

不同经营模式对毛竹叶片特性和竹笋产量的影响

王 珊¹, 李 楠², 朱 炜³, 吴建明³, 张小辉⁴, 汪奎宏⁵

(1. 浙江农林大学 林业与生物技术学院, 浙江 杭州 311300; 2. 浙江省林业科学研究院, 浙江 杭州 310023; 3. 湖州市林业技术推广站, 浙江 湖州 313000; 4. 遂昌县新路湾镇林业工作站, 浙江 遂昌 323305; 5. 浙江省森林资源监测中心, 浙江 杭州 310020)

摘要: 为了研究不同经营模式对毛竹 *Phyllostachys heterocycla* 'Pubescens' 笋用林叶片特征以及竹笋产量的影响, 以不同经营模式 (带状、层状、加客土和常规经营) 的毛竹笋用林为研究对象, 对毛竹叶片 SPAD 值 (soil and plant analyzer development value, SPAD value) 和叶面积指数 (Leaf Area Index, LAI) 进行监测, 并于次年春统计春笋产量。结果表明: 不同经营模式下的毛竹叶片 SPAD 值随时间呈现先升高后下降的变化趋势, 而 LAI 变化不明显; 机械化带状经营模式中处理 D₃ (条带宽度 1 m, 保留条带内立竹和适当竹鞭) 的 SPAD 值及 LAI 均高于常规经营, 且其 LAI 显著高于 ($P < 0.05$) 层状和加客土经营中的各处理。层状经营模式中处理 C₂ (去除竹林地 0~25 cm 土层的竹鞭) 的 SPAD 值和 LAI 均较低于同时期的其他处理; 机械化经营模式中的处理 D₃ 和处理 T₆ (加客土 6 cm) 的春笋产量最高; 毛竹 SPAD 值、LAI 及春笋产量三者均呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 其中 SPAD 值与春笋产量呈极显著正相关 ($P < 0.01$)。

关键词: 毛竹; 经营模式; SPAD 值; 叶面积指数; 产量

中图分类号: S795 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3776 (2019) 01-0021-07

Effect of Different Management Patterns on Leaf Characteristics and Shoot Yield of *Phyllostachys heterocycla* 'Pubescens'

WANG Shan¹, LI Nan², ZHU Wei³, WU Jian-ming³, ZHANG Xiao-hui⁴, WANG Kui-hong⁵

(1. Zhejiang A & F University, School of Forestry & Bio-technology, Hangzhou 311300, China; 2. Zhejiang Academy of Forestry, Hangzhou 310023, China; 3. Huzhou Forestry Extension Station of Zhejiang, Huzhou 313000, China; 4. Suichang Xinluwan Township Forestry Stations of Zhejiang, Suichang 323305, China; 5. Zhejiang Forest Resources Monitoring Center, Hangzhou 310020, China)

Abstract: To investigate the effects of different management patterns on leaf characteristics and shoot yield of shoot-use *Phyllostachys heterocycla* 'Pubescens' forest, soil and plant analyzer development value (SPAD), leaf area index (LAI), and bamboo shoots yield in the next spring were investigated and analyzed under four management patterns (clear cutting band, layer transformation, adding transported soil, conventional management). The results showed that SPAD values increased at first and then decreased, LAI did not change significantly. The SPAD value and LAI of D₃ (1 m strip, clear some bamboo rhizome of standing bamboo) treated in mechanized strip management model were higher than artificial management, and LAI was significantly higher than mechanized layering and adding guest soil management. The SPAD value and LAI of C₂ (clear bamboo rhizome of 0~25 cm soil depth) treated in the layered management model are lower than other treatments in the same period. The processing of D₃ treated and T₆ (guest soil is 6 cm) treated in the mechanized management mode is the highest. It had evident positive relation of SPAD value, LAI and shoot yield under different treatment.

收稿日期: 2018-07-09; 修回日期: 2018-10-15

基金项目: 毛竹笋用林机械化经营模式研究与示范 (2015F50001)

作者简介: 王珊, 硕士, 从事竹林培育方面的研究; E-mail: wangshanlh@163.com。通信作者: 李楠, 博士, 从事森林培育方面的研究; E-mail: linanly@126.com。

Key words: *Phyllostachys heterocyclus* 'Pubescens'; Management Patterns; SPAD value; leaf area index; yield

叶片是植物进行光合作用的主要场所，其功能性状如叶绿素含量和叶面积等，直接反映了植物对资源的有效利用率，对植物光合作用及其整个生长过程具有重要影响。光合作用是个复杂的过程，除受光照、温度、水分、养分等多种因素的影响和制约外，各种经营活动也能显著影响植物的光合能力。不同的经营措施对净光合经济生产率有显著差异^[1]，陈启龙等^[2]研究了不同种植模式对烟草 *Nicotiana tabacum* 的生长及产量的影响，结果表明，轮作在 SPAD、叶面积及产量上均显著高于烟草套种普通小麦 *Tritium aestivum* 和连作。叶面积指数(LAI)的变化体现了植物生长发育的不同状态^[3-5]，安强等^[6]研究表明，LAI 大，利用光能就更充分，光合产物就高，反之就少，进而影响到产量。范继征等^[7]通过不同栽培模式对玉蜀黍 *Zea mays* 叶绿素、LAI 及产量的研究表明，施肥和耕作方式对叶绿素含量和 LAI 影响较小，但对产量影响较大。

