

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

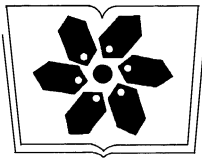
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第23期 Vol.31 No.23 **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 23 期

2011 年 12 月 (半月刊)

目 次

不同海拔高度高寒草甸光能利用效率的遥感模拟·····	付 刚,周宇庭,沈振西,等 (6989)
天山雪岭云杉大气花粉含量对气温变化的响应·····	潘燕芳,阎 顺,穆桂金,等 (6999)
春季季风转换期间孟加拉湾的初级生产力·····	刘华雪,柯志新,宋星宇,等 (7007)
降水量对川西北高寒草甸牦牛粪分解速率的影响 ·····	吴新卫,李国勇,孙书存 (7013)
基于 SOFM 网络对黄土高原森林生态系统的养分循环分类研究·····	陈 凯,刘增文,李 俊,等 (7022)
不同油松种源光合和荧光参数对水分胁迫的响应特征 ·····	王 琰,陈建文,狄晓艳 (7031)
盐生境下硅对坪用高羊茅生物学特性的影响 ·····	刘慧霞,郭兴华,郭正刚 (7039)
高温胁迫对不同种源希蒙得木叶片生理特性的影响·····	黄激激,张念念,胡庭兴,等 (7047)
黄土高原水土保持林对土壤水分的影响 ·····	张建军,李慧敏,徐佳佳 (7056)
青杨雌雄群体沿海拔梯度的分布特征·····	王志峰,胥 晓,李霄峰,等 (7067)
大亚湾西北部春季大型底栖动物群落特征·····	杜飞雁,林 钦,贾晓平,等 (7075)
湛江港湾浮游桡足类群落结构的季节变化和影响因素·····	张才学,龚玉艳,王学锋,等 (7086)
台湾海峡鲈鱼种群遗传结构·····	张丽艳,苏永全,王航俊,等 (7097)
洱海入湖河流弥苴河下游氮磷季节性变化特征及主要影响因素·····	于 超,储金宇,白晓华,等 (7104)
转基因鱼试验湖泊铜锈环棱螺种群动态及次级生产力·····	熊 晶,谢志才,蒋小明,等 (7112)
河口湿地植物活体-枯落物-土壤的碳氮磷生态化学计量特征 ·····	王维奇,徐玲琳,曾从盛,等 (7119)
EDTA 对铅锌尾矿改良土壤上玉米生长及铅锌累积特征的影响 ·····	王红新,胡 锋,许信旺,等 (7125)
不同包膜控释尿素对农田土壤氮挥发的影响·····	卢艳艳,宋付朋 (7133)
垄作栽培对高产田夏玉米光合特性及产量的影响·····	马 丽,李潮海,付 景,等 (7141)
DCE 不同施用时间对小麦生长期 N_2O 排放的影响 ·····	纪 洋,余 佳,马 静,等 (7151)
氮肥、钙肥和盐处理在冬小麦融冻胁迫适应中的生理调控作用 ·····	刘建芳,周瑞莲,赵 梅,等 (7161)
东北有机及常规大豆对环境影响的生命周期评价 ·····	罗 燕,乔玉辉,吴文良 (7170)
土壤施硒对烤烟生理指标的影响·····	许自成,邵惠芳,孙曙光,等 (7179)
不同种植方式对花生田间小气候效应和产量的影响·····	宋 伟,赵长星,王月福,等 (7188)
西花蓟马的快速冷驯化及其生态学代价·····	李鸿波,史 亮,王建军,等 (7196)
温度对麦长管蚜体色变化的影响·····	邓明明,高欢欢,李 丹,等 (7203)
不同番茄材料对 B 型烟粉虱个体发育和繁殖能力的影响 ·····	高建昌,郭广君,国艳梅,等 (7211)
基于生态系统受扰动程度评价的白洋淀生态需水研究·····	陈 贺,杨 盈,于世伟,等 (7218)
两种典型养鸡模式的能值分析 ·····	胡秋红,张力小,王长波 (7227)
四种十八碳脂肪酸抑藻时-效关系分析的数学模型设计 ·····	何宗祥,张庭廷 (7235)
流沙湾海草床重金属富集特征·····	许战州,朱艾嘉,蔡伟叙,等 (7244)
基于 QuickBird 的城市建筑景观格局梯度分析 ·····	张培峰,胡远满,熊在平,等 (7251)
景观空间异质性及城市化关联——以江苏省沿江地区为例·····	车前进,曹有挥,于 露,等 (7261)
基于 CVM 的太湖湿地生态功能恢复居民支付能力与支付意愿相关研究·····	于文金,谢 剑,邹欣庆 (7271)
专论与综述	
北冰洋海域微食物环研究进展·····	何剑锋,崔世开,张 芳,等 (7279)
城市绿地的生态环境效应研究进展·····	苏泳娴,黄光庆,陈修治,等 (7287)
城市地表灰尘中重金属的来源、暴露特征及其环境效应 ·····	方凤满,林跃胜,王海东,等 (7301)
研究简报	
三峡库区杉木马尾松混交林土壤 C、N 空间特征 ·····	林英华,汪来发,田晓堃,等 (7311)
广州小斑螟发生与环境因子的关系·····	刘文爱,范航清 (7320)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 336 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 39 * 2011-12



封面图说:黄河的宁夏段属于中国的半荒漠地区,这里气候干燥、降水极少(250mm 以下)、植被缺乏、物理风化强烈、风力作用强劲、其蒸发量超过降水量数十倍。人们从黄河中提水引水灌溉土地,就近形成了荒漠中的绿洲。有水就有生命,有水就有绿色。这种独特的条件形成了人与沙较量的生态关系——不是人逼沙退就是沙逼人退。

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

陈凯,刘增文,李俊,田楠,时腾飞. 基于 SOFM 网络对黄土高原森林生态系统的养分循环分类研究. 生态学报, 2011, 31(23): 7022-7030.

