

# 带状采伐对毛竹地下构件养分含量的影响

蔡宗明<sup>1</sup>, 邓智文<sup>1</sup>, 李士坤<sup>2</sup>, 荣俊冬<sup>1</sup>, 郑郁善<sup>1</sup>, 陈礼光<sup>1\*</sup>

(1 福建农林大学 林学院, 福州 350002; 2 漳平市林业局, 福建龙岩 364400)

**摘要:** 选择立地条件基本一致的毛竹(*Phyllostachys edulis*)纯林, 分别设置宽度为 6 m、8 m、10 m, 垂直长度为 30 m 的样地进行条带式采伐, 在采伐带相邻的位置设置相同宽度的保留带, 另随机选取 3 块不进行采伐的常规经营毛竹林作为对照, 测定不同宽度带状采伐毛竹竹鞭、鞭根、竹箨和箨根的养分情况, 分析毛竹地下构件在不同宽度采伐后的恢复潜力, 探寻合理的带状采伐宽度, 为毛竹林的科学管理提供理论依据。结果表明: (1) 采伐带毛竹地下竹鞭、鞭根和箨根有机碳含量均随采伐带宽的增加先增后降, 竹箨有机碳含量则持续上升; 3 种宽度采伐带箨根、8 m 采伐带鞭根和 10 m 采伐带竹箨有机碳含量均显著高于保留带( $P < 0.05$ ), 8 m 采伐带鞭根、3 种带宽采伐带竹箨和箨根有机碳含量均与对照差异显著; 6 m 和 10 m 采伐带箨根、8 m 采伐带鞭根有机碳含量所占地下构件有机碳比例较保留带有大幅提升。(2) 3 种采伐带宽中竹鞭、鞭根和竹箨全氮含量均表现为 8 m > 6 m > 10 m, 箨根全氮含量则随着带宽的增加持续上升; 8 m 采伐带鞭根和 10 m 采伐带竹箨与保留带有显著差异, 3 种带宽鞭根、竹箨和箨根全氮含量均与对照有差异; 各构件总氮含量所占比例均基本表现为竹鞭 > 竹箨 > 鞭根 > 箨根, 8 m 采伐带鞭根和 10 m 采伐带竹鞭、鞭根、箨根总氮所占比例显著增加。(3) 采伐带毛竹竹鞭、竹箨和箨根全磷含量均随带宽的增加呈先增后降的趋势, 而鞭根全磷含量持续上升; 8 m 采伐带竹鞭全磷含量显著高于对照, 其竹箨全磷含量显著高于相应保留带和对照; 8 m 和 10 m 采伐带均以竹箨全磷含量所占比例最高, 6 m 采伐带则是竹鞭全磷占比最高。(4) 采伐带毛竹地下构件全钾含量均以 8 m 带宽最高, 8 m 采伐带的竹箨和箨根全钾含量分别显著高于 6 m 采伐带 17.69% 和 106.90%, 显著高于 10 m 采伐带 102.87% 和 121.12%; 8 m 采伐带竹鞭、鞭根和箨根全钾含量均显著高于保留带和对照; 随着带宽的增加, 全钾含量占比在采伐带竹鞭和竹箨中呈下降趋势, 在鞭根中则呈上升趋势, 在箨根中则先上升后降低。研究认为, 带状采伐处理能促进毛竹地下构件的发育, 且 8 m 采伐带毛竹地下构件对养分的吸收效率显著增加, 养分元素含量相对较高, 可以为竹林恢复生长提供大量能量和生长潜力, 有利于采伐后毛竹林的快速恢复, 是较为合理的采伐带宽度。

**关键词:** 带状采伐; 根系养分; 竹鞭; 竹箨; 鞭根; 箨根

**中图分类号:** Q945.79; S975.7 **文献标志码:** A

## Effect of Strip Cutting on Nutrient Content in Underground Components of *Phyllostachys edulis*

CAI Zongming<sup>1</sup>, DENG Zhiwen<sup>1</sup>, LI Shikun<sup>2</sup>, RONG Jundong<sup>1</sup>,  
ZHENG Yushan<sup>1</sup>, CHEN Liguang<sup>1\*</sup>

(1 College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2 Zhangping Forestry Bureau, Longyan, Fujian 364400, China)

**Abstract:** The pure bamboo forest with basically the same site conditions was selected, and the sample plots with a width of 6 m, 8 m, and 10 m and a vertical length of 30 m were set for strip cutting. The

收稿日期: 2022-04-16; 修改稿收到日期: 2023-04-07

基金项目: “十三五”国家重点研发计划项目(2016YFD0600902); 福建农林大学科技创新专项基金项目(CXZX2016070)

