

毛竹材立杆高度对竹壁厚度、竹秆直径以及表面元素分布影响研究

戴月萍¹, 于红卫², 沈哲红²

¹浙江庄宜家具有限公司, 浙江 杭州

²浙江农林大学化学与材料工程学院, 浙江 杭州

收稿日期: 2022年3月31日; 录用日期: 2022年7月21日; 发布日期: 2022年7月27日

摘要

为系统了解竹材在高度方向的性能特点, 本文以毛竹材(5年竹龄)为对象, 研究了竹壁厚度(壁厚)、直径以及表面元素与立杆高度关系, 结果表明: 1) 随着立杆高度增加, 竹材壁厚与直径均减小。当立杆高度小于1.20 m时, 壁厚和直径与立杆高度分别存在高度相关的线性关系和二次函数关系; 当立杆高度大于1.20 m时, 壁厚和直径与立杆高度都是高度相关的一次线性关系, 且单位高度的壁厚和直径降低量均小于高度小于1.2 m时的降低量; 2) 基于竹材在高度方向的壁厚和直径分布特点而开发的梯形竹条, 与常矩形竹条相比, 体积出材率和重量出材率分别提高11.30%与10.90%左右; 3) 在竹材高度方向上, 无论是竹黄(高度2.0 m除外), 竹青或者竹肉表面, 碳、氧等元素含量分布相对比较均匀, 说明立杆高度对元素含量分布影响比较小; 4) 在竹材厚度方向, 碳元素平均含量: 竹青 > 竹黄 > 竹肉; 氧元素平均含量: 竹肉 > 竹黄 > 竹青; 抽提物和灰分的平均含量: 竹黄 > 竹肉 > 竹青。

关键词

竹壁厚度, 竹材直径, 竹材表面元素, 立杆高度

The Study of the Effect of Bamboo Stem Height on Thickness, Diameter and Surface Element Distribution of Bamboo Stem

Yueping Dai¹, Hongwei Yu², Zhehong Shen²

¹Zhejiang Zhuangyi Furniture Corporation, Hangzhou Zhejiang

²Chemical and Materials Engineering Department, Zhejiang A&F University, Hangzhou Zhejiang

Received: Mar. 31st, 2022; accepted: Jul. 21st, 2022; published: Jul. 27th, 2022

文章引用: 戴月萍, 于红卫, 沈哲红. 毛竹材立杆高度对竹壁厚度、竹秆直径以及表面元素分布影响研究[J]. 林业世界, 2022, 11(3): 158-167. DOI: 10.12677/wjf.2022.113020

Abstract

The effect of bamboo stem height (5 years growth ages) on bamboo thickness, diameter and element distribution is studied to understand the property features in height directions systematically. The results indicate that (1) bamboo thickness and diameter decrease with increasing bamboo height and there exist critical height for bamboo stem, which is 1.20 m. When the stem height is less than critical heights, the relationships of bamboo thickness and diameter with heights are linear functions and quadratic functions respectively, and the reduction of stem thickness and diameter per meter in height direction is more than that when the stem height is more than critical heights with the relationships being both linear functions. In other words, when the stem height is lower than critical heights, the diameter and thickness tapering grade are more than that higher than critical heights; (2) the outturn ratios of T-strips according to volume and weight and are 11.3% and 10.9% higher than that of conventional rectangular strips; (3) the element distribution on the height directions is evenly; (4) the distribution laws of carbon ratio are: bamboo green bamboo yellow bamboo culm; the distribution laws of oxygen ratio are: bamboo culm bamboo yellow bamboo green; the distribution laws of extracts and ash are: bamboo yellow bamboo culm bamboo green.

Keywords

Bamboo Thickness, Bamboo Stem Diameter, Surface Element Distribution, Stem Height

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

我国是森林资源缺少型国家[1]。充分利用我国丰富的竹资源优势,大力发展竹产业,是缓解木材供需矛盾和维护国家木材安全的重大举措[2]。经过近四十年发展,尽管我国已成为全球最大的竹产品生产和出口国,在竹产品研发和创新等方面一直走在世界前列,但是竹产业现仍存在一些共性难题[3][4][5][6],特别是竹材(竹片)出材率低,限制了其进一步健康发展。竹片(包括竹箴)作为构成竹产品的主要单元,在制造过程中没有经过压溃破坏,最大限度保留了竹材原有结构和强度,因而以其制成的竹片板材,物理力学性能优良,在家具、地板和工程结构材等领域得到了广泛应用,市场前景十分广阔。尽管竹片板材市场前景很好,但是竹材出材率低是其发展面临亟需解决的一大难题。造成竹材出材率低的一个主要原因是,在把粗竹条经过粗刨和精刨等方法加工成定宽定厚竹片(矩形竹片)时,由于在竹材高度方向存在竹秆直径和竹壁厚度两个较大的尖削度,使得大部分竹材变成加工剩余物而不能利用;造成竹材出材率低的另一个原因是,由于竹材存在难以胶合的竹青和竹黄,故在竹片的制备过程必须将其去除,势必较大幅度降低竹材出材率。根据加工企业的测算表明,目前竹片材的出材率常常不超过30%。

