

五节芒茎秆微观构造及结晶度研究

赵佳美, 胡勇庆, 钱少平, 李 冰, 钱 俊

(浙江农林大学 工程学院, 浙江 临安 311300)

摘要: 为更好地研究和利用五节芒 *Miscanthus floridulus* 茎秆, 并为五节芒工业化利用奠定基础, 研究了五节芒茎秆微观构造及茎秆去髓原料的纤维素相对结晶度。结果表明: 五节芒茎秆皮部为茎秆最外层不含维管束的部分, 木质部为皮部内圈维管束较多且紧密分布的部分, 髓部为茎秆中部呈白色、含少量维管束的部分。茎秆表皮层由表皮膜、长细胞、短细胞和气孔器构成, 长细胞长边边缘多呈锯齿形, 且长、短细胞内含硅质。维管束由木质部、韧皮部、纤维细胞组成。原生木质部含环纹导管或螺旋导管。后生木质部的导管类型有网纹导管和孔纹导管。基本组织薄壁细胞主要特点是壁薄, 壁上有纹孔, 且内含淀粉粒。五节芒去髓茎秆梢部纤维相对结晶度为 43.21%, 中部为 42.08%, 基部为 44.49%, 基本相似, 没有表现出明显的规律性。图 2 表 1 参 15

关键词: 木材学; 五节芒; 微观构造; 结晶度

中图分类号: S781.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2012)03-0426-05

Microstructure and crystallinity of the *Miscanthus floridulus* culm

ZHAO Jia-mei, HU Yong-qing, QIAN Shao-ping, LI Bing, QIAN Jun

(School of Engineering, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: The microstructure and crystallinity of the *Miscanthus floridulus* culm was studied to improve the research quality, to find possible new uses, and to lay a foundation for its industrial use. Results showed that the *M. floridulus* cortex was the portion of the outermost layer without vascular bundles, the xylem was the portion of the inner ring with comparatively more and closely distributed vascular bundles, and the pith was the portion of the central white culm with few vascular bundles. The culm epidermis were made up of epidermal membrane, long cells, short cells, and stomatal apparatus. Long cells were mostly serrated alongside the long edge. And the long and short cells containing silica. Vascular bundles were comprised of xylem, phloem, and fiber cells. Protoxylem contained circular grain vessels or spiral grain vessels, whereas metaxylem contained woven grain vessels or pitted vessels. The main features of the basic parenchyma cell tissue were thin-walls with pits and starch grains. The relative crystallinity of *M. floridulus* without pith for the upper culm cellulose was 43.21%, for the central part was 42.08%, and for the lower part was 44.49%. Thus, relative crystallinity was similar and did not show obvious regularity. [Ch, 2 fig. 1 tab. 15 ref.]

Key words: wood science; *Miscanthus floridulus*; microstructure; crystallinity

五节芒 *Miscanthus floridulus*, 别名芒秆、茅秆, 芒草、大碟子草、大茅草, 禾本科 Gramineae 植物, 高为 1~4 m, 地下根系发达。五节芒作为一种禾本科秸秆类非木材植物资源, 特点是分布广, 生长速度快(生长季节为 $4\text{ cm}\cdot\text{d}^{-1}$), 生物量大($45\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$), 再生能力非常强。近年来, 随着人民生活水平的日益提高, 农民砍伐五节芒的次数及利用的五节芒数量急剧减少, 五节芒的生长不仅远远超过农民利用的数量, 而且没有及时砍伐的五节芒由于高速繁殖以及不易除尽, 导致造林难度增加, 生物多样性遭到破

收稿日期: 2011-08-20; 修回日期: 2011-10-17

基金项目: 浙江省厅市会商项目(2008C02012); 浙江省科学技术重大专项(2008C02006-1)

作者简介: 赵佳美, 从事五节芒茎秆的基本特性研究。E-mail: zhaojiami121@yahoo.com.cn。通信作者: 钱俊, 教授, 从事木质材料综合利用技术研究。E-mail: junqian@zafu.edu.cn

