

川中丘陵区人工桉柏混交林的研究进展

吴鹏飞^{1,2}, 朱波¹

(1. 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 川中丘陵区人多地少, 农业开发历史悠久, 垦殖指数高, 森林覆盖率低, 水土流失严重, 给农业和生态环境造成了严重的危害。20世纪70年代, 四川省盐亭县林山乡率先把桉木(*Alnus cremastogyne*)和柏木(*Cupressus funebris*)混交成功, 到80年代末, 川中丘陵区营造了大面积的桉柏混交林作为长江上游地区的水土保持林。在过去的30多年里, 有关桉柏混交林生态系统的研究较多, 主要集中在混交林的机理和模式、群落结构、生态系统的生物量、生产力和物质循环, 以及混交林的生态效应。通过对前人的研究的总结, 作者剖析了目前桉柏混交林生态系统存在的问题, 并指出今后桉柏混交林的研究应该围绕: (1) 混交林生态系统的演替规律与演替趋势; (2) 生态系统的稳定性; (3) 结构和模式的优化改造三个重点。

关键词: 川中丘陵区; 桉柏混交林; 生态系统的结构; 生态系统的功能; 生态效应

中图分类号: S792.14; S791.41

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2005)06-0004-04

Reviews on Research of the Alder-Cypress Mixed Plantations in the Hilly Areas of Central Sichuan Province

WU Peng-fei^{1,2}, ZHU Bo¹

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;

2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: The hilly areas of central Sichuan located in Yangtze River upriver, with a long agriculture exploitation history and a large population with scarce plow land, high cultivating index and low plant coverage. There is serious soil and water loss, damaged agriculture and environment. Since 70's in 20th century, *Alnus cremastogyne* and *Cupressus funebris* were firstly successfully planted together in Linshan village, Yanting county, Sichuan. At the end of 80's, the alder-cypress mixed plantation was extensively planted in the hilly areas of central Sichuan as a part of shield forests of the Yangtze River. A lot of researches were conducted on this plantations in the past 30 years. Researches concentrated on topics of mechanisms and modes of mixed plantations, community structures, biomass and productivity of ecosystem, material circling and the ecological effects. Based on the analysis of former researches, three research topics on the alder-cypress mixed plantations were put forward: (1) succession and tendency of the alder-cypress mixed plantations, (2) ecosystem stability and (3) structure adjustment and optimization of the mixed plantations.

Key words: the hilly areas of central sichuan; mixed plantation of alder and cypress; ecosystem structures; ecosystem functions; ecological effects

川中丘陵区位于四川盆地中部, 长江以北, 剑阁、苍溪、仪陇等县以南, 龙泉山以东, 华蓥山以西, 包括9个市地49个县市。土地面积1200万 hm^2 , 耕地面积占29.5%, 林地面积占21.3%, 水域面积占7.5%; 在紫色丘陵区, 低山占21.4%, 中丘占25.5%, 深丘占25.5%^[1]。大部分地区海拔350m~700m。川中丘陵素有“红色盆地”之称, 这里广泛出露紫色泥页岩和砂页岩地层, 其中泥页岩占50%~60%, 极易风化崩解破碎, 成土过程快, 土壤抗蚀力弱^[2]。川中丘陵区是四川, 乃至长江上游最重要的农业区域, 同时也是水土流失最为严重的区域之一。四川省约75%的人口集中在该地区, 人地矛盾突出, 土地垦殖率高。20世纪五、六十年代大量

林地, 在人口压力下被劈为耕地, 严重时林地面积仅占9%, 不少地区低于5%, 区域内水土流失异常严重, 多数地区土壤侵蚀强度为4000~7000 $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 大量泥沙下泄入江^[1]。泥沙的沉降淤积抬升河道, 造成河流的调洪能力减弱。此外, 水土流失带走大量的N、P、K等肥料元素, 导致土层变薄, 土壤肥力下降, 土地生产力降低, 带来严重经济损失^[3]。

为了控制水土流失, 必须对川中丘陵区进行生态恢复和重建。上个世纪70年代, 四川省盐亭县林山乡率先试造桉木(*Alnus cremastogyne*)和柏木(*Cupressus funebris*)混交林成功之后, 陆续营造了大面积的桉柏混交林^[4]。并发现桉木有促进柏木生长, 提前林分郁闭和增强地力的作用, 因此桉柏混交林