毛竹 *Phyllostachys heterocyclus* 'Pubescens'是我国森林资源中分布最广、面积最大、用途最多的竹种，在竹业生产中占有十分重要的地位^[8-9]。我国竹林经营水平居国际领先地位，但竹林经营仍以人工劳作为主，竹林经营现代化水平很低，目前没有基于毛竹营林机械的、兼顾高产高效和竹林更新的、可持续发展的毛竹笋用林经营模式。本研究以不同的机械化经营模式的毛竹笋用林为对象，研究了不同经营模式下毛竹叶片 SPAD 值和 LAI 的变化规律，以及它们与竹林产量的相关性，探讨了不同经营模式下毛竹的适应性以及不同经营模式对毛竹生长的影响，以期筛选最有效的经营模式，为毛竹笋用林机械化经营提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验地基本概况

试验区设于浙江省湖州市妙西镇，119°14' ~ 120°28' E，30°22' ~ 31°11' N。属亚热带季风气候，年均气温 15.8℃，年均降水量 1 200 mm，全年无霜期 235 d，平均海拔 3 m，土壤主要为红壤土，土层厚度 60 cm 以上。

试验林为成片毛竹笋用林，大小年明显。立竹密度 3 400 株·hm⁻²，不同处理间竹林毛竹竹高与胸径生长一致，平均竹高 7.73 m 左右，平均胸径为 8.58 cm，留枝盘数 13，其中 1 度竹占整个竹林 27.18%，2 度竹 71.29%，3 度竹 1.53%。试验区内竹林隔年留养新竹和采伐 3 度以上老竹。每年 9–12 月进行毛竹的砍伐和适度钩梢，每年 5 月下旬和 9 月上旬对竹林地进行全垦深翻 30 ~ 50 cm。施肥 4 次，冬笋期施用尿素（四川美丰尿素，总氮 ≥46.4%，净含量 50 kg）300 kg·hm⁻²至春笋期（次年 3–4 月），春笋期施用复合肥（嘉施利复合肥料，硝态氮含量 ≥7%，净含量 50 kg）750 kg·hm⁻²、有机肥（贝特有机肥料，有机质 ≥45%，净含量 40 kg）3 000 kg·hm⁻²，夏季挖山时（6–7 月）施复合肥 600 ~ 750 kg·hm⁻²，孕笋期（9–10 月）施复合肥 450 ~ 600 kg·hm⁻²。

1.2 样地设置

于 2014 年 11 月上旬选取立地条件一致、生长良好的毛竹笋用林。采用随机区组设计，设置 30 块 20 m × 20 m 的样地，样地分机械化经营和人工经营（对照，CK），留新竹数量一致。机械化经营分 3 种模式包含 9 种处理，每种处理 3 次重复（详见表 1）。经营基本采用机械方式，每年 9–12 月人工进行毛竹的砍伐和适度钩梢和施肥；人工经营为常规经营，设 3 个重复，每年 5 月下旬和 9 月上旬对竹林地进行全垦深翻 30 ~ 50 cm，施肥、勾梢、砍伐等与机械经营措施一致。

表 1 毛竹林试验样地不同处理
Table 1 Treatments of samples plots

处理		经营方式	
D ₁	挖除宽度 1 m 条带内的立竹和竹鞭	C ₂	去除竹林地 0 ~ 25 cm 土层的竹鞭
D ₂	挖除宽度 2 m 条带内的立竹和竹鞭	T ₂	加客土 2 cm
D ₃	条带宽度 1 m，保留条带内立竹和适当竹鞭	T ₄	加客土 4 cm
D ₄	条带宽度 2 m，保留条带内立竹和适当竹鞭	T ₆	加客土 6 cm
C ₁	去除竹林地 0 ~ 15 cm 土层的竹鞭	CK	常规经营方式

机械化带状经营模式 ($D_1 \sim D_4$): 样地内设置一条 1 m 或 2 m 的带宽, 深度均为 0.3~0.4 m, 利用小型挖掘机 (玉柴 yC35-6 型) 和自行研发的切鞭机, 对竹林地进行带状改造, 一种是将条带内的竹鞭和竹子全部去除和砍伐, 另一种是保留条带内竹子和适当 (竹苑周围 20~30 cm) 竹鞭。机械化层状经营模式 (C_1, C_2): 利用旋耕机 (HONDA 牌微型耕耘机) 对竹林地进行层状改造, 去除竹林内 0~15 cm 或 0~25 cm 土层内的全部竹鞭。机械化加客土经营模式 (T_2, T_4, T_6): 利用挖掘机把样地周围深度 60~70 cm 的土壤, 用传送带传至各点, 人工进行铺土, 加客土的厚度为 2 cm, 4 cm 和 6 cm。为了方便挖掘机作业, 样地外围 1 m 内的老竹全部砍伐。样地设置详见表 1, 所有处理样地采取统一的管理和施肥方法。

