

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

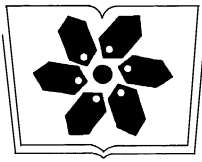
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第5期 Vol.33 No.5 **2013**

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 33 卷 第 5 期 2013 年 3 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 氮沉降对森林土壤有机质和凋落物分解的影响及其微生物学机制..... 王晶苑,张心昱,温学发,等 (1337)
- 工业大麻对重金属污染土壤的治理研究进展..... 梁淑敏,许艳萍,陈 裕,等 (1347)
- 最佳管理措施评估方法研究进展..... 孟凡德,耿润哲,欧 洋,等 (1357)
- 灌木年轮学研究进展..... 芦晓明,梁尔源 (1367)

个体与基础生态

- 华北落叶松夜间树干液流特征及生长季补水格局..... 王艳兵,德永军,熊 伟,等 (1375)
- 土壤干旱胁迫对沙棘叶片光合作用和抗氧化酶活性的影响..... 裴 斌,张光灿,张淑勇,等 (1386)
- 湖北石首麋鹿昼间活动时间分配..... 杨道德,李竹云,李鹏飞,等 (1397)
- 三种杀虫剂亚致死浓度对川硬皮肿腿蜂繁殖和搜寻行为的影响..... 杨 桦,杨 伟,杨春平,等 (1405)

种群、群落和生态系统

- 三沙湾浮游动物生态类群演替特征..... 徐佳奕,徐兆礼 (1413)
- 滇西北高原纳帕海湿地湖滨带优势植物生物量及其凋落物分解..... 郭绪虎,肖德荣,田 昆,等 (1425)
- 安徽新安江干流滩涂湿地草本植物区系及物种多样性 杨文斌,刘 坤,周守标 (1433)
- 湿地芦苇根结合好气细菌群落时空分布及其与水质因子的关系 熊 薇,郭逍宇,赵 霏 (1443)
- 三种温带树种叶片呼吸的时间动态及其影响因子..... 王兆国,王传宽 (1456)
- 不同土壤水分条件下杨树人工林水分利用效率对环境因子的响应..... 周 洁,张志强,孙 阁,等 (1465)
- 不同生态区域沙地建群种油蒿的钙组分特征 薛莘莘,高玉葆,何兴东 (1475)
- 藏北高寒草甸植物群落对土壤线虫群落功能结构的影响 薛会英,胡 锋,罗大庆 (1482)
- 铜尾矿废弃地土壤动物多样性特征..... 朱永恒,沈 非,余 健,等 (1495)
- 环丙沙星对土壤微生物量碳和土壤微生物群落碳代谢多样性的影响 ... 马 驿,彭金菊,王 芸,等 (1506)
- 基于生态水位约束的下辽河平原地下水生态需水量估算 孙才志,高 颖,朱正如 (1513)

景观、区域和全球生态

- 佛山市高明区生态安全格局和建设用地扩展预案..... 苏泳娴,张虹鸥,陈修治,等 (1524)
- 不同护坡草本植物的根系特征及对土壤渗透性的影响 李建兴,何丙辉,湛 芸 (1535)
- 京沪穗三地近十年夜间热力景观格局演变对比研究..... 孟 丹,王明玉,李小娟,等 (1545)
- 窟野河流域河川基流量变化趋势及其驱动因素..... 雷泳南,张晓萍,张建军,等 (1559)
- 模拟氮沉降条件下木荷幼苗光合特性、生物量与 C、N、P 分配格局..... 李明月,王 健,王振兴,等 (1569)
- 铁炉渣施加对稻田甲烷产生、氧化与排放的影响 王维奇,李鹏飞,曾从盛,等 (1578)

资源与产业生态

- 食用黑粉菌侵染对茭白植株抗氧化系统和叶绿素荧光的影响..... 闫 宁,王晓清,王志丹,等 (1584)

佛手低温胁迫相关基因的差异表达..... 陈文荣,叶杰君,李永强,等 (1594)

美洲棘蓟马对不同蔬菜寄主的偏好性..... 朱 亮,石宝才,官亚军,等 (1607)

茉莉酸对棉花单宁含量和抗虫相关酶活性的诱导效应 杨世勇,王蒙蒙,谢建春 (1615)

造纸废水灌溉对毛白杨苗木生长及养分状况的影响..... 王 焱,席本野,崔向东,等 (1626)

基于数据包络分析的江苏省水资源利用效率..... 赵 晨,王 远,谷学明,等 (1636)

研究简报

太岳山不同郁闭度油松人工林降水分配特征..... 周 彬,韩海荣,康峰峰,等 (1645)

基于 TM 卫星影像数据的北京市植被变化及其原因分析 贾宝全 (1654)

薇甘菊萎蔫病毒感染对薇甘菊光合特性和 4 种酶活性的影响..... 王瑞龙,潘婉文,杨娇瑜,等 (1667)

第七届现代生态学讲座、第四届国际青年生态学者论坛通知 (I)

中、美生态学会联合招聘国际期刊主编 (i)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 338 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 34 * 2013-03



封面图说:美丽的油松松枝——油松又称红皮松、短叶松。树高可达 30m,胸径达 1m。其树皮下部灰褐色,裂成不规则鳞块;针叶 2 针一束,暗绿色,较粗硬;球果卵形或卵圆形,长 4—7cm,有短柄,与枝几乎成直角。油松适应性强,根系发达,树姿雄伟,枝叶繁茂,有良好的保持水土和美化环境的功能,是中国北方广大地区最主要的造林树种之一,在华北地区无论是山区或平原到处可见,人工林很多,一般情况下在山区生长最好。在山区生长的油松,多在阴坡、半阴坡,土壤湿润和较肥沃的地方。

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

DOI: 10.5846/stxb201208251199

贾宝全. 基于 TM 卫星影像数据的北京市植被变化及其原因分析. 生态学报, 2013, 33(5): 1654-1666.

Jia B Q. Driving factor analysis on the vegetation changes derived from the Landsat TM images in Beijing. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(5): 1654-1666.

基于 TM 卫星影像数据的北京市植被变化 及其原因分析

贾宝全^{1,2,3,*}

(1. 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091; 2. 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091;
3. 国家林业局城市林业研究中心, 北京 100091)

摘要: 植被覆盖变化是全球变化研究的重要内容之一, 由于 NDVI 与植被的分布密度呈线性相关, 是指示大尺度植被覆盖的良好指标, 因此在宏观植被盖度的估算中常被应用。利用 1987 年 9 月 26 日和 2009 年 9 月 22 日的 Landsat TM 卫星影像, 以 NDVI 为桥梁, 分别计算了北京市域的植被盖度和大于 0.1 的 NDVI 差值指数, 北京市域与不同生态区域两个尺度对其植被变化情况进行了量化分析, 结果表明, 2009 年与 1987 年相比, 北京市极低覆盖度、中覆盖度和高覆盖度植被的面积均有所减少, 其所占全市土地面积的比例从 1987 年到 2009 年分别降低了 5.15% 和 0.54% 和 0.03%; 而低覆盖度和极高覆盖度植被的面积比例则分别增加了 5.71% 和 0.01%。大于 0.1 的植被差值指数统计结果显示, 全市域植被质量以改善为主, 全市植被发生改善变化的土地面积共 919302.3 hm², 其中发生轻微改善的比例为 28.31%, 中度改善的为 41.33%, 极度改善的面积为 30.36%; 全市植被发生退化变化的面积 326931.12 hm², 其中发生中度退化、轻微退化和极度退化的面积分别占到了退化变化土地面积的 41.98%、43.20% 和 14.82%。从不同区域的植被差值指数看, 植被发生退化变化最明显的区域为燕山山区北部、五环以内和五至六环间区域, 这几个区域退化变化的植被面积占相应区域的面积比例分别达到了 30.25%、58.17% 和 47.38%, 而且均以严重退化与中度退化为主, 两者合计的面积比例分别为 15.79%、44.72% 和 34.19%。而发生退化变化面积比例最小的区域为太行山区和延庆盆地, 其退化面积占该区域植被面积的比例分别为 13.35% 和 17.02%, 且退化程度均以轻微退化和中度退化为主, 其面积比例介于 5%—8% 之间。从植被变化的驱动力看, 目前还看不出北京这种植被变化结果与气候变化之间的直接关联。北京市植被变化的驱动力主要还是人为因素。这包括了区域性的大环境绿化生态工程建设(包括山区与平原区), 城市绿化市政工程建设、平原区农业结构调整、新农村生态环境建设, 以及由于降水而导致的山区河岸带变化等。其中河流水面变化对河岸带植被变化的影响范围在多年平均水面线外 0—150 m 范围内, 0—100 m 范围为受影响较大的区域。

关键词: 植被盖度; NDVI 差值指数; 数量分析; Landsat TM 卫星影像; 北京

Driving factor analysis on the vegetation changes derived from the Landsat TM images in Beijing

JIA Baoquan^{1,2,3,*}

1 Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry Beijing 100091, China

2 Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Beijing 100091, China

3 Research Centre of Urban Forestry, State Forestry Administration, