

萌芽杉木幼龄林植物群落特征

田甜¹, 余树全², 张旭东¹, 白彦锋¹, 张华锋³, 姜春前¹

(1. 中国林业科学研究院 林业研究所 国家林业和草原局林木培育重点实验室, 北京 100091; 2. 浙江农林大学 林业与生物技术学院, 浙江 杭州 311300; 3. 浙江省杭州市临安区农林技术推广中心, 浙江 杭州 311300)

摘要:【目的】探索森林恢复方式, 改善杉木 *Cunninghamia lanceolata* 林分结构及维护生物多样性, 对杉木人工林可持续经营和森林恢复活动具有理论和实践价值。【方法】2017年10月选择浙江省杭州市临安区昔口村二代萌芽杉木幼龄林为研究对象, 对其植物群落特征进行实地调查。【结果】昔口村杉木萌芽幼龄林植物种类共104种, 其中乔木层植物14种, 灌木层植物58种, 草本层植物41种, 优势植被构成杉木-蓬蘽 *Rubus hirsutus*-蕨 *Pteridium aquilinum* 群落; 物种丰富度指数、Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数、Pielou 指数均为灌木层>草本层>乔木层; 林下植被除部分优势种长势较好, 多数植物种类数量较少且分布较稀疏。【结论】在改善森林生态系统物种、结构、资源利用方面的异质性时, 要考虑当地农户和社区的需求, 选择当地乡土阔叶树种、适生阔叶树种进行补植, 形成混交林, 并辅以科学的抚育措施。表6参21

关键词: 森林生态学; 杉木; 萌芽林; 植物多样性; 群落结构; 森林恢复

中图分类号: S718.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2020)01-0036-07

Plant community characteristics of young *Cunninghamia lanceolata* sprout forest

TIAN Tian¹, YU Shuquan², ZHANG Xudong¹, BAI Yanfeng¹, ZHANG Huafeng³, JIANG Chunqian¹

(1. Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, National Forestry and Grassland Administration, Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. College of Forestry and Biotechnology, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, Zhejiang, China; 3. Lin'an District Agriculture and Forestry Technology Promotion Center, Hangzhou 311300, Zhejiang, China)

Abstract: [Objective] This study aims to explore the way of forest rehabilitation, improve the forest structure, maintain biodiversity and provide a reference for further research on plant community characteristics of *Cunninghamia lanceolata* forests. [Method] A field investigation was conducted on the plant community characteristics of the second generation young *C. lanceolata* sprout forest in Xikou Village, Lin'an, Zhejiang Province in October 2017. [Result] The data analysis showed that there were 104 species of plants in the young *C. lanceolata* sprout forest in Xikou Village, including 14 species of arbor layer plants, 58 species of shrub layer plants, and 41 species of herbaceous layer plants. The dominant vegetation constituted the *C. lanceolata*-*Rubus hirsutus*-*Pteridium aquilinum* community. The species richness index, the Simpson index, the Shannon-Wiener index, and the Pielou index were all shrub layer > herbal layer > tree layer. Except for some dominant species, most plant species of understory vegetation were small in number and sparsely distributed. [Conclusion] It is recommended that needs of local farmers and communities should be taken into consideration to improve the heterogeneity of forest ecosystem species, structure and resource use, and local native broad-leaved tree species and

收稿日期: 2019-02-23; 修回日期: 2019-07-12

基金项目: 亚太森林组织(APFNet)资助项目(2016P2-CAF)

作者简介: 田甜, 博士研究生, 从事退化生态系统修复研究。E-mail: tt3000@sina.cn。通信作者: 姜春前, 研究员, 从事林业与气候变化研究。E-mail: jiangchq@caf.ac.cn

suitable broad-leaved tree species should be selected for replanting to form mixed forests, supplemented by scientific cultivation measures. [Ch, 6 tab. 21 ref.]