* 收稿日期: 2005-01-15

基金项目: 中国科学院知识创新工程项目(KZCX3-SW-330); (KZCX2-SW-319) 资金资助

作者简介: 吴鹏飞(1975-), 男, 河南信阳人, 博士研究生, 主要研究方向为水土保持。

在川中丘陵区得到推广^[4~6]。

最早有关桫欏混交林的研究见于20世纪80年代初^[7,8], 直到目前关于桫欏混交林的研究仍然在不断地进行。总结桫欏混交林研究的主要内容在以下几个方面:

1 混交林的机理

桫欏混交林是以桫欏为目的树种, 桫欏作为伴生树种的一种混交林^[9]。就其混交的机理, 可以概括为以下几点: 桫欏具有较强的固氮的能力^[10~13], 大量的富含养分且易腐的枯枝落叶和地下根瘤, 有利于改善土壤结构和性质, 提高土壤肥力, 为桫欏提供充足的物质和适宜的环境条件, 促进了桫欏的生长^[5,6,9,14,15]; 桫欏和桫欏根系垂直分布的层次不同, 桫欏的吸收根系主要分布在0~20 cm土壤中, 而桫欏则主要是在0~40 cm的土壤中^[4,16], 这种营养生态位的分离, 有利于水分和营养物质的充分吸收与利用, 降低根系的种间竞争压力; 桫欏对桫欏具侧方庇荫作用, 这有利于桫欏幼苗的生长, 进而促进混交林提早郁闭^[4,5]; 桫欏混交能形成复层结构, 林内直射光减少, 温差变小, 湿度增大, 风速减弱, 有利于改善林内光、热、温、湿等生态因子, 形成森林小气候^[4,5,17], 这些生态条件的改善, 促进了桫欏的生长。正是由于桫、桫两树种能够在营养和空间生态位上的分离, 形成了互利的关系, 所以桫欏混交林能够混交成功。

2 混交林的模式

桫欏混交林的模式主要有两个方面: 个体密度和桫欏比例, 这两个方面又是相互联系、相互影响的。由于桫欏和桫欏都为阳性树种, 生长速度差异极大, 种间存在复杂而激烈的竞争^[18], 桫欏所占的比例过大或过小都不利于桫欏的生长^[5]。因此要建立一个结构合理、稳定性强的混交林, 研究适合不同立地条件的混交模式是混交成功的关键因素所在^[4,9,18]。由于研究地点的立地条件和林龄等情况不同, 所以得出的结论也存在一定的差异, 但在总体上是一致的。其一致性是: 桫欏混交林中桫欏所占的比例可以随林龄的增大而降低, 随立地条件的改善而减少^[4,18~20]。在桫欏达到中林龄(12~14年)时生长减慢, 作为先锋和伴生树种的作用即将完成, 可以进行间伐; 达到成熟龄(18~20年)时, 可以进行主伐^[4,21]。在水、养分、光照等条件一定的情况下, 如果桫欏密度过高, 不仅会象其它人工林树种那样产生种内竞争^[22~25], 而且还会对桫欏的单株材积, 混交林的生物量、蓄积量产生负面影响^[19,26]。陈凯^[19]经过对不同立地条件下, 桫欏混交林密度、蓄积量的研究后, 提出桫欏混交林中龄时(22年生)的混交模式为: 适宜密度在6000株/hm², 适宜的桫欏比为3~7; 而潘攀等^[4]通过对相近密度下不同林龄和不同桫欏比的混交林的树高、胸径、材积和生物量的生长情况, 以及林下植被覆盖状况等综合情况研究的基础上, 提出桫欏混交的模式为: 1~6龄一般以4桫6桫或5桫5桫较宜, 7~10龄以8桫2桫组成最优, 11~16龄则以9桫1桫最佳, 18龄以上主伐利用掉混交林中的全部桫木。

