

带状采伐后不同时期毛竹林恢复 和土壤养分特征

张洋洋¹, 凡莉莉¹, 徐文达², 阿卜来提·达伍提¹, 荣俊冬¹, 郑郁善^{1,2*}

(1 福建农林大学 林学院, 福州 350002; 2 福建农林大学 园林学院, 福州 350002)

摘要: 为研究带状采伐毛竹林对竹林恢复和土壤养分的影响, 以福建省建瓯市毛竹林为研究对象, 设置 5 m (处理 1, C_1) 和 7 m (处理 2, C_2) 2 种采伐宽度, 以不进行采伐处理为对照 (CK), 研究采伐后当年新鞭生长期 (I 时期, 2018 年 10 月) 和采伐后次年新立竹生长期 (II 时期, 2019 年 6 月) 新竹生长相关指标和土壤养分变化特征。结果表明: (1) C_1 、 C_2 、CK 处理的出笋数量分别为 2 227、2 650 和 1 955 株 $\cdot \text{hm}^{-2}$, 且 C_2 与 C_1 、CK 差异显著 ($P < 0.05$); 退笋率各处理之间无显著差异 ($P > 0.05$), 表现为 $C_1 < \text{CK} < C_2$ 。(2) 2 种采伐处理的胸径 (DBH) 显著低于 CK, 表现为 $\text{CK} > C_2 > C_1$ 。(3) 采伐后 I 时期和 II 时期相比, 土壤全磷 (TP) 和全钾 (TK) 含量增加, 全氮 (TN) 和全碳 (TC) 含量降低; 采伐后 I 时期的 C_1 、 C_2 处理中土壤 TN、TP、TK 和 TC 含量均大于 CK, 但采伐后 II 时期的土壤 TC 含量小于 CK。研究认为, 带状采伐能提高出笋量和立竹数, 增加土壤氮磷钾养分含量; 7 m 带状采伐竹林恢复状况整体上优于 5 m 带状采伐。

关键词: 毛竹林; 带状采伐; 竹林恢复; 土壤养分; 采伐宽度

中图分类号: Q948.1; S751⁺.5

文献标志码: A

Restoration Characteristics and Soil Nutrient Content of *Phyllostachys edulis* Forests after Strip Clear Cutting

ZHANG Yangyang¹, FAN Lili¹, XU Wenda², ABULAITI Dawuti¹,

RONG Jundong¹, ZHENG Yushan^{1,2*}

(1 College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2 College of Landscape, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: To study the characteristics of soil quality restoration after strip clear cutting, we took the *Phyllostachys edulis* forest in Jian'ou City, Fujian Province as the research object, set 5m (Treatment 1, C_1) and 7 m (Treatment 2, C_2) two kinds of cutting width, with a control (CK) with no cutting, the characteristics of new bamboo growth and soil nutrient changes in the new whip growing period (period I, October-2018) and the next year after harvesting (period II, June-2019) were studied. The results showed that: (1) the number of shoots by C_1 , C_2 and CK were 2 227, 2 650 and 1 955 plant $\cdot \text{hm}^{-2}$, respectively. C_2 treatment was significantly different from C_1 and CK ($P < 0.05$); There was no significant difference ($P > 0.05$) between the treatments of the rate of returning bamboo shoots, which showed that $C_1 < \text{CK} < C_2$.

收稿日期: 2020-05-13; 修改稿收到日期: 2020-06-30

基金项目: “十三五”国家重点研发计划 (2016YFD0600902); 福建农林大学科技创新专项基金 (CXZX2016070); 福建省科技创新团队“环境友好型竹资源精准培育与利用”项目 (闽教科 2018[49]号)

作者简介: 张洋洋 (1993—), 男, 硕士研究生, 从事森林培育学研究。E-mail: 2829487782@qq.com

* 通信作者: 郑郁善, 男, 教授, 博士生导师, 从事森林培育学研究。E-mail: zys1960@163.com

(2) The DBH of the two harvesting treatments were significantly lower than that of CK, shown by $CK > C_2 > C_1$. (3) After logging, the contents of TP (total phosphorus) and TK (total potassium) in soil increased, while the contents of TN (total nitrogen) and TC (total carbon) decreased, compared with those of II period. The contents of soil TN, TP, TK and TC under C_1 and C_2 treatments were all greater than that of CK during period I, but the soil TC content was less than that of CK during period II. The results showed that, strip cutting could increase the number of bamboo shoots and bamboo stands and increase the contents of nitrogen, phosphorus and potassium in soil. The recovery status of 7 m strip cutting in bamboo forest was better than that of 5 m cutting overall.

