

收割期牧草底部茎秆生物力学性能试验*

赵春花^{1,2} 韩正晟² 王芬娥² 曹致中¹ 师尚礼¹

(1. 甘肃农业大学草业学院, 兰州 730070; 2. 甘肃农业大学工学院, 兰州 730070)

【摘要】 以北方典型多年生豆科牧草紫花苜蓿、小冠花和禾本科扁穗冰草、无芒雀麦收获期底部茎秆为研究对象,在500 N微机控制电子万能试验机上试验研究了主要力学性能,并测定了茎秆在不同状态下纤维素、木质素、蛋白质等主要化学成分含量,观测了茎秆的微观组织结构,得到了茎秆扫描电镜下的解剖构造图像。研究结果表明:4种牧草收割期底部茎秆应力 σ 与应变 ε 曲线服从虎克定律,禾本科扁穗冰草茎秆抗拉强度高而弹性小;豆科小冠花茎秆抗拉强度最低,柔韧性强,纤维素质量分数也最低(13.87%)。牧草茎秆是天然高分子复合材料,呈各向异性,其强度和刚度不仅取决于纤维素、木质素的含量及其链接形式和排列方式,还取决于各自机械组织的厚度、维管束的数量以及各组织及其细胞之间的连接形式和连接强度。

关键词: 牧草茎秆 抗拉强度 化学成分 显微结构

中图分类号: S313; S54 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)04-0085-05

Experiment on Biomechanical Properties of Bottom Stems of Forage in Harvesting Period

Zhao Chunhua^{1,2} Han Zhengsheng² Wang Fen'e² Cao Zhizhong¹ Shi Shangli¹

(1. Pratacultural College, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

2. Engineering College, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract

Four kinds of leguminous and gramineous forage stems in harvesting period were chosen to perform tensile experiments by the electronic testing machine CMT2502. The cellulose, lignin and protein content of forage stems in different conditions were tested. The microstructure was observed. The SEM images of transverse section were got by scanning electron microscopy. The results indicated that, the stress-strain curve of bottom stems obeyed Hooke's law; the tensile strength of *Bromus inermis* was higher than *Coronilla varia*, but the elastic was smaller; the tensile strength and cellulose contents of *Coronilla varia* were smallest (13.87%) in the four species. A forage stem is a natural anisotropic polymeric composite. The strength and stiffness of forage stems depends on the content, linking and sequence of cellulose and lignin, together with the thickness of thick-walled cells, the numbers of vascular bundles and the connection and strength of cells in stems.

Key words Forage stems, Tensile strength, Chemical compositions, Microstructure

引言

近年来,随着畜牧业的快速发展,对牧草这一生物资源的开发利用在国内外引起高度重视,各种加

工机具、配套工艺和牧草产品应运而生;对牧草物料加工特性的研究也有了较快的发展,为进一步设计开发新机具、新工艺提供了理论依据^[1]。国内外学者对农作物茎秆力学特性已作了大量研究^[2-7]。牧

收稿日期:2009-09-06 修回日期:2009-10-22

* 国家自然科学基金资助项目(50965001)、“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD04A04-01-9)和甘肃省科技支撑计划资助项目(0804GKCA051)

作者简介: 赵春花,博士生,副教授,主要从事牧草生物力学和农业机械工程装备研究, E-mail: zhaoch@gsau.edu.cn

通讯作者: 曹致中,教授,博士生导师,主要从事牧草种质资源、育种及草产品加工研究, E-mail: caozz@gsau.edu.cn

草茎秆是一种天然的有机高分子材料,由于天然材料的诸多技术问题未能解决,极大地限制了它们的广泛应用。国内外学者对小麦、水稻、玉米等主要粮食作物的抗倒伏和副产品的开发利用进行了大量的研究工作,并取得了许多成果^[8-9]。但这些研究中,将牧草茎秆的力学性能与其化学成分、显微结构结合起来进行全面系统的研究还未见报道。本文选用多年生豆科牧草紫花苜蓿、小冠花和禾本科牧草无芒雀麦、扁穗冰草的收获期底部茎秆为研究材料,对其力学特性、主要化学成分、显微结构进行测定和观察,并进行相关性分析,为设计、合理选择多功能豆禾牧草收获机^[10]技术参数提供理论支持,也为进一步培育优良品种、开发草产品深加工技术提供一定的参考依据。