3 生态系统的结构

3.1 地上的群落结构

与纯桫林相比, 桫欏混交林具有复层林冠, 不仅增大了林内的湿度, 还有较大的透光系数, 能够形成群落小气候; 并

且小气候具有垂直梯度变化, 使不同习性的植物能够生活于不同的层次, 有利于形成垂直结构^[27]。桫欏混交林生态系统地上部分的结构随林龄、混交比的不同而变化。如在7年生的桫欏混交林生态系统中, 桫木高4.37 m, 郁闭度0.32; 桫木高7.19 m, 郁闭度0.30^[27]。林下灌木主要是耐旱生的阳性灌木, 如马桑(*Coriaria sinica*)、铁籽(*Myrsine africana*)、火棘(*Phracantha forluneane*)、栓皮栎(*Quercus variabilis*)、黄荆(*Vitex negundo*)、胡颓子(*Elaeagnus umbellata*)、柞木(*Xylocopa japonicum*)、小果蔷薇(*Rosa cymosa*)等^[17,28]。林下草本平均高0.5 m, 盖度高达95%, 物种多达16种, 主要有黄茅(*Heteropogon com tortus*)、白茅(*Imperata cylindrica* V. major)、金发草(*Pogontherum panicum*)、禾叶蒿草(*Kobresia graminifolia*)、画眉草(*Eragrostis pilosa*)、苞子草(*Themeda gigantea* var. *caudata*)、刺梨(*Rosa roxburghii*)等一年生的旱生草本, 并有多年生草本定居。7~10年的混交林生态系统的郁闭度在0.7~0.8, 11~16年郁闭度达0.8~0.9。在7~10年的混交林中以8桫2桫和5桫5桫组成的林分林下植被覆盖大; 11~16年的则以6桫4桫和9桫1桫组成的林分林下植被覆盖最大^[4]; 在16年以上的混交林生态系统中, 由于管理上的重桫轻桫, 桫木被大量的砍伐, 形成了纯桫林, 林下植被的种类和盖度都非常低。由此可知桫欏混交林生态系统的结构随着林龄的增长而变得单一化。

3.2 地下的根系结构

桫欏混交林生态系统地下部分根系结构的研究主要集中在桫木和桫木根系的构成及其在土壤中的分布两个方面。桫、桫的根系组成随着林龄增长呈一定的变化。随着林龄增长, 根系中根桩和粗根的生物量增加, 细根和吸收根的生物量减少^[16]。桫、桫的根系在土层中的分布具有明显的层次性。桫木根系为浅根型, 没有明显主根, 侧向根系发达, 根系主要分布在0~20 cm的土层中^[4,27]; 桫木则为浅主直根型, 主根细浅, 侧根发达, 细小根系含量高, 根系穿插力强, 分布较深, 主要分布在0~40 cm的土层中, 且分布相对较均匀^[16]。此外, 桫木根系的生长对环境变化有明显的适应性。在立地条件较好的混交林中, 根系分布较深, 并且在各层土壤中分布较均匀; 而在桫木纯林中根系分布相对较浅, 同时增加了细根和吸收根的相对含量^[16]。桫桫木根系的这种呈层分布, 不仅可以充分利用土壤中的营养物质和水分, 还可以降低种间竞争, 有利于桫欏混交林生态系统的稳定。

4 生态系统的功能

4.1 桫欏混交林生态系统的生产力

桫欏混交林生态系统具有复层结构, 对光能的利用率比纯桫林高出许多, 再加上桫木的固氮能力对土壤肥力的提高, 所以桫欏混交林生态系统的生产力要比桫木纯林有所提高^[29]。这可以从混交林生态系统与纯桫林生态系统在光能的利用效率和生物量两个方面的比较得出。

4.1.1 光能的利用效率

与纯桫林相比, 桫欏混交林对光能的利用效率则较高。首先, 桫欏混交林生态系统所吸收的太阳能中大部分都损耗于蒸腾作用, 而作为水分蒸发所需的能量或直接来自太阳辐射能, 或者来自周围大气中的热能。所以蒸腾作用不依赖于呼吸作用所释放的能量作为原动力, 因此强烈的蒸腾作用不仅有利于光合作用, 而且还提高了能量吸收的稳定性^[30]。其

次, 桉树和柏树的光合作用在日变化和季节变化上都存在时间匹配效应; 而混交林生态系统的结构也存在与光合作用的空间匹配效应。因而桉柏混交林能充分有效地利用林地上各层次水平的光能资源, 大大提高混交林群体的光能利用率^[17]。再加上混交林生态系统中灌木、草本层所固定的能量, 混交林生态系统的净固定量是林地光合有效辐射能的234%^[31]。同其它林型相比, 桉柏混交林具有较高的能量固定和转化效率, 是一个生产力较高的人工林生态系统。

