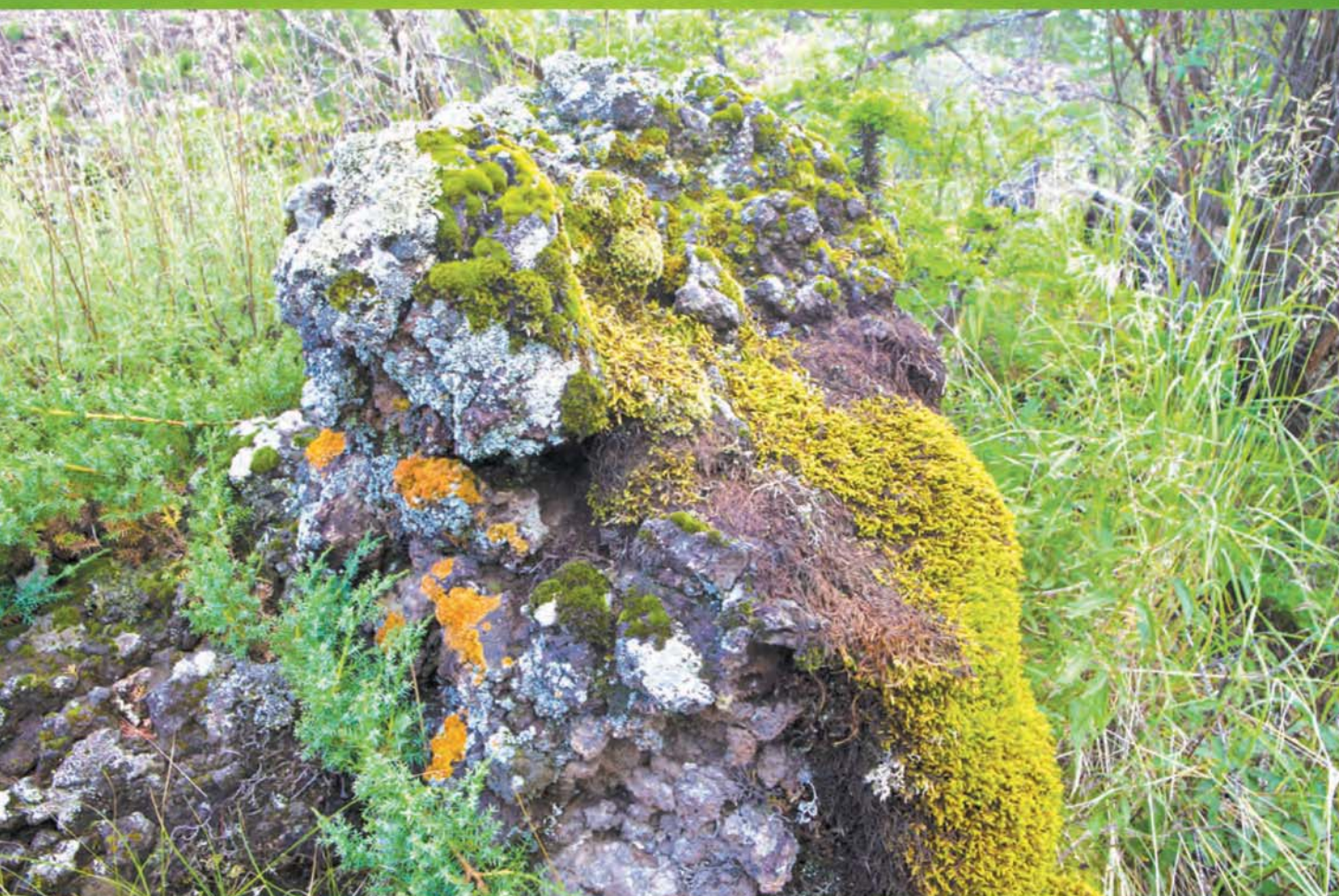


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

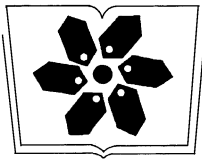
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第6期 Vol.32 No.6 **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 6 期

2012 年 3 月 (半月刊)

目 次

高原草被退化程度的遥感定量监测——以甘肃省玛曲县为例.....	周坚华,魏怀东,陈芳,等 (1663)
基于着生藻类的太子河流域水生态系统健康评价.....	殷旭旺,渠晓东,李庆南,等 (1677)
哀牢山常绿阔叶林水源涵养功能及其在应对西南干旱中的作用.....	杞金华,章永江,张一平,等 (1692)
青岛沿岸水体原生生物群落与水质状况的关系.....	杨金鹏,姜勇,胡晓钟 (1703)
增温对青藏高原高寒草甸生态系统固碳通量影响的模拟研究.....	亓伟伟,牛海山,汪诗平,等 (1713)
三峡水库消落带植物叶片光合与营养性状特征.....	揭胜麟,樊大勇,谢宗强,等 (1723)
三峡库区澎溪河鱼类时空分布特征的水声学.....	任玉芹,陈大庆,刘绍平,等 (1734)
强壮前沟藻化感物质分析.....	冀晓青,韩笑天,杨佰娟,等 (1745)
饥饿对中间球海胆 MYP 基因转录表达的影响.....	秦艳杰,孙博林,李霞,等 (1755)
贺兰山牦牛冬春季的生境选择.....	赵宪南,苏云,刘振生,等 (1762)
利用元胞自动机研究一类捕食食饵模型中的斑块扩散现象.....	杨立,李维德 (1773)
转 <i>Cry1Ab</i> 和 <i>Cry1Ac</i> 融合基因型抗虫水稻对田间二化螟和大螟种群发生动态的影响.....	李志毅,隋贺,徐艳博,等 (1783)
光谱和光强度对西花蓟马雌虫趋光行为的影响.....	范凡,任红敏,吕利华,等 (1790)
荧光素对舞毒蛾核型多角体病毒不同地理品系的增效与光保护作用.....	王树娟,段立清,李海平,等 (1796)
不同利用强度下绿洲农田土壤微量元素有效含量特征.....	李海峰,曾凡江,桂东伟,等 (1803)
稻田温室气体排放与土壤微生物菌群的多元回归分析.....	秦晓波,李玉娥,石生伟,等 (1811)
黄土高原典型区域土壤腐殖酸组分割面分布特征.....	党亚爱,李世清,王国栋 (1820)
紫色土菜地生态系统土壤 N_2O 排放及其主要影响因素.....	于亚军,王小国,朱波 (1830)
中国亚热带典型天然次生林土壤微生物碳源代谢功能影响因素.....	王芸,欧阳志云,郑华,等 (1839)
基于 K-均值算法模型的区域土壤数值化分类及预测制图.....	刘鹏飞,宋轩,刘晓冰,等 (1846)
淹水条件下秸秆还田的面源污染物释放特征.....	杨志敏,陈玉成,张赞,等 (1854)
推迟拔节水对小麦氮素积累与分配和硝态氮运移的影响.....	王红光,于振文,张永丽,等 (1861)
江苏省冬小麦渍害的风险区划.....	吴洪颜,高苹,徐为根,等 (1871)
草原植物根系起始吸水层深度测定方法及其在不同群落状态下的表现.....	郭宇然,王炜,梁存柱,等 (1880)
亚热带 6 种树种细根序级结构和形态特征.....	熊德成,黄锦学,杨智杰,等 (1888)
高寒草原植物群落种间关系的数量分析.....	房飞,胡玉昆,张伟,等 (1898)
菊花近缘种属植物幼苗耐阴特性分析及其评价指标的确定.....	孙艳,高海顺,管志勇,等 (1908)
南方菟丝子寄生对喜旱莲子草生长及群落多样性的影响.....	王如魁,管铭,李永慧,等 (1917)
基于 cDNA 克隆的亚热带阔叶林和针叶林生态系统担子菌漆酶基因多样性及其群落结构研究.....	陈香碧,苏以荣,何寻阳,等 (1924)
细柄阿丁枫和米槠细根寿命影响因素.....	黄锦学,凌华,杨智杰,等 (1932)
基于 TM 遥感影像的森林资源线性规划与优化配置研究.....	董斌,陈立平,王萍,等 (1943)
基于 CFD 的城市绿地空间格局热环境效应分析.....	刘艳红,郭晋平,魏清顺 (1951)
专论与综述	
生态补偿效率研究综述.....	赵雪雁 (1960)
研究简报	
黄河三角洲石油生产对东营湿地底栖动物群落结构和水质生物评价的影响.....	陈凯,肖能文,王备新,等 (1970)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 34 * 2012-03	