Key words: forest ecology; *Cunninghamia lanceolata*; sprout forest; plant diversity; community structure; forest rehabilitation

毁林和森林退化导致了生物多样性的丧失和生态系统服务的下降^[1-2]。森林恢复是减缓(减少)毁林和森林退化的重要途径,与人类的福祉息息相关^[3-4]。中国人工林面积世界排名第 1 位,在全球森林生态系统中占据了重要的地位^[5]。但是,树种少、同龄纯林以及连片面积过大,缺乏对本地原生植被保护等问题,导致了大量人工林无法很好地发挥经济效益和生态效益,还引起诸多社会环境矛盾^[6-8]。杉木 *Cunninghamia lanceolata* 作为人工林种植的主要树种和重要速生用材树种,分布在中国南方 16 个省(区),在中国森林蓄积量和木材生产中占有重要地位。由于杉木人工林的针叶化、纯林化、经营集约化和多代连栽等现象的加剧,杉木人工林普遍存在地力衰退、生产力下降和生物多样性低等一系列生态问题,制约着森林的永续利用及其生态和经济效益的发挥^[9-12]。探索退化杉木人工林科学的恢复方式,对恢复中国乃至世界人工林生态系统和森林生态系统功能具有借鉴意义。植物多样性对林分的养分循环和能量流动有关键作用^[11,13-14],林分结构是对林分发展过程如更新方式、竞争、自然稀疏和经历的干扰活动的综合反映^[15]。因而,了解杉木林植物群落特征,有助于进一步有效经营利用和调控群落,为恢复退化杉木林提供科学依据。中国杉木林大多是人工林,少量为次生林,人工栽培常系纯林^[16]。目前,对杉木林植物群落特征已有大量研究,但多集中在人工栽植的杉木林中^[15-20],对于皆伐后萌芽杉木幼龄林植物群落特征的研究未见报道。萌芽是杉木人工林重要的起源方式之一,是一些杉木产区传统的育杉方式,开展杉木萌芽林植物群落物种组成和结构特征研究,对杉木人工林可持续经营和森林恢复活动具有一定的理论和实践价值。杭州市临安区森林资源丰富,是浙江省 9 个重点林区县(市)之一,杉木林是当地农户收入来源之一。当地杉木林也存在着林分退化、地力衰退等一系列的问题,亟待施与恰当的恢复措施来进行恢复,以保障森林生态系统的可持续发展。本研究选择当地代表性二代萌芽杉木幼龄林为研究对象,对其植物群落特征进行调查分析,以探索适合当地的森林恢复方式,也为专家学者研究杉木林植物群落特征提供参考。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

浙江省杭州市临安区(29°56'~30°23'N, 118°51'~119°52'E)地处浙江省西北部天目山区,属中亚热带季风区,气候温暖湿润,光照充足,雨量丰沛,四季分明。该区北、西、南三面环山,形成一个东南向的马蹄形屏障。境内以丘陵山地为主,地势自西北向东南倾斜,立体气候明显。样地设于临安区於潜镇昔口村,於潜镇位于西天目山南麓,地处浙西山区,临安区域的中心地带,昔口村坐落于於潜镇西部,杉木林为当地农户的收入来源之一。

1.2 样地设置

选取昔口村 30 hm² 二代萌芽杉木幼龄林作为研究对象,设置 9 块样地。样地平均海拔 158 m,平均坡度 30.4°,土壤为红壤,平均土壤厚度为 85 cm,平均郁闭度 0.58,平均密度 3 165 株·hm⁻²,平均胸径为 4.06 cm,平均树高为 3.59 m(表 1)。该地早先为荒山,后进行荒山改造栽植杉木人工林。一代杉木人工林 2012-2013 年皆伐,现为萌芽杉木幼龄林,林龄为 5 a。

1.3 外业调查及内业处理

1.3.1 外业调查 在林中设置 20 m × 20 m 的样地 9 块,调查时间为 2017 年 10 月。①乔木层调查。样地面积为 20 m × 20 m,胸径 1.0 cm 起测。调查因子为胸径、树高、郁闭度。②灌木层调查。在样地四角和中心设置 5 个 4 m × 4 m 的小样方,调查灌木层的种类、株数、盖度、平均高度等。③草本层调查。在样地四角和中心设置 5 个 4 m × 4 m 的小样方,调查草本层种类、株数、盖度和平均高度。

