

## 毛竹拉丝材加工利用碳转移分析

李翠琴<sup>1,2</sup>, 周宇峰<sup>1,2</sup>, 顾 蕾<sup>1,2</sup>, 施拥军<sup>1,2</sup>, 沈振明<sup>3</sup>, 徐小军<sup>1,2</sup>, 李瑞珺<sup>4</sup>

(1. 浙江农林大学 浙江省森林生态系统碳循环与固碳减排重点实验室, 浙江 临安 311300; 2. 浙江农林大学 亚热带森林培育国家重点实验室培育基地, 浙江 临安 311300; 3. 浙江省临安市林业科技推广总站, 浙江 临安 311300; 4. 浙江省临安市林业局, 浙江 临安 311300)

**摘要:** 毛竹 *Phyllostachys edulis* 竹材经拉丝可加工成竹席、竹筷和竹帘, 是毛竹竹材加工利用中的重要产品。调查了 179 株不同胸径分布的毛竹, 截取拉丝段竹杆按照 4 种不同的规格进行粗刨开片和拉丝, 将毛竹拉丝段加工成竹席丝, 竹筷条和竹帘丝。分析了不同规格竹片的刨片对竹拉丝碳转移的影响, 不同胸径的竹拉丝对碳转移率的影响, 并建立不同胸径单株毛竹与拉丝材产品的碳储量模型。结果表明: ①4 种不同规格竹片的竹青和竹黄粗刨碳转移率差异显著 ( $P < 0.05$ ), 竹筷条比竹席丝和竹帘丝碳转移要高; 由于拉丝段的竹材随着壁厚的减小变窄的趋势, 导致不同规格随着小头壁厚的减小, 碳转移率呈逐渐下降。不同规格竹片的拉丝材平均综合碳转移率为 34.11%。②不同胸径毛竹拉丝材生产的综合碳转移率为 24.20%~41.83%, 平均为 32.51%。③不同胸径毛竹拉丝材生产的整株综合碳转移率为 9.97%~29.30%, 平均为 18.09%; ④建立不同胸径单株毛竹与拉丝材产品碳储量模型为  $y = 0.0065x^{2.2362}$ ,  $R^2 = 0.6318$ 。图 5 表 3 参 12

**关键词:** 森林生态学; 毛竹; 胸径; 拉丝材; 碳转移; 碳储量

中图分类号: S718 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2013)01-0063-06

## Carbon transfer of *Phyllostachys edulis* filar products

LI Cuiqin<sup>1,2</sup>, ZHOU Yufeng<sup>1,2</sup>, GU Lei<sup>1,2</sup>, SHI Yongjun<sup>1,2</sup>, SHEN Zhenming<sup>3</sup>, XU Xiaojun<sup>1,2</sup>, LI Ruijun<sup>4</sup>

(1. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Carbon Cycling in Forest Ecosystems and Carbon Sequestration, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. The Nurturing Station for the State Key Laboratory of Subtropical Silviculture, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 3. Lin'an Popularize of Science and Technology for Forestry, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 4. Forest Enterprise of Lin'an City, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

**Abstract:** Bamboo stems can be made into filar products, such as bamboo curtain, mat, and chopsticker. We open and wiredrawing 179 bamboo stems which in different DBH (dimeter at breadth height) into four size of bamboo fila, and analyze the effect of fila size and bamboo stem DBH on carbon transfer ratio. The model of carbon stocks is also studied. Results show: 1) Carbon transfer ratios of 4 different size fila are significantly different ( $P < 0.05$ ), and the carbon transfer ratio of mat are the highest. Total carbon transfer ratio of different size of bamboo flia is 34.11%. The carbon transfer ratio decreases gradually because of the decrease in thickness of bamboo stem. 2) Carbon transfer ratios of filar processed from different DBH range from 24.20% to 41.83%, with an average of 32.51%. 3) Total carbon transfer ratios of filar products with different diameters range from 9.97% to 39.30%, with a avarage of 18.09%. 4) Using the above established relationship between DBH and