封面图说: 植物生命演进石——这不是一块普通的火山岩,而是一块集中展示植物“原生演替”过程最有价值的石头。火山熔岩冷却后的玄武岩是无生命无土壤的真正“裸石”,风力使地衣的孢子传入,在一定温湿度环境下,开始出现了壳状地衣,壳状地衣尸体混合了自然风化的岩石碎屑提供的条件使叶状、枝状地衣能够侵入,接着苔藓侵入,是它们启动了土壤的形成,保持了土壤的湿度,并使营养物质反复循环。于是蕨类定居,草丛长了起来,小灌木出现,直到树木生长,最终形成森林。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201111091695

董斌, 陈立平, 王萍, 张长勤. 基于 TM 遥感影像的森林资源线性规划与优化配置研究. 生态学报, 2012, 32(6): 1943-1950.

Dong B, Chen L P, Wang P, Zhang C Q. Linear programming and optimal distribution of the forest resources based on TM remote sensing images. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(6): 1943-1950.

基于 TM 遥感影像的森林资源线性规划 与优化配置研究

董 斌¹, 陈立平^{2,*}, 王 萍¹, 张长勤¹

(1. 安徽农业大学理学院, 合肥 230036; 2. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097)

摘要: 山东黄河流域是黄河入海的最后区域, 也是水土流失最为严重的地区之一, 基于遥感影像和数学方法优化配置森林资源对区域尺度的水土保持具有重要意义。选取 2000 年、2006 年时相相近的 TM 遥感影像作为数据源, 采用监督分类法、专家分类法以及 GPS、GIS 等技术对森林资源进行分类、统计、验证和分析。在层次分析法确定森林资源、森林景观、环境和社会经济等指标因子权重的基础上, 利用线性规划法对森林资源的空间格局进行优化。结果表明, 区域森林资源空间分布极不均匀, 且主要集中于鲁中南山地及丘陵地区。6a 间, 森林资源增长相对缓慢, 宜林荒山荒地的面积增加了 8.2%, 到 2006 年, 其面积高达 238955.7 hm²。对宜林荒山荒地进行了线性优化后, 森林类型和结构得到明显改善, 土地利用结构信息熵降低了 8.4%, 森林资源和土地利用空间结构有序度明显提高。最后, 对立地条件不同的地区采取了相应的树种配置措施。

关键词: 遥感; TM 影像; 森林资源; 线性规划; 优化配置; 山东黄河流域

Linear programming and optimal distribution of the forest resources based on TM remote sensing images

DONG Bin¹, CHEN Liping^{2,*}, WANG Ping¹, ZHANG Changqin¹

1 School of Science, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China

2 National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China

Abstract: The Yellow River basin of Shandong province is the area close to the sea, where is one of the most serious soil erosion areas within the basin. It is very important to optimize the distribution of forest resource for water and soil conservation on the regional scale based on remote sensing images and mathematical methods. In this study, two periods (2000 and 2006) of TM remote sensing images with similar temporal phase were selected as the basic data sources. The supervised classification, expert classification and GPS, GIS techniques were used for classification, statistics, verification and analysis of the forest resources. The results indicated that the forest resources spatial distribution was extremely uneven, with main concentration in the south-central mountainous and hilly area. The growth of the forest resources was relatively slow over the 6 years. The area of the barren hills and lands suitable for afforestation was increased by 8.2% during the period from 2000 to 2006, which amounted to 238955.7 hm². The barren hills and lands suitable for afforestation were optimized using the linear programming method. On the regional scale, the forest types and structure were significantly improved, and land use structural information entropy was reduced by 8.4% after the optimization. The spatial structure order degree of the forest resources and land use were improved. Finally, the corresponding forest management measures for

基金项目: 农业部农业信息技术重点实验室开放课题经费 (KF2010W40-046); 安徽农业大学博士基金 (wd2011-7); 安徽省国土资源厅科技项目 (2011-K-23); 安徽农业大学青年基金 (zr2011-09)

收稿日期: 2011-11-01; 修订日期: 2012-02-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: chenlp@nrcita.org.cn

the different site conditions were given.