1.3 试验方法

于 2016 年 10~12 月的每月 7~10 日, 选择晴天的 8:00~10:30 进行竹叶 SPAD 值和叶面积测量。在每个样地随机选取 5 株平均胸径和株高的 1~1.5 度标准竹, 每株选取向阳面冠顶、中部和底部的 1~2 枝, 采集枝条上 3~4 片生长状况良好的叶片, 测定叶片的叶面积和 SPAD 值。

SPAD 值测定: 选取不同叶位的叶片 30 片, 分叶尖、叶中部、叶柄 3 个测定位点, 用便携式叶绿素测定仪 SPAD-502Plus (KONICA MINOLTA 公司制造) 测量 SPAD 值, 重复 3 次, 取平均值作为该叶片 SPAD 值。测量时注意选取叶面干净、生长正常的叶片, 保证叶片 SPAD 值的代表性。

LAI 测定: 选取不同叶位的叶片 90 片, 用手持 YMJ-B 活体叶面积测定仪 (浙江拓普云农科技股份有限公司制造) 测定竹叶叶面积, 每叶片测量 3 次, 取平均值代表该叶片叶面积, 将 90 片竹叶叶面积的测量值取平均, 代表该样地竹叶叶面积值。由此计算 $LAI = \text{单位土地面积总绿叶面积} / \text{单位土地面积}^{[10]}$ 。

竹笋产量测定: 2017 年 3 月在样地内每间隔 2 d 挖笋 1 次, 统计样地 3~5 月的春笋产量。

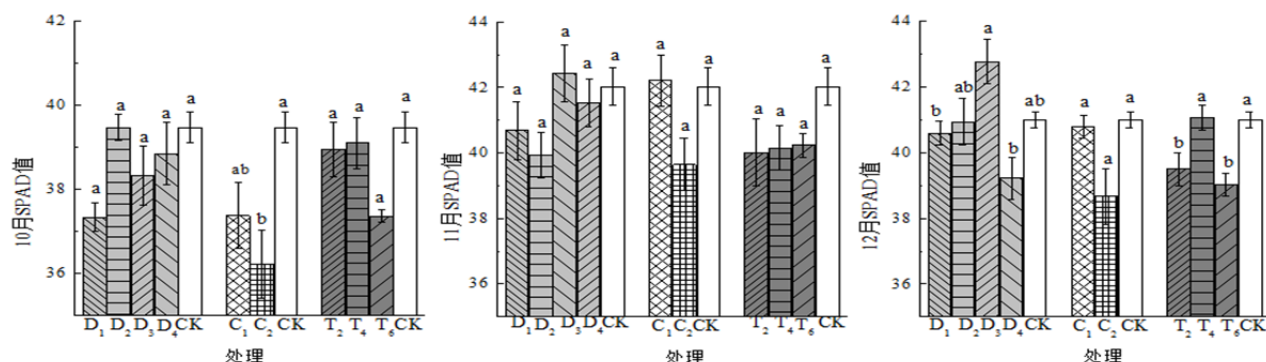
1.4 数据分析

采用软件 SPSS 19.0 进行显著性分析, 并用邓肯新复极差法进行多重比较; Origin 8.5 软件进行曲线绘制。

2 结果与分析

2.1 不同经营模式下笋用林 SPAD 值月变化

SPAD 值是通过测定植物叶片叶绿素的相对含量来了解植物真实的硝基需求量即氮的需求, 利用 SPAD 值作为氮素营养诊断指标, 可快速、非破坏性的了解到植株氮素含量、氮营养指数、产量和最优施氮量。对稻 *Oryza sativa*, 玉蜀黍 *Zea mays*, 陆地棉 *Gossypium hirsutum* 等作物上的研究表明, 建立叶绿素 SPAD 值和土壤碱解氮、植株含氮及产量的相关关系^[11], 是对陆地棉^[12-13]、稻^[14]、玉蜀黍^[15]等作物进行氮素亏缺及需氮量预测的基础, 并且在东南亚、印度和我国南方稻营养诊断和氮肥管理中应用较成功^[16-17]。不同经营模式对毛竹叶片 SPAD 值的月动态变化如图 1, 各处理随时间的变化 SPAD 值总体呈现先升高后下降的变化趋势。