Chen K, Liu Z W, Li J, Tian N, Shi T F. SOFM-based nutrient cycling classification of forest ecosystems in the Loess Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(23): 7022-7030.

基于 SOFM 网络对黄土高原森林生态系统的养分循环分类研究

陈 凯¹, 刘增文^{2,3,*}, 李 俊², 田 楠¹, 时腾飞²

(1. 西北农林科技大学林学院, 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学资源环境学院, 杨凌 712100;

3. 农业部黄土高原农业资源与环境修复重点开放实验室, 杨凌 712100)

摘要:对森林生态系统进行分类是认识森林生态过程的根本途径,传统的从结构角度对森林生态系统分类只能反映森林的外在特征,而无法从功能角度区别森林的本质差异。通过对黄土高原 3 个生物气候区 18 个不同森林生态系统的养分循环特征测算和分析,选取了能全面反映养分的积累和分布(生物量、枯落物积累量、养分积累量)、循环通量(年吸收量、年存留量、年归还量)以及养分循环效率(循环系数、利用系数、养分生产力)等多方面指标作为分类指标体系,利用自组织映射特征网络(Self-Organizing Feature Maps, SOFM)聚类方法,从养分循环的角度将黄土高原森林生态系统划分为 2 个一级类型,6 个二级类型。该分类结果与实际较符,从而探索了森林生态系统的功能分类方法,也验证了 SOFM 网络模型应用于森林养分循环分类的可行性。

关键词:森林生态系统分类;养分循环;自组织映射特征网络

SOFM-based nutrient cycling classification of forest ecosystems in the Loess Plateau

CHEN Kai¹, LIU Zengwen^{2,3,*}, LI Jun², TIAN Nan¹, SHI Tengfei²

1 College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling 712100, China

2 College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling 712100, China

3 Key Laboratory for Agricultural Resources and Environmental Remediation in Loess Plateau of Agriculture Ministry of China, Yangling 712100, China

Abstract: The classification of forest ecosystems is fundamental for identifying forest ecological processes. Traditional methods of structural classification, such as climatic, geo-hydrologic, vegetative, and eco-systematic methods, reflect only external forest features without distinguishing essential functional differences. The functional classification of forest ecosystems would help remedy the deficiencies of traditional structural classification methods and provide a theoretical basis for forest management. Nutrient cycling, which is one of the main functions of forests, plays an important role in protecting the stability and sustainable development of forest ecosystems. An attempt to classify a forest ecosystem according to nutrient cycling processes is certainly a significant work. In this paper, nutrient cycling characteristics of 18 different forest ecosystems in 3 regions of the Loess Plateau were analyzed. The regions included the sand-blown region in the north part of the Loess Plateau, the hilly region in the middle part of the Loess Plateau, and the gullied region in the south part of the Loess Plateau. Indices of nutrient accumulation and distribution (including biomass, litter accumulation, and nutrient accumulation), nutrient cycling flux (annual absorption, retention, and return), and nutrient cycling efficiency (recycling coefficient, utilization ratio, and nutrient productivity) were calculated. Self-organizing Feature Maps (SOFM) was used

基金项目:国家自然科学基金项目(31070630)

收稿日期:2010-09-27; 修订日期:2011-03-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zengwenliu2003@yahoo.com.cn

for nutrient cycling classification. Through the analysis, two first-order classes (including I-Moderate-quick nutrient cycling and II-Slow nutrient cycling) and six second-order types were identified. The classification results were consistent with the actual forest characteristics. Furthermore, the results accurately reflected differences in nutrient cycling characteristics among the different ecosystems. A variety of indices reflecting different nutrient cycling processes were used in this classification. This approach avoided errors and made the results more reasonable. Finally, the feasibility of using SOFM for the classification of nutrient cycling in forest ecosystems has been demonstrated through this study.

Key Words: forest ecosystem classification; nutrient cycling; self-organizing feature maps networks

森林生态系统可以从结构和功能两个方面来描述,那么也可从结构和功能两种途径进行分类。传统的分类主要是从结构和影响结构的各种环境因子的角度进行的,包括气候分类法、地文分类法、植被分类法和生态系统分类法等^[1],这些分类方法只能反映森林外在的特征差异,却无法深入辨别森林的内在功能本质。但截止目前,从功能角度进行分类极为少见。Rodin 和 Bazilevich 曾根据森林生物量大小、凋落数量、凋落物化学组成和凋落物分解率等特征将全世界的植被分为 12 个主要类型^[2-3],我国也有少量的相关研究报道,但是由于选取的分类指标大多属于静态的,尚无法真正从功能上反映森林生态系统的动态过程^[4-6]。所以,探索对森林生态系统的功能分类方法,将有助于弥补传统分类方法的不足,更好地为保持森林的高生产力和永续经营提供理论指导。

养分循环是森林生态系统的主要功能之一,在维持森林生态系统的稳定与持续方面具有重要作用,所以,从养分循环角度对森林生态系统进行功能分类,无疑是一项极有意义的工作,对指导森林立地管理方法和措施具有潜在的价值。由于养分循环受到多因素的影响,建立单一指标或是多指标的简单分类方法都有一定的缺陷。SOFM(Self-Organizing Feature Maps)是 Kohonen 在 1981 年提出的一种自组织映射特征网络^[7-8],具有拓扑保持能力和自组织概率分布特性,能够处理大量的不精确、不完全的模糊信息,适用于对多维数据进行分类^[9]。所以,本项研究通过对黄土高原 3 个生物气候区的不同森林生态系统的养分循环特征测算和分析,尝试应用 SOFM 网络进行养分循环分类,以期能够更加深入地了解黄土高原不同森林生态系统养分循环的本质差异,为森林生态系统的功能分类提供一种新的思路和方法。

