

## 目标树经营模式对杉木人工林生长及土壤肥力的短期影响

张 辉<sup>1,2</sup>, 蔡一冰<sup>1</sup>, 胡亚楠<sup>1</sup>, 邹显花<sup>1,3\*</sup>, 李 明<sup>1</sup>, 林开敏<sup>1</sup>, 马祥庆<sup>1</sup>

(1. 福建农林大学 林学院, 国家和草原林业局 杉木工程技术研究中心, 福建 福州 350002;  
2. 信阳市林业科学研究所, 河南 信阳 464000; 3. 南昌工程学院, 江西 南昌 330099)

**摘 要:**为探讨目标树经营对杉木人工林生长及土壤肥力的影响,以 14 年生杉木中龄林为对象,设计目标树经营(TM)、目标树施肥经营(TF)、传统经营对照(CK)3 种经营模式,开展目标树经营对杉木生长和土壤肥力影响研究。结果表明,与对照相比,TM、TF 经营模式一定程度上促进了杉木树高、胸径、单株材积年均增量,其中,杉木单株材积年均增量分别显著增加 0.030 6、0.031 6 m<sup>3</sup>。目标树经营模式显著影响 0~10 cm 土层肥力指标,均呈现出 TF>TM>CK。其中,TM 模式下的土壤水解性 N、有效 P、速效 K 分别比对照增加 7.1%、9.2%、24.9%,而 TF 模式下分别增加 15.2%、9.5%、30.7%。同时土壤脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶活性增强。综上所述,目标树经营模式能够改善杉木人工林的土壤肥力,提高杉木的生长质量,为杉木人工林可持续经营提供了理论依据。

**关键词:**杉木;目标树经营;人工林;土壤酶;土壤肥力

**中图分类号:**S154.1

**文献标志码:**A

**文章编号:**1001-7461(2022)01-0191-07

## Short-term Effects of Target Tree Management Models on the Growth and Soil Environment of *Cunninghamia lanceolata* Plantation

ZHANG Hui<sup>1,2</sup>, CAI Yi-bing<sup>1</sup>, HU Ya-nan<sup>1</sup>, ZOU Xian-hua<sup>1,3\*</sup>, LI Ming<sup>1</sup>, LIN Kai-min<sup>1</sup>, MA Xiang-qing<sup>1</sup>

(1. China Fir Engineer Research Center of National Forestry and Grassland Administration, College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, Fujian, China; 2. Xinyang Institute of Forestry Sciences, Xinyang 464000, Henan, China;  
3. Nanchang Institute of Technology, Nanchang 330099, Jiangxi, China)

**Abstract:** In order to study the effects of target tree management on the growth and soil fertility of *Cunninghamia lanceolata* plantation, 14-year-old *C. lanceolata* plantation was taken as the study object, three management modes were designed to conduct the experiment, including target tree management (TM), target tree fertilization management (TF), and traditional management (control). The results showed that TM and TF promoted the annual increment of tree height, DBH and single tree volume to a certain extent, and the annual increments of single tree volume significantly increased by 0.030 6 m<sup>3</sup> (TM) and 0.031 6 m<sup>3</sup> (TF), respectively. The management mode significantly affected the soil fertility indices of 0—10 cm soil layer, and with the order of TF>TM>control. Under TM mode, the soil hydrolytic N, available P and available K increased by 7.1%, 9.2% and 24.9%, respectively. Under the TF mode, the corresponding increments were 15.2%, 9.5% and 30.7%, respectively. At the same time, the activities of urease, sucrase and catalase increased. It was concluded that the TM and TF modes could improve the soil fertility and promote the growth of Chinese fir. The results provide the theoretical basis for sustainable management of Chinese fir plantation.

收稿日期:2021-01-12 修回日期:2021-01-23

基金项目:国家重点研发计划(2016YFD0600301);福建省科技厅农业引导性(重点)项目(2019N0002);福建农林大学科技创新专项基金项目(CXZX2019038G)。

第一作者:张 辉。研究方向:森林培育。E-mail: Hui\_2013wang001@163.com

\* 通信作者:邹显花,助理研究员,博士。研究方向:森林生态恢复。E-mail: zhouxianhua111@163.com

**Key words:** *Cunninghamia lanceolata*; target tree management; tree growth; soil enzyme; soil physico-chemical property

杉木(*Cunninghamia lanceolata*)是我国人工林面积最大的用材林树种,分布于秦岭、淮河以南 17 个省区<sup>[1]</sup>。杉木具有生长快、材质好、产量高等特点,深受广大杉木产区人民的喜爱<sup>[2]</sup>。但长期以来不合理的经营措施导致杉木人工林生产力下降等系列问题,制约杉木人工林可持续经营。同时传统杉木经营中的“重栽疏养”,严重影响了优质杉木大径材的培育。因此如何解决杉木人工林地力衰退等生态问题成为当前林业生产中急需解决的重大课题。

