

生长期和植株性别对工业大麻秆“三大素”的影响

吴宁^{1,2}, 肖瑞^{1,2}, 许艳萍³, 杜官本¹, 李晓平^{1,2}, 孙飞^{1,2}

(1. 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; 2. 西南林业大学 材料工程学院, 云南 昆明 650224; 3. 云南省农业科学院 经济作物研究所, 云南 昆明 650205)

摘要: 研究工业大麻 *Cannabis sativa* 秆生长周期和植株性别对“三大素”(纤维素、半纤维素、木质素)生成规律的影响, 可为该材料在新能源和可再生纤维制备方面的利用提供参考。用 SAS 软件分别分析不同生长期和植株性别对工业大麻秆“三大素”质量分数的相关性。结果表明: 生长期对工业大麻秆纤维素、木质素质量分数的影响显著($P < 0.05$), 对半纤维素质量分数的影响不显著($P > 0.05$); 植株性别对工业大麻秆纤维素和半纤维素质量分数的影响显著($P < 0.05$), 对木质素质量分数的影响不显著($P > 0.05$)。在整个生长期, “三大素”质量分数分别为 $380.8 \sim 525.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, $174.2 \sim 275.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, $109.8 \sim 235.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$; 随生长期的延长, 纤维素和半纤维素质量分数先增加后减小, 木质素质量分数呈增加趋势, 即在工业大麻秆的生长过程中纤维素和半纤维素的合成要早于木质素。生长期 77 d 时植株开始出现雌、雄性的表现差异, 雌株的纤维素和木质素质量分数大于雄株的, 半纤维素小于雄株的; 但雌雄株之间的化学成分差异产生的原因还有待进一步进行研究。图 6 表 1 参 21

关键词: 植物学; 生长期; 植株性别; 工业大麻秆; 纤维素; 木质素; 半纤维素

中图分类号: S781 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2015)05-0776-07

Growth stage and plant sex with chemical compounds of industrial hemp stalks

WU Ning^{1,2}, XIAO Rui^{1,2}, XU Yanping³, DU Guanben¹, LI Xiaoping^{1,2}, SUN Fei^{1,2}

(1. Yunnan Key Laboratory of Wood Adhesives and Glue Products, Southwest Forestry University, Kunming 650224, Yunnan, China; 2. College of Materials Engineering, Southwest Forestry University, Kunming 650224, Yunnan, China; 3. Industrial Crop Research Institute, Yunnan Academy, Agricultural Sciences, Kunming 650205, Yunnan, China)

Abstract: Studying the influence of growth stage and plant sex on chemical compounds of industrial hemp stalks could provide a reference for renewable fiber preparation and new energy. The cellulose, hemicellulose, and lignin contents of industrial hemp stalks were tested by the high performance liquid chromatography (HPLC) and China chemical compounds analysis standard for paper making raw materials (GB/T 2677-1993). Results showed that growth stage had a significant effect ($P < 0.05$) on cellulose content and lignin content of industrial hemp stalks but not on hemicellulose content. Meanwhile, plant gender significantly affected ($P < 0.05$) cellulose content and hemicellulose content of industrial hemp stalks but not lignin content. For the entire growth period of hemp stalk, the range of cellulose content was from 380.8 to $525.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, of hemicellulose content was from 174.2 to $275.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, and of lignin content was from 109.8 to $235.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$. As time increased, the mass fractions of cellulose and hemicellulose increased first and then decreased (The P value of cellulose was $P = 0.015 2$ and hemicellulose's was $P = 0.945 9$ with SAS software); whereas the mass fraction of lignin increased steadily ($P < 0.000 1$ with SAS software). Also, synthesis of cellulose and hemicellulose

收稿日期: 2014-12-13; 修回日期: 2015-01-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31200437); 国家麻类产业技术体系建设项目资助(CARS-19-E05); 国家林业局林业公益性行业科研专项(201404515); 云南省教育厅重点资助项目(2013Z085)

作者简介: 吴宁, 从事生物质复合材料和生物酶的研究。E-mail: 18208816133@163.com。通信作者: 李晓平, 副教授, 博士, 从事生物质复合材料和生物酶研究。E-mail: lxp810525@163.com

was earlier than lignin. Differences between male and female gender became apparent by the 77th day of growth with cellulose ($P=0.004\ 0$ with SAS software) and lignin ($P=0.123\ 7$ with SAS software) contents of female plants being higher than male plants, and the hemicellulose content lower ($P=0.001\ 0$ with SAS software). Reasons for differences in the chemical compounds between male and female plants will require further study. [Ch, 6 fig. 1 tab. 21 ref.]