Key words: *Phyllostachys edulis* forest; strip clear cutting; bamboo forest restoration; soil nutrients; cutting width

中国竹类资源丰富,称为“竹子王国”,全国竹林总面积已超 600 余万 hm^2 ,约为世界竹林总面积的 1/4,竹产业称为竹乡经济发展和群众致富的支柱产业^[1];毛竹林约 450 万 hm^2 ,占全国竹林总面积的 75%,广泛分布在浙江、安徽、江西、湖南和福建等省区^[2]。毛竹(*Phyllostachys edulis*)为禾本科(Gramineae)竹亚科(Bambusoideae)刚竹属(*Phyllostachys*)多年生乔木状单轴散生竹种^[3],毛竹具有生长迅速、成材较早、产量较高、用途广等特点^[4],在竹产品方面提供优质且廉价的原材料,是重要的经济竹种。目前竹产业发展面临经营方式粗放、竹材运输成本高、市场无序竞争、人工择伐效率低成本高等问题,进一步限制了其发展^[5]。毛竹林是典型的异龄林,传统模式主要以择龄采伐和全林皆伐为主,人工择伐主要以留养①~④度竹(即 1~7 年生),砍伐⑤度(11 年生)及其以上或部分④度竹子为主^[6],竹林年龄结构合理,林分质量好,但效率低成本高;全林皆伐节约劳动力,但易造成竹林退化^[7],传统采伐方式目前无法满足林业现代化的要求。因此,探索一种能够突破传统模式,解决低效、成本高等问题的新的竹林采伐模式,有助于实现毛竹产业转型升级^[8]。带状采伐,即按照一定的宽度、一定面积对毛竹林实施条带式皆伐^[9]。该方式砍伐时间集中,采伐方式简易,有助于实现机械化操作模式,促进毛竹林产业升级。

在毛竹林带状采伐后当年新鞭生长期(I 时期,2018 年 10 月)和采伐后次年新立竹生长期(II 时期,2019 年 6 月)进行土壤采集与测定,因新竹生长所需营养绝大部分来源于土壤,林地中地下竹鞭系统结构复杂,繁殖靠竹鞭的蔓延生长,鞭、竹、笋三者关系密切,受林地养分的影响较大,对 2 个不同时期的土壤养分变化情况进行研究,分析比较不同处理伐后次年毛竹林的主要生产指标(出笋数量、立竹数量、胸径、退笋率)之间差异,得出 2 种不同采伐宽度

的带状采伐对竹林恢复和土壤养分的影响,为毛竹林带状采伐更新恢复及可持续发展提供理论依据。

1 研究区概况与试验方法

1.1 研究区概况

试验地位于福建省建瓯市房道镇千竹园毛竹林地($E117^{\circ}58' \sim 118^{\circ}13'$, $N26^{\circ}38' \sim 27^{\circ}02'$),属中亚热带海洋性季风气候,四季分明,雨量充足,春夏多雨,年平均降水量 1 600~1 800 mm^[10],年平均气温 19.3°C ,海拔 360~370 m,年日照时间 1 612 h,年平均无霜期 286 d^[11],土壤为黄红壤,土层厚度 60~80 cm。试验地内竹林覆盖率达 99% 以上,其间混生少量针阔叶树,主要有杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、锥(*Castanopsis chinensis*)、木荷(*Schima superba*);林下灌木与草本植物茂密,灌木主要有地荃(*Melastoma dodecandrum*)、寒莓(*Rubus buergeri*)、决明(*Cassia tora*)、朱砂根(*Ardisia crenata*);草本主要有金毛耳草(*Hedyotis chrysotricha*)、芒萁(*Dicranopteris dichotoma*)、香附子(*Cyperus rotundus*)等。林下土壤 pH 值 4.17~4.30,土壤平均全氮(total nitrogen, TN)含量 $0.52 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全磷(total phosphorus, TP)含量 $0.65 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全钾(total potassium, TK)含量 $12.6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全碳(total carbon, TC)含量 $16.7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

1.2 样地设置

2018 年 6 月中旬,选择立地条件相似,同一海拔,林分结构一致的毛竹纯林进行垂直带状齐地采伐,样地总面积 $2\ 160 \text{ m}^2$ (0.216 hm^2)。试验共设置 2 种采伐宽度,分别为 5 m(C_1)和 7 m(C_2),每条采伐带均沿不同海拔,长度均为 30 m,采伐标准样地之间按照采伐宽度设置相同的保留带(CK),每个采伐带 3 次重复共 6 个试验标准样地。对 CK 区域进行择伐(小年冬季采伐④度及以上毛竹,保留③度以下毛竹)。同时对所有样地立刻进行撒施肥料,施肥