1 试验

1.1 牧草茎秆力学性能试验

1.1.1 试验材料

试验材料于2009年6月18日在甘肃景泰县兰化302农场(试验区)随机采样生长多年的初花期甘农3号紫花苜蓿、绿宝石多变小冠花和禾本科玛格纳无芒雀麦、帕克兰德扁穗冰草。选取生长良好,无病虫害的新鲜植株,并尽量避免对茎秆的机械损伤,截取不同牧草底部(地表以上30~150 mm)的茎秆为试验样本,选取的不同直径样本要保证其形态一致性,长度约120 mm。试样采回后立刻送到实验室在4℃下保存,各种牧草选200株,按茎秆直径分5组,每组由样本直径相近的植株30~40株组成,标距为50 mm。

1.1.2 试验方法

试验在甘肃农业大学材料力学实验室进行,采用深圳SANS公司制造的CMT2502型微机控制电子万能试验机,试验参考GB/T1040—2006塑料和复合材料拉伸强度、拉伸模量和拉伸应力-应变关系的测定方法。为防止茎秆在夹具里滑移,试样两端部用剪好的宽约10 mm餐巾纸卷缠紧,再在外面滴少许3秒胶,瞬间干硬后,将试样两端装夹到试验机上、下夹头中间部位,且使茎秆和水平面保持垂直。以10 mm/min的速度对试样施加拉力,选取测定的不同直径样本要保证其形态一致性,长度相同且远远大于其直径。随载荷增加,断裂处不在茎夹两端时,抗拉试验就算成功。

1.2 牧草底部茎秆化学组分测定

1.2.1 试验材料

试验材料与力学性能试验材料相同。截取不同牧草地表以上30~150 mm区间的茎秆各50株为样

本,每株取质量200 g。

1.2.2 试验方法

干物质或水分含量测定采用100~105℃干燥法。有机物或无机物(灰分)含量测定采用550~660℃高温炉灼烧法。纤维素和木质素含量采用范氏酸性洗涤剂洗涤法和72%硫酸溶解法测定。蛋白质含量测定采用凯氏半微量定氮法,仪器为K9860型全自动凯氏定氮仪,普通干燥箱,SX25212型茂福炉等。

1.3 牧草茎秆微观结构试验

1.3.1 试验仪器

试验采用日本电子株式会社(JEOL)生产的JSM-6380(LV)型扫描电子显微镜。对所保留材料制作组织切片,在较低加速电压下观察,观察和拍摄照片时需尽可能迅速。

1.3.2 样品制备

牧草从田间取样后,刈割处应尽快用溶液固定。样品制作时,应当注意保持完好的组织和细胞形态,充分暴露欲观察的部位,使具有良好的导电性和较高的二次电子产额,保持充分干燥的状态。

2 结果与分析

2.1 力学性能

外径分别为1.53 mm的扁穗冰草、1.71 mm的紫花苜蓿、2.2 mm的无芒雀麦和3.50 mm小冠花4种牧草茎秆轴向拉伸应力-应变曲线如图1所示。由图可知,应力 σ 与应变 ε 近似呈线性关系,材料服从虎克定律。应力-应变线性关系斜率大小依次为:扁穗冰草、无芒雀麦、紫花苜蓿、小冠花。4种牧