Key words: botany; growth stage; plant gender; industrial hemp stalk; cellulose; hemicellulose; lignin

大麻 *Cannabis sativa* 是人类最早栽培的作物之一，其原产地为中国、印度、伊朗等^[1]，俗名汉麻、寒麻、线麻、花麻等，品种有 150 个左右^[2]。大麻是 1 年生草本植物，大部分品种均是雌雄异株，只有少部分品种为雌雄同株^[3]。工业大麻秆横截面的微观结构类似于阔叶材，是一种低密度纤维原料^[4]，纤维细胞长度中等，纤维细胞壁的力学性能较其他农作物秸秆、针叶材和阔叶材要低^[5]，可用于制备轻质高强结构用材料、刨花板和纤维板等^[6]。大麻生长迅速，生长期为 100~190 d，曾是人类重要的纤维、油料、粮食作物，但由于大麻在第二次世界大战时期被当做毒品吸食，一度被禁种。因大麻纤维具有许多其他纤维无法比拟的优良特性，被广泛用于制备高强度的木质复合材料、纺织和造纸等领域^[7-11]。科研工作者为了使它可以继续造福人类，开展了低毒大麻的研究工作并取得成功，新品种大麻被称为工业大麻。目前，工业大麻已被广泛种植于世界各地，尤其是欧洲、加拿大和中国^[12-13]。工业大麻的韧皮部和籽得到了较好的开发利用，但工业大麻中生物质量最多的木质部部位(其生物质量是麻皮的 2 倍、种籽的 4 倍)却没有得到工业化利用。虽然被研究用于制备人造板、乙醇、黏胶纤维等，但还限于实验室研究阶段。当前，科学家们围绕雌雄异株的植物做了很多研究，包括不同性别植株的分布、植株之间的相互转化、共生和竞争等；但对植株性别对其茎干理化性能影响的研究还比较少。“三大素”(纤维素、半纤维素、木质素)是生物质材料中的主要化学成分^[14]，也是生物质材料中最有利用价值和目前研究最多的物质。在制浆造纸时，生物质材料中的木质素较低则较为理想；在纺织^[15]工业、乙醇^[16]和黏胶纤维^[17]制备时，生物质材料中纤维素较高、木质素和半纤维素较低则较为理想；在制备纤维板时，生物质材料中的纤维素和木质素较高、半纤维素含量较低则较为理想。所以，通过研究“三大素”(纤维素、半纤维素和木质素)在不同生长期和不同植株性别^[18]中的变化规律，可以为更好地利用工业大麻秆奠定基础，还可以为更好地将 1 年生的草本植物用于乙醇、造纸、纺织、黏胶纤维等工业领域提供参考。选自云南昆明的工业大麻，种植密度为 18.75 万株·hm⁻²，在工业大麻种籽成熟后植株的质量可达 239.13~403.00 g·株⁻¹，即可生产工业大麻秆 44.85~75.56 t·hm⁻²。工业大麻秆中的碳元素按 49%~50% 计算，可固定碳元素为 21.97~37.0 t·hm⁻²，换算成二氧化碳即为 60.42~101.75 t·hm⁻²。可见工业大麻在固碳方面可以起到非常积极的作用。另外，本实验是在实验田中进行，该田地为优质土地，现在云南省不同地区的工业大麻秆的产量平均值为 18.00 t·hm⁻²，即可固定二氧化碳 24.25 t·hm⁻²，可见栽培工业大麻对降低中国的碳排放将有非常积极的意义，但是如果在收获的季节里将这些秸秆进行焚烧，不仅会将固定好的碳排放到大气里，秸秆焚烧的高温还会破坏土壤中的微生物群落，造成土壤板结。如果将工业大麻秆制备成复合材料则可以将部分二氧化碳长时间的储存起来。本研究主要讨论植株生长期和性别对工业大麻秆“三大素”的影响，为更好地利用这种生物质材料奠定基础。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验所用工业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培，栽培类型为籽秆兼用型的‘云麻 1 号’，雌雄异株，行距为 80 cm，塘距 20 cm，18.75 株·m⁻²(18.75 万株·hm⁻²)。试样为全生命周期的工业大麻，包括种子发芽、生长、开花、结实至枯萎死亡，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，到生长发育完成种子成熟即生长天数为 186 d 时取样结束；当生长期为 77 d 时，雄株开花，雌株和雄株表现出比较显著的外观差异，从 77 d 开始至种子成熟即生长期 186 d 结束，对雌株和雄株开始分别采样，以研究植株性别对“三大素”质量分数及工业大麻秆质量的影响。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；当生