表 1 采伐前标准样地概况
Table 1 Survey of sample plots

处理 Treatment	密度 Density (individual · hm ⁻²)	平均胸径 Mean DBH/cm	平均竹高 Mean height/m	年龄结构 Age structure (① : ② : ③)	坡度 Slope/°	坡向 Aspect
C ₁	1 767±250	8.68±0.73	11.12±0.87	0.42 : 0.37 : 0.21	18	北 North
C ₂	1 832±258	8.62±0.88	12.43±1.03	0.38 : 0.36 : 0.26	20	北 North
对照 CK	1 789±195	8.85±1.02	10.86±0.96	0.35 : 0.38 : 0.27	21	北 North

注:①. 1 年生;②. 2~3 年生;③. 4~5 年生
Note: ①. One-year-old; ②. 2-3 years old; ③. 4-5 years old

采用山东克素农业科技有限公司生产的复合肥(N : P : K=19 : 19 : 19),施肥量为 1 125 kg · hm⁻²,采伐前标准样地的基本情况见表 1。

1.3 生长量调查与土壤采集测定

1.3.1 出笋数量、立竹数、胸径调查 从 2019 年 3 月 1 日~4 月 30 日,每隔固定间隔日期记录各试验样地内出笋数量、退笋数量;立竹数量选择在 2019 年 8 月进行调查,针对各试验样地内所有毛竹进行每株检尺,统计并记录。

1.3.2 土壤样品采集 分别在采伐后 I 时期(2018 年 10 月)和 II 时期(2019 年 6 月)进行土壤样品的采集。土壤化学性质按照在每块标准地上、中、下坡,挖 1 个主剖面 and 1 个辅剖面,共 3 个主剖面和 3 个辅剖面,同一剖面按 0~10、10~20 和 20~40 cm 3 层深度取原状土,每层 200 g,同一土层的 3 份样品分别混合,每块标准地共取 3 个土样,装于已灭菌的自封袋;土样用镊子剔除石块、植物残根等杂物,放在阴凉通风处晾干后研磨过筛待测。

1.3.3 指标测定与分析 土壤养分含量化学性质均按照《森林土壤分析法》相关要求测定^[12]。TC 和 TN 含量采用碳氮分析仪(德国元素分析系统有限公司, vario MAX cube CN)测定;TP 含量采用碱熔-钼锑抗比色法测定;TK 含量采用碱熔-火焰光度计法测定。

1.4 数据分析

采用 Excel 2010 和 SPSS 20.0 软件进行数据处理与统计分析。采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和多重比较(Multiple comparison, LSD)法进行差异显著性检测,差异显著性水平定义为 0.05,试验数据以平均值±标准差表示。

2 结果与分析

2.1 带状采伐对竹林恢复特征的影响

春笋和新竹的数量特征一定程度上能够表征毛竹林更新能力,毛竹林平均胸径在在一定程度

上反映了毛竹林的平均水平,也是影响毛竹林产量的重要测树因子之一^[13];退笋率为退笋数占总出笋数的比值,该现象是竹林自动调节机制的一种反映。

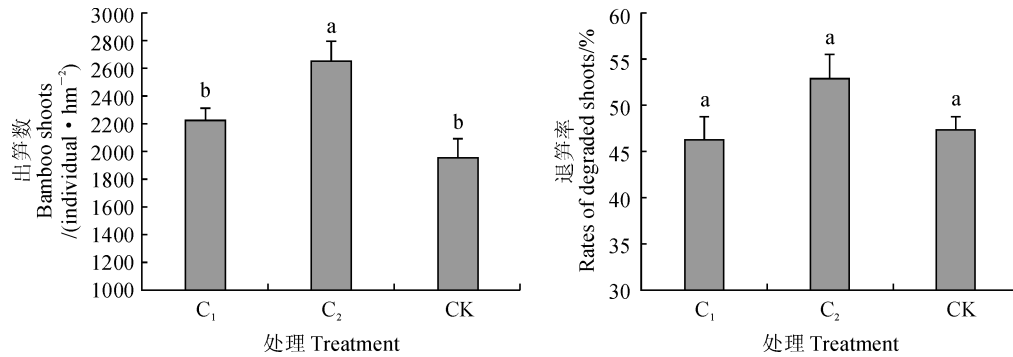
2.1.1 出笋数量和退笋率 从图 1 可知,C₁、C₂、CK 处理出笋数量分别为 2 227、2 650 和 1 955 株 · hm⁻²,表现为 C₂>C₁>CK,C₂ 处理与 C₁、CK 差异显著(P<0.05),表明带状采伐处理有利于竹林次年春笋数量的增加,且 7 m 带状采伐出笋数比 5 m 带状采伐高。在退笋率方面,处理之间无显著差异(P>0.05),表明采伐对退笋率无显著影响。

2.1.2 立竹数和胸径 从图 2 可知,C₁、C₂、CK 处理立竹数分别为 1 190、1 238、1 022 株 · hm⁻²,表现为 C₂>C₁>CK,C₁、C₂ 处理与 CK 差异显著(P<0.05),表明带状采伐处理有利于竹林次年立竹数的增加且 7 m 带状采伐立竹数比 5 m 带状采伐高。在胸径方面,C₁、C₂、CK 处理平均 DBH 表现为 CK>C₂>C₁,且 C₁ 与 CK 处理差异显著(P<0.05),表明带状采伐后处理 DBH 降低,且 7 m 带状采伐 DBH 比 5 m 带状采伐高。

2.2 带状采伐对毛竹林土壤养分含量的影响

带状采伐对毛竹林土壤 TN、TP、TK 和 TC 含量的影响如图 3 所示。土壤是植物生长的基础,其肥力状况对林分生产力有着重要影响,不同处理在采伐后 I、II 时期土壤全效养分含量发生了明显变化,土壤 TN、TP 和 TK 含量均随着土层深度的增加而逐渐降低。

采伐后 I、II 时期,C₁、C₂、CK 处理在不同土层 TN 含量平均值表现为 C₂>C₁>CK;方差分析表明,I 时期,在土壤下层(20~40 cm)各处理差异显著(P<0.05)(图 3,a);II 时期,同一处理 TN 含量在不同土层之间差异显著(P<0.05),C₂ 处理与 C₁、CK 在不同土层中差异显著(P<0.05)(图 3,b)。采伐后 I、II 时期,C₁、C₂、CK 处理各土层土壤 TP 含量均表现为 C₁>C₂>CK;I 时期,TP 含量在土壤表



不同小写字母表示不同处理间的差异达显著水平($P < 0.05$);下同

图1 带状采伐对毛竹林出笋数量和退笋率的影响

Different lowercase letters indicate significant differences between different treatments($P < 0.05$). The same as below

Fig. 1 The effect of strip cutting on the number of shoots(left) and the rate of returning bamboo shoots (right) in *P. edulis* forest

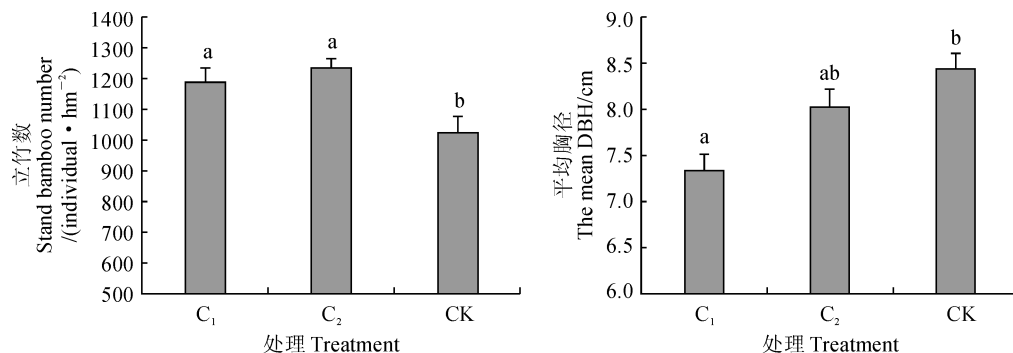


图2 带状采伐对毛竹林立竹数和胸径的影响

Fig. 2 The effect of strip cutting on the number of standing bamboo (left) and DBH(right) in *P. edulis* forest

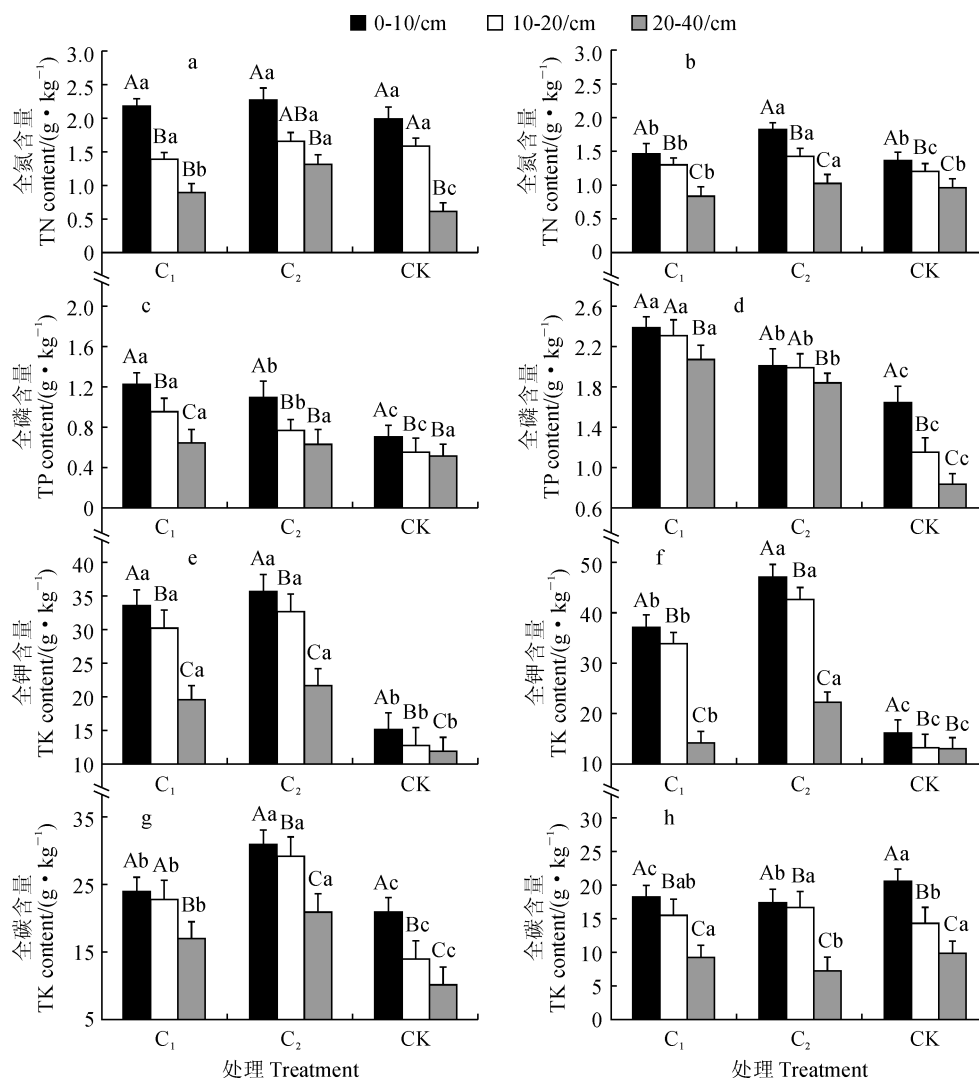
层(0~10 cm)与中下层(10~40 cm)差异显著($P < 0.05$),在土壤中上层(0~20 cm)各处理差异显著($P < 0.05$)(图 3,c);Ⅱ时期,C₁、C₂、CK 处理在不同土层之间均表现为差异显著(图 3,d)。采伐后Ⅰ、Ⅱ时期,C₁、C₂、CK 处理各土层土壤 TK 含量均表现为 C₂ > C₁ > CK,且 C₁、C₂ 处理均与 CK 在同一土层中差异显著($P < 0.05$)(图 3,e,f)。采伐后Ⅰ时期,C₁、C₂、CK 处理不同土层 TC 含量的平均值表现为 C₂ > C₁ > CK,而采伐后Ⅱ时期表现为 CK > C₁ > C₂;Ⅰ时期,C₂ 处理与 C₁、CK 在不同土层中差异显著($P < 0.05$)(图 3,g);Ⅱ时期,C₁、C₂、CK 处理在不同土层之间均表现为差异显著(图 3,h)。采伐后Ⅱ时期较Ⅰ时期不同土层平均 TP 和 TK 含量增加,TN 和 TC 含量降低。

3 结论与讨论

森林采伐更新作为最重要的经营措施之一,是连接林业生产和再生产的重要环节,如何把森林采伐中取得的成果与经验运用到竹林中需要逐步探

索,大部分学者对森林采伐后林木生长及土壤理化性质研究较多,而采伐对象为毛竹林的研究较少,目前处于初步探索阶段。采伐作为一种重要的干扰形式和抚育措施,其采伐目标和强度直接影响林分质量与生产能力^[14],毛竹作为克隆植物,有相连克隆分株传送养分作用^[15],竹连鞭,鞭生笋,笋长竹,竹又养鞭,如母竹经竹鞭孕笋成竹^[6, 16],使毛竹林伐后快速更新。伐后毛竹林地内光照和水分充足,有利于植物进行光合作用,从而积累毛竹林生长所需营养物质,且不同程度的采伐能改变竹林空间结构与林分密度^[17]。