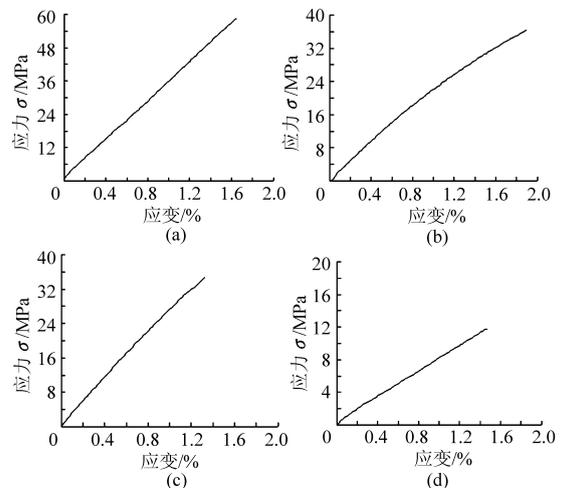


图1 牧草收割期底部茎秆拉伸应力-应变曲线

Fig. 1 Curves of tensile Stress-strain in bottom Stems of

Forage in harvesting period

(a) 扁穗冰草 (b) 紫花苜蓿 (c) 无芒雀麦 (d) 小冠花

草茎秆具有较高的强度和良好的弹性,扁穗冰草茎秆强度高而弹性小,易于机械化收获;小冠花茎秆柔嫩易倒伏,茎秆强度较低,不利于机械化收获。

2.2 牧草收割期底部茎秆的化学组分

牧草茎秆主要由纤维素、木质素、蛋白质、糖等有机高分子材料组成^[11]。表1是多年生豆禾牧草初花期底部茎秆3种状态下主要化学组分的测定结果。鲜样测得紫花苜蓿、小冠花、扁穗冰草、无芒雀麦平均含水率分别为79.02%、77.73%、67.87%、66.83%;半干样平均含水率分别为40.03%、

46.90%、25.65%、40.13%;干样平均含水率分别为7.40%、7.83%、6.51%、6.56%。由表可知,这4种牧草底部茎秆鲜样纤维素是构成茎秆的主要化学成分,随茎秆含水率的降低(或生育期的变化),其纤维素、木质素、蛋白质的含量随之增高,3种状态下木质素和蛋白质的变化规律和纤维素基本一样,牧草品种不同,其化学组分有明显差异。紫花苜蓿、无芒雀麦随茎秆外径增大,纤维素含量有减小趋势;小冠花、扁穗冰草随茎秆外径增大,纤维素质量分数有增大趋势。

表1 牧草收获期底部茎秆纤维素、木质素、蛋白质质量分数

Tab.1 Content of cellulose, lignin and protein of bottom Stems of Forage in harvesting period

牧草	外径/mm	鲜样			半干样			干样		
		纤维素	木质素	蛋白质	纤维素	木质素	蛋白质	纤维素	木质素	蛋白
紫花苜蓿	2.0~2.8	19.27	4.98	2.47	47.46	11.11	5.51	51.26	12.00	5.95
	2.8~3.8	18.12	4.99	3.20	40.43	11.14	7.14	43.66	12.03	7.71
	3.8~5.0	16.58	4.98	2.94	36.99	11.12	6.56	39.95	12.01	7.08
均值		17.99	4.98	2.87	41.63	11.12	6.40	44.96	12.01	6.91
小冠花	1.54~2.38	13.30	4.18	5.73	33.38	10.48	14.39	36.05	11.32	15.54
	2.38~2.85	14.02	4.17	4.45	35.18	10.48	11.17	38.00	11.31	12.06
	2.86~3.84	14.29	4.18	3.47	35.86	10.48	8.71	38.73	11.32	9.41
均值		13.87	4.18	4.55	34.81	10.48	11.42	37.59	11.32	12.34
扁穗冰草	0.52~1.10	16.05	4.27	3.55	28.72	7.63	6.34	31.01	8.24	6.85
	1.19~1.56	16.56	4.16	2.74	29.71	7.44	4.90	32.08	8.04	5.29
	1.57~2.04	19.15	4.27	3.15	34.45	7.63	5.63	37.21	8.24	6.08
均值		17.25	4.23	3.15	30.96	7.57	5.62	33.43	8.17	6.07
无芒雀麦	1.1~1.7	17.69	3.05	1.72	39.47	6.81	3.84	42.62	7.35	4.15
	1.7~1.9	16.28	3.05	1.86	36.33	6.80	4.16	39.23	7.35	4.49
	1.9~2.6	15.38	3.06	2.02	34.32	6.82	4.52	37.07	7.36	4.88
均值		16.45	3.05	1.87	36.71	6.81	4.17	39.64	7.35	4.51