4.1.2 生态系统的生物量

与纯柏林生态系统地上部分单位面积内的生物量相比, 桉柏混交林生态系统的生物量在7年以前低于纯柏林, 第7年时两者几乎持平; 此后桉柏混交林的生物量开始超过纯柏林, 而且是随着林龄的增大而增大; 到26年时, 桉柏混交林的生物量要远比纯柏林大^[5]。根据石培礼等^[21]对桉柏混交林生物量的研究结果可知在第7年时, 混交林系统的生物量为25.49 t/hm²; 18年时为143.59 t/hm², 此时混交林的年净生产力达到12.79 t/(hm²·a), 生物量和生产力仅低于浙江平原的水杉林。

对桉、柏木各自的种群生物量来说, 桉木种群生物量的增长与时间的关系符合Logistic方程, $W = \frac{701360}{1 + e^{(2.9762 - 0.2897t)}}$ 其生长速度在第10年时达到最大值; 随着年龄的增长, 桉木种群生物量的增长速度逐渐变慢, 到20年时, 桉木种群的生物量达到6.605 × 10⁴ kg/hm², 已经非常接近W_k值^[26]。柏木在8年之前生长缓慢, 第7年时柏木的种群生物量为5.73 × 10³ kg/hm²; 此后生长节律加快, 到18年时其种群生物量达到7.87 × 10⁴ kg/hm²; 柏木种群生物量在0~18年内的增长符合幂函数方程^[26] $W = 30t^{2.7153} + 1763$ 。需要指出的是桉柏混交林生态系统的生物量不仅受密度的调节^[26], 而且还受桉、柏混交比例的影响^[18]。

4.2 桉柏混交林生态系统的物质循环

桉柏混交林能够提高土壤的养分含量。混交林每年都有大量的枯枝落叶物, 主要是易腐的桉木叶、果返回林地, 形成腐殖质。桉木的叶、果和根瘤中含有丰富的Ca、N、Fe、Mg、P、Mn、Zn、Cu等营养元素, 而柏木的枯落物较少, 其养分物质的含量也都比桉木相应的部位低^[32, 33]。从单位面积上土壤营养元素(N、P、K、Ca)含量的比较来看, 混交林要高于纯柏林, 尤以N、P最为明显; 正是由于枯枝落叶的归还作用使混交林下的土壤中N、P、K含量均有所提高^[5, 15]。在桉柏混交林中, 柏木各器官的含氮量均高于柏木纯林, 除氮素外, P和Mg两种元素也有类似的情况, 特别是在光合器官(叶)和吸收器官(根)处差异更为明显^[6, 34], 这表明桉柏混交能提高柏木的营养水平。

桉柏混交林能够促进物质的循环。桉柏混交林系统中营养物质的循环过程是通过吸收、存留和归还三个过程来维持。在16年生桉柏混交林系统中氮元素的年吸收总量为110.36 kg/(hm²·a), 存留量为23.45 kg/(hm²·a), 年归还量为86.91 kg/(hm²·a)^[6]; 而在14年生桉木人工林养分平均循环系数为0.55, 其中N的循环系数最大为0.64; P的循环系数为0.62; Fe的循环系数最小为0.25^[33]。这表明混交林生态系统中养分循环强度大, 尤其N素的循环过程具有吸收量多, 归还量大的特点, 自我调节和“自肥”能力强, 这对土壤氮磷含量偏低的川中丘陵区森林生态系统中提高氮素利用效率的作用是非常显著的。

4.3 桉柏混交林的生态效应

4.3.1 对土壤理化性质的影响

桉柏混交林表层土壤黏粒含量和物理性黏粒含量, 土壤容重、土壤总孔隙度、毛管孔隙度、毛管含水量、田间持水量、田间有效持水量和每公顷土壤有效贮水量均比造林前有所提高。这表明桉柏混交林营建后, 改变了土壤固相颗粒的堆积状况, 增加土壤的孔隙度, 提高土壤的贮水和渗水能力, 调节土壤水、气的相应变化, 从而改良了土壤物理性状, 增强了土壤的抗蚀性能^[35]。混交林在改善土壤物理性质的同时, 也使土壤的化学性质发生变化。桉柏混交林每年都有大量的枯枝落叶返回地面, 使表层土壤的有机质、全氮、有效性氮、磷、钾都比标准地、未成林地有显著的增加^[35]。这些性状的改变一方面有利于土壤中好气性细菌和微生物的活动, 能促进枯枝落叶物的分解和改善土壤结构; 同时也有利于林木根系的发育和林木的生长^[5]。