作者简介: 蔡宗明(1998-), 男, 在读硕士研究生, 主要从事森林培育研究。E-mail: 462081255@qq.com

\* 通信作者: 陈礼光, 副教授, 主要从事森林培育研究。E-mail: clguang\_cn@163.com

same width was set at the adjacent position of the cutting zone. In addition, three conventionally managed bamboo forests without cutting were randomly selected as controls. The nutrient status of rhizome, rhizome root, bamboo stump and root of *Phyllostachys edulis* with different cutting widths were measured, and the recovery potential of underground components of moso bamboo after different cutting widths was analyzed. We explored the reasonable cutting width to provide theoretical basis for the scientific management of moso bamboo forest. The results showed that: (1) the organic carbon content of rhizome, rhizome root and root of moso bamboo in the cutting belt increased first and then decreased with the increase of cutting bandwidth, while the organic carbon content of bamboo root continued to increase. The organic carbon content of bamboo root in three width cutting belts, 8 m cutting belt and 10 m cutting belt was significantly higher than that in the retaining belt ( $P < 0.05$ ). The organic carbon content of rhizome root in 8 m cutting belt, bamboo root and root in three width cutting belts were different from that in the control. The proportion of organic carbon content of rhizome root in 6 m and 10 m cutting belts and rhizome root in 8 m cutting belt was significantly higher than that in the retaining belt. (2) The total nitrogen (TN) content of bamboo rhizome, rhizome root and bamboo root in the three cutting bandwidths showed a relationship of  $8\text{ m} > 6\text{ m} > 10\text{ m}$ , and the TN content of bamboo root continued to increase with the increase of bandwidth. There was only a significant difference between the 8 m cutting band and the 10 m cutting band. The TN content of rhizome root, bamboo root and root of three kinds of bandwidth was different from that of the control. The proportion of TN content in each component was basically bamboo rhizome  $>$  bamboo root  $>$  rhizome root  $>$  basket root. The proportion of TN in rhizome root of 8 m cutting belt and rhizome, rhizome root and root of 10 m cutting belt increased significantly. (3) The total phosphorus (TP) content of bamboo rhizomes, bamboo stumps and bamboo stumps increased first and then decreased with the increase of bandwidth, while the TP content of rhizome roots continued to rise. The TP content of bamboo rhizomes in the 8 m cutting zone was significantly higher than that in the control, and the TP content of bamboo stumps was significantly higher than that in the corresponding retention zones and the control. The TP content of bamboo stumps accounted for the highest proportion of total phosphorus content in underground components in the 8 m and 10 m cutting zones, while the TP content of bamboo rhizomes accounted for the highest proportion in the 6 m cutting zone. (4) The total potassium (TK) content of the underground components of moso bamboo in the cutting belt was the highest in the 8 m bandwidth. The TK content of the bamboo root and the root in the 8 m cutting belt was significantly higher than that in the 6 m cutting belt by 17.69% and 106.90%, respectively, which was significantly higher than that in the 10 m cutting belt by 102.87% and 121.12%. The TK content of bamboo rhizome, rhizome root and root in the 8 m cutting belt was significantly higher than that in the retaining belt and the control. With the increase of bandwidth, the proportion of TK content showed a downward trend in bamboo rhizome and bamboo root in the cutting belt, an upward trend in rhizome root, and a first increase and then decrease in root. It can be seen that the strip cutting treatment can promote the development of the underground components of moso bamboo, and the nutrient absorption efficiency of the underground components of moso bamboo in the 8 m cutting zone is significantly increased, and the nutrient element content is relatively high, which can provide a lot of energy and growth potential for the recovery and growth of bamboo forest. 8 m cutting width is a reasonable cutting width, which is conducive to the rapid recovery of bamboo forest after cutting.

**Key words:** strip cutting; root nutrient; bamboo rhizome; bamboo baskets; rhizome root; basket root

毛竹 (*Phyllostachys edulis*) 是中国分布面积最广的竹种, 具有生长迅速、成材较早、产量较高、用途广的特点, 并有很高的经济、生态和社会价值<sup>[1-2]</sup>。竹林养分是竹类植物赖以生存的重要物质基础, 土壤是竹类植物生长所需水、热和肥的重要来源<sup>[3]</sup>。研究表明, 林分养分与植被生长存在密切的关

系<sup>[4-8]</sup>, 森林采伐对土壤养分和树体各构件的养分影响显著<sup>[9]</sup>, 适当的采伐能确保林分养分供给平衡, 促进林分高效生长。毛竹林在不同生长发育阶段对土壤养分的需求量不同, 土壤中大量元素(N、P、K)作为生物体最重要的营养元素, 与毛竹生长发育、竹林更新繁衍、竹林生产力等都有极显著关系<sup>[10]</sup>。曾宪

礼等<sup>[11]</sup>研究表明,带状采伐短期内促进了毛竹林土壤养分的提高,且较大采伐带宽度促进作用更大。张洋洋等<sup>[12]</sup>研究发现,带状采伐可以提高土壤质量,有利于毛竹林恢复地力。苏文会等<sup>[13]</sup>研究表明,带状采伐后毛竹春笋和新竹非结构性碳和生物量分配格局表现出较大差异,毛竹在高强度的采伐后具有较好的自我适应策略。

毛竹林作为典型的异龄林,传统经营模式通常以择龄采伐为主,即留养 I~IV 度竹,砍伐 V 度及其以上或部分 IV 度竹子<sup>[14]</sup>,此方法竹林年龄结构合理,林分质量好,但效率低成本高。因此,按照一定的宽度、一定面积对毛竹林实施条带状皆伐的经营模式成为当前竹产业发展的新方向<sup>[15]</sup>。在带状采伐经营模式中,各采伐带之间设置保留带,根据克隆整合的原理<sup>[16-17]</sup>,采伐带母竹被采伐,保留带成熟母竹通过碳素、水分生理整合等手段,通过地下相连的竹鞭把养分输入到采伐带内供幼笋和幼竹生长,从而使采伐带毛竹分株度过短暂的不利时期<sup>[14]</sup>。

本研究采用带状采伐经营模式,通过设置不同宽度带状采伐处理,考察毛竹林不同宽度采伐带与保留带地下部分构件之间的营养元素分配特征,探寻科学合理的带状采伐宽度,为优化毛竹人工林经营管理措施提供科学依据,以期实现毛竹林节本省力的竹林高效可持续经营目的,扩大林业生产力。

## 1 研究区概况

本研究的野外试验样地位于福建省漳平市永福镇大阪村(117°18'E, 25°04'N),海拔约 420 m。该试验样地属于典型的亚热带海洋性季风湿润气候

区,温热多雨,年平均气温 21.8 °C,年降水量为 1 486 mm,相对湿度 78%,水热资源丰富,年日照时数 1 738.5 h。土壤为红壤土,土层厚度达 60~100 cm。主要植被类型有牛耳枫(*Daphniphyllum calycinum*)、地苣(*Melastoma dodecandrum*)、寒莓(*Rubus buergeri*)、金毛耳草(*Hedyotis chrysotricha*)、芒萁(*Dicranopteris dichotoma*)等。

## 2 研究方法

### 2.1 试验设计

2016 年 11 月,在福建省漳平市大板村选择立地条件基本一致的毛竹纯林进行垂直带状采伐。分别设置 6 m、8 m、10 m 水平宽度的带状采伐标准地,垂直长度均为 30 m,相邻标准地之间设置相同宽度的保留带,3 种宽度的采伐带和保留带都重复 3 次,不同带宽之间设置 3 m 宽的隔离带,另随机选取 3 块不进行采伐的常规经营毛竹林标准地作为对照,对照组带宽不设要求,共 21 块标准地。试验地林分调查情况见表 1。

### 2.2 样品采集及指标测定

在 2019 年 10 月,在每块样地的上、中、下坡位置各筛选出 1 棵毛竹胸径接近平均胸径的标准竹,将标准竹伐倒,挖取部分竹鞭、鞭根、竹箨和箨根样品洗净带回实验室,烘干(温度 70~80 °C,时间 2 d)至恒重,粉碎后用于测定养分含量,每块样地取样 3 份,共 63 个样品。毛竹地下部分构件有机碳含量测定采用重铬酸钾氧化-外加热法(LY/T1237—1999)<sup>[18]</sup>,全氮含量测定采用半微量凯氏定氮法(LY/T1269—1999)<sup>[19]</sup>,磷含量测定采用浓硫酸-高氯酸消煮后钼锑

表 1 标准地概况

Table 1 Information on sampling plots

采伐类型 Type	带宽 Width/m	密度 Density /(plant · hm <sup>-2</sup> )	平均胸径 Mean diameter /cm	平均株高 Mean height /m	年龄结构 Ratio of age (I : II : III)	坡度 Gradient/°	海拔 Elevation/m
保留带 Leave strip	6	2171±138	8.3±0.54	8.9±0.29	0.20 : 0.64 : 0.16	22	414
	8	2468±170	8.8±0.08	9.2±0.19	0.31 : 0.52 : 0.17	25	420
	10	2314±155	8.4±0.30	9.4±0.79	0.25 : 0.49 : 0.26	26	439
采伐带 Cutting strip	6	2163±156	7.9±0.55	8.1±0.42	0.21 : 0.63 : 0.16	23	416
	8	2528±106	8.2±0.23	8.3±0.26	0.23 : 0.55 : 0.22	26	422
	10	2102±104	7.7±0.18	8.6±0.53	0.35 : 0.44 : 0.21	28	443
对照 Control	10	2200±97	8.9±0.63	9.1±0.79	0.31 : 0.48 : 0.21	23	428

注:毛竹第一年生即为一度竹,用 I 表示,以后每两年为一度,即 II 为 2~3 年生,III 为 4~5 年生

Note: The first year of moso bamboo is the first degree bamboo, expressed as I, and every two years thereafter, II is 2-3 years old, III is 4-5 years old

抗比色法(LY/T1271—1999)<sup>[20]</sup>,全钾含量采用火焰光度计法(LT/T1271—1999)<sup>[20]</sup>测定。

### 2.3 数据处理

采用 Excel 2010 和 SPSS 24.0、Origin 2022 软件进行数据处理、统计分析与制图。采用 One-way ANOVA 法、独立样本 *t* 检验法和 LSD 多重比较法进行单因素方差分析和多重比较,显著性水平定义为 0.05,试验数据以平均值±标准差表示。

## 3 结果与分析

### 3.1 带状采伐对毛竹地下构件有机碳含量的影响

带状采伐对毛竹地下根系的有机碳含量产生了一定的影响,采伐带毛竹地下竹鞭、鞭根和箨根有机碳含量均随着采伐带宽的增加表现出先增加后降低的趋势,并以 8 m 采伐带最高,而竹箨有机碳含量则持续上升(表 2)。其中,各带宽采伐带毛竹竹鞭有机碳含量均比相应保留带稍有增加,它们的采伐带和保留带竹鞭有机碳含量与对照均无显著差异。毛竹鞭根有机碳含量仅在 8 m 采伐带、保留带、对照间差异显著,采伐带比保留带和对照分别显著增加 14.89% 和 8.95% ( $P < 0.05$ ),而在其余带宽采伐带、保留带、对照间均差异不显著。各带宽采伐带毛竹竹箨和箨根有机碳含量比相应保留带均不同程

度增加,并均以 10 m 采伐带增幅最大,但竹箨有机碳含量仅在 10 m 采伐带时增幅(5.17%)显著,而箨根有机碳含量在 3 种带宽采伐带的增幅(10.33%~18.05%)均达到了显著水平;各带宽采伐带毛竹竹箨和箨根有机碳含量均比对照显著增加。

同时,采伐带毛竹地下构件有机碳含量所占比例在 3 种带宽下均以竹箨最高,箨根次之,竹鞭、鞭根明显较低,保留带在 3 种带宽下也均以竹箨相对较高;随着带宽的增加,采伐带和保留带毛竹竹鞭和鞭根有机碳含量所占比例均无显著变化,而竹箨和箨根有机碳含量所占比例则有增加趋势,且 10 m 带宽显著高于 6 m 带宽;相较于保留带,6 m 和 10 m 采伐带箨根有机碳含量所占比例大幅提升,而 8 m 采伐带鞭根有机碳含量所占比例大幅提升(图 1)。

### 3.2 带状采伐对毛竹地下构件全氮含量的影响

采伐带毛竹竹鞭、鞭根和竹箨全氮(TN)含量均随着采伐带宽的增加表现出先增加后降低的趋势,且 8 m 采伐带竹鞭和鞭根 TN 含量均显著高于 6 m 和 10 m 采伐带( $P < 0.05$ ),8 m 和 6 m 采伐带竹箨 TN 含量显著高于 10 m 采伐带;而箨根 TN 含量则随着采伐带宽的增加持续上升,且 10 m 采伐带显著高于 6 m 和 8 m 采伐带(表 3)。各带宽采伐带毛竹竹鞭 TN 含量与相应保留带和对照均无显著差异;

表 2 不同宽度带状采伐毛竹地下构件有机碳含量

Table 2 The content of organic carbon in rhizomes of *P. edulis* with different strip cutting widths

