

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

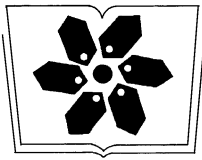
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第17期 Vol.31 No.17 **2011**

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 31 卷 第 17 期

2011 年 9 月 (半月刊)

目次

海洋生态资本理论框架下海洋生物资源的存量评估·····	任大川,陈尚,夏涛,等 (4805)
内生真菌对羽茅生长及光合特性的影响·····	贾彤,任安芝,王帅,等 (4811)
基于遥感图像处理技术胡杨叶气孔密度的估算及其生态意义·····	蒋圣淇,赵传燕,赵阳,等 (4818)
水文变异下的黄河流域生态流量·····	张强,李剑锋,陈晓宏,等 (4826)
黄河三角洲重度退化滨海湿地盐地碱蓬的生态修复效果·····	管博,于君宝,陆兆华,等 (4835)
浙江省某 PCBs 废物储存点对其邻近滩涂生态系统的毒性风险·····	何闪英,陈昆柏 (4841)
鄱阳湖苔草湿地甲烷释放特征·····	胡启武,朱丽丽,幸瑞新,等 (4851)
三峡库区银鱼生长特点及资源分析·····	邵晓阳,黎道峰,谭路,等 (4858)
低温应激对吉富罗非鱼血清生化指标及肝脏 HSP70 基因表达的影响·····	刘波,王美姝,谢骏,等 (4866)
Cd ²⁺ 对角突臂尾轮虫和曲腿龟甲轮虫的急性毒性和生命表统计学参数的影响·····	许丹丹,席貽龙,马杰,等 (4874)
圈养梅花鹿 BDNF 基因多态性与日常行为性状的关联分析·····	吕慎金,杨燕,魏万红 (4881)
华北平原玉米田生态系统光合作用特征及影响因素·····	同小娟,李俊,刘渡 (4889)
长期施肥对麦田大型土壤动物群落结构的影响·····	谷艳芳,张莉,丁圣彦,等 (4900)
蚯蚓对湿地植物光合特性及净化污水能力的影响·····	徐德福,李映雪,王让会,等 (4907)
三种农药对红裸须摇蚊毒力和羧酸酯酶活性的影响·····	方国飞 (4914)
六星黑点豹蠹蛾成虫生殖行为特征与性趋向·····	刘金龙,宗世祥,张金桐,等 (4919)
除草剂胁迫对空心莲子草叶甲种群的影响及应对策略·····	刘雨芳,彭梅芳,王成超,等 (4928)
荒漠植物准噶尔无叶豆结实、结籽格局及其生态适应意义·····	施翔,王建成,张道远,等 (4935)
限水灌溉冬小麦冠层氮分布与转运特征及其对供氮的响应·····	蒿宝珍,姜丽娜,方保停,等 (4941)
准噶尔盆地梭梭、白梭梭植物构型特征·····	王丽娟,孙栋元,赵成义,等 (4952)
基于地表温度-植被指数关系的地表温度降尺度方法研究·····	聂建亮,武建军,杨曦,等 (4961)
岩溶区不同植被类型下的土壤氮同位素分异特征·····	汪智军,梁轩,贺秋芳,等 (4970)
施氮量对麻疯树幼苗生长及叶片光合特性的影响·····	尹丽,胡庭兴,刘永安,等 (4977)
黄土丘陵区羔沟流域典型植物叶片 C、N、P 化学计量特征季节变化·····	王凯博,上官周平 (4985)
克隆整合提高淹水胁迫下狗牙根根部的活性氧清除能力·····	李兆佳,喻杰,樊大勇,等 (4992)
低覆盖度固沙林的乔木分布格局与防风效果·····	杨文斌,董慧龙,卢琦,等 (5000)
东灵山林区不同森林植被水源涵养功能评价·····	莫菲,李叙勇,贺淑霞,等 (5009)
11 种温带树种粗木质残体分解初期结构性成分和呼吸速率的变化·····	张利敏,王传宽,唐艳 (5017)
连栽第 1 和第 2 代杉木人工林养分循环的比较·····	田大伦,沈燕,康文星,等 (5025)
最优化设计连续的自然保护区·····	王宜成 (5033)
基于自然地理特征的长江口水域分区·····	刘录三,郑丙辉,孟伟,等 (5042)
煤电一体化开发对锡林郭勒盟环境经济的影响·····	吴迪,代方舟,严岩,等 (5055)
专论与综述	
生态条件的多样性变化对蜜蜂生存的影响·····	侯春生,张学锋 (5061)
研究简报	
胶州湾潮间带大型底栖动物次级生产力的时空变化·····	张崇良,徐宾铎,任一平,等 (5071)
湿地公园研究体系构建·····	王立龙,陆林 (5081)
基于生态足迹的半干旱草原区生态承载力与可持续发展研究——以内蒙古锡林郭勒盟为例·····	杨艳,牛建明,张庆,等 (5096)
学术信息与动态	
恢复与重建自然与文化的和谐——2011 生态恢复学会国际会议简介·····	彭少麟,陈蕾伊,侯玉平,等 (5105)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 302 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2011-09	



封面图说: 相当数量的降雪与低温严寒是冰川发育的主要因素,地球上的冰川除南北两极外,只有在高海拔的寒冷山地才能存在。喜马拉雅山造山运动使中国成为了世界上中低纬度冰川最为发育的国家,喜马拉雅山地区雪峰连绵、冰川四溢,共有现代冰川 17000 多条,是世界冰川发育的中心之一。

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

王宜成. 最优化设计连续的自然保护区. 生态学报, 2011, 31(17): 5009-5016

Wang Y C. The optimal design of a connected nature reserve network. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(17): 5009-5016

最优化设计连续的自然保护区

王宜成*

(青岛农业大学资源与环境学院, 青岛 266109)

摘要:生境破碎是导致生物多样性损失的重要原因之一,避免生境破碎的一个有效方式是建立连续的自然保护区使物种可在保护区内自由移动。不加选择地把大片土地都转为保护区是实现连续的一个途径,但资源是有限的,应当以最优的方式分配。如何最优化设计生态上和经济上都有效的保护区成为生物保护领域一个重要议题。从一组备选地块中选择一部分组成自然保护区,这样的问题主要有两种解法:启发式方法和最优化方法。启发式方法虽然灵活且运算速度快但不能保证最优解因而可能导致稀缺资源的浪费,最优化方法保证得到的解是最优的但建模和运算存在困难。建立一个线性整数规划模型用于设计一个最小的连续保护区,用 Dantzig 剪切法消除循环确保形成一个连续的树,对应一个连续的保护区,检验了模型的计算效率。结果显示,模型可在合理时间内解决一个包含 100 个备选地块和 30 个物种的连续保护区设计问题,计算效率显著优于同类目的的其它方法。以美国伊利诺伊州 Cache 河流域 11 种濒危鸟类的保护区设计为例说明了该方法的应用,设计了两种情况下连续的保护区。讨论了模型的局限和数据问题。

