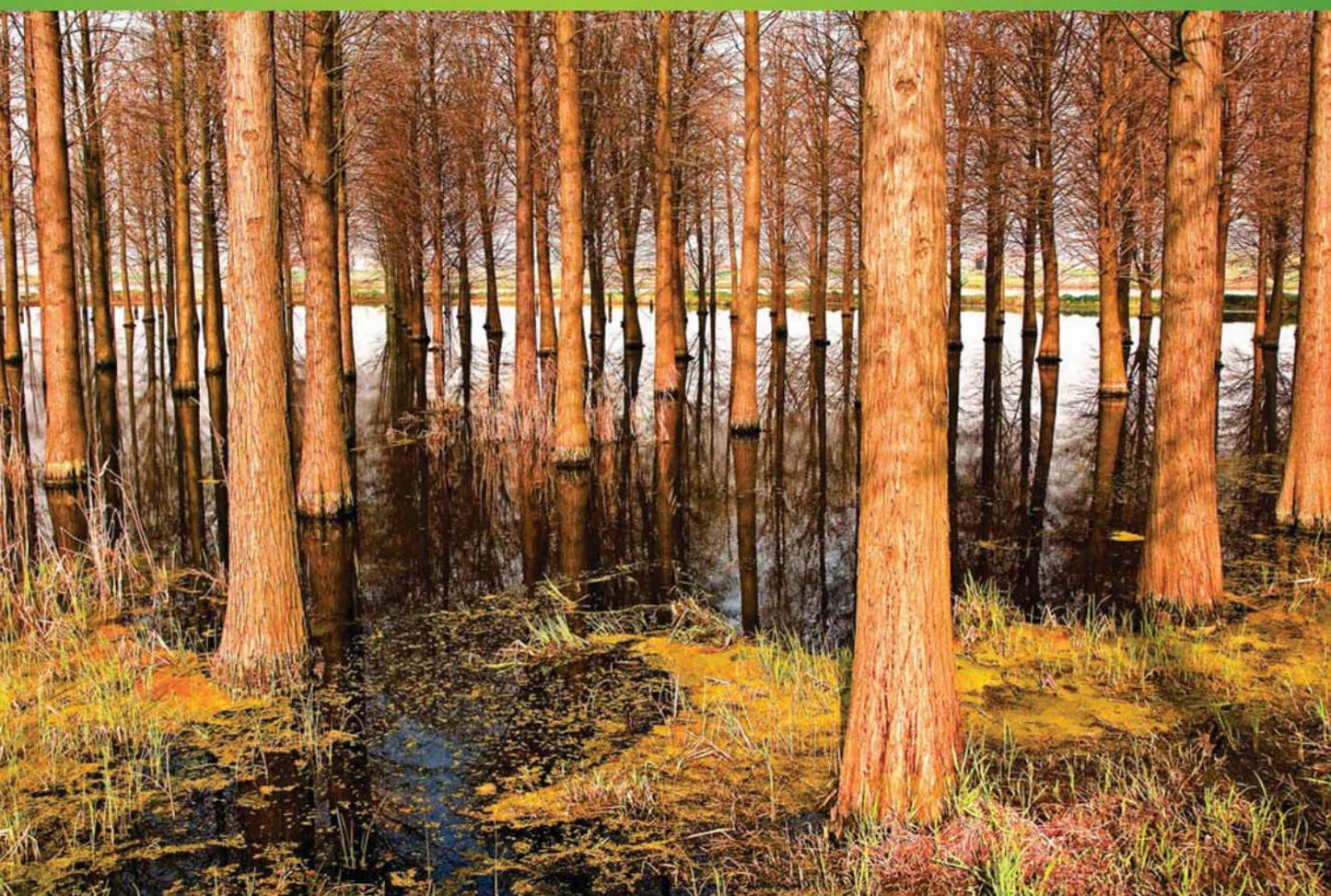


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第3期 Vol.32 No.3 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 3 期

2012 年 2 月 (半月刊)

目 次

夏季可可西里雌性藏原羚行为时间分配及活动节律	连新明, 李晓晓, 颜培实, 等 (663)
热带印度洋黄鳍金枪鱼渔场时空分布与温跃层的关系	杨胜龙, 张禹, 张衡, 等 (671)
洪湖水体藻类藻相特征及其对生境的响应	卢碧林, 严平川, 田小海, 等 (680)
广西西端海岸四种红树植物天然种群生境高程	刘亮, 范航清, 李春千 (690)
高浓度 CO ₂ 引起的海水酸化对小珊瑚藻光合作用和钙化作用的影响	徐智广, 李美真, 霍传林, 等 (699)
盖度与冠层水深对沉水植物水盾草光谱特性的影响	邹维娜, 袁琳, 张利权, 等 (706)
基于 C-Plan 规划软件的生物多样性就地保护优先区规划——以中国东北地区为例	栾晓峰, 孙工棋, 曲艺, 等 (715)
城市化对本土植物多样性的影响——以廊坊市为例	彭羽, 刘雪华, 薛达元, 等 (723)
利用红外相机调查北京松山国家级自然保护区的野生动物物种	刘芳, 李迪强, 吴记贵 (730)
基于树木起源、立地分级和龄组的单木生物量模型	李海奎, 宁金魁 (740)
千岛湖社鼠种群遗传现状及与生境面积的关系	刘军, 鲍毅新, 张旭, 等 (758)
气候变化对内蒙古草原典型植物物候的影响	顾润源, 周伟灿, 白美兰, 等 (767)
中国西北典型冰川区大气氮素沉降量的估算——以天山乌鲁木齐河源 1 号冰川为例	王圣杰, 张明军, 王飞腾, 等 (777)
植被类型对盐沼湿地空气生境节肢动物功能群的影响	童春富 (786)
黔西北铅锌矿区植物群落分布及其对重金属的迁移特征	邢丹, 刘鸿雁, 于萍萍, 等 (796)
云南中南部季风常绿阔叶林恢复生态系统萌生特征	苏建荣, 刘万德, 张志钧, 等 (805)
筑坝扩容下高原湿地拉市海植物群落分布格局及其变化	肖德荣, 袁华, 田昆, 等 (815)
三峡库区马尾松根系生物量的空间分布	程瑞梅, 王瑞丽, 肖文发, 等 (823)
兴安落叶松林生物量、地表枯落物量及土壤有机碳储量随林分生长的变化差异	王洪岩, 王文杰, 邱岭, 等 (833)
内蒙古放牧草地土壤碳固持速率和潜力	何念鹏, 韩兴国, 于贵瑞 (844)
不同林龄马尾松凋落物基质质量与土壤养分的关系	葛晓改, 肖文发, 曾立雄, 等 (852)
不同丛枝菌根真菌侵染对土壤结构的影响	彭思利, 申鸿, 张宇亭, 等 (863)
不同初始含水率下粘质土壤的入渗过程	刘目兴, 聂艳, 于婧 (871)
不同耕作措施的温室气体排放日变化及最佳观测时间	田慎重, 宁堂原, 迟淑筠, 等 (879)
外源铅、铜胁迫对不同基因型谷子幼苗生理生态特性的影响	肖志华, 张义贤, 张喜文, 等 (889)
温度和盐度对吉富品系尼罗罗非鱼幼鱼鳃 Na ⁺ -K ⁺ -ATPase 活力的联合效应	王海贞, 王辉, 强俊, 等 (898)
基于元胞自动机的喀斯特石漠化格局模拟研究	王晓学, 李叙勇, 吴秀芹 (907)
边缘细胞对荞麦根尖铝毒的防护效应和对细胞壁多糖的影响	蔡妙珍, 王宁, 王志颖, 等 (915)
川中丘陵区人工柏木防护林适宜林分结构及水文效应	龚固堂, 黎燕琼, 朱志芳, 等 (923)
基于 AHP 与 Rough Set 的农业节水技术综合评价	翟治芬, 王兰英, 孙敏章, 等 (931)
基于 DMSP/OLS 影像的我国主要城市群空间扩张特征分析	王翠平, 王豪伟, 李春明, 等 (942)
生态旅游资源非使用价值评估——以达赉湖自然保护区为例	王朋薇, 贾竞波 (955)
专论与综述	
基于有害干扰的森林生态系统健康评价指标体系的构建	袁菲, 张星耀, 梁军 (964)
硅对植物抗虫性的影响及其机制	韩永强, 魏春光, 侯茂林 (974)
研究简报	
光照条件、植株冠层结构和枝条寿命的关系——以桂花和水杉为例	占峰, 杨冬梅 (984)
Bt 玉米秸秆还田对小麦幼苗生长发育的影响	陈小文, 祁鑫, 王海永, 等 (993)
汶川大地震灾后不同滑坡体上柏木体内非结构性碳水化合物特性	陈博, 李志华, 何茜, 等 (999)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 344 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-02



封面图说: 难得的湿地乔木——池杉池杉为落叶乔木, 高达 25 米, 主干挺直, 树冠尖塔。树干基部膨大, 常有屈膝状吐吸根, 池杉为速生树, 强阳性, 耐寒性较强, 耐干旱, 更极耐水淹, 多植于湖泊周围及河流两岸, 是能在在水里生长的极少数的大乔木之一, 故有湿地乔木之称。池杉原产美国弗吉尼亚沼泽地, 中国于本世纪初引种到江苏等地, 之后大量引种南方各省, 尤其是长江南北水网地区作为重要造树和园林树种而大量栽种。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201107030991

龚固堂, 黎燕琼, 朱志芳, 陈俊华, 慕长龙, 吴雪仙, 郑绍伟. 川中丘陵区人工柏木防护林适宜林分结构及水文效应. 生态学报, 2012, 32(3): 923-930.

Gong G T, Li Y Q, Zhu Z F, Chen J H, Mu C L, Wu X X, Zheng S W. The suitable stand structure and hydrological effects of the cypress protection forests in the central Sichuan hilly region. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(3): 923-930.

川中丘陵区人工柏木防护林适宜林分结构及水文效应

龚固堂, 黎燕琼, 朱志芳, 陈俊华, 慕长龙*, 吴雪仙, 郑绍伟

(四川省林业科学研究院生态所, 成都 610081)

摘要: 川中丘陵区是长江上游水土流失最严重地区之一, 该区大面积柏木防护林林分结构不合理、天然更新不良、林分稳定性差、产品产量和水土保持功能低, 急需进行结构调整。通过 48 个典型柏木纯林样地林分郁闭度与灌木、草本及枯落物盖度和生物量分析, 提出了该区人工柏木防护林适宜林分郁闭度为 0.6—0.7。根据林分结构, 将柏木纯林林分结构划分为 5 种类型。对比分析结果表明: (1) 5 种林分类型枯落物最大持水量取决于林分枯落物存贮量, 适宜结构型林分与其它 4 种林分类型枯落物最大持水量存在显著差异, 排序结果为适宜结构型 (4.038 ± 0.497) t/hm^2 > 中低密度型 (3.583 ± 0.521) t/hm^2 > 中高密度型 (3.243 ± 0.455) t/hm^2 > 低密度型 (2.841 ± 0.656) t/hm^2 > 过密型 (2.272 ± 0.580) t/hm^2 。 (2) 土壤饱和贮水量排序为适宜结构型 (180.59 ± 14.83) mm > 中低密度型 (173.84 ± 18.06) mm > 中高密度型 (169.27 ± 13.20) mm > 低密度型 (162.57 ± 8.79) mm > 过密型 (150.77 ± 5.08) mm , 适宜结构型林分与其余 4 种林分之间均存在显著差异。 (3) 6 次典型降雨产沙量排序为适宜结构型 ($360.07 \text{ kg}/\text{hm}^2$) < 中低密度型 ($577.08 \text{ kg}/\text{hm}^2$) < 中高密度型 ($625.98 \text{ kg}/\text{hm}^2$) < 低密度型 ($878.51 \text{ kg}/\text{hm}^2$) < 过密型 ($1026.74 \text{ kg}/\text{hm}^2$), 5 种柏木林分类型产沙量之间均存在显著或极显著差异。

关键词: 川中丘陵区; 柏木防护林; 适宜林分结构; 水文效应

The suitable stand structure and hydrological effects of the cypress protection forests in the central Sichuan hilly region

GONG Gutang, LI Yanqiong, ZHU Zhifang, CHEN Junhua, MU Changlong*, WU Xuexian, ZHENG Shaowei

Institute of Ecology, Sichuan Academy of Forestry, Chengdu 610081, China

Abstract: The study area is situated in the central Sichuan hilly region. Due to the long-term deforestation of natural evergreen broad-leaf vegetation, this area had been suffered from soil erosion over time and was regarded as one of the most serious eroded region in the upper reach of the Yangtze River. In order to mitigate soil erosion, a large area of cypress (*Cupressus funebris*) protection forests was established starting early 1970s. However, the current cypress forests were in a quite poor state in terms of stand structure, natural regeneration, stand stability, product supply and ecological functions. The objective of the study was to identify optimum stand structure aiming to improve soil conservation functions of the cypress monoculture. Through the survey of 48 sample plots and analysis of the relationship between canopy closure and the coverage and biomass of shrubs, grasses and litter, the canopy closures of 0.6—0.7 was regarded as the most suitable one, and 5 stand types of cypress monoculture was categorized, that is, low density type, medium-low density type, suitable density type, medium-high density type and over-dense type. The following results were found through a comparative study of the hydrological effects of the 5 stand types. (1) The maximal water-holding capacity of the litter in the 5 stand types

基金项目: 林业公益性行业科研专项资助(20100400208)