大量研究发现,林下套种、密度控制和近自然经营等措施在保持人工林长期生产力方面起到很好效果<sup>[3-5]</sup>。其中,近自然经营被认为是解决因人工林经营引起一系列生态问题的有效模式,而目标树经营技术是实现近自然森林经营的重要环节<sup>[6]</sup>。目标树经营是通过伐除干扰木为目标树提供更多生长空间,提高目标树木材质量,可以看作是一种特殊的疏伐或抚育间伐<sup>[7]</sup>,经营的核心是调控林木生长和生存环境,降低林冠层和地下根系之间的竞争,改变林内水、光和热的分配,进而调节林下植被和土壤性质,促进目标树的生长,从而提高林分质量,选择目标树经营进行抚育,最大程度地利用森林生态系统自我恢复机制,使人工林经营在生态和经济上获得双赢,是珍贵树种、大径材国家战略储备林重要经营模式<sup>[8-10]</sup>。虽然国内对杉木人工林的近自然经营进行了一些研究,但主要关注目标树生长变化<sup>[11]</sup>,而研究近自然经营对杉木人工林土壤层肥力的影响较少<sup>[8]</sup>,未能全面反映目标树经营对杉木人工林的实际效果和作用机制,难以很好地指导当前杉木人工林的持续经营。

鉴于此,本研究以福建洋口国有林场中龄林杉木为对象,以传统封育经营为对照,开展不同目标树经营模式(目标树经营、目标树施肥经营)下杉木人工林生长及土壤养分的定位观测研究,分析不同经营模式林木生长及土壤肥力的变化,揭示杉木人工林目标树经营的调控机理,为营造杉木大径级用材林以及发挥杉木人工林生态效益提供理论依据。

## 1 研究区概况

试验地位于福建省洋口国有林场(26°50′47″N, 117°54′40″E),属福建省杉木中心产区,是主要的杉木用材林生产基地。年平均温度 18.5℃,年平均降水量 1 880.2 mm,无霜期 230 d,海拔 200~300 m,土壤以山地红壤为主,雨量充沛,湿度较大,生长期

长。造林地前茬为杉木林采伐迹地,采伐后炼山整地,2002 年造林。林下植被主要有粗叶榕(*Ficus hirta*)、紫麻(*Oreocnide frutescens*)、福建观音座莲(*Angiopteris fokiensis*)、深绿卷柏(*Selaginella doederleinii*)、黑足鳞毛蕨(*Dryopteris fuscipes*)、江南短肠蕨(*Allantodia metteniana*)、金毛狗脊(*Woodwardia japonica*)等。

## 2 研究方法

### 2.1 试验设计

关于目标树最佳选择期,普遍认为以人工林树木胸径达到 10~15 cm 为宜<sup>[12]</sup>。因此选择林木生长情况基本一致的 14 年生杉木中龄林为对象,设计目标树经营、目标树联合施肥经营、传统封育经营等 3 种试验处理。采用随机区组设计,每个区组设计 3 种不同经营模式处理小区,共设 3 个区组,9 个试验小区(图 1)。每个标准样地面积 400 m<sup>2</sup>(20 m×20 m)。

2016 年 12 月实施目标树作业,在每块样地内选择树干通直无分叉,树冠丰满、生长情况较好的 10 株杉木作为目标树。把位于目标树同冠层或上冠层、上坡位,与目标树树冠重叠的杉木标记为干扰树并伐除,树冠层不影响目标树生长的树木作为辅助木予以保留,样地内其他树不做处理。目标树经营施肥处理中,在样地目标树上坡方向条状施 0.5 kg 复合肥。在标准地的 4 个角埋设水泥桩,并编号,以便长期定位调查。样地情况见表 1。

表 1 不同目标树经营模式设计

Table 1 Design of different target tree managements

经营模式	处理方式	处理前 林分密度 /(株·hm <sup>-2</sup> )	处理后 林分密度 /(株·hm <sup>-2</sup> )
目标树经营	选取目标树 10 株,伐除干扰树和枯死木 17 株。	1 575	1 150
目标树施肥经营	选取目标树 10 株,伐除干扰树和枯死木 17 株,目标树施肥 0.5 kg。	1 525	1 120
传统经营 对照(封育)	选取目标树 10 株,并标记,不做其他处理。	1 559	1 559

### 2.3 调查方法

2.3.1 不同经营模式的杉木生长调查 2018 年 11 月对试验样地的所有杉木进行每木检尺,测量杉木胸径和树高。在杉木胸高位置(1.3 m)用围径卷尺

测胸径(精确到 0.1 cm),树高采用超声波测高测距仪(Haglof, Sweden)测定(精确到 0.1 m)。根据福建省杉木材积公式计算林分杉木单株材积和蓄积量。

**2.3.2 不同经营模式的杉木土壤肥力调查** 2018 年 11 月在不同的试验标准地内按照“S”形布点,避开施肥条带,选择 5 个目标树周围土壤取样点,采用 100 cm<sup>3</sup> 环刀,在每个样地的上、中、下部目标树周围分别按 0~10、10~20、20~40、40~60 cm 取原状