关键词:自然保护区; 连续; 最优化; Dantzig 剪切; Illinois; 濒危鸟类

The optimal design of a connected nature reserve network

WANG Yicheng*

College of Resources and Environment, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China

Abstract: Habitat fragmentation is considered one of the critical reasons for the biodiversity loss. Establishing a connected reserve network which accommodates the free movement of protected species in the reserve is an effective way to reduce habit fragmentation. One possible method to ensure a connected reserve is to convert a whole large area to a conservation reserve. However, the resources devoted to conservation effort have always been scarce, and it is important that these resources are allocated in an optimal way. The optimal design of a reserve network which is effective both ecologically and economically has become an important research topic in the reserve design literature. The problem of optimal selection of a subset from a larger group of potential habitat sites is often solved using either heuristic or formal optimization methods. The heuristic methods, although flexible and computationally fast, can not guarantee the solution is optimal therefore may lead to scarce resources being used in an ineffective way. The formal optimization methods, on the other hand, guarantees that the solution is optimal. But it has been argued that it would be difficult to model site selection process using optimization models, especially when spatial attributes of the reserve have to be taken into account. This paper presents a linear integer programming model for the design of a minimal connected reserve network. Dantzig cut approach is employed to prevent loops that may occur in the solution to ensure the selected sites assemble a connected tree, corresponding to a connected reserve. Computational performance of the model is tested using datasets randomly generated by the software GAMS. Results show that the model can solve a connected reserve design problem which includes 100 potential sites and 30 species in a reasonable period of time, and the model significantly outperforms the representative method in the literature in terms of

基金项目:青岛农业大学高层次人才科研基金资助项目(631018)

收稿日期:2010-04-21; **修订日期:**2011-03-28

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

computational efficiency. As the number of potential sites increases, the processing time needed to solve the problem is expected to grow up quickly. As an empirical study, the model is applied to the protection of endangered and threatened bird species in the Cache River basin area in Illinois, USA. 11 bird species and 56 potential sites are included in the empirical study. Two minimal connected reserve networks are designed. One is to protect each species at least once and the other twice where applicable. The model presented in this paper is deterministic in terms of the occurrence of species in potential sites, and static in terms of the time when selection decision is made. More studies are needed to combine uncertainty and dynamics into the optimization model. The successful application of any site selection model has to be based on complete and accurate data. However, the data itself may have some associated problems such as incompleteness, out-of-date, inaccurate, etc. Data issue is critical for a successful design of an effective reserve network and it should get more attention especially in China.

Key Words: nature conservation reserve; connected; optimization; Dantzig-cut; Illinois; endangered/threatened birds

设计自然保护区常面临一个现实问题:从备选地块中选择哪一些组成自然保护区?由于资源的有限性,通常人们希望用最少的资金(或土地面积)实现对一组物种的保护,或者用给定的资金实现对尽可能多的物种(或面积)的保护。生态保护文献中这两种情形分别称为物种的“集合覆盖问题(Set Covering Problem,简称 SCP)”和“最大覆盖问题(Maximal Covering Problem,简称 MCP)”。SCP 和 MCP 的概念来自运筹学^[1-2],由生态保护领域的学者引入保护区地块选择问题中^[3-4]。

传统的 SCP 和 MCP 只考虑物种保护或预算限制而没有空间要求,导致选中的地块彼此孤立相距很远,显然这样的地块组成保护区造成物种生境的破碎。生境破碎是生物多样性损失的重要原因之一^[5]。为提高物种长期存活率,一些空间特征比如连续、间隔、保护区边界等,必须在设计时予以考虑。设计具有空间特征的自然保护区近年来受到很多关注^[6]。

结合了空间特征的 SCP 和 MCP 问题主要有两种解法:启发式算法和最优化算法。启发式算法根据具体问题制定选择规则,可容易地结合进不同的空间特征要求而且计算效率高,大型保护区地块选择问题(包含数百或上千个备选地块)通常只需几秒或几分钟即可解决^[7]。由于这两个优点,该法被用于多个研究^[6-10]。但启发式算法的重大弱点是不能保证解是最优的^[8-9],意味着如果用启发式算法指导保护区地块选择可能导致稀缺资源的浪费。最优化算法,确切地说是线性整数规划(LIP),保证获得的解是最优解从而指导稀缺资源最优化分配,但建模和计算困难,曾有人认为模拟保护区空间特征需要用非线性模型。尽管后来有人用线性模型实现了一些空间特征的模拟,但计算效率仍是这类模型实际应用的瓶颈,许多研究实例中计算机运行数小时仍不能获得最优解^[10-13]。所以改进最优化模型的建模方法和计算效率仍富有挑战性。

本文用图论和 Dantzig 剪切法建立一个线性整数规划模型,用最优化软件求得最优解,对应一个连续的自然保护区,经检验计算效率优于文献中其它代表性方法。用美国伊利诺伊州 Cache 河流域濒危鸟类保护区设计为例展示了该方法的应用。

1 方法和模型

1.1 方法

假设一片区域被划分成一组具有几何形状的小区域,小区域称为地块。每个地块为一些物种提供保护功能,要选择其中一部分建立自然保护区对一组物种进行保护。地块是决策单元,即一个地块或者被选择成为保护区的一部分,或者不被选择因而不是保护区的一部分。这里地块是正方形(大多数情况下空间数据是这种形式),但这里介绍的方法可用于其它几何形状如长方形和多边形。

以这些地块为基础构建一张图。每个地块以一个点表示。两个地块如果有一条公共边则它们相邻。对相邻的两个地块(即相邻的两点)定义一条弧线连接两个相邻点。这样整个区域就可看做一个由点和弧线组成的图,而保护区可看做一个由选择的点和弧线组成的子图。出于建模需要,规定弧线是有方向的,这样相邻点 i 和 j

之间的弧线就有两条,一条从点 i (起点)到点 j (终点),另一条连接这两点但方向相反(从点 j 起始,终于点 i)。一条路径是由弧线组成的链条,链条中每条弧线起始于它前面弧线的终点。树是一个子图,其中任一点均可通过一条路径与其它任何点相连。所以也可以说,当点和弧线组成一个树时对应的保护区是连续的。