提高竹材出材率是竹产业未来十分重要的发展方向之一。根据竹材直径和厚度尖削度的特点,对竹材进行新型梯形竹片加工是提高竹片出材率的有效方法之一。基于此,本文拟进行下述研究。首先,根据竹材壁薄、中空和尖削度大的构造特性,研究竹壁厚度和竹秆直径与竹秆立杆高度关系,建立竹壁厚度、竹秆直径和竹秆立杆高度关系的数学模型,为实现根据竹秆直径和竹壁厚度的分布特点进行厚度渐变梯形竹条加工提供技术支持。其次,针对竹材难以胶合造成竹材出材率低的问题,在前人对竹材表面化学性能研究基础上[7]-[22],本文重点研究了竹秆立杆高度和竹材厚度方向的竹材表面元素分布规律,

为实现竹材高效胶合提供一定的理论支持。

2. 实验材料与方法

2.1. 实验材料

实验室分析用材：毛竹材(*Phyllostachys pubescens*)，取自浙江省杭州市临安区某竹园，采伐时间为4月下旬。为避免立地条件对实验结果影响，毛竹材均在半径35米的竹园内采取。竹龄为5年生毛竹20株，齐地砍伐，砍平砍口处第一个竹节。

工厂中试用材：福建省南平市顺昌某竹业有限公司提供竹筒，尺寸大约为2100 mm × 24 mm × 8 mm (长度 × 直径 × 壁厚)，共927个。

2.2. 实验方法

1) 竹秆立杆高度(节高)的测定

以竹秆基部第一个竹节为起点，测量起点到每一高度的距离为竹秆立杆高度，以m为单位，保留两位有效数字。为了更系统研究竹壁厚度与立杆高度关系，本研究选取竹龄为5年成熟毛竹为研究对象，从立杆高度0.2 m开始测试，间隔0.2 m，直至立杆高度8.20 m为止。

2) 竹壁厚度(壁厚)的测定

测定竹壁厚度时，在高度处标出中心圆周线，沿着中心圆周线选取3个点，分别测出每个点对应的竹壁厚度(以mm为单位，保留两位有效数字)，最后取平均值作为竹壁厚度。

3) 竹秆直径的测定

测定竹材直径时，在立杆高度处测出圆周长并计算出竹材直径，重复三次，最后取平均值作为竹秆直径。

4) XPS的观察

从竹青，竹黄以及竹肉的部位，选取幅面1 cm × 1 cm，厚度约2 mm的薄竹片，进行XPS观察。

5) 出材率统计

分别计算精刨后的竹条总重量与体积，确定T型竹条与常规矩型竹条的出材率。

3. 结果与分析

3.1. 立杆高度对竹材几何尺寸影响

1) 竹秆立杆高度对竹壁厚度影响

图1为竹壁厚度与竹秆立杆高度的关系图。从图1可以看出，随着竹秆立杆高度增加，竹壁厚度减小。对竹壁厚度与立杆高度关系进行拟合分析，得出竹壁厚度(y)与立杆高度(x)是一次函数关系，拟合相关系数(R^2)均接近于1，说明拟合的一次函数关系可靠。当高度小于1.20 m，随着高度从0 m增加到1.20 m，其壁厚从14.21 mm降低到9.57 mm，竹壁厚度降低量为3.87 mm/m，一次函数关系式为 $y = -0.73x + 13.36$ ，相关系数 R^2 为0.97；当高度大于1.20 m，随着立杆高度从1.20 m增加到8.40 m，其壁厚从9.57 mm降低到4.34 mm，壁厚降低量为0.74 mm/m，一次函数关系式为 $y = -0.17x + 9.59$ ，相关系数为0.99。

可见，当竹秆立杆高度在高于或小于1.20 m时，一次函数关系中的斜率绝对值不相同，即单位高度的竹材壁厚降低量(竹材尖削度)不同。竹材高度越低，单位高度的竹材壁厚降低量越大，即竹材厚度尖削度越大，在把竹材加工成规整竹条时，竹材厚度上切削越多，竹材浪费越严重。

2) 竹秆立杆高度对竹秆直径影响

图2为竹秆直径与竹秆立杆高度的关系图。从图2可以看出，随着竹秆立杆高度增加，竹秆直径减小。对竹秆直径与高度关系进行拟合分析，发现当立杆高度小于1.20 m时，竹秆直径与立杆高度是高度