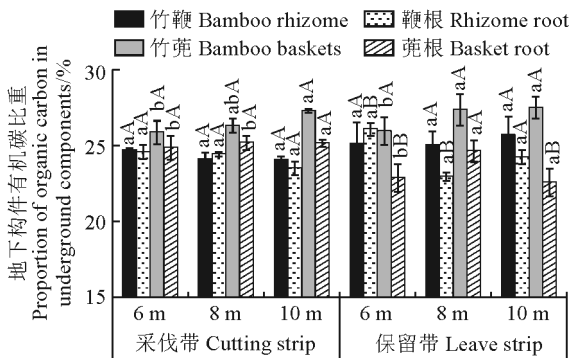
构件 Member	经营方式 Type	有机碳含量 Organic carbon content/(g · kg <sup>-1</sup> )		
		6 m	8 m	10 m
竹鞭 Bamboo rhizome	采伐带 Cutting strip	413.93±6.52aA	436.74±21.37aA	428.05±1.88aA
	保留带 Leave strip	407.41±33.08aA	431.31±23.58aA	420.44±17.25aA
	对照 Control	414.94±5.55aA	414.94±5.55aA	414.94±5.55aA
鞭根 Rhizome root	采伐带 Cutting strip	411.75±16.41aA	443.10±9.96aA	418.10±7.53aA
	保留带 Leave strip	422.62±9.96aA	385.68±7.53bB	407.10±9.96aA
	对照 Control	406.69±8.52aA	406.69±8.52aC	406.69±8.52aA
竹箨 Bamboo baskets	采伐带 Cutting strip	433.48±23.50bA	476.94±9.96abA	485.63±6.52aA
	保留带 Leave strip	420.44±13.04bAB	459.56±23.50aA	461.73±16.41aB
	对照 Control	397.55±6.18aB	397.55±6.18aB	397.55±6.18aC
箨根 Basket root	采伐带 Cutting strip	416.10±7.53bA	456.69±26.34aA	447.60±1.88aA
	保留带 Leave strip	370.47±16.40bB	413.93±13.04aB	379.16±19.91bB
	对照 Control	387.62±9.40aB	387.62±9.40aC	387.62±9.40aB

注:同行不同小写字母表示同一经营方式不同带宽间差异显著( $P < 0.05$ ),同列不同大写字母表示同一带宽不同经营方式间差异显著。下同

Note: Different lowercase letters in the same row indicate significant differences between different bandwidths of the same operating mode ( $P < 0.05$ ), different uppercase letters in the same collum indicate significant differences between different operating modes of the same bandwidth. The same as below

8 m 采伐带鞭根 TN 含量均显著高于对照和相应保留带,6 m 采伐带和保留带鞭根 TN 含量均显著高于对照,10 m 采伐带鞭根 TN 含量则与其保留带、对照均无显著性差异;6 m 和 8 m 采伐带竹箨 TN 含量与保留带显著差异,且显著高于对照,10 m 采伐带竹箨 TN 含量显著低于保留带高于对照;各带宽采伐带箨根 TN 含量均与相应保留带无显著差异,却均显著低于对照( $P < 0.05$ )。

同时,各带宽采伐带和保留带毛竹地下各构件 TN 含量所占比例基本均表现为竹鞭>竹箨>鞭根



不同小写字母表示同一经营方式不同带宽间差异显著( $P < 0.05$ ),

不同大写字母表示同一带宽不同经营方式间差异显著。下同

图1 不同宽度带状采伐毛竹地下构件有机碳比重  
Different lowercase letters indicate that there are significant differences between different bandwidths of the same operation mode ( $P < 0.05$ ), and different uppercase letters indicate that there are significant differences between different operation modes of the same band width. The same as below  
Fig. 1 Proportion of organic carbon in underground parts of *P. edulis* with different strip cutting widths

表3 不同宽度带状采伐毛竹地下构件全氮含量

Table 3 Total nitrogen contents of underground components of *P. edulis* with different strip cutting widths

构件 Member	经营方式 Type	全氮含量 Total nitrogen content/(g · kg <sup>-1</sup> )		
		6 m	8 m	10 m
竹鞭 Bamboo rhizome	采伐带 Cutting strip	8.94±0.11bA	10.14±0.12aA	8.88±0.10bAB
	保留带 Leave strip	9.71±0.16bA	10.05±0.04aA	8.16±0.15cB
	对照 Control	9.36±0.72aA	9.36±0.72aA	9.36±0.72aA
鞭根 Rhizome root	采伐带 Cutting strip	6.91±0.04bA	8.28±0.05aA	6.51±0.10cA
	保留带 Leave strip	7.14±0.10bA	7.69±0.04aB	6.48±0.18cA
	对照 Control	6.28±0.24aB	6.28±0.24aC	6.28±0.24aA
竹箨 Bamboo baskets	采伐带 Cutting strip	8.33±0.12aA	8.38±0.07aA	7.85±0.03bB
	保留带 Leave strip	8.70±0.15bA	8.07±0.10cA	10.73±0.39aA
	对照 Control	6.44±0.64aB	6.44±0.64aB	6.44±0.64aC
箨根 Basket root	采伐带 Cutting strip	5.35±0.20bB	5.61±0.07bB	6.05±0.12aB
	保留带 Leave strip	5.99±0.79aAB	5.50±0.25aB	6.12±0.13aB
	对照 Control	6.71±0.29aA	6.71±0.29aA	6.71±0.29aA

>箨根,仅是10 m保留带中竹箨高于竹鞭;采伐带和保留带竹鞭和鞭根 TN 所占比例均随着带宽的增加呈先上升后降低的趋势,竹箨和箨根则反之;相较于保留带,10 m采伐带竹鞭、鞭根和箨根 TN 所占比例显著增加,竹箨 TN 所占比例则大幅降低,8 m采伐带仅鞭根 TN 含量所占比例显著提升,6 m采伐带各构件 TN 所占比例较保留带无显著性差异(图2)。

### 3.3 带状采伐对毛竹地下构件全磷含量的影响

采伐带毛竹竹鞭、竹箨和箨根全磷(TP)含量均随着带宽的增加表现出先增加后降低的趋势,而鞭根 TP 含量则随着带宽的增加持续上升,但仅竹鞭、竹箨 TP 含量在带宽间差异达到显著水平,8 m采伐带毛竹竹箨 TP 含量最高,分别显著高于6 m、10 m采伐带 27.08%、26.20%( $P < 0.05$ );保留带仅竹