1.3.2 内业处理 (1)物种重要值计算:重要值=(相对多度+相对频度+相对优势度)/3×100%;相对多度=某个物种株数/所有物种的株数×100%;相对频度=某个物种出现的样方数/所有物种出现的样方数×

表1 昔口村杉木幼龄林基本信息

Table 1 Basic information of young Chinese fir forest in Xikou Village

样地号	坡向	主要树种	乔木层/(株·hm ⁻²)	杉木/(株·hm ⁻²)	样地号	坡向	主要树种	乔木层/(株·hm ⁻²)	杉木/(株·hm ⁻²)
1	东南	杉木	4 590	2 895	6	东南	杉木	3 690	2 700
2	东	杉木	2 490	2 100	7	西南	杉木	3 390	2 505
3	东北	杉木	2 400	1 395	8	西北	杉木	4 095	2 805
4	西北	杉木	2 100	1 200	9	东	杉木	3 600	1 995
5	北	杉木	2 190	1 305					

100%；相对优势度=某个物种的优势度/所有物种的优势度×100%。本研究中，胸高断面积为乔木层树种的优势度，灌木和草本层物种的优势度为各物种盖度^[21]。(2)物种多样性指标计算：采用物种丰富度指数(S)、Simpson生态优势度指数(D)、Shannon-Wiener多样性指数(H)以及Pielou均匀度指数(E)4个指标来分析杉木萌芽林的植物多样性^[21]。

2 结果与分析

2.1 昔口村杉木幼龄林植物多样性

杉木幼龄林乔木层植物共14种，隶属于11科14属(表2)。其中：樟科 Lauraceae 包含3个属，占乔木层总科数的9.09%，总属数的21.43%，总物种数的21.43%；漆树科 Anacardiaceae 包含2个属，占乔木层总科数的9.09%，总属数的14.29%，总物种数的14.29%；其余均为单科单属，占乔木层总科数的81.82%，总属数的64.29%，总物种数的64.29%。杉木是乔木层的主要树种，占乔木层植物总种数7.14%，重要值为59.26%。

表2 乔木层植物重要值排序

Table 2 Ranking of important value of trees

序号	植物	重要值/%	序号	植物	重要值/%
1	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	59.26	8	盐肤木 <i>Rhus chinensis</i>	1.91
2	红叶石楠 <i>Photinia × fraseri</i>	8.93	9	天竺桂 <i>Cinnamomum japonicum</i>	1.88
3	枫香 <i>Liquidambar formosana</i>	7.99	10	白背叶 <i>Mallotus apelta</i>	1.15
4	山鸡椒 <i>Litsea cubeba</i>	5.84	11	檫木 <i>Sassafras tzumu</i>	1.07
5	光皮桦 <i>Betula luminijera</i>	3.44	12	大青 <i>Clerodendrum cyrtophyllum</i>	1.01
6	银杏 <i>Ginkgo biloba</i>	2.90	13	东南石栎 <i>Lithocarpus harlandii</i>	0.94
7	泡桐 <i>Paulownia fortunei</i>	2.77	14	木蜡树 <i>Toxicodendron sylvestri</i>	0.89

林下灌木层植物共58种，隶属于32科47属(表3)。其中：大戟科 Euphorbiaceae 包含4个属，分别占灌木层总科数、总属数和总物种数的3.13%、8.51%和6.90%；马鞭草科 Verbenaceae、蔷薇科 Rosaceae、樟科、豆科 Fabaceae 包含3个属，分别占灌木层总科数、总属数和总物种数的12.50%、25.53%和31.04%；五加科 Araliaceae、山茶科 Theaceae、杜鹃花科 Ericaceae、葡萄科 Vitaceae、漆树科包含2个属，分别占灌木层总科数、总属数和总物种数的15.63%、21.28%和18.97%；其余均为单科单属，分别占灌木层总科数、总属数和总物种数的68.75%、44.68%和36.21%。重要值排名前10位的灌木层植物占灌木层植物总种数的17.24%，重要值之和为57.80%。除杉木外，重要值大于10%的灌木层植物有蓬蘽，属蔷薇科悬钩子属 *Rubus*。