相关的二次函数关系, R^2 为 0.99; 当立杆高度大于 1.20 m 时, 竹秆直径与立杆高度是高度相关一次函数关系, R^2 为 0.98。

当高度小于 1.20 m, 随着高度从 0 m 增加到 1.20 m 时, 竹秆直径从 10.13 cm 降低到 8.98 cm, 单位高度的竹材直径降低量为 0.96 cm/m。当立杆高度大于 1.20 m, 随着立杆高度从 1.20 m 增加到 8.26 m, 竹材直径从 8.98 cm 降低到 3.34 cm, 单位高度的竹材直径降低量为 0.80 cm/m。可见, 当竹秆立杆高度在高于或小于 1.20 m 时, 即单位高度的竹材直径降低量(竹材直径尖削度)不同。竹材高度越低, 单位高度的竹材直径降低量越大, 即竹材直径尖削度越大, 在把竹材加工成规整竹条时, 竹条宽度上切削越多, 造成竹材浪费越严重。

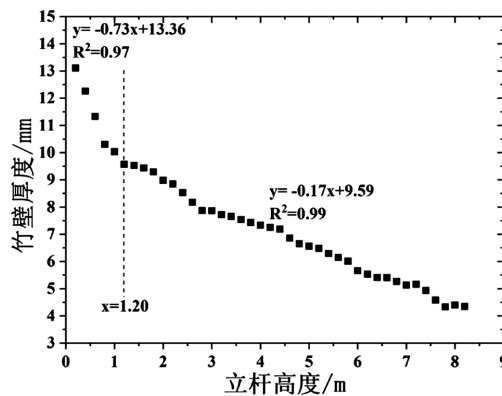


Figure 1. The relationship of stem height and stem wall thickness for bamboo
图 1. 竹壁厚度与竹秆立杆高度关系图

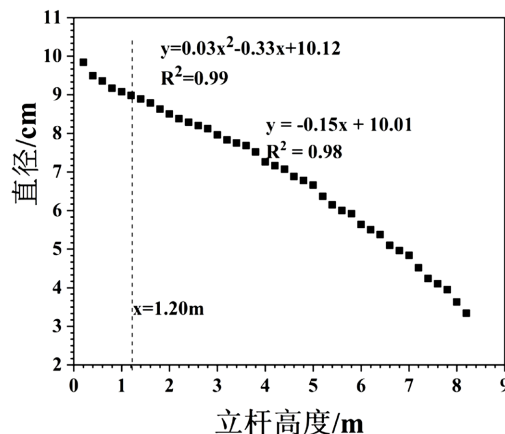


Figure 2. The relationship of stem height and stem wall diameter for bamboo
图 2. 竹秆直径与竹秆立杆高度关系图

3) 基于竹材壁厚和直径分布特点的梯形竹条加工方式对竹材出材率的影响

根据上述竹材在高度方向上直径和厚度分布的特点, 研究了两种竹条即常规矩形竹条和梯形竹条(厚度渐变, 大小头且两头为矩形, 侧面为梯形)的加工方式对竹材出材率的影响。实验选取 927 个长度为 2100 mm, 均重为 10.25 kg, 总重量为 9506 kg 的竹筒进行中试实验。竹筒剖分时, 按照小头尺寸为 2100 mm × 22 mm × 8 mm (纵向尺寸 × 弦向尺寸 × 径向尺寸)的要求进行剖分制备粗竹条, 共获得粗竹条 9035 根。9035 根粗竹条中, 4562 根为常规矩形粗刨条, 4533 根为 T 型粗刨条, 并分别通过粗刨与精刨, 加工成常规矩形精刨条和梯形精刨条, 具体数据和结果分析见表格 1。

Table 1. The comparison of the outturn of T and rectangular bamboo strips**表 1.** T 型竹条与常规模矩型竹条出材率的比较

	竹条规格	数量(条)	体积(m ³)	重量(kg)
常规矩形粗刨竹条	2100 mm × 24 mm × 8 mm (小头)	4562	3.6350	2570
	2100 mm × 24 mm × 6.7 mm	1485	0.4378	
常规矩形精刨竹条	2100 mm × 24 mm × 6.3 mm	2561	0.7099	895
	2100 mm × 24 mm × 5.9 mm	427	0.1108	
合计		4473	1.2585	
出材率/%			34.6	34.8
T 型粗刨竹条	2100 mm × 24 mm × 8 mm (小头)	4533	3.1400	2220
	2100 mm × 24 mm × 6.8~10.5 mm	25	0.0095	
	2100 mm × 24 mm × 6.3~9.3 mm	534	0.1833	
T 型精刨竹条 (大小头)	2100 mm × 24 mm × 6.0~9.0 mm	1566	0.5168	1014
	2100 mm × 24 mm × 5.9~8.4 mm	1964	0.6179	
	2100 mm × 24 mm × 5.5~8.0 mm	384	0.1140	
合计		4473	1.4415	
出材率/%			45.9	45.7