由图论可知,形成树(即连续的图)的充分必要条件是弧线数量等于点数量减1且不存在循环。循环由点和相同数量的弧线连接这些点组成。“弧线数量等于点数量减1”容易在模型中实现,难点是消除循环。这里介绍 Dantzig 剪切法。1954 年 Dantzig 等人提出剪切法用于解决著名的“货郎担问题(Traveling Salesman Problem, or TSP)”^① [14]。他们先求解 TSP 的松弛问题,即保证每个城市到访一次但先不考虑循环。如果解中有循环(一个或多个),则加入不等式(称为“剪切”)去掉循环,再次求解。重复该步骤直至解中无循环,就得到一条连续的货郎担行程路线。Dantzig 剪切法是 TSP 问题求解方法的重大突破。值得指出的是,TSP 问题中到访的城市数量及其位置是预先给定的,而在保护区地块选择问题中,选中地块的数量未知,因而其相对位置也未知。这使得地块选择问题难度远大于 TSP 问题。

最后,图的一个重要特征是,对应每个原图都有一个对偶图^[13]。假设一个图有 n 个点,该图称为原图,其点和连接点的边(原边,即上面定义的弧线)把整个平面分成 d 个区域,其中 $(d-1)$ 个区域由原边包围而成,另一个区域是平面上原边包围之外的无边界区域,每个区域用一个对偶点表示(包括无边界区域)。对应原图的每条原边,定义一条对偶边与原边交叉并连接两个由这条原边隔开的对偶点,这样就构成了对偶图。

上面所述用图1至图3说明。图1是一个 7×7 的区域,其中15个地块(正方形)被选择组成一个连续的保护区,被选择地块的边缘用粗线显示。每个地块用一个点表示,从点指向相邻点的箭头代表弧线,这些点和弧线组成了一个图,对应一个连续的保护区。

图2显示的是原图和对偶图。原图有9个点(黑点),对偶图有5个点(圆圈)。原图和对偶图的边分别以粗线和细线表示,它们一对对相互交叉,每对有一条原边和一条对偶边。

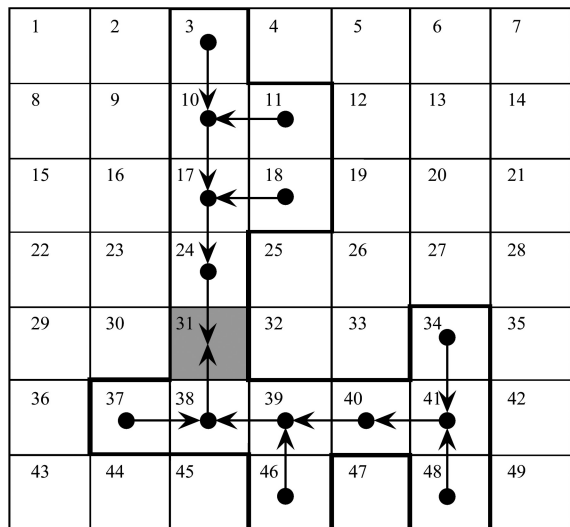


图1 以图表示的自然保护区

Fig. 1 Graphic representation of a reserve

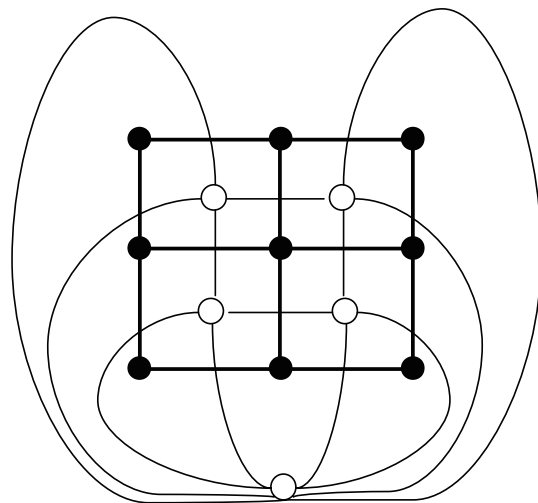


图2 原图和对偶图

Fig. 2 Primal and dual graphs

图3由7个点(地块)和6条弧线组成,满足“弧线数量等于点数量减1”,但显然不连续,这是由于弧线 c 、 d 、 e 和 f 形成了一个循环。如果消除循环,则形成连续的树。

① “货郎担问题”可简单表述为:一个推销员要到 n 个城市推销产品,从其中一个城市出发,到访其它 $(n-1)$ 个城市各一次,最终回到出发城市,求最短路径

1.2 模型

给定一组要保护的物种和一组备选地块,每个地块为一部分物种提供保护功能。下面的模型确定一个费用最小、保护所有物种的连续保护区:

$$\text{Min } \sum_i c_i U_i \quad (1)$$

s. t.

$$\sum_i \delta_{si} U_i \geq k_s \quad \text{对所有物种 } s \in S \quad (2)$$

$$X_{ij} + X_{ji} \leq U_i \quad \text{对所有弧线 } (i, j), i < j \quad (3)$$

$$X_{ij} + X_{ji} \leq U_j \quad \text{对所有弧线 } (i, j), i < j \quad (4)$$

$$\sum_j X_{ij} \leq U_i \quad \text{对所有点 } i = 1, \dots, n \quad (5)$$

$$\sum_{i,j} X_{ij} = \sum_i U_i - 1 \quad (6)$$

$$\sum_l Z_{kl} \geq 1 \quad \text{对所有 } k = 1, \dots, d-1 \quad (7)$$

$$X_{ij} + X_{ji} + Z_{kl} + Z_{lk} = 1 \quad \text{对所有交叉的原弧和对偶弧对} \quad (8)$$

剪切:

$$\sum_{i,j \in N_c} X_{ij} \leq n_s - 1 \quad (9)$$

模型中:

i, j 为原图中的点(地块); n 为原图中点的数量; s 为物种编号; S 为物种组; c_i 为选择点 i 的费用; k, l 为对偶点编号; d 为对偶点数量; δ_{si} 为参数,当点 i 中有物种 s 时, $\delta_{si} = 1$, 否则 $\delta_{si} = 0$ 。 k_s 为参数,保护区中含有物种 s 的地块最少数量(根据保护需要规定,如 1 或 2 或更多); U_i 为二元变量,如果原点 i 被选中成为保护区的一部分,则 $U_i = 1$, 否则 $U_i = 0$ 。 X_{ij} 为二元变量,如原图中带方向弧线 (i, j) 被选中成为树的一部分,则 $X_{ij} = 1$, 否则 $X_{ij} = 0$ 。 Z_{kl} 为二元变量,如果对偶图中点 i 到相邻点 j 的弧线被选中,则 $Z_{kl} = 1$, 否则 $Z_{kl} = 0$ 。 N_c 是原图中形成一个循环的点, n_s 是该循环中点的数量。