坏,森林火灾频发,其危害性越来越大。对五节芒进行人造板方面的开发利用,不仅能有效解决五节芒带来的危害性,起到防火减灾、变害为宝、养护水土和促进林业可持续发展的作用,而且可以增加就业,提高农民收入,服务社会主义新农村建设。长期以来,由于五节芒主要被用来培育食用菌、燃烧发电、重金属废弃土壤的改良与恢复等^[1-2]的利用,其研究主要集中于生物学特性及能源植物特性方面^[3-7],对其微观构造及纤维结晶度的研究尚无报道。材料的微观构造和纤维结晶度是影响材性的重要因素^[8-9]。本研究旨在通过对五节芒茎秆的微观构造进行研究,并且了解其纤维结晶度的大小,从而为五节芒工业化利用奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

试验所用的五节芒采自浙江省开化市。收集到的五节芒茎秆为枯黄期地上部分,高为 2~4 m。取 20 株五节芒茎秆进行研究。去掉叶鞘及穗部,基部往上 100 cm 一段为基部,依次往上各取 100 cm 为中部和梢部。若各部不足 100 cm,则各部取 80 cm。然后将各个部位锯成 20 mm 长的试件备用。

药剂:氯酸钾,体积分数为 30%硝酸,体积分数为 5%,50%,95%,100%的乙醇,无水乙醇和二甲苯(1:1),二甲苯,番红,中性树胶等。

试验仪器与工具:体式显微镜(Olympus SZX7),光学显微镜(Olympus BX51),半自动轮转切片机(Leica RM2245),扫描电子显微镜(岛津 SS-550),粉末 X 射线衍射仪(岛津 XRD-6000),水浴锅,刀片,试管,盖玻片,载玻片,培养皿等。

1.2 方法

1.2.1 微观构造研究 首先,利用体式显微镜和扫描电子显微镜对五节芒茎秆的横切面和纵切面进行观察研究,其次,将五节芒茎秆制成永久切片进行观察,并且将五节芒茎秆进行纤维离析,分离出表皮层和髓部的基本组织薄壁细胞进行观察。永久切片制作:选取几段 20 mm 长的备用试件,放入试管中并注入适量的水。将试管置于温度约为 98 ℃左右的水浴锅中加热,对五节芒茎秆进行蒸煮软化数小时,直到五节芒茎秆被蒸煮下沉,沉底后再蒸煮浸泡 7 d。将软化好的五节芒茎秆置于切片机上切出 20 μm 左右的薄片,选取结构完整的横切面和纵切面薄片进行染色、脱水及封藏制成永久切片。

1.2.2 纤维结晶度分析 将五节芒茎秆风干后去髓,经植物粉碎机粉碎,通过 200 目筛,制得梢、中、基共 3 种样品。实验设备采用日本岛津公司生产的 XRD-6000 型 X 光衍射仪,X 光管为铜靶,管电压为 40 kV,管电流 30 mA,测量方式采用 $2\theta/\theta$ 联动扫描,取样间隔 0.02° ,预置时间为 0.6 s。狭缝装置:发散狭缝(DS)= 1° ,防散射狭缝(SS)= 1° ,接收狭缝(RS)=0.3 mm。衍射曲线及时由绘图仪输出。将样品粉末在室温下压成薄片,然后做成 2θ 的强度曲线,样品扫描范围 $5^\circ\sim 60^\circ(2\theta)$ 。采样 2 次·样品⁻¹,取平均值。在扫描曲线上, $2\theta=22^\circ$ 附近有衍射的极大峰值, $2\theta=18^\circ$ 附近有一极小值。据此计算五节芒茎秆纤维素相对结晶度的数值,采用 Segal 法^[10]计算。

2 结果与讨论

2.1 五节芒茎秆的微观构造

利用体式显微镜对五节芒茎秆节间横切面和节部横切面进行观察研究,并利用扫描电子显微镜对五节芒茎秆横切面和纵切面进行观察研究。将五节芒茎秆进行纤维离析,分离出表皮层和髓部的基本组织薄壁细胞,在光学显微镜下观察研究。另外,将五节芒茎秆进行切片,在光学显微镜下研究其横切面和纵切面。