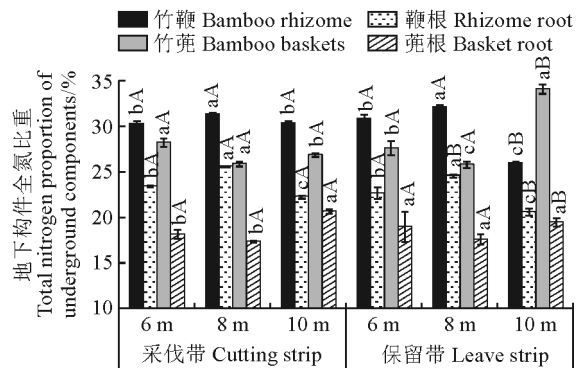


图2 不同宽度带状采伐毛竹地下构件全氮分配比

Fig. 2 Distribution ratio of total nitrogen in underground parts of strip-cutting *P. edulis* with different strip cutting widths

箨 TP 含量在带宽间差异显著(表 4)。6 m 和 10 m 采伐带毛竹地下各构件、8 m 采伐带鞭根和竹箨的 TP 含量均与相应保留带、对照无显著差异,仅 8 m 采伐带竹鞭 TP 含量显著高于对照,其竹箨 TP 含量显著高于相应保留带、对照。

同时,8 m 和 10 m 采伐带均以竹箨 TP 含量所占地下构件总磷含量比例最高,竹鞭次之,而 6 m 采伐带则是竹鞭 TP 占比最高,竹箨次之;6 m 和 8 m 保留带均以竹箨 TP 所占比例最高,竹鞭次之,而 10 m 保留带则是竹鞭 TP 占比最高,竹箨次之;鞭根和兜根 TP 所占比例在各采伐带和保留带中均明显低于竹鞭和竹箨。随着带宽的增加,毛竹竹鞭 TP 含量所占比例在采伐带逐渐降低,在保留带逐渐升高;鞭根和箨根的 TP 含量所占比例在采伐带和保留带则均呈先下降后上升的趋势,竹箨则均表现相反趋势。相比于保留带,6 m 采伐带竹鞭 TP 比例明显上升,其竹箨的 TP 比例则有较大幅度下降,8 m 采伐带竹鞭 TP 含量所占比例出现一定程度的上升,10 m 采伐带竹鞭 TP 含量所占比例显著下降,竹箨 TP 含量所占比例明显增加(图 3)。

### 3.4 带状采伐对毛竹地下构件全钾含量的影响

采伐带毛竹地下构件全钾(TK)含量均随着带宽的增加均呈先上升后下降的趋势,且变化均达到显著水平(表 5)。3 种带宽采伐带毛竹竹鞭 TK 含量均高于保留带,其中 8 m 和 10 m 采伐带达到显著水平( $P < 0.05$ ),增幅分别达 58.91%和 26.63%;6 m 和 8 m 采伐带竹鞭 TK 含量显著高于对照,而

10 m 采伐带与对照相近。3 种宽度采伐带毛竹鞭根 TK 含量均比保留带、对照不同程度增加,其中 6 m 和 8 m 采伐带增幅均达到显著水平,8 m 采伐带鞭根 TK 含量分别比保留带、对照显著提高 63.18%、68.38%。6 m 采伐带竹箨 TK 含量显著高于保留带而与对照无显著差异,8 m 采伐带竹箨 TK 含量与保留带、对照均无显著差异,而 10 m 采伐带与保留带无显著差异,但均显著低于对照。6 m 采伐带箨根 TK 含量显著低于保留带而与对照无显著差异,8 m 采伐带箨根 TK 含量均显著高于保留带和对照,而 10 m 采伐带与保留带、对照无显著差异。

同时,3 种宽度采伐带和 6、10 m 保留带中 TK 含量所占比例均以竹鞭最高,竹箨次之,而在 8 m 保留带则以竹箨,竹鞭次之,鞭根和兜根在各宽度采

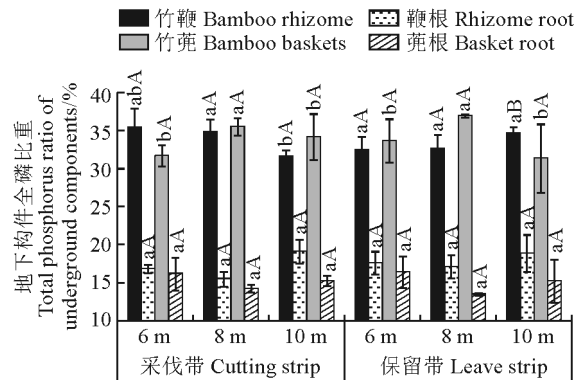


图 3 不同宽度带状采伐毛竹地下构件全磷分配比  
Fig. 3 Total phosphorus distribution ratio of underground parts of strip-cutting *P. edulis* with different strip cutting widths

表 4 不同宽度带状采伐毛竹地下构件全磷含量

Table 4 Total phosphorus content of *P. edulis* underground components with different strip cutting widths

构件 Member	经营方式 Type	全磷含量 Total phosphorus content/(g · kg <sup>-1</sup> )		
		6 m	8 m	10 m
竹鞭 Bamboo rhizome	采伐带 Cutting strip	1.61 ± 0.23abA	1.80 ± 0.08aA	1.34 ± 0.05bA
	保留带 Leave strip	1.35 ± 0.03aA	1.52 ± 0.22aAB	1.41 ± 0.06aA
	对照 Control	1.32 ± 0.08aA	1.32 ± 0.08aB	1.32 ± 0.08aA
鞭根 Rhizome root	采伐带 Cutting strip	0.76 ± 0.01aA	0.80 ± 0.05aA	0.81 ± 0.09aA
	保留带 Leave strip	0.73 ± 0.10aA	0.79 ± 0.08aA	0.77 ± 0.13aA
	对照 Control	0.72 ± 0.04aA	0.72 ± 0.04aA	0.72 ± 0.04aA
竹箨 Bamboo baskets	采伐带 Cutting strip	1.44 ± 0.14bA	1.83 ± 0.13aA	1.45 ± 0.15bAB
	保留带 Leave strip	1.41 ± 0.22bA	1.72 ± 0.12aA	1.28 ± 0.22bB
	对照 Control	1.70 ± 0.04aA	1.70 ± 0.04aA	1.70 ± 0.04aA
箨根 Basket root	采伐带 Cutting strip	0.72 ± 0.08aA	0.73 ± 0.02aA	0.65 ± 0.04aA
	保留带 Leave strip	0.68 ± 0.07aA	0.63 ± 0.04aB	0.62 ± 0.16aA
	对照 Control	0.62 ± 0.06aA	0.62 ± 0.06aB	0.62 ± 0.06aA