Key Words: remote sensing; TM images; forest resources; linear programming; optimal allocation; Yellow River basin of Shandong Province

黄河是世界上第五大河流、中国的第二大河流,是中华民族的母亲河。黄河起源于青藏高原,流经包括山东省的 9 省、自治区,干流全长约 5464km。随着城市化进程的不断加快,森林生态服务功能的日益突出,森林资源在经济、社会和环境中的地位越来越重要。国内外现有的森林资源优化配置对象大多为某个林场,多以小面积、小范围的林地优化单元^[1-9],很少基于遥感的方法对区域尺度的森林资源尤其是宜林荒山荒地地进行优化配置,也很难采用合适的方法评估优化后的效益^[10-17]。山东黄河流域的森林资源空间分布对区域生态系统具有重要影响,宜林荒山荒地的优化配置与水土流失密切相关。如果采用 RS(Remote Sensing)、GIS(Geographic Information System)、GPS(Global Positioning System)等技术快速获取区域森林资源的本底数据,在此基础上,利用数学模型与专家系统相结合的方法进行森林资源的优化配置并定量分析其结果,采取与之相应的经营措施,这对区域尺度的森林资源管理和水土保持具有重要意义^[18-19]。

1 研究区概况

山东黄河流域位于东经 114°48′—119°19′、北纬 34°58′—38°09′。该区域位于黄河的下游地区,同时也是黄河入海的最后区域。黄河从菏泽市的东明县进入山东省,在黄河三角洲的垦利县入海,区域内黄河流程约 628km、面积约 3 844 055 hm²(2006 年),约占山东省国土总面积的 25%。由于黄河入海口大量的泥沙淤积,黄河三角洲的陆地面积每年都在增加。按照山东省森林资源外业调查细则,该区域包括 10 个地级市中的 30 个县(市、区),具体见表 1。该区域地处温带落叶阔叶林区,属暖温带季风气候特征,年均温度约 13℃,年均降雨量约 650mm,全年无霜期约 200d。区域中的鲁中南山地突起、地形复杂;鲁西北为黄泛平原区,地势低洼平坦;鲁西南缓丘起伏,地形相对复杂。区域内的山地和丘陵地约占 1/3、平原、洼地和滩地约占 2/3。区域内的泰山最高,海拔 1 536m。土壤以潮土、棕壤、褐土和盐碱土等为主。山东省黄河流域的四旁树比例较大,土壤侵蚀严重的地区和宜林荒山荒地主要分布于鲁中南的济南、泰安、莱芜等地区^[18-19]。

表 1 山东黄河流域行政范围表

Table 1 Administerial unit's table in Yellow River basin of Shandong province

地名 City name	县(市、区) Country and urban district	面积/hm ² Area	比例/% Percentage
济南市	济南、章丘、长清、平阴、济阳	670437	17.44
淄博市	高青	84790	2.21
东营市	东营、河口、垦利、利津	646670	16.82
济宁市	梁山	94773	2.46
泰安市	泰山、岱岳、新泰、肥城、东平	660824	17.19
莱芜市	莱城、钢城	210147	5.47
德州市	齐河	158671	4.13
聊城市	阳谷、莘县、东阿	323136	8.40
滨州市	滨城、惠民、博兴、邹平	452826	11.78
菏泽市	东明、鄄城、郓城、牡丹	542820	14.12
山东黄河流域	30 个县、市(区)	3844055	100.00

2 研究方法

2.1 数据来源

本文选取了山东黄河流域 2000、2006 年各 10 景、时相相近的 Landsat TM 遥感影像数据,其影像行列号分别为 121-34—36、122-33—36 和 123-34—36,两期遥感影像的时相大多分布于 7—9 月份。遥感影像解译的

辅助资料包括山东省 1:5 万的地形图、森林资源分布图、土地利用现状图、行政区划图、交通分布图、水系分布图以及山东省的气象资料、中国科学院 2002 年发布的《1:100 万中华人民共和国土壤图》和土壤类型、土壤侵蚀数据库等。

2.2 遥感数据的预处理

本文选用的 TM 遥感影像均采用 Gauss Kruger 投影和 Krasovsky 椭球。根据地形图对两期 TM 遥感影像进行几何精校正,再进行图像增强、543 波段合成、拼接镶嵌,最后,利用山东黄河流域的边界线对拼接后的影像进行裁剪,从而形成研究区的遥感影像图。2007 年 8 月,采用随机抽样法调查了研究区所有地类。其中,森林资源选取有代表性的地段,GPS 测定其经纬度和海拔,角规测定、记录并计算样点的森林蓄积量,其他地类则详细记录其位置和属性信息。本次外业共调查了 270 个样点,并将其导入 ArcGIS 软件形成点层,并与遥感分类图叠加。利用外业调查数据和山东省第六、七次森林资源一类清查样地等资料建立遥感解译标志,分别提取 2000 年、2006 年各森林类型的象元光谱值,建立两期森林分类专家库和象元光谱值数据库,利用监督分类和人工解译法将遥感影像分为有林地、疏林地、灌木林地、其它林地、宜林荒山荒地、农田、草地、水域、建设用地、未利用地。在此基础上,利用专家分类器和人机交互的方法,结合地形、森林资源分布图和土地利用现状矢量图,将有林地再分为针叶林、阔叶林和混交林。本文中森林类型的判读采用森林资源分布图比对、外业补充调查、季相对比、借助已有的资料分析、逻辑判断、经验分析等方法,最后,再通过人工目视检验、外业验证和纠错,形成土地利用各分类专题图。由于研究区面积较大,遥感分类图的精度评价采用 Erdas Imagine 中的 Accuracy Assessment 模块,不使用任何规则随机选取了 256 个点,并覆盖了所有地类。经统计分析,2000 年、2006 年的总体分类精度均达 85%,总体 Kappa 指数分别为 0.79 和 0.83^[18-19]。

2.3 森林资源线性优化法

19 世纪初,法国数学家 Fourier 提出线性规划问题。1947 年,Dantzig 提出用单纯形法求解线性规划问题,并找到了求解问题的通用方法^[20]。线性规划是运筹学中的一个重要分支,它研究在人力和物力资源一定的情况下,如何恰当地运用这些资源,以达到最有效的目的。本文的森林资源空间格局评价由森林资源、森林景观生态、环境和社会经济等因子组成,其中,森林资源因子从遥感解译数据及统计资料中获得,森林景观生态因子利用景观生态分析软件 Fragstats 进行分别计算,环境和社会经济因子来自于统计年鉴和相关统计资料^[19]。