收稿日期: 2011-07-03; 修订日期: 2011-11-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mucl2006@yahoo.com.cn

depended on the total litter storage, and it ranked from higher to lower as: suitable density type (4.038 ± 0.497) t/hm^2 > medium-low density type (3.583 ± 0.521) t/hm^2 > medium-high density type (3.243 ± 0.455) t/hm^2 > low density type (2.841 ± 0.656) t/hm^2 > over-dense type (2.272 ± 0.580) t/hm^2 . (2) The maximal water-holding capacity of soil was in the order of suitable density type (180.59 ± 14.83) mm > medium-low density type (173.84 ± 18.06) mm > medium-high density type (169.27 ± 13.20) mm > low density type (162.57 ± 8.79) mm > over-dense type (150.77 ± 5.08) mm; and the suitable density type had significant difference with other four types. (3) The data from runoff plot observation for six times of rainfall has indicated that the sediment yield of the 5 stand types ranked from lower to higher as suitable type ($360.07 \text{ kg}/\text{hm}^2$) < medium-low density type ($577.08 \text{ kg}/\text{hm}^2$) < medium-high density type ($625.98 \text{ kg}/\text{hm}^2$) < low density type ($878.51 \text{ kg}/\text{hm}^2$) < over-dense type ($1026.74 \text{ kg}/\text{hm}^2$), and significant difference existed among the 5 stand types.

Key Words: Central Sichuan hilly region; cypress protection forests; suitable stand structure; hydrological effects

林分结构通过影响林内环境与生物因子,决定森林生态系统服务功能发挥。林分树种组成、灌草盖度、枯落物盖度与林分水源涵养和水土保持功能密切相关^[1-2]。不同结构类型的林分通过改良土壤结构,将大量的地表径流快速转化为慢速流,能有效减少产沙量,降低水土流失程度^[3-4]。研究表明,单纯以乔木树种或灌木树种组成的林分水土流失严重,以乔灌草配置的多层次林分结构保持水土较好^[5]。长期以来,对林分结构与功能的研究着重在乔木层树种组成或经营密度方面^[6-9],而对灌木和草本层的研究相对较少。通过调整林分郁闭度可增强人工针叶林与天然林之间的相似性,是实现人工针叶林向天然林恢复的有效手段之一^[10-12]。近年来,一些学者注意到了林下植被在改善林地土壤、维护生态系统多样性和稳定性方面的作用;并把林下植被作为林分结构调整的重要因子之一^[13-16]。本文从川中丘陵区大面积柏木防护林急需进行结构调整的实际需要出发,对不同柏木纯林林分类型的水文特征进行了比较研究,期望为开展柏木防护林科学经营提供参考依据。

1 研究地点与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于四川盆地中部,为浅状丘陵地貌,海拔 350—700 m。该区属中亚热带润湿季风气候,年均温度 $13.7\text{—}16.1^\circ\text{C}$,年均降雨量 800—1200 mm,主要集中在 5—8 月。出露地层主要为侏罗系、白垩系的砂岩、页岩和泥岩,土壤以紫色土为主。该区为典型的农林复合生态系统,农地和林地呈镶嵌分布;现存植被主要是 20 世纪 70—80 年代长江防护林建设工程营建的人工柏木纯林。目前,大多柏木纯林林分密度过大,林下灌草盖度低,天然更新不良,水土保持能力弱^[17]。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置

选择 25—35 a 柏木纯林,分别不同郁闭度、不同灌木盖度和草本盖度的典型地段设置样地。郁闭度测量方法采用对角线样线法^[18-19],郁闭度 = 树冠冠幅总长度/样线长度。该研究共调查柏木纯林样地 48 个,根据样地郁闭度、灌木盖度、草本盖度及枯落物盖度,将 48 个柏木纯林样地划分为 5 种林分结构类型(表 1)。

1.2.2 灌草和枯落物盖度及生物量

在上述 48 个样地的四角和中心设置 5 个 $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 样方调查灌木种类、盖度和高度;在灌木样方右下角设置 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 小样方,记录草本植物种类、盖度和高度,以及枯落物盖度和厚度。灌木分叶、茎、根,草本植物分地上部分和地下部分,枯落物分未分解层和半分解层,分别采集称取鲜重;将样品带回实验室,在 80°C 烘箱中烘至恒量后再次称重,推算灌木、草本和枯落物单位面积干质量^[20-21]。枯落物烘干称重后将其置清水中浸泡 24 h 后再称重,计算枯落物持水能力^[22]。枯落物最大持水量(t/hm^2) = 枯落物存储量 (t/hm^2) $\times$ 枯落物最大持水率(%)。

表 1 柏木纯林林分结构类型与特征

Table 1 Structural characteristics of different cypress stand types

类型 Stand type	结构特征 Structural characteristics	样地数 No. of plots
I 低密度型	郁闭度 < 0.4, 灌木盖度 > 50%, 草本盖度 < 45%, 枯落物盖度 > 60%	5
II 中低密度型	郁闭度 0.4—0.6, 灌木盖度 > 50%, 草本盖度 > 45%, 枯落物盖度 > 60%	9
III 适宜结构型	郁闭度 0.6—0.7, 灌木盖度 35%—50%, 草本盖度 > 45%, 枯落物盖度 > 60%	11
IV 中高密度型	郁闭度 0.7—0.8, 灌木盖度 20%—35%, 草本盖度 > 45%, 枯落物盖度 50%—60%	15
V 过密型	郁闭度 > 0.8, 灌木盖度 < 20%, 草本盖度 < 45%, 枯落物盖度 < 50%	8

I: low density type, II: medium-low density type, III: suitable density type, IV: medium-high density type, V: over-dense type

1.2.3 土壤物理性质和贮水量

每个样地选取 3 个剖面,采用环刀分 0—20 cm 和 20—40 cm 两个层次取样,测定土壤容重和土壤孔隙度。土壤贮水方式可分为毛管孔隙的吸持贮存和非毛管孔隙的滞留贮存 2 种,二者持水量之和即为土壤饱和贮水量^[23-24]。为便于比较,各样地统一以 40 cm 土层厚度计算贮水量。

$$W_c = 1000P_c H; W_n = 1000P_n H; W_t = W_c + W_n$$

式中, W_c 、 W_n 和 W_t 分别为土壤水分吸持贮水量(mm)、滞留贮水量(mm) 和饱和贮水量(mm); P_c 、 P_n 分别为毛管孔隙度(%)、非毛管孔隙度(%); H 为土层深度(m)。

1.2.4 径流与产沙

在 5 种林分类型中,用 PVC 设置临时径流小区^[25],小区面积 2 m × 4 m,测定相同降雨条件下,不同林分类型的径流量和产沙量。径流小区除林分结构有差异外,其余因子条件基本一致。

