

关于带状采伐毛竹林涵养水源功能的研究思考

黎旻恺^{1,2} 官凤英^{*1,2} 周潇^{1,2} 张璇^{1,2}

(1.国际竹藤中心 北京 100102; 2.江苏宜兴竹林生态系统国家定位观测研究站 宜兴市 214206)

摘 要: 毛竹是我国材用竹主要竹种,对于毛竹竹材采收一直停留在人工择伐这一传统方法。已经有学者对毛竹林实行带状采伐,并做出了大量的研究证明,伐后毛竹林可以恢复至自然状态。森林生态系统的多功能性近些年来一直是国际上研究的热点。在林分水平上,将对森林生态系统的多功能性与森林经营的研究进行有机结合,对于实行森林可持续经营至关重要。本文针对对带状采伐毛竹林的研究进展作出归纳,并从竹林生态系统多功能性角度出发,思考下一步研究方向,以期解决高效毛竹竹材收获和保护毛竹林生态服务价值之间的矛盾。

关键词: 毛竹; 带状采伐; 涵养水源; 森林生态; 森林经营

Reflection of the Study on the Water Conservation Ability of Strip Cutting Moso Bamboo Forest

Abstract: Moso bamboo is the main bamboo species for timber in China, while artificial selective logging has always been adopted for bamboo harvesting. Scholars have already implemented strip cutting of bamboo forests and conducted extensive researches to prove that bamboo forests can be restored to their natural state after cutting. The multifunctionality of forest ecosystems has been a heated research topic internationally in recent years. The integration of the research on multifunctionality of forest ecosystems with forest management is crucial for implementing sustainable forest management. In this paper, we summarize the research progress on strip cutting of bamboo forests and considers the next research direction from the perspective of multifunctionality of bamboo ecosystem, in order to solve the contradiction between efficient harvesting of bamboo and protecting the ecological service value of bamboo forests.

Key words: Moso bamboo; Strip cutting; Water conservation; Forestry ecology; Forest management.

1 前言

毛竹 (*Phyllostachys edulis*) 林是我国重要的森林资源,兼具了食用、材用、药用等经济价值及造林、水土保持等生态价值(李玉敏等,2019)。毛竹广泛分布于我国南部地区,如浙江、福建及湖南等地。在中国,竹林经营有着上千年的历史,抚育与管理技术一直走在世界前列。

传统的毛竹林经营技术源自于林农劳动生产过程中对于毛竹生长特性的观察与了解。毛竹是大型的散生竹种,胸径介于 6-15 cm 之间,竹高 8-20 m 不等。毛竹地下竹鞭根系统分布错综复杂,且地下竹鞭具有较强的扩张性(沈蕊等,2016),自然条件下能够护张至邻近的针叶林或者阔叶林中,从而形成竹针或竹阔混交林(欧阳明等,2016;刘骏等,2013)。通常情况下,毛竹通过地下竹鞭上的笋芽孕育竹笋,竹笋在春季水热充沛时破土成竹,从春笋长成幼竹一般在 35-40 天左右,并在新竹的第一年便完成高生长。毛竹生长具有明显的节律,通常称为毛竹生长的“大小年”,大年毛竹林大量发笋形成新竹,小年发笋量少,但地下竹鞭生长量大,竹子开始换叶(范少辉,2018)。带状采伐经营模式根据毛竹的特点,由保留带通过鞭根系统供给养分,使采伐带的新竹恢复至伐前水平。

森林生态系统的多功能性,是指森林生态系统同时提供多种功能和服务的能力。近些年来一直是国际

基金项目: 竹林多目标高效经营技术(2023YFD2201203)。

*官凤英为通讯作者。

上的研究热点(王凯等, 2022), 学者们在度量指标、评价方法、生物多样性与多功能性关系、多功能性驱动因素、模型预测和经营规划方面都取得了进展。如何通过森林经营发挥森林生态系统的多功能性仍然存在挑战和不确定性(Winkel G, 2022; Thrippleton T, 2021), 因此, 需要进一步将森林生态系统多功能性理论与森林经营进行有机结合, 从而更好地实施多功能森林经营。本文对带状采伐毛竹林现有的研究进行归纳总结, 并对这一经营模式的下一步研究进行一定思考。