表 5 不同宽度带状采伐毛竹地下构件全钾含量

Table 5 Total potassium contents of underground components of *P. edulis* with different strip cutting widths

构件 Member	经营方式 Type	全钾含量 Total potassium content/(g · kg <sup>-1</sup> )		
		6 m	8 m	10 m
竹鞭 Bamboo rhizome	采伐带 Cutting strip	19.63±1.60aA	20.42±7.38aA	10.89±0.36bA
	保留带 Leave strip	19.53±1.95aA	12.85±0.61bB	8.60±0.67cB
	对照 Control	10.77±0.94aB	10.77±0.94aB	10.77±0.94aA
鞭根 Rhizome root	采伐带 Cutting strip	5.40±0.13bA	6.87±0.72aA	6.07±1.70abA
	保留带 Leave strip	3.82±0.22aB	4.21±0.37aB	4.32±0.61aA
	对照 Control	4.08±0.12aB	4.08±0.12aB	4.08±0.12aA
竹筴 Bamboo baskets	采伐带 Cutting strip	15.60±0.54bA	18.36±1.47aA	9.05±0.52cB
	保留带 Leave strip	13.01±0.40bB	17.20±0.57aA	8.25±0.56cB
	对照 Control	16.56±1.46aA	16.56±1.46aA	16.56±1.46aA
筴根 Basket root	采伐带 Cutting strip	4.20±0.71bB	8.69±0.88aA	3.93±1.71bA
	保留带 Leave strip	6.19±0.96aA	6.16±0.21aB	3.76±0.54bA
	对照 Control	5.58±0.68aAB	5.58±0.68aB	5.58±0.68aA

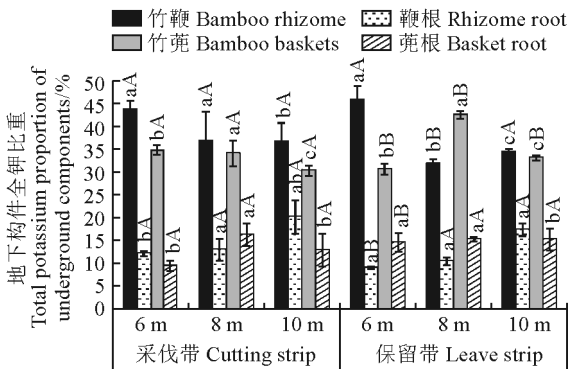


图 4 不同宽度采伐带地下构件全钾分配比

Fig. 4 Total potassium distribution ratio of underground parts of *P. edulis* in different strip cutting widths

伐带和保留带中均明显较低;随着带宽的增加,TK含量占比在采伐带竹鞭和竹筴中呈下降趋势,在鞭根中则呈上升趋势,在筴根中表现为先上升后降低。相较于保留带,6 m采伐带鞭根和筴根TK占比显著提升,筴根TK占比大幅降低,8 m采伐带竹鞭TK占比显著上升,竹筴比重显著下降,10 m采伐带竹筴TK比重略微降低(图4)。

## 4 讨论

植物根系是森林生态系统养分循环中的重要组成部分,土壤中的养分通过根系吸收与地上部分进行养分的循环流动,根系也影响林木对养分的吸收与利用<sup>[21-22]</sup>。C是植物组织干物质的主要元素,N、P、K是植物生长发育的必需元素,C、N、P、K与竹子地下鞭根的养分情况、生长发育和生命活动息息

相关。本研究中采伐带毛竹的竹鞭和鞭根的有机碳含量随带宽的变化不大,而采伐带的竹筴、筴根的有机碳含量随着带宽增加而增加;保留带的鞭根和筴根的有机碳含量随带宽增加,呈现先增加后下降的趋势,即鞭根和筴根的有机碳含量在8 m带宽时达到最大,而保留带竹筴的有机碳含量随带宽增加而逐渐减小;相比于未进行采伐经营的对照,采伐带和保留带毛竹地下各构件有机碳含量总体上有所增加。这可能是由于带状采伐打破了毛竹林养分循环中的碳平衡,地上部分的采伐处理刺激了毛竹地下构件的养分吸收能力,促使其不断吸收养分进行碳的积累。王树梅等<sup>[23-24]</sup>的研究表明,随着采伐带宽的增加,毛竹林土壤养分含量也随着增加,土壤细菌群落结构及多样性发生显著变化,但采伐带宽过大反而会阻碍土壤养分的分解循环,带宽为8 m的时候,采伐带的鞭根有机碳含量显著高于保留带的鞭根,这可能是由于带状采伐改变了土壤特性,提高了土壤肥力,这与吴昌明<sup>[25]</sup>、张洋洋<sup>[12, 26]</sup>等的研究结果相似。本研究中采伐带宽为10 m的时候,毛竹采伐带的筴根有机碳含量显著高于保留带的鞭根,同时经过采伐处理的鞭根和筴根有机碳含量也比相应的保留带显著增加,说明采伐处理对鞭根和筴根有一定的刺激作用,能促进其不断生长,并提高其养分吸收的能力,从而增加干物质的碳积累。

植物在快速生长阶段需要吸收大量N、K元素参与植物细胞分裂和生长,合成蛋白质、碳水化合物等<sup>[27]</sup>。毛竹通过改变地上部分叶片和地下部分细

根之间的 N 素分配格局和 N、P 利用效率以应对生境的变化<sup>[28]</sup>。本研究中采伐带和保留带毛竹的竹鞭、鞭根、竹箨和箨根的 N 含量之间差异不显著,它们的竹鞭、鞭根 N 含量均在带宽为 8 m 时达到最大;采伐带的竹箨和箨根的 N 含量在带宽为 6 m 和 8 m 时相对较高,这可能是由于 10 m 采伐带距离较长,母竹系统利用竹鞭进行远距离的养分运输时需要大量能量,进而促进竹鞭快速生长,吸收大量 N 元素参与细胞分裂和生长,合成蛋白质和碳水化合物等以适应外界环境的变化。采伐带的鞭根、竹箨和箨根的 K 含量随着带宽的增加呈现先增加后减小的趋势;采伐带鞭根的 K 含量显著高于保留带鞭根,采伐带箨根的 K 含量在带宽为 6 m 时显著低于保留带,而当带宽为 8 m 时显著高于保留带,这可能是由于带状采伐后毛竹林的恢复需要 K 元素的积累,毛竹通过改变 K 元素的利用效率及其分配格局来应对生境的变化。N 和 K 含量并没有随着带宽和构件变化而表现出较为明显的一致性规律,可能是因为 N 和 K 元素在植物体内的移动性较大,并在不同构件之间运转和利用<sup>[27]</sup>,由此变化规律并不一致。

