

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 04. 016

善洲林场林分特征与火灾防控研究

左军宏¹,王金波¹,王加庆¹,王 劲²,张文文²,王秋华²

(1. 施甸县善洲林场,云南 施甸 678200; 2. 西南林业大学 土木工程学院,云南省森林灾害预警与控制重点实验室,云南 昆明 650224)

摘要:依据善洲林场 1988—2021 年 33 年的森林火灾统计资料和近 11 年来善洲林场森林防火取得的成绩,总结、分析善洲林场森林防火发生的特点,探索森林火灾发生的大致规律。结合本地的气候、地形地貌、林分结构、和可燃物及火源等,提出了完善基础设施建设,排查重点火灾区域隐患,落实森林防火工作制度,加强管控火源和督查巡查,以及森林防火队伍建设等适合善洲林场特点的森林火灾防控对策。

关键词:林分特征;森林火灾;防控措施;善洲林场

中图分类号:S718.542;S762.34 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2023)04-0100-05

引文格式:左军宏,王金波,王加庆,等. 善洲林场林分特征与火灾防控研究[J]. 林业调查规划,2023,48(4):100-104,181. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 04. 016

ZUO Junhong, WANG Jinbo, WANG Jiaqing, et al. Characteristics and Prevention and Control Countermeasures of Forest Fire in Shanzhou Forest Farm[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4): 100-104, 181. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 04. 016

Characteristics and Prevention and Control Countermeasures of Forest Fire in Shanzhou Forest Farm

ZUO Junhong¹, WANG Jinbo¹, WANG Jiaqing¹, WANG Jin², ZHANG Wenwen², WANG Qiu-hua²

(1. Shidian Shanzhou Forest Farm, Shidian, Yunnan 678200, China; 2. College of Civil Engineering, Key Laboratory of Forest Disaster Warning and Control in Yunnan Province, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China)

Abstract: Based on the 33-year forest fire statistics of Shanzhou Forest Farm from 1988 to 2021 and the achievements of Shanzhou Forest Farm in the past 11 years, the characteristics of forest fire prevention in Shanzhou Forest Farm were summarized and analyzed, and the general rules of forest fire occurrence were explored. According to the local climate, terrain, forest structure, combustible materials and fire sources, measures were proposed to improve infrastructure construction, identify hidden dangers in key fire areas, implement forest fire prevention work systems, strengthen fire source control and inspection, and build forest fire prevention teams that were suitable for the characteristics of Shanzhou Forest Farm.

Key words: stand characteristics; forest fire; prevention and control measures; Shanzhou Forest Farm

收稿日期:2022-03-02.

基金项目:国家自然科学基金(32160376,31960318,31901322);云南省农业联合面上项目(2018FG001-055);云南省教育厅 2022 年研究生科学研究项目(2022Y606).

第一作者:左军宏(1990-),男,云南保山人,工程师.从事基层林业资源培育与管理研究.

责任作者:王秋华(1978-),男,福建长汀人,教授,博士生导师.从事森林防火教学科研工作.

森林防火是我国生态文明建设的安全保障,是国家应急管理的重要内容,事关森林资源和人民生命财产安全,事关国家生态安全,森林防火责任重于泰山^[1-2]。善洲林场是全国地方党性教育特色基地和国家生态文明教育基地,森林覆盖率 87.52%,是周边乡镇的水源地,也是怒江水系部分一二级支流的水源地,保护和发展好善洲林场对生态文明建设意义重大^[3]。

善洲林场地形起伏变化不大,但一部分林区林缘地势陡峭,地形情况相对复杂,加之林木茂密,林下可燃物积累多,一旦发生森林火灾,扑救难度大,易造成巨大损失。通过对善洲林场区位、气候、地形地貌、林分结构、可燃物及火源等方面分析,结合多年来善洲林场森林防火工作取得的经验,探讨善洲林场森林火灾发生特点及防控措施,提出更加适合善洲林场今后森林防火工作的措施和对策。