土,带回室内,用于土壤物理性质测定。然后取相同土层样品混合后带回实验室风干,去除土壤样品里面的石砾、植物根系、炭块等,研磨分别过 2 mm 和 0.149 mm 土筛后保存,用于土壤化学性质测定。由于土壤酶活性具有明显的季节变化,因此在 2018 年 2 月、5 月、8 月和 11 月取 0~10、10~20 cm 土层测定土壤酶活性,根据福建水热的季节性规律,取样时间分别对应了春季(2—4 月)、夏季(5—7 月)、秋季(8—10 月)、冬季(11—1 月)。

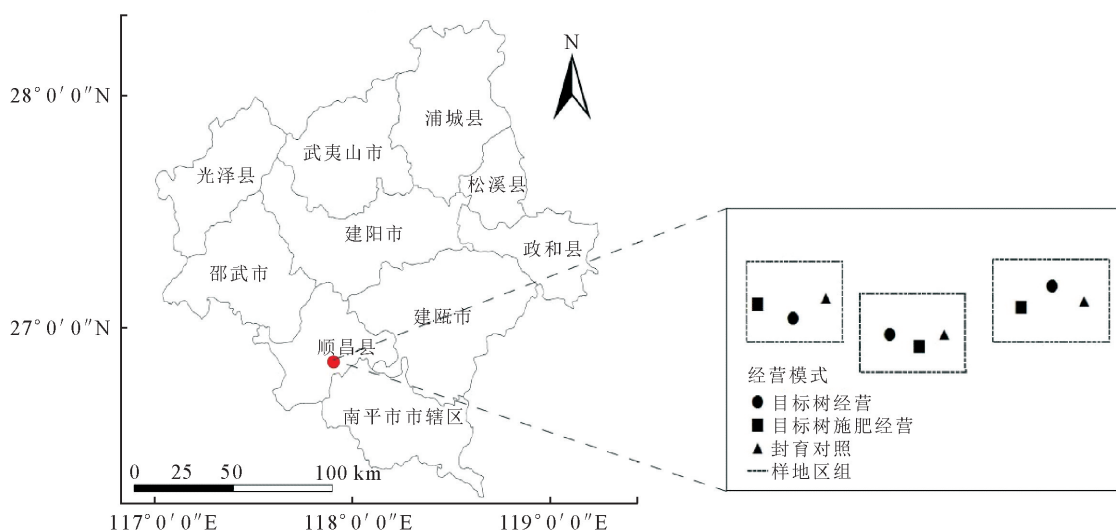


图 1 试验样地分布

Fig. 1 Location map of experimental sample plots

## 2.4 测定方法

pH 采用电位法测定,含水量采用烘干法;土壤容重孔隙度、持水量采用环刀法测定,元素分析仪测定(VarioMaxCN, Elementar, 德国)测定全 N;土壤经过强酸消煮后采用电感耦合等离子体发射光谱仪(PE OPTIMA 8000, 美国)测定全 P 和全 K;水解性氮采用碱解-扩散法测定,有效 P 采用碳酸氢钠浸提法测定;速效 K 采用火焰光度法测定<sup>[13]</sup>。

土壤蔗糖酶采用 3,5-二硝基水杨酸比色法,脲酶采用靛酚蓝比色法,过氧化氢酶使用 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 分光光度法<sup>[14]</sup>。

## 2.5 统计分析

采用 SPSS 19.0 软件进行单因素方差分析和最小二乘法进行显著性检验。土壤理化性质与土壤酶活性相关分析采用 Person 相关分析法,并用 Origin 2018 作图。

## 3 结果与分析

### 3.1 不同经营模式对杉木生长的影响

从表 2 看出,不同经营模式对杉木树高、胸径生长有不同程度影响。目标树经营模式下树高比 CK 高出 15.1%,胸径年均增量比 CK 高出 23.6%。目

标树施肥经营模式下树高比目标树经营模式高 2.1%,胸径年均增量比目标树经营模式高 2.2%。说明目标树经营和施肥均能在一定程度上促进杉木树高、胸径生长,但在目标树经营模式初期施肥效果不显著。

不同经营模式对杉木林单株材积有较大影响,对杉木林蓄积量影响不显著。目标树经营模式下单株材积年均增量比 CK 高 25.9%,且差异显著( $P < 0.05$ )。目标树施肥经营模式下单株材积年均增量为比目标树经营模式高 3.3%。说明目标树经营和施肥均能在一定程度上提高杉木林单株材积,但在目标树经营模式初期施肥效果不显著。目标树经营和目标树施肥经营模式下杉木林蓄积量均小于 CK,但差异不显著。这是因为伐除干扰树后目标树经营林分密度明显小于对照样地。

### 3.2 不同经营模式对土壤理化性质的影响

同一经营模式下的不同土壤层,土壤容重随土壤深度加深呈递增趋势,土壤质量含水量、土壤最大持水量及土壤孔隙度随土壤深度加深呈现递减趋势(表 3)。目标树经营与目标树联合施肥经营条件下,不同土层的土壤容重、土壤质量含水量、土壤最大持水量及土壤孔隙度等指标总体上均高于 CK 处理,但随着