1 研究区概况

本研究以黄土高原北部毛乌素沙地南缘半干旱风沙区(以陕西靖边县的万亩林区为代表,属暖温带典型草原生物气候带,年降水量 316—450 mm,年均气温 7.8—9.1 ℃,土壤以黄绵沙土为主)、中部半湿润黄土丘陵区(以陕西黄陵县的双龙林场为代表,属暖温带森林草原生物气候交错带,年均温 9.4 ℃,年均降水量 630.9 mm,土壤为灰褐色森林土)和南部半湿润黄土残塬沟壑区(以陕西淳化县的英烈林场为代表,属暖温带半湿润森林草原过度带的南缘,年平均雨量 600.6 mm,年平均气温 10.5 ℃,土壤为褐色土类的白塔土亚类)的主要森林类型为对象,具体包括 20—29 年生油松(*Pinus tabulaeformis*)、25 年生樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)、24 年生侧柏(*Platycladus orientalis*)、29 年生华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)、20—23 年生小叶杨(*Populus simonii*)、15—22 年生刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、36 年生辽东栎(*Quercus liaotungensis*)、35 年生白桦(*Betula platyphylla*)、55 年生旱柳(*Salix matsudana*)、11 年生沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、8 年生柠条(*Caragana microphylla*)、8 年生紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)等。

2 研究方法

2.1 森林生物量及养分循环特征测算

(1)森林生物量测算 分别在黄土高原 3 个不同生物气候区,于秋季旺盛生长的末期,针对进入稳定生长期的主要乔木林和灌木林,选择具有典型代表性的立地条件,分别每个树种建立 20 m × 20 m 的 3 块标准地(乔木林地)或 5 m × 5 m 的 3 块样方(灌木林地),调查森林的立地因子(地貌部位、坡向、坡度、土层厚度等)、生长因子(平均密度、树龄、株高、胸(地)径、冠幅等)。林分生物量和生产力的测算应用标准株(枝)收

获法或其他学者所得出的预测模型(即根据平均树高(H)、平均胸径(D)代入测算模型求出各树木器官的单株生物量,乘以林分密度即得单位面积上的生物量。此外,根据实测胸径、树高的连年生长量指标,同理可得出各器官的生物量年增长,即林分净生产力指标)进行测算。

(2) 树木和土壤养分含量取样测定 在每个标准地或样方内,选择生长正常的标准株(2—4株)作为取样木,采集树木树冠中部不同方向的叶、枝(分1—2年生幼枝,多年生老枝),胸高处不同方向干材、干皮,根系(分 <0.5 cm细根和 >0.5 cm粗根)混合样品;枯落物直接以5个 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 样方法测定枯落物积累量,同时采集当年刚刚凋落尚未分解枯落叶;根系通过挖掘法采集。所有植物样品用清水漂洗后迅速风干、粉碎过 1 mm 筛备用。同时,在所建立的标准地和样方内,均匀设置5个 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 大小的小样方,清理枯落物层(包括半分解层)后收集每个样方0—10 cm、10—20 cm的土壤,然后将5个样方的土壤充分混合,除去叶子、根系、石块等杂物后保留约3 kg左右风干、磨碎过孔径 1 mm 的土壤筛备用。所有树木和土壤样品的养分含量均按照常规方法测定,即氮采用半微量凯氏定氮法测定,磷采用钼蓝比色法测定,钾采用火焰光度计法测定。测定均采用3次重复(误差不超过5%)的平均值。

(3) 养分积累和循环通量测算 养分在植物器官和枯落物中的积累量直接以生物量与其养分含量的乘积进行计算。养分在土壤中的积累量(土壤贮量)以0—40 cm土层土壤质量(土壤体积与土壤容重的乘积)与平均养分含量的乘积计算。养分循环通量根据“吸收=存留+归还”的平衡关系,首先计算植物年存留量、年凋落归还量,然后直接计算年吸收量。其中,年存留的测算通过年存留生物量与其养分含量的乘积进行计算;年凋落归还量通过年凋落物量与当年凋落物中的养分含量的乘积进行计算。

2.2 养分循环分类指标体系的建立

反映森林生态系统养分循环过程的指标较多,简单地选择某几个指标并不能反映出整个养分循环过程的本质规律。因此本文主要从能全面反映养分的积累和分布(生物量、枯落物积累量、主要营养元素的积累量)、循环通量(年吸收量、年存留量、年归还量)以及养分循环效率(循环系数、利用系数、养分生产力)等多方面选取指标作为分类指标体系^[5,10]。其中,养分循环系数是单位时间、单位面积植物某元素归还量与相应吸收量之比^[5]。养分利用系数为单位时间、单位面积植物所吸收的某种养分的量与存在于植物现存量中相应养分总量之比,反映了生态系统养分存贮速率的大小,该值越大表明植物对该养分的贮存能力越大^[10]。养分生产力(t/kg)是指植物从土壤吸收单位重量养分所能生产的生物量干重^[1]。本次研究中共包含了18个不同森林类型、26个反映养分循环过程的指标数据,构成了 18×26 维的数据矩阵。

2.3 数据的处理

SOFM是一种神经网络聚类方法,它以无教师监督的方式进行网络训练,通过网络结构的自组织从大量输入数据中发现并抽取其内在的特征,在网络输出结点权向量空间上形成输入数据分布拓扑图,反映输入数据的某种分布规律,能自动对输入模式进行聚类^[11]。由于其特有的优势,SOFM网络被应用在众多分类研究中^[8-9,12-15]。SOFM网络模型的学习算法分为以下几步^[16]:

(1) 初始化权重系数, $[W_{ij}]$ 赋予 $[0,1]$ 区间的随机值,选择邻域半径 r ,以及学习速率 $\eta(t)$ 。

(2) 输入样本 P_k ,并对权重矢量作归一化处理。

(3) 计算 W_{ij} 与 P_k 间的欧氏距离,找出最小的距离 d_g ,确定获胜神经元 g 。

$$d_g = \min[d_j], j = 1, 2, \dots, M$$

(4) 调整处于获胜神经元邻域内的所有神经元。

(5) 更新学习速率 $\eta(t)$ 和拓扑邻域 $N_g(t)$ 。

$\eta(t) = \eta(0) \left[1 - \frac{t}{T}\right]$, 式中, $\eta(0)$ 为初始学习率; t 为学习次数; T 为总的学习次数。

$N_g(t) = \text{INT}\left\{N_g(0) \left[1 - \frac{t}{T}\right]\right\}$, 式中, $N_g(0)$ 为 $N_g(t)$ 的初始值。

(6) 重复上述第(3)到第(5)步,直至满足停止条件(例如最大的迭代纪元数)。

通过训练,最终输出层中的获胜神经元及其邻域内的权值向量逼近输入矢量,实现了模式分类。具体的 SOFM 网络模型原理及学习算法参见 Matlab 软件中关于神经网络工具箱的使用说明。

3 结果与分析

本次研究中共包含了 3 个研究区的 18 个不同森林类型和 26 个反映养分循环过程的指标数据,构成了 18×26 维的数据矩阵,表 1 列出了全部的养分循环特征值。

将反映养分循环过程的指标数据以多维矩阵读入 Matlab 数据处理软件中,由于基础数据具有不同的量纲,数值的差异也较大,因此需首先对基础数据进行标准化处理。进入 Matlab 神经网络工具箱(NNtool),选择 SOFM 网络类型,拓扑函数选择 hextop,距离函数选择 linkdist,排列阶段学习速率取默认值 0.1,排列阶段学习次数设 5000 次,调整阶段学习速率取默认值 0.02,调整阶段邻域半径取默认值 1.0。竞争层神经元个数从 $S=2$ 开始,然后依次加 1 直至 $S=10$,从不同的分类结果来看,考虑黄土高原地区各林区的实际情况,当 $S=2$ 和 $S=6$ 时,划分的类别数目比较显著。因此,采用二级分类法,当 $S=2$ 时,把全部森林生态系统分为两大类作为一级分类;当 $S=6$ 时,把各森林生态系统进行类别细分为 6 大类作为二级分类(表 2)。其中,一级类型从整体上把 3 个研究区的 18 个不同森林生态系统划分为两大类,分为养分循环速率快型和养分循环速率慢型。6 个二级类型是一级类型的细分,更能揭示出不同树种森林生态系统养分循环的差异特征,其分类结果与实际较符合。

当采用一级分类时,共分为两大类型。第 I 类型中的林型主要为黄陵和淳化的森林,第 II 型中的林型主要为靖边的森林。第 I 类森林的生物量及主要营养元素的养分循环特征值明显比第 II 类的值大,表明两个一级类型间差异性显著,从总体上把系统区分为两大类是比较合理的。第 I 类中生物量高,土壤贮量大,营养元素积累量大,养分循环速率快,养分利用系数较高;而第 II 类中的森林只有养分生产力值比第 I 类型的高,其它值都偏低,属于养分节约型。

当采用二级分类时,一共分为六大类,由表 1 和表 2 可知,各类型特征如下:

I-1 养分快速循环—中等利用系数—低生产力型 本类别中的林型有:淳化油松林,黄陵油松林,靖边小叶杨林,靖边刺槐林。此类森林生态系统的主要营养元素的循环系数和利用系数较高,分别平均在 0.550—0.756 和 0.116—0.206 之间,养分生产力值在 0.151—0.346 t/kg 之间,说明该类型森林生态系统主要营养元素在系统中循环速率较快,养分的贮存能力较强,但养分的生产力较低,属于养分浪费型生态系统。淳化和黄陵两区的油松林地枯落物积累量和土壤养分贮量较大,与张希彪等研究的结果相似^[17];而靖边的小叶杨和刺槐林恰好相反,主要原因是两林地处于风沙区,枯落物的积累及土壤养分贮量较低。同一类型中虽然不同森林养分循环特征值有一些差异较大,不过对于整体分类效果影响不大。

I-2 养分快速循环—高利用系数—低生产力型 本类型包括黄陵的小叶杨林,淳化和黄陵的刺槐林。此类型森林的生物量、主要营养元素的积累量和土壤贮量都较高,林木生长较快。尤其是刺槐林养分循环活跃,年吸收量与年归还量都高,年吸收量在 155.918—240.106 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 之间,年归还量在 132.23—176.75 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 之间,循环系数分别为 0.749 和 0.862,利用系数为所有类型当中最高,其值分别为 0.294 和 0.313。

I-3 养分快速循环—低利用系数—低生产力型 本类型包括淳化和黄陵的侧柏森林生态系统,养分循环快,利用系数低,主要营养元素的积累量也较低。其生物量分别为 67.825 t/hm² 和 122.13 t/hm²,养分循环系数分别为 0.633 和 0.667。

I-4 养分中速循环—低利用系数—低生产力型 黄陵的白桦林和辽东栎林划为此类型,生物量分别高达 136.677 t/hm² 和 182.785 t/hm²,主要营养元素的积累量分别为 1015.131 kg/hm² 和 1498.354 kg/hm²,养分的利用系数较低,平均值分别为 0.070 和 0.049。由于白桦林和辽东栎林的树龄在 35a 以上,生物量较高,营养元素的积累量大,而养分的贮存能力较低。