从表 1 可知, 常规矩形粗刨条与 T 型粗刨条通过粗刨与精刨加工, 各获得 4473 根精刨条, 常规矩形精刨竹条的总体积与总质量分别为 1.2585 m³ 与 895 kg; T 型精刨竹条的总体积与总质量分别为 1.4415 m³ 与 1014 kg。按照体积与质量计算, T 型精刨竹条的出材率比常规矩形竹条分别提高了 11.3% 与 10.9%。

3.2. 竹秆立杆高度对竹材表面元素含量分布的影响

1) 竹秆立杆高度对竹黄表面元含量分布的影响

通过 XPS 能谱, 研究分析竹材立杆高度对氢元素之外的碳、氧等元素在竹材表面分布影响(含量主要指所测元素原子数目与表面所有元素原子数目的百分比), 结果见图 3 和表 2。通过图 3 和表 2 可以推出, 在不同立杆高度上的竹黄表面(高度为 0.8 m、2.0 m、3.0 m 和 5.0 m), 主要成分都是碳元素(分别为 73.96%, 87.26%, 74.69% 和 71.64%, 平均为 76.89%) 和氧元素(分别为 18.82%, 8.39%, 17.38% 和 21.83%, 平均为 16.61%)。当竹秆立杆高度为 2.0 m 时, 竹黄表面碳元素含量最高为 87.26%, 氧元素含量最低为 8.39%, 而其他高度处的竹黄表面碳元素和氧元素含量差距不大。

竹黄表面除了碳、氢和氧主要元素之外, 还含有来自于抽提物或者灰分的氮、硅、钙、氟等元素。当立杆高度从 0.8 m、2.0 m、3.0 m 增加到 5.0 m 时, 氮、硅和氟等元素总含量分别为 7.82%, 4.35%, 7.97% 和 6.53%, 平均为 6.67%。当立杆高度为 2.0 m 时, 抽提物和灰分含量最低, 而其他高度处的含量差距较小。