长期为 62 d 以后时, 采集样品量为 12 株·次⁻¹(77 d 后, 采集 24 株·次⁻¹样品, 其中雌、雄株各 12 株)。采集样品时利用手工锯从植株紧贴地面的部位锯断, 取整秆植株, 利用剪刀将叶子和叶柄去除、再利用人工将麻皮剥除干净, 在(104 ± 2) °C 的烘箱里将其烘至绝干, 逐株称取植株的质量, 用于计算工业大麻秆木质部的质量和生长速度。

1.2 试验方法

1.2.1 纤维素、半纤维素质量分数的测试方法 将上述烘至绝干的主干和枝干一起混合粉碎处理, 采用过 40~60 目筛的工业大麻粉为本试验样品。工业大麻秆中纤维素和半纤维素的测试方法是利用高效液相色谱法按照美国能源部测试方法(NREL 法, http://www.nrel.gov/biomass/analytical_procedures.html)进行测试, 将 40~60 目筛的样品进行苯-醇抽提后, 用 720 g·kg⁻¹ 硫酸水解, 搅拌均匀, 于 30 °C 下水浴 60 min, 把 720 g·kg⁻¹ 的浓酸水解液转移至 200 mL 三角瓶中, 并稀释酸的质量分数至 40 g·kg⁻¹, 将三角瓶放入高压灭菌锅, 于 121 °C 下保温 45 min; 取 5.00 mL 滤液用 80 g·kg⁻¹ 氢氧化钠调节酸碱值至 pH 2.0 后, 稀释至 10.00 mL, 用高效液相色谱法(HPLC)测定水解后的每一种单糖质量分数。利用高效液相色谱进行测试 (HPLC, 仪器型号为 LC-20AT, 日本岛津公司进行生产)。测试条件分别如下: 色谱分离柱: Biorad Aminex HPX-87H Column (300.0 mm×7.8 mm, 9 μm); 保护柱: Biorad Microguard Cation-H(30.00 mm×4.6 mm); RI 示差检测器; 流动相: 去离子水; 进样体积: 20 μL; 流动相流速: 0.6 mL·min⁻¹; 柱温: 85 °C 条件下进行的。同一条件下测试 3 次, 取平均值为最后结果。

1.2.2 酸不溶木质素质量分数的测试方法 酸不溶木质素质量分数参照 GB/T 2677-1993《造纸原料化学成分分析标准》进行测试; 同一条件下测试 2 次, 取平均值为最后结果。