目标函数(1)是对总费用最小化,约束条件(2)是物种保护要求,即为确保物种 s 得到保护,保护区内至少应有 k_s 个地块为该物种提供保护功能。(1)和(2)组成易于求解的传统 SCP 问题。

约束条件(3)、(4)和(5)控制弧线的形成。(3)和(4)规定,如果原点 i 不是树(即保护区)的一部分($U_i = 0$),则无弧线从其发出也无弧线终于该点(对所有 $j, X_{ij} = 0$ 且 $X_{ji} = 0$)。如果点 i 被选择成为保护区的一部分($U_i = 1$),则最多有一条弧线将其与相邻点 j 连接($X_{ij} = 1$ 或 $X_{ji} = 1$),该弧线可从点 i 指向点 j ($X_{ij} = 1$),也可反向($X_{ji} = 1$),而相邻点 j 因此也必须被选择($U_j = 1$)。因为(3)和(4)是对称的,弧线只对满足 $i < j$ 的相邻点定义,这样可减少模型中方程的数量。约束条件(5)规定,如果点 i 没被选择($U_i = 0$),则无弧线从其发出(对所有 $j, X_{ij} = 0$),如果点 i 被选择成为保护区的一部分($U_i = 1$),则最多有一条弧线从其发出指向一个相邻点。约束条件(5)其实是冗余条件,但保留在模型中因为它可以提高模型的计算效率。

约束条件(6)把弧线数量与点数量相联系,即弧线数量等于点数量减 1,这是图论中的一个条件,即:为形成一个树,弧线数量必须等于点数量减 1。这是形成树(即连续的图)的必要而非充分条件。

式(7)是说,每个对偶点至少有一条弧线从其发出(对偶点 d 除外,因为 d 在模型中被定义为“汇点”),(8)规定每对交叉的原弧和对偶弧有且只有一条弧被选中。加入约束条件(7)和(8)是由于以下原因:在本文讨论的情形下(即备选地块是正方形),任何相邻的 4 个点均有可能形成循环(图 3),加入剪切消除循环后,另外的 4 个点有可能再形成循环,需要再次加入剪切,这样多次迭代会增加软件运行时间;加入(7)和(8)后,可形成循环的原点最小数量由 4 个增加到 8 个,且相邻行和列的任何点均不可能形成循环,用图 4 说明。

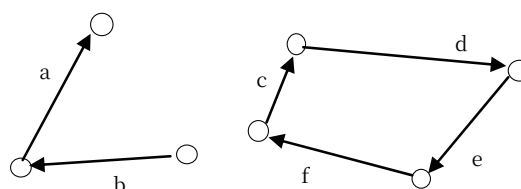


图 3 包含循环的非连续保护区

Fig. 3 A disconnected reserve containing a loop

图4中,黑点代表原点,圆圈代表对偶点。中间8个原点形成一个循环,包围着一个由4个对偶点形成的循环。原点数量少于8不可能形成循环,并且相邻两行或两列原点也不可能形成循环,这样显著减少了迭代次数和运行时间。

对那些形成循环的点,弧线数量等于点数量,不等式(9)是对这些点加的剪切,即弧线数量必须小于或等于点数量减1。加入剪切后重新求解,如果解中仍有循环,加入新剪切再次求解。重复该步骤直至解中无循环,即确定了一个树,对应一个连续的自然保护区。

1.3 模型运算

在一台个人电脑上进行了计算试验,检验上述模型的计算效率,电脑CPU是Pentium 4,内存1GB,使用的软件是GAMS 2.50^[15],整数规划模型的求解器用软件内置的CPLEX 9.0。使用的数据是100个备选地块和30个物种,30个物种在备选地块内的分布由GAMS随机产生,产生方法详细如下。

先确定任一备选地块上允许存在物种的最大数量 m ,以总数的百分比 α 表示,即每个备选地块可存在物种的最大数量为 $m = 30 \times \alpha$ 。对每个备选地块随机赋给一个不超过 m 的整数,作为该地块上存在的物种数量。然后从30个物种当中随机选择该数量的物种作为该地块存在的物种。例如,对第一组数据,任一地块允

许存在的物种数量不超过总物种数量的80%,即 $\alpha = 0.8$,也就是任一点最多可有 $30 \times 0.8 = 24$ 种物种共存。对第二组数据, α 降为0.7,即任一点最多可有21种物种共存。依此类推,直至最后一组数据 $\alpha = 0.2$,即最多可有6种物种共存于一个地块。可以想象,随着物种分布越来越稀疏,需要的地块数量会越来越多才能实现全部物种的保护。物种分布可能对模型计算效率造成影响,为消除这种影响,对每组数据物种分布随机产生20次。例如,对第一组数据最多有24种物种存在于一个地块的情形,在第一次数据分布中,地块1可能有5个物种,第二次数据分布中地块1则可能有10个物种等等,这样随机产生20次,每次都求解,最后给出20次计算结果的平均值。规定每个地块的选择费用 c_i 为1,这样问题简化为选择最少的地块。每个物种在保护区内至少出现一次($k_s = 1$)。为把本文提出的方法与Önal-Briers^[10]的方法比较,Önal-Briers方法也用同样的数据运算,结果也给出。

表1显示两种模型运算效率的对比。可以看到,对 α 的所有取值,这里的方法均用较少时间求得问题的解,运算效率显著高于后者, α 越小(即物种分布越稀疏,保护区需包含更多的地块)运算效率对比越显著。如 $\alpha = 0.2$ 时,Önal-Briers方法平均用时约30 min,而Dantzig剪切法仅用约1 min。

从表1看到,备选地块数量为100时,Önal-Briers模型包含690个方程、458个二元变量,本文的模型包含753个方程、100个二元变量。整数规划模型中方程数量对模型计算效率有影响但不重要,重要的是二元变量数量。当一个整数规划模型包含大量二元变量时,计算软件在求解时需要在分支定界过程中计算大量的节点,因而耗费大量时间。本文模型尽管方程数量较多,但二元变量比Önal-Briers模型显著减少,因此运行更快,上面的计算试验证明了这一点。

计算实验显示如果没有限制条件(6)和(7),模型会反复多次加入剪切并求解,增加了运行时间。本文模型加入了限制条件(6)和(7),明显降低了形成循环的可能性。当 α 大于0.2时,模型不需要加入剪切,即松弛问题的解中没有形成循环。 $\alpha = 0.2$ 时软件用了一次迭代,加入剪切求得了解。这显示,当需要越来越多的地块实现物种保护时,软件需要更多次的迭代求得解。