2.3 牧草底部茎秆力学性能与化学组分关系

2.3.1 纤维素

纤维素是植物细胞壁的主要成分,相当于茎秆的骨架物质。用SPSS 13.0分析软件得茎秆应力与纤维素质量分数的关系如图2所示。由图可知:小冠花茎秆纤维素的质量分数由13.3%增加到14.29%、应力由18.85 MPa降到11.7 MPa;而紫花苜蓿茎秆纤维素的质量分数由16.58%增加到19.27%、应力由17.28 MPa增到36.02 MPa;扁穗冰草和无芒雀麦纤维素质量分数分别由16.05%增加到19.15%和由15.38%增加到17.69%,应力分别由74.84 MPa降到50.57 MPa和由57.39 MPa增到105.72 MPa;小冠花茎秆纤维素质量分数最低,抗拉伸强度也最低;紫花苜蓿茎秆纤维素质量分数最高

(19.27%),无芒雀麦拉伸强度最高;4种茎秆纤维素质量分数相差不大(13.3%~19.27%),而抗拉强度差异较大(11.7~105.72 MPa)。这初步揭示:植物茎秆的抗拉强度不仅与纤维素质量分数有关,还与茎秆的纤维素排列方式、疏松程度及其他物质组成有关。

2.3.2 木质素

木质素与纤维素结合紧密,其配合比和排列结构如同“钢筋混凝土”的作用决定着茎秆的强度和刚度,木质素与纤维素质量分数的比值不仅是反映植物残体分解的速率指标之一^[12],而且可能是引起底部茎秆抗拉强度变化的重要原因。图3是4种牧草初花期茎秆木质素与纤维素质量分数比值与强度的变化规律,小冠花茎秆木质素与纤维素质量分

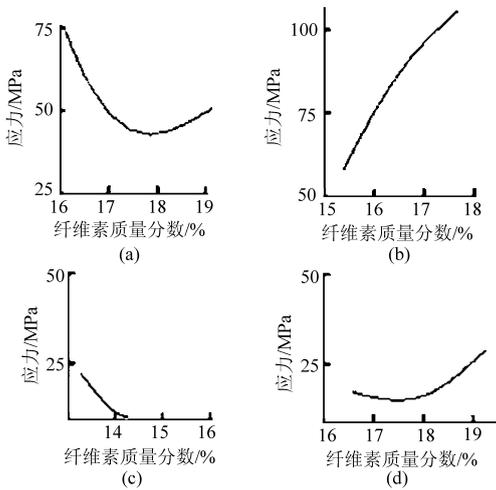


图2 牧草茎秆应力与纤维素的关系

Fig.2 Relationship between tensile strength and cellulose of forage stems

(a) 扁穗冰草 (b) 无芒雀麦 (c) 小冠花 (d) 紫花苜蓿

数比值最高 0.314 3,但其强度最低,而无芒雀麦茎秆木质素与纤维素质量分数比值最低 0.172 4,其强度较高,达 105.72 MPa。

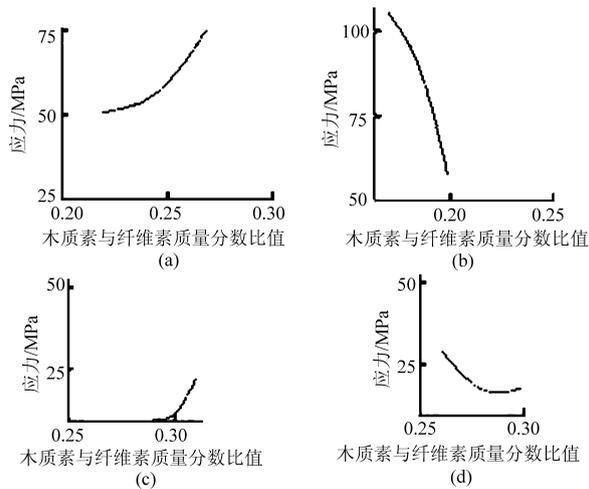


图3 牧草茎秆应力与木质素/纤维素的关系

Fig.3 Relationship between tensile strength and lignin cellulose of forage stems

(a) 扁穗冰草 (b) 无芒雀麦 (c) 小冠花 (d) 紫花苜蓿

2.4 牧草茎秆微观结构

牧草茎秆力学性质由其微观结构所决定。图4是4种牧草茎秆横截面的显微结构。图中表明:牧草茎秆由厚壁机械组织、薄壁细胞组织和网状维管束组织3部分组成。厚壁机械组织包括表皮及其下皮层,组织层密度较高,机械组织发达,细胞大多呈椭圆状;基本薄壁细胞组织大多呈六边形或多边形,细胞排列疏松;网状维管束组织成椭圆状,小束分布在厚壁机械组织靠近基本薄壁组织一侧,与机械组织连成一体,大束分布在基本组织内。维管束和厚壁组织构成主要机械支持,成束厚壁组织纤维组成