收稿日期: 2012-04-27; 修回日期: 2012-06-08

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD22B0503); 国家自然科学基金资助项目(71073148, 71203198); 浙江省重点科技创新团队项目(2010R50030); 浙江省林业厅资助项目(09A02); 浙江省重大科技专项计划项目(2011012019)

作者简介: 李翠琴, 从事森林碳汇研究。E-mail: licuiqin4750@126.com。通信作者: 顾蕾, 副教授, 从事农林业经济等研究。E-mail: gulei@zafu.edu.cn

carbon storage of filar products, a formula is given:  $y=0.0065x^{2.2362}$ ,  $R^2=0.6318$ . [Ch, 5 fig. 3 tab. 12 ref.]

**Key words:** forest ecology; *Phyllostachys edulis* (moso bamboo); diameter at breast height (DBH); filar material; carbon transfer; carbon storage

森林作为固定二氧化碳的绿色植物主体,其二氧化碳吸收和储藏功能越来越受到人们的关注,其采伐的生物量,除部分通过燃烧或腐烂将碳排放到大气或留在林地,大部分所储存的碳被转移到了林产品中。林产品作为森林三大碳库之一,可以将碳以有形的物质形式较长时间地保存,可延长碳的排放时间,它对森林生态系统和大气之间的碳平衡起着至关重要的作用<sup>[1-3]</sup>。木质林产品碳储量的大小对于评价温室气体的减排潜力和提交国家温室气体排放清单有着重要的意义。中国是世界上竹类资源最丰富的国家,据2008年第7次森林资源清查,中国竹林为538万 $\text{hm}^2$ ,其中毛竹 *Phyllostachys edulis* 有387万 $\text{hm}^2$ (占中国竹林面积的70%以上),约占世界的25%。毛竹是中国分布最广、面积最大、经济价值最高的竹种之一,具有生长快、周期短、产量高、用途广、效益大等诸多优点。近年来,由于毛竹具有快速生长、收获周期短的特点,对区域及全球碳平衡的贡献得到高度的关注<sup>[4-9]</sup>。研究表明:毛竹林乔木层年固碳量达到 $5.097\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,其固碳量是热带山地雨林的1.4倍左右,是苏南27年生杉木 *Cunninghamia lanceolata* 林的2.0倍多<sup>[5]</sup>。中国竹林碳储量在过去50 a呈增加趋势,特别是近期增加较快。预期随着中国森林面积的增加,竹林碳储量仍将继续增加<sup>[10]</sup>。竹子虽然是理想的森林碳汇植物,但竹林的连续择伐导致竹林碳储量持续向竹制品碳库转移,特别是近年来,随着中国木材采伐量的不断调减,竹子作为木材的有效替代品,市场需求不断增加。目前,竹材可用作建筑、竹器、竹地板、竹家具及造纸原料等,竹加工产业呈现快速发展的态势。因此,要对竹林碳汇总体潜力做出全面客观的评价,需要对竹子伐后制品碳库做出科学评估。查阅相关文献发现,针对毛竹产品碳转移和碳计量研究目前还相对较少,顾蕾等<sup>[11]</sup>对毛竹竹板材碳转移进行了研究。本研究通过测定对毛竹竹拉丝不同产品碳储量,提出竹拉丝碳转移计测方法,构建基于不同胸径尺度的竹拉丝产品碳储量计量模型。

