

生长期和植株性别对‘云麻 1 号’麻秆部分物理特性的影响

王齐玮, 吴 宁, 杜官本, 吴章康, 李晓平, 徐 宝

(西南林业大学 云南省木材胶黏剂及胶合制品重点实验室, 云南 昆明 650224)

摘要: 利用广角 X-射线衍射仪和显微镜研究了生长期和植株性别对‘云麻 1 号’工业大麻 *Cannabis sativa* ‘Yunma No.1’麻秆形成层分生、纤维素相对结晶度和晶胞尺寸的影响。结果表明: 在整个生长期内大麻秆茎部的纤维中, 大麻纤维的相对结晶度随着生长期不断变化而变化, 但整个生长期内变化幅度都不是很大; 生长期为 19~35 d, 晶胞大小为 0.230~0.245 nm, 在生长期 42~186 d, 晶胞的大小较前面有所下降, 大约为 0.137 nm, 并且基本保持不变; 同一生长期, 雌株的细胞层数比雄株的细胞层数略多; 生长期 77~91 d 时, 雄株的相对结晶度要高于雌株, 而在生长期 98~186 d, 雌株的相对结晶度高于雄株; 在 77~186 d 的生长期中, 雌雄株晶胞尺寸的变化范围为 0.136~0.150 nm。晶胞尺寸与生长期, 细胞层数和相对结晶度之间没有显著的相关性。图 1 表 3 参 13

关键词: 植物学; ‘云麻 1 号’; 生长期; 植株性别; 细胞层数; 相对结晶度; 晶胞尺寸

中图分类号: S563; Q944 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2015)03-0415-05

Cambium generation and cellulose physical structure by growth stage and plant sex in ‘Yunma No. 1’ hemp stalk

WANG Qiwei, WU Ning, DU Guanben, WU Zhangkang, LI Xiaoping, XU Bao

(Yunnan Provincial Key Laboratory of Wood Adhesives and Glue Products, Southwest Forestry University, Kunming, 650224, Yunnan, China)

Abstract: To know the growth status, the physical properties of cellulose in hemp stalk better and provide more information for use it. Wide angle X-ray diffraction and a microscope were used to study the influence of growth stage and plant sex on cambium generation activity and the physical structure of cellulose in the industrial hemp stalk of *Cannabis sativa* ‘Yunma No. 1’ with 4 strains of hemp samples. Samples from healthy, no rot, no breaking of industrial hemp, close to the ground for the collection. Results over the whole hemp stalk fiber growth period showed that relative crystallinity of the hemp fiber exhibited a greatly change (P -value was 0.039 0). For the growth period of 19–35 d, cell size was 0.230–0.245 nm, and from 42–186 d, cell size was basically unchanged (P -value was 0.086 2) with a decline of about 0.137 nm. For the same growing time, slightly more (P -value was 0.000 1) female plant cell layers than male were noted. From 77–91 d, the degree of relative crystallinity in male plants was higher (P -value was < 0.05) than female plants, but from 98–186 d it was higher (P -value was 0.058 8) in female plants. Cell size of male and female plants from 77–186 d was 0.136–0.150 nm. Thus, there was no strong relationship for cell size among growth period, cell layers, and relative crystallinity (The correlation coefficients between those were $-0.518\ 0$, $-0.551\ 7$, and $-0.829\ 1$ respectively). [Ch, 1 fig. 3 tab. 13 ref.]

Key words: botany; *Cannabis sativa* ‘Yunma No.1’; growth stage; plant sex; cell layers; relative crystallinity;

收稿日期: 2014-08-24; 修回日期: 2014-09-27

基金项目: 国家林业局林业公益性行业科研专项(201404515); 国家自然科学基金资助项目(31200437); 云南省教育厅重点项目(2013Z085)。

作者简介: 王齐玮, 从事生物质复合材料研究。E-mail: 292246532@qq.com。通信作者: 李晓平, 副教授, 博士, 从事木质复合材料研究。E-mail: lxp810525@163.com