由图 1-1 可见:五节芒茎秆可分为皮部、木质部和髓部 3 个部分。皮部为茎秆最外层不含维管束的部分,木质部为皮部内圈维管束较多且紧密分布的部分,髓部为茎秆中部呈白色,含少量维管束的部分。在茎秆横切面上可以看到 3 种组成:表皮组织、维管束组织和基本薄壁组织。皮部是由表皮组织构成,是茎秆横切面上见不着维管束的最外侧部分,且与内面的基本薄壁组织不能截然分开。木质部主要是由维管束组织构成,维管束与维管束之间充塞着基本薄壁组织。髓部主要是由基本薄壁组织构成,也分散着一些维管束。图 1-2 所示五节芒茎秆节部横切面,与图 1-1 节间横切面相比,节部的髓部不明

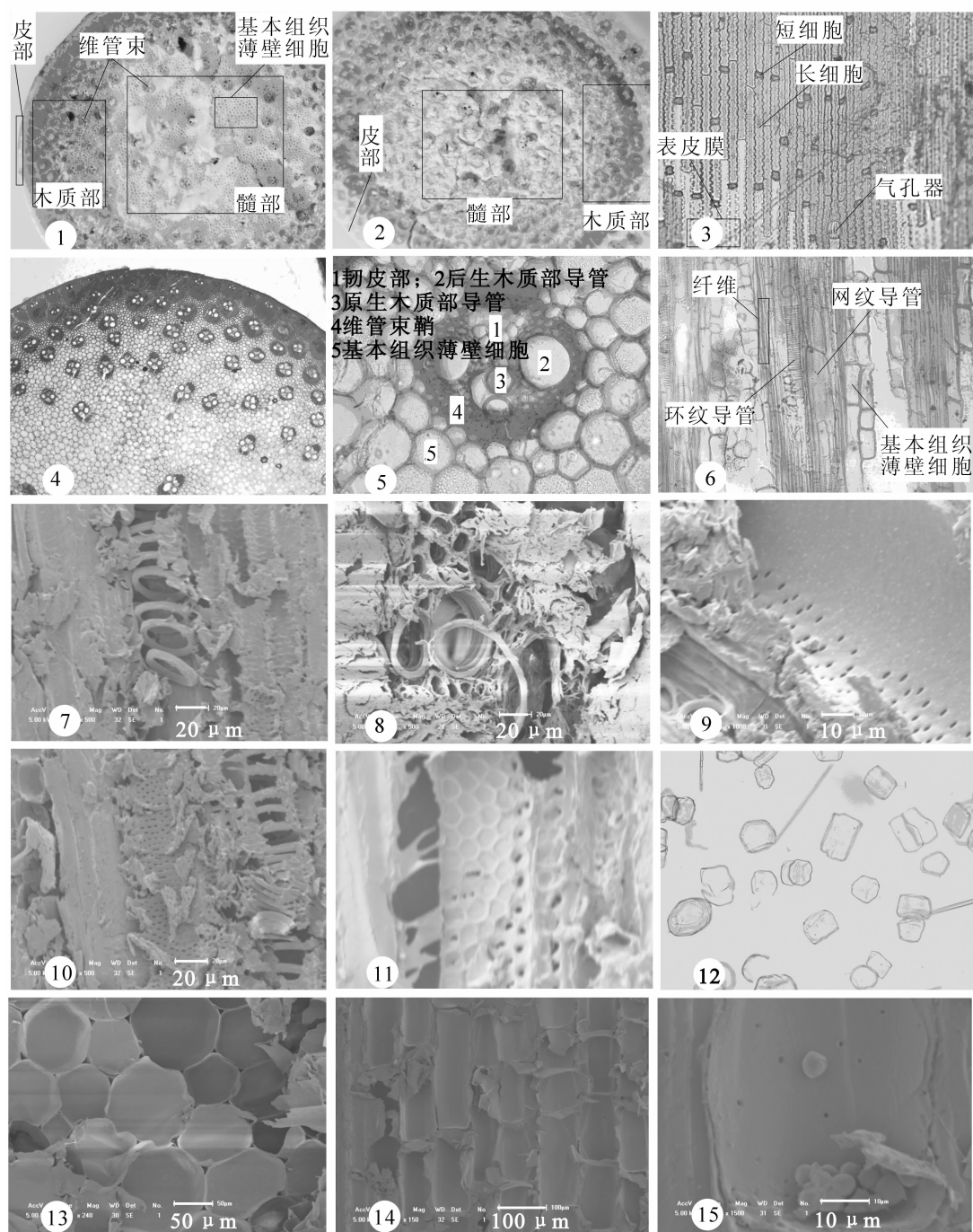


图1 五节芒茎秆的微观构造

Figure 1 Microstructure of *Miscanthus floridulus* culm

显，与木质部相似，主要由维管束构成，充塞着少量基本组织薄壁细胞。

茎秆经纤维离析得到表皮层(图 1-3)，是茎秆最外面的一层细胞，由表皮膜、长细胞、短细胞和气孔器构成。长细胞与短细胞交错排列，长细胞占大部分面积，且顺纹平行排列。长细胞呈长方形，其长边缘多呈锯齿形，故长细胞也称锯齿细胞。长细胞这种锯齿形的结构可使相邻细胞间交错紧密，可提高细胞间的结合力，使之不易裂开。短细胞形状短小、含硅质，因而称为硅质细胞。一些长细胞内也含有少量硅质^[11]，这种硅质有棱镜分光功能，对紫外光有强反射能力，可防止芒秆皮被烈日灼伤^[12]。因表皮细胞硅质化的结果，表皮层能防止茎秆内部水分过度蒸发和病菌的侵入^[13]。表皮上穿插着的小孔，为气孔。

由图 1-4 可知：五节芒茎秆维管束的排列成环形，沿茎轴做环状排列，但主要集中在茎的外围，愈