P 元素主要是植物组织中核酸、蛋白质等物质的重要组成成分,P 含量越高有助于促进细胞分裂和生长,促进构件发育,同时能提高植物的抗逆

性<sup>[27]</sup>。本研究中毛竹采伐带与保留带竹鞭、鞭根、竹箨和箨根的 P 含量之间差异不显著;采伐带和保留带的带宽对鞭根和箨根的 P 含量没有显著影响;采伐带和保留带的竹箨 P 含量在带宽为 8 m 时达到最高,采伐带的竹鞭 P 含量在带宽为 8 m 时相对较高,说明带宽 8 m 对毛竹竹鞭和竹箨的 P 元素吸收有促进作用,有助于促进竹鞭和竹箨的生长,促进竹鞭分化和竹箨养分的提高,也有助于毛竹林的快速恢复,这可能是由于带状采伐对竹鞭和竹箨的刺激较大,毛竹竹鞭和竹箨加速吸收 P 元素,促进构件的生长发育,提高自身的抗逆性,以适应环境的变化,这与曾宪礼等<sup>[15]</sup>、詹美春<sup>[29]</sup>的研究结果相似。有研究表明,竹箨养分与竹笋养分呈现一定相关性<sup>[13]</sup>,由此推测当带宽为 8 m 时竹笋养分和生长会更好,该推测需要在将来的研究中进一步证明。

综上所述,在带状采伐后,3 种带宽毛竹林地下构件竹鞭、鞭根、竹箨、兜根的养分含量相比于保留带有一定程度提升,表明采伐处理能促进地下鞭根系统发育。当采伐带宽为 8 m 时,采伐带毛竹地下构件对养分的吸收效率显著增加,养分元素含量相对较高,可以为竹林恢复生长提供大量能量和生长潜力。因此,本研究认为 8 m 采伐带宽是较为合理的毛竹采伐宽度,有利于采伐后毛竹林的快速恢复。

## 参考文献:

- [1] 江泽慧. 世界竹藤[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2002.
- [2] 张洋洋, 邓智文, 荣俊冬, 等. 毛竹林施肥研究进展[J]. 世界竹藤通讯, 2019, 17(5): 58-62.  
ZHANG Y Y, DENG Z W, RONG J D, et al. Research progress in fertilization of *Phyllostachys edulis* forest[J]. *World Bamboo and Rattan*, 2019, 17(5): 58-62.
- [3] 刘姣, 刘广全, 杨永智, 等. 毛乌素沙地南缘臭柏群落土壤肥力评价[J]. 土壤通报, 2021, 52(1): 129-138.  
LIU J, LIU G Q, YANG Y Z, et al. Soil fertility evaluation in *Sabina vulgaris* ant. community in the southern edge of the Mu us sandland[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2021, 52(1): 129-138.
- [4] 方晰, 陈婵. 植被恢复对土壤 N、P 积累转化及其耦合关系影响的研究进展[J]. 中南林业科技大学学报, 2022, 42(2): 84-97.  
FANG X, CHEN C. Research progress on effects of vegetation restoration on soil N and P accumulation, transformation and their coupling[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2022, 42(2): 84-97.
- [5] 鲁顺保, 张艳杰, 龚霞, 等. 土壤养分与毛竹及竹笋生长相关性研究[J]. 江苏农业科学, 2011, 39(1): 205-208.  
LU S B, ZHANG Y J, GONG X, et al. Study on the correlation between soil nutrients and the growth of *Phyllostachys pubescens* and bamboo shoots[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2011, 39(1): 205-208.
- [6] 宋依璇, 邓继峰, 李景浩, 等. 辽西北典型人工林地不同坡位土壤养分特征及与林木生长性状的关系[J]. 西北林学院学报, 2017, 32(3): 18-24.  
SONG Y X, DENG J F, LI J H, et al. Soil chemical properties and their relations with stand growth of typical afforestation tree species in northwest Liaoning Province[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2017, 32(3): 18-24.
- [7] 高志勤. 毛竹林土壤磷、钾养分状况及生长效应[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2010, 34(6): 33-37.  
GAO Z Q. Study on the soil nutrients status of phosphorus and potassium in stands of *Phyllostachys pubescens* and its growth efficiency[J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 2010, 34(6): 33-37.
- [8] 张洋洋, 凡莉莉, 黄霞, 等. 毛竹林带状采伐后垦复施肥对新竹生长及土壤养分含量的影响[J]. 热带作物学报, 2021, 42(4): 1 047-1 054.  
ZHANG Y Y, FAN L L, HUANG X, et al. Effects of eclamation and fertilization on growth and soil nutrient content after strip clear cutting in *Phyllostachys edulis* forests[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2021, 42(4): 1 047-1 054.
- [9] 胡小飞, 陈伏生, 葛刚. 森林采伐对林地表层土壤主要特征