4.3.2 林分小气候效应

桉柏混交林系统中由于桉木生长较快, 因此形成复层林结构, 林内直射光比纯林少, 而散射光增强。混交林内光照总强度小于纯柏林, 这样可以减少林内水分蒸发, 保持土壤和空气湿度, 因此林内空气相对湿度比纯林大。由于桉柏混交林系统的光照强度小于纯柏林, 因此混交林中气温的平均值比纯林低, 并且混交林内温度随空间的变幅小于纯柏林。混交林内的风速比纯林小。在1.5m高处, 纯柏林风速比混交林大43.4%; 3.0m则大114.9%^[5]。森林环境因子是多方面的、综合的, 而且相互影响制约的。当混交林内林分的光照、气温、相对湿度和风速等因子发生了变化时, 相应地引起地温的变化, 根据研究知混交林的土壤温度昼夜温差要小于纯柏林^[5]。

4.3.3 水土保持效应

桉柏混交林对减少地表径流, 降低土壤侵蚀和提高土壤持水能力都具有明显的作用。在正常降雨年的前提下, 在3龄的桉柏混交林内径流系数不超过5%, 土壤侵蚀强度可降为微度, 产沙量减少至造林前的0.3至0.9, 到第5年时仅为造林前的0.1至0.3; 林冠截留系数可达19%; 地表径流系数比荒地减小10%至19%; 土壤蓄水能力比荒地提高90%^[36, 37]。而且随着时间的推移, 桉柏混交林的覆盖率不断提高, 下垫面不断得到改善, 其防护效益也在逐年增加。刘刚才等^[38]研究了盐亭县桉柏混交林对农林复合生态系统内流域径流的调节作用, 发现农林复合生态系统的年均径流量为非农林复合系统的1/2, 洪峰模数相对后者降低63%。说明桉柏混交林对削减流域径流、洪峰及防洪有明显的效果。

5 存在的问题及今后研究展望

5.1 存在的问题

桉柏混交林生态系统从20世纪70年代建立到目前经历了近30年的演替时间, 目前存在很多的问题, 概括地说可以分为以下几种: 林种单一, 空间布局与结构不合理。目前的实际情况是以桉柏混交林为主的防护林遍布整个川中丘陵区, 因此它一方面作为水土保持林, 要求有保持水土的功能; 另一方面又作为薪炭林、用材林为百姓提供能源和经济功能。其结果是桉柏混交林的生态与经济功能都没有得到很好地发挥。桉柏混交林的群落结构简单, 树种单一。桉柏混交林在快速绿化红色荒山方面起到了重要作用, 但是由于缺乏

生态学思想的指导和管理上的人为因素, 桉柏混交林生态系统退化日趋明显。表现为桉木被砍伐、衰老和死亡, 而纯柏林面积日趋扩大, 呈单一树种和单层结构状态, 生物多样性低; 林下植被覆盖低, 形成了“林下不见草, 林上不见鸟”, “远看绿油油, 近看光溜溜”的“绿色荒漠”。病虫害严重。柏毛虫每隔3~4年就大发生一次, 虫害发生时, 青山变成“红”山; 桉木叶甲的危害也十分严重, 严重妨碍了桉柏混交林的健康生长。并且病虫害的发生频率、危害的面积和损失有增长的势头。水土保持功能不高。众所周知, 结构决定功能, 简单的森林群落结构, 其生态功能必然低下。桉柏混交林下光板地上的土壤侵蚀比较严重, 侵蚀模数高者达 $2\,500\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 一般在 $200\sim 2\,000\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ^[39]。紫色岩土上的桉柏混交林和纯柏林生态系统林的水源涵养功能不高, 林下土壤的最大持水能力只有 $300\sim 700\text{ m}^3/\text{hm}^2$, 远低于常绿阔叶林生态系统土壤的最大持水能力($2\,000\sim 2\,500\text{ m}^3/\text{hm}^2$)和暗针叶林最大持水能力($3\,500\sim 4\,000\text{ m}^3/\text{hm}^2$)^[40]。