## 1 材料与方 法

选取浙江省为研究点,并在浙江省毛竹产品加工企业较多的安吉、临安、遂昌和龙游等地调研发现:1株毛竹竹秆通常被分成4个部分分别进行加工。一是毛竹材最下面的竹根,这是竹节最密、最难利用的部分,一般截去10~20 cm长,以前作为燃料,近年来也用于加工成小工艺品或烧制竹炭等;二是竹板材段,这是毛竹最重要也是最主要的部分,为竹根截去后竹壁厚度大于等于0.70 cm部分,根据胸径不同,可以截分为1~3段( $2\text{ m}\cdot\text{段}^{-1}$ 左右),用于加工成竹板材并进一步生产竹地板、竹家具、竹方料等各类块型的产品;三是竹拉丝段,这是次主要部分,为截去竹根和竹板材段以后,竹壁厚度大于等于0.50 cm部分,通常截为2~4段( $2\text{ m}\cdot\text{段}^{-1}$ 左右),用于加工成拉丝材并进一步生产竹席、竹筷和竹帘等条状的产品;四是竹梢段,这是毛竹的最顶上部分,可用于制作牙签、扫帚和脚手架或烧制成竹炭等。本研究选取第3部分竹拉丝段并计测进一步加工成竹席丝、竹筷条和竹帘丝等竹产品的碳转移情况。

本研究选取了浙江省临安市一家具有代表性的竹拉丝生产企业,毛竹原竹产地为临安、建德和龙泉,调查时间为2011年7月5日至7月15日,并于2012年3月进行补充调查。前后共测量了179株不同胸径的毛竹,胸径分布为6.05~16.30 cm,截取拉丝段并根据竹壁小头厚度的大小,从0.50~0.90 cm分成4种不同的规格,间隔均为0.10 cm,长度均为2.05 m,依照加工拉丝材的工艺流程(图1),粗刨

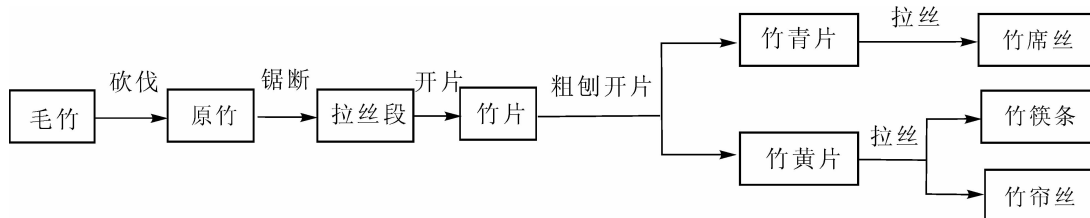


图1 毛竹拉丝材加工生产流程

Figure 1 Production process of bamboo filar products

开片成竹青、竹黄并进一步拉丝成竹席丝、竹帘丝和竹篾条，测定各种不同规格下加工成竹席丝、竹篾条和竹帘丝各道工序的碳转移率大小。各道工序规格分类见表 1。

表 1 竹片粗刨加工及拉丝的规格分类

Table 1 Bamboo processing specifications

名称	不同小头壁厚的竹材规格			
	规格 1	规格 2	规格 3	规格 4
	( $0.80 \leq x < 0.90$ )	( $0.70 \leq x < 0.80$ )	( $0.60 \leq x < 0.70$ )	( $0.50 \leq x < 0.60$ cm)
竹青	4.50 mm × 2.10 cm	4.00 mm × 2.15 cm	4.50 mm × 2.15 cm	4.50 mm × 2.10 cm
竹黄	7.00 mm × 2.15 cm	6.00 mm × 2.15 cm	5.50 mm × 2.15 cm	5.00 mm × 2.15 cm
竹席丝	2.00 mm × 6.00 mm	1.90 mm × 5.50 mm	1.80 mm × 5.50 mm	1.60 mm × 5.50 mm
竹篾条	5.00 mm × 5.00 mm	5.00 mm × 5.00 mm		
竹帘丝			2.30 mm × 2.40 mm	2.20 mm × 2.30 mm

说明：刨片长度为 2.05 m，规格为厚×宽。 $x$  为小头壁厚(cm)

调查的主要内容有：①测量每株毛竹竹秆胸径和竹高，然后用电锯将毛竹根部(即竹根)切平。根据毛竹壁厚的不同，将 1 根毛竹切分成竹板材段、拉丝段、梢头段。选取小头壁厚为 0.50~0.90 cm 的拉丝段，用于加工竹席丝、竹帘丝和竹篾条等。用电子称称取整株毛竹和竹拉丝段原竹质量，精度为 10 g。②用胸径尺和游标卡尺分别测量每段竹子的小头外径和小头壁厚。将用于拉丝材的几段毛竹依据不同的小头壁厚分成 4 种不同规格(表 1)，长度均为 2.05 m，剖开、冲片，再粗刨成竹青片和竹黄片，并分别称其质量，计算粗刨前后竹片和竹青片、竹黄片质量比，即一段毛竹粗刨后竹青和竹黄片质量除以粗刨前该竹片的质量，计算公式为  $\lambda_i = m_i / M_i$ 。由于粗刨前后竹片含碳率和含水率相同，因此，粗刨碳转移率大小等同于竹片粗刨前后的质量比。③将竹青片和竹黄片进行拉丝。按照 4 种不同的规格，竹青片拉丝成竹席丝，竹黄片根据厚度的不同，规格 1 规格 2 拉成竹篾条，规格 3 和规格 4 拉成竹帘丝，并称质量，得到拉丝过程的各环节碳转移率，并进一步分析毛竹不同规格粗刨和拉丝过程的综合碳转移率。④通过分析 179 株不同胸径单株毛竹拉丝段经粗刨和拉丝后的拉丝材碳储量占毛竹拉丝段和整株毛竹竹秆的碳储量比，构建不同胸径毛竹的拉丝段和整株综合碳转移率模型。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同规格竹片的拉丝材综合碳转移率分析

2.1.1 不同规格竹片的竹青和竹黄粗刨碳转移率 不同规格的竹片经过粗刨开片加工成竹青片和竹黄片，通过计算粗刨前后的质量比，得到毛竹竹青片和竹黄片的粗刨碳转移率。4 种不同规格的竹青片和竹黄片的粗刨碳转移率分析结果见图 2。对不同规格的粗刨碳转移率进行方差分析，结果表明：不同的规格之间有差异( $P < 0.05$ )。其中规格 1 碳转移率最高为 86.68%，第 4 种规格最低为 80.02%，平均为 82.72%。表明不同规格对毛竹竹青片和竹黄片加工有一定影响，随着小头壁厚的减小，利用率呈逐渐下降趋势，其原因为拉丝段的竹材随着壁厚的减小变窄的趋势越大。

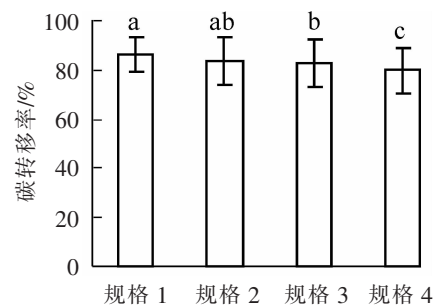


图 2 不同规格竹青片和竹黄片粗刨碳转移率  
Figure 2 Carbon transfer ratio of different specifications during bamboo pieces coarse planer process

2.1.2 不同规格竹青片和竹黄片的拉丝材碳转移率分析 不同规格的竹青片和竹黄片需进一步加工。每个规格的一片竹青片均加工成 3 根竹席丝，只是厚薄不同。竹黄片则根据厚度的不同，规格 1 加工成 4 根竹篾条，规格 2 加工成 1 根竹篾条和 2 条相连的竹篾条，规格 3 和规格 4 各加工成 7 根竹帘丝(表 1)。通过计算拉丝前后的质量比，可以得出不同规格下 3 种产品的拉丝过程的碳转移率，结果见表 3。从竹青片转移到竹席丝的碳转移率平均为 35.75%，其中规格 1 为最低 33.40%，其原因为规格 1 中有部分的

竹青片的厚度较大, 拉丝成统一规格的竹席丝时浪费较多; 竹黄片到竹篾条的碳转移率最高平均为 51.10%, 竹黄片到竹帘丝/竹黄片的碳转移率平均为 36.38%。可见竹黄部分生产竹篾条比生产竹帘丝/竹黄片碳转移率高, 因此竹黄片的厚度大于等于 6 mm 时都加工成竹篾了。

表 2 不同规格竹青和竹黄拉丝材生产的碳转移率

Table 2 Carbon transfer ratio of material for bamboo filar products with different specifications

规格	碳转移率/%		
	竹席丝/竹青片	竹篾条/竹黄片	竹帘丝/竹黄片
规格 1	33.40 ± 6.86	54.04 ± 7.92	
规格 2	36.32 ± 8.01	48.16 ± 19.54	
规格 3	36.74 ± 6.67		35.12 ± 12.16
规格 4	36.57 ± 9.85		37.64 ± 14.77
平均值	35.75	51.10	36.38

2.1.3 不同规格竹片的拉丝材生产综合碳转移率分析 综合上述 2 方面的分析可以得到不同竹壁厚度的竹片经粗刨成竹青、竹黄后, 进一步加工成竹席丝、竹帘丝和竹篾条的比率, 即通过计算竹席丝、竹篾条和竹帘丝与相应的竹片质量比值, 可以得出竹片拉丝材的综合碳转移率, 结果见表 3。从表 3 中可以看出, 拉丝段的不同规格平均转移到竹席丝的综合碳转移率为 11.89%, 转移到竹篾条的综合碳转移率为 27.42%, 转移到竹帘丝的综合碳转移率为 17.03%。拉丝材平均综合碳转移率为 34.11%。在不同的竹片规格中, 规格 1 的综合碳转移率最高, 达到 39.86%, 规格 4 的综合碳转移率最低, 仅为 29.78%。这是由于竹片厚度的不同, 所加工成的竹篾条的碳转移率要明显高于竹帘丝。

表 3 不同规格竹片拉丝材生产综合碳转移率

Table 3 Total carbon transfer ratio of material for bamboo filar products with different specifications

规格	碳转移率/%			
	竹席丝/拉丝段	竹篾条/拉丝段	竹帘丝/拉丝段	拉丝材/拉丝段
规格 1	10.44 ± 1.10	29.42 ± 3.21		39.86
规格 2	11.29 ± 1.47	25.41 ± 5.99		36.70
规格 3	12.81 ± 2.92		17.28 ± 2.92	30.09
规格 4	13.01 ± 1.75		16.77 ± 2.30	29.78
平均值	11.89	27.42	17.03	34.11

## 2.2 不同胸径单株毛竹拉丝材生产的综合碳转移率

不同胸径的毛竹由于截取的拉丝段原竹数量、壁厚大小不同, 其最终转移到拉丝材中的碳转移率也有大小。因此, 单株毛竹拉丝材生产的综合碳转移率计量的是不同胸径单株毛竹所有拉丝段原竹经过粗刨开片和拉丝后的拉丝材与所有拉丝段原竹的质量比(图 3)。结果表明: 不同胸径毛竹拉丝段原竹用于生产拉丝材的综合碳转移率为 24.20%~41.83%, 平均为 32.51%, 其拟合方程为  $y=0.635 6x+26.171$ ,  $R^2=0.104 3$ , 随着胸径的增加综合碳转移率有一定增加, 但相关性不明显。以平均线为基准, 将碳转移率上下浮动 5%, 即  $y_i = y \pm 5%$ , 作 2 条平行线, 来分析碳转移率聚集程度。结果为落在 2 条平行线之间区间的有 150 个点, 占总体的 86.21%, 说明在这个区间内, 大部分毛竹拉丝材的综合碳转移率聚集在这一区域。拉丝材综合碳转移率的大小更多的与竹壁厚度相关, 引起的直接因素为规格 1 和规格 2 的竹黄片拉丝成竹篾条的碳转移率明显大于规格 3 和规格 4 的竹黄片拉丝成竹帘丝的碳转移率。

## 2.3 不同胸径单株毛竹拉丝材生产的整株综合碳转移率

拉丝段毛竹作为整株毛竹的一部分, 只是部分地把竹杆中的碳转移到了拉丝产品中。整株综合碳转移率是衡量不同胸径的毛竹拉丝段经过粗刨和拉丝后的拉丝材占整株竹杆的质量比(图 4), 结果表明: 不同胸径毛竹拉丝材生产整株综合碳转移率为 9.97%~29.30%, 平均为 18.09%, 拟合方程为  $y = -0.344 6x + 21.589$ ,  $R^2 = 0.020 2$ 。在此为平均线的基础上, 将转移率  $y \pm 5%$  画 2 条平行线, 其中落在 2 条平行线之

间区间的有 113 个点，占总体的 64.94%，在此区间内，毛竹拉丝材生产的整株综合碳转移率还是比较分散。从图 4 中可以看出：随胸径的增加，单株毛竹用于拉丝材的比例逐渐减少，其原因为胸径大的竹材用于竹板材段和竹拉丝段的数量均增加，但增加的竹板材段由于竹壁更厚，增加的质量也更大些，反而拉丝段所占的质量在整株毛株中的比例会下降。一般的一株毛竹第一段都用于加工成毛竹竹板材，第四段用于加工成竹拉丝材，但第二段或第三段加工成竹板材还是竹拉丝材则取决于毛竹的壁厚，相近胸径的毛竹可能壁厚的不同，所以导致毛竹拉丝材生产的整株综合碳转移率差别较大。因此，碳转移率与胸径的相关性不明显。

## 2.4 不同胸径单株毛竹拉丝材的碳储量

毛竹拉丝段经粗刨开片，拉丝加工成竹席丝、竹筷条和竹帘丝，将原竹中的碳储量转移到了拉丝竹产品中。将每株毛竹的拉丝段质量乘以Ⅳ度竹杆的干质量比 0.44 和竹杆的含碳率 0.541 5<sup>[6]</sup>，计算出每株毛竹转移到拉丝材的碳储量。拟合建立不同胸径单株毛竹拉丝材产品碳储量模型： $y=0.0065x^{2.2362}$ ， $R^2=0.6318$ 。从图 5 中可以看出随着胸径的增加，拉丝材产品的碳储量随之增加，碳储量呈指数增加。这是因为随着胸径的增加，竹壁厚度处于 0.50~0.90 cm 的拉丝段的原竹段数也增加，导致最终转移到拉丝材产品中的碳储量呈指数增加。

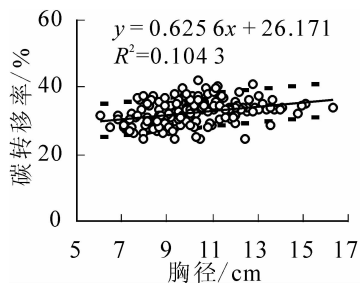


图 3 不同胸径单株毛竹拉丝材的综合碳转移率

Figure 3 Relationship of total carbon transfer ratio of bamboo filar products with diameter at breast height

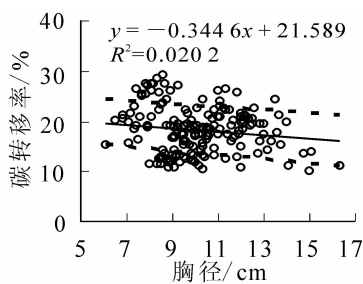


图 4 不同胸径毛竹拉丝材生产的整株综合碳转移率

Figure 4 Relationship between carbon transfer ratio and diameter at breast height