为检验统计意义上的显著性,对两个模型所用时间进行了 t -检验,显著性水平用5%,单侧检验。检验结

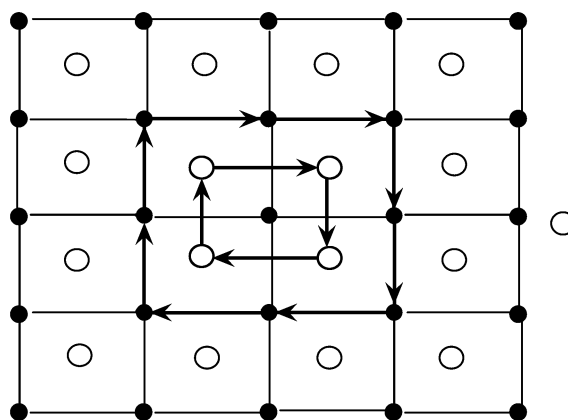


图4 原图和对偶图中的循环

Fig. 4 Formation of loops in primal and dual graphs

果报告很小的 P 值(约 0.004),说明这里的模型运算效率在统计意义上显著高于 Önal-Briers 模型。

一部分运行结果在图 5 中显示。图中阴影部分是选中作为保护区的地块,它们相互连接形成一个连续的保护区。图 5 显示的是 20 次运行选中地块数量较多的解,因此大于表 1 显示的目标平均值。

表 1 两个模型的比较(备选地块数=100,物种数=30)

α	Önal-Briers(2006) 模型				本文模型				
	Önal-Briers(2006) model				Present model				
	模型大小 Model size ^a	时间 Time(s) ^b	节点 Nodes ^c	目标值 Obj. value ^d	模型大小 Model size ^a	时间 Time(s) ^b	节点 Nodes ^c	目标值 Obj. value ^d	迭代次数 Cycles ^e
0.8	690	4.1	1147	2.60	753	0.9	64	2.60	0
0.7	458	5.7	1902	3.05	100	1.3	76	3.05	0
0.6		19.0	5293	3.90		3.1	230	3.90	0
0.5		47.4	13955	4.65		5.0	420	4.65	0
0.4		94.4	29804	6.00		11.4	937	6.00	0
0.3		366.0	128036	7.90		21.8	1816	7.90	0
0.2		1860.2	820125	11.20		62.0	5339	11.20	1

a. 第一个数是模型中方程数量,第二个数是二元变量数量;b. 获得最优解时所用的 CPU 平均时间(s);c. 分支定界过程计算的节点数平均值;d. 选中地块数量平均值;e. 20 次运行迭代总数; α :可共存于同一地块的物种占物种总数的比例

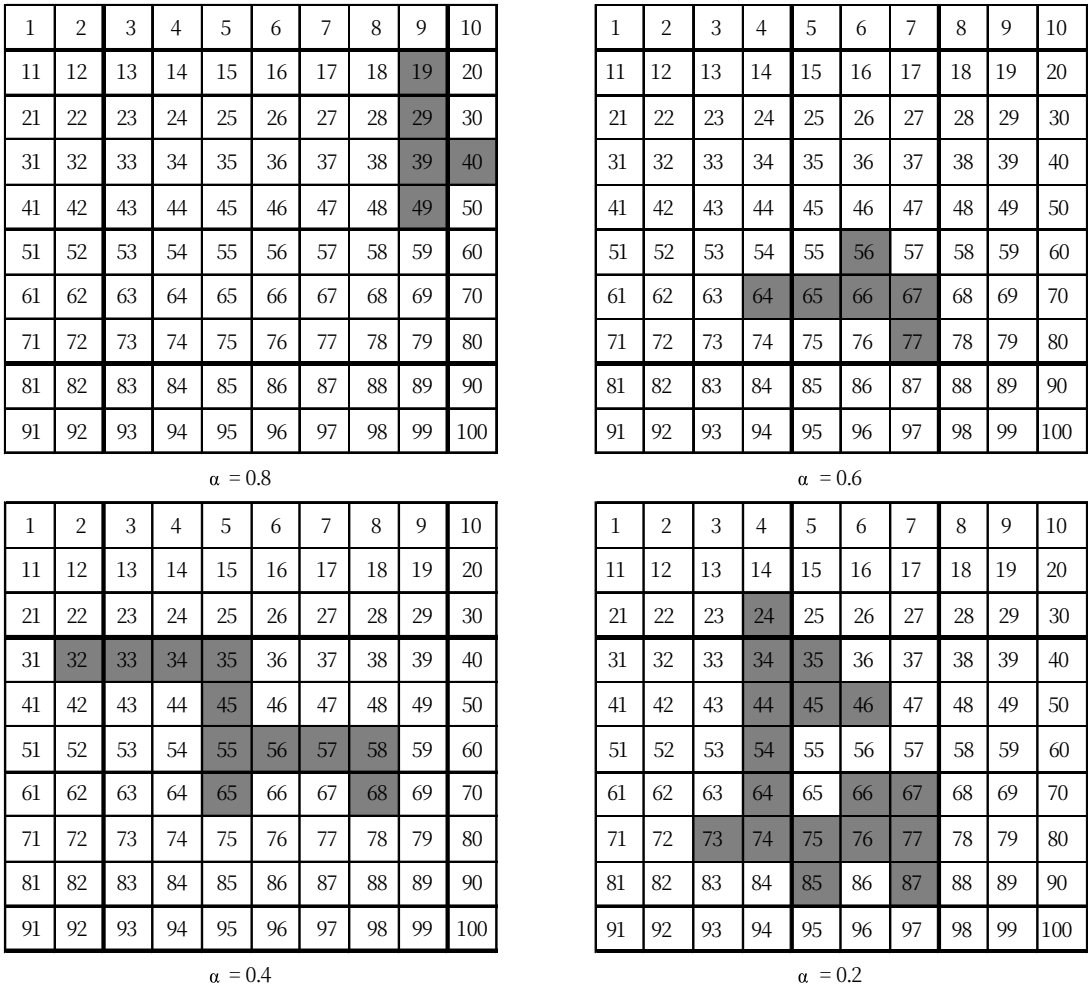


图 5 部分运行结果(阴影区域为保护区)

Fig. 5 Selected solutions of the model (shaded areas are reserves)