2 结果与分析

2.1 郁闭度与灌草生物量和盖度

48 个样地郁闭度与灌草生物量的拟合结果显示:灌木生物量随林分郁闭度增大而减小,草本生物量与郁闭度呈抛物线关系(图 1)。

$$Y = -3.5159X + 4.0629 \quad R^2 = 0.8623 (n=48) \quad (1)$$

$$Y = -6.7882X^2 + 8.0228X - 1.0464 \quad R^2 = 0.7338 (n=48) \quad (2)$$

式中, X 为林分郁闭度, Y 分别为灌木和草本生物量。

对式(2)方程求导得: $Y' = -13.5764X + 8.0228$

令 $Y' = 0$, 则 $X = 0.59$ 。即林分郁闭度为 0.59 时,草本生物量最大。当林分郁闭度超过 0.7 以后,草本生物量快速下降。

48 个样地灌木和草本盖度与郁闭度的拟合表明:灌木盖度与郁闭度呈明显的直线负相关,而草本盖度与郁闭度呈抛物线关系(图 2)。

$$Y = -90.288X + 94.128 \quad R^2 = 0.8657 (n=48) \quad (3)$$

$$Y = -415.19X^2 + 496.13X - 82.552 \quad R^2 = 0.7549 (n=48) \quad (4)$$

式中, X 为林分郁闭度, Y 分别为灌木和草本盖度。

对式(4)方程求导得到: $Y' = -830.38X + 496.13$

令 $Y' = 0$, 则 $X = 0.60$ 。即林分郁闭度为 0.60 时,草本盖度最大,与式 2 计算结果一致。

研究表明^[26],水源涵养林和水土保持林灌木盖度不宜小于 30%,将其代入式(3),得到相应的郁闭度为 0.71。

2.2 郁闭度与枯落物盖度和生物量

48 个样地郁闭度与枯落物盖度和生物量的拟合表明:枯落物盖度和生物量与郁闭度呈抛物线关系(图 3)。

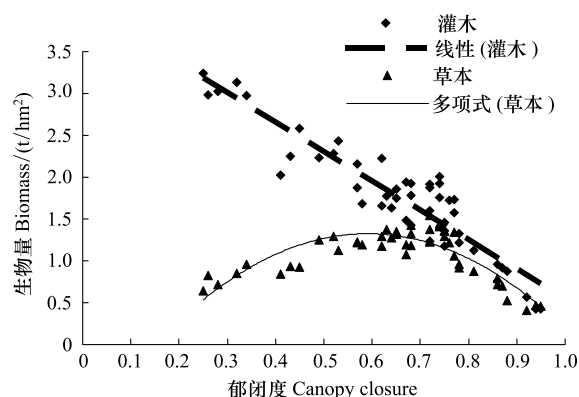


图1 林分郁闭度与灌木和草本生物量

Fig. 1 The relationships between canopy closure and shrub and grass biomass

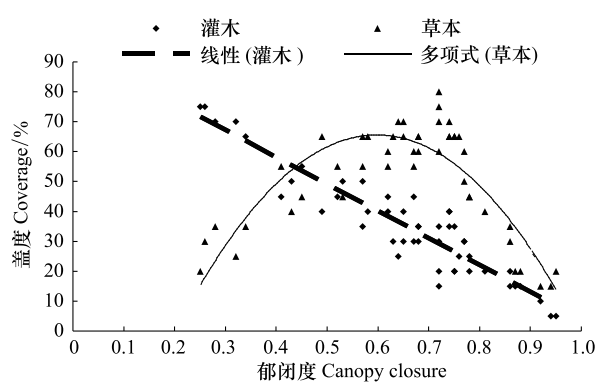


图2 林分郁闭度与灌木和草本盖度

Fig. 2 The relationships between canopy closure and shrub and grass coverage

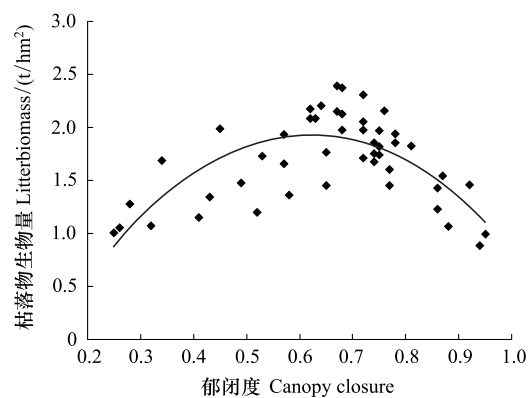
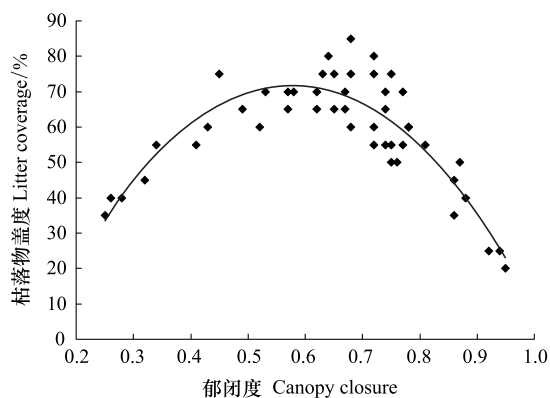


图3 林分郁闭度与枯落物盖度和生物量

Fig. 3 The relationships between canopy closure and litter's coverage and biomass

$$Y = -357.22X^2 + 414.2X - 48.159 \quad R^2 = 0.7858 \quad (n = 48) \quad (5)$$

$$Y = -7.7225X^2 + 9.5972X - 1.0453 \quad R^2 = 0.5387 \quad (n = 48) \quad (6)$$

式中, X 为林分郁闭度, Y 分别为枯落物盖度和生物量。

对式(5)方程求导得到: $Y' = -717.44X + 414.2$

令 $Y' = 0$, 则 $X = 0.58$ 。

对式(6)方程求导得到: $Y' = -15.445X + 9.5972$

令 $Y' = 0$, 则 $X = 0.62$ 。因此, 林分郁闭度在 0.6 左右时, 枯落物盖度和生物量最大。

综合郁闭度与灌木盖度和生物量、郁闭度与草本盖度和生物量及郁闭度与枯落物盖度和生物量关系来看, 人工柏木防护林适宜郁闭度在 0.6—0.7 之间为宜。

2.3 不同林分结构类型的水文效应

2.3.1 枯落物生物量和持水量

5 种林分结构类型的灌木和草本盖度差异较大, 枯落物生物量也表现出明显差异。适宜结构型林分生物量为 2.317 t/hm^2 , 过密型林分枯落物生物量只有 1.304 t/hm^2 , 适宜结构型林分与其它 4 种林分类型枯落物生物量存在显著差异(图 4)。研究表明, 5 种林分结构类型枯落物最大持水量取决于林分枯落物存贮量, 适宜结构型林分与其它 4 种林分类型枯落物最大持水量存在显著差异, 排序结果为: 适宜结构型 (4.038 ± 0.497) t/hm^2 > 中低密度型 (3.583 ± 0.521) t/hm^2 > 中高密度型 (3.243 ± 0.455) t/hm^2 > 低密度型 ($2.841 \pm$