出笋数和立竹数能直观判断毛竹林伐后更新效果如何,其立竹数随出笋数多少而变化,出笋愈多成竹也愈多,反之则少,二者密切相关呈正态分布^[6]。在本研究中,2 种采伐处理(C₁、C₂)出笋数量和立竹数均大于 CK,表明带状采伐在伐后 1a 对出笋数量和立竹数方面有较好效果,与曾宪礼等^[9, 18]认为带状采伐方式促进了林地春笋的萌发,且能提高成竹数量的结论一致;同时因伐后有机物质的积累,为新



a, c, e, g. 伐后 I 时期; b, d, f, h. 伐后 II 时期; 不同大写字母表示同一处理下不同土层间的差异达显著水平 ($P < 0.05$), 不同小写字母表示同一土层不同处理间的差异达显著水平 ($P < 0.05$)

图 3 带状采伐对毛竹林土壤养分含量的影响

a, c, e, g. The period I after clear cutting; b, d, f, h. The period II after clear cutting; Different capital letters indicate significant differences between different soil layers under the same treatment ($P < 0.05$), while different lowercase letters indicate significant differences between treatments in the same soil layer ($P < 0.05$)

Fig. 3 Effect of strip cutting on soil nutrient content of *P. edulis* forest

鞭的繁殖与更新生长提供有利条件,从而提高笋产量。其他学者认为因毛竹具有克隆整合作用,竹林皆伐会使新竹数增加^[19],该结果可能与林地内休眠芽有关,继而产生新生分株^[7, 20];王龙凤等^[7]研究结果表明,留竹林通过克隆整合促进了行鞭延伸到已皆伐林地内,促进了皆伐林地内竹笋生长发育,同时皆伐林地的新竹数量多于留竹林,与本研究结果一致。现有学者对毛竹林带状采伐的宽度研究很少,如李欣欣等^[21]通过设置 6、8 和 10 m 的 3 种不同强度带状采伐,对伐后 1 a 新竹的相关生理指标展开研究,认为采伐宽度为 8 m 时毛竹生长状况较好,

而谭宏超等^[19]设置带状皆伐宽度为 3、6 和 9 m,得出采伐带宽为 6 m 的竹林恢复综合效果最好的结论;因此本研究设置 5 m 和 7 m 宽度的带状采伐,初步得出 7 m 带状采伐在出笋数量和立竹数方面优于 5 m 采伐。在毛竹的初盛期期间,林地内大量出笋,而新竹高生长消耗过多的养分,造成大量退笋,退笋率上升,一般当毛竹笋生长到 20~30 cm 高度以及结合退笋特性判定是否为退笋^[6],在林地内及早挖取末期退化小笋,保证竹笋营养正常供给,保持合理的立竹量和均匀分布,对丰产林护笋养竹具有重要意义。在本研究中,伐后 1a 毛竹林地内退笋

率表现为 $C_2 > CK > C_1$, 表明 7 m 的采伐带呈现高出笋数量、高立竹数, 退笋率同样较高的情况。DBH 是毛竹林立地条件、生长状况及群体结构的综合表现, 不仅能直接反映试验效果, 也能反映毛竹林质量^[22-23], 毛竹因没有周期性径向生长过程, 仅靠地下笋发育到出土时, 因此“笋多粗竹子就多粗”^[24]。在本研究中, C_1 、 C_2 处理 DBH 均小于 CK, 表明带状采伐导致伐后 1a 新竹 DBH 下降, 与曾宪礼等^[9]认为带状采伐对 DBH 有负面影响的结论一致; 其中 $C_2 > C_1$ 处理, 表明 7 m 带状采伐在抑制 DBH 方面大于 5 m 采伐。

土壤是植物生长的基质与载体, 根系从土壤中吸收养分和水分, 其养分状况直接或间接影响林木生长, 同时林木通过新陈代谢活动及凋落物分解、养分循环等方式反作用于土壤。毛竹林生长需要消耗较多的土壤养分, 尤其在林地采伐更新后毛竹林生长需要更多土壤营养供给, 土壤中大量元素(N、P、K)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^[25]。C 是生命骨架元素, 植物叶片通过光合同化 C, 为植物生理生长提供能量, 因此毛竹林采伐后土壤的研究对于竹林恢复具有重要意义。土壤 TN、TP、TK 和 TC 含量是土壤氮、磷、钾、碳元素供应能力的反映。在本研究中, 采伐初期的 2 种采伐处理(C_1 、 C_2)土壤 TN、TP、TK 和 TC 含量均大于 CK; 而在更新恢复 1 a 后表现为除土壤 TC 含量小于 CK 外, 其余 TN、TP 和 TK 含量依旧均大于 CK, 表明带状采伐能稳定提高土壤 TN、TP 和 TK 含量, 而随采伐时间的延长, TC 含量下降, 可能与采伐后初期林地内毛竹剩余物有关, 在分解