用 SAS 软件分析生长期和植株性别对工业大麻秆“三大素”质量分数的相关性, 具体内容详见 3.2 和 3.3 部分。

2 结果与分析

2.1 生长期对工业大麻秆质量、质量生长速度的影响

由表 1 可知, 当工业大麻的生长天数在 19~67 d 时, 工业大麻秆的质量的增加速度是呈递增的趋

表 1 全生命周期工业大麻秆的植株质量

Table 1 Plant weight of industrial hemp stalk in the whole growth period

生长天数/d	植株质量/g	质量生长速度/(g·d ⁻¹)	雌株质量/g	雌株质量生长速度/ (g·d ⁻¹)	雄株质量/g	雄株质量生长速度/ (g·d ⁻¹)
19	0.10~0.11	0.01				
28	0.40~0.43	0.01~0.02				
35	1.07~2.77	0.03~0.08				
42	5.79~14.96	0.14~0.36				
49	7.65~19.77	0.16~0.40				
56	17.39~40.38	0.31~0.72				
62	45.17~99.10	0.73~1.60				
67	61.90~129.22	0.92~1.93				
77	46.53~102.65	0.60~1.33	46.20~96.45	0.60~1.25	46.86~108.85	0.61~1.41
84	62.95~140.04	0.75~1.67	52.56~109.74	0.63~1.31	73.33~170.34	0.87~2.03
91	85.04~175.52	0.93~1.93	93.70~184.02	1.03~2.02	76.38~165.02	0.84~1.81
98	109.58~221.34	1.12~2.26	103.01~195.73	1.05~2.00	116.15~246.94	1.19~2.52
105	119.56~230.71	1.14~2.20	131.71~225.05	1.25~2.14	107.40~236.37	1.02~2.25
112	120.24~238.55	1.07~2.13	126.22~239.83	1.13~2.14	114.25~237.26	1.02~2.12
134	158.94~285.61	1.19~2.13	174.46~301.17	1.30~2.25	143.42~270.05	1.07~2.02
147	143.16~242.41	0.97~1.65	141.18~225.72	0.96~1.54	145.14~259.10	0.99~1.76
161	179.97~306.46	1.12~1.90	158.95~254.13	0.99~1.58	200.99~358.79	1.25~2.23
178	212.87~356.17	1.20~2.00	255.68~408.78	1.44~2.30	170.05~303.56	0.96~1.71
186	239.13~403.00	1.29~2.17	256.25~409.69	1.38~2.20	222.00~396.30	1.19~2.13

势，且在 67 d 时达到最大值为 $0.92\sim 1.93\text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$ ；在生长天数为 77 d 时，工业大麻秆质量的增加速度开始减少， $0.60\sim 1.33\text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$ ；生长天数从 77~98 d 时，工业大麻秆质量的增加速度呈递增的趋势，并且在 98 d 时达到最大值为 $1.12\sim 2.26\text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$ ；生长天数从 98~186 d 时，工业大麻秆质量的增加速度呈先减少后增加的趋势。

生长期为 77 d 时，工业大麻秆开始出现雌、雄性别差异，不同植株性别对工业大麻秆的植株质量、质量生长速度的变化趋势见表 1 所示。由表 1 可知：植株性别对植株质量和质量生长速度具有一定的影响。在 77~186 d 内，雌株质量大体上呈增加的趋势，且在 186 d 时达到最大值，为 $256.25\sim 409.69\text{ g}$ ；雌株质量生长速度大体上呈先增加后减小再增加的趋势，且在 178 d 时达到最大值，为 $1.44\sim 2.30\text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$ 。在 77~186 d 内，雄株质量大体上呈增加的趋势，且在 186 d 时达到最大值，为 $222.00\sim 396.30\text{ g}$ ；雄株质量生长速度大体上呈先增加后减小再增加的趋势，且在 98 d 时达到最大值，为 $1.19\sim 2.52\text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$ 。此外，由表 1 可以看出：在 77~186 d 的范围内，雌、雄株的质量都在不断增加，在 77~105 d，同一生长天数下，雄株的质量总体呈大于雌株质量的趋势。在生长后期，雄株的质量小于雌株，在现蕾初期，雌株生长慢，植株矮，雄株生长快，植株高，所以在前期，雄株的质量大于雌株；成熟的大麻秆雌株的茎秆粗，雄株茎秆细，因此在生长期后期，雌株的质量大于雄株^[9]；另一个原因是因为雌株的主要功能是孕育种子，雄株的主要功能是提供花粉，雄株必须在雌株开花之前就要完成开花的任务，当成功提供花粉之后，为了给雌株提供足够的养分，雄株进入了死亡期即其茎干质量呈不变状态。