2 带状采伐毛竹林经营模式研究进展

采伐是森林经营管理中一项非常重要的技术和手段, 贯穿着森林培育和经营管理的始末。虽然我国毛竹林经营技术成熟、研究成果颇丰, 但有关毛竹林采伐的研究较少, 其主要原因是毛竹生长特性决定了毛竹传统的采伐方式为人工择伐(谭宏超等, 2017; 陈家洪等, 2010)。采伐是毛竹林的重要收获方式, 毛竹具有克隆特性, 每年出笋更新形成典型的异龄林分(王龙凤等, 2016; Bai, S., 2016)。人工择伐 4-5 年生竹株, 需要能够辨识竹龄且经验丰富的竹农(刘仕咄等, 2009), 在农村劳动力资源匮乏的条件下, 人工采伐高成本、低回报的现状严重影响了竹农经济收益和经营积极性。基于竹子庞大、复杂的地下根鞭结构及其克隆整合的生态学特性, 已有部分学者通过改变竹林采伐方式来更新竹林传统经营模式。目前有关带状采伐经营模式的研究已经展开, 主要从带状采伐的伐后环境、林分恢复更新和自身结构入手, 探究其对带状采伐的响应机制。

2.1 微环境变化

研究发现, 带状采伐后林地太阳辐射强度相对增大, 且变化幅度较强; 大气温度日变化幅度较小, 空气温度日变化幅度较大, 与林分大气温度变化趋势相反(申景昕等, 2020)。带状采伐后, 毛竹林地土壤湿度降低, 土壤酶活性增强, 速效养分分解效率加快(曾宪礼等, 2019)。

2.2 林下植被物种多样性

学者观测一年恢复期后的 3、5、8、12、15 米不同带宽的毛竹林带状采伐样地的郁闭状态及林下植被物种多样性特征, 分析了带状采伐对毛竹林下植被物种多样性影响, 其主要结论为, 带状采伐促进林下植被物种多样性, 同时, 人为采伐促进对物种丰富度有显著促进作用, 8m 和 15m 带宽的样地物种增加最多(詹美春等, 2020)。带状采伐后林下物种丰富度、草本盖度和生物量显著提高, 两个大年后的林下植被多样性指数小于一个大年后。灌木对于毛竹林分恢复的敏感性大于草本, 枝下高是影响林下植被多样性、多度、盖度相关程度最大的因子。李承基等对带状采伐毛竹林进行施肥, 发现采伐当年, 林下植被多样性随施肥配比的氮、钾比例升高而增加, 因此, 施肥可促进林下植被生长, 增加物种多样性。在配比为 $N:P_2O_5:K_2O=3.5:1:2$ 的施肥处理下, 林下植被对养分的利用更为充分, 有利于提高毛竹林分稳定性(李承基等, 2023)。

2.3 伐后新竹生长

王树梅等在 2019-2020 年期间, 对不同宽度带(0、3、9、15m)内的毛竹林实施全林皆伐, 翌年统计各样地内的新竹数量、胸径、枝下高和竹高。结果显示, 随着带状采伐的宽度增加, 采伐带的新竹数量先增加后减少, 新竹数量在 9m 采伐带宽度达到最大值(1 926 株/hm²), 显著高于其他样地(王树梅等, 2021)。曾宪礼等研究发现, 带状采伐随伐带宽度增大出笋量显著增加, 成竹率随采伐宽度增加, 呈先上升后下降趋势, 新竹胸径减小, 枝下高降低经一个恢复期新竹胸径增加, 枝下高增加, 总生物量增大, 生物量分配格局发生变化, 生物量占比下降, 枝、叶生物量占比显著上升(曾宪礼等, 2019)。肖箫等利用混合度、大小比数和角尺度对比不同采伐带宽处理及未采伐对照样地的新生竹空间结构变化情况, 发现带状采伐未改变新生竹空间分布格局, 新生毛竹始终呈现随机分布状态。采用基于空间结构指数的林分空间结构生产函数评价新生竹稳定性, 发现恢复新竹稳定性随着采伐带宽的增加而降低(肖箫等, 2023)。