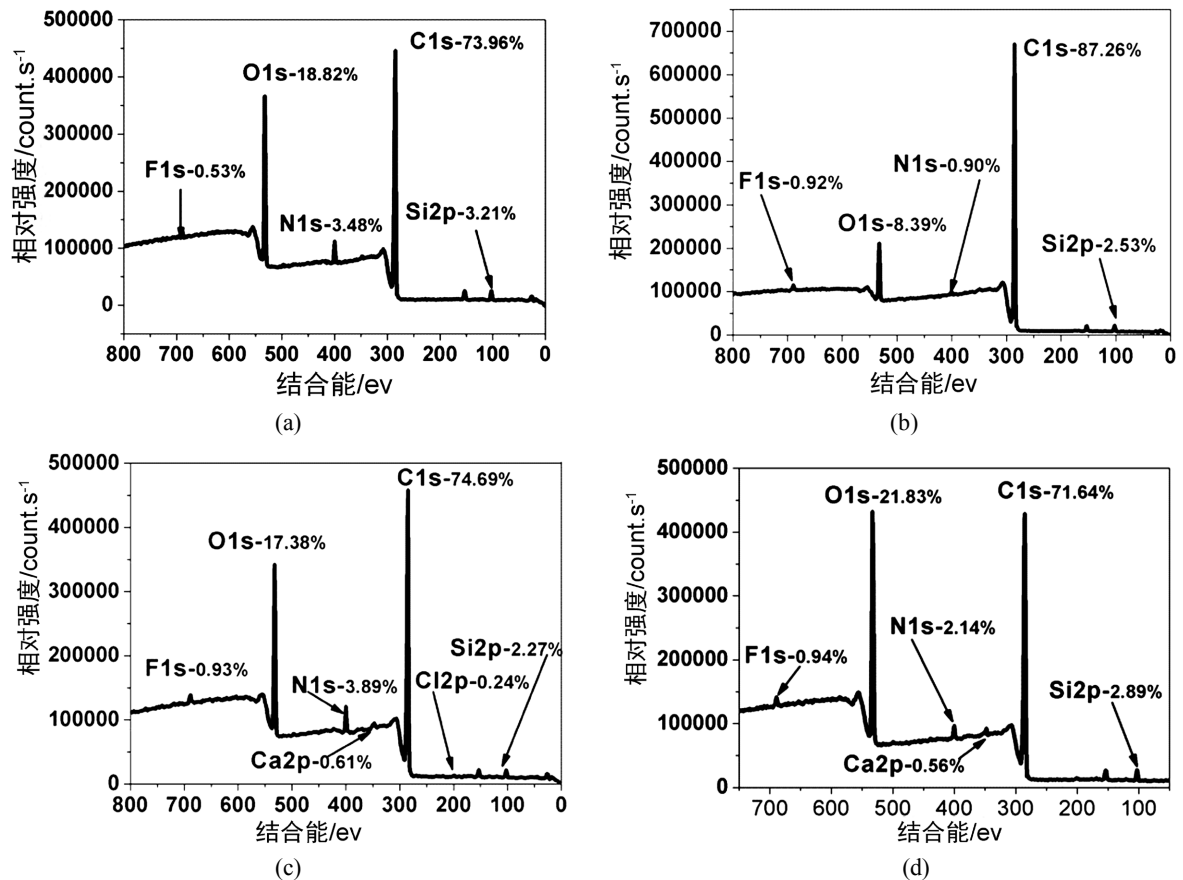


Figure 3. The XPS energy spectrum of bamboo yellow at different heights of (a) 0.8 m, (b) 2 m, (c) 3 m and (d) 5 m
图 3. 不同高度的竹黄表面 XPS 能谱图(a) 0.8 米, (b) 2 米, (c) 3 米和(d) 5 米

Table 2. The effect of stem height on the surface elements content of bamboo yellow
表 2. 立杆高度对竹黄表面元素含量分布影响

高度/m	元素%	碳	氧	氮、硅等元素
0.8		73.96	18.82	7.82
2.0		87.26	8.39	4.35
3.0		74.69	17.38	7.97
5.0		71.64	21.83	6.53
平均		76.89	16.61	6.67

2) 竹秆立杆高度对竹青表面元素含量分布影响

图 4 和表 3 为不同立杆高度的竹青表面 XPS 能谱图和元素含量表。通过图 4 和表 3 可以推出, 在不同立杆高度上的竹青表面(高度为 0.8、2.0、3.0 和 5.0 m), 碳原子含量分别为 92.10%、94.02%、94.18% 和 91.03%, 平均为 92.83%, 显著高于竹黄表面的碳原子含量(平均为 76.89%), 氧元素含量分别为 4.29%、3.53%、3.31% 和 5.10%, 平均为 4.06%, 远低于竹黄表面的氧元素含量。从图表还可以得出, 对于竹青, 在立杆高度方向上, 氧、碳元素含量分布比较均匀, 变化较小, 说明立杆高度对竹青表面碳、氧元素含量分布影响比较小。