所谓“脊梁”结构,这样的结构决定了茎秆纵向抗拉力远大于其横向抗拉力。表皮及下皮层纵向纤维密度较高,排列整齐,中部薄壁细胞留有大量空腔,纤维层稀疏,细胞之间的横向纤维存在明显的连接作用。茎秆的空腔(髓腔)是茎中心的基本薄壁组织在发育过程中解体形成的,髓腔的大小因品种而异,有的品种几乎完全实心(如扁穗冰草),机械组织和输导组织发达^[13-14]。

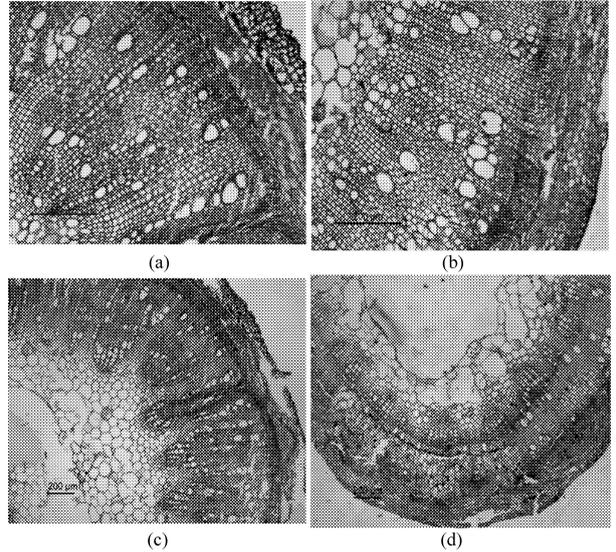


图4 牧草茎秆横截面的SEM形貌

Fig.4 SEM images of transverse section in forage stem

(a) 扁穗冰草(10倍) (b) 小冠花(10倍)
(c) 扁穗冰草(4倍) (d) 小冠花(4倍)

表2为禾本科扁穗冰草和豆科小冠花牧草茎秆横截面微观组织的具体观测值。测试表明:牧草茎秆各组织细胞大小、细胞壁厚、维管束数量、维管形态等因素,随品种不同、植株部位不同而变化,但其组织结构和构成要素不变。扁穗冰草厚壁细胞组织厚度和维管束数量大于小冠花;牧草茎秆是多相组织构成的复合材料。厚壁组织和维管束组织坚硬而富有弹性,构成牧草生长过程中重要的机械支持系统,是牧草能抵抗拉伸、剪切、压缩、弯曲、扭转等各种变形、倒伏和破坏的内在原因。机械组织纤维层越厚,维管束数量越多,茎秆的强度越高,刚度和稳定性越好。因此,牧草茎秆的强度随机械组织和维管束数量的增加而提高。

3 结论

(1)多年生豆禾牧草收割期底部茎秆应力 σ 与应变 ε 近似呈线性关系,材料服从虎克定律;拉伸应力-应变线性关系的斜率大小依次为:扁穗冰草、无芒雀麦、紫花苜蓿、小冠花。牧草茎秆具有较高的强度和良好的弹性,扁穗冰草茎秆强度高而弹性小,易于

表2 牧草茎秆显微结构相关参数
Tab.2 Parameters of microstructure on forage stems

品种	参数	厚壁细胞机械组织	薄壁细胞机械组织	维管整组织	
				大维管束	小维管束
扁穗冰草	细胞直径/ μm	2.5 ~ 33.7	10.6 ~ 97.1		
	导管直径/ μm			33.2 ~ 68.7	15.5 ~ 38.3
	细胞壁厚/ μm	1.9 ~ 4.6	2.7 ~ 4.4		
	细胞层数	6 ~ 8	30 ~ 48		
	维管束数量			30 ~ 34	34 ~ 38
	组织厚度/ μm	340.1 ~ 522.2	424 ~ 690		
小冠花	细胞直径/ μm	11.31 ~ 17.34	17.42 ~ 41.03		
	导管直径/ μm			19.69 ~ 46.89	10.38 ~ 35.59
	细胞壁厚/ μm	1.69 ~ 1.98	1.4 ~ 2.62		
	细胞层数	8 ~ 10	16 ~ 20		
	维管束数量			20 ~ 22	18 ~ 20
	组织厚度/ μm	158.54 ~ 188.6	1.69 ~ 1.98		