crystal cell size

大麻 *Cannabis sativa*, 又名汉麻, 线麻, 寒麻, 火麻等, 别名称谓多达 10 余种。据史书记载, 大麻起源于中国, 是人类最早用于织物的天然绿色纤维, 其栽培历史已逾 8 000 a, 有“大麻纺源头, 万年衣祖”的美誉。大麻文化为东方文明的重要标志, 在中国至少有 1 万 a 的历史^[1]。工业大麻是指四氢大麻酚(THC)质量分数低于 0.3% 的无毒大麻, 主要被用在纺织、造纸、食用、新材料等领域^[2-8]。云南省农业科学研究院以杨明研究员为核心的研究团队也成功研制了世界上第 27 个具有自主知识产权的工业大麻新品种‘云麻 1 号’‘Yunma No. 1’等; 除此之外还成功培育出了‘云麻 2 号’‘Yunma No. 2’‘云麻 3 号’‘Yunma No. 3’‘云麻 4 号’‘Yunma No. 4’和‘云麻 5 号’‘Yunma No. 5’等低毒品种。近年来, 国内外对工业大麻的研究主要集中在对其化学成分的提取研究、种植培育、新产品的开发、脱胶技术及其纤维细胞壁的纳米力学性能等方面。目前, 工业大麻已被广泛栽植于世界各地, 尤其是欧洲、加拿大和中国^[11-12]。2009 年云南省的工业大麻的栽植面积已经达到了 6 667 hm², 2010 年的栽植面积达到了 2 万 hm²。其纤维是重要纺织原料, 果实既是油料又是药品; 被广泛的用于纺织、食品加工和医药等领域, 受到欢迎和好评, 也得到了国家政府的大力支持, 其秆芯是优质的木质材料, 可用于造纸、人造板制造等工业领域。预计 2015 年全国的工业大麻栽植面积将会突破 67 万 hm², 届时将产生 1 500~2 200 万 t 的大麻秆, 因此, 对大麻秆的利用研究迫在眉睫。笔者研究了整个生长期大麻秆形成层的分生活性, 生长期和植株性别对其纤维素物理结构(包括相对结晶度和晶胞尺寸)的影响, 为更好地研究工业大麻秆纤维素的物理结构和拓宽其应用领域奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

试验所用试样大麻秆均采自云南省昆明市同一块田地, 委托云南省农业科学研究院进行栽植, 栽植类型为籽秆兼用型的‘云麻 1 号’, 雌雄异株。试样是从工业大麻幼苗长到 19 d 时开始取样, 隔 7~20 d 取 1 次样品, 在植株生长初期(19~56 d)时, 单株大麻秆质量较轻, 采集新鲜样品 3~5 kg·次⁻¹; 当在生长期为 62 d 以后时, 采集样品量为 12 株·次⁻¹(77 d 后, 雌株 12 株、雄株 12 株), 将叶子、叶柄和麻皮用剪刀去除后, 在(104 ± 2) °C 的烘箱里烘至绝干。试样取健康, 无腐朽、无折断的工业大麻, 贴着地面进行采集。采样所用设备为手工锯, 以保证样品均从大麻秆的根部采集获得, 将植株采伐后用剪刀将叶子和叶柄去除, 再用手工法将麻皮去除干净。

1.2 仪器设备

仪器为辽宁省丹东方圆仪器有限公司制造 DX-200 型广角 X-衍射仪。

1.3 方法

1.3.1 工业大麻秆形成层分生速度研究 取 3~5 株工业大麻秆, 均取离地面 5 cm 的部位, 将工业大麻秆软化后, 利用超薄切片机将它们切成 15 μm 厚的薄片进行染色并制成观察切片(图 1), 后在电子显微镜下进行观察。在横切面上沿细胞排列方向选取 100 个数据长度, 数出这 100 个长度里面的细胞数量, 从而算出单位长度上的细胞个数, 最后求出半径上的细胞层数。

1.3.2 纤维素相对结晶度及纤维素晶胞的测量 相对结晶度的大小按照 Segal 计算, 晶胞尺寸可根据 Scherer 公式^[13]计算。如公式 $D_{hkl} = k\lambda / (\beta \cos \theta)$, 其中: D_{hkl} 为晶粒尺寸, k 为谢洛常数, 此处取 0.9; λ 为 X 射线波长。

