J, et al. A study of the physical and mechanical properties of wheat straw[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1995, 62: 133-142.