过程中促进短期内 TC 含量增加, 随后减少相关。伐后土壤 TN 和 TK 均表现为 $C_2 > C_1$, 表明在土壤供 N 和供 K 能力方面, 7 m 带状采伐优于 5 m 带状采伐。在对林木的采伐中, 随采伐宽度的增加, 有利于土壤养分的释放, 但采伐强度过大, 会产生负面影响^[14], 同时采伐季节也可能造成结果不同, 因此在毛竹林采伐试验中还需要进一步开展研究^[8]。

带状采伐宽度对毛竹林伐后 1 a 竹林恢复特征方面的影响存在差异, 林地经过采伐后出笋数量和立竹数明显增加, 但新竹胸径下降, 这一结果与林地内土壤养分含量密切相关, 鲁顺保^[26]和王雷等^[27]学者认为土壤养分对立竹数有显著影响, 即竹林生长状况与土壤养分亏缺直接相关。综上所述, 带状采伐后毛竹林土壤养分含量整体呈上升趋势, 尤其在全磷和全钾含量方面; 7 m 带状采伐竹林恢复及土壤养分质量综合优于 5 m 采伐。

在本研究中, 对保留带进行④度及以上的竹株进行择伐; 采伐时间选择在 6 月份, 属于探索阶段, 与目前部分学者对此方面的研究选择在冬季进行采伐相反, 在该时期进行采伐, 竹林可能会出现“伤流”现象并伤流量达到峰值, 伤流液中含有多种营养成分, 包括氮磷钾以及糖类物质^[28]; 此外, 夏季 6 月毛竹林处于生长期, 而采伐林地内没有母株给次年笋孕育与生长提供营养, 故对采伐带与保留带进行同等单位的施肥, 以来保证次年竹林可以快速恢复, 但肥料可能会对试验结果产生影响, 故采取的是撒施方式, 4 个月后肥料对试验结果影响较小, 能在最大程度上规避肥料因素的影响。

参考文献:

- [1] 马乃训, 陈光才, 袁金玲. 国产竹类植物生物多样性及保护策略[J]. 林业科学, 2007, 43(4): 102-106.
MA N X, CHEN G C, YUAN J L. Bamboo biodiversity and conservation strategies in China[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2007, 43(4): 102-106.
- [2] 王宏. 毛竹林生态型模式施肥应用研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2011.
- [3] 耿伯介, 王正平. 《中国植物志》九卷一分册(禾本科——竹亚科)编后记[J]. 竹子学报, 1996, (1): 77-79.
GENG B J, WANG Z P. Compilation of "Volume of Chinese Flora" nine volumes and one volume (Gramineae-bamboo Sub-family) [J]. *Journal of Bamboo Research*, 1996, (1): 77-79
- [4] 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.
- [5] 杨婷婷. 立地条件对实生毛竹林生长的影响[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2015.
- [6] 郑郁善, 洪伟. 毛竹经营学[M]. 福建厦门: 厦门大学出版社, 1998.
- [7] 王龙凤, 范承芳, 梁宽, 等. 基于克隆整合特性的劳动节约型竹林采伐新模式探索[J]. 江西农业大学学报, 2016, 38(6): 1110-1118.
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): 1110-1118.
- [8] 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.
- [9] 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 mosobamboo forests under strip clear cutting [J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.*, 2019, **39**(5): 917-924.
- [10] 庄舜尧, 季海宝, 张厚喜, 等. 福建省建甌市毛竹林生态系统固碳状态研究[J]. 生态环境学报, 2012, **21**(7): 1 200-1 204.
ZHUANG S Y, JI H B, ZHANG H X, *et al.* Carbon fixation status of *Phyllostachys pubescens* ecosystem in Jian'ou City, Fujian Province [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2012, **21**(7): 1 200-1 204.
- [11] 巫志龙, 周成军, 周新年, 等. 杉阔混交林不同强度择伐对土壤温度的影响[J]. 森林与环境学报, 2015, **35**(1): 8-12.
WU Z L, ZHOU C J, ZHOU X N, *et al.* Effects of different intensities of selective cutting on soil temperature in *Cunninghamia lanceolata*-broadleaved mixed plantation [J]. *Journal of Forest and Environment*, 2015, **35**(1): 8-12.
- [12] 国家林业局. 中华人民共和国林业行业标准. 森林土壤分析方法[M]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [13] 何东进, 洪伟, 吴承祯. 毛竹林林分平均胸径模拟预测模型的研究[J]. 林业科学, 2000, **36**(1): 148-153.
HE D J, HONG W, WU C Z. A study on simulating predictive model of mean DBH for bamboo stands [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2000, **36**(1): 148-153.
- [14] 苏文会, 朱晓武, 范少辉, 等. 采伐对森林生态系统的影响综述[J]. 林业资源管理, 2017, (3): 35-40.
SU W H, ZHU X W, FAN S H, *et al.* Review of effects of harvesting on forest ecosystem [J]. *Forest Resources Management*, 2017, (3): 35-40.
- [15] 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.
- [16] SUN H, LI Q, LEI Z, *et al.* Ecological stoichiometry of nitrogen and phosphorus in moso bamboo (*Phyllostachys edulis*) during the explosive growth period of new emergent shoots [J]. *Journal of Plant Research*, 2019, **132**(1): 107-115.
- [17] ASHRAF M, HARRIS P J C. Photosynthesis under stressful environments: an overview [J]. *Photosynthetica*, 2013, **51**(2): 163-190.
- [18] 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.* Soil quality assessment in moso bamboo forests under different strip clear cutting [J]. *Chinese Journal of Ecologica*, 2019, **38**(10): 3 015-3 023.
- [19] 谭宏超, 谭汝强, 张翼飞. 3种皆伐方式对毛竹林更新生长的影响[J]. 世界竹藤通讯, 2017, **15**(3): 52-55.
TAN H C, TAN R Q, ZHANG Y F. Effect of three clear-cutting patterns on the regeneration and growth of *Phyllostachys pubescens* [J]. *World Bamboo and Rattan*, 2017, **15**(3): 52-55.
- [20] 魏宇航, 周晓波, 陈劲松, 等. 模拟采食干扰下克隆整合对两种箭竹分株种群更新的影响[J]. 植物生态学报, 2013, **37**(8): 699-708.
WEI Y H, ZHOU X B, CHEN J S, *et al.* Effect of clonal integration on ramet population regeneration of two *Fargesia* (bamboo) species under simulated ingesting interference [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2013, **37**(8): 699-708.
- [21] 李欣欣, 赖金莉, 于增金, 等. 不同皆伐条带对材用毛竹林新竹生理指标的影响[J]. 现代农业科技, 2018, (18): 122-125.
LI X X, LAI J L, YU Z J, *et al.* Effect of different clear cutting band on physiological indexes of *Phyllostachys pubescens* [J]. *Modern Agricultural Science & Technology*, 2018, (18): 122-125.
- [22] 孙刚, 邓文鑫, 王陆军, 等. 安徽肖坑天然毛竹林生产力及其土壤养分特点[J]. 经济林研究, 2009, **27**(3): 28-32.
SUN G, DENG W X, WANG L J, *et al.* Soil nutrient characteristics and productivity of natural *Phyllostachys pubescens* forest in Xiaokeng, Anhui [J]. *Nonwood Forest Research*, 2009, **27**(3): 28-32.
- [23] 封焕英, 范少辉, 苏文会, 等. 竹林专用矿渣肥对毛竹发笋成竹影响的研究[J]. 林业科学研究, 2012, **25**(3): 407-410.
FENG H Y, FAN S H, SU W H, *et al.* Effect of special slag fertilizer on the growth of *Phyllostachys edulis* bamboo shoot [J]. *Forest Research*, 2012, **25**(3): 407-410.
- [24] 张莹, 田埂, 路慧萍, 等. 厚壁毛竹六个节气笋芽发育的转录组分析[J]. 江西农业大学学报, 2015, **37**(3): 466-474.
ZHANG Y, TIAN G, LU H P, *et al.* Transcriptome characterization of *Phyllostachys edulis* 'pachyloen' shoots in different solar terms [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2015, **37**(3): 466-474.
- [25] 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.
- [26] 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, (1): 205-208.
LU S B, ZHANG Y J, GONG X, *et al.* Study on correlation between soil nutrient and growth of *Phyllostachys pubescens* and bamboo shoots [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2011, (1): 205-208.
- [27] 王雷, 赵阳, 周佳佳, 等. 安徽毛竹林生产力与土壤养分关系分析[J]. 安徽农业大学学报, 2013, **40**(1): 11-14.
WANG L, ZHAO Y, ZHOU J J, *et al.* Relationship between productivity and soil nutrient of *Phyllostachys pubescens* forest in Anhui [J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2013, **40**(1): 11-14.
- [28] 汪奎宏, 黄伯惠, 胡正坚. 毛竹周年采伐的伤流规律研究[J]. 竹子研究汇刊, 1995, (1): 33-41.
WANG K H, HUANG B H, HU Z J. Study on the law of injury flow in moso bamboo annual logging [J]. *Journal of Bamboo Research*, 1995, (1): 33-41.

(编辑:潘新社)