- 及其生态过程的影响[J]. 土壤通报, 2007, **38**(6): 1 213-1 218.
- HU X F, CHEN F S, GE G. Effects of forest harvesting on forest soil and floor properties and its ecological processes[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2007, **38**(6): 1 213-1 218.
- [10] 苏小飞, 郑笑, 马力, 等. 毛竹生产力与土壤营养元素的关系[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2020, **49**(2): 192-198.
- SU X F, ZHENG X, MA L, *et al.* The relationship between productivity of Moso bamboo and soil nutrient elements[J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition)*, 2020, **49**(2): 192-198.
- [11] 曾宪礼, 苏文会, 范少辉, 等. 带状采伐毛竹林土壤质量评价[J]. 生态学杂志, 2019, **38**(10): 3 015-3 023.
- ZENG X L, SU W H, FAN S H, *et al.* Assessment of soil quality in Moso bamboo forests under different strip clearcuttings[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2019, **38**(10): 3 015-3 023.
- [12] 张洋洋, 凡莉莉, 王敏, 等. 带状采伐对毛竹林土壤理化性质和酶活性的影响[J]. 森林与环境学报, 2020, **40**(3): 234-242.
- ZHANG Y Y, FAN L L, WANG M, *et al.* Effects of strip clear cutting in *Phyllostachys edulis* forests on soil physical and chemical properties and enzyme activities[J]. *Journal of Forest and Environment*, 2020, **40**(3): 234-242.
- [13] 苏文会, 曾宪礼, 范少辉, 等. 带状采伐对毛竹非结构性碳与生物量分配的影响[J]. 生态学杂志, 2019, **38**(10): 2 934-2 940.
- SU W H, ZENG X L, FAN S H, *et al.* Effects of strip clear-cutting on the allocation of non-structural carbohydrates and aboveground biomass of *Phyllostachys edulis*[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2019, **38**(10): 2 934-2 940.
- [14] 王龙凤, 范承芳, 梁宽, 等. 基于克隆整合特性的劳动节型竹林采伐新模式探索[J]. 江西农业大学学报, 2016, **38**(6): 1 110-1 118.
- WANG L F, FAN C F, LIANG K, *et al.* An approach to a labor-saving cutting model for bamboo forest management, a study based on clonal integration[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2016, **38**(6): 1 110-1 118.
- [15] 曾宪礼, 苏文会, 范少辉, 等. 带状采伐毛竹林恢复的质量特征研究[J]. 西北植物学报, 2019, **39**(5): 917-924.
- ZENG X L, SU W H, FAN S H, *et al.* Qualitative recovery characteristics of moso bamboo forests under strip clearcutting[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2019, **39**(5): 917-924.
- [16] 施建敏, 叶学华, 陈伏生, 等. 竹类植物对异质生境的适应——表型可塑性[J]. 生态学报, 2014, **34**(20): 5 687-5 695.
- SHI J M, YE X H, CHEN F S, *et al.* Adaptation of bamboo to heterogeneous habitat: Phenotypic plasticity[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, **34**(20): 5 687-5 695.
- [17] LI R, WERGER M J A, KROON H, *et al.* Interactions between shoot age structure, nutrient availability and physiological integration in the giant bamboo *Phyllostachys pubescens*[J]. *Plant Biology*, 2000, **2**(4): 437-446.
- [18] 国家林业局. 中华人民共和国林业行业标准: 森林土壤有机质的测定及碳氮比的计算(LY/T 1237—1999)[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [19] 国家林业局. 中华人民共和国林业行业标准: 森林植物与森林枯枝落叶层全氮的测定(LY/T 1269—1999)[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [20] 国家林业局. 中华人民共和国林业行业标准: 森林植物与森林枯枝落叶层全氮、磷、钾、钠、钙、镁的测定(LY/T 1271—1999)[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [21] 杨喜田, 杨小兵, 曾玲玲, 等. 林木根系的生态功能及其影响根系分布的因素[J]. 河南农业大学学报, 2009, **43**(6): 681-690.
- YANG X T, YANG X B, ZENG L L, *et al.* Ecological functions of tree root system and influencing factors on its distribution[J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2009, **43**(6): 681-690.
- [22] 符裕红, 喻理飞, 黄宗胜, 等. 岩溶区根系地下生境优势植物及其养分利用特征[J]. 生态环境学报, 2020, **29**(12): 2 337-2 345.
- FU Y H, YU L F, HUANG Z S, *et al.* Nutrient utilization characteristics of dominant plants of root underground habitat in Karst areas[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2020, **29**(12): 2 337-2 345.
- [23] 王树梅, 范少辉, 官凤英, 等. 带状采伐对毛竹林土壤理化性质、酶活性及优势菌群的短期影响[J]. 东北林业大学学报, 2022, **50**(1): 46-51.
- WANG S M, FAN S H, GUAN F Y, *et al.* Short-term influence of strip cutting on soil physical and chemical properties and dominant flora in *Phyllostachys edulis* stands[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2022, **50**(1): 46-51.
- [24] 王树梅, 王波, 范少辉, 等. 带状采伐对毛竹林土壤细菌群落结构及多样性的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2021, **45**(2): 60-68.
- WANG S M, WANG B, FAN S H, *et al.* Influence of strip cutting management on soil bacterial community structure and diversity in *Phyllostachys edulis* stands[J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 2021, **45**(2): 60-68.
- [25] 吴昌明, 范少辉, 冯云, 等. 带状采伐对毛竹林土壤细菌群落结构的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2021, **41**(7): 42-51.
- WU C M, FAN S H, FENG Y, *et al.* Effects of strip cutting on soil bacterial community structure in bamboo forest[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2021, **41**(7): 42-51.
- [26] 张洋洋, 凡莉莉, 徐文达, 等. 带状采伐后不同时期毛竹林恢复和土壤养分特征[J]. 西北植物学报, 2020, **40**(8): 1 407-1 413.
- ZHANG Y Y, FAN L L, XU W D, *et al.* Restoration characteristics and soil nutrient content of *Phyllostachys edulis* forests after strip clear cutting[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2020, **40**(8): 1 407-1 413.
- [27] 王三根. 植物生理生化[M]. 北京: 中国林业出版社, 2013.
- [28] 高小敏, 刘世荣, 王一, 等. 穿透雨减少和氮添加对毛竹叶片和细根化学计量学的影响[J]. 生态学报, 2021, **41**(4): 1 440-1 450.
- GAO X M, LIU S R, WANG Y, *et al.* Effects of through-fall reduction and nitrogen addition on stoichiometry of leaf and fine root in *Phyllostachys edulis* forests[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, **41**(4): 1 440-1 450.
- [29] 詹美春. 苏南带状采伐毛竹林分恢复特征研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2019.