2.2 生长期对“三大素”质量分数的影响

不同生长期工业大麻秆中“三大素”的质量分数及其变化趋势见图 1~3 所示。由图 1~3 可得：在工业大麻的整个生长周期，随着大麻秆生长天数的增加，纤维素和半纤维素质量分数呈先增加后减少的变化趋势，木质素质量分数呈增加趋势，该趋势与 Killer 等^[20]的研究结果相似。本研究在 Killer 等的基础上进一步研究了从工业大麻秆幼苗到死亡整个生命周期里“三大素”的变化，用 SAS 软件分别分析生长期对工业大麻秆“三大素”(纤维素、半纤维素、木质素)质量分数的差异性。结果表明：生长期对工业大麻秆纤维素质量分数的影响显著($P=0.015\ 2$)；在 112 d 时，纤维素质量分数达到最大值，为 $520.0\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。生长期对工业大麻秆半纤维素质量分数的影响不显著($P=0.945\ 9$)；生长期为 67 d 时，半纤维素的质量分数达到最大值为 $266.5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。生长期对工业大麻秆木质素质量分数的影响很显著($P<0.000\ 1$)。在整个生长期内，木质素质量分数基本上随着大麻秆生长期的增加而增加，在 186 d 时达到最大，最大值为 $235.8\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。原因可能是在植物的生长初期，顶端分生组织和形成层进行了快速分裂，生成大量的植物细胞，这些细胞还没有完全成熟，即所有细胞均含有初生壁，但次生壁还没有生成；所以纤维素和半纤维素质量分数快速增加，随着细胞次生壁的生成，木质素质量分数快速增加，而纤维素和半纤维素的质量分数则相对减小，因此，在工业大麻生长期为 186 d 时，木质素质量分数达到最大值。

综上所述，在生物质材料中纤维素和半纤维素的合成要先于木质素的合成；可以根据生物质材料的

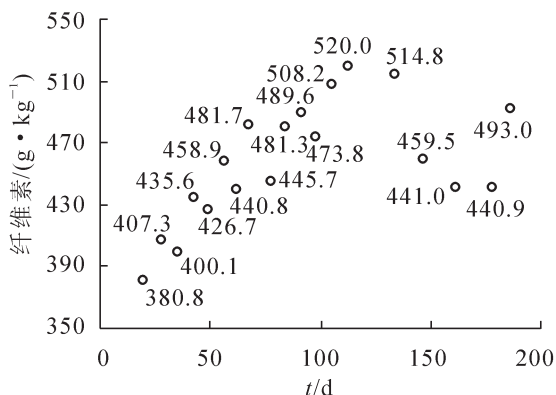


图 1 生长期对工业大麻秆纤维素质量分数的影响

Figure 1 Effect of growth stage on cellulose mass fraction of Industrial hemp stalk

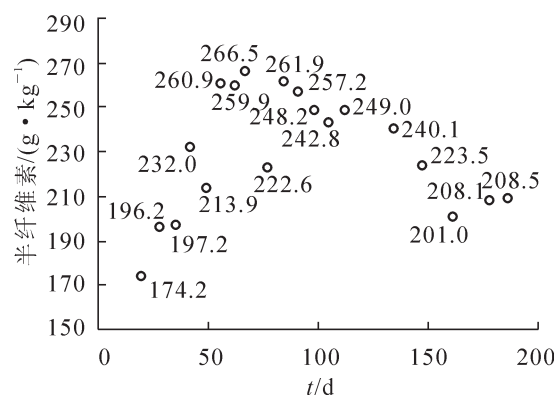


图 2 生长期对工业大麻秆半纤维素质量分数的影响

Figure 2 Effect of growth stage on hemicellulose mass fraction of Industrial hemp stalk

用途来选择合适的生长阶段。比如，在利用生物质材料制备乙醇、黏胶纤维、造纸原料^[21]时，就可选取纤维素质量分数最高、木质素质量分数相对较低时的生物质材料；当利用该生长阶段的生物质材料制备生物乙醇时，就会从根本上降低利用生物质材料制备乙醇的难度。

2.3 植株性别对“三大素”质量分数的影响

不同植株性别工业大麻秆“三大素”质量分数的变化趋势见图4~6所示。由图4~6可知：从77d开始工业大麻秆开始有植株性别之分，在生长天数相同时，工业大麻秆中雄株的纤维素、木质素质量分数大于雌株，雌株的半纤维素质量分数大于雄株。用SAS软件分别分析植株性别对工业大麻秆“三大素”（纤维素、半纤维素、木质素）质量分数的差异性，结果表明：植株性别对工业大麻秆的纤维素和半纤维素质量分数的影响均极显著(P 值分别为 $P=0.004\ 0$ 和 $P=0.001\ 0$ ；对木质素质量分数的影响不显著($P=0.123\ 7$)。