5.2 对桉柏混交林的研究展望

目前桉柏混交林需要研究的问题还很多, 但是作者认为目前有三个最急需研究的问题。

5.2.1 生态系统的演替趋势

由于桉木耐干旱、贫瘠的能力较弱, 在演替过程中已有部分个体死亡, 再加上人为的间伐, 到成熟时桉木基本上被光伐^[4, 21], 致使目前川中丘陵区出现了大面积的纯柏林。而与此同时, 在川中丘陵区的剑阁、巴中、遂宁、蓬溪和绵阳市游仙区新桥镇官司河流域发现了天然的栎(*Quercus acutissima*)柏混交林^[35, 41]。在这种情况下, 有必要对人工桉

柏混交林的演替趋势与天然次生林的演替趋势进行对比研究, 掌握人工桉柏混交林演替规律和演替趋势。

5.2.2 生态系统的稳定性研究

目前桉柏混交林已经向纯林化方向发展, 生物多样性降低, 并且病虫害也在不断地发生。在这种情况下, 桉柏混交林生态系统抵抗各种生态风险的能力就显得令人担心。为了掌握桉柏混交林生态系统的稳定性情况, 有必要对其稳定性进行全面的、研究。因为川中丘陵区人工桉柏混交林生态系统的稳定性不仅关系到长江上游地区的水土保持和调洪抗旱的功能, 而且还会影响到川中丘陵区农业生态系统的安全性和可持续发展。虽然目前关于生态系统稳定性的概念还存在多种表述^[42, 43], 但是稳定性是生态系统存在的必要条件, 在理论和实践中具有深远意义, 被公认为是生态系统的一个重要特征^[44]。对其稳定性进行研究, 全面了解桉柏混交林生态系统的稳定性状况, 有利于对桉柏混交林进行科学的管理。

5.2.3 生态系统结构的调整与优化

桉柏混交林, 特别是桉木成熟后被皆伐, 结构单一问题更加突出。很多地方已经形成了纯柏林, 林下植被稀疏或根本没有, 也没有形成向原始森林那样的地表腐殖质层, 所以桉柏混交林的调蓄功能并没有随其生长而提高, 土壤侵蚀也未很好地控制^[38, 45, 46]。因此形成了水土保持、水源涵养功能低下的森林群落。在一代桉木不能陪伴一代柏木的情况下, 寻找一种或多种能够替代桉木的树种, 来对桉柏混交林进行改造, 将结构模式单一的桉柏混交林改造成结构模式多样化的人工林, 使人工林生态系统能够充分发挥出应有的生态功能。

参考文献

- [1] 朱波, 高美荣, 刘刚才, 等. 川中丘陵区农业生态系统的演替[J]. 山地学报, 2003, 21(1): 56- 62
- [2] 徐茂其, 张大泉. 川中丘陵土壤水力侵蚀及防治对策[J]. 水土保持学报, 1992, 6(4): 35- 42
- [3] 王昕. 川中丘陵土壤水力侵蚀治理对策探讨[J]. 重庆环境科学, 1996, 18(1): 25- 29
- [4] 潘攀, 刘仕俊, 魏宗华. 桉柏混交林优化组成比研究[J]. 四川林业科技, 1995, 16(3): 28- 35
- [5] 张小平, 赵本虎, 何平儒, 等. 桉柏混交林的效益探讨[J]. 四川林业科技, 1994, 15(3): 21- 29
- [6] 石培礼, 杨修, 钟章成. 桉柏混交林的氮素积累与生物循环[J]. 生态学杂志, 1997, 16(5): 14- 18
- [7] 柳春生, 邱进贤. 桉柏混交林保持水土的效应观测[J]. 四川林业科技, 1980, (2): 10- 13
- [8] 邱进贤, 柳春生, 等. 四川盆地柏木、桉木混交林生态效应的研究[J]. 四川林业科技, 1981, 2(2): 1- 6
- [9] 邓玉林, 江心, 杨冬生. 柏木低效防护林改造效益研究[J]. 四川农业大学学报, 1996, 14(3): 430- 436
- [10] 刘国凡, 邓廷秀. 土壤条件与桉木结瘤固氮的关系[J]. 土壤学报, 1985, 22(3): 251- 257
- [11] 刘国凡, 邓廷秀. 不同紫色土上几种树苗结瘤固氮及其对植株生长的影响[J]. 生态学报, 1983, 3(4): 349- 355
- [12] 刘国凡, 邓廷秀. 桉木根瘤待点和固氮能力研究[J]. 四川林业科技, 1988, 9(4): 8- 12
- [13] 黄家彬, 李志真, 杨林聪, 等. 台湾桉木(*Alnus formosana*)结瘤固氮的研究[J]. 福建林业科技, 1991, 18(4): 25- 28
- [14] 石培礼, 阳小成, 钟章成. 桉柏混交林幼林生长的灰色拓扑预测[J]. 四川师范学院学报(自然科学版), 1994, 15(4): 314- 319
- [15] 张新华. 桉木叶肥对紫色土壤水肥特性的影响[J]. 农田水利, 1998, (2): 54- 55
- [16] 石培礼, 钟章成, 李旭光. 桉柏混交林根系的研究[J]. 生态学报, 1996, 16(6): 623- 531
- [17] 彭培好, 王金锡, 王成善. 人工桉柏混交林光合生理生态机理研究[J]. 四川林业科技, 2001, 22(4): 19- 23
- [18] 陈林武, 鲁立. 紫色土桉柏混交模式研究[J]. 四川林业科技, 1993, 14(2): 16- 21
- [19] 陈凯. 盐亭县桉柏混交林密度的探讨[J]. 四川林业科技, 1990, 11(1): 50- 53
- [20] 潘攀, 向成华, 尹学明, 等. 桉柏混交林经营现状及对策[J]. 湖北林业科学, 1999, (110): 25- 26
- [21] 石培礼, 钟章成, 李旭光. 四川桉柏混交林生物量的研究[J]. 植物生态学报, 1996, 20(6): 524- 533
- [22] 孙继华, 王义廷, 刘世荣. 日本落叶松人工林种群自然稀疏规律的研究[J]. 生态学杂志, 1990, 9(4): 35- 37
- [23] 宋丁全, 姜志林, 郑作孟. 光皮桦种群自疏调节的初步研究[J]. 南京林业大学学报, 1999, 23(3): 33- 36
- [24] 吴承祯, 洪伟. 杉木林自疏过程密度调节规律的研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2000, 8(1): 28- 34