2.4 地下鞭根特征变化

王树梅等研究发现, 带状采伐后地下鞭根形态结构、生物量分配格局发生变化, 鞭根芽数增加、细根生物量占比增大, 鞭根总芽量增加, 新芽比例和出笋占比显著增加。伐后毛竹林地新鞭节数、鞭根粗度及数量均有增加。带状采伐后春笋的非结构性碳水化合物含量降低, 笋芽可溶性糖、可溶性蛋白及内源激素含量升高, 有助于打破鞭芽休眠, 提高竹株抗逆性, 促进生长发育(王树梅等, 2022; 王树梅等, 2023)。

2.5 养分变化

郑亚雄等以 8 m 带宽采伐样地及其保留样地为研究对象(郑亚雄等, 2023; Yaxiong Z, 2022), 以传统经营毛竹林为对照, 调查伐后 5 年内不同处理样地毛竹生物量、林下灌草生物量、凋落物产量及各组分相应的养分含量, 量化养分流通量。发现, 伐后第 1 年, 不同处理样地内毛竹氮、磷、钾的留存量无显著差异; 采伐样地中氮、磷的归还量减少。伐后 5 年, 保留样地中氮的留存量小于采伐样地和对照样地; 采伐样地中氮、磷、钾的归还量、养分贮量均与对照样地无显著差异。带状采伐显著增加了氮、磷的利用系数, 随着样地的恢复各养分的利用系数逐渐下降, 与对照无差异。该研究能对毛竹林带状采伐经营模式的伐后林地养分管理提供科学依据。

综上所述, 从已有的研究, 可以看出毛竹林带状采伐是一种创新的毛竹收获形式, 目前的研究成果集中于伐后毛竹林是否能恢复至伐前水平。从已有研究结果表明, 带状采伐模式能在一定程度上促进毛竹林的生长发育, 配合其他林分抚育措施, 能够使林分恢复, 并且相较于传统的毛竹采伐模式更具有经济效益。因此, 全面推广毛竹林带状采伐模式具有可行性。全面推广创新的带状采伐经营模式, 需要进一步从竹林生态系统服务的多功能性进行考虑。张会儒和唐守正总结了前人对森林生态采伐的理论, 给出定义: 依照森林生态理论指导森林采伐作业, 使采伐和更新达到既高效利用森林又促进森林生态系统的健康与稳定, 达到森林可持续利用目的(张会儒, 唐守正, 2008)。在林分层次上, 要针对更多的森林类型确定其特定的采伐更新模式, 重视森林生态系统的结构多样性和完整性, 在取得一定木材收获量的同时, 最大限度地改善林分结构, 使森林生态系统始终维持在理想的结构状态, 以保持生态系统的健康、活力和完整性, 充分发挥系统的各种功能, 实现森林的可持续经营。