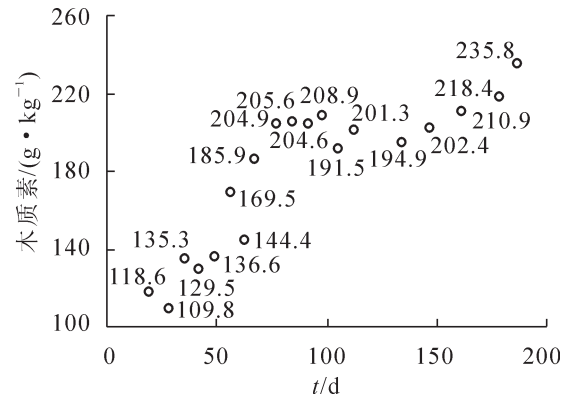


图3 生长期对工业大麻秆木质素质量分数的影响

Figure 3 Effect of growth stage on lignin mass fraction of industrial hemp stalk

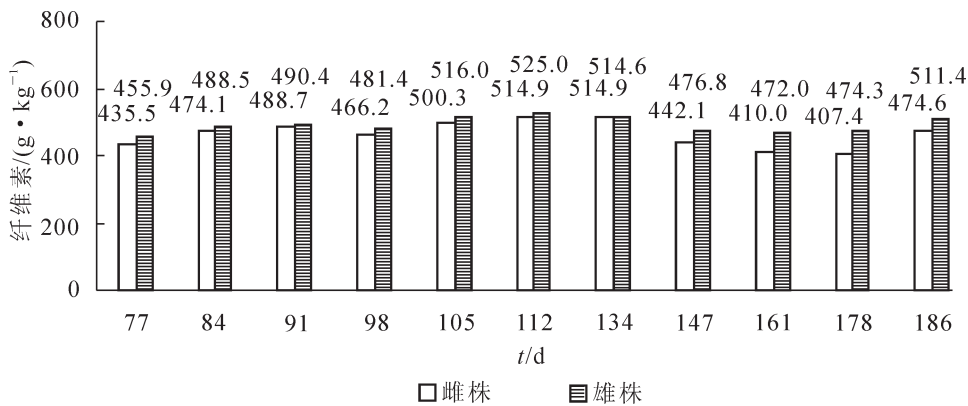


图4 植株性别对工业大麻秆纤维素质量分数的影响

Figure 4 Effect of plant gender on cellulose mass fraction of industrial hemp stalk

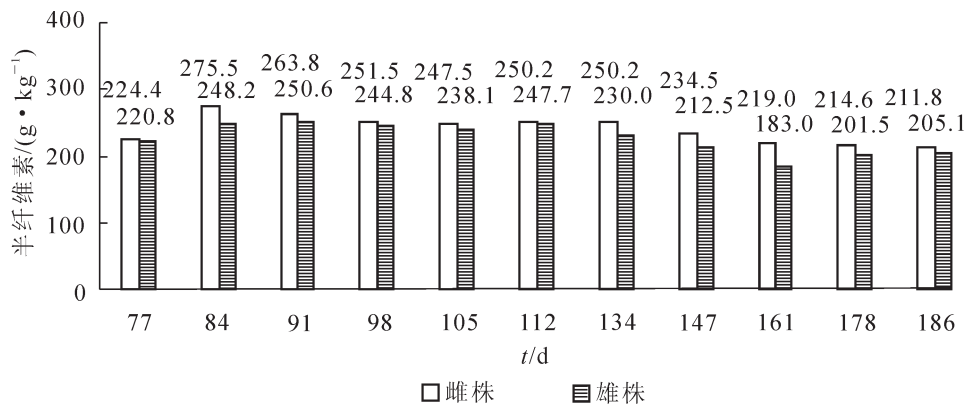


图5 植株性别对工业大麻秆半纤维素质量分数的影响

Figure 5 Effect of plant gender on hemicellulose mass fraction of industrial hemp stalk

总之，植株的性别对纤维素和半纤维素质量分数均有显著的影响，对木质素质量分数的影响不显著。主要原因在于：一方面植物的性别不同，在植物的生存繁衍中起着不同的角色；另一方面因为植物的性别不同，其植株中所含有的植物激素在理论上也会存在一定的差异，如果可以找出这种植物激素差异，并与植物“三大素”的合成建立关系，就可以更好地理解植物的生长发育，还可以利用外源激素对