机械化收割;小冠花茎秆强度低而柔韧。

(2)纤维素是构成牧草茎秆的主要化学成分,牧草品种不同,其化学组分有明显差异。小冠花茎秆纤维素质量分数最低,抗拉伸强度也最低;紫花苜蓿茎秆纤维素质量分数最高(19.27%),无芒雀麦拉伸强度最高;牧草茎秆纤维素质量分数相差不大(13.3%~19.27%),而抗拉强度差异较大(11.7~105.72 MPa)。

(3)牧草茎秆的抗拉强度不仅与纤维素质量分

数有关,还与茎秆的纤维素排列方式、疏松程度及其他物质组成有关;木质素与纤维素有机结合紧密,其合理的配合比和良好的排列结构使细胞壁坚硬,可增强茎秆机械强度和韧性。木质素与纤维素质量分数的比值可能是引起牧草茎秆强度刚度变化的主要原因,也是影响牧草机械化收获质量的重要因素。小冠花茎秆纤维素含量最低,强度最低,而木质素与纤维素质量分数比值最高,粗蛋白含量最高。

参 考 文 献

- 1 苏工兵,刘俭英,王树才,等. 苕麻茎秆木质部力学性能试验[J]. 农业机械学报, 2007, 38(5):62~65.
Su Gongbing, Liu Jianying, Wang Shucai. Study on mechanical properties of xylem of ramie stalk[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(5):62~65. (in chinese)
- 2 刘庆庭,区颖刚,卿上乐. 农作物茎秆的力学特性研究进展[J]. 农业机械学报,2007,38(7):172~176.
Liu Qingting, Ou Yinggang, Qing Shangle. Study progress on mechanics properties of crop stalks[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007,38(7):172~176. (in chinese)
- 3 赵春花,张锋伟,曹致中. 豆禾牧草茎秆的力学特性试验研究[J]. 农业工程学报, 2009,25(9):122~126.
Zhao Chunhua, Zhang Fengwei, Cao Zhizhong. Experiment on stalk mechanical properties of legume forage and grasses[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009,25(9):122~126. (in Chinese)
- 4 Schulgasser K, Witzum A. On the strength of herbaceous vascular plant stems[J]. Annals of Botany,1997,80(4):35~44.
- 5 Hirai Y, Inove E, Mori K. Application of a quasi-static stalk bending analysis to the dynamic response of rice and wheat stalks gathered by a combine harvester reel[J]. Biosystem Engineering, 2004, 88(3):281~294.
- 6 梁莉,郭玉明. 不同生长期小麦茎秆力学性质与形态特性的相关性[J]. 农业工程学报, 2008,24(8):131~134.
Liang Li, Guo Yuming. Relationship between stalk biomechanical properties and morphological traits of wheat at different growth stages[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008,24(8):131~134. (in chinese)
- 7 刘建辉. 农作物材料的力学分析[M]//余同希. 英国应用力学前沿研究课题选介. 北京:科学出版社,1996:215~222.
- 8 郭维俊,王芬娥,黄高宝,等. 小麦茎秆力学性能与化学组分试验[J]. 农业机械学报,2009,40(2):123~127.
Guo Weijun, Wang Fen'e, Huang Gaobao, et al. Experimental study on mechanical properties and chemical compositions of wheat stems[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(2):123~127. (in Chinese)