3 将森林生态系统多功能性理论与森林经营进行有机结合—以涵养水源为例

涵养水源是森林生态系统的重要功能之一。森林通过多种方式对水资源进行保护和维护, 影响着地表水和地下水的平衡。随着研究的深入, 涵养水源内涵逐渐丰富, 不同学者的理解不同, 如今, 涵养水源的研究对象由森林生态系统扩展到具备涵养水源能力的区域, 涵养水源量定义为某区域在一定时段内收入与支出水量之差(Heng, T., 2020; 王云飞等, 2021)。从表现形式来看, 涵养水源功能主要有水源供给、调节径流、拦蓄洪水、净化水质、水土保持和调节局地气温等(Janet, D., 2020)。森林只有在合理的经营条件下才能实现生态效益和经济效益的不断增强, 而采伐又是森林经营措施的关键环节, 对森林的稳定性有很重要的影响, 伐后森林的稳定性是评价采伐经营措施的直接依据(李荣等, 2011)。有学者的研究表明森林采伐导致森林生态系统的土壤损失, 并导致土壤养分损失和土壤性质的空间分布变化, 从而导致全球范围内的土壤退化(Chen, Z.J., 2019; Osman, K., 2013)。Alberti 通过研究发现, 森林采伐影响陆地生态系统的分布和结构, 通过改变植被类型或植被覆盖率来影响其功能和过程(Alberti, 2005)。同样的, 张艳等人对于黄河中游发生的土壤侵蚀研究中也发现, 植被覆盖度是影响土壤侵蚀的主控因素且黄河中游植被覆盖度与坡度的交互作用影响力最强(张艳等, 2023)。Don 和 Guo 都发现, 当将森林采伐, 变为农田时,

土壤团聚体的植被和有机碳含量都会大大减少,且土壤的凝聚力都会被破坏(Don, 2011; Guo, 2002)。但这仅仅是一个极端案例,因为其已超出了森林经营的概念。此外, Li 等人发现采伐森林后,土壤结构稳定性和土壤入渗能力降低,而土壤容重增加,土地生产力净损失(Li, 2014)。Lin 和 Jing 等人的研究都表明,森林采伐过后,土壤侵蚀和荒漠化更加严重。所有这些变化都会影响水热条件和土壤过程,并改变土壤养分循环,降低土壤肥力(Lin, 2017; Jing, 2020)。

但是在林分生长过程中,进行适当程度的采伐,对森林有着积极的作用。张期奇等人在对大兴安岭的四个不同时期(龄林、中龄林、近成熟林和成熟林)兴安落叶松林分分别进行不间伐、低强度间伐、中强度间伐、高强度间伐,研究中测定的指标主要包括土壤水文性能和枯落物的蓄积量与持水性能研究(张期奇等, 2019)。结果表明:采取适当强度的抚育间伐能够有效地调整其水源涵养功能并使其达到最大。在中龄林和近成熟林中,采用中强度间伐(25%~35%)效果最好,在成熟林中,采用高强度间伐(35%~45%)效果最佳。李萌等对广西凭祥热林中心经过4种不同强度抚育间伐8年后的杉木人工林进行观察,中度间伐显著增加杂草植物功能群的物种丰富度,重度间伐显著提高蕨类植物功能群的物种丰富度轻度间伐显著增加木本植物功能群的物种丰富度与对照相比,三种间伐均能显著增加藤本植物功能群的物种丰富度(李萌等, 2020)。研究还指出林下植物多样性的差异变化主要是源于土壤因子的变化。而与其他研究不同的是,林分密度和郁闭度并不是影响林下植物多样性的主要因子,可能是由于采伐后的恢复时间尺度不一样,以及地形、海拔、光照、林隙、土壤肥力等综合因素共同影响造成(Liu, J., 2019; Sariyildiz, T., 2005; Nahidan, S., 2015)。

4 总结

目前只有学者对传统经营模式的毛竹林进行涵养水源功能的观测和量化,带状采伐毛竹林的涵养水源功能领域仍有空白需要填补。森林涵养水源的概念已经发展得较为完备,其汇集了林冠截留、枯落物持水特征、土壤保持和蓄水性能等有一系列水文生态过程。对于森林生态系统林冠截留、土壤水文特征、枯落物持水特征的测定和量化方式多种多样,其最终的目的离不开反映森林生态系统的涵养水源的能力。针对毛竹林的采伐问题仍在研究进展当中,如何全面推广应用创新的毛竹林采伐经营技术需要进一步大胆的试验尝试。因此,对带状采伐毛竹林进一步的推广实验,并对此进行观测带状采伐毛竹林分涵养水源功能及土壤侵蚀的情况,有利于更好地把握带状采伐的强度,进而解决高效毛竹竹材收获和保护毛竹林生态服务价值之间的矛盾,可以为未来在毛竹林多地形开展大规模机械化采伐作业、采伐设计和人工抚育技术提供重要的理论依据。