林下草本层植物共41种，隶属于22科37属(表4)。其中：禾本科 Gramineae 包含6个属，分别占草本层总科数、总属数和总物种数的4.55%、16.22%和14.64%；菊科 Compositae 包含6个属，分别占草本层总科数、总属数和总物种数的4.55%、16.22%和14.64%；金星蕨科 Thelypteridaceae 包含4个属，分别占草本层总科数、总属数和总物种数的4.55%、10.81%和9.76%；百合科 Liliaceae 包含3个属，分别占草本层总科数、总属数和总物种数的4.55%、8.11%和7.32%；其余均为单科单属，分别占草本层总科数、总属数和总物种数的81.82%、48.65%和53.66%。重要值排名前10位的草本植物占草本层植物总种数24.39%，重要值之和为78.79%。重要值大于10%的草本层植物有蕨、微糙三脉紫菀与栗褐薹

表 3 灌木层植物重要值排序

Table 3 Ranking of important value of shrubs

序号	植物	重要值/%	序号	植物	重要值/%
1	蓬蘽 <i>Rubus hirsutus</i>	11.61	30	山榲 <i>Lindera reflexa</i>	0.73
2	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	10.75	31	刺毛越橘 <i>Vaccinium trichocladum</i>	0.70
3	山鸡椒 <i>Litsea cubeba</i>	5.90	32	红叶石楠 <i>Photinia × fraseri</i>	0.69
4	白背叶 <i>Mallotus apelta</i>	4.97	33	中国绣球 <i>Hydrangea chinensis</i>	0.67
5	毛花连蕊茶 <i>Camellia fraterna</i>	4.92	34	豆腐柴 <i>Premna microphylla</i>	0.63
6	日本紫珠 <i>Callicarpa japonica</i>	4.83	35	悬铃木叶苕麻 <i>Boehmeria tricuspis</i>	0.57
7	山莓 <i>Rubus corchorifolius</i>	4.83	36	一叶萩 <i>Flueggea suffruticosa</i>	0.51
8	寒莓 <i>Rubus buergeri</i>	4.44	37	金樱子 <i>Rosa laevigata</i>	0.48
9	茶 <i>Camellia sinensis</i>	4.28	38	枫香 <i>Liquidambar formosana</i>	0.44
10	盐肤木 <i>Rhus chinensis</i>	3.88	39	红果钓樟 <i>Lindera erythrocarpa</i>	0.40
11	菝葜 <i>Smilax china</i>	3.69	40	紫藤 <i>Wisteria sinensis</i>	0.35
12	微毛柃 <i>Eurya hebeclados</i>	3.01	41	木蜡树 <i>Toxicodendron sylvestr</i>	0.32
13	青风藤 <i>Caulis sinomenii</i>	2.37	42	枸骨 <i>Ilex cornuta</i>	0.32
14	小叶猕猴桃 <i>Actinidia lanceolata</i>	2.05	43	东南石栎 <i>Lithocarpus harlandii</i>	0.32
15	南五味子 <i>Kadsura longipedunculata</i>	1.60	44	窄叶南蛇藤 <i>Celastrus oblanceifolius</i>	0.32
16	藤葡蟠 <i>Broussonetia kaempferi</i>	1.55	45	乌饭树 <i>Vaccinium bracteatum</i>	0.32
17	野鸦椿 <i>Euscaphis japonica</i>	1.49	46	扁刺五加 <i>Acanthopanax gracilistylus</i>	0.30
18	乌柏 <i>Sapium sebiferum</i>	1.40	47	小果菝葜 <i>Smilax davidiana</i>	0.30
19	白花龙 <i>Styrax faberi</i>	1.34	48	香花崖豆藤 <i>Millettia dielsiana</i>	0.30
20	臭辣树 <i>Evodia fargesii</i>	1.30	49	爬山虎 <i>Parthenocissus tricuspidata</i>	0.30
21	青灰叶下珠 <i>Phyllanthus glaucus</i>	1.28	50	山胡椒 <i>Lindera glauca</i>	0.27
22	乌药 <i>Lindera aggregata</i>	1.16	51	大血藤 <i>Sargentodoxa cuneata</i>	0.27
23	光叶菝葜 <i>Smilax glabra</i>	1.06	52	蔓胡颓子 <i>Elaeagnus glabra</i>	0.27
24	高粱泡 <i>Rubus lambertianus</i>	1.02	53	黄檀 <i>Dalbergia hupeana</i>	0.24
25	醉鱼草 <i>Buddleja lindleyana</i>	0.98	54	棕榈 <i>Trachycarpus fortunei</i>	0.24
26	掌叶复盆子 <i>Rubus feddei</i>	0.87	55	忍冬 <i>Lonicera japonica</i>	0.22
27	槲木 <i>Aralia chinensis</i>	0.81	56	葛藟葡萄 <i>Vitis flexuosa</i>	0.22
28	大青 <i>Clerodendrum cyrtophyllum</i>	0.76	57	中华猕猴桃 <i>Actinidia chinensis</i>	0.20
29	杜鹃花 <i>Rhododendron simsii</i>	0.73	58	紫金牛 <i>Ardisia japonica</i>	0.19