本文利用线性规划法寻求森林资源空间格局目标函数的极值问题。森林资源空间格局评价指标体系构建的关键是权重的确定。由于研究区面积大,涉及到的因素较多。本文采用层次分析法确定各因子的权重。分别邀请了 30 个专家对本次 22 个指标因子的重要性进行互不见面打分,打分进行了 4 轮,每轮对各意见进行统计处理,第四轮一致意见达 80%,根据咨询的最后结果分别构造判断矩阵,最后进行层次总排序。总一致性比例 CR 的值为 0.006,远小于规定的 0.1^[19]。森林资源空间格局最优因子权重见表 2。

表 2 森林资源空间格局最优因子权重^[10]

Table 2 Most superior of factor weight value of forest resources spatial distribution

因子 Factor	森林资源因子 C1 Forest resource factor	森林景观因子 C2 Forest landscape factor	环境因子 C3 Environment factor	社会经济因子 C4 Social-economic factor
权重 Weight	0.415	0.340	0.169	0.076

令表达森林资源因子(C1)、森林景观生态因子(C2)、环境因子(C3)和社会经济因子(C4)的目标函数分别为 $F_1(x)$ 、 $F_2(x)$ 、 $F_3(x)$ 和 $F_4(x)$,则有:

(1) 森林资源效益最大

$$\text{Max} F_1(x) = 0.065 C_{11} + 0.135 C_{12} + 0.100 C_{13} + 0.057 C_{14} + 0.0261 C_{15} + 0.031 C_{16} \quad (1)$$

(2) 森林景观生态效益最大

$$\begin{aligned} \text{Max} F_2(x) = & 0.125 C_{21} + 0.042 C_{22} + 0.058 C_{23} + 0.046 C_{24} + 0.025 C_{25} + \\ & 0.020 C_{26} + 0.024 C_{27} \end{aligned} \quad (2)$$

(3) 环境因子最优

$$\text{Max}F_3(x) = 0.021 C_{31} + 0.027 C_{32} + 0.033 C_{33} + 0.014 C_{34} + 0.030 C_{35} \quad (3)$$

(4) 社会经济因子最优

$$\text{Max}F_4(x) = 0.039 C_{41} + 0.010 C_{42} + 0.019 C_{43} + 0.009 C_{44} \quad (4)$$

式中, C_{11} — C_{16} , C_{21} — C_{26} , C_{31} — C_{35} , C_{41} — C_{44} 为 22 个森林资源评价指标因子的归一化值, 函数中的系数为层次分析法确定的各评价指标因子的权重。其中, C_{11} 为森林覆盖率、 C_{12} 为单位面积蓄积量、 C_{13} 为有林地百分比、 C_{14} 为混交林百分比、 C_{15} 为经济林百分比、 C_{16} 为宜林荒山荒地百分比; C_{21} 为香农多样性指数、 C_{22} 为香农均匀度指数、 C_{23} 为斑块平均面积、 C_{24} 为斑块密度、 C_{25} 为蔓延度指数、 C_{26} 为景观形状指数、 C_{27} 为散布并列指数; C_{31} 为建设用地百分比、 C_{32} 为土壤侵蚀模数、 C_{33} 为水土流失面积比例、 C_{34} 为年平均气温、 C_{35} 为年均降雨量; C_{41} 为人口密度、 C_{42} 为人均 GDP、 C_{43} 为人均耕地、 C_{44} 为单位面积水资源总量^[18]。

针对上述 4 个目标函数, 采用线性加权求和算法, 将多目标转换为单目标求解。即:

$$\text{Max}F = 0.4153 \times \text{Max}F_1(x) + 0.3400 \times \text{Max}F_2(x) + 0.1688 \times \text{Max}F_3(x) + 0.0759 \times \text{Max}F_4(x) \quad (5)$$

上述方程(5)的约束条件为:

$$\left\{ \begin{array}{l} F_1(x) = 0.065C_{11} + 0.135C_{12} + 0.100C_{13} + 0.057C_{14} + 0.0261C_{15} + 0.031C_{16} \leq 0.415; \\ C_{1i} \geq 0, i = 1-6 \\ F_2(x) = 0.125 C_{21} + 0.042 C_{22} + 0.058 C_{23} + 0.046 C_{24} + 0.025 C_{25} + 0.020 C_{26} + 0.024 C_{27} \leq 0.340; \\ C_{2i} \geq 0, i = 1-7 \\ F_3(x) = 0.021 C_{31} + 0.027 C_{32} + 0.033 C_{33} + 0.014 C_{34} + 0.030 C_{35} \leq 0.169; \\ C_{3i} \geq 0, i = 1-5 \\ F_4(x) = 0.039 C_{41} + 0.010 C_{42} + 0.019 C_{43} + 0.009 C_{44} \leq 0.076; \\ C_{4i} \geq 0, i = 1-4 \end{array} \right. \quad (6)$$

本文选取的数据按照各地级市的平均值或者单位面积进行计算, 并且对所有指标进行归一化处理, 以消除不同量纲的影响, 并构成 10 个地市的指标因子矩阵, 具体如下:

指标	济南市	淄博市	东营市	济宁市	泰安市	莱芜市	德州市	聊城市	滨州市	菏泽市
C_{11}	0.840	0.414	0.271	0.262	0.947	1.000	0.397	0.256	0.316	0.322
C_{12}	0.795	0.676	0.248	0.359	0.720	0.706	0.521	0.271	0.489	0.442
C_{13}	0.890	0.685	0.249	0.399	1.000	0.839	0.667	0.366	0.495	0.458
C_{14}	0.878	0.108	1.000	0.601	0.643	0.689	0.645	0.341	0.834	0.876
C_{15}	0.339	0.031	0.004	0.145	1.000	0.474	0.522	0.340	0.018	0.058
C_{16}	0.038	0.363	0.126	0.394	0.025	0.023	1.000	0.322	0.402	0.176
C_{21}	0.940	0.581	0.870	0.521	0.949	1.000	0.600	0.507	0.595	0.572
C_{22}	0.940	0.619	0.869	0.524	0.952	1.000	0.595	0.512	0.595	0.571
C_{23}	0.282	0.290	1.000	0.302	0.375	0.394	0.248	0.415	0.344	0.342
C_{24}	0.282	0.290	1.000	0.302	0.375	0.394	0.248	0.416	0.344	0.342
C_{25}	0.702	0.901	0.811	0.981	0.709	0.677	0.916	1.000	0.935	0.950
C_{26}	1.000	0.315	0.390	0.280	0.884	0.503	0.437	0.437	0.606	0.654
C_{27}	0.993	0.878	1.000	0.839	0.916	0.977	0.890	0.830	0.877	0.843