0.656) t/hm² > 过密型(2.272 ± 0.580) t/hm²。

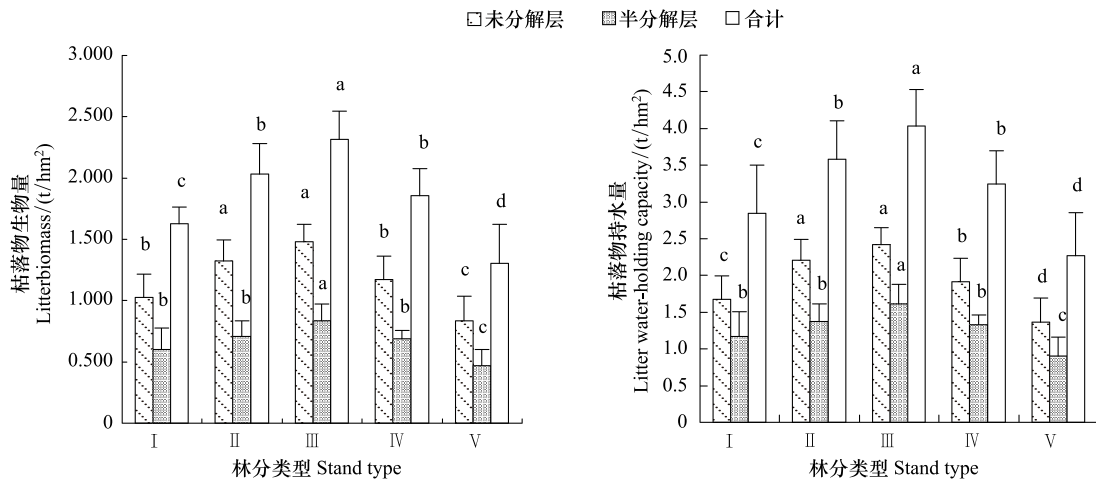


图4 不同林分类型枯落物生物量和持水量

Fig. 4 The biomass and water-holding capacity of litter in different stand types

2.3.2 土壤物理性质和贮水量

不同结构类型的柏木林分,通过乔木层、灌草层和枯落物层的物质循环,对林地土壤产生不同的影响。表2表明5种林分结构类型土壤0—40 cm 非毛管孔隙度均存在显著差异,大小排序为适宜结构型(6.84%) > 中低密度型(6.10%) > 低密度型(5.26%) > 中高密度型(4.70%) > 过密型(3.82%)。5种林分结构类型的最大滞留贮水量之间也存在显著差异,而以适宜结构型最大。饱和贮水量排序为适宜结构型(180.59 mm) > 中低密度型(173.84 mm) > 中高密度型(169.27 mm) > 低密度型(162.57 mm) > 过密型(150.77 mm)。适宜结构型林分与其余4种林分之间均存在显著差异,但中高密度型和 中低密度型林分之间差异不显著。

表2 不同柏木林分类型土壤物理性质和贮水量

Table 2 Soil physical features and water-holding capacity of different cypress stand types

类型 Stand type	非毛管孔隙度 Non-cap porosity /%	毛管孔隙度 Capillary porosity /%	总孔隙度 Total porosity /%	滞留贮水量① /mm	吸持贮水量② /mm	饱和贮水量③ /mm
I 低密度型	5.26±0.69 a	35.39±1.59 ab	40.64±2.20 bc	21.02±2.77 a	141.54±6.35 ab	162.57±8.79 bc
II 中低密度型	6.10±0.67 b	37.36±4.36 a	43.46±4.52 b	24.42±2.69 b	149.42±17.42 a	173.84±18.06 b
III 适宜结构型	6.84±0.51 c	38.31±3.42 a	45.15±3.71 a	27.37±2.06 c	153.22±13.68 a	180.59±14.83 a
IV 中高密度型	4.70±0.59 d	37.62±3.17 a	42.32±3.30 b	18.79±2.35 d	150.48±12.68 a	169.27±13.20 b
V 过密型	3.82±0.55 e	33.88±1.33 b	37.69±1.27 c	15.27±2.22 e	135.50±5.31 b	150.77±5.08 c

① non-capillary water-holding capacity; ② capillary water-holding capacity; ③ maximal water-holding capacity

2.3.3 径流深与产沙量

选择5种林分结构类型的典型坡面地段,设置2 m × 4 m 临时径流观测小区,对6次典型降雨的观测结果如表3所示。5种林分类型产流量和产沙量具有一致的趋势,其中,产沙量排序为适宜结构型(360.07 kg/hm²) < 中低密度型(577.08 kg/hm²) < 中高密度型(625.98 kg/hm²) < 低密度型(878.51 kg/hm²) < 过密型(1026.74 kg/hm²)。

成对样本 t 检验分析表明:5种林分结构类型中除低密度型与中高密度型径流深无差别外,其余类型之间存在显著或极显著差异;而5种林分结构类型产沙量均存在显著或极显著差异(表4)。

本研究综合分析表明:郁闭度0.6—0.7、灌木盖度35%—50%、草本盖度>45%的适宜结构型林分水土保持功能最好;而郁闭度>0.8、灌木盖度<20%、草本盖度<45%的过密型林分最差。

表3 不同柏木林分类型地表径流和产沙量

Table 3 Surface runoff and sediment yield of different cypress stand types											
降雨量 Rainfall /mm	雨强 Rainfall intensity /(mm/min)	I 低密度型 LD		II 中低密度型 ML		III 适宜结构型 SD		IV 中高密度型 MH		V 过密型 OD	
		径流深 Runoff depth	侵蚀量 Sediment Yield	径流深 Runoff depth	侵蚀量 Sediment Yield	径流深 Runoff depth	侵蚀量 Sediment Yield	径流深 Runoff depth	侵蚀量 Sediment Yield	径流深 Runoff depth	侵蚀量 Sediment Yield
		/mm	/(kg/hm ²)	/mm	/(kg/hm ²)	/mm	/(kg/hm ²)	/mm	/(kg/hm ²)	/mm	/(kg/hm ²)
20.7	0.04	9.8	94.08	7.50	61.50	7.40	36.26	8.10	76.95	10.30	103.00
32.4	0.18	14.9	168.37	13.50	117.45	12.70	68.58	14.10	129.72	15.30	180.54
38.5	0.25	13.5	156.60	12.60	107.10	11.20	63.84	14.40	105.12	16.30	202.12
42.9	0.07	11.2	108.64	10.40	79.04	9.60	50.88	11.10	91.02	12.60	134.82
56.3	0.03	13.5	140.40	11.40	85.50	10.10	63.63	12.80	88.32	14.30	167.31
74.1	0.05	16.7	210.42	13.90	126.49	12.40	76.88	15.50	134.85	17.70	238.95
合计 Total	—	79.6	878.51	69.30	577.08	63.40	360.07	76.00	625.98	86.50	1026.74

表4 不同柏木林分类型地表径流和产沙量成对t检验的p值

Table 4 P values of paired t-test on surface runoff and sediment yield of different cypress stand types					
林分类型 Stand type	I 低密度型	II 中低密度型	III 适宜结构型	IV 中高密度型	V 过密型
I 低密度型		0.0067 **	0.0023 **	0.1784	0.0181 *
II 中低密度型	0.0018 **		0.0008 **	0.0036 **	0.0010 **
III 适宜结构型	0.0009 **	0.0012 **		0.0018 **	0.0009 **
IV 中高密度型	0.0038 **	0.0361 *	0.0012 **		0.0003 **
V 过密型	0.0031 **	0.0007 **	0.0005 **	0.0034 **	