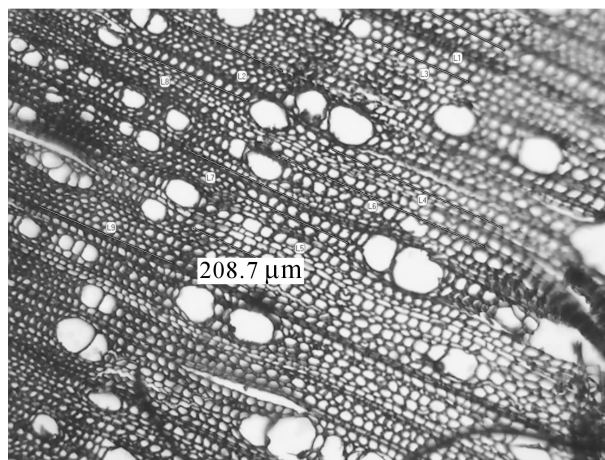


图 1 工业大麻秆横截面微观尺寸

Figure 1 Industrial hemp rod cross section micro size

2 结果与分析

2.1 生长期对工业大麻秆细胞层数、相对结晶度及纤维素晶胞尺寸的影响

生长期对工业大麻秆细胞层数、相对结晶度及纤维素晶胞尺寸的影响见表 1 所示。由表 1 可以看出：在工业大麻的整个生长周期，大麻秆的细胞层数随着生长期不断增加。在 70 d 的生长周期内，大麻秆的细胞层数增加了 314 层，在这个生长周期内，细胞层数增加最快。在 70~186 d 的生长期内，大麻秆的细胞层数增长变缓，表明在工业大麻秆的生长早期，形成层的分生活动旺盛，到了生长中期和晚期，工业大麻秆形成层的分生活动逐渐减弱。此外，在全生命周期中，不同植株的形成层其分生活跃性有很大差异，并且随着生长期的延长，这种差异越来越大。比如在生长期为 19 d 时，不同植株间的细胞差异仅为 2 层，而到了生长期为 186 d 时，不同植株间的细胞层数相差 338 层。植物形成层分生活性的根本决定因子是基因，直接决定因子是植物的激素，因此，研究工业大麻秆全生命周期中以及不同植株中植物激素含量的变化和形成层分生活动之间的相关性，将会为了解工业大麻秆的生命活动机制和通过生物技术手段提高工业大麻秆的生长速率提供相当依据。

表 1 不同生长期工业大麻秆细胞层数，相对结晶度及晶胞尺寸

Table 1 Different growth period of industrial hemp stalk cell layers, crystallinity and crystal size

生长天数/d	细胞层数	相对结晶度/%	纤维素晶胞尺寸/nm	生长天数/d	细胞层数	相对结晶度/%	纤维素晶胞尺寸/nm
19	28~30	27.07	0.233	91	186~420	44.00	0.143
28	40~43	26.65	0.245	98	200~438	42.53	0.140
35	82~213	39.38	0.230	105	215~469	39.30	0.142
42	99~255	39.42	0.132	112	254~554	40.26	0.145
49	115~298	41.27	0.135	134	294~585	41.40	0.137
56	132~306	40.70	0.135	147	323~594	41.82	0.137
62	146~320	40.75	0.129	161	352~647	41.60	0.140
70	165~344	40.91	0.140	178	386~711	40.49	0.137
77	157~378	41.33	0.139	186	403~741	40.42	0.143
84	172~412	43.91	0.140				

目前，普遍为人们所接受的纤维素超分子结构理论是二相体系理论。X 射线研究表明：纤维素是由结晶区与无定形区交错连接而成的二相体系，其中还存在相当多的空隙系统。在结晶区内，纤维素分子的排列具有规则性，呈现较清晰的 X 射线图谱，但与低分子的晶体不同，是不可见的隐晶，不具有以特殊角度相交的镜界面。结晶区与结晶区之间有无定形区，结晶区与无定形区之间没有明显的界限，而是逐渐过渡的，这一过渡区又称为次结晶区。由表 1 可知：在工业大麻 19 ~186 d 的全生命周期中，相对结晶度变化范围为 26.65%~44.00%。随着生长期的延长逐渐增大，在生长期为 49 d 时，达到了基本稳定的数值。纤维细胞壁主要由初生壁和次生壁组成，次生壁又分为 S1，S2 和 S3 层，初生壁主要由木质素、果胶质、纤维素和半纤维素组成，次生壁中的化学成分主要为木质素、纤维素和半纤维素。在工业大麻秆生长初期，首先生成的细胞壁是初生壁，随着生长期的延长，次生壁才逐渐生成并逐渐形成成熟的细胞。由表 1 可以推测，在工业大麻纤维细胞壁的初生壁中纤维素的相对结晶度要低于次生壁中纤维素的相对结晶度。

每一结晶区称为微晶体，按胶束结构学说则称为胶束，也有称微胞、晶胞或小粒的。研究晶胞的大小可以更好地认识大麻纤维的物理结构。纤维素的结晶区是由单斜晶体组成，单斜晶体的晶粒大小被称为晶体尺寸。从表 1 可以看到：从生长期为 19~35 d，晶胞大小为 0.23~0.245 nm，在生长期 42 ~197 d，晶胞的大小较前面有所下降，大约为 0.137 nm，并且基本保持不变。从工业大麻纤维细胞壁层的生长周期可以进一步推测出，工业大麻在纤维细胞初生壁中晶胞尺寸较大，而在细胞次生壁中晶胞尺寸较小，但还需要进一步进行验证。