1 研究区概况

善洲林场位于云南省保山市施甸县,由原保山地委书记杨善洲同志退休后牵头于 1988 年 3 月创办^[4-5]。现下设大亮山营林区和摩苍营林区,其中大亮山营林区位于县城南部,最高海拔 2 618.8 m,最低海拔 1 800 m,地理坐标为东经 99°9′4″~99°15′54″,北纬 24°32′47″~24°35′39″,地处姚关、酒房、旧城 3 个乡山顶交界处。摩苍营林区位于县城东部,最高海拔 2 895.4 m,最低海拔 1 930 m,地理坐标为东经 99°14′16″~99°17′14″,北纬 24°42′40″~24°45′40″,地处木老元乡西部、摆榔乡北部、甸阳镇东部、仁和镇北部。土壤类型分布具有垂直地带性的特点,土类随海拔高度分布,红壤分布在 1 800~2 200 m,黄壤 2 100~2 400 m,黄棕壤 2 400~2 618 m。善洲林场是怒江水系部分一二级支流的水源地,是紧靠林区下部 6 个乡镇的山顶水源发源地,林区内有周边村寨 30 多个取水点,为灌溉和水土保持提供了保障。善洲林场经营管护总面积 4 554 hm²,其中建成森林面积 4 513.4 hm²,占林场总面积的 99.11%,森林覆盖率达 97%,是名副其实的“天然氧吧”,活立木蓄积量达 33 万 m³,物种逐年丰富。主要树种有华山松(*Pinus armandii*)、桤木(*Alnus cremastogyne* Burk.)、木荷(*Schima superba* Gardn. et Champ.)、栎属(*Quercus* L.)、马缨杜鹃(*Rhododendron delavayi* Franch.)、直干桉(*Eucalyptus maideni* F. V. Muell.)和其他阔叶树种。华山松和直干桉是人工种植,其他为天然更新。

2 林场火环境

善洲林场自 1988 年建场以来共发生森林火灾 11 次,累计受害森林面积 356 hm²,无人员伤亡。森林火灾给林场造成部分生态破坏,也带来一定损失。但几次火灾均被及时发现,及时扑灭,过火面积不大,未给林场植树造林、护林养林、恢复生态带来伤害。

2.1 气象因素

善洲林场地处我国西部季风气候区,受南孟加拉高压气流影响形成高原季风气候,盛行南部季风,其中以西南季风为主,5—10 月在暖湿气流的控制下,区域内降水充沛,湿度大,故形成湿季^[6-7]。根据善洲林场 2010—2020 年各项气象数据统计分析,每年 5—10 月年均降雨量 777.7 mm,占年降雨量的 82%。11 月至翌年 4 月为旱季,冬春季节气候干燥,降雨很少,降雨量仅 167.4 mm,占年降雨量的 18%。善洲林场年均温 17.6℃,年温差较小,一般不超过 10℃,是云南省年温差最小的地区之一^[8]。善洲林场的气候特点是“四季不明,干湿分明”,主要表现在林区内大部分地区四季分配特点是冬无严寒,夏无酷暑,全年无霜期 273 d。每年 3—4 月降雨量极少,月均不足 30 mm,为善洲林场森林防火紧要期。异常高压是研究区域降水减少主要的原因^[9],因此 2020—2021 年善洲林场的森林防火紧要期延长至 5 月下旬,总时长达到 4 个月,高于云南省平均水平^[10]。高火险期内水分蒸发量大,气候干燥,林下可燃物积累量大,稍有不慎,极易引发森林火灾。

2.2 地形因素

善洲林场 2 个营林区主峰梁子呈南北走向,海拔高差较大,相对高差 1 095.4 m。结合 1:10 000 地形图及野外实际调查数据,运用 ArcGIS 软件提取林场范围内的坡度、坡向等地形因子,综合对林场用地进行地形分析可知,林场过半区域(70.14%)的坡度均在 25°以下(缓坡),林场西部区域较东部区域地势更为平坦;坡度大于 25°的土地大部分分布在林场东南及东北部林场边缘区域。从坡向来看,林场 42%区域位于南坡向,阳光充足,适宜林木生长。善洲林场 1988—2010 年森林火灾统计分析见图 1。23 年来善洲林场在阳坡位置发生森林火灾 8 起(占比 72.73%),阴坡位置发生 3 起。