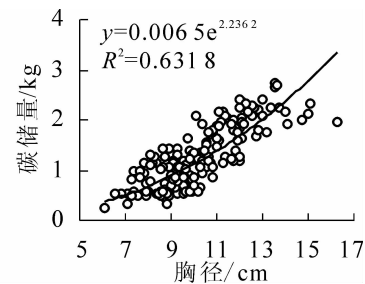


图 5 不同胸径毛竹拉丝材碳储量

Figure 5 Relationship between carbon storage of material for bamboo filar products and diameter at breast height

## 3 结论与讨论

毛竹拉丝材是仅次于竹板材的重要竹产品系列。研究毛竹竹拉丝产品碳转移特征及碳储量，有利于全面了解竹产品的碳循环过程，有利于丰富林产品碳转移特征研究方法，对评价林产品碳储量在森林碳汇功能方面具有重要价值。

### 3.1 结论

为了达到碳转移率最大化，根据毛竹不同的小头壁厚，将毛竹拉丝段分 4 种不同规格加工成竹青片和竹黄片，4 种不同规格竹片的竹青和竹黄的粗刨碳转移率有差异 ( $P < 0.05$ )。规格 1 碳转移率最高为 86.68%，第 4 种规格最低为 80.02%，平均为 82.72%。从竹青和竹黄片进一步加工成竹拉丝 (竹席丝、竹帘丝、竹筷条) 的碳转移率分析，竹黄片到竹筷条的碳转移率最高平均为 51.10%，竹黄片到竹帘丝的碳转移率平均为 36.38%，竹青片到竹席丝的碳转移率最低平均为 35.75%。综上，不同规格竹片加工成竹拉丝 (竹席丝+竹帘丝或竹席丝+竹筷条) 的平均综合碳转移率为 34.11%，其中在不同的竹片规格中，规格 1 的综合碳转移率最高，达到 39.86%，规格 4 的综合碳转移率最低，仅为 29.78%。

不同胸径毛竹拉丝段原竹用于生产拉丝材的综合碳转移率为 24.20%~41.83%，平均为 32.51%；不同胸径毛竹拉丝材生产整株综合碳转移率为 9.97%~29.30%，平均为 18.09%；建立不同胸径单株毛竹与拉丝材产品碳储量模型，并拟合得： $y=0.0065x^{2.2362}$ ， $R^2=0.6318$ 。

### 3.2 讨论

从本研究结果来看，不同胸径毛竹拉丝段到拉丝材的综合碳转移率为 24.20%~41.83%，平均为

32.51%，不同胸径竹板材段到竹板材的综合碳转移率为 35.0%~39.7%，平均为 37.0%<sup>[11]</sup>，前者的平均值比竹板材碳转移率小，而且波动更大，其原因是不同壁厚的拉丝段生产 2 种拉丝材，而且厚度大的竹黄片拉丝成竹篾条的碳转移率明显大于厚度小的竹黄片拉丝成竹帘丝的碳转移率。

研究也表明：不同胸径的单株毛竹拉丝产品生产的整株综合碳转移率并不高，为 9.97%~29.30%，这是因为一方面毛竹最重要和最主要部分通常被加工成竹板材，据研究不同胸径单株毛竹竹板材生产的整株综合碳转移率为 10%~35%<sup>[11]</sup>；另一方面由于竹材圆形中空，根部到顶部逐渐变细的特殊性，导致加工过程中不可避免的产生大量的废料，如竹废条和竹粉等，目前这些废料可以进一步生产成竹纤维板、竹刨花板和造纸等，这将大大提高毛竹整体的碳转移率。因此，竹材加工利用要重视科学和创新<sup>[12]</sup>，同时要积极探寻和开发竹产品生产中废料的再循环利用技术，提高竹制品碳转移率。