不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$), 下同。

图 1 不同时间不同经营模式对毛竹林叶片 SPAD 值的影响

Figure 1 Effect of different managements and date on SPAD value in bamboo leaf

由图 1 可知:机械化带状经营模式下,10–11 月,各处理的 SPAD 值之间没有显著差异;12 月时, D_4 和 D_1 的 SPAD 值最低且与 D_3 之间差异显著 ($P < 0.05$)。机械化层状经营模式下, C_2 在 10 月的 SPAD 值显著低于 CK ($P < 0.05$),较 CK 低 8.24%,但在 11–12 月各处理之间均表现无差异。机械化加客土经营模式下,10–11 月,各处理的 SPAD 值之间无显著差异;12 月时, T_2 和 T_6 的 SPAD 值最低且显著低于 T_4 和 CK ($P < 0.05$)。总体来看,机械化层状经营模式中 C_2 的 SPAD 值在 10–12 月均低于同时期的其他处理,且在 10 月时最低,说明该经营模式下叶片中氮含量相对较低,竹鞭和竹根是整个竹林养分和水分器官,对竹林生长发育起着重要作用,因而根系的好坏直接影响着竹林的产量和质量^[18]。毛竹鞭根大部分分布在 0~30 cm,其中土层 20~30 cm 为毛竹鞭栖层^[19],是各龄竹鞭和竹根的主要分布层,处理 C_2 由于挖除掉 0~25 cm 的地下竹鞭,对竹林内氮的循环和利用产生一定影响。对于其他经营模式的毛竹林来说,内部养分和物质循环的平衡受到的影响较小。

2.2 不同经营模式下毛竹 LAI 月变化

LAI 是反映作物群落叶面积变化的重要指标,已成为光合、蒸腾及生物量形成等研究的重要参数^[20],其数值大小对产量关系极大,因此可利用 LAI 作为合理调节竹林密度,使其达到合理水平,对提高竹林产量有重大意义^[21]。不同经营模式对毛竹 LAI 的月动态变化如图 2,机械化经营模式与人工经营模式随时间的变化总体变化不明显,毛竹在 9 月之前已经完成新叶生长,叶长和叶宽基本停止生长,最高 LAI 值出现在 10 月,其中处理 D_3 (57.41) 最高且比 CK 高 29%;最低在 11 月,其中处理 C_2 (13.43) 最低且比 CK 低 69%。10–12 月,处理 C_2 均低于其他处理,这也说明去除主要分布层内的竹鞭不仅对竹叶 SPAD 值产生显著影响,对 LAI 的影响也很明显。

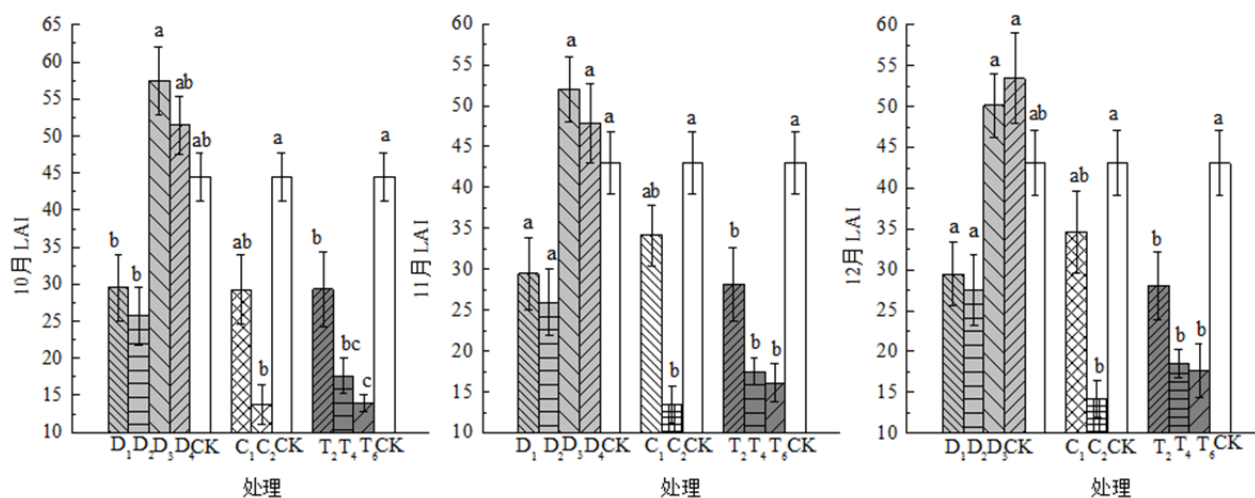


图 2 不同时间不同经营模式对毛竹 LAI 变化

Figure 2 Effect of different management and date on LAI in bamboo leaf

由图 2 可知,机械化带状经营模式下,10 月时,处理 D_3 的 LAI 值最高且与 D_1 、 D_2 之间差异显著 ($P < 0.05$),但 11–12 月各处理间没有显著差异;机械化层状经营模式下,10–12 月, C_2 的 LAI 值最低且与 CK 之间差异显著 ($P < 0.05$)。机械化加客土经营模式下,10–12 月,各处理均与 CK 之间差异显著 ($P < 0.05$);10 月时, T_2 显著高于 T_6 ($P < 0.05$),但 11–12 月,各处理之间没有显著差异。总体来看,层状经营模式中 C_2 的 LAI 值在 10–12 月均低于同时期的其他处理,进一步证实处理 C_2 对竹林的氮利用和循环产生了一定的影响。