土层深度的增加差异性减小。其中,在 0~10 cm 土层土壤容重、土壤质量含水量、土壤最大持水量目标树经营分别显著提高 5.5%、19.0%、12.2%,而目标树联合施肥分别显著提高 5.2%、24.4%、9.5%,而土壤总孔隙度、pH 差异性未达显著水平。

不同目标树经营模式下,杉木林土壤全 N、全 P、全 K、水解性 N、有效 P、速效 K 含量随土层深度加深呈现递减趋势(表 4)。目标树经营模式、目标树联合施肥经营模式处理的土壤养分含量高于对照,但随着土层深度的增加差异性减小。土壤全 N、全 P、全 K

含量在 0~10 cm 目标树经营模式分别显著提高 7.4%、15.7%、5.2%,目标树联合施肥经营模式分别显著提高 23.5%、25.5%、9.4%,土壤水解性 N、有效 P、速效 K 含量在 0~10 cm 目标树经营模式分别显著提高 7.1%、9.2%、24.9%,目标树联合施肥经营模式分别显著提高 15.2%、8.7%、30.7%,而在 10~20 cm 土层,仅有土壤全 P、水解性 N、有效 P、速效 K 含量目标树经营模式下显著提高 25.0%、4.2%、7.2%、14.1%,目标树联合施肥经营模式下显著提高 35.0%、16.1%、7.7%、23.0%。

表 2 不同经营模式对杉木人工林生长的影响

Table 2 Effects of different treatments on the growth of *C. lanceolata* plantation

经营模式	树高年均增量/m	胸径年均增量/cm	单株材积年均增量/m <sup>3</sup>	蓄积年均增量/m <sup>3</sup>
目标树经营	0.95±0.11A	0.92±0.06A	0.030 6±0.001 2A	1.38±0.06A
目标树施肥经营	0.97±0.11A	0.94±0.06A	0.031 6±0.000 7A	1.40±0.05A
封育对照	0.83±0.11A	0.74±0.06A	0.024 3±0.001 0B	1.56±0.05A

注:不同大写字母代表同一指标的不同经营模式在  $P<0.05$  水平下达到显著性差异。

表 3 不同经营模式对土壤物理性质的影响

Table 3 Effects of different management modes on the soil physical properties

经营模式	土层/cm	容重 (g·cm <sup>-3</sup> )	质量含水量 (g·kg <sup>-1</sup> )	最大持水量 (g·kg <sup>-1</sup> )	总孔隙度/%	pH
目标树经营	0~10	1.22±0.02Ac	291.29±5.34Ba	386.41±7.35Aa	51.66±0.63Aa	5.68±0.12Aa
	10~20	1.28±0.06Ab	290.96±11.45Aa	356.46±7.74Ab	49.64±1.33Aab	5.56±0.08Aa
	20~40	1.36±0.06Aa	255.86±8.25ABb	335.03±3.43Abc	47.52±1.42Aab	5.43±0.16Aa
	40~60	1.38±0.03Aa	260.68±6.07Ab	327.01±8.79Ac	45.52±1.36Ab	5.37±0.11Aa
目标树施肥经营	0~10	1.23±0.08Ac	310.87±4.72Aa	377.28±8.74Aa	52.11±0.34Aa	5.75±0.06Aa
	10~20	1.29±0.02Ab	307.83±8.69Aa	352.89±4.15ABb	49.16±1.15Ab	5.58±0.05Aa
	20~40	1.35±0.10Aa	274.37±3.02Ab	333.37±7.87ABbc	48.56±0.33Ab	5.62±0.03Aa
	40~60	1.37±0.03Aa	275.68±6.72Ab	324.89±3.44Ac	47.12±0.24Ab	5.57±0.10Aa
封育对照	0~10	1.16±0.03Bc	255.30±6.35Ca	344.44±6.93Ba	49.16±0.40Aa	5.45±0.12Aa
	10~20	1.24±0.05Ab	250.67±7.73Ba	334.84±6.17Bab	46.29±1.21Ab	5.39±0.13Aa
	20~40	1.37±0.04Aa	234.82±8.45Bab	312.44±6.13Bab	45.13±0.84Ab	5.27±0.09Aa
	40~60	1.43±0.05Aa	219.05±0.66Bb	322.34±7.80Ab	44.37±0.91Ab	5.30±0.09Aa

注:不同大写字母代表同一土层的不同经营模式在  $P<0.05$  水平下达到显著性差异;不同小写字母表示同一处理的不同土层在  $P<0.05$  水平下达到显著性差异,下同。