C31	0.787	0.683	0.763	0.543	0.925	1.000	0.619	0.660	0.718	0.674
C32	0.033	0.213	0.188	1.000	0.030	0.021	0.400	0.230	0.229	0.103
C33	0.538	0.215	0.249	0.637	0.474	0.136	0.380	0.473	0.511	1.000
C34	0.986	0.864	0.871	0.905	0.932	0.816	0.891	0.891	0.884	1.000
C35	0.676	1.000	0.925	0.861	0.847	0.923	0.711	0.713	0.696	0.848

C41	0.307	0.332	1.000	0.353	0.357	0.442	0.475	0.394	0.614	0.373
C42	0.458	0.501	1.000	0.251	0.256	0.314	0.251	0.208	0.310	0.090
C43	0.489	0.349	0.900	0.652	0.564	0.410	0.970	0.941	1.000	0.798
C44	0.631	0.672	0.114	0.945	0.757	1.000	0.552	0.739	0.233	0.702

$$\begin{cases} C11 + C12 + C13 + C14 + C15 + C16 \leq 4.334 \\ C21 + C22 + C23 + C24 + C25 + C26 + C27 \leq 5.939 \\ C31 + C32 + C33 + C34 + C35 \leq 3.946 \\ C41 + C42 + C43 + C44 \leq 3.016 \end{cases} \quad (7)$$

(7)式中的数字依次为森林资源、森林景观、环境和社会经济因子的最高得分值。

3 结果与分析

3.1 土地利用分类结果

利用 ArcGIS 软件的自动统计功能对山东黄河流域 2000、2006 年的遥感土地利用分类专题图进行统计,具体结果见表 3。

表 3 土地利用类型统计表

Table 3 Statistics and ratio of land-use type

地类 Land type	2000 年的面积 Area in 2000/hm ²	比例 Percentage/%	2006 年的面积 Area in 2006/hm ²	比例 Percentage/%	变化值 Change value/hm ²	变化率 Change rate/%
有林地 Forest land	516600.5	13.44	651402.9	16.95	134802.4	26.09
灌木林地 Shrub	39018.6	1.02	38531.6	1.00	-487	-1.25
疏林地 Open forest land	32787.5	0.85	42125	1.10	9337.5	28.48
其它林地 Other woodland	12146.9	0.32	12165.4	0.32	18.5	0.15
宜林荒山荒地 Barren hills and lands suitable for afforestation	220808.9	5.75	238955.7	6.22	18146.8	8.22
农田 Farmland	2018226	52.52	1826199	47.51	-192027	-9.51
水域 Water	233441.6	6.08	249188	6.48	15746.4	6.75
草地 Grassland	216687.6	5.64	237395.5	6.18	20707.9	9.56
建设用地 Construction land	476240.7	12.39	494857.4	12.87	18616.7	3.91
未利用地 Unutilized land	76631.4	1.99	53234	1.38	-23397.4	-30.53
总计 Total	3842590	100	3844055	100	1465.1	0.04

从表 3 中可看出,6a 间,山东黄河流域的森林资源呈现缓慢增长的态势,虽然森林覆盖率增加了 4 个百分点,但其比例仍然不高。农田、未利用地减少的面积较大。森林资源主要分布于鲁中南的泰安、莱芜、济南等山地及丘陵地区。6a 间,宜林荒山荒地的面积变化率为 8.2%,到 2006 年,仍然有 238955.7 hm² 的宜林荒山荒地需要大力进行改造^[18-19]。

3.2 森林资源的现状及分析

对 270 个外业样点的数据进行分析,研究区森林资源具有林种组成相对单一、树种年龄结构不合理、四旁树量大、混交林少,纯林多的特点^[18-19]。济南、泰安和莱芜市的森林资源较多,其它地区的相对较少。森林覆盖率和林分蓄积量分布不均会造成森林生态系统的不稳定。森林资源因子中,通过合理地植树造林和宜林荒

山荒地改造,实现单位面积蓄积量、有林地百分比、针阔叶混交林百分比、经济林百分比的优化。环境因子和社会经济因子中,建设用地的比例可以进行合理的规划,土壤侵蚀模数与水土流失面积比例可通过调整森林资源的格局加以改善。环境因子和社会经济因子中的年均降雨量、年平均气温、人均 GDP、人口密度以及人均耕地面积无法调整^[18]。

3.3 森林资源的线性优化结果

本文依照层次分析法构建各评价指标因子矩阵,计算并得出森林资源空间格局各因子相对最优得分值。由于森林资源空间格局评价的主要因子为森林资源因子和森林景观因子,而后者又与前者密不可分。一般来说,森林资源因子的指标高,其森林景观生态因子的指标也较高。根据研究区 10 个地市的森林资源空间格局的四个因子评价得分值可知,其最高分代表的地区分别为泰安市、东营市、济宁市和东营市。线性规划后的结果见表 4。

表 4 宜林荒山荒地寻优参数表

Table 4 Selected character value of forest resources spatial distribution

变量 Variable	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C21	C22	C23	C24	C25
最优值 Optimal value	0.947	0.720	1.000	0.643	1.000	0.025	0.870	0.869	1.000	1.000	0.811
变量 Variable	C26	C27	C31	C32	C33	C34	C35	C41	C42	C43	C44
最优值 Optimal value	0.390	1.000	0.543	1.000	0.637	0.905	0.861	1.000	1.000	0.900	0.114

表 4 中,优化后的森林资源因子与泰安市、济南市和莱芜市的森林资源因子 6 个指标比较接近,所以依照这三个城市对山东黄河流域的森林资源空间格局进行调整,本文仅将宜林荒山荒地优化为混交林、针叶林和阔叶林,由于灌木林、疏林地和其它林地的比例较小,所以不对其优化。宜林荒山荒地优化后的区域森林资源面积和比例见表 5。

表 5 优化前后各森林类型面积及比例

Table 5 Area and ratio of different forest categories before and after structure optimizing