对角线右上部表示径流深t检验P值;左下部表示产沙量t检验P值;*表示P<0.05,差异显著;**表示P<0.01,差异极显著

3 讨论

3.1 郁闭度与灌草层变化

本文从林分郁闭度与灌木、草本生物量和盖度关系出发,研究表明川中丘陵区人工柏木纯林适宜郁闭度为0.6—0.7;在此郁闭度范围内,柏木林分灌木和草本层物种组成最丰富、盖度适宜,与广西大青山马尾松和岷江上游油松林分密度对林下灌草的影响规律一致^[27-28]。对四川盆地柏木低效林改造研究也表明:实施抚育间伐后林下物种多样性增加,林分生长量明显提高^[29]。研究同时表明,中龄阶段的人工柏木林分,低郁闭度时林分中灌木和草本种类以阳性植物为主;随着郁闭度的增大,灌木和草本种类转为中性,最终以耐荫植物为主。

3.2 林分结构与功能

对亚高山不同植被类型土壤贮水及入渗性能的研究表明:原始冷云杉林土壤入渗性能与林分密度具有显著负相关性^[30]。太行山石质山地植被优化研究也表明:郁闭度在0.6—0.7时,可形成良好的灌草层,林地产沙量最小^[31]。北京山区油松林和刺槐林的产沙量与郁闭度关系十分紧密;当郁闭度从0.3增加到0.7时,油松林和刺槐林地的产沙量一直减少;当郁闭度超过0.7时,反而呈上升趋势^[32]。本文通过5种人工柏木林分结构类型枯落物持水、土壤贮水能力和地面径流产沙对比研究,也表明郁闭度在0.6—0.7时,人工柏木防护林水土保持功能最优,从而进一步证明了有什么样的林分结构就会产生什么样的生态功能。

3.3 人工柏木防护林经营

适宜郁闭度是形成合理林分结构及发挥高效生态功能的基础,林分郁闭度也是最为直观和易于调控的因子。鉴于川中丘陵区人工柏木防护林大多为纯林,林分密度过大,林下灌草盖度低,天然更新不良,稳定性差的问题,该区防护林经营应从调整林分密度出发,通过生态疏伐改善林下营养空间和光照条件,增加灌木、草本种类和盖度。对密度过大,疏伐后灌木也难以在短时间内形成的林分,可通过带状或块状改造、抽针补阔等方式,引入栎类、香椿、黄荆、马桑等阔叶物种,逐步将柏木纯林改造为复层、异林结构的针阔混交林,提高现

有林分的稳定性和水土保持能力。

References:

- [1] Zhang Z Q, Yu X X, Zhao Y T, Qin Y S. Advance in researches on the effect of forest on hydrological process. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14 (1): 113-116.
- [2] Liu X, Zhang G C, Li X L, Xing X S, Zhao M. Characteristics of soil infiltration and water-holding of different forest vegetation in ecological rehabilitation of small watershed. Journal of Soil and Water Conservation, 2004, 18 (6): 1-5.
- [3] Boix-Fayos C, de Vente J, Martínez-Mena M, Barberó G G, Castillo V. The impact of land use change and check-dams on catchment sediment yield. Hydrological Processes, 2008, 22 (25): 4922-4935.
- [4] Cheng H, Cai Q G. Impact of hillslope vegetation restoration on gully erosion induced sediment yield. Science in China: Series D Earth Sciences, 2006, 36 (1): 69-80.
- [5] Yang C K, Bai F T, Chen Y B, Xia H X, Yang H. Study on the relationship between stand structure and loss of water and soil in red soil hilly areas. Hunan Forestry Science and Technology, 1998, 25 (4): 31-37.
- [6] Zhang Y T, Yang J H. Study on fitting afforestation density of *Platycladus orientalis* under environmental capacity of precipitation resource on Loess Plateau. Journal of Soil and Water Conservation, 2003, 17 (2): 156-162.
- [7] Peng M J, Lang N J, Wen S L, Guo Y Q, Yang X, Zheng K, Guo Y H, Zhang L X. Soil properties and water conservation function of different forest types in Jinshajiang River watershed. Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19 (6): 106-109.
- [8] Lu S W, Liu F Q, Yu X X, Fan J S, Yang X B, Li C P. Studies on the configuration and function of different density pine in rocky mountain area of Beijing. Research of Soil and Water Conservation, 2008, 5 (1): 117-121.
- [9] Li G L, Liu Y, Lü R H, Yu H Q, Li R S. Responses of understory vegetation development to regulation of tree density in *Larix principis-rupprechtii* plantations. Journal of Beijing Forestry University, 2009, 31 (1): 19-24.
- [10] Chen X Y. Effects of plant density and age on the mating system of *Kandelia candel* Druce (Rhizophoraceae), a viviparous mangrove species. Hydrobiologia, 2000, 432: 189-193.
- [11] Arevalo J R, Fernandez-Palacios J M. From pine plantations to natural stands: ecological restoration of a *Pinus canariensis* Sweet ex Spreng forest. Plant Ecology, 2005, 181: 217-226.
- [12] Baldwin V C, Peterson K D, Clark A III, Ferguson R B, Strub M R, Bower D R. The effects of spacing and thinning on stand and tree characteristics of 38-year-old loblolly pine. Forest Ecology and Management, 2000, 137: 91-102.
- [13] VanderSchaaf C L. Estimating understory vegetation response to multi-nutrient fertilization in Douglas-fir and ponderosa pine stands. Journal of Forest Research, 2008, 13: 43-51.
- [14] Lindh B C, Muir P S. Understory vegetation in young Douglas-fir forests: does thinning help restore old-growth composition? Forest Ecology and Management, 2004, 192: 285-296.
- [15] Wilson D S, Puettmann K J. Density management and biodiversity in young Douglas-fir forests: challenges of managing across scales. Forest Ecology and Management, 2007, 246: 123-134.
- [16] Roberts M R. Response of the herbaceous layer to disturbance in North American forests. Canadian Journal of Botany, 2004, 82: 1273-1283.
- [17] Li X W, Luo C D, Hu T X, Zhang J. Suggestions on restoration and reconstruction of degraded forest ecosystem in the upper reaches of the Yangtze River. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21 (12): 2117-2124.
- [18] Fiala A C S, Garman S L, Gray A N. Comparison of five canopy cover estimation techniques in the Western Oregon Cascades. Forest Ecology and Management, 2006, 232: 188-197.
- [19] Li Y N, Zhang B L, Qin S Y, Li S Y, Huang X R. Review of research and application of forest canopy closure and its measuring methods. World Forestry Research, 2008, 21 (1): 40-46.
- [20] Barbour R J, Johnston S, Hayes J P, Tucker G F. Simulated stand characteristics and wood product yields from Douglas fir plantations managed for ecosystem objectives. Forest Ecology and Management, 1997, 91: 205-219.
- [21] Kang B, Liu S R, Shi Z M, Wen Y G, Cai D X, Lu L H, Liang H W, Feng C L. Understory vegetation composition and main woody population niche of artificial Masson pine forest in south subtropical area. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16 (9): 1786-1790.
- [22] Gong G T, Chen J H, Li Y Q, Zhang J, Zhu Z F, Zheng S W, Wu X X. A comparative analysis of the hydrological effects of the four cypress stand types in Sichuan Basin. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31 (10): 2716-2726.
- [23] Sampson D A, Allen H L. Regional influences of soil available water-holding capacity and climate, and leaf area index on simulated loblolly pine productivity. Forest Ecology and Management, 1999, 124 (1): 1-12.
- [24] Qi L H, Zhang X D, Zhou J X, Zhou X L, Tian Y X, Wei Y, Wu J P, Ke Y Z. Soil water holding capacities and infiltration characteristics of vegetation restoration communities in watershed, northwest Hunan. Scientia Silvae Sinicae, 2007, 43 (4): 1-8.
- [25] Deng Y L, Li C Y, Wang Y K. Conserving efficiency of different vegetations on soil and water loss in typical small catchment in upper reaches of Yangtze River. Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19 (5): 5-8.
- [26] Wang Z G, Zhang Y L, Xu D M, Duan X M. Forest ecological engineering-theory and practice of vegetation reconstruction. Beijing: The