表 4 不同经营模式对土壤化学性质的影响

Table 4 Effects of different management modes on the soil chemical properties

经营模式	土层/cm	全 N (g·kg <sup>-1</sup> )	全 P (g·kg <sup>-1</sup> )	全 K (g·kg <sup>-1</sup> )	水解性 N (mg·kg <sup>-1</sup> )	有效 P (mg·kg <sup>-1</sup> )	速效 K (mg·kg <sup>-1</sup> )
目标树经营	0~10	0.87±0.01Ba	0.59±0.01Ba	38.31±0.73ABa	186.16±1.60Ba	17.89±0.16Aa	263.98±2.74Ba
	10~20	0.79±0.04Ab	0.50±0.01Bb	35.75±0.82Aab	142.60±2.51Ab	16.78±0.11Ab	180.78±3.84Bb
	20~40	0.66±0.02Ac	0.36±0.01Ac	33.99±1.27Ab	123.19±2.17Bc	15.37±0.07Ab	128.16±4.06Ac
	40~60	0.57±0.02Ad	0.31±0.01Ad	32.54±0.91Ab	96.30±1.30Ad	14.40±0.17Ab	85.75±1.21Ad
目标树施肥经营	0~10	1.00±0.01Aa	0.64±0.01Aa	39.86±0.80Aa	200.31±1.17Aa	17.82±0.06Aa	276.21±4.44Aa
	10~20	0.83±0.03Ab	0.54±0.01Ab	35.85±0.72Ab	158.89±2.83Ab	16.85±0.16Aa	194.95±1.85Ab
	20~40	0.64±0.02Ac	0.36±0.01Ac	34.40±0.44Abc	123.79±1.67Ac	15.36±0.25Aa	129.00±1.27Ac
	40~60	0.58±0.03Ad	0.31±0.01Ad	32.48±1.20Ac	93.30±2.15Ad	14.43±0.12Aa	81.66±2.43Ad
封育对照	0~10	0.81±0.01Ca	0.51±0.01Ca	36.43±0.30Ba	173.83±2.45Ca	16.39±0.25Ba	211.41±2.14Ca
	10~20	0.77±0.05Aa	0.40±0.01Cb	34.57±0.69Aab	136.87±2.87Bb	15.65±0.16Ba	158.46±2.63Cb
	20~40	0.64±0.04Ab	0.37±0.01Ac	33.94±1.61Aab	123.65±2.30Ac	15.22±0.04Aa	121.08±3.33Ac
	40~60	0.57±0.01Ac	0.33±0.01Ad	32.93±0.34Ab	96.47±0.69Ad	14.56±0.11Aa	89.50±2.83Ad



### 3.3 不同经营模式对土壤酶活性的影响

不同目标树经营模式下,土壤酶活性(蔗糖酶、脲酶、过氧化氢酶)随土层加深呈现递减趋势(图 2)。不同季节(2、5、8、10 月)目标树经营模式、目标树联合施肥经营模式处理的土壤酶活性大于对照(TF>TM>CK)。其中,在 0~10 cm 土层,目标树经营模式、目标树联合施肥经营模式下蔗糖酶、脲酶、过氧化氢酶活性显著大于对照,在目标树经营模式与目标树联合施肥模式之间仅脲酶活性有显著差异(TF>TM);目标树经营模式下蔗糖酶、脲酶、过氧化氢酶活性平均提高 13.3%、14.3%、7.9%,目标树联合施肥模式下蔗糖酶、脲酶、过氧化氢酶活性平均提高 21.6%、27.8%、12.1%。而 10~20 cm 土层,不同季节目标树经营模式、目标树联合施肥模式

式及对照组蔗糖酶活性无显著差异,且目标树经营模式、目标树联合施肥经营模式下仅土壤脲酶活性均显著大于对照,目标树经营模式与目标树联合施肥模式之间仅过氧化氢酶活性均有显著差异。

## 4 结论与讨论

目标树经营 2 a 后,14 年生杉木单株材积年均增量显著提高  $0.031 \text{ m}^3$ ,而杉木林蓄积量变化不显著。与对照相比,目标树经营杉木林土壤肥力状况得到一定改善。目标树经营和目标树施肥经营均能增加表层土壤养分,平均显著提高表层土壤蔗糖酶、过氧化氢酶和脲酶活性 13.3%、21.1%、10.0%,起到改良林地土壤肥力的作用。综上所述,目标树经营模式,可以利用自然动力,促进森林反应能力,从而改良土壤肥力,对杉木的生长有较好的促进作用,是值得大力推广的杉木人工林经营模式。

### 4.1 不同目标树经营模式对杉木生长的影响

森林可持续经营和多功能林业使得森林经营朝着近自然的方向发展,目标树经营是实现近自然经营的核心,近年来不少研究发现目标树经营对不同树种的生长具有促进作用<sup>[15-18]</sup>。张晓红等<sup>[19]</sup>和 J. S. Ward<sup>[20]</sup>进行干扰树伐除试验表明,“树冠重叠”释放对不同目标树的直径生长均有促进作用,促进作用因树种而异。王懿祥<sup>[21]</sup>研究表明,伐除干扰树显著促进了目标树的胸径和材积生长,对树高生长影响不大。本研究发现目标树经营模式下树高年均增量、胸径年均增量、单株材积年均增量分别比 CK 处理高 15.1%、23.6%、25.9%。目标树经营林分的年均树高、胸径、单株材积增量均有不同程度的提高,这与上述研究结果相似,随着目标树释放程度的加深,目标树的生长状况可能越来越好。干扰树间伐后,目标树的生长空间得以释放,获得了充足的水热光照,土壤养分条件得以改善,因而促进了不同树种的树高、胸径和材积的生长<sup>[22]</sup>。