森林类型 Forest type	优化前的面积/hm ² Area of before optimizing	比例/% Percentage	优化后的面积/hm ² Area of after optimizing	比例/% Percentage
混交林 Mixed forest	131040.1	3.41	164303.1	4.27
阔叶林 Broadleaf forest	315272.2	8.20	441769.9	11.49
针叶林 Coniferous forest	205090.6	5.33	284285.6	7.40
灌木林 Shrub	38531.6	1.00	38531.6	1.00
疏林地 Open forest land	42125	1.10	42125	1.10
其它林地 Other woodland	12165.4	0.32	12165.4	0.32
宜林荒山荒地 Barren hills and lands suitable for afforestation	238955.7	6.22	0	0

从表 5 可看出,有林地的比例由优化前的 16.95% 增加到优化后的 23.17%,宜林荒山荒地的比例由优化前的 6.22% 变为优化后的 0%。优化配置后的混交林:阔叶林:针叶林:灌木林:疏林地:其它林地:宜林荒山荒地为 1.7:4.5:2.9:0.4:0.4:0.1:0。其中,阔叶林的比例最大,这是由于流域地带性的植被类型是落叶阔叶林,分布的范围广、面积大。其次是针叶林,这是由于宜林荒山荒地所处的山区土地多瘠薄,仅适合部分优势针叶树种的生长。通过合理的措施对宜林荒山荒地进行林分改造后,不仅可以减少水土流失、提高单位面积蓄积量,还可以有效地改善流域的森林景观生态。

3.4 线性优化后的信息熵分析

1948 年,美国数学家 Shannon 把玻尔兹曼熵引入信息论,称之为信息熵,并提出信息熵的数学公式,从量的方面描述了信息的传输和提取问题^[20-21]。香农信息熵 H 的函数为:

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i \quad (8)$$

式中, p_i 是随机事件可能结果出现的概率, $0 \leq p_i \leq 1 (i = 1, 2, \dots, n)$, $\sum_{i=1}^n p_i = 1$ 。

香农把信息熵 H 作为一个随机事件的不确定性量度, 熵值反映了对样本集合 H 分类的不确定性。熵值越小, 划分的纯度越高, 对样本分类的不确定性越低。理论上, 当土地利用类型的面积相等时, 其信息熵达到理论最大值^[21]。土地利用结构信息熵描述了系统的有序程度, 结构不同, 其信息熵及有序程度会相应改变。本文利用信息熵的原理分析山东黄河流域森林资源线性优化配置的结果。根据香农信息熵的数学模型, 对 2000、2006 年以及利用线性优化配置后的 10 个土地利用分类图进行分别计算, 结果见表 6。

表 6 土地利用结构比例及其信息熵
Table 6 Land-use composition and information entropy

时间 Time	有林地 Forest land/%	灌木林地 Shrub/%	疏林地 Open forest land/%	其它林地 Other woodland /%	宜林荒山 荒地/% Barren hills and lands suitable for afforestation	农田 Farmland /%	水域 Water/%	草地 Grassland /%	建设用地 Construction land/%	未利用地 Unutilized land/%	信息熵 Information entropy
2000	13.44	1.02	0.85	0.32	5.75	52.52	6.08	5.64	12.39	1.99	1.5469
2006	16.95	1.00	1.10	0.32	6.22	47.51	6.48	6.18	12.87	1.38	1.6136
优化后 After optimizing	23.17	1.00	1.10	0.32	0	47.51	6.48	6.18	12.87	1.38	1.4788

从表 6 中可看出, 2000、2006 年的信息熵分别为 1.5469、1.6136, 6a 间, 信息熵值增加了 4.3%。通过对区域森林资源中的宜林荒山荒地线性优化配置后, 其信息熵值为 1.4788, 比优化前的 2000、2006 年分别降低了 4.4%、8.4%, 流域森林资源及土地利用空间结构有序度明显提高, 各土地类型比优化前的状态更加稳定。

4 结论与讨论

山东黄河流域是黄河入海的最后区域, 也是水土流失最为严重的地区之一, 基于遥感影像和数学方法优化配置森林资源对区域尺度的水土保持具有重要意义。研究表明, 该区域森林资源空间分布极不均匀, 且主要集中于鲁中南山地及丘陵地区。对该区域的宜林荒山荒地进行林种的线性优化配置后, 土地利用结构信息熵明显降低, 土地利用空间结构有序度显著提高, 森林资源的空间格局得到明显改善。今后, 应重点保护天然林和天然次生林, 加大宜林荒山荒地的改造力度, 建立泰山、济南、莱芜等重点山区的生态保护区和植被恢复区, 这对于该区域的水土保持和流域治理具有重要意义。

研究区 270 个外业样地数据中, 杨树占 58.5%, 侧柏占 17.4%, 刺槐占 7.4%, 其它树种占 16.7%。说明该区域的优势树种为杨树、侧柏和刺槐; 其它次要树种为杜仲、枫树、臭椿、白蜡、龙柏、流苏、女贞、柳树、楸树等^[18-19]。根据森林资源的空间格局以及地形、土壤等因子将研究区划分为三大树种配置区。其中, 济南、泰安和莱芜的地形复杂、水土流失严重、荒山荒地的比例高, 属鲁中南地区。淄博、滨州、菏泽、德州、济宁和聊城的地形基本相同, 属黄泛平原区, 东营市属黄河三角洲地区^[22]。根据不同地区采取的措施如下:

(1) 鲁中南山地 由于宜林荒山荒地主要分布于鲁中南的莱芜市、泰安市和济南市, 对这 3 个地市森林资源的优化措施主要是荒山荒地改造。由于该地区的地形复杂、海拔较高、水土流失严重, 所以选择刺槐、栓皮栎、麻栎、油松、侧柏、赤松、紫穗槐以及灌木林、灌草丛等水源涵养林和水土保持林为主。

(2) 黄泛平原区 淄博、滨州、菏泽、德州、济宁和聊城等地市属于黄泛平原区, 该地区的最大特点是森林覆盖率低、林种结构单一, 地形与土壤质地相似。优势树种为杨树、侧柏和刺槐, 并且大多是四旁树和农田防护林。通过选择不同的优势及乡土树种进行混合栽植, 以改善森林景观的连通性、美观度以及生态系统的稳定性和物种的多样性。以杨树、刺槐、国槐、侧柏、泡桐、女贞、柳树、臭椿、杜仲、枫树、榆树和紫穗槐等树种的

混交模式为主,以便于病虫害的防治和后期管理。

(3)黄河三角洲地区 东营市是黄河三角洲地区,其特点是地下富含石油和能源。该地区的土壤板结且盐碱化、森林覆盖率低、草地和灌草丛居多。选择适合盐碱土壤生长的树种如怪柳、刺槐、黑松和灌草丛等海岸防风固沙林为主。