2.3 不同经营模式对毛竹叶片 SPAD 值及 LAI 的影响

由图 3 可知,不同经营模式下各处理的 SPAD 值结果为: $D_3 > CK > C_1 > D_2 > T_4 > D_4 > D_1 > T_2 > T_6 > C_2$,机械化带状经营的处理 D_3 与 CK 相比略提高了 1%,机械化经营的处理 C_1 , D_2 , T_4 , D_4 , D_1 , T_2 , T_6 , C_2 与人工经营 CK 相比,降低了 2%, 2%, 2%, 2%, 3%, 3%, 5%, 6%。机械化经营与人工经营模式的对比中,机械化层状经营模式的处理 C_2 显著低于 CK ($P < 0.05$)。机械化带状经营模式的处理 D_3 显著高于处理 C_2 ($P < 0.05$),

加客土经营模式处理 T₆ 显著低于处理 D₃ ($P < 0.05$), 其它各处理之间无差异显著关系。

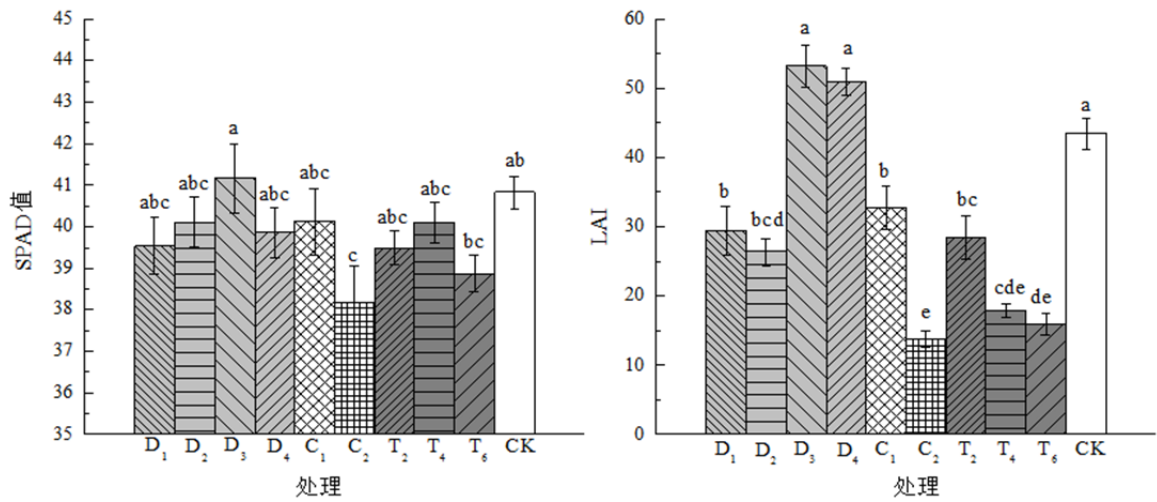


图 3 不同经营模式对毛竹林叶片 SPAD 值及 LAI 的影响

Figure 3 SPAD values and LAI of bamboo leaf under different managements

不同经营模式下各处理叶面积指数比较结果为 $D_3 > D_4 > CK > C_1 > D_1 > T_2 > D_2 > T_4 > T_6 > C_2$, 机械化经营的处理 D₃ 和处理 D₄ 的叶面积指数均高于人工经营, 涨幅分别为 22%, 17%; 处理 C₁, D₁, T₂, D₂, T₄, T₆ 的叶面积指数低于 CK, 降幅分别为 25%, 32%, 35%, 39%, 59%, 64%。机械化带状经营中处理 D₁, D₂, 机械化层状经营模式中的处理 C₁, C₂ 及机械化加客土经营模式中处理 T₂, T₄, T₆ 均显著低于 CK ($P < 0.05$)。机械化带状经营模式中处理 D₁ 显著低于处理 D₃、D₄ ($P < 0.05$), 显著高于处理 C₂, T₄, T₆ ($P < 0.05$); 处理 D₂ 显著低于 D₃, D₄ ($P < 0.05$), 显著高于 C₂ ($P < 0.05$); 处理 D₃, D₄ 显著高于处理 C₁, C₂, T₂, T₄, T₆ ($P < 0.05$)。机械化层状经营模式中的处理 C₁ 显著高于处理 C₂, T₄, T₆ ($P < 0.05$); 处理 C₂ 显著低于处理 T₂ ($P < 0.05$)。机械化加客土经营模式中处理 T₂ 显著高于处理 T₆ ($P < 0.05$)。

2.4 不同经营模式对春笋产量的影响

相关研究均表明, 不同栽培模式、不同种间的叶绿素含量和 LAI 都会对产量产生影响^[22-25]。由图 4 可知, 各经营模式产量为 $D_3 > T_6 > D_4 > CK > T_4 > C_2 > T_2 > C_1 > D_2 > D_1$, 机械化经营的处理 D₃, T₆, D₄ 较人工经营春笋产量提高 262%, 162%, 30%, 处理 T₄, C₂, T₂, C₁, D₂, D₁ 较人工经营降低 15%, 18%, 37%, 64%, 69%, 73%。相比人工经营的产量, 机械化带状经营模式中的处理 D₃ 产量最高, 处理 D₁ 产量最低。机械化带状经营处理 D₃ 显著高于处理 D₁, D₂, D₄, C₁, C₂, T₂, T₄, T₆ 以及人工经营 ($P < 0.05$), 机械化加客土经营模式中的处理 T₆ 显著高于带状经营处理 D₁, D₂, D₄, C₁, C₂ 及人工经营 ($P < 0.05$), 机械化带状经营模式中的处理 D₄ 显著高于处理 D₁, D₂, C₁ ($P < 0.05$), 与人工经营无显著差异关系。机械化经营的处理 D₂, C₁, C₂, T₂, T₄ 均与人工经营无差异显著关系。

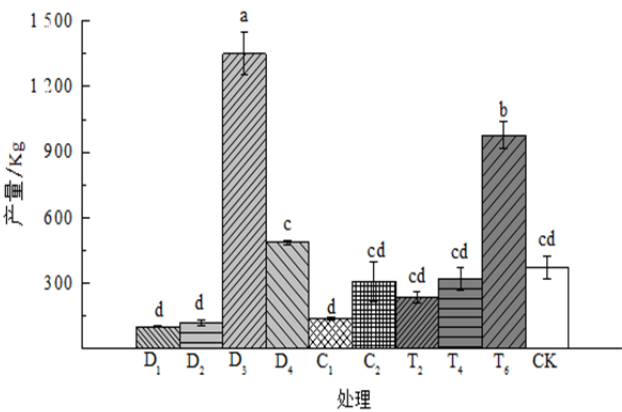


图 4 不同处理下毛竹林春笋产量变化

Figure 4 Spring bamboo shoot yield in sample plots under different treatments

表 2 SPAD 值, LAI 和春笋产量的相关分析
Table 2 Correlation analysis of SPAD value, LAI and spring shoot yield

	SPAD 值	LAI	产量
SPAD 值			
LAI	0.747*		
产量	1.000**	0.748*	

注: *表示显著水平 ($P < 0.05$), **表示极显著水平 ($P < 0.01$)。

2.5 毛竹叶片 SPAD 值, LAI 和春笋产量的相关性分析

SPAD 值和 LAI 可间接反映竹林整体氮素和光合的效果, 进而影响竹笋的生长发育。本试验以不同经营模式下的毛竹叶片 SPAD 值和 LAI 以及春笋产量进行相关性分析, 由表 2 可知, 不同经营模式下毛竹叶片 SPAD 值与 LAI 以及产量均呈显著正相关性, 且 SPAD 值与产量达到极显著正相关。

3 结论与讨论

SPAD 值与叶片的叶绿素含量呈正相关, 在野外测定中它对叶绿素的含量提供了可靠的估计^[26-28], 姜丽芬等通过 SPAD-502 测定落叶松 *Larix gmelinii* 人工林, 结果表明, 使用叶绿素测定仪测定树木的叶绿素含量是完全可行的, 在一定条件下可代替叶绿素含量的直接测定^[29]。封焕英等通过对 3 种经营方式下的 5 类毛竹林的光合特性研究表明, 不同经营方式下毛竹林的 LAI 和 SPAD 值间存在显著差异, 随着经营程度的增加, LAI 和 SPAD 值波动增大^[30]。本研究中不同经营模式间的 SPAD 值和 LAI 随着处理的不同, 均值变化幅度也相应的出现不同程度的波动。

蔡红光等通过比较两种土壤肥力处理条件下 4 个春玉蜀黍品种的 SPAD 值结果表明, SPAD 值与产量呈显著正相关^[31]; 这一结论在本研究中也得到了验证, 毛竹叶片 SPAD 值与产量表现为极显著正相关, 并且 SPAD 值高的经营模式 D₃ 的春笋产量也较高。王成雨等通过对普通小麦的 LAI 研究表明, 普通小麦下部叶片 LAI 与产量呈极显著正相关^[32]。除此之外, 大量相关研究表明^[22-23,33-34] LAI 与产量之间存在一定的相关性, 本研究中不同经营模式下, 毛竹 LAI 与产量都表现为显著正相关。