Publishing House of Chinese Forestry, 2000: 206-230.

- [27] Kang B, Liu S R, Cai D X, Lu L H. Effects of *Pinus massoniana* plantation stand density on understory vegetation and soil properties. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20 (10): 2323-2331.
- [28] Sun S C, Gao X M, Bao W K, Wang Z L. Density effects on tree growth and community structure of Chinese pine plantations in the upper reaches of the Minjiang River, China. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2005, 11 (1): 8-13.
- [29] Luo Z S, Hou B, Xiang C H, Chen J H, Luo X H, Xie D J, Mu C L. Analysis of improving effects of *Cupressus funebris* plantation in the low hill region of Sichuan Basin. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2009, 29 (6): 82-87.
- [30] Huo X P, Li X W, Zhang J, Zhang X H, Dai J, Zhang L H. Experimental on soil storage capacity and infiltration capability under different vegetation types in the Subalpine of Western Sichuan. Science of Soil and Water Conservation, 2009, 7 (6): 74-79.
- [31] Jia Z Q, Guo B G, Li C Z. Vegetation optimization structure evaluation in rocky land of Taihangshan mountain. Forest Research, 2004, 17 (2): 226-230.
- [32] Yu X X, Wang X B, Zhang X M. Suitable stand structure of shelterbelts in Beijing mountainous area. Journal of Beijing Forestry University, 2008, 30 (Sup. 2): 103-106.

参考文献:

- [1] 张志强, 余新晓, 赵玉涛, 秦永胜. 森林对水文过程影响研究进展. 应用生态学报, 2003, 14 (1): 113-116.
- [2] 刘霞, 张光灿, 李雪蕾, 邢先双, 赵玫. 小流域生态修复过程中不同森林植被土壤入渗与贮水特征. 水土保持学报, 2004, 18 (6): 1-5.
- [4] 陈浩, 蔡强国. 坡面植被恢复对沟道侵蚀产沙的影响. 中国科学 D 辑 地球科学, 2006, 36(1): 69-80.
- [5] 杨臣坤, 柏富通, 陈益宝, 夏合新, 杨红. 红壤丘陵防护林幼林分结构水土流失规律的研究. 湖南林业科技, 1998, 25 (4): 31-37.
- [6] 张永涛, 杨吉华. 黄土高原降水资源环境容量下侧柏合理密度的研究. 水土保持学报, 2003, 17(2): 156-162.
- [7] 彭明俊, 郎南军, 温绍龙, 郭永清, 江期川, 杨旭, 郑科, 郭玉红, 张立新. 金沙江流域不同林分类型的土壤特性及其水源涵养功能研究. 水土保持学报, 2005, 19(6): 106-109.
- [8] 鲁绍伟, 刘凤芹, 余新晓, 樊金栓, 杨新兵, 李春平. 北京山区不同密度油松结构与功能研究. 水土保持研究, 2008, 15 (1): 117-121.
- [9] 李国雷, 刘勇, 吕瑞恒, 于海群, 李瑞生. 华北落叶松人工林密度调控对林下植被发育的作用过程. 北京林业大学学报, 2009, 31 (1): 19-24.
- [17] 李贤伟, 罗承德, 胡庭兴, 张健. 长江上游退化森林生态系统恢复与重建刍议. 生态学报, 2001, 21 (12): 2117-2124.
- [19] 李永宁, 张宾兰, 秦淑英, 李帅英, 黄选瑞. 郁闭度及其测定方法研究与应用. 世界林业研究, 2008, 21 (1): 40-46.
- [21] 康冰, 刘世荣, 史作民, 温远光, 蔡道雄, 卢立华, 梁宏温, 冯常林. 南亚热带人工马尾松林下植物组成特征及主要木本种群生态位研究. 应用生态学报, 2005, 16 (9): 1786-1790.
- [22] 龚固堂, 陈俊华, 黎燕琼. 张健, 朱志芳, 郑绍伟, 吴雪仙. 四川盆地四种柏木林分类型水文效应研究. 生态学报, 2011, 31 (10): 2716-2726.
- [24] 漆良华, 张旭东, 周金星, 周小玲, 田育新, 魏远, 吴建平, 柯裕洲. 湘西北小流域典型植被恢复群落土壤贮水量与入渗特性. 林业科学, 2007, 43 (4): 1-8.
- [25] 邓玉林, 李春艳, 王玉宽. 长江上游典型小流域植被水土保持效应研究——以涪江流域黄羊小流域为例. 水土保持学报, 2005, 19 (5): 5-8.
- [26] 王治国, 张云龙, 刘徐师, 徐德明, 段喜明. 林业生态工程学——林草植被建设的理论与实践. 北京: 中国林业出版社, 2000: 206-230.
- [27] 康冰, 刘世荣, 蔡道雄, 卢立华. 马尾松人工林林分密度对林下植被及土壤性质的影响. 应用生态学报, 2009, 20 (10): 2323-2331.
- [28] 孙书存, 高贤明, 包维楷, 王中磊. 岷江上游油松造林密度对油松生长和群落结构的影响. 应用与环境生物学报, 2005, 11 (1): 8-13.
- [29] 骆宗诗, 侯波, 向成华, 陈俊华, 罗晓华, 谢大军, 慕长龙. 四川盆地低山丘陵区柏木低效防护林的改造. 中南林业科技大学学报, 2009, 29 (6): 82-87.
- [30] 霍小鹏, 李贤伟, 张健, 张兴华, 代杰, 张良辉. 川西亚高山不同植被类型土壤贮水与入渗性能试验. 中国水土保持学报, 2009, 7 (6): 74-79.
- [31] 贾志清, 郭保贵, 李昌哲. 太行山石质山地植被结构优化评价. 林业科学研究, 2004, 17 (2): 226-230.
- [32] 余新晓, 王雄宾, 张晓明. 北京山区防护林适宜林分结构研究. 北京林业大学学报, 2008, 30 (sp2): 103-106.