2.3 各因素间紧密联系

森林防火是林区重要工作,是保障林业资源安

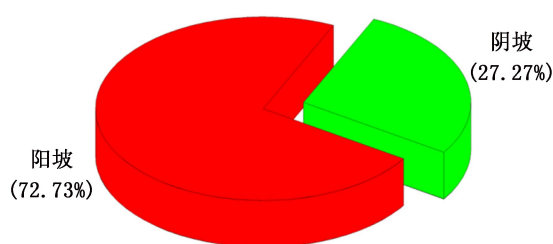


图 1 善洲林场火灾发生坡向统计

Fig. 1 Slope statistics of fire incidents in Shanzhou Forest Farm

全和林区生态完整的关键内容,对于林区以及周边百姓的生命财产有直接影响^[11]。1988—2020 年,善洲林场发生的森林火灾均由人为引起,其中 63.34% 火灾由烧地引起,剩下 36.36% 由烧荒导致。善洲林场地处周边 6 个乡镇的交汇处,20 个行政村的村民在林区林缘从事生产生活活动,每年有大量游客到善洲林场参观学习。随着森林防火宣传深入人心,绝大多数人员能严格按照要求不在林区和林缘违规用火。但林缘交汇处由于地形复杂、边界线长,林场对林缘实际的有效管护难以达到理想水平,特别是森林防火期内赶上过年、清明节、五一节等重要节日,受春耕等农事活动影响,不能确保完全将火种和火源挡在林区外。近年来,随着林木的良好生长,枯落物和腐殖质也越积越多,森林郁闭度越来越高,造成林区可燃物清理难度大,每年有效清理不足。森林防火期内,气候干燥,特别是高火险期内基本无雨的特点,可燃物极易被引燃^[12],林场森林防火工作面临极大压力。

3 林场林分特征

林分火险由时间和空间两大火灾危险水平构成,时间因素与环境因子变化相关,而空间因素则与森林特性、立地条件相关^[13-14]。善洲林场林木起源分为天然林和人工林,天然林分布在林场中部、东部及南部,主要为阔叶林和针阔混交林;人工林分布在北部及东部,南部有零星分布,主要为针叶林和针阔混交林。由于森林群落各层次的种类结构、空间结构和数量差异,表现出的易燃性、燃烧性不同。对同一林分而言,若地表死可燃物的载量占比较大且冠层垂直连续性强,那极易由地表火转化成高能量的树冠火。相反,地表可燃物载量所占比重小,冠层不连续分布,林分火险就相对较小^[15]。

3.1 林分起源

善洲林场的森林类型主要可分为针叶林、阔叶

林、针阔混交林 3 个类型,90% 为复层林。优势树种组成主要有华山松、木荷、栎类、桉木及其他阔叶树种;针叶林有华山松林和杉木林,全部为人工林;阔叶林为天然林。善洲林场人工林经过 30 多年的生长已成为成熟林且密度大,郁闭度高,由于前期营林活动只考虑乔木林,加之前期人为活动频繁,因此人工林灌木层盖度较小。近 10 多年来由于人为活动减少,人工林下草本层生长迅速,枯落物增多且积累形成腐殖层,可燃物载量较大,森林防火期内极易引发森林火灾。

善洲林场天然林自林场成立以来主要以保护为主,期间对一部分区域生长状况差的部分树木进行过森林抚育作业,剩下一部分自建场以来未进行过人工干预,保持自然原始风貌。天然林部分由于人工干扰较少,总体来看乔灌草组成丰富,密度大,建场以来未对林下可燃物进行过清理,林下积累了大量的枯落物和腐殖质。同一天气、地形条件下林分可燃物载量越大,特别是易燃可燃物比重越大,其潜在火险就越高^[16]。森林防火期内气候干燥、植被含水率低、林层结构丰富、可燃物载量巨大,并且林间空间密闭、连续性增强,森林防火和预防扑救面临巨大压力^[17]。

3.2 林分分布

针叶林和阔叶林分布在不同区域但相对集中,针阔混交林主要是在林场发展过程中补植补造华山松形成。经过 33 年的良好管护,林区已形成幼龄林、中龄林、近熟林、成熟林各个龄段结构,郁闭度高,从上到下依次分布乔冠草结构各种植物。树木的良好生长也使得林下累积了大量的枯枝落叶、各种死树等大量可燃易燃物,据实际调查发现林下针叶林枯落物沉积厚度平均 3 cm,阔叶林平均 5 cm,混交林平均 3.5 cm;由于部分地区地形陡峭加上雨季雨水冲刷,有些地点枯落物积累厚度可达 10 cm。进入森林防火期,由于边线长,周边村寨多,生产生活活动多,游客众多,加之“善洲林场不冒烟”任务,给善洲林场森林防火工作带来极大考验。