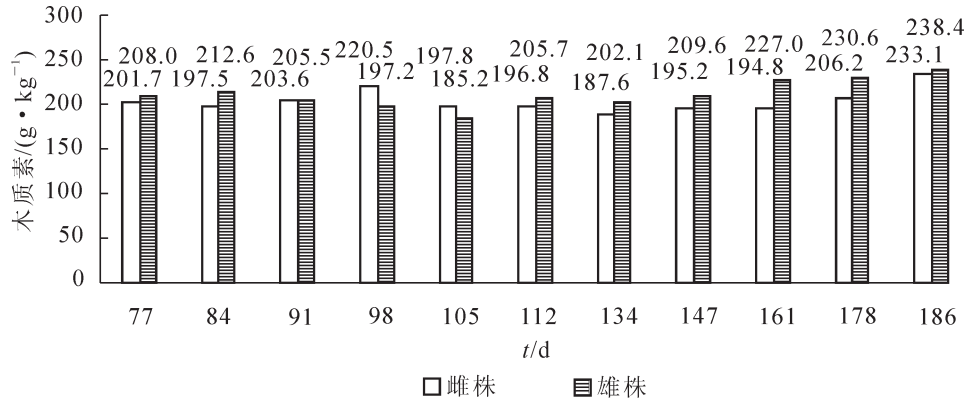


图 6 植株性别对工业大麻秆木质素质量分数的影响

Figure 6 Effect of plant gender on lignin mass fraction of industrial hemp stalk

植物“三大素”的合成进行调控，以得到我们想要的材料，满足人类发展的需求，实现生物质材料的可设计性。

3 结论

工业大麻的生长期和植株性别均可以对它的“三大素”质量分数产生显著的影响。本研究可得到如下结论：①工业大麻秆在整个生长周期内，“三大素”（纤维素、半纤维素、木质素）质量分数分别为 380.8~525.0 g·kg⁻¹，174.2~275.5 g·kg⁻¹，109.8~235.8 g·kg⁻¹，生长期对工业大麻秆纤维素、木质素质量分数的影响显著 ($P < 0.05$)，对半纤维素质量分数的影响不显著 ($P > 0.05$)；纤维素和半纤维素质量分数先增加后减小，木质素质量分数呈递增趋势，在生物质材料中纤维素和半纤维素先合成，木质素后合成。②植株性别对工业大麻秆纤维素和半纤维素质量分数的影响显著 ($P < 0.05$)，对木质素质量分数的影响不显著 ($P > 0.05$)；雌株中纤维素和木质素质量分数高于雄株，半纤维素质量分数低于雄株，主要由于雌株和雄株在工业大麻的生存繁衍中起着不同的角色而决定的。

后续将进一步研究不同性别植株中四大植物激素的含量，为实现利用外源植物激素对工业大麻秆化学成分含量的调控奠定基础。

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]. 中国麻业科学, 2005, 27(2): 98 - 101.
WANG Diankui, GUAN Fengzhi. The production status and development countermeasure of hemp in heilongjiang Province [J]. *Plant Fiber Prod*, 27(2): 98 - 101.
- [2] 蒋少军, 李志忠, 崔萍, 等. 大麻纤维性能及生物酶脱胶工艺的研究[J]. 兰州理工大学学报, 2005, 31(2): 69 - 72.
JIANG Shaojun, LI Zhizhong, CUI Ping, et al. Investigation of hemp's properties and organisms enzyme degumming process [J]. *J Lanzhou Univ Technol*, 31(2): 69 - 72.
- [3] 吴国芳, 冯志坚, 马炜梁, 等. 植物学: 下册[M]. 北京: 高等教育出版社, 1992.
- [4] 李晓平, 陈冲. 工业大麻秆的显微构造和纤维形态研究[J]. 纤维素科学与技术, 2010, 18(3): 28 - 33.
LI Xiaoping, CHEN Chong. The micro-structure and fiber-configuration of industrial hemp stalks [J]. *J Cellul Sci Technol*, 2010, 18(3): 28 - 33.
- [5] 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(1): 344 - 348.
- [6] 李晓平, 吴章康, 刘刚连, 等. 木质原料和阻燃剂对刨花板性能的影响[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2014, 38(3): 103 - 108.
LI Xiaoping, WU Zhangkang, LIU Ganglian, et al. Influence of wooden material and inflaming retarding agents on the properties of particleboard panel [J]. *J Nanjing For Univ Nat Sci Ed*, 38(3): 103 - 108.
- [7] SOLJACIC I, CUNKO R. Croatian textiles throughout history [J]. *Tekstil*, 1994, 43(II): 584 - 602.