草, 分别隶属于蕨科 Pteridiaceae 蕨属 *Pteridium*、菊科紫菀属 *Aster* 与莎草科 Cyperaceae 薹草属 *Carex*。

杉木幼龄林共有植物 104 种(表 5), 其中乔木、灌木、草本植物种数分别占植物总种数 13.46%、55.77%、39.42%, 物种丰富度指数、Simpson 生态优势度指数、Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数均为灌木层 > 草本层 > 乔木层。

2.2 昔口村杉木幼龄林植物群落结构

乔木层密度及树种均表现为阳坡 > 阴坡, 杉木数量阳坡较阴坡多。此外, 红叶石楠、枫香、山鸡椒等喜光树种多在阳坡稀疏分布。乔木层树种平均胸径在 1.07~5.90 cm, 仅杉木平均胸径(5.06 cm) > 5.00 cm, 平均胸径在 3.00~4.00 cm 的树种有东南石栎, 平均胸径在 2.00~3.00 cm 的树种有枫香、光皮桦、泡桐, 其余树种的平均胸径均在 1.00~2.00 cm。

乔木层树种平均高度在 106.00~680.00 cm, 树种平均高度整体较低, 平均树高在 5.00 m 以下的树种重要值之和为 98.93%(表 6), 重要值排名前 10 位的乔木层树种中, 仅杉木平均树高(4.01 m) > 4.00 m, 平均高度在 3.00~4.00 m 的树种有枫香、光皮桦、泡桐, 平均高度在 2.00~3.00 m 的树种有红叶石楠、山鸡椒、白背叶, 平均高度在 1.00~2.00 m 的树种有银杏、天竺桂、盐肤木。杉木是乔木层的主要树种, 胸径从 1.80 cm 起至 10.90 cm, 4.00~6.00 cm 分布最多, 树高最高为 8.50 m, 最低为 1.60 m, 3.00~5.00 m 分布最多。