2 应用实例

用美国伊利诺伊州(Illinois)南部 Cache 河流域濒危鸟类的保护区设计为例说明该方法的应用。该方法只要具备适当数据可用于任何地方。

2.1 数据

伊利诺伊州自然资源部(IDNR)从 1991 年开始,响应美国联邦政府“野生生物综合保护计划(CWCP)”,在伊利诺伊州开展了自然资源、生态系统和环境数据的统计工作。鸟类分布数据(δsi)经多年野外调查采集和整理获得,调查按方格进行,每个方格(4×4)平方英里。选取 Cache 河流域及其周边地区这样的方格 56 个。总面积 $16 \times 56 = 896$ 平方英里(图 6)。这些方格共有濒危鸟类 11 种,其中 3 种只在 1 个方格出现(分别出现在 3 个不同方格,意味着这 3 个方格必须都包含在保护区内),最多的在 15 个方格出现,其次是 6 个;各方格鸟类数量从 1 至 5 不等,多数为 1。可见这些濒危鸟类分布稀疏。

地块价格(c_i)来自 1995—1999 年土地交易数据,该数据包含每笔交易的土地面积、总价格、是否有建筑物、所在县和镇等。删掉以下数据:面积小于 20 英亩的交易数据、有建筑物的交易数据、以及单价高于 5000 \$/英亩的交易数据,因为这些地块价格太高不适合用于建设保护区。各镇用 1995—1999 年土地单价平均值作为土地单价。确定各镇的土地单价后,把带有各镇边界的地图覆盖到方格地图上,落在各镇范围的方格以该镇土地单价为土地价格,边界上的方格以包含该方格最大面积的镇土地价格计。

1	2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32
33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56

图 6 鸟类分布(鸟类只在灰色方格出现)

Fig. 6 Birds distribution (only occurred in grey cells)

1	2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32
33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56

图 7 选中的保护区(深灰色区域, $k_s = 1$)

Fig. 7 Selected reserve (dark grey cells, $k_s = 1$)

2.2 结果

在 GAMS 软件中,把鸟类分布和地块价格数据代入上面的模型, k_s 先取 1 (即要求每种鸟类在保护区内至少出现一次),运行模型,选中的地块如图 7 所示,共 10 个地块,最小总价格 \$13,182 (假设每个地块只选 1 英亩。Ando 等人用过同样的假设^[4])。可以看到选中的地块组成连续的保护区。

实际设计保护区时为增加物种长期存活率,可能要求物种在保护区地块上出现多次。所以再设 k_s 为 2,即图 6 中出现 2 或 2 次以上的鸟类在保护区内应至少出现 2 次(分布图中只有 1 次的在保护区内仍出现 1 次),此时共选中 15 个地块如图 8 所示,最小总价格 \$23,544。其中包含一个无鸟类分布的地块(编号 37),该地块由软件自动选择,为了把地块 38 与其它地块相连使保护区连续。

在该实例中使用了 GAMS 演示版,能处理的变量和方程数量均有限制,所以只取 56 个备选地块且删掉边缘无鸟类分布的几个地块。软件运行没有遇到任何计算困难,不到 1 秒就求得了最优解。

3 结论和讨论

这篇文章提出了一个从一组备选地块中选择一部分组成最小的连续自然保护区的方法,用图论建立线性

整数规划模型,用 Dantzig 剪切法确定一个树,对应一个连续的、对一组物种实现保护的自然保护区。模型的计算效率显著优于 Önal-Briers 模型。以美国伊利诺伊州部分地区濒危鸟类的保护为例说明了该方法的实际运用。

本文模型假设物种在地块上出现是确定的,即物种或者出现或者不出现,而实际情形可能是有时出现有时不出现,是不确定的(如鸟类等迁移能力强的物种)。另外本文假设保护区地块是在某时刻全部被选中,而现实中可能是在一个时间段内随资金的可获得性逐步选择地块建立起来,是个动态选择过程。已有研究者把不确定性结合到地块选择模型^[16-18],也有人研究了地块的动态选择^[19-20],但他们或者没有考虑空间特征导致选择的地块仍然分散孤立,或者获得的解仍不能保证是

最优解。把不确定性和动态结合到地块选择过程,使保护区满足一定的空间特征并且获得的解最优,这可能需要复杂的最优化模型,而且很容易导致计算困难。如何建立这样的模型并提高计算效率需要进一步研究。

本文假设备选地块是规则的正方形,实际数据多以这种形式(或长方形)存在,这样的数据也便于在 GAMS 软件中编写程序。但这里介绍的方法也可用于备选地块是其它多边形甚至不规则形状的情形,此时编写运行程序可能要多花些时间,确定原图和对偶图中各地块的相邻关系要复杂一些。

本文在方法部分所用备选地块是 100 个,这对于方法说明和检验计算效率足够,但现实中设计自然保护区时可能面临更大的问题,备选地块可达数百甚至数千,模型求解需要的时间常随二元变量增加而呈指数增长,这里的模型求解大型问题时将与其它模型一样遇到计算问题。所以改进建模方法、提高计算效率仍富有挑战性。

国内保护区设计领域用整数规划进行地块最优化选择的很少,徐海根等人设计丹顶鹤保护区时用到整数规划^[21],但结合空间特征的还没有见到。我国自然生态系统面临污染、破碎化等威胁需要保护,而经济和社会发展又需要大量土地。所以如何设计生态上和经济上都有效的自然保护区,指导有限的保护资源最优化分配,在我国尤其具有重要意义。国内有很多以地理信息系统(GIS)为工具进行保护区设计的研究,包括设计核心区、缓冲区和试验区^[22-23]、保护区适宜性分析^[24]、GIS 与 RS(遥感)或 GPS(全球定位系统)结合进行保护区生态承载力分析^[25]、建立保护区地理信息系统^[26-27]等。更多 GIS 在生物多样性保护方面的研究可见最近的一篇综述^[28]。这些研究把 GIS 强大的数据查询、分析和显示功能应用到保护区设计领域,提高了保护区设计的灵活性和精准性。需要指出的是,用 GIS 进行保护区设计或分析是对 GIS 功能的应用,即 GIS 内置的算法或模型是现成的,使用 GIS 是对这些算法或模型的套用,在 GIS 界面显示的区域面积、距离等是用这些算法或模型运算后的结果。改进 GIS 内置算法和模型可以进一步提高设计的精准性,一个好的保护区地块选择模型有望内置到 GIS 中达到此目的。

最后,保护区地块最优化选择模型的使用必须有数据支撑,数据主要包括备选地块上目标物种情况(如种类、密度、对生境的要求)、地块选择费用、周边社会经济情况等。数据除可获得性问题外,其质量也可能存在许多问题,如不完整和陈旧,即使最新数据可靠性往往也值得怀疑。所以提高数据质量是保护区设计领域面临的一个重要问题。一些发达国家通过实地调查、卫星图片、航空拍片、遥感等积累了丰富数据,而我国相对缺乏。获取和整理数据、提高数据质量是一个重要任务。

致谢:美国伊利诺伊大学香槟分校(UIUC)Önal 教授对本研究给予帮助,特此致谢。

References:

- [1] Toregas C, Swain R, ReVelle C, Bergman L. The location of emergency service facilities. *Operations Research*, 1971, 19(6): 1363-1373.