- [8] KOVACS I, RAB A, RUSZNAK I, *et al.* Hemp (*Cannabis sativa*) as a possible raw-material for the paper-industry [J]. *Cellul Chem Technol*, 1992, **26**(5): 627 – 635.
- [9] PECENKA R, FURLL C, IDLER C, *et al.* Fibre boards and composites from wet preserved hemp [J]. *Inter J Mater Prod Technol*, 2009, **36**(1/4): 208 – 220.
- [10] VIGNON M R, DUPEYRE D, GARCIA-JADON C. Morphological characterization of steam-exploded hemp fibers and their utilization in polypropylene-based composites [J]. *Bioresour Technol*, 1996, **58**(2): 203 – 215.
- [11] 吴宁, 龙海蓉, 许艳萍, 等. 不同灌溉周期对工业大麻秆部分理化性能的影响 (I) 不同灌溉周期对微观结构和三大素含量的影响 [J]. *纤维素科学与技术*, 2014, **22**(3): 45 – 50.
WU Ning, LOGN Hairong, XU Yanping, *et al.* The effects of different irrigation cycles on some physical and chemical properties of industrial hemp stalk (I) influence of different irrigation cycles on microstructure and three contents [J]. *J Cellul Sci Technol*, **22**(3): 45 – 50.
- [12] KARNS M, VOGT D. European hemp industry: cultivation, processing and product lines [J]. *Euphytica*, 2004, **140**(1/2): 7 – 12.
- [13] 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.
- [14] 刘力, 郭建忠, 卢凤珠. 几种农林植物秸秆与废弃物的化学成分及灰分特性 [J]. *浙江林学院学报*, 2006, **23**(4): 388 – 392.
LIU Li, GUO Jianzhong, LU Fengzhu. Chemical composition and ash characteristics of several straw stalks and residues [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2006, **23**(4): 388 – 392.
- [15] 唐晓莉, 马灵飞. 大麻秆芯的物理性质和化学组分 [J]. *浙江林学院学报*, 2010, **27**(5): 794 – 798.
TANG Xiaofei, MA Lingfei. Physical properties and chemical composition of a hemp core [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2010, **27**(5): 794 – 798.
- [16] 勇强. 植物纤维资源生物转化制取酒精的研究 [D]. 南京: 南京林业大学, 1998.
YONG Qiang. *The Research of Biology of Plant Fiber Resources into Alcohol* [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 1998.
- [17] 郑喜群, 刘晓兰, 江洁. 亚麻生物脱胶新方法及其比较 [J]. *纺织学报*, 2001, **22**(4): 31 – 33.
ZHENG Xiqun, LIU Xiaolan, JIANG Jie. New methods and comparison about flax bio-degumming [J]. *Text J*, 2001, **22**(4): 31 – 33.
- [18] 王齐玮, 吴宁, 杜官本, 等. 生长期和植株性别对 ‘云麻 1 号’ 麻秆部分物理特性的影响 [J]. *浙江农林大学学报*, 2015, **32**(3): 415 – 419.
WANG Qiwei, WU Ning, DU Guanben, *et al.* Cambium generation and cellulose physical structure by growth stage and plant sex in ‘Yunma No. 1’ hemp stalk [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2015, **32**(3): 415 – 419.
- [19] 谷雨田. 怎样识别大麻的雄雌株 [J]. *农业科技通讯*, 1989(7): 14 – 16.
GU Yutian, How to identify the hemp is male or female [J]. *J Agric Sci Technol Commun*, 1989(7): 14 – 16.
- [20] KELLER A, LEUPIN M, MEDIIVILLA V, *et al.* Influence of the growth stage of industrial hemp on chemical and physical properties of the fibres [J]. *Ind Crops Prod*, 2001, **13**(1): 35 – 48.
- [21] 苏文会, 顾小平, 马灵飞, 等. 大木竹化学成分的研究 [J]. *浙江林学院学报*, 2005, **22**(2): 180 – 184.
SU Wenhui, GU Xiaoping, MA Lingfei, *et al.* Study on chemical compositions of *Bambusa wenchouensis* wood [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2005, **22**(2): 180 – 184.