向茎的中心，愈稀疏。五节芒的维管束由木质部、韧皮部、纤维细胞组成。如图 1-5 所示：纤维细胞围绕在木质部、韧皮部外围，构成维管束鞘。维管束鞘保护维管束内的木质部和韧皮部，并且给予茎秆以支撑力。图 1-6 为茎秆纵切面，从维管束木质部处剖开，可见原生木质部的环纹导管和后生木质部的网纹导管。原生木质部含环纹导管(图 1-7)或螺旋导管(图 1-8)。环纹导管在导管壁上每隔一定距离，有环状增厚部分。螺旋导管壁上的增厚部分呈螺旋状。后生木质部的导管壁全部增厚，仅留下具丝纹孔没有增厚^[14]。其纹孔类型有互列(图 1-9)和对列(图 1-10)，这类导管为孔纹导管；还有一类导管其壁上的增厚部分交错连接成网状，“网眼”为未增厚部分，这类导管为网纹导管(图 1-11)。

图 1-12 为离析后的基本组织，为多面体薄壁细胞，主要分布在维管束系统之间，相当于填充物，是五节芒茎秆构成的基本部分。基本组织薄壁细胞在横切面上近似于圆形或呈多角形，具明显的细胞间隙(图 1-13)，在纵切面上，呈近似于正方形和长方形(图 1-14)。基本组织薄壁细胞主要特点是壁薄，壁上有纹孔，且内含淀粉粒(图 1-15)。

2.2 五节芒茎秆去髓原料的相对结晶度

图 2 为五节芒茎秆去髓原料不同部位衍射强度曲线。根据 $2\theta=22^\circ$ 和 $2\theta=18^\circ$ 等 2 处的衍射强度值，采用 Segal 法计算出纤维素相对结晶度的值。计算结果如表 1 所示，梢部结晶度为 43.21%，中部为 42.08%，基部为 44.49%，基本相似。五节芒为禾本科植物，地上部分为 1 年生，4 个月已经成熟，生长较快，因此，不同部位的五节芒茎秆结晶度没有表现出明显的规律性。五节芒茎秆去髓原料相对结晶度与稻草相对结晶度 49.00%^[15]相比略低，但比泡桐 *Paulownia fortunei* 相对结晶度 35.50%，杉木 *Cunninghamia lanceolata* 相对结晶度 39.20% 和马尾松 *Pinus massoniana* 相对结晶度 41.10 %^[10]略高。