1	2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32
33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56

图8 选中的保护区(深灰色区域, $k_s = 2$)

Fig. 8 Selected reserve (dark grey cells, $k_s = 2$)

- [2] Church R L, ReVelle C. The maximal covering location problem. *Papers of the Regional Science Association*, 1974, 32(1): 101-118.
- [3] Underhill L G. Optimal and suboptimal reserve selection algorithms. *Biological Conservation*, 1994, 70(1): 85-87.
- [4] Ando A, Camm J, Polasky S, Solow A. Species distributions, land values, and efficient conservation. *Science*, 1998, 279(5359): 2126-2128.
- [5] Hanski I. Metapopulation dynamics. *Nature*, 1998, 396: 41-49.
- [6] Williams J C, ReVelle C S, Levin S A. Spatial attributes and reserve design models: a review. *Environmental Modeling and Assessment*, 2005, 10(3): 163-181.
- [7] Pressey R L, Possingham H P, Margules C R. Optimality in reserve selection algorithms: when does it matter and how much? *Biological Conservation*, 1996, 76(3): 259-267.
- [8] Church R L, Stoms D M, Davis F W. Reserve selection as a maximal covering location problem. *Biological Conservation* 1996, 76(2): 105-112.
- [9] Önal H. First-best, second-best, and heuristic solutions in conservation reserve site selection. *Biological Conservation*, 2003, 115(1): 55-62.
- [10] Önal H, Briers R A. Optimal selection of a connected reserve network. *Operations Research*, 2006, 54(2): 379-388.
- [11] Önal H, Briers R A. Designing a conservation reserve network with minimal fragmentation: a linear integer programming approach. *Environmental Modeling and Assessment*, 2005, 10(3): 193-202.
- [12] Önal H, Wang Y. A graph theory approach for designing conservation reserve networks with minimal fragmentation. *Networks*, 2008, 52(2): 142-152.
- [13] Williams J C. A zero-one programming model for contiguous land acquisition. *Geographical Analysis*, 2002, 34(4): 330-349.
- [14] Dantzig G B, Fulkerson R, Johnson S M. Solution of a large-scale traveling-salesman problem. *Journal of the Operations Research Society of America*, 1954, 2(4): 393-410.
- [15] Brooke A, Kendrick D, Meeraus A, Raman R. GAMS- A User's Guide. Washington DC: GAMS Development Corporation, 1998.
- [16] Haight R G, ReVelle C S, Snyder S A. An integer optimization approach to a probabilistic reserve site selection problem. *Operations Research*, 2000, 48(5): 697-708.
- [17] Cabeza M, Araújo M B, Wilson R J, Thomas C D, Cowley M J R, Moilanen A. Combining probabilities of occurrence with spatial reserve design. *Journal of Applied Ecology*, 2004, 41(2): 252-262.
- [18] Haight R G, Travis L E. Reserve design to maximize species persistence. *Environmental Modeling and Assessment*, 2008, 13(2): 243-253.
- [19] Costello C, Polasky S. Dynamic reserve site selection. *Resource and Energy Economics*, 2004, 26(2): 157-174.
- [20] Harrison P, Spring D, MacKenzie M, Nally R M. Dynamic reserve design with the union-find algorithm. *Ecological Modelling*, 2008, 215(4): 369-376.
- [21] Xu H G, Wang L L, Bao H S. Designing of nature reserve network-a case study of the red-crowned crane nature reserve. *Rural Eco-Environment*, 2003, 19(4): 5-9.
- [22] Chen L D, Fu B J, Liu X H. Landscape pattern design and wildlife conservation in nature reserve-Case study of Wolong nature reserve. *Journal of Natural Resources*, 2000, 15(2): 164-169.
- [23] Ouyang Z Y, Xiao Y, Wang X K. Geographic Information System and Nature Conservation Reserve Planning and Management. Beijing: Chemical Industry Press, Press Center for Environmental Sciences and Engineering, 2005.
- [24] Liu D, Li H B, Zhong B J, Zhang W J, Ge J W. Analysis of habitat enlargement in Shishou. *Environmental Science and Technology*, 2007, 30(2): 67-68, 76.
- [25] Cai H S, Zhu D H, Zhang X L, Zhao X M. Dynamics analysis of the ecological capacity in Po-yang Lake Nature Reserve based on RS and GIS. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(11): 4751-4757.
- [26] Tu J, Sha J M, Zhang M F. Study and design of GIS-based nature reserve environment information system. *Journal of Daqing Normal University*, 2006, 26(2): 156-160.
- [27] Zhang Y L, Shang S Y, Guan R H, Yue J X, Song L J. Design of GIS for Dalinuoer nature reserve based on 3S. *Resource Development & Market*, 2009, 25(8): 679-681.
- [28] Li W J, Zhang S H. Research progress on GIS and remote sensing's application in ecological security assessment and Biodiversity conservation. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(23): 6674-6681.

参考文献:

- [21] 徐海根, 王连龙, 包浩生. 我国丹顶鹤自然保护区网络设计. *农村生态环境*, 2003, 19(4): 5-9.
- [22] 陈利顶, 傅伯杰, 刘雪华. 自然保护区景观结构设计与物种保护——以卧龙自然保护区为例. *自然资源学报*, 2000, 15(2): 164-169.
- [23] 欧阳志云, 肖懿, 王效科. 地理信息系统与自然保护区规划和管理. 北京: 化学工业出版社, 环境科学与工程出版中心, 2005.
- [24] 刘邓, 李海波, 钟伯坚, 张婉珈, 葛继稳. 石首天鹅洲六合垸扩大麋鹿栖息地初析. *环境科学与技术*, 2007, 30(2): 67-68, 76.
- [25] 蔡海生, 朱德海, 张学玲, 赵小敏. 鄱阳湖自然保护区生态承载力. *生态学报*, 2007, 27(11): 4751-4757.
- [26] 涂菁, 沙晋明, 张明峰. 基于 GIS 的自然保护区环境信息系统研究与开发. *大庆师范学院学报*, 2006, 26(2): 156-160.
- [27] 张玉龙, 尚士友, 关瑞华, 岳继雄, 宋丽军. 基于 3S 达里诺尔自然保护区地理信息系统设计. *资源开发与市场*, 2009, 25(8): 679-681.
- [28] 李文杰, 张时煌. GIS 和遥感技术在生态安全评价与生物多样性保护中的应用. *生态学报*, 2010, 30(23): 6674-6681.