参 考 文 献

- 1 程悦菽. 拖拉机设计[M]. 2版. 北京: 中国农业机械出版社, 1992.
- 2 宋晓玲, 黄云战, 吴佳佳. 基于 MATLAB 的最终传动的优化设计[J]. 机械研究与应用, 2006, 19(3): 70~74.
Song Xiaoling, Huang Yunzhan, Wu Jiajia. Optimum design of the final transmission based on MATLAB[J]. Mechanical Research and Application, 2006, 19(3): 70~74. (in Chinese)
- 3 叶秉良, 俞高红, 戚金明. 基于 SQP 法的拖拉机最终传动可靠性优化设计[J]. 农机化研究, 2008, 30(4): 5~8.
Ye Bingliang, Yu Gaohong, Qi Jinming. Reliability optimal design of tractor's final transmission based on SQP algorithm[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008, 30(4): 5~8. (in Chinese)
- 4 叶秉良, 赵匀, 俞高红, 等. 拖拉机 NGW 型行星式最终传动多目标可靠性优化[J]. 农业工程学报, 2008, 24(11): 89~94.
Ye Bingliang, Zhao Yun, Yu Gaohong, et al. Multi-objective reliability optimization design of tractor's NGW type planetary gear final transmission[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(11): 89~94. (in Chinese)
- 5 李华敏, 韩元莹, 王知行. 渐开线齿轮的几何原理与计算[M]. 北京: 机械工业出版社, 1985.
- 6 叶仲和, 陈仁官. 齿轮优化设计的极小滑动系数原则[J]. 机械科学与技术, 1995(5): 81~82.
Ye Zhonghe, Chen Renguan. The principle of minimum sliding coefficient in gear optimization[J]. Mechanical Science and Technology, 1995, (5): 81~82. (in Chinese)
- 7 Wu Shifeng, Cheng H S. Sliding wear calculation in spur gears[J]. Journal of Tribology, Transactions of the ASME, 1993, 115(3): 493~500.
- 8 Anders Flodin. Wear of spur and helical gears[D]. Stockholm: Royal Institute of Technology, 2000.
- 9 王启, 王文博. 常用机械零部件可靠性设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1996.
- 10 Mahapatra G S, Roy T K. Fuzzy multi-objective mathematical programming on reliability optimization model[J]. Applied Mathematics and Computation, 2006, 174(1): 643~659.
- 11 Lai Yinan, Lai Mingzhu, You Bindi, et al. Improved algorithm and realization of mechanical multi-parameter fuzzy optimization[J]. Journal of Advanced Manufacturing Systems (JAMS), 2008, 7(1): 183~186.
- 12 陈健, 李阳星. 基于遗传算法的滚筒减速机构模糊可靠性优化[J]. 农业机械学报, 2006, 37(7): 125~128.
Chen Jian, Li Yangxing. Fuzzy reliability design on cold oil electronic cylinder based on genetic algorithm [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(7): 125~128. (in Chinese)
- 13 谢庆生, 罗延科, 李屹. 机械工程模糊优化方法[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- 14 Venkataraman P. Applied optimization with MATLAB programming[M]. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2002.
- 15 朱景梓. 渐开线齿轮变位系数的选择[M]. 修订本. 北京: 人民教育出版社, 1982.

(上接第 89 页)

- 9 廖宜涛, 廖庆喜, 田波平. 收割期芦竹底部茎秆机械物理特性参数的试验研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(4): 124~129.
Liao Yitao, Liao Qingxi, Tian Boping. Experimental research on the mechanical physical parameters of bottom stalk of the Arundo donax L. in harvesting period[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(4): 124~129. (in Chinese)
- 10 赵春花. 带有动力分禾装置的多功能手扶豆禾牧草收割机: 中国, 200820116110.4[P]. 2009-04-01.
- 11 马洪顺, 张忠君, 曹龙奎. 薇菜类蔬菜生物力学性质试验研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(5): 74~77.
Ma Hongshun, Zhang Zhongjun, Cao Longkui. Experimental study on the biomechanical properties of some unda cinnamom ea of like vegetables[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(5): 74~77. (in Chinese)
- 12 Genet M, Stokes A, Salin F, et al. The influence of cellulose content on tensile strength in tree roots[J]. Plant Soil, 2005, 278(2): 1~9.
- 13 Hans-Joachim G Jung. Maize stem tissues: ferulate deposition in developing internode cell walls[J]. Phytochemistry, 2003, 63(5): 543~549.
- 14 王芬娥, 黄高宝, 郭维俊, 等. 小麦茎秆力学性能与微观结构研究[J]. 农业机械学报, 2009, 40(5): 92~95.
Wang Fene, Huang Gaobao, Guo Weijun, et al. Mechanical properties and micro-structure of wheat stems[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(5): 92~95. (in Chinese)