与生态环境息息相关,在社会生产活动中,环境问题不可避免,环境保护也是日益凸现出它的重要作用。

生态修复是环境保护的重要组成部分,它在环境恢复与重建中的作用不可低估。生态修复指标是生态环境建设的重要组成部分,其评价指标筛选应站在战略的高度,全面反映生态修复与生态环境建设的关系,结合“十一五”国民经济发

展规划,为决策部门提供科学依据。因此,生态修复指标的建立还需作大量细致的研究工作,主要以下几个方面:科学的筛选不同指标、评价指标加权赋值的方法研究、建立多层次的评价指标数据率、借鉴国外先进方法和国内外标准的统一。

参考文献:

- [1] 王力,李裕元,李秧秧 黄土高原生态环境的恶化及其对策[J]. 自然资源学报, 2004, 19(2): 263- 271.
- [2] 国家环保总局 全国生态环境现状调查报告[J]. 环境保护, 2004, (5): 13- 18
- [3] 王力,邵明安,侯庆春 黄土高原土壤干层初步研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2001, 29(4): 34- 38
- [4] 杨万江,朱允卫 全面建设农村小康社会的评价指标体系研究[J]. 农业技术经济, 2004, (2): 14- 19
- [5] 彭珂珊,王力 中国西部退耕还林(草)工程的深层次问题探讨[J]. 科技导报, 2004, (4): 25- 29
- [6] 江泽民 全面建设小康社会开创中国特色社会主义事业新局面[M]. 北京: 人民出版社, 2002 1- 9
- [7] 徐宣斌,胡普辉,刘延凤 现阶段西部大开发与生态环境重建之分析[J]. 莱阳农学院学报, 2002, (4): 15- 20
- [8] 李艳梅,杨涛 退牧还草的博弈分析[J]. 农业技术经济, 2004, (1): 34- 38
- [9] 王力 沙产业发展现状及前景展望[J]. 中国水土保持, 2000, (3): 26- 28
- [10] 郝凤毕,郑宝明,王煜 试论无定河水土保持生态环境建设[J]. 人民黄河, 2004, (12): 28- 29
- [11] 李莉 城市可持续发展指标体系及综合评价研究[J]. 武汉城市建筑学院学报, 2000, 17(2): 30- 35
- [12] 王力,邵明安,侯庆春 土壤干层量化指标初探[J]. 水土保持学报, 2000, 14(4): 87- 90
- [13] 张炳,毕军 工业园区绿色招商指标评价体系研究[J]. 生态经济, 2004, (12): 41- 44
- [14] 袁雯,郑丽 基于公众参与的全面小康指标体系实证研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2004, 14(6): 16- 20
- [15] 蔡建勤,张长印,等 全国水土保持生态修复分区研究[J]. 中国水利, 2004, (4): 46- 48
- [16] 胡雨琴,余国英 加大水利建设力度促进草原生态修复[J]. 农村水利, 2004, (3): 50- 51
- [17] 焦居仁 生态修复的要点与思考[J]. 中国水土保持, 2003, (2): 1- 2
- [19] 申元村,洪清华 黄土高原土壤侵蚀有效防治战略[J]. 中国水土保持科学, 2003, 1(2): 22- 27