References:

- [1] Burrough P A. GIS and geostatistics: essential partners for spatial analysis. *Environmental and Ecological Statistics*, 2001, 8(4): 361-377.
- [2] Davide G. Expert Panel-based Assessment of Forest Landscapes for Land Use Planning. *Mountain Research and Development*, 2007, 27(3): 220-223.
- [3] Franco-Lopez H, Ek A R, Bauer M E. Estimation and mapping of forest stand density, volume, and cover type using the k-nearest neighbor's method. *Remote Sensing of Environment*. 2001, 77(3): 251-274.
- [4] Schoorl J M, Veldkamp A, Bouma J. The Evaluation on Suitability of Land Resource. *Soil Science Society of America Journal*, 2002, 66(5): 1610-1620.
- [5] Okan F, Nilgun B H. Integration of GIS with USLE in Assessment of Soil Erosion. *Water Resources Management*, 2002, (16): 447-467.
- [6] Qin Z, Karnieli A, Berliner P. A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region. *International Journal of Remote Sensing*, 2001, 22(18): 3719-3746.
- [7] Tokola T. The Influence of Field Sample Data Location on Growing Stock Volume Estimation in Landsat TM-Based Forest Inventory in Eastern Finland. *Remote Sensing of Environment*. 2000, 74(3): 422-431.
- [8] Verburg A, Soepboer P H, Veldkamp W. Modeling the spatial dynamics of regional land use: the CLUE-S Model. *Environmental Management*, 2002, 30(3): 391-405.
- [9] Xie H, Vepraskas M J, Skaggs R W. The Suitability Assessment of Land Resource. *Soil Science Society of America Journal*, 2002, 66(5): 1722-1732.
- [10] Gao J R, Liu D G, Wu J B. Collocation of forest types of watershed protection forest in Beizhuang Demonstration Region of Miyun Reservoir. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2000, 14(1): 12-19.
- [11] Hao Z Q, Yu D Y, Xiong Z P, Ye J. Utilization suitability of forest resources in typical forest zone of Changbai Mountains. *Chinese Journal of Applied Ecology*. 2004, 15(10): 1755-1759.
- [12] Liu W, Li M Ch, Liu Y X, Mao L. Land Adaptability Evaluation Based on Vector-Raster Mixed Data Model. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*. 2006, 15(3): 320-324.
- [13] Ou Y X Z, Liao W M, Peng Sh K. Landscape quality evaluation and vertical structure optimization of natural broadleaf forest. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(6): 1388-1392.
- [14] Wang C L, Wang P. Research and application of the spatial allocation optimization for protection forest system. *Journal of Beijing Forestry university*, 2008, 30(4): 126-130.
- [15] Zang S Y, Gao Y K, Ni H W. Spatial pattern of forest resources sustainable exploitation. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, vol. 19(6): 73-79.
- [16] Zhu J Z, Wei T X, Zhang X P. Arrangement of protective forest system in Gullied-hilly Loess Area based on water balance. *Journal of Beijing Forestry University*, 2002, 24(5/6): 5-13.
- [17] Shu J L, Wen R K. The theory of linear programming and the application of model. Beijing: Science Press. 2003.
- [18] Dong B, Chen L P, Qian G Y. Synthetic evaluation of ecological suitability of forest resources by analytic hierarchy process and fuzzy mathematics model based on remote sensing data. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(3): 468-478.
- [19] Dong B, Qian G Y, Chen L P. Dynamic study on forest resources space pattern based on Remote Sensing and Geographic Information System in the Yellow River basin of Shandong Province. *Journal of Northeast Forestry university*, 2010, 39(1): 62-64, 71.
- [20] Tan Y Zh, Wu C F. The law of the information entropy values of land use composition. *Journal of Natural Resources*, 2003, 18(1): 112-117.
- [21] Fu Z Y. Information Theory, Basic Theory and Application. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003.
- [22] Li X F, Hou L Q, Zhang J F, Kong X F, Wang X F, Ma L, Wang L Q, Wang Y R. Main Characteristics of Hydrology and Division of Forest Resource Management in Shandong Province. *Forestry Science and Technology*, 2003, 5: 47-48.

参考文献:

- [10] 高甲荣, 刘德高, 吴家兵. 密云水库北庄示范区水源保护林种配置研究. *水土保持学报*, 2000, 14(1): 12-19.
- [11] 郝占庆, 于德永, 熊在平, 叶吉. 长白山典型林区森林资源利用适宜性分析. *应用生态学报*, 2004, 15(10): 1755-1759.
- [12] 刘伍, 李满春, 刘永学, 毛亮. 基于矢栅混合数据模型的土地适宜性评价研究. *长江流域资源与环境*, 2006, 15(3): 320-324.
- [13] 欧阳勋志, 廖为明, 彭世揆. 天然阔叶林景观质量评价及其垂直结构优化技术. *应用生态学报*, 2007, 18(6): 1388-1392.
- [14] 王春玲, 王鹏. 防护林体系空间配置优化系统的应用. *北京林业大学学报*, 2008, 30(4): 126-130.
- [15] 臧淑英, 高亦珂, 倪红伟. 森林资源可持续利用空间格局分析. *生态学报*. 1999, 19(6): 73-79.
- [16] 朱金兆, 魏天兴, 张学培. 基于水分平衡的黄土区小流域防护林体系高效空间配置. *北京林业大学学报*, 2002, 24(5/6): 5-13.
- [17] 束金龙, 闻人凯. 线性规划理论与模型应用. 北京: 科学出版社, 2003.
- [18] 董斌, 陈立平, 钱国英. 基于遥感的层次分析法和模糊数学模型综合评价森林资源生态适宜性. *自然资源学报*, 2011, 26(3): 468-478.
- [19] 董斌, 钱国英, 陈立平. 基于 RS 和 GIS 的山东黄河流域森林资源动态分析. *东北林业大学学报*, 2010, 39(1): 62-64, 71.
- [20] 谭永忠, 吴次芳. 区域土地利用结构的信息熵分异规律研究. *自然资源学报*, 2003, 18(1): 112-117.
- [21] 傅祖芸. 信息论——基础理论与应用. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [22] 李秀芬, 候立群, 张建锋, 孔宪芳, 王小芳, 马玲, 王露琴, 王玉荣. 山东省的主要水文特征与森林资源培育区域的划分. *山东林业科技*, 2003, 5: 47-48.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 6 March, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Quantitatively monitoring undergoing degradation of plateau grassland by remote sensing data; a case study in Maqu County, Gansu Province, China	ZHOU Jianhua, WEI Huaidong, CHEN Fang, et al (1663)
Using periphyton assemblages to assess stream conditions of Taizi River Basin, China	YIN Xuwang, QU Xiaodong, LI Qingnan, et al (1677)
Water-holding capacity of an evergreen broadleaf forest in Ailao Mountain and its functions in mitigating the effects of Southwest China drought	QI Jinhua, ZHANG Yongjiang, ZHANG Yiping, et al (1692)
The relationship between protistan community and water quality along the coast of Qingdao	YANG Jinpeng, JIANG Yong, HU Xiaozhong (1703)
Simulation of effects of warming on carbon budget in alpine meadow ecosystem on the Tibetan Plateau	QI Weiwei, NIU Haishan, WANG Shiping, et al (1713)
Features of leaf photosynthesis and leaf nutrient traits in reservoir riparian region of Three Gorges Reservoir, China	JIE Shenglin, FAN Dayong, XIE Zongqiang, et al (1723)
Spatio-temporal distribution of fish in the Pengxi River arm of the Three Gorges reservoir	REN Yuqin, CHEN Daqing, LIU Shaoping, et al (1734)
Analysis on allelochemicals in the cell-free Filtrates of <i>Amphidinium carterae</i>	JI Xiaoqing, HAN Xiaotian, YANG Baijuan, et al (1745)
Effect of starvation on expression patterns of the MYP gene in <i>Strongylocentrotus intermedius</i>	QIN Yanjie, SUN Bolin, LI Xia, et al (1755)
Habitat selection of feral yak in winter and spring in the Helan Mountains, China	ZHAO Chongnan, SU Yun, LIU Zhensheng, et al (1762)
Using cellular automata to study patchy spread in a predator-prey system	YANG Li, LI Weide (1773)
Effects of insect-resistant transgenic <i>Bt</i> rice with a fused <i>Cry1Ab+Cry1Ac</i> gene on population dynamics of the stem borers, <i>Chilo suppressalis</i> and <i>Sesamia inferens</i> , occurring in paddyfield	LI Zhiyi, SUI He, XU Yanbo, et al (1783)
Effect of spectral sensitivity and intensity response on the phototaxis of <i>Frankliniella Occidentalis</i> (Pergande)	FAN Fan, REN Hongmin, LU Lihua, et al (1790)
The synergistic action and UV protection of optical brightener on three different geographic isolates of Asian Gypsy Moth Nucleopolyhedrovirus (LdMNPV)	WANG Shujuan, DUAN Liqing, LI Haiping, et al (1796)
The availability of trace elements in an oasis soil under different utilization intensity in an arid area in China	LI Haifeng, ZENG Fanjiang, GUI Dongwei, et al (1803)
Multivariate regression analysis of greenhouse gas emissions associated with activities and populations of soil microbes in a double-rice paddy soil	QIN Xiaobo, LI Yu'e, SHI Shengwei, et al (1811)
Distribution characteristics of humus fraction in soil profile for the typical regions in the Loess Plateau	DANG Ya'ai, LI Shiqing, WANG Guodong (1820)
N ₂ O emissions from vegetable farmland with purple soil and the main factors influencing these emissions	YU Yajun, WANG Xiaoguo, ZHU Bo (1830)
Relationships between carbon source utilization of soil microbial communities and environmental factors in natural secondary forest in subtropical area, China	WANG Yun, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (1839)
Numerical soil classification using fuzzy K-means algorithm and predictive soil mapping at regional scale	LIU Pengfei, SONG Xuan, LIU Xiaobing, et al (1846)
Releasing characteristics of nonpoint source pollutants from straws under submerging condition	YANG Zhimin, CHEN Yucheng, ZHANG Yun, et al (1854)
Effects of delayed irrigation at jointing stage on nitrogen accumulation and its allocation, and NO ₃ -N migration in wheat	WANG Hongguang, YU Zhenwen, ZHANG Yongli, et al (1861)
Risk division on winter wheat suffering from spring wet damages in Jiangsu Province	WU Hongyan, GAO Ping, XU Weigen, et al (1871)
Determination of the initial depth of water uptake by roots of steppe plants in restored and overgrazed communities, Inner Mongolia, China	GUO Yuran, WANG Wei, LIANG Cunzhu, et al (1880)
Fine root architecture and morphology among different branch orders of six subtropical tree species	XIONG Decheng, HUANG Jinxue, YANG Zhijie, et al (1888)
Numerical analysis of inter-specific relationships in Alpine steppe community in Bayanbulak	FANG Fei, HU Yukun, ZHANG Wei, et al (1898)
Analysis of shade-tolerance and determination of evaluation indicators of shade-tolerance in seedlings of <i>Chrysanthemum grandiflorum</i> and its closely related genera	SUN Yan, GAO Haishun, GUAN Zhiyong, et al (1908)
Effect of the parasitic <i>Cuscuta australis</i> on the community diversity and the growth of <i>Alternanthera philoxeroides</i>	WANG Rukui, GUAN Ming, LI Yonghui, et al (1917)
Diversity and community structure of basidiomycete laccase gene from subtropical broad-leaved and coniferous forest ecosystems based on cDNA cloning	CHEN Xiangbi, SU Yirong, HE Xunyang, et al (1924)
Fine root longevity and controlling factors in subtropical <i>Alingia grilipes</i> and <i>Castanopsis carlesii</i> forests	HUANG Jinxue, LING Hua, YANG Zhijie, et al (1932)
Linear programming and optimal distribution of the forest resources based on TM remote sensing images	DONG Bin, CHEN Liping, WANG Ping, et al (1943)
Urban green space landscape patterns and thermal environment investigations based on computational fluid dynamics	LIU Yanhong, GUO Jinping, WEI Qingshun (1951)
Review and Monograph	
Review of the ecological compensation efficiency	ZHAO Xueyan (1960)
Scientific Note	
The effects of petroleum exploitation on water quality bio-assessment and benthic macro-invertebrate communities in the Yellow River Delta wetland, Dongying	CHEN Kai, XIAO Nengwen, WANG Beixin, et al (1970)

《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 6 期 (2012 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 6 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:100071	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