CONTENTS

Behavioural time budgets and diurnal rhythms of the female Tibetan gazelles in the Kekexili National Nature Reserve	LIAN Xinming, LI Xiaoxiao, YAN Peishi, et al (663)
The relationship between the temporal-spatial distribution of fishing ground of yellowfin tuna (<i>Thunnus albacares</i>) and thermocline characteristics in the tropic Indian Ocean	YANG Shenglong, ZHANG Yu, ZHANG Heng, et al (671)
Characteristics of algous facies of planktonic algae in lake honghu and its response to habitat	LU Bilin, YAN Pingchuan, TIAN Xiaohai, et al (680)
Tide elevations for four mangrove species along western coast of Guangxi, China	LIU Liang, FAN Hangqing, LI Chungan (690)
Effects of CO ₂ -induced seawater acidification on photosynthesis and calcification in the coralline alga <i>Corallina pilulifera</i>	XU Zhiguang, LI Meizhen, HUO Chuanlin, et al (699)
Impacts of coverage and canopy water depth on the spectral characteristics for a submerged plant <i>Cabomba caroliniana</i>	ZOU Weina, YUAN Lin, ZHANG Liquan, et al (706)
Prioritizing biodiversity in conservation planning based on C-Plan: a case study from northeast China	LUAN Xiaofeng, SUN Gongqi, QU Yi, et al (715)
Effects of urbanization on indigenous plant diversity: a case study of Langfang City, China	PENG Yu, LIU Xuehua, XUE Dayuan, et al (723)
Using infra-red cameras to survey wildlife in Beijing Songshan National Nature Reserve	LIU Fang, LI Diqiang, WU Jigui (730)
Individual tree biomass model by tree origin, site classes and age groups	LI Haikui, NING Jinkui (740)
Population genetics of <i>Niviventer confucianus</i> and its relationships with habitat area in Thousand Island Lake region	LIU Jun, BAO Yixin, ZHANG Xu, et al (758)
Impacts of climate change on phenological phase of herb in the main grassland in Inner Mongolia	GU RunYuan, ZHOU Weican, BAI Meilan, et al (767)
Atmospheric nitrogen deposition in the glacier regions of Northwest China: a case study of Glacier No. 1 at the headwaters of Urumqi River, Tianshan Mountains	WANG Shengjie, ZHANG Mingjun, WANG Feiteng, et al (777)
Effects of vegetation type on arthropod functional groups in the aerial habitat of salt marsh	TONG Chunfu (786)
The plant community distribution and migration characteristics of heavy metals in tolerance dominant species in lead/zinc mine areas in Northwestern Guizhou Province	XING Dan, LIU Hongyan, YU Pingping, et al (796)
Sprouting characteristic in restoration ecosystems of monsoon evergreen broad-leaved forest in south-central of Yunnan Province	SU Jianrong, LIU Wande, ZHANG Zhijun, et al (805)
Distribution patterns and changes of aquatic communities in Lashihai Plateau Wetland after impoundment by damming	XIAO Derong, YUAN Hua, TIAN Kun, et al (815)
Spatial distribution of root biomass of <i>Pinus massoniana</i> plantation in Three Gorges Reservoir area, China	CHENG Ruimei, WANG Ruili, XIAO Wenfa, et al (823)
Differences in biomass, litter layer mass and SOC storage changing with tree growth in <i>Larix gmelinii</i> plantations in Northeast China	WANG Hongyan, WANG Wenjie, QIU Ling, et al (833)
Soil carbon sequestration rates and potential in the grazing grasslands of Inner Mongolia	HE Nianpeng, HAN Xingguo, YU Guirui (844)
Relationships between litter substrate quality and soil nutrients in different-aged <i>Pinus massoniana</i> stands	GE Xiaogai, XIAO Wenfa, ZENG Lixiong, et al (852)
Compare different effect of arbuscular mycorrhizal colonization on soil structure	PENG Sili, SHEN Hong, ZHANG Yuting, et al (863)
The infiltration process of clay soil under different initial soil water contents	LIU Muxing, NIE Yan, YU Jing (871)
Diurnal variations of the greenhouse gases emission and their optimal observation duration under different tillage systems	TIAN Shenzhong, NING Tangyuan, CHI Shuyun, et al (879)
Effects of exogenous pb and cu stress on eco-physiological characteristics on foxtail millet seedlings of different genotypes	XIAO Zhihua, ZHANG Yixian, ZHANG Xiwen, et al (889)
Combined effect of temperature and salinity on the Na ⁺ -K ⁺ -ATPase activity from the gill of GIFT tilapia juveniles (<i>Oreochromis niloticus</i>)	WANG Haizhen, WANG Hui, QIANG Jun, et al (898)
Pattern simulation of karst rocky desertification based on cellular automata	WANG Xiaoxue, LI Xuyong, WU Xiuqin (907)
The role of root border cells in protecting buckwheat root apices from aluminum toxicity and their effect on polysaccharide contents of root tip cell walls	CAI Miaozen, WANG Ning, WANG Zhiying, et al (915)
The suitable stand structure and hydrological effects of the cypress protection forests in the central Sichuan hilly region	GONG Gutang, LI Yanqiong, ZHU Zhifang, et al (923)
Comprehensive evaluation of agricultural water-saving technology based on AHP and Rough Set method	ZHAI Zhifen, WANG Lanying, SUN Minzhang, et al (931)
Analysis of the spatial expansion characteristics of major urban agglomerations in China using DMSP/OLS images	WANG Cuiping, WANG Haowei, LI Chunming, et al (942)
Evaluation of non-use value of ecotourism resources: a case study in Dalai Lake protected area of China	WANG Pengwei, JIA Jingbo (955)
Review and Monograph	
Assessment indicators system of forest ecosystem health based on the harmful disturbance	YUAN Fei, ZHANG Xinyao, LIANG Jun (964)
Role of silicon in regulating plant resistance to insect herbivores	HAN Yongqiang, WEI Chunguang, HOU Maolin (974)
Scientific Note	
Relationships among light conditions, crown structure and branch longevity: a case study in <i>Osmanthus fragrans</i> and <i>Metasequoia glyptostroboides</i>	ZHAN Feng, YANG Dongmei (984)
Effects of maize straw with Bt gene return to field on growth of wheat seedlings	CHEN Xiaowen, QI Xin, WANG Haiyong, et al (993)
Studies of non-structural carbohydrates of <i>Cupressus funebris</i> in different landslides after Wenchuan Earthquake	CHEN Bo, LI Zhihua, HE Qian, et al (999)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 32 卷 第 3 期 (2012 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 3 2012

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元