林下植被杉木在阴坡分布较多, 喜阳植物如山鸡椒、蕨, 多分布于林内光照充足的地方, 喜阴植物

表4 草本层植物重要值排序

Table 4 Ranking of important value of herbs

序号	植物	重要值/%	序号	植物	重要值/%
1	蕨 <i>Pteridium aquilinum</i>	26.50	22	紫萁 <i>Osmunda japonica</i>	0.84
2	微糙三脉紫菀 <i>Aster ageratoides</i>	11.44	23	针毛蕨 <i>Macrothelypteris oligophlebia</i>	0.73
3	栗褐薹草 <i>Carex brunnea</i>	10.67	24	伏生卷柏 <i>Selaginella tamariscina</i>	0.50
4	五节芒 <i>Miscanthus floridulus</i>	9.47	25	细茎双蝴蝶 <i>Tripterispermum filicaule</i>	0.49
5	黑足鳞毛蕨 <i>Dryopteris fuscipes</i>	6.39	26	野苘蒿 <i>Crassocephalum crepidioides</i>	0.45
6	狗脊蕨 <i>Woodwardia japonica</i>	4.70	27	小花芥苧 <i>Mosla cavaleriei</i>	0.43
7	金毛耳草 <i>Hedyotis chrysotricha</i>	3.88	28	鱼腥草 <i>Houttuynia cordata</i>	0.43
8	求米草 <i>Oplismenlis undulatifoliusfolius</i>	2.20	29	攀倒甌 <i>Patrinia villosa</i>	0.36
9	淡竹叶 <i>Lophntherum gracile</i>	1.77	30	鸡眼草 <i>Kummerowia striata</i>	0.35
10	阔鳞鳞毛蕨 <i>Dryopteris championii</i>	1.77	31	野塘蒿 <i>Conyza bonariensis</i>	0.33
11	腺梗菜 <i>Adenocaulon himalaicum</i>	1.60	32	黄鹌菜 <i>Youngia japonica</i>	0.30
12	多花黄精 <i>Polygonatum cyrtoneuma</i>	1.57	33	双蝴蝶 <i>Tripterispermum chinense</i>	0.30
13	博落回 <i>Macleaya cordata</i>	1.55	34	水竹 <i>Phyllostachys heteroclada</i>	0.28
14	紫柄蕨 <i>Pseudophegopteris pyrhorachis</i>	1.42	35	禾状薹草 <i>Carex alopecuroides</i>	0.26
15	三穗薹草 <i>Carex tristachya</i>	1.32	36	凤丫蕨 <i>Coniogramme japonica</i>	0.25
16	渐尖毛蕨 <i>Cyclosorus acuminatus</i>	1.25	37	糠稷 <i>Panicum bisulcatum</i>	0.25
17	麦冬 <i>Ophiopogon japonicus</i>	1.16	38	疏羽凸轴蕨 <i>Metathelypteris laxa</i>	0.23
18	海金沙 <i>Lygodium japonicum</i>	1.10	39	小蓬草 <i>Conyza canadensis</i>	0.23
19	假蹄盖蕨 <i>Athyriopsis japonica</i>	0.99	40	鸭跖草 <i>Commelina communis</i>	0.23
20	油点草 <i>Tricyrtis macropoda</i>	0.89	41	直立酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i>	0.23
21	疏花野青茅 <i>Deyeuxia arundinacea</i>	0.88			

表5 杉木幼龄林植物多样性指数

Table 5 Index of plant diversity in the young Chinese fir forest

植物	物种丰富度	Simpson 指数	Shannon-Wiener 指数	Pielou 指数
乔木层	14	0.54	1.32	0.50
灌木层	58	0.92	3.07	0.76
草本层	41	0.88	2.67	0.72

如蓬蘽多分布于树荫下或灌丛中阴湿处，其他灌草根据林内小环境的适宜程度随机分散生长于林内。灌木层植物种平均盖度为 0.80%，仅杉木的种盖度(6.52%)>5.00%，重要值排名前 10 位的灌木层植物种平均盖度为 2.82%。草本层植物种平均盖度为 1.82%，其中种盖度大于 5.00%的草本层植物有蕨、五节芒、微糙三脉紫菀、栗褐薹草，种盖度分别为 33.67%、10.74%、8.00%、5.33%，重要值排名前 10 位的草本层植物种平均盖度为 6.72%。

林下植被集中分布在 0~100.00 cm，灌木层和草本层植物种平均高度在 0~100.00 cm 的重要值之和分别为 98.50%和 98.45%。灌木层植物种平均高度在 6.00~271.00 cm，重要值排名前 10 位的灌木层植物

表6 杉木幼龄林植物群落结构

Table 6 Plant community structure of the young Chinese fir forest

植物种平均高度/ cm	乔木层植物		灌木层植物		草本层植物	
	种数	重要值之和/%	种数	重要值之和/%	种数	重要值之和/%
>500.00	1	1.07	0	0	0	0
500.00~400.00	1	59.26	0	0	0	0
400.00~300.00	4	15.14	0	0	0	0
300.00~200.00	3	15.92	1	0.32	0	0
200.00~100.00	5	8.59	2	1.18	1	1.55
100.00~50.00	0	0	25	46.74	4	37.30
<50.00	0	0	30	51.76	36	61.15