3.3 林相林层结构及树种组成

从林相方面看,善洲林场有阔叶纯林、针阔混交林、针叶纯林 3 种林相。优势树种比例明显,如图 2 所示。

从图 2 可知,优势树种天然更新阔叶林面积、蓄积量占林地面积和林场蓄积量比重最大,其次是人工林树种华山松。优势树种主要是其他阔叶树种、华山松、栎类、杂灌、桉木、直干桉、云南松、华山松和

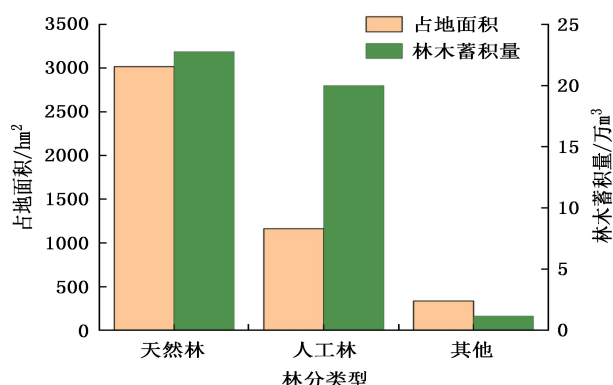


图2 善洲林场不同林分林木面积与蓄积量

Fig. 2 Area and volume of different forest stands in Shanzhou Forest Farm

直干桉属于人工种植,其他为天然更新,除摩苍营林区灌木林地面积 378.7 hm² 外,森林植被有乔、灌、草 3 层复层林完整体系。

林分潜在火险受可燃物床层的连续性和载量层次分布状况的影响很大^[18-19]。从整体上看,善洲林场针阔混交林比重最大,相较于针叶纯林的抗火性较好,但是其森林植被有乔、灌、草 3 层复层林完整体系,林下枯落物及腐殖质积累更多,一旦发生森林火灾,极易形成树冠火和地下火同时并存的情况,加之扑救难度大,从而形成破坏性极大的森林火灾。

针叶纯林极易发生森林火灾,阔叶林抗火性较好,但是混有针叶林的阔叶林也极易发生森林火灾,加之针阔混交林植被也有乔、灌、草 3 层复层林完整体系,所以也存在极大风险。善洲林场大部分纯林为华山松,其次主要是云南松,均是含油脂树木;由于封山育林及人为活动的减少,林下积累大量的枯落物。华山松和云南松的针叶油脂含量高,受火灾危害严重,树皮厚度小、导热系数大、氧指数小,火烧时树皮对内部皮部和形成层活组织的保护作用有限,耐火性差^[20-21],森林防火期内极易引发森林火灾。纯林部分虽基本无灌木,但含油脂枯落物较多,草本层丰富,加之松树类林木本身的易燃性,森林防火期内存在很大风险,一旦发生森林火灾,极易爆发性形成地层火和树冠火。由于林区森林覆盖率高且集中连片,极易传导形成更大危害的森林大火。

3.4 林分结构

林场幼龄林、中龄林、近熟林、成熟林面积比例和蓄积比例如图 3 所示。

从图 3 可知,林分集中在中龄林、近熟林,成熟林和幼林比例较低。这也说明善洲林场多年来植树

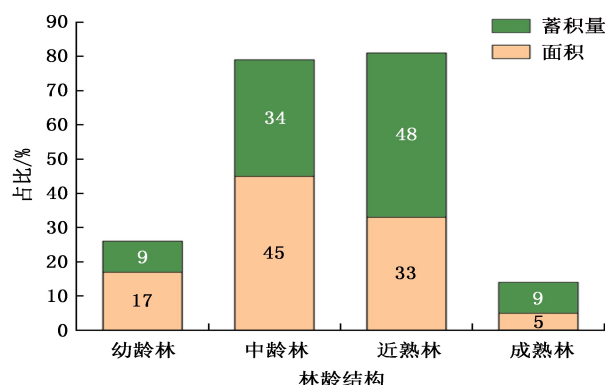


图3 善洲林场不同林龄林木面积与蓄积量占比

Fig. 3 Area and volume proportion of forest trees of different ages in Shanzhou Forest Farm