由上述可知：大麻纤维的相对结晶度为 40%。结晶度的增加，纤维的抗拉强度、硬度、密度及尺寸的稳定性均随之增大，而纤维的伸展率、吸湿性染料的吸着度、润胀度、柔顺性以及化学反应性均随之

减小。

2.2 植株性别对工业大麻秆形成层分生速度和纤维素物理结构的影响

由表 2 可得：在相同的生长期时，雄性工业大麻秆横截面的细胞层数要小于雌性，表明雄株形成层的分生活性要弱于雌株的分生活性。这可能一方面是由于在植物界雌株主要负责孕育种子，需要更多的养分，雄株的功能仅是提供花粉，所以在生长上雌株会表现出明显的优势，以保证在相同的环境下可以吸取更多的养份，但形成层分生活性的直接控制因素即植物激素还需要进一步进行研究；另一方面雄株在 77 d 时，就现蕾开花，表现出了植株的第 2 性状，这时雄株的生理功能就已经快要完成，到了生理末期，所以形成层的分生活动变缓，表现在物理结构上就是横截面的细胞层数变少。

表 2 不同性别工业大麻秆横截面细胞层数和纤维素物理结构

Table 2 Male and female of industrial hemp stalk cross-sectional cell layers and the physical structure of cellulose

t/d	植株性别	细胞层数	相对结晶度/%	纤维素晶胞尺寸/nm	t/d	植株性别	细胞层数	相对结晶度/%	纤维素晶胞尺寸/nm
77	雌	181~378	41.20	0.145	112	雄	254~527	38.62	0.140
77	雄	157~366	41.45	0.133	134	雌	339~585	41.23	0.137
84	雌	198~412	42.26	0.139	134	雄	294~554	41.57	0.137
84	雄	172~399	45.56	0.140	147	雌	372~594	42.16	0.137
91	雌	214~420	42.69	0.136	147	雄	323~577	41.47	0.136
91	雄	186~402	45.30	0.150	161	雌	405~647	41.44	0.136
98	雌	230~438	44.25	0.140	161	雄	352~628	41.75	0.139
98	雄	200~426	40.81	0.139	178	雌	444~711	40.75	0.135
105	雌	247~469	39.48	0.142	178	雄	386~690	40.22	0.138
105	雄	215~473	39.12	0.141	186	雌	463~741	41.42	0.144
112	雌	292~554	41.89	0.149	186	雄	403~719	39.41	0.142

在生长期 77~91 d 时，雄株的相对结晶度要高于雌株；而在生长期 98~186 d，雌株的相对结晶度高于雄株。由上述可推测：在植株纤维细胞壁层结构中，各个物理层次中的相对结晶度不同，并且初生壁中的相对结晶度要低于次生壁中的相对结晶度，在生长期相同的情况下，细胞层数少的雄株，次生壁所占的比例相对雌株要高，所以其相对结晶度高于雌株。随着生长期的延长，雌株中纤维细胞壁的进一步成熟，相对结晶度增加，则雄株的相对结晶度就低于雌株。

在生长期为 77~186 d 的生长期中，晶胞尺寸的变化范围为 0.136~0.150 nm，与生长期、细胞层数、植株性别和相对结晶度之间没有显著的相关性(表 3，纤维素晶胞尺寸与生长期、细胞层数、植株性别和相对结晶度都成负相关且相关性都不大)，可能是因为不同细胞壁层对晶胞尺寸有一定的影响，但是在复杂的实验条件和情况下，并不能够建立一个非常明确的关系，还有待进一步进行研究。

表 3 不同生长期工业大麻秆细胞壁各物理参数之间的相关系数

Table 3 Correlation coefficients between the physical properties of hemp stalk of different growth stages

相关系数	生长期	植株性别	细胞层数	相对结晶度	纤维素晶胞尺寸
生长期	1		0.984 3	0.476 9	-0.518 0
植株性别		1	0.983 8	-0.361 1	-0.180 6
细胞层数			1	0.602 3	-0.624 4
相对结晶度				1	-0.829 1
纤维素晶胞尺寸					1