CONTENTS

Marine ecological capital: valuation of standing stock of marine living resources	REN Dachuan, CHEN Shang, XIA Tao, et al (4805)
Effect of Endophytic fungi on growth and photosynthetic characteristics of <i>Achnatherum sibiricum</i>	JIA Tong, REN Anzhi, WANG Shuai, et al (4811)
Based on image processing technology estimating leaves stomatal density of <i>Populus euphratica</i> and analysis of its ecological significance	JIAN Shengqi, ZHAO Chuanyan, ZHAO Yang, et al (4818)
Evaluation of the ecological instream flow in the Yellow River basin with hydrological alterations	ZHANG Qiang, LI Jianfeng, CHEN Xiaohong, et al (4826)
The ecological effects of <i>Suaeda salsa</i> on repairing heavily degraded coastal saline-alkaline wetlands in the Yellow River Delta	GUAN Bo, YU Junbao, LU Zhaohua, et al (4835)
Toxicity risks to the closed tidal flat ecosystem of a PCBs waste savepoint at the coast of Zhejiang	HE Shanying, CHEN Kunbai (4841)
Methane emission from a <i>Carex</i> -dominated wetland in Poyang Lake	HU Qiwu, ZHU Lili, XING Ruixin, et al (4851)
The study on Ice-fish Resources in the Three Gorges Reservoir	SHAO Xiaoyang, LI Daofeng, TAN Lu, et al (4858)
Effects of acute cold stress on serum biochemical and immune parameters and liver HSP70 gene expression in GIFT strain of Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	LIU Bo, WANG Meiyao, XIE Jun, et al (4866)
Acute toxicity and effect of Cd ²⁺ on life table demography of <i>Brachionus angularis</i> and <i>Keratella valga</i>	XU Dandan, XI Yilong, MA Jie, et al (4874)
The association of BDNF gene polymorphisms with normal behavior traits in house-hold sika deer (<i>Cervus nippon</i>)	LÜ Shenjin, YANG Yan, WEI Wanhong (4881)
Characteristics and controlling factors of photosynthesis in a maize ecosystem on the North China Plain	TONG Xiaojuan, LI Jun, LIU Du (4889)
The soil macrofaunal community structure under a long-term fertilization in wheat field	GU Yanfang, ZHANG Li, DING Shengyan, et al (4900)
Effect of earthworms on the photosynthetic characteristics of wetland plants and their capacity to purify wastewater	XU Defu, LI Yingxue, WANG Ranghui, et al (4907)
Toxicity of three pesticides and their effects on carboxylesterase activity of <i>Propiloscerus akamusi</i>	FANG Guofei (4914)
Reproductive behavior character and sexual tendency of the adult <i>Zeuzera leuconotum</i> Butler (Lepidoptera: Cossidae)	LIU Jinlong, ZONG Shixiang, ZHANG Jintong, et al (4919)
Effects of herbicides stress on the population of alligator weed flea beetles, <i>Agasicles hygrophila</i> (Col.: Chrysomelidae) and corresponding strategies	LIU Yufang, PENG Meifang, WANG Chengchao, et al (4928)
Patterns of fruit and seed production and ecological significance in desert species <i>Eremosparton songoricum</i> (FABACEAE)	SHI Xiang, WANG Jiancheng, ZHANG Daoyuan, et al (4935)
Effect of different nitrogen supply on the temporal and spatial distribution and remobilization of canopy nitrogen in winter wheat under limited irrigation condition	HAO Baozhen, JIANG Lina, FANG Baoting, et al (4941)
Plant architecture characteristics of <i>Haloxylon ammodendron</i> and <i>Haloxylon persicum</i> in Zhungar Basin	WANG Lijuan, SUN Dongyuan, ZHAO Chengyi, et al (4952)
Downscaling land surface temperature based on relationship between surface temperature and vegetation index	NIE Jianliang, WU Jianjun, YANG Xi, et al (4961)
Differential characteristics of soil $\delta^{15}\text{N}$ under varying vegetation in karst areas	WANG Zhijun, LIANG Xuan, HE Qiufang, et al (4970)
Effect of nitrogen application rate on growth and leaf photosynthetic characteristics of <i>Jatropha curcas</i> L. seedlings	YIN Li, HU Tingxing, LIU Yongan, et al (4977)
Seasonal variations in leaf C, N, and P stoichiometry of typical plants in the Yangou watershed in the loess hilly gully region	WANG Kaibo, SHANGGUAN Zhouping (4985)
Clonal integration enhances the ability to scavenge reactive oxygen species in root of <i>Cynodon dactylon</i> subjected to submergence	LI Zhaojia, YU Jie, FAN Dayong, et al (4992)
Pattern of flow-covered sand-fixing woodland and its windbreak effect	YANG Wenbin, DONG Huilong, LU Qi, et al (5000)
Evaluation of soil and water conservation capacity of different forest types in Dongling Mountain	MO Fei, LI Xuyong, HE Shuxia, et al (5009)
Changes in structural components and respiration rates of coarse woody debris at the initial decomposition stage for 11 temperate tree species	ZHANG Limin, WANG Chuankuan, TANG Yan (5009)
Characteristics of nutrient cycling in first and second rotations of Chinese fir plantations	TIAN Dalun, SHEN Yan, KANG Wenxing, et al (5025)
The optimal design of a connected nature reserve network	WANG Yicheng (5033)
Sub-areas compartmentalization of Changjiang Estuary based on the natural geographical characteristics	LIU Lusan, ZHENG Binghui, MENG Wei, et al (5042)
The environmental and economic influence of coal-electricity integration exploitation in the Xilingol League	WU Di, DAI Fangzhou, YAN Yan, et al (5055)
Review and Monograph	
The influence of diversity changes of ecological conditions on the survival of honey bees	HOU Chunsheng, ZHANG Xuefeng (5061)
Scientific Note	
The spatio-temporal change in the secondary production of macrozoobenthos in the intertidal zone of Jiaozhou Bay	ZHANG Chongliang, XU Binduo, REN Yiping, et al (5071)
The studying system construction of wetland parks	WANG Lilong, LU Lin (5081)
Ecological footprint analysis of a semi-arid grassland region facilitates assessment of its ecological carrying capacity: a case study of Xilinguole League	YANG Yan, NIU Jianming, ZHANG Qing, et al (5096)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 17 期 (2011 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 17 2011

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@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.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