种平均高度为 24.00~78.00 cm。草本层植物种平均高度为 2.00~99.00 cm, 重要值排名前 10 位的草本层植物种平均高度为 4.00~85.00 cm。

3 讨论

昔口村杉木林为早期荒山改造栽植的杉木人工林, 一代杉木林为传统经营的单层林, 根系分布浅, 穿透力弱, 养分利用专一, 对林地地力消耗大, 养分归还少, 在 1~5 a 时, 基本没有凋落物落下, 且杉木针叶中含有大量不易分解的物质, 再加上杉木自毒感物质的积累, 对土壤的理化性质均有不利的影响。一代杉木林 20 a 成林时皆伐, 短轮伐期皆伐, 林地失去植被遮挡, 易造成土壤养分大量流失。二代萌芽杉木幼龄林尚未完全郁闭, 林内光照条件较好, 利于喜光植物生长, 大量偶然种进入群落, 种属组成上呈现十分繁杂的现象, 但杉木仍为群落中的绝对优势种, 乔木层高度整体较低。杉木萌芽能力很强, 实行矮林作业是一些杉木产区的传统育杉方法, 可以节约成本、提高经济效益^[15]。但传统经营的杉木人工林组成树种和生态位高度一致, 生态变化单向积累, 某些生态因子持续增强或减弱, 生态系统多样性低, 缓冲调节能力差。这些特点所造成的负面影响随着时间和栽植代数的增加逐渐加深, 大量使用外来种, 忽视乡土树种, 全面炼山、全垦整地、短轮伐期、连栽、皆伐等不合理的干扰措施更加剧了林地地力衰退, 影响森林生态系统平衡, 最终导致森林生态系统的退化。天然生态系统的物种组成、空间结构、年龄结构以及资源利用等方面具有异质性, 物种间以及生物与环境之间会形成复杂的关系网, 为动植物的多样性提供了条件, 形成良性的可持续的循环。因此, 在进行森林恢复活动时需考虑到森林生态系统的复杂性, 选择合理的干预措施进行干预。同时, 也需要考虑到当地农户的生计及社区的发展, 否则没有自下而上的主动行动和地方参与, 森林恢复工作难以取得良好的成效。例如, 在没有充分考虑农民对薪柴和放牧的基本需求下, 封山育林是难以实施的。

4 结论

昔口村二代萌芽杉木幼龄林树种单一, 林分结构简单, 若持续传统的育林、经营方式, 势必会导致林分退化、地力衰退等问题。按照适地适树、生物互利共生的原则, 选择当地乡土阔叶树种、适生阔叶树种, 如枫香、天竺桂、浙江楠 *Phoebe chekiangensis* 等进行补植, 形成混交林。同时, 结合科学除萌、伐除干扰树、控制林分密度、改善水肥条件等抚育措施进行科学抚育, 以改善林分结构、增加林分生物多样性。混交林不仅有利于杉木针叶分解, 改良土壤, 提升森林景观效果, 且阔叶树种的长期效益与杉木短期效益相结合, 当地林农易于接受, 恢复活动具有较强的可行性。后期需对林分进行恢复干预和长期监测, 进一步探讨何种森林恢复方式能够实现林分最优的生态、社会与经济效益。