(上接第7页)

- [25] 江希钊,王素萍,杨锦昌 马尾松人工林种群自然稀疏模型的研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2001, 9(4): 295- 300
- [26] 石培礼,杨修,钟章成 桉柏混交林种群生物量动态与密度调节[J]. 应用生态学报, 1997, 8(4): 341- 346
- [27] 王江 桉柏混交幼林群落特征及生物量调查[J]. 四川林业科技, 1993, 14(1): 66- 69
- [28] 向永国,王金锡,廖光瑶,等 绵阳新桥镇防护林体系桉柏混交林光合作用日变化研究[J]. 四川林业科技, 1994, 15(2): 23- 31.
- [29] 余树全 柏木人工林系统生物生产力研究[J]. 四川农业大学学报, 1991, 9(1): 137- 142
- [30] 向永国,王金锡 桉柏混交林能量代谢中能量吸收、固定、积累和损耗研究[J]. 四川林业科技, 1995, 6(4): 1- 12
- [31] 彭培好,王金锡,胡振宇,等 人工桉柏混交林生态系统的能量特征[J]. 应用生态学报, 1998, 9(2): 113- 118
- [32] 杨韧,邓朝经,覃模昌,等 川中丘陵区柏木人工林营养元素及其分布的研究[J]. 四川林业科技, 1989, 11(1): 21- 28
- [33] 朱万泽,薛建辉,王全锡,等 台湾桉木林分生物量与营养元素的分布[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2002, 26(2): 15- 20
- [34] 余树全 柏木人工林生态系统养分循环研究 I 乔木层养分元素的变化规律[J]. 四川农业大学学报, 1994, 12(4): 500- 504
- [35] 胡振宇,王金锡,彭培好,等 川中丘陵区防护林改良土壤作用研究[J]. 四川林业科技, 2003, 24(3): 17- 24
- [36] 卿汰明,赵志奎 桉柏混交林和半封禁草坡区保持水土效益的研究[J]. 四川林业科技, 1992, 13(2): 52- 56
- [37] 史立新,彭培好,慕长龙 长江防护林(四川段)初期水土保持效益研究[J]. 水土保持通报, 1997, 17(6): 14- 22
- [38] 刘刚才,高美荣,朱波,等 紫色丘陵区农林复合生态系统的调洪抗旱作用[J]. 自然灾害学报, 2001, 10(1): 41- 44
- [39] 钟祥浩 盆中丘陵区生态恢复重建的生态与经济效益亟待提高[J]. 山地学报, 2001, 19(增刊): 4- 8
- [40] 钟祥浩,何毓成,刘淑珍,等 长江上游环境特征与防护林体系建设[M]. 北京: 科学出版社, 1992
- [41] 李雁飞 柏木混交林类型分布立地条件的研究[J]. 四川林业科技, 1991, 12(3): 11- 15
- [42] 刘增文,李雅素 生态系统稳定性研究的历史与现状[J]. 生态学杂志, 1997, 16(2): 58- 61
- [43] 马风云 生态系统稳定性若干问题研究评述[J]. 中国沙漠, 2002, 22(4): 401- 407.
- [44] 曾德慧,姜凤歧,范志平,等 樟子松人工固沙林稳定性的研究[J]. 应用生态学报, 1996, 7(4): 337- 343
- [45] 刘刚才,高美荣,张建辉 四川紫色土丘陵区农林系统的水土保持作用[J]. 山地学报, 2001, 19(增刊): 60- 64
- [46] 刘刚才,高美荣,何毓蓉 川中丘陵区桉柏混交林的土壤水分及其调蓄动态特征[J]. 西南农业学报, 2001, 14(增刊): 53- 56