参 考 文 献

- Alberti, M., 2005. The effects of urban patterns on ecosystem function. *Int. Reg. [J]Sci. Rev.* 28, 168–192.
- Bai, S., Wang, Y., Conant, R. et al. Can native clonal moso bamboo encroach on adjacent natural forest without human intervention? *[J] Sci Rep* 6, 31504 (2016).
- Chen, Z.J., Wang, L., Wei, A.S., Gao, J.B., Lu, Y.L., Zhou, J.B., 2019. Land-use change from arable lands to orchards reduced soil erosion and increased nutrient loss in a small catchment[J].*Sci. Total Environ.* 648, 1097–1104.
- Don, A., Schumacher, J., Freibauer, A., 2011. Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks – a meta-analysis[J] *Glob. Change Biol.* 17, 1658–1670.
- Guo, L.B., Gifford, R.M., 2002. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis[J] *Glob. Change Biol.* 8, 345–360.
- Heng, T., Feng, G., Ying, O., He, X.L., 2020. The spatiotemporal patterns of climate asymmetric warming and vegetation activities

in an arid and semiarid region[J]Climate 8 (12), 145.

Janet, D., Jeff, H., Byoungkoo, C., Clay, M., Ying, O.Y., 2020. Climate drivers and sources of sediment and organic matter fluxes in intermittent rivers and ephemeral streams (IRES) of a subtropical watershed[J]. USA. Climate 8 (117), 117.

Jing, X., Chen, X., Fang, J.Y., Ji, C.J., Shen, H.H., Zheng, C.Y., Zhu, B., 2020. Soil microbial carbon and nutrient constraints are driven more by climate and soil physicochemical properties than by nutrient addition in forest ecosystems[J]Soil Biol. Biochem. 141, 107657.

Li, J.L., Jiang, C.S., Hao, Q.J., 2014. Impact of land use type on stability and organic carbon of soil aggregates in Jinyun mountain[J] Environ. Sci. 35, 4695–4704.

Lin, Y., Deng, H., Du, K., Rafay, L., Zhang, G.S., Li, J., 2017. Combined effects of climate, restoration measures and slope position in change in soil chemical properties and nutrient loss across lands affected by the Wenchuan earthquake in china[J]Sci. Total Environ. 596–597, 274–283.

Liu, J., Qiu, L., Ao, G., Zheng, B., Cheng, J., 2019. Effect of clipping on aboveground biomass and nutrients varies with slope position but not with slope aspect in a hilly semiarid restored grassland[J] Ecol. Eng. 134, 47–55.

Nahidan, S., Nourbakhsh, F., Mosaddeghi, M.R., 2015. Variation of soil microbial biomass C and hydrolytic enzyme activities in a rangeland ecosystem: are slope aspect and position effective? [J]Arch. Agron. Soil Sci. 61, 797–811.

Osman, K., 2013. Soil Degradation, Conservation and Remediation[J]Springer, Netherlands.

Sariyildiz, T., Anderson, J., Kucuk, M., 2005. Effects of tree species and topography on soil chemistry, litter quality, and decomposition in Northeast Turkey[J] Soil Biol. Biochem. 37, 1695–1706.

Thrippleton T, Blattert C, Bont L G, et al. A multi-criteria decision support system for strategic planning at the Swiss forest enterprise level: coping with climate change and shifting demands in ecosystem service provisioning[J]. Frontiers in Forests and Global Change, 2021, 4: 693020.

Winkel G, Lovrić M, Muys B, et al. Governing Europe's forests for multiple ecosystem services: opportunities, challenges, and policy options[J]. Forest Policy and Economics, 2022, 145:102849.

Yaxiong Z ,Yun F ,Shaohui F , et al.Effects of Different Harvesting Methods on Aboveground Nutrient Pools of Moso Bamboo (*Phyllostachys edulis*) Forest in China[J].Forests,2022,13(12):2138-2138.

陈家洪,张喜,尹洁等.抚育和采伐组合措施对毛竹林生产力的影响[J].安徽农业科学,2010,38(04):2110-2111+2152.

范少辉,刘广路,苏文会等.竹林培育研究进展[J].林业科学研究,2018,31(01):137-144.

李承基,官凤英,郑亚雄等.配比施肥对带状采伐毛竹林林下植被多样性的影响[J].生态学杂志,2023,42(04):796-803.

李萌,陈永康,徐造成等.不同间伐强度对亚热带杉木人工林林下植物功能群的影响[J].生态学报,2020,40(14):4985-4993.

李荣,张文辉,何景峰,等.不同间伐强度对辽东栎林群落稳定性的影响[J].应用生态学报,2011,22 (1):14-20.

李玉敏,冯鹏飞.基于第九次全国森林资源清查的中国竹资源分析[J].世界竹藤通讯,2019,17(06):45-48.

刘骏,杨清培,宋庆妮等.毛竹种群向常绿阔叶林扩张的细根策略[J].植物生态学报,2013,37(03):230-238.

刘仕咄,谢乔武.毛竹的生长特性与竹林采伐[J].湖南林业,2009(05):26-27.

欧阳明,杨清培,陈昕等.毛竹扩张对次生常绿阔叶林物种组成、结构与多样性的影响[J].生物多样性,2016,24(06):649-657.

申景昕,范少辉,刘广路等.毛竹林采伐林窗近地层温度时空分布特征[J].生态学杂志,2020,39(11):3549-3557.

沈蕊,白尚斌,周国模等.毛竹种群向针阔林扩张的根系形态可塑性[J].生态学报,2016,36(02):326-334.

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(03):52-55.

王凯,王聪,冯晓明,等.生物多样性与生态系统多功能性的关系研究进展 [J]. 生态学报, 2022, 42(1): 11–23.

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(06):1110-1118.

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(01):46-51.

王树梅,范少辉,肖箫等.带状采伐对毛竹地上生物量分配及异速生长的影响[J].南京林业大学学报(自然科学版),2021,45(05):19-24.

王树梅. 带状采伐毛竹林地下鞭根系统与地面成竹响应特征的研究[D].中国林业科学研究院,2023.

王云飞,叶爱中,乔飞等.水源涵养内涵及估算方法综述[J].南水北调与水利科技(中英文),2021,19(06):1041-1071.

肖箫,周阳,王树梅,等.带状采伐对新生毛竹空间结构及稳定性的影响[J].南京林业大学学报(自然科学版),2023,47(04):139-147.

詹美春,官凤英,晏颖杰等.带状采伐对毛竹林林下植被物种多样性的影响[J].生态学报,2020,40(12):4169-4179.

张会儒,唐守正.森林生态采伐理论[J].林业科学,2008(10):127-131.

张期奇,董希斌,张甜等.抚育间伐强度对兴安落叶松林不同演替阶段水源涵养的影响[J].东北林业大学学报,2019,47(10):55-63.

张艳,史飞航,张悦等.黄河中游土壤侵蚀时空变化及驱动因素[J].水土保持研究,2023,30(05):1-12.

郑亚雄,范少辉,周潇,等.带状采伐毛竹林养分动态特征[J].北京林业大学学报,2023,45(04):78-87.

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(05):917-924.

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):3015-3023.