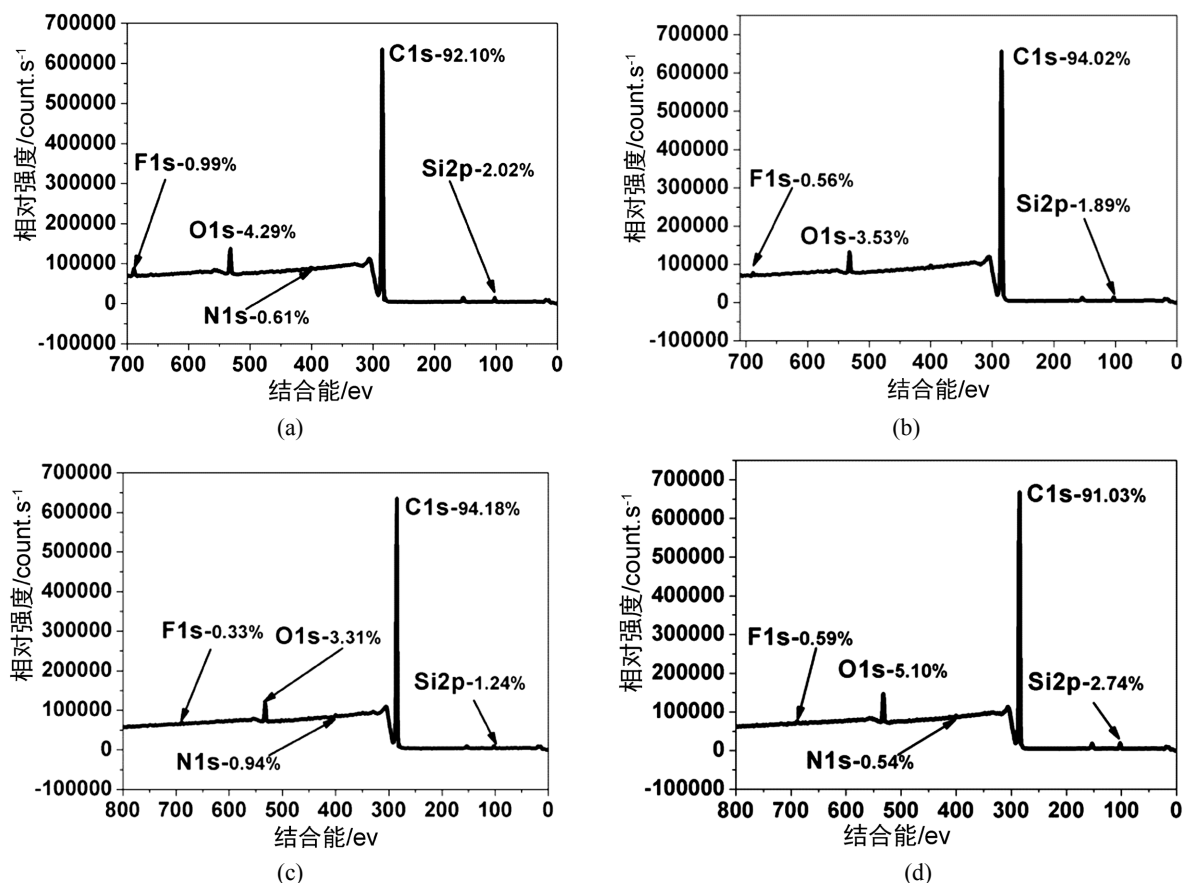


Figure 4. The XPS energy spectrum of bamboo green at different heights of (a) 0.8 m, (b) 2 m, (c) 3 m and (d) 5 m
图 4. 不同高度的竹青表面 XPS 能谱图(a) 0.8 米, (b) 2 米, (c) 3 米和(d) 5 米

Table 3. The effect of stem height on the surface elements content of bamboo green
表 3. 竹材立杆高度对竹青表面元素含量分布影响

高度/m	元素%	碳	氧	氮、硅等元素
0.8		92.10	4.29	3.53
2.0		94.02	3.53	2.45
3.0		94.18	3.31	2.51
5.0		91.03	5.10	3.87
平均		92.83	4.06	3.09

竹青表面的碳原子, 主要来源于纤维素、半纤维素、木质素以及脂肪酸中的 C-C 或 C-H 或 C-O。由于竹青表面的氧原子比例不高, 因而碳原子主要来源于非极性基团 C-H 或 C-C。这说明了竹青表面极性和活性低于竹黄表面。此外, 从图 4 和表 3 可以看出, 竹青表面的氟、氮和硅等元素总含量分别为 3.53%, 2.45%, 2.51% 和 3.87%, 平均为 3.09%, 低于竹黄表面, 说明竹青表面的抽提物和灰分含量低于竹黄表面, 且在高度方向上含量分布差距比较小。

3) 竹秆立杆高度对竹肉表面元素含量分布影响

图 5 和表 4 分别为不同立杆高度的竹肉表面 XPS 能谱图以及元素含量表。通过图 5 和表 4 可以推出,

在不同立杆高度上的竹肉表面(高度为 0.8、2.0、3.0 和 5.0 m), 碳原子含量分别为 68.88%、74.80%、72.79% 和 73.17%, 平均为 72.41%, 低于竹青和竹黄表面的碳元素含量。氧元素含量为 25.08%、20.38%、22.37% 和 22.59%, 平均为 22.61%, 显著高于竹青和竹黄表面氧元素含量。从图表还可以得出, 对于竹肉, 在立杆高度方向上, 氧、碳元素含量分布比较均匀, 变化较小, 说明竹秆立杆高度对竹肉表面碳、氧元素分布影响小。