#### 参考文献：

- [1] APPS M J, KURZ W A, BEUKEMA S J, *et al.* Carbon budget of the Canadian forest product sector [J]. *Environ Sci & Policy*, 1999, **2**: 25 – 41.
- [2] DIAS A C, LOURO M, ARROJA L, *et al.* The contribution of wood products to carbon sequestration in Portugal [J]. *Ann For Sci*, 2005, **62**: 903 – 909.
- [3] 白彦锋, 姜春前, 鲁德, 等. 中国木质林产品碳储量变化研究[J]. 浙江林学院学报, 2007, **24** (5): 587 – 592.  
BAI Yanfeng, JIANG Chunqian, LU De, *et al.* Carbon stock change of harvested wood products in China [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2005, **24** (5): 587 – 592.
- [4] 李正才, 傅懋毅, 徐德应. 竹林生态系统与大气二氧化碳减量[J]. 竹子研究汇刊, 2003, **22** (4): 1 – 6.  
LI Zhengcai, FU Maoyi, XU Deying. Bamboo ecosystem and carbon dioxide sequestration [J]. *J Bamboo Res*, 2003, **22** (4): 1 – 6.
- [5] 周国模, 姜培坤. 毛竹林的碳密度和碳储量及其空间分布[J]. 林业科学, 2004, **40** (6): 20 – 24.  
ZHOU Guomo, JIANG Peikun. Density storage and spatial distribution of carbon in *Phyllostachy pubescens* forest [J]. *Sci Silv Sin*, 2004, **40** (6): 20 – 24.
- [6] 周国模. 毛竹林生态系统中碳储量、固定及其分配与分布的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.  
ZHOU Guomo. *Carbon Storage, Fixation and Distribution in Mao Bamboo (Phyllostachys pubescens) Stands Ecosystem* [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2006.
- [7] 肖复明, 范少辉, 汪思龙, 等. 湖南会同毛竹林土壤碳循环特征[J]. 林业科学, 2009, **45** (6): 11 – 15.  
XIAO Fuming, FAN Shaohui, WANG Silong, *et al.* Soil carbon cycle of *Phyllostachy edulis* plantation in Huitong Region, Hunan Province [J]. *Sci Silv Sin*, 2009, **45** (6): 11 – 15.
- [8] DU Huaqiang, ZHOU Guomo, FAN Weiliang, *et al.* Spatial heterogeneity and carbon contribution of aboveground biomass of moso bamboo by using geostatistical theory [J]. *Plant Ecol*, 2010, **207**: 131 – 139.
- [9] 张利阳, 温国胜, 张汝民, 等. 毛竹光合生理对气候变化的短期响应模拟[J]. 浙江农林大学学报, 2011, **28** (4): 555 – 561.  
ZHANG Liyang, WEN Guosheng, ZHANG Rumin, *et al.* Climate change response using a simulation study of photosynthetic physiology on *Phyllostachys pubescens* [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2011, **28** (4): 555 – 561.
- [10] CHEN Xiangang, ZHANG Xiaoquan, ZHANG Yiping, *et al.* Changes of carbon stocks in bamboo stands in China during 100 years [J]. *For Ecol Manage*, 2009, **258**: 1489 – 1496.
- [11] 顾蕾, 沈振明, 周宇峰, 等. 浙江省毛竹竹板材碳转移分析[J]. 林业科学, 2012, **48** (1): 186 – 190.  
GU Lei, SHEN Zhenming, ZHOU Yufeng, *et al.* Analysis of carbon transfer in moso bamboo plank in Zhejiang Province [J]. *Sci Silv Sin*, 2012, **48** (1): 186 – 190.
- [12] 张齐生. 我国竹材加工利用要重视科学和创新[J]. 浙江林学院学报, 2003, **20** (1): 1 – 4.  
ZHANG Qisheng. Attaching importance to science and innovation in the processing and utilization of bambootimber in China [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2003, **20** (1): 1 – 4.