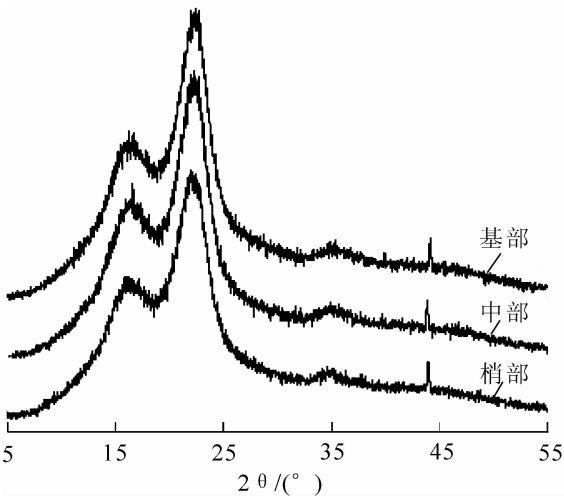


图 2 五节芒茎秆去髓原料不同部位衍射强度曲线
Figure 2 Diffraction intensity curve of different parts of *Miscanthus floridulus* culm without pith

表 1 五节芒茎秆去髓原料不同部位纤维素相对结晶度

Table 1 Relative crystallinity of cellulose in different parts of <i>Miscanthus floridulus</i> culm without pith				
部位	目数	相对结晶度/%		
		第 1 次	第 2 次	平均值
梢部	200	43.15	43.26	43.21
中部	200	41.49	42.67	42.08
茎部	200	44.73	44.25	44.49

3 结论

五节芒茎秆可分为皮部、木质部和髓部 3 个部分。皮部为茎秆最外层不含维管束的部分，木质部为皮部内圈维管束较多且紧密分布的部分，髓部为茎秆中部呈白色、含少量维管束的部分。与茎秆节间部位相比，节部的髓部不明显，与木质部相似，主要由维管束构成，充塞着少量基本组织薄壁细胞。在茎秆横切面上存在 3 种组成：表皮组织、维管束组织和基本薄壁组织。表皮层由表皮膜、长细胞、短细胞和气孔器构成，长细胞长边边缘多呈锯齿形，且长、短细胞内含硅质。五节芒的维管束由木质部、韧皮部、纤维细胞组成。原生木质部含环纹导管或螺旋导管。后生木质部的导管类型有网纹导管和孔纹导管。基本组织薄壁细胞主要特点是壁薄，壁上有纹孔，且内含淀粉粒。

五节芒茎秆去髓原料梢部纤维素相对结晶度为 43.21%，中部为 42.08%，基部为 44.49%，基本相似，没有表现出明显的规律性。其相对结晶度与稻草相对结晶度 49.00%相比略低，但比泡桐相对结晶

度 35.50%, 杉木相对结晶度 39.20% 和马尾松相对结晶度 41.10 % 要高一些。

参考文献:

- [1] 张崇邦, 王江, 柯世省, 等. 五节芒定居对尾矿砂重金属形态、微生物群落功能及多样性的影响[J]. 植物生态学报, 2009, **33** (4): 629 – 637.
ZHANG Chongbang, WANG Jiang, KE Shixing, *et al.* Effects of natural inhabitation by *Miscanthus floridulus* on heavy metal speciations and function and diversity of microbial community mine tailing sand [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2009, **33** (4): 629 – 637.
- [2] 张崇邦, 王江, 王美丽. 尾矿砂堆积地五节芒自然定居对土壤微生物生物量、呼吸速率及酶活性的影响[J]. 植物营养与肥科学报, 2009, **15** (2): 386 – 394.
ZHANG Chongbang, WANG Jiang, WANG Meili. Effects of natural inhabitation of *Miscanthus floridulus* on soil microbial biomass, respiration rate and enzyme activity in a mine tailing dump [J]. *Plant Nutr Fert Sci*, 2009, **15** (2): 386 – 394.
- [3] COLLURA S, AZAMBRE B, FINQUENEISEL G, *et al.* *Miscanthus* × *giganteus* straw and pellets as sustainable fuels combustion and emission tests [J]. *Environ Chem Letters*, 2006, **4** (2): 75 – 78.
- [4] 萧运峰, 高洁. 五节芒的分化类型及生产性状的比较研究[J]. 四川草原, 1998 (1): 21 – 23.
XIAO Yunfeng, GAO Jie. A comparative study on differentiated types and productive performance of *Miscanthus floridulus* [J]. *J Sichuan Grassland*, 1998 (1): 21 – 23.
- [5] 陈慧娟. 五节芒生物量及其热值的动态研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009.
CHEN Huijuan. *Studies of Dynamics of Biomass and Cloric Value for Miscanthus floridulus* [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2009.
- [6] 解新明, 周峰, 赵燕慧, 等. 多年生能源禾草的产能和生态效益[J]. 生态学报, 2008, **28** (5): 2329 – 2342.
XIE Xinming, ZHOU Feng, ZHAO Yanhui, *et al.* A summary of ecological and energy-producing effects of perennial energy grasses [J]. *Acta Ecol Sin*, 2008, **28** (5): 2329 – 2342.
- [7] 陈少风, 何俊, 周朴华, 等. 芒和五节芒的核型研究[J]. 江西农业大学学报, 2008, **30** (1): 123 – 126.
CHEN Shaofeng, HE Jun, ZHOU Puhua, *et al.* The karyotypes of *Miscanthus sinensis* and *M. floridulus* [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 2008, **30** (1): 123 – 126.
- [8] 任宁, 刘一星, 巩翠芝. 木材微观构造与拉伸断裂的关系[J]. 东北林业大学学报, 2008, **36** (2): 33 – 35.
REN Ning, LIU Yixing, GONG Cuizhi. Relationship between wood microstructure and tensile fracture [J]. *J Northeast For Univ*, 2008, **36** (2): 33 – 35.
- [9] 杨淑敏, 江泽慧, 任海青, 等. 利用 X-射线衍射法测定竹材纤维素结晶度[J]. 东北林业大学学报, 2010, **38** (8): 75 – 77.
YANG Shumin, JIANG Zehui, REN Haiqing, *et al.* Determination of cellulose crystallinity of bamboo culms with X-ray diffraction spectrum [J]. *J Northeast For Univ*, 2010, **38** (8): 75 – 77.
- [10] 李坚. 木材波谱学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 18 – 31.
- [11] 丘玉桂, 蔡联生, 王书义. 芒秆皮层的 SEM-EDXA 研究(I) [J]. 中国造纸学报, 2005, **20** (2): 1 – 5.
QIU Yugui, CAI Liansheng, WANG Shuyi. Study on the cuticle of *Miscanthus* stem by means of SEM-EDXA (part I) [J]. *Trans China Pulp Paper*, 2005, **20** (2): 1 – 5.
- [12] 刘一星, 赵广杰. 木质资源材料学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2004: 344.
- [13] 丘玉桂, 林鹿, 施明哲. 芒秆表皮层的 SEM-EDAX 研究[J]. 造纸科学与技术, 2002, **31** (1): 12 – 16.
QIU Yugui, LIN Lu, SHI Mingzhe. Study on the cuticle of the *Miscanthus* stem by means of SEM-EDAX [J]. *Paper Sci & Technol*, 2002, **31** (1): 12 – 16.
- [14] 江泽慧. 世界竹藤[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2002: 221 – 226.
- [15] 李晓平, 周定国. 新陈稻草性能的差异研究[J]. 农业工程学报, 2008, **24** (5): 228 – 230.
LI Xiaoping, ZHOU Dingguo. Difference between new rice straw and stale rice straw [J]. *Trans CSAE*, 2008, **24** (5): 228 – 230.