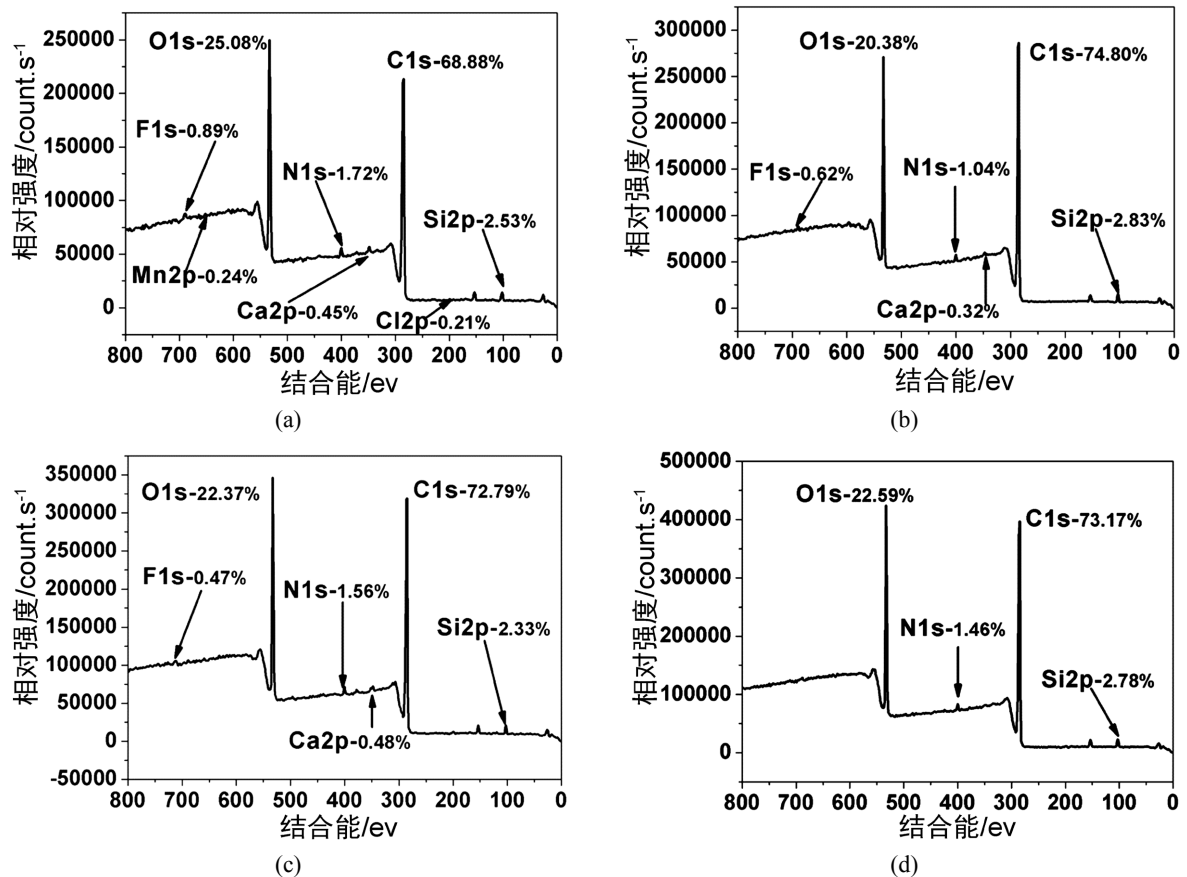


Figure 5. The XPS energy spectrum of bamboo culm at different heights of (a) 0.8 m, (b) 2 m, (c) 3 m and (d) 5 m

图 5. 不同高度的竹肉表面 XPS 能谱图(a) 0.8 米, (b) 2 米, (c) 3 米和(d) 5 米

Table 4. The effect of stem height on the surface elements content of bamboo culm

表 4. 竹材立杆高度对竹肉表面元素含量分布影响

高度/m	元素%	碳	氧	氮、硅等元素
0.8		68.88	25.08	6.04
2.0		74.80	20.38	4.82
3.0		72.79	22.37	4.84
5.0		73.17	22.59	4.24
平均		72.41	22.61	5.00

氧原子呈极性, 具有活性, 因而上述结果分析表明, 竹肉的极性和反应活性均高于竹青和竹黄表面。

对于碳和氧元素之外的其他元素(氟、氮和硅)总含量,随着竹秆立杆高度从 0.8 m、2.0 m、3.0 m 增加到 5.0 m,其含量分别为 6.04%, 4.82%, 4.84%和 4.24%,平均为 5.00%。竹肉表面的抽提物和灰分含量随着立杆高度增加先减小,而当高度大于 2.0 m 后,含量变化较小。从整体上看,竹肉表面的抽提物和灰分含量在高度方向上分布变化比较小,且竹肉的抽提物和灰分含量高于竹青,小于竹黄。

4. 结论与分析

1) 竹壁厚度与立杆高度存在高度相关的线性负关系,当立杆高度小于 1.20 m 时,斜率-0.73 单位高度的壁厚降低量为 3.87 mm/m。当竹秆立杆高度大于 1.20 m 时,斜率-0.17,单位高度的壁厚降低量为 0.74 mm/m。

2) 竹材直径与立杆高度的拟合关系随着高度增加而不同。当立杆高度小于 1.20 m 时,竹秆直径与立杆高度是高度相关的二次函数关系,单位高度的竹秆直径降低量为 0.96 cm/m;当立杆高度大于 1.20 m 时,竹秆直径与立杆高度是高度相关的一次线性关系,单位高度的直径降低量为 0.80 cm/m。