3 结论

生长期对工业大麻秆形成层的分生活性和纤维素物理结构具有显著的影响($P<0.05$)；植株性别对工业大麻秆形成层的分生活性具有显著的影响($P<0.05$)，对其形成层的纤维素物理结构没有显著影响($P<0.05$)。在生长初期工业大麻秆形成层的分生活性很强，细胞层数的增加速率非常快，随着生长期的延长，形成层的分生活性减弱，细胞层数的增加速率减缓。相对结晶度的变化范围为 26.65%~

44.00%, 随着生长期的延长, 相对结晶度增加; 晶胞尺寸变化范围为 0.129~0.245 nm, 随着生长期的延长, 晶胞尺寸逐渐减小趋于定值。综上, 根据纤维细胞壁的物理结构及其生成规律, 可推测在工业大麻纤维细胞初生壁中相对结晶度较低, 晶胞尺寸较大; 在次生壁中相对结晶度较高, 晶胞尺寸较小。

4 参考文献

- [1] 王殿奎, 关凤芝. 黑龙江省大麻生产现状及发展对策[J]. 中国麻业, 2005, **27**(2): 98 – 101.
WANG Diankui, GUAN Fengzhi. The production status and development countermeasure of hemp in Heilongjiang Province [J]. *Plant Fib Pro*, 2005, **27**(2): 98 – 101.
- [2] SOLJACIC I, CUNKO R. Croatian textiles throughout history [J]. *Tekstil*, 1994, **43**(11): 584 – 602.
- [3] KOVACS I, RAB A, RUSZNAK I, *et al.* Hemp (*Cannabis sativa* L.) as a possible raw-material for the paper-industry [J]. *Cellul Chem Technol*, 1992, **26**(5): 627 – 635.
- [4] PECENKA R, FURLL C, IDLER C, *et al.* Fibre boards and composites from wet preserve hemp [J]. *Int J Mater Prod Technol*, 2009, **36**(1/4): 208 – 220.
- [5] VIGNON M R, DUPEYRE D, GARCIA-JALDON C. Morphological characterization of steam-exploded hemp fibers and their utilization in polypropylene — based composites [J]. *Bioresour Technol*, 1996, **58**(2): 203 – 215.
- [6] 杨阳, 张云云, 苏文君, 等. 工业大麻纤维特性与开发利用[J]. 中国麻业科学, 2012, **34**(5): 237 – 240.
YANG Yang, ZHANG Yunyun, SU Wenjun, *et al.* Fiber properties and development and utilization of industrial hemp [J]. *Plant Fib Sci China*, 2012, **34**(5): 237 – 240.
- [7] LI Xiaoping, WANG Siqun, DU Guanben, *et al.* Manufacturing particleboard using hemp shiv and wood particles with low free formaldehyde emission UF resin [J]. *For Prod J*, 2014, **64**(5/6): 187 – 191.
- [8] KHAN M M R, CHEN Ying, BELSHAM T, *et al.* Fineness and tensile properties of hemp (*Cannabis sativa* L.) fibres [J]. *Biosyst Eng*, 2011, **108**(1): 9 – 17.
- [9] LI Xiaoping, WANG Siqun, DU Guanben, *et al.* Variation in physical and mechanical properties of hemp stalk fibers along height of stem [J]. *Ind Crops Prod*, 2013, **42**: 344 – 348.
- [10] BEAUGRAND J, NOTTEZC M, KONNERTH J, *et al.* Multi-scale analysis of the structure and mechanical performance of woody hemp core and the dependence on the sampling location [J]. *Ind Crops Prod*, 2014, **60**: 193 – 204.
- [11] KARNS M, VOGT D. European hemp industry: cultivation, processing and product lines [J]. *Euphytica*, 2004, **140** (1/2): 7 – 12.
- [12] HOUSE J D, NEUFELD J, LESON G. Evaluating the quality of protein from hemp seed (*Cannabis sativa* L.) products through the use of the protein digestibility: corrected amino acid score method [J]. *J Agric Food Chem*, 2010, **58**(22): 11801 – 11807.
- [13] 刘瑞刚, 胡学超, 章潭莉. 棉纤维素在 NMMO 中溶解前后结晶结构的变化[J]. 中国纺织大学学报, 1984, **24** (4): 7 – 10.
LIU Ruigang, HU Xuechao, ZHANG Tanli. Transformation of crystalline structure of linter pulp during dissolving in NMMO·H₂O (N-methylmorpholine-N-oxide/H₂O) [J]. *J China Text Univ*, 1984, **24**(4): 7 – 10.