5 参考文献

- [1] CICCARESE L, MATTSSON A, PETTENELLA D. Ecosystem services from forest restoration: thinking ahead [J]. *New For*, 2012, **43**(5/6): 543 - 560.
- [2] IPCC. *Climate Change 2013: the Physical Science Basis* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013: 4 - 6.
- [3] SEARS R R, PHUNTSHO S, DORJI T, et al. *Forest Ecosystem Services and the Pillars of Bhutan's Gross National Happiness* [M]. Bogor: CIFOR, 2017: 22 - 25.
- [4] LEBLOIS A, DAMETTE O, WOLFERSBERGER J. What has driven deforestation in developing countries since the 2000s? Evidence from new remote-sensing data [J]. *World Dev*, 2017, **92**: 82 - 102.
- [5] 王懿祥. 人工马尾松和杉木林目标经营理论与实践[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2012.
WANG Yixiang. *Theory and Practice of Target Trees Management in Pinus massoniana and Cunninghamia lanceolata Plantation* [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2012.
- [6] 盛炜彤. 不同密度杉木人工林林下植被发育与演替的定位研究[J]. 林业科学研究, 2001, **14**(5): 463 - 471.
SHENG Weitong. A long-term study on development and succession of undergrowth vegetations in Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) plantations with different density [J]. *For Res*, 2001, **14**(5): 463 - 471.
- [7] 盛炜彤. 人工林的生物学稳定性与可持续经营[J]. 世界林业研究, 2001, **14**(6): 14 - 21.
SHENG Weitong. The relationship between biological stability and sustainable management of plantation [J]. *World*

For Res, 2001, **14**(6): 14 – 21.

- [8] 陆元昌, 刘宪钊, 王宏, 等. 多功能人工林经营技术指南[M]. 北京: 中国林业出版社, 2014.
- [9] 盛炜彤. 人工林地力衰退研究[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1992.
- [10] 陈龙池, 汪思龙, 陈楚莹. 杉木人工林衰退机理探讨[J]. 应用生态学报, 2004, **15**(10): 1953 – 1957.
CHEN Longchi, WANG Silong, CHEN Chuying. Degradation mechanism of Chinese fir plantation [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2004, **15**(10): 1953 – 1957.
- [11] 巢林, 洪滔, 李键, 等. 中亚热带不同林龄杉木人工林径级结构与林下物种多样性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2015, **24**(2): 88 – 96.
CHAO Lin, HONG Tao, LI Jian, *et al.* Analyses on diameter class structure and species diversity of understory of artificial forest of *Cunninghamia lanceolata* with different forest ages in mid-subtropical region [J]. *J Plant Resour Environ*, 2015, **24**(2): 88 – 96.
- [12] 肖灵灵. 近自然生态恢复模式下杉木林群落生态学特征研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2008.
XIAO Lingling. *Study on the Ecology Characteristics of Chinese fir Forest Community with Natural-approximate Ecological Restoration Mode* [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2008.
- [13] 田大伦, 沈燕, 康文星, 等. 连栽第 1 和第 2 代杉木人工林养分循环的比较[J]. 生态学报, 2011, **31**(17): 5025 – 5032.
TIAN Dalun, SHEN Yan, KANG Wenxing, *et al.* Characteristics of nutrient cycling in first and second rotations of Chinese fir plantations [J]. *Acta Ecol Sin*, 2011, **31**(17): 5025 – 5032.
- [14] RAMOVS B V, ROBERTS M R. Understory vegetation and environment responses to tillage, forest harvesting, and conifer plantation development [J]. *Ecol Appl*, 2003, **13**(6): 1682 – 1700.
- [15] 盛炜彤, 童书振, 段爱国. 杉木丰产栽培实用技术[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999.
- [16] 彭镇华. 中国杉树[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999.
- [17] 陈楚莹, 廖利平, 汪思龙. 杉木人工林生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [18] 俞新妥, 范少辉, 林思祖, 等. 杉木栽培学[M]. 福州: 福建科学技术出版社, 1997.
- [19] 盛炜彤. 中国人工林及其育林体系[M]. 北京: 中国林业出版社, 2014.
- [20] 何贵平, 徐金良, 徐永勤, 等. 不同立地杉木家系幼林生长差异[J]. 浙江农林大学学报, 2018, **35**(3): 453 – 458.
HE Guiping, XU Jinliang, XU Yongqin, *et al.* Growth differences and selection of Chinese fir families in young plantations with different site conditions [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2018, **35**(3): 453 – 458.
- [21] 彭阳. 耕地 2 种恢复方式物种多样性、碳储量及碳汇研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2017.
PENG Yang. *Comparison on Vegetation Community Characteristics and Carbon Storage between Afforestation and Abandonment of Farmland* [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2017.