3) 基于立杆高度对壁厚和直径作用关系的特点而开发的梯形竹条,与常规矩形竹条相比,体积出材率和重量出材率分别提高 11.3%与 10.9%。

4) 在竹材高度方向上,无论是竹黄(高度 2.0 m 除外),竹青或者竹肉表面,碳、氧等元素含量分布相对比较均匀,说明立杆高度对元素含量分布影响比较小。

5) 在竹材厚度方向,碳元素平均含量:竹青(92.83%)>竹黄(76.89%)>竹肉(72.41%);氧元素平均含量:竹肉(22.61%)>竹黄(16.61%)>竹青(4.06%);抽提物和灰分的平均含量:竹黄(6.67%)>竹肉(5.00%)>竹青(3.09%)。

基金项目

浙江省重点研发计划课题:竹木材新型板材与智能装备研发——新型竹木复合板材智能制造及装备研发(2019C02037)。

参考文献

- [1] 钱小瑜. 中国人造板在改革开放中走向辉煌[J]. 中国人造板, 2019, 26(6): 1-8.
- [2] 李延军, 许斌, 张齐生, 蒋身学. 我国竹材加工产业现状与对策分析[J]. 林业工程学报, 2016, 1(1): 2-7.
- [3] 李海涛, 张齐生, 吴刚, 熊晓洪, 李延军. 竹集成材研究进展[J]. 林业工程学报, 2016, 1(6): 10-16.
- [4] 国家林业局. 全国竹产业发展规划 2013-2020 年[R]. 北京: 国家林业局, 2013.
- [5] 费本华. 践行新理念提速竹产业[J]. 世界竹藤通讯, 2019, 17(2): 1-6.
- [6] 赵鹤, 林金国, 陈礼辉. 竹青竹黄加工利用关键问题的探讨[J]. 家具, 2014(6): 11-14+43.
- [7] 刘源松, 关明杰, 张志威, 周文奕. 木质素改性脲醛树脂对竹层积材甲醛释放量及胶合性能的影响[J]. 林业工程学报, 2017, 2(3): 28-32.
- [8] 雍成, 王路, 关明杰. 酚醛树脂改性对碳化竹层积材胶合强度的影响[J]. 竹子学报, 2014, 33(1): 59-62.
- [9] Wang, B., Li, D.-L., Chen, T.-Y., Qin, Z.-Y., Peng, W.-X. and Wen, J.-L. (2017) Understanding the Mechanism of Self-Bonding of Bamboo Binderless Boards: Investigating the Structural Changes of Lignin Macromolecule during the Molding Pressing Process. *Bioresources*, 12, 514-532. <https://doi.org/10.15376/biores.12.1.514-532>
- [10] 于文吉, 余养伦, 江泽慧. 竹材表面胶合性能[J]. 竹子研究汇刊, 2006, 25(1): 30-36.
- [11] 江泽慧, 于文吉, 余养伦. 竹材化学成分分析和表面性能表征[J]. 东北林业大学学报, 2006, 34(4): 1-2+6.
- [12] 周建钟, 冯炎龙, 刘力. 竹青竹黄的化学成分及综合利用[J]. 林产化工通讯, 2003, 37(2): 8-10.
- [13] 赵仁杰, 唐忠荣, 喻云水. 改善竹青与竹黄胶合性能的研究[J]. 林产工业, 1995(4): 11-12+36.
- [14] 张晓冬, 程秀才, 林龙生, 汤亚楠, 吴昊. 化学处理对竹青、竹黄胶合性能的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2014, 36(4): 1-4.

- 学版), 2013, 37(4): 171-174.
- [15] 陈广琪, 李建华. 改善竹材胶合性能的研究[J]. 竹子学报, 1991(1): 37-43.
- [16] 任一萍, 王正, 高黎, 常亮. 偶联剂对竹材表面润湿性及胶合强度的影响[J]. 粘接, 2011(7): 50-53.
- [17] 关明杰, 刘仪, 朱越强, 张紫嫣, 黄志伟. 超声对竹材表面性能和竹层积材胶合性能的影响[J]. 竹子学报, 2018, 37(1): 8-15.
- [18] 李浩东, 李黎. 磨削木竹材表面粗糙度对胶合强度的影响[J]. 木材加工机械, 2009, 20(1): 4-8+11.
- [19] 黄河浪, 薛丽丹, 卢晓宁, 董丽君. 低温等离子体处理对竹片表面胶合性能的影响[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2006, 30(6): 23-26.
- [20] Du, G.-B., Huang, L.-R. and Sun, Z.-B. (2008) Effects of Surface Performance on Bamboo by Microwave Plasma Treatment. *Frontiers of Forestry in China*, 3, 505-509. <https://doi.org/10.1007/s11461-008-0069-9>
- [21] 徐兆军. 激光处理竹青表面的研究[J]. 木材加工机械, 2017, 28(5): 13-15.
- [22] 黄晓东, 谢敏芳, 刘雁. 风电叶片用毛竹和麻竹竹青片层积材性能评价[J]. 林业科技开发, 2010, 24(4): 14-17.