表 2 基于 SOFM 网络对黄土高原森林生态系统的养分循环分类结果

Table 2 Nutrient cycling classification of forest ecosystems in the Loess Plateau based on SOFM

养分循环分类 Nutrient cycle classification		所含森林类型 Included forests
I	I -1	养分快速循环—中等利用系数—低生产力型 Nutrients quick cycling—moderate utilization coefficient—low productivity 淳化油松林 (<i>P. tabulaeformis</i> forest in Chunhua), 黄陵油松林 (<i>P. tabulaeformis</i> forest in Huangling), 靖边小叶杨林 (<i>P. simonii</i> forest in Jingbian), 靖边刺槐林 (<i>R. pseudoacacia</i> forest in Jingbian)
	I -2	养分快速循环—高利用系数—低生产力型 Nutrients quick cycling—high utilization coefficient—lower productivity 黄陵小叶杨林 (<i>P. simonii</i> forest in Huangling), 黄陵刺槐林 (<i>R. pseudoacacia</i> forest in Huangling), 淳化刺槐林 (<i>R. pseudoacacia</i> forest in Chunhua)
	I -3	养分快速循环—低利用系数—低生产力型 Nutrients quick cycling—low utilization coefficient—low productivity 淳化侧柏林 (<i>P. orientalis</i> forest in Chunhua), 黄陵侧柏林 (<i>P. orientalis</i> forest in Huangling)
	I -4	养分中速循环—低利用系数—低生产力型 Nutrients moderate cycling—low utilization coefficient—low productivity 黄陵白桦林 (<i>B. platyphylla</i> forest in Huangling), 黄陵辽东栎林 (<i>Q. liaotungensis</i> forest in Huangling)
II	II -1	养分慢速循环—低利用系数—高生产力型 Nutrients slow cycling—low utilization coefficient—high productivity 靖边油松林 (<i>P. tabulaeformis</i> forest in Jingbian), 靖边旱柳林 (<i>S. matsudana</i> forest in Jingbian), 黄陵华北落叶松林 (<i>L. principis-rupprechtii</i> forest in Huangling), 靖边樟子松林 (<i>P. sylvestris</i> var. <i>mongolica</i> forest in Jingbian), 靖边沙棘林 (<i>H. rhamnoides</i> forest in Jingbian)
	II -2	养分慢速循环—中等利用系数—低生产力型 Nutrients slow cycling—moderate utilization coefficient—low productivity 靖边紫穗槐林 (<i>A. fruticosa</i> forest in Jingbian), 靖边柠条林 (<i>C. microphylla</i> forest in Jingbian)

II -1 养分慢速循环—低利用系数—高生产力型

此类型与其他类别特征差异较大,最容易区分,其中包括黄陵的落叶松林和靖边的油松林,旱柳林,樟子松林和沙棘森林。由于风沙区与丘陵和沟壑区地型、土壤、气候等差异较大,所以此类型作为一类是合理的。从此类型的养分循环特征值可以看出,除了养分生产力比较高以外,其他值都普遍较低。养分生产力约为 0.395—0.702 t/kg,枯落物量为 0.05—1.65 t/hm²,循环系数为 0.075—0.399,利用系数为 0.020—0.098,此类型森林生态系统中主要营养元素的循环速率慢,林木生长缓慢,养分的贮存能力低,但该类型森林生态系统从土壤吸收单位的养分所生产的木材干物质质量较高,这也很好地说明了风沙区森林生态系统养分循环过程的特征规律。

II -2 养分慢速循环—中等利用系数—高生产力型

此类林型有靖边的紫穗槐和柠条灌木林,与第 II -1 类相近。但该类型养分生产力较低而利用系数却较高,其值分别为 0.176—0.372 和 0.161—0.227。

4 结论

(1)从养分循环的角度对森林生态系统进行分类是可行的,结合 SOFM 网络模型,采用二级分类法,最终将结果划分为 2 个一级类型和 6 个二级类型,分类的结果较好地反映出不同生态系统的养分循环特征差异规律。其中 I -1 型与 I -2 型森林生态系统都是养分循环速率快,利用系数高,养分积累量大,林木生长迅速且良好,主要树种包括刺槐、小叶杨和油松。

(2)在构建分类指标体系时,考虑从养分循环过程的多个方面选取指标,避免了简单地选择某几个指标对于分类结果的误差影响,使分类结果更趋合理。

(3)结合 SOFM 网络模型对复杂数据的自动有效分类特征,从养分循环的角度对森林生态系统进行聚类划分,与传统数学分类方法相比,操作过程简单易行而且更为客观。最终的划分结果也较好地反映出各森林生态系统的养分循环特征规律,表明 SOFM 网络模型是一种有效的养分循环分类方法。

5 讨论

由 SOFM 网络分类结果的分析表明,该模型能够较好地对森林生态系统养分循环进行分类研究。本文采用的是二级分类法,将 3 个研究区 18 个不同森林生态系统划分为 2 个一级类型,6 个二级类型。两个一级类

型很好地反映出 3 个研究区在养分循环特征规律上的总体差异点,两个一级类型间的养分循环特征值差异明显,这可能与受气候及土壤条件等的影响有关。靖边的万亩林区年降水量为 316—450 mm,土壤以黄绵沙土为主,而双龙林区与英烈林区的年降水量在 600 mm 左右,土壤以褐色土类为主。在一级类型的基础上,再划分出 6 个二级类型,进一步揭示出不同生态系统的养分循环规律特征。分类的总体来看,油松林、小叶杨林和刺槐林生长快,养分积累量大,循环速率快,这也与林木生长实际相符^[18-20]。刺槐为黄土高原重要的水土保持树种,同时也是固氮树种之一^[21],所以土壤贮量和利用系数高,表明刺槐贮存养分的能力强。本文研究中刺槐的枯落物积累量和年归还量明显比其他树种的值高,这与何兴元等的研究相符^[22]。沙棘、紫穗槐和柠条也是固氮树种^[23-24],但在研究中其系统养分循环特征值与风沙区的其他树种相比差异不大。在实际营林管理中,应了解各树种的生物学及生态学特性,合理实施针阔林混交、固氮树种与非固氮树种混交种植模式,促进林业持续发展。