带状经营通过机械构建条带, 诱导新鞭长入带内生产竹笋成为产笋带, 第 2 年产笋带留起新竹逐渐成为用竹带, 原竹带建成新的产笋带, 交替循环, 使竹林地上、地下结构得到更新。研究表明, 运用带状经营模式可产鲜笋 22 500 kg·hm⁻², 试点户产量达 37 500 kg·hm⁻² 余^[35]。本研究中带状经营模式中处理 D₃ 各指标表现均优, 并且产量显著高于 CK, 但与 CK 间在 SPAD 值和 LAI 差异性较低。这主要由于目前的带状经营的年限较短, 一般竹鞭生长需要 2~3 a 才可实现地下鞭的郁闭^[36], 而目前的经营效果还不清晰。层状经营利用旋耕机改造林地内一定深度的竹鞭, 扩充竹鞭的生长空间, 随着竹鞭逐年增长, 使地下结构得到更新。本研究中处理 C₂ 在 SPAD 值和 LAI 都处于最低值, 在春笋产量方差结果分析中也处于较低值, 这主要原因是去除 25~30 cm 土层内所有竹鞭比挖除带内竹鞭和加客土厚度对林地地下系统破坏程度更大, 进而影响其光合作用和茎秆养分运输^[37], 导致 SPAD 值及 LAI 均低于正常水平。并且由于挖除鞭层是主要产笋鞭层, 所以产量低于 CK。毛竹的新鞭主要分布在土壤上层, 而竹笋笋体膨大在泥下进行, 故具有入土越深、笋体越大, 笋质优良的特点, 增加客土即可达到此目的。并且此种经营模式在烤烟、早竹林中均证实可提高其产量^[38]。本研究中处理 T₆ 也证实了这一结果, 其春笋产量仅低于处理 D₃, 并且显著高于 CK。这主要由于加客土可有效地控制竹鞭深度, 并改善土壤的理化性质, 提高竹笋产量和质量^[35,39-40]。但 SPAD 值和 LAI 均较低, 由于加客土前竹鞭大部分浮于土壤表层部分, 处理后使得浅鞭深埋, 因经营年限较短, 浅层鞭数量较少, 导致竹林系统恢复不彻底, 竹叶生长发育较差。

不同经营模式中, 带状经营模式对提高竹叶 SPAD 值、LAI 及增加春笋产量产生影响显著, 并且对竹林进行机械带状改造, 可节省劳动力成本和降低劳动强度, 并可最大限度降低对地下结构的损伤, 同时因利用翻耕机进行深松和深翻, 可改善土壤结构、提高土壤水分和养分含量、增加笋产量。但由于总体经营年限较短, 各经营模式间的差异还并未完全显现, 还需要进一步研究。

参考文献:

- [1] 陈世清, 王永安, 冯宗伟. 不同经营措施对油茶林生物产量的影响[J]. 林业实用技术, 1979, 18(7): 16-18.
- [2] 陈启龙, 毛家伟, 桂炎伟, 等. 不同种植制度对烤烟生长及烟叶产、质量的影响[J]. 河南农业科学, 2014, 43(12): 56-59.
- [3] 梁达丽, 黄克福. 台湾桂竹叶面积指数与生物量关系的研究[J]. 竹子研究汇刊, 1994(1): 42-46.
- [4] HOLBEN B N, TUCKER C J, FAN C J. Spectral assessment of soybean leaf area and leaf biomass[J]. Photogram Eng Remote Sens, 1980, 46: 651-656.

- [5] 郑进恒. 海子坪天然毛竹无性系种群生长规律系统研究[D]. 云南: 西南林学院, 2008: 1-57.
- [6] 安强, 李宏伟, 李春莲. 小麦叶面积指数的遗传变异及其影响因素与产量的关系[J]. 西北农业学报, 2011, 20(12): 46-53.
- [7] 范继征, 闫飞燕, 石达金. 栽培模式对玉米叶绿素含量、叶面积指数及产量的影响[J]. 农业研究与应用, 2014, 6(155): 17-22.
- [8] 邱尔发, 陈存及, 梁一池, 等. 不同种源毛竹叶表叶绿素浓度动态[J]. 福建林学院学报, 2002, 22(4): 312-315.
- [9] 汪奎宏, 黄伯惠. 中国毛竹[M]. 浙江科学技术出版社, 1996: 1-3.
- [10] 王希群, 马履一, 贾忠奎, 等. 叶面积指数的研究和应用进展[J]. 生态学杂志, 2005, 24(5): 537-541.
- [11] 贾良良, 陈新平, 张福锁. 作物氮营养诊断的无损测试技术[J]. 世界农业, 2001(6): 36-37.
- [12] 王娟, 韩登武, 任岗, 等. SPAD 值与棉花叶绿素和含氮量关系的研究[J]. 新疆农业科学, 2006, 43(3): 167-170.
- [13] 罗新宁, 陈冰, 张巨松, 等. 棉花氮素和 SPAD 值叶位分布规律研究[J]. 棉花学报, 2009, 21(5): 427-430.
- [14] 李刚华, 丁艳锋, 薛利红, 等. 利用叶绿素计 (SPAD-502) 诊断水稻氮素营养和推荐追肥的研究进展[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(3): 412-416.
- [15] PENG S, GARCIA F V, LAZA R C, *et al.* Increased N-use efficiency using a chlorophyll meter on high-yielding irrigated rice[J]. Field Crops Res, 1996, 47(2-3): 243-252.
- [16] PENG S. Quantifying the Interactive Effect of Leaf Nitrogen and Leaf Area on Tillering of Rice[J]. J Magnet Magnet Mater, 2003, 26(6): 1203-1222.
- [17] HUANG J L, HE F, CUI K H, *et al.* Determination of optimal nitrogen rate for rice varieties using a chlorophyll meter[J]. Field Crops Res, 2008, 105(1-2): 70-80.
- [18] 汪奎宏, 张培新. 毛竹笋用丰产林地下鞭根系统调查分析[J]. 竹子研究汇刊, 2000, 19(1): 38-43.
- [19] 吴炳生. 毛竹林地下结构与产量初析[J]. 竹子研究汇刊, 1984(1): 49-58.
- [20] 王希群, 马履一, 贾忠奎, 等. 叶面积指数的研究和应用进展[J]. 生态学杂志, 2005, 24(5): 537-541.
- [21] 傅建生, 董文渊, 韩梅, 等. 撑绿竹的叶面积指数测定[J]. 世界竹藤通讯, 2006, 4(2): 18-20.
- [22] 赵晓雁, 李新裕, 魏健等. 长绒棉新海 21 号叶片叶绿素动态分析[J]. 新疆农业科学, 2007, 44(5): 628-631.
- [23] 吴妙金. 雷竹笋产量试验及影响因素分析[J]. 林业勘察设计 (福建), 2013(2): 121-124.
- [24] 徐小利, 赵卫星, 常高正, 等. 西瓜产量与叶面积指数的相关性分析[J]. 河南农业科学, 2010(7): 84-85.
- [25] 杨伟, 高疆生, 徐崇志, 等. 红枣叶面积指数与产量的相关性分析[J]. 新疆农业科学, 2012, 49(8): 1397-1400.
- [26] 曾建敏, 姚恒, 李天福. 烤烟叶片叶绿素含量的测定及其与 SPAD 值的关系[J]. 分子植物育种, 2009, 7(1): 56-62.
- [27] 李海云, 任秋萍, 孙书娥, 等. 10 种园林树木叶绿素与 SPAD 值相关性研究[J]. 林业科技, 2009, 34(3): 68-70.
- [28] 刘孝良, 赫英姿, 于庭洪, 等. 柞树叶片 SPAD 值与叶绿素含量相关性的分析[J]. 北方蚕业, 2016, 37(4): 16-19.
- [29] 姜丽芬, 石福臣, 王化田, 等. 叶绿素计 SPAD-502 在林业上应用[J]. 生态学杂志, 2005, 24(12): 1543-1548.
- [30] 封焕英, 范少辉, 苏文会, 等. 不同经营方式下毛竹光合特性分异研究[J]. 生态学报, 2017, 37(7): 2307-2314.
- [31] 蔡红光, 米国华, 陈范骏, 等. 玉米叶片 SPAD 值、全氮及硝态氮含量的品种间变异[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(4): 866-873.
- [32] 王成雨, 代兴龙, 石玉华, 等. 花后小麦叶面积指数与光合和产量关系的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(1): 27-34.
- [33] 何亚娟, 潘学标, 裴志远, 等. 基于 SPOT 遥感数据的甘蔗叶面积指数反演和产量估算[J]. 农业机械学报, 2013, 44(5): 226-231.
- [34] 潘寅辉, 虞敏之, 胡建军, 等. 四季竹叶面积指数与竹笋产量的关系[J]. 西南林业大学学报, 2006, 26(5): 21-23.
- [35] 徐心云. 浙江省竹笋资源概况及开发前景[J]. 浙江林业科技, 1990(2): 61-65.
- [36] 范辉华. 新造毛竹林竹鞭生长规律的研究[J]. 福建林学院学报, 1999, 19(1): 30-32.
- [37] 苏文会, 范少辉, 张文元, 等. 冰冻雪灾对黄山区毛竹林的损害及影响因子[J]. 林业科学, 2008, 44(11): 42-49.
- [38] 叶茂, 周初跃, 郭东锋, 等. 客土改良对土壤质地及烟株生长发育的影响[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(8): 3359-3361.
- [39] 廖光庐, 夏少平, 朱兆洪, 等. 毛竹鞭年生长规律观察[J]. 南方林业科学, 1980(4): 19-25.
- [40] 徐道旺. 毛环竹笋用林土壤管理的研究[J]. 福建林业科技, 2004(S1): 11-13.