### 4.2 不同目标树经营模式对土壤肥力的影响

目标树经营使林下植被类型、光照强度、土壤温度、水分等发生变化,从而使土壤物理性质和养分循环机制发生变化<sup>[22-24]</sup>。邹慧<sup>[25]</sup>研究表明,孔隙度和含水率均随土层深度的增加而减小,目标树经营东北红松(*Pinus koraiensis*)能显著提高土壤含水率。吕倩等<sup>[8]</sup>也发现马尾松(*P. massoniana*)人工林经过目标树经营初期改造,土壤的持水能力及含水量都有一定程度的提升。本研究发现 2 a 后目标树经营模式、目标树联合施肥经营模式下土壤质量含水量、最大持水量均呈显著增加。与上述研究结果基本一致。引起土壤含水量升高的主要原因是植物生

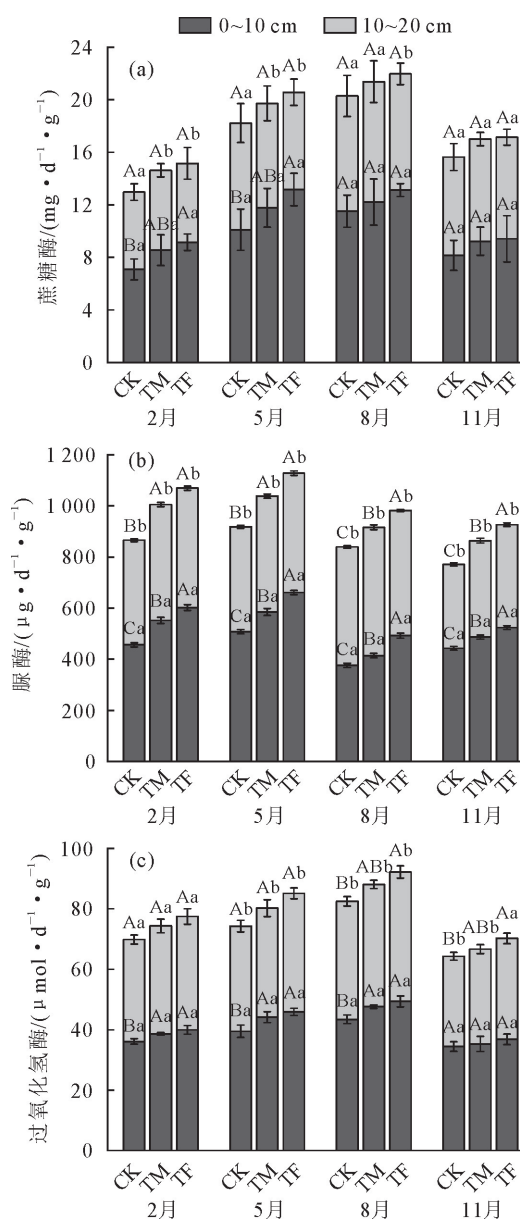


图 2 不同经营模式对土壤酶活性的影响

Fig. 2 Effects of different management modes on soil enzyme activity

物量的变化。目标树经营能促进林下植物生长,提高植被生物量<sup>[26]</sup>,林分生物量的增加导致输入土壤中有机的数量增加,以及植物根系的生长对改善土壤结构有积极的作用,增强保水性,起到涵养土壤水分的作用。

土壤养分是森林生产力的基础,间伐后林下环境的变化影响土壤物质循环和养分周转,进而引起土壤养分的变化<sup>[27]</sup>。目标树处理和施肥对表层土壤的各养分含量均有明显促进作用,但只在 0~10 cm 土层达到显著差异,这可能与目标树经营处理的时间较短有关。目标树经营联合施肥对杉木人工林表层土壤全 N、全 P、水解性 N、有效 P、速效 K 含量有明显的影响,在 0~10 cm 土层,目标树联合施肥经营模式处理,土壤全 N 含量较目标树经营模式有显著的增加( $P<0.05$ )。说明目标树经营对土壤养分含量虽有较大影响,但不如施肥见效快。目标树处理和施肥对表层土壤的全 K 含量的提高也有一定的积极影响。目前较为一致的看法是:间伐改善了林内光环境,提高土壤微生物活性,促进土壤物质和能量循环有利于腐殖质的形成,从而提升土壤肥力<sup>[28]</sup>。伐除干扰木减少了林木之间对水分和无机养分的竞争<sup>[29]</sup>,因此目标树经营以及施肥都能有效促进土壤养分的积累。