造林、管护和防火取得了重要成效。但也应面对新形势,采取新措施,保护好林场。

善洲林场管护措施到位,林木生长良好,中高郁闭度(0.4~1)林地占大部分,且善洲林场林木大部分为中龄林和近成熟林,见图 4。

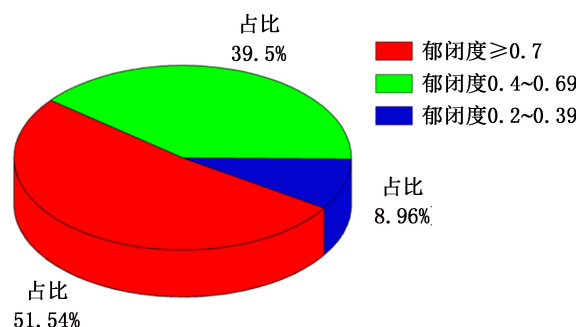


图4 善洲林场林木郁闭度占比情况

Fig. 4 Proportion of forest canopy density in Shanzhou Forest Farm

疏郁闭度林区一般是幼龄林区,相比中高郁闭度林区草本层和灌木层生长更丰富;每年 1—5 月森林防火期内,由于干燥少雨的气候,易形成大量可燃物,加之阳光直射强,水汽蒸发快,若管护措施不到位极易引发森林火灾。相比疏郁闭度林区,善洲林场中高郁闭度林区基本为中龄林和近成熟林,其生长代谢旺盛,积累有大量枯落物和腐殖质,可燃物载量相较于疏郁闭度林区更大,虽郁闭度高且阳光直射不强,水汽蒸发相对疏郁闭度林慢^[22],但由于保山地区的气候特点是冬春季干燥少雨,水汽蒸发量大,森林防火期内火灾隐患仍极大。

4 森林火灾防控对策

近年来,善洲林场森林防火能力显著提高,已连

续 11 年未发生过森林火灾。如何进行合理防控,更加科学合理做好善洲林场森林防火工作,保护好林场不受森林火灾威胁是当前工作中最突出的问题。

4.1 加强基础设施建设,排查火灾隐患

善洲林场现有基础设施较完善,但整体规划建设的科学完备性还有待加强,林场将根据实际情况同时结合云南省级森林防火阻隔系统规划建设进一步科学规划建设森林防火基础设施,全面考虑整个林区森林防火减灾需求。

排查重点火险区域隐患。善洲林场林间枯落物积累量大,树木生长茂盛。林场每年都对重点隐患区域进行排查和计划清除,应加强科学性和清理力度。同时,根据实际情况进行全面摸底调查,科学合理编制方案,积极向上争取项目,逐步对林区重点区域进行清理和排查,减少火灾隐患。

4.2 落实森林防火工作制度

进入森林防火期,认真落实森林防火各项法律法规,根据实际制定完善善洲林场各森林防火制度,要求每位职工认真学习森林防火法律法规和林场各项规章制度。

抓好森林防火负责制度。善洲林场森林防火由场领导负责总抓,与县人民政府签订《森林防火责任状》,与各林区和护林员签订森林防火责任状。进入防火期后,定期对各林区进行森林防火检查,发现问题及时纠正。按照与各点长和护林员签订的年度森林防火责任状,认真核查,将责任落实到每一个责任人。瞭望台、巡护点通力协作,重点时期严防死守。同时实行 24 小时值班带班制度,各位职工坚守岗位手机保持 24 小时通畅状态。发现森林火情,不瞒报不乱报,确保火情及时发现和处理。

4.3 加强管控火源及督查巡查

加强火源管理,保证森林防火期内禁止一切火源。进入森林防火期,善洲林场在黄泥沟哨所设立森林防火检查站,对进山人员收缴火种并进行森林防火宣传。特别是节假日高峰期,林场在各哨所和重点区域增设森林防火检查站,严禁将火源带入山中。

加强巡逻,排查重点区域。各哨所和森林防火检查站工作人员加大巡查巡护力度,加强火源管理,要求工作人员每月巡护天数不低于 25 d,巡护出勤情况纳入森林防火目标管理责任考核。林场森林防火督查小组定期到各个哨所、林区施工单位进行森林防火督查,发现存在安全隐患的应立即下发隐患整改通知书并要求立即整改。

4.4 加强森林防火队伍建设

为更有效促进林区和周边乡镇的森林防火工作,森林防火期内,林场专门成立以干部职工为主的 21 人应急扑火队。此外,每年县级主管部门安排专项经费,在善洲林场成立一支 15 人的专业扑火队,增设 6 个护林员岗位用以加强善洲林场防火能力。在森林火险紧要期确保“善洲林场不冒烟”。保山市森林消防直属中队抽调 10 名森林消防员到善洲林场部驻靠前驻防,协同互动。

进入森林防火期,上级主管部门专门邀请森林消防队和专家对林场全场职工、护林员、森林防火扑火队员进行岗前相关知识和技能培训。通过培训,理论知识和实际操作能力均大幅提高。同时,加强科技防火在森林防火中的运用。

5 结 论

善洲林场由于特殊的地位和林分结构,发挥了巨大的生态和社会效益。森林火灾是主要威胁,结合林场实际情况,可积极采取一些措施,如结合 2021 年第一次森林可燃物普查,进行合理的火险区划,在高危区和高风险区,防火期来临前清理主要道路两侧可燃物,同时采取林分抚育、修枝等措施,对森林可燃物进行有效调控。既可降低森林火灾的发生概率、增加森林生态系统的抗性,又能提高林区整体健康水平。根据善洲林场地形、地貌,选择适合的耐火树种,采取造林和生态修复措施,营建生物防火林带,将林分划成多个区域,分区控制,防止火灾大面积燃烧,这也是景观尺度的可燃物管理措施之一^[23]。

在多年的森林防火工作中,善洲林场积累了宝贵的经验。林场要紧跟时代步伐,不断完善森林防火预防和扑救措施,提高预防和扑救能力。在实际工作中不断改善不足,学习先进理论改进工作措施,结合科技创新日常预防和扑救技能。应以营林技术为主要手段,提高林分对林火的抗性,实现森林可持续经营。

参考文献:

- [1] 张巍,颜廷强. 新时代生态文明建设与森林防火工作[J]. 森林防火,2018,9(3):1.
- [2] 陶玉柱,杨会侠,刘春潇,等. 影响森林火灾发生规律的因子分析[J]. 安徽农业科学,2015,43(10):162-164.
- [3] 甘应娜. 善洲林场森林资源开发建设的影响[J]. 广东蚕业,2020,54(8):27-29. (下转第 181 页)

5.0、5.6。在不同 pH 值模拟酸雨处理下,树木叶绿素总含量增加可能是因为在树木体内更新周期加快,且酸雨中的 NO_3^- 可被树木吸收利用^[8],而树木叶绿素含量的增加能使植株捕获光能的能力增加^[12],促进植株生长,这与模拟酸雨对树木生长的影响结果相一致。

参考文献:

- [1] RIOFRIO-DILLON G, BERTRAND R, GEGOUT J. Toward a recovery time: Forest herbs insight related to anthropogenic acidification[J]. *Global Change Biology*, 2012, 18(11): 3383-3394.
- [2] 覃东才. 广西酸雨污染及变化趋势[J]. *中小企业科技*, 2007(10): 274-275.
- [3] 王鹏良, 姜福星, 蔡玲, 等. 广林巨尾桉 9 号遗传转化体系的建立[J]. *林业科技开发*, 2013(3): 76-80.
- [4] 赵志刚. 珍稀濒危树种格木保护生物学研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2011.
- [5] 贾瑞丰. 降香黄檀人工促进心材形成的研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2014.
- [6] 马华明. 土沉香(*Aquilaria sinensis* (Lour.) Gilg) 结香机制的研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2013.
- [7] 熊庆娥. 植物生理学实验教程[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2003.
- [8] 黄辉, 黄朝法. 酸雨对植物生理生态特性的影响研究进展[J]. *林业勘察设计*, 2008(1): 46-49.
- [9] 齐泽民, 钟章成. 模拟酸雨对杜仲光合生理及生长的影响[J]. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 2006(2): 151-156.
- [10] 张光生, 刘英, 周青. 9 种草本观赏植物叶绿素含量和细胞膜透性对酸雨胁迫的响应[J]. *生态与农村环境学报*, 2006(4): 83-87.
- [11] 李志国, 姜卫兵, 翁忙玲, 等. 常绿阔叶园林 6 树种(品种)对模拟酸雨的生理响应及敏感性[J]. *园艺学报*, 2011(3): 512-518.
- [12] 杨柳青, 廖飞勇, 赵坤, 等. 水分胁迫对加拿大一枝黄花光合和荧光参数的影响[J]. *北方园艺*, 2011(23): 12-14.
- [13] 赵建民, 孙宗芹. 善洲林场红色旅游文本英译研究[J]. *保山学院学报*, 2018, 37(6): 71-75.
- [14] 云南省杨善洲精神教育基地管理委员会(善洲林场). 守护精神家园 传承时代力量[J]. *中国生态文明*, 2019(3): 31-32.
- [15] 王可丽, 江灏, 赵红岩. 西风带与季风对中国西北地区的水汽输送[J]. *水科学进展*, 2005(3): 432-438.
- [16] 杨建平, 丁永建, 陈仁升, 等. 亚洲季风与中国干湿、农牧气候界线之关系[J]. *地理科学*, 2005(4): 59-65.
- [17] 卞福久, 王瑞元. 云南热区农业气候资源特征及分布[J]. *热带地理*, 1991(3): 270-277.
- [18] 赵凤君, 舒立福. 气候异常对森林火灾发生的影响研究[J]. *森林防火*, 2007(1): 21-23.
- [19] 闫想想, 王秋华, 李彩松, 等. 昆明重大森林火灾火烧迹地可燃物研究[J]. *西南林业大学学报(自然科学)*, 2019, 39(5): 157-164.
- [20] 李文华, 李芬, 李世东, 等. 森林生态效益补偿的研究现状与展望[J]. *自然资源学报*, 2006(5): 677-688.
- [21] 王秋华, 徐伟恒, 李伟, 等. 滇中地区地盘松林地表凋落物的潜在能量研究[J]. *林业调查规划*, 2014, 39(6): 16-20.
- [22] 吴明山, 周汝良, 张明莎, 等. 林分尺度上的森林火灾风险动态评估[J]. *林业资源管理*, 2020(2): 126-134.
- [23] 赵中华. 基于林分状态特征的森林自然度评价研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2009.
- [24] 王德祥, 张景群, 朱德兰, 等. 几种林分类型火线状况的研究[J]. *西北林学院学报*, 1996, 2(49): 26.
- [25] 肖化顺, 曾思齐, 谢绍锋, 等. 森林可燃物管理研究进展[J]. *世界林业研究*, 2009, 22(1): 48-53.
- [26] 王秋华, 单保君, 龚家平, 等. 滇中地区云南松纯林计划烧除研究[J]. *江西农业大学学报*, 2018, 40(2): 235-240.
- [27] 赵凤君, 王明玉, 舒立福. 森林火灾中的树冠火研究[J]. *世界林业研究*, 2010, 23(1): 39-43.
- [28] 李世友, 刘会龙, 张凯, 等. 预防华山松树冠火的最低修枝高度探讨[J]. *华中农业大学学报*, 2009, 28(3): 361-364.
- [29] 闫想想, 王秋华, 缪秀丽, 等. 昆明西山林场 5 种可燃物的火行为研究[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2021, 45(1): 197-204.
- [30] 王秋华, 李晓娜, 叶彪, 等. 华山松纯林地表可燃物的潜在燃烧火行为研究[J]. *林业工程学报*, 2019, 4(6): 151-157.
- [31] 李永宁, 张宾兰, 秦淑英, 等. 郁闭度及其测定方法研究与应用[J]. *世界林业研究*, 2008(1): 40-46.
- [32] 金琳, 刘晓东, 张永福. 森林可燃物调控技术方法研究进展[J]. *林业科学*, 2012, 48(2): 155-161.

责任编辑: 刘平书

责任编辑: 陈旭