物质循环是森林生态系统的主要功能之一,其中养分循环在维持森林生态系统的稳定与持续方面具有重要作用^[25]。本文结合 SOFM 网络模型对复杂数据的自动有效分类特征,从养分循环的角度对森林生态系统采用数量分类法,所划分的结果是合理的。SOFM 网络是一种有效的数据处理模型,只需要把数据读入模型并设置好参数,网络就自动给出分类结果,与传统的数学聚类方法相比,操作简单易行。由于 SOFM 网络模型划分类型的数目由人确定,最后的分类结果需要研究者根据专业知识和研究经验加以判断,带有一定的主观性,这是数学方法所不能替代的^[9]。通过模拟人脑的自学习、自组织过程,能自动的识别众多因子并判断归类,与传统的依据具体指标数值去划分类别相比,基于 SOFM 网络的分类方法是比较客观的。从生态学的意义上说,SOFM 网络模型是一种非常有效的养分循环分类方法。SOFM 网络模型在数量分类方法中的应用已越来越广泛,通过构建 SOFM 网络模型对森林生态系统进行养分循环分类研究只是一种初步尝试,今后还应进一步完善指标体系的选取及加大样本输入,使网络有更大的适应性和稳定性。

References:

- [1] Liu Z W, Wang N J, Li Y S, Lu Y L. Nutritional principle of forest ecosystem stability. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry (Natural Science Edition)*, 2006, 34(12): 129-134.
- [2] Chapin F S. The mineral nutrition of wild plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1980, 11: 233-260.
- [3] Bazilevich N I, Rodin L Y. Geographical regularities in productivity and the circulation of chemical elements in the Earth's main vegetation types. *Soviet Geography (Review and Translation)*, 1971, 12(1): 24-53.
- [4] Hou X Y. *Biogeography and the Dominant Biochemical Elements of China*. Beijing: Science Press, 1982.
- [5] Chen L Z, Huang J H, Yan C R. *Nutrient cycling of forest ecosystems in China*. Beijing: China Meteorological Press, 1997.
- [6] Hu N, Fan Y L, Ding S Y, Lu X L. Classification of plant functional types based on dominant tree species in the forest ecosystem at Funiu Mountain National Reserve, East China. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(5): 1104-1115.
- [7] Kohonen T. *Self-Organizing Maps*. 2nd Edition Berlin Heidelberg, New York: Springer-Vedag, 1997.
- [8] Ye M T, Wang Y L, Peng J, Wu J S. Classification of land use degree in Yunnan province based on SOFM networks. *Progress in Geography*, 2007, 26(2): 97-105.
- [9] Zhang J T, Yang H X. Application of self-organizing neural networks to classification of plant communities in Pangquangou Nature Reserve, North China. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(3): 1005-1010.
- [10] Zhang X B, Shangguan Z P. The bio-cycle patterns of nutrient elements and stand biomass in forest communities in Hilly Loess Regions. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3): 527-537.
- [11] Ni B X, Zhang L F, Yao M. Clustering analysis based on SOFM network. *Computer Engineering and Design*, 2006, 27(5): 855-856.
- [12] Li S C, Zheng D, Zhang Y L. Application of SOFM neural network to ecological assets regionalization in Qinghai-Tibet Plateau. *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(6): 750-756.
- [13] Li S C, Wu S H, Dai E F. Assessing the fragility of ecosystem using artificial neural network model. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3): 621-626.
- [14] Cai B F, Mu B, Fang H, Cui Y. Ecological sensitivity division based on SOM — a case study of Fangshan district in Beijing. *China Environmental Science*, 2008, 28(4): 375-379.

- [15] Mi X C, Ma K P, Zou Y B. Artificial neural network and its application in agricultural and ecological research. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(5): 863-870.
- [16] Lin J S, Lin M. Research in clustering of SOFM neural network. *Modern Electronics Technique*, 2006, 29(24): 41-43.
- [17] Zhang X B, Shangguan Z P. Nutrient distributions and bio-cycle patterns in both natural and artificial *Pinus tabulaeformis* forests in Hilly Loess Regions. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(2): 373-382.
- [18] Tang D R, Zhang Y. The growing regularity of *Populus simonii* in Gully Rolling region of Shaanxi Loess Plateau. *Journal of Northwest Forestry University*. 2000, 15(1):15-19.
- [19] Wu G, Feng Z W. Study on the social characteristics and biomass of the *Pinus tabulaeformis* forest systems in China. *Acta Ecologica Sinica*. 1994, 14(4): 415-422.
- [20] LIU Z W, LI Y S. Nutrient cycling and balance analysis of black locust forest ecosystem in gullied loess plateau area. *Acta Ecologica Sinica*. 1999, 19(5): 630-634.
- [21] Liu G F, Deng T X. A study on ecological characteristics of locust nodulation and nitrogen fixation. *Acta Ecologica Sinica*, 1991, 11(3): 280-285.
- [22] He X Y, Zhao S Q, Yang S H, Tian C J. Role of nitrogen-fixing trees in mixed forest III. Leaf litter decomposition and its N release of nitrogen-fixing tree. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(4): 404-406.
- [23] Song F Q, Meng J X, Zou H, Zhao X J, Feng L. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the ability of nitrogen fixation of *Amorpha fruticosa*. *Forestry Science & Technology*, 2009, 34(5): 25-28.
- [24] Bai J J, Shi Q L. A comparative analysis on resources characteristics of symbiotic nitrogen fixation strains of Peashrub and Hippophae. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*. 2008, 36(9):49-52.
- [25] Yi S D. Compare study on nutrient ecology of *Pinus koraiensis* and *Larix olgensis* plantation ecosystems. *Northeast Forestry University*. 2004.

参考文献:

- [1] 刘增文, 王乃江, 李雅素, 吕月玲. 森林生态系统稳定性的养分原理. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2006, 34(12): 129-134.
- [4] 侯学煜. 中国植被地理及优势植物化学成分. 北京: 科学出版社, 1982.
- [5] 陈灵芝, 黄建辉, 严昌荣. 中国森林生态系统养分循环. 北京: 气象出版社, 1997.
- [6] 胡楠, 范玉龙, 丁圣彦, 卢训令. 伏牛山自然保护区森林生态系统乔木植物功能型分类. *植物生态学报*, 2008, 32(5): 1104-1115.
- [8] 叶敏婷, 王仰麟, 彭建, 吴健生. 基于 SOFM 网络的云南省土地利用程度类型划分研究. *地理科学进展*, 2007, 26(2): 97-105.
- [9] 张金屯, 杨洪晓. 自组织特征人工神经网络在庞泉沟自然保护区植物群落分类中的应用. *生态学报*, 2007, 27(3): 1005-1010.
- [10] 张希彪, 上官周平. 黄土丘陵区主要林分生物量及营养元素生物循环特征. *生态学报*, 2005, 25(3): 527-537.
- [11] 倪步喜, 章丽英, 姚敏. 基于 SOFM 网络的聚类分析. *计算机工程与设计*, 2006, 27(5): 855-856.
- [12] 李双成, 郑度, 张德铨. 青藏高原生态资产地域划分中的 SOFM 网络技术. *自然资源学报*, 2002, 17(6): 750-756.
- [13] 李双成, 吴绍洪, 戴尔阜. 生态系统响应气候变化脆弱性的人工神经网络模型评价. *生态学报*, 2005, 25(3): 621-626.
- [14] 蔡博峰, 穆彬, 方皓, 崔艳. 基于自组织神经网络的生态敏感性分区——以北京市房山区为例. *中国环境科学*, 2008, 28(4): 375-379.
- [15] 米湘成, 马克平, 邹应斌. 人工神经网络模型及其在农业和生态学研究中的应用. *植物生态学报*, 2005, 29(5): 863-870.
- [16] 林金山, 林敏. 神经网络的特征映射聚类算法研究. *现代电子技术*, 2006, 29(24): 41-43.
- [17] 张希彪, 上官周平. 黄土丘陵区油松人工林与天然林养分分布和生物循环比较. *生态学报*, 2006, 26(2): 373-382.
- [18] 唐德瑞, 张燕. 陕西黄土高原沟壑区小叶杨生长规律初步研究. *西北林学院学报*, 2000, 15(1): 15-19.
- [19] 吴刚, 冯宗炜. 中国油松林群落特征及生物量的研究. *生态学报*, 1994, 14(4): 415-422.
- [20] 刘增文, 李雅素. 黄土残塬沟壑区刺槐人工林生态系统的养分循环通量与平衡分析. *生态学报*, 1999, 19(5): 630-634.
- [21] 刘国凡, 邓廷秀. 刺槐结瘤固氮生态特性的研究. *生态学报*, 1991, 11(3): 280-285.
- [22] 何兴元, 赵淑清, 杨思河, 田春杰. 固氮树种在混交林中的作用研究 III. 固氮树种凋落物分解及 N 的释放. *应用生态学报*, 1999, 10(4): 104-406.
- [23] 宋福强, 孟剑侠, 周宏, 赵晓娟, 冯乐. 丛枝菌根真菌对紫穗槐固氮能力的影响. *林业科技*, 2009, 34(5): 25-28.
- [24] 白建军, 史清亮. 柠条与沙棘共生固氮菌资源特性对比分析. *山西农业科学*, 2008, 36(9): 49-52.
- [25] 尹守东. 红松和落叶松人工林养分生态学比较研究. *东北林业大学*, 2004.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 23 December, 2011 (Semimonthly)
CONTENTS

Satellite-based modelling light use efficiency of alpine meadow along an altitudinal gradient	
.....	FU Gang, ZHOU Yuting, SHEN Zhenxi, et al (6989)
Changes in the concentrations of airborne <i>Picea schrenkiana</i> pollen in response to temperature changes in the Tianshan Mountain area	PAN Yanfang, YAN Shun, MU Guijin, et al (6999)
Primary production in the Bay of Bengal during spring intermonsoon period	
.....	LIU Huaxue, KE Zhixin, SONG Xingyu, et al (7007)
Effect of rainfall regimes on the decomposition rate of yak dung in an alpine meadow of northwest Sichuan Province, China	
.....	WU Xinwei, LI Guoyong, SUN Shucun (7013)
SOFM-based nutrient cycling classification of forest ecosystems in the Loess Plateau	
.....	CHEN Kai, LIU Zengwen, LI Jun, et al (7022)
Characterization of the responses of photosynthetic and chlorophyll fluorescence parameters to water stress in seedlings of six provenances of Chinese Pine (<i>Pinus tabulaeformis</i> Carr.)	WANG Yan, CHEN Jianwen, et al (7031)
Effect of silicon supply on Tall Fescue (<i>Festuca arundinacea</i>) growth under the salinization conditions	
.....	LIU Huixia, GUO Xinghua, GUO Zhenggang (7039)
Effects of high-temperature stress on physiological characteristics of leaves of <i>Simmondsia Chinensis</i> seedlings from different provenances	HUANG Weiwei, ZHANG Niannian, HU Tingxing, et al (7047)
Soil moisture dynamics of water and soil conservation forest on the Loess Plateau	ZHANG Jianjun, LI Huimin, XU Jiajia (7056)
The distribution of male and female <i>Populus cathayana</i> populations along an altitudinal gradient	
.....	WANG Zhifeng, XU Xiao, LI Xiaofeng, et al (7067)
Analysis on the characteristics of macrobenthic community in the North-west Daya Bay of South China Bay in spring	
.....	DU Feiyan, LIN Qin, JIA Xiaoping, et al (7075)
The effects of season and environmental factors on community structure of planktonic copepods in Zhanjiang Bay, China	
.....	ZHANG Caixue, GONG Yuyan, WANG Xuefeng, et al (7086)
Population genetic structure of <i>Pneumatophorus japonicus</i> in the Taiwan Strait	
.....	ZHANG Liyan, SU Yongquan, WANG Hangjun, et al (7097)
Seasonal variation of nitrogen and phosphorus in Miju River and Lake Erhai and influencing factors	
.....	YU Chao, CHU Jinyu, BAI Xiaohua, et al (7104)
Population dynamics and production of <i>Bellamya aeruginosa</i> (Reeve) (Mollusca: Viviparidae) in artificial lake for transgenic fish, Wuhan	XIONG Jing, XIE Zhicai, JIANG Xiaoming, et al (7112)
Carbon, nitrogen and phosphorus ecological stoichiometric ratios among live plant-litter-soil systems in estuarine wetland	
.....	WANG Weiqi, XU Linglin, ZENG Congsheng, et al (7119)
Effects of EDTA on growth and lead-zinc accumulation in maize seedlings grown in amendment substrates containing lead-zinc tailings and soil	WANG Hongxin, HU Feng, XU Xinwang, et al (7125)
Effects of different coated controlled-release urea on soil ammonia volatilization in farmland	LU Yanyan, SONG Fupeng (7133)
Effects of ridge planting on the photosynthetic characteristics and yield of summer maize in high-yield field	
.....	MA Li, LI Chaohai, FU Jing, et al (7141)
Effect of timing of DCD application on nitrous oxide emission during wheat growing period	
.....	JI Yang, YU Jia, MA Jing, et al (7151)
The role of the fertilizing with nitrogen, calcium and sodium chloride in winter wheat leaves adaptation to freezing-thaw stress	
.....	LIU Jianfang, ZHOU Ruilian, ZHAO Mei, et al (7161)
Environment impact assessment of organic and conventional soybean production with LCA method in China Northeast Plain	
.....	LUO Yan, QIAO Yuhui, WU Wenliang (7170)
Effects of selenium added to soil on physiological indexes in flue-cured tobacco	
.....	XU Zicheng, SHAO Huifang, SUN Shuguang, et al (7179)
Influence of different planting patterns on field microclimate effect and yield of peanut (<i>Arachis hypogaea</i> L.)	
.....	SONG Wei, ZHAO Changxing, WANG Yuefu, et al (7188)
Rapid cold hardening of Western flower thrips, <i>Frankliniella occidentalis</i> , and its ecological cost	
.....	LI Hongbo, SHI Liang, WANG Jianjun, et al (7196)

- Effects of temperature on body color in *Sitobion avenae* (F.) DENG Mingming, GAO Huanhuan, LI Dan, et al (7203)
- Development and reproduction of *Bemisia tabaci* biotype B on wild and cultivated tomato accessions
..... GAO Jianchang, GUO Guangjun, GUO Yanmei, et al (7211)
- Study on ecological water demand based on assessment of ecosystem disturbance degree in the Baiyangdian Wetland
..... CHEN He, YANG Ying, YU Shiwei, et al (7218)
- Emergy-based analysis of two chicken farming systems: a perspective of organic production model in China
..... HU Qiuhong, ZHANG Lixiao, WANG Changbo (7227)
- Mathematical model design of time-effect relationship analysis about the inhibition of four eighteen-carbon fatty acids on toxic
Microcystis aeruginosa HE Zongxiang, ZHANG Tingting (7235)
- Enrichment of heavy metals in the seagrass bed of Liusha Bay XU Zhanzhou, ZHU Aijia, CAI Weixu, et al (7244)
- A gradient analysis of urban architecture landscape pattern based on QuickBird imagery
..... ZHANG Peifeng, HU Yuanman, XIONG Zaiping, et al (7251)
- Landscape spatial heterogeneity is associated with urbanization: an example from Yangtze River in Jiangsu Province
..... CHE Qianjin, CAO Youhui, YU Lu, et al (7261)
- CVM for Taihu Lake based on ecological functions of wetlands restoration, and ability to pay and willingness to pay studies
..... YU Wenjin, XIE Jian, ZOU Xinqing (7271)
- Review and Monograph**
- Progress in research on the marine microbial loop in the Arctic Ocean HE Jianfeng, CUI Shikai, ZHANG Fang, et al (7279)
- Research progress in the eco-environmental effects of urban green spaces
..... SU Yongxian, HUANG Guangqing, CHEN Xiuzhi, et al (7287)
- Source, exposure characteristics and its environmental effect of heavy metals in urban surface dust
..... FANG Fengman, LIN Yuesheng, WANG Haidong, et al (7301)
- Scientific Note**
- Spatial structures of soilcarbon and nitrogen of China fir and Masson pine mixed forest in the Three Gorger Reservoir Areas
..... LIN Yinghua, WANG Laifa, TIAN Xiaokun, et al (7311)
- The relationship between *Oligochroa cantonella* Caradja and environmental factors LIU Wenai, FAN Hangqing (7320)

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 23 期 (2011 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 23 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