土壤酶是土壤的生物催化剂,对维持土壤生态系统的稳定起着重要作用<sup>[30-32]</sup>。刘颂颂等<sup>[33]</sup>研究表明,林分间伐套种后土壤酶活性明显高于未间伐林分。张景普等<sup>[27]</sup>研究表明,中度和强度间伐均显著提高土壤多种酶(酚氧化酶、外切葡萄糖苷酶等)的相对活性。李宽莹等<sup>[34]</sup>研究表明,施肥可提高土壤脲酶、蔗糖酶等活性。本研究发现,目标树经营对提高土壤蔗糖酶、脲酶、过氧化氢酶活性有明显促进作用,尤其在 0~10 cm 土层。目标树经营模式下蔗糖酶活性有不同程度的提高,目标树经营模式下脲酶活性都显著大于 CK( $P<0.05$ ),与目标树经营模式相比,目标树联合施肥经营模式不同月份土壤脲酶活性呈显著提高( $P<0.05$ )。目标树经营模式过氧化氢酶活性也有所增加,且在 2、5、8 月达到显著性差异水平( $P<0.05$ )。随着土层的加深,蔗糖酶、脲酶、过氧化氢酶活性均呈现递减的趋势,这与上述研究结果相似。土壤酶活性的提高可能是因为目标树经营改善了林下植被的生长环境,施肥给植被带来了更多的养分,提高林下植被的多样性和数量,使林分植物根系和微生物代谢释放了大量的酶类物质<sup>[35-36]</sup>。

## 参考文献:

[1] 周政贤,陈佛寿,盛炜彤. 杉木地理分布及主要商品材生产基地

规划的建议[J]. 林业科学, 1981, 17(2): 134-144.

- [2] 蒋恕. 杉木 *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook. 开花结籽的解剖学观察[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 1980(1): 109-115.
- [3] 刘泰瑞,任达,董威,等. 华北落叶松天然林目标树间伐释压与胸径生长关系研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2019, 39(1): 20-24, 44.  
LIU T R, REN D, DONG W, *et al.* Relationship between goal tree tending and thinning for releasing pressure and DBH growth of *Larix principis-rupprechtii* natural forest by goal tree central round quadrat method[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2019, 39(1): 20-24, 44. (in Chinese)
- [4] 刘敏,王胜坤,张宁南,等. 珍贵树种林下套种广东紫珠的密度效应研究[J]. 林业与环境科学, 2019, 35(4): 56-59.
- [5] 郭光智,段爱国,张建国. 亚热带杉木林分蓄积量生长立地与密度效应[J]. 林业科学研究, 2019, 32(4): 19-25.  
GUO G Z, DUAN A G, ZHANG J G. The site and planting density effects on the wood volume growth of Chinese fir plantations in south subtropical Area[J]. Forest Research, 2019, 32(4): 19-25. (in Chinese)
- [6] 张岩. 华北落叶松人工林目标树经营技术探讨[J]. 绿色科技, 2019(1): 80-81.
- [7] MILLER G W, STRINGER J W, MERCKER D C. Technical guide to crop tree release in hardwood forests[M]. Knoxville, TN: University of Tennessee Extension, 2007: 24.
- [8] 吕倩,尹海峰,何朋俊,等. 马尾松人工林目标树经营初期对土壤理化性质与植物多样性的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2018, 24(3): 500-507.  
LÜ Q, YIN H F, HE P J, *et al.* Effects of early management of *Pinus massoniana* plantation target trees on soil physicochemical properties and plant diversity[J]. Chin. J. Appl. Environ. Biol., 2018, 24(3): 500-507. (in Chinese)
- [9] 宁金魁,陆元昌,赵浩彦,等. 北京西山地区油松人工林近自然化改造效果评价[J]. 东北林业大学学报, 2009, 37(7): 42-44.  
NING J K, LU Y C, ZHAO H Y, *et al.* Assessment on close-to-nature transformation of *Pinus tabulaeformis* plantations in Xishan Region[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2009, 37(7): 42-44. (in Chinese)
- [10] 詹昭宁. 对目标树作业法的思考——读《木兰对话》对近自然林的认识[J]. 中南林业调查规划, 2013, 32(4): 1-3.
- [11] 任蕾,徐端妙,吴初平,等. 杉木人工林目标树经营技术参数的研究[J]. 浙江林业科技, 2019, 39(2): 1-6.
- [12] 郭可义. 近自然育林的主要技术措施[J]. 宁夏林业, 2018, 145(2): 29, 37.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [14] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1986.
- [15] 徐清乾,许忠坤,张懿,等. 近自然经营对杉木人工林生长的影响[J]. 湖南林业科技, 2014, 41(3): 71-76.
- [16] SCHULER T M. Crop tree release improves competitiveness of northern red oak growing in association with black cherry[J]. Northern Journal of Applied Forestry, 2006, 23(2): 77-82.
- [17] BAKER P J, ROBINSON A P, EWEL J J. Sudden and sus-

- tained response of *Acacia koa*, crop trees to crown release in stagnant stands[J]. Canadian Journal of Forest Research, 2008, 38(4): 656-666.
- [18] WARD J S. Crop-tree release increases growth of black birch (*Betula lenta* L.) in southern New England[J]. Northern Journal of Applied Forestry, 2007, 24(2): 117-122.
- [19] 张晓红, 张会儒. 蒙古栎次生林垂直结构特征对目标树经营的响应[J]. 北京林业大学学报, 2019, 41(5): 56-65.
- ZHANG X H, ZHANG H R. Response of vertical structure characteristics of natural secondary *Quercus mongolica* forest to crop tree release[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2019, 41(5): 56-65. (in Chinese)
- [20] WARD J S. Intensity of precommercial crop tree release increases diameter growth and survival of upland oaks[J]. Canadian Journal of Forest Research, 2009, 39(1): 118-130.
- [21] 王懿祥. 人工马尾松和杉木林目标树经营理论与实践[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2012.
- [22] WARD J S. Precommercial crop tree release increases upper canopy persistence and diameter growth of oak saplings[J]. Northern Journal of Applied Forestry, 2013, 30(4): 156-163.
- [23] ZENNER E K, PUETTMANN K J. Contrasting release approaches for a mixed paper birch (*Betula papyrifera*)-quaking aspen (*Populus tremuloides*) stand[J]. Northern Journal of Applied Forestry, 2008, 25(3): 124-132.
- [24] 董从国, 乔雨宁, 曹扬, 等. 黄土高原不同植被带油松人工林生态化学计量特征及其影响因素[J]. 西北林学院学报, 2020, 35(3): 1-8.
- DONG C G, QIAO Y N, CAO Y, et al. Ecological stoichiometric characteristics and its influential factors in *Pinus tabulaeformis* plantation under different vegetation zones in the Loess Plateau[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2020, 35(3): 1-8. (in Chinese)
- [25] 邹慧. 东北红松天然次生林不同经营模式下土壤理化性质和碳储量的研究[D]. 南宁: 广西大学, 2015.
- [26] SANTANA J, PORTO M, LUÍS R, et al. Long-term understory recovery after mechanical fuel reduction in mediterranean cork oak forests[J]. Forest Ecology and Management, 2011, 261(3): 453-459.
- [27] 张景普, 于立忠, 刘利芳, 等. 不同作业方式对落叶松人工林土壤养分及酶活性的影响[J]. 生态学杂志, 2016, 35(6): 1403-1410.
- ZHANG J P, YU L Z, LIU L F, et al. Effects of different silvicultural ways on soil nutrients and enzyme activity in larch plantation[J]. Chinese Journal of Ecology, 2016, 35(6): 1403-1410. (in Chinese)
- [28] 张鼎华, 叶章发, 范必有, 等. 抚育间伐对人工林土壤肥力的影响[J]. 应用生态学报, 2001, 12(5): 672-676.
- [29] 尹泰龙, 韩福庆, 迟金城, 等. 林分密度控制图的编制与应用[J]. 中国林业科学, 1978(3): 1-11.
- [30] 栗淑媛, 马华山, 王俊琴, 等. 低温对螺旋藻可溶性蛋白和游离氨基酸外渗的影响[J]. 西北植物学报, 2005, 25(6): 1195-1198.
- LI S Y, MA H S, WANG J Q, et al. Effect of low temperature on the exosmoses of soluble protein and free amino acid from *Spirulina* (*Arthrospira*) [J]. Acta Bot. Boreal-Occident Sin., 2005, 25(6): 1195-1198. (in Chinese)
- [31] 马英姿, 梁文斌, 陈建华. 经济植物的抗寒性研究进展[J]. 经济林研究, 2005, 23(4): 89-94.
- [32] LILI Z, LIPING C, ZONGMING H, et al. Thinning increases understory diversity and biomass, and improves soil properties without decreasing growth of Chinese fir in southern China[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2016, 23(23): 24135-24150.
- [33] 刘颂颂, 陈葵仙, 沈德才, 等. 间伐对华南地区相思人工林土壤理化性质、微生物及酶活性的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2018, 38(2): 23-29.
- LIU S S, CHEN K X, CHEN D C, et al. Impact of thinning on physical and chemical characteristics, soil microorganism and soil enzyme activities on season of *Acacia mangium* in south China[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technical, 2018, 28(2): 23-29. (in Chinese)
- [34] 李宽莹, 王泽林, 徐兴有, 等. 不同施肥处理对日光温室内土壤微生物数量与酶活性的影响[J]. 西北林学院学报, 2019, 34(2): 56-61.
- LI K Y, WANG Z L, XU X Y, et al. Effect of fertilization pattern on soil microorganism quantity and soil enzyme activity under the greenhouse grape-cultivating system[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2019, 34(2): 56-61. (in Chinese)
- [35] 付美云, 杨宁, 杨满元, 等. 衡阳紫色土丘陵坡地不同恢复阶段土壤微生物与养分的耦合关系[J]. 生态环境学报, 2015, 24(1): 41-48.
- FU M Y, YANG N, YANG M Y, et al. Coupling relationship between soil microbe with soil nutrient in re-vegetation stages on sloping-land with purple soils in Hengyang of Hunan Province, south-central China[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2015, 24(1): 41-48. (in Chinese)
- [36] 刘成刚, 薛建辉. 喀斯特石漠化山地不同类型人工林土壤的基本性质和综合评价[J]. 植物生态学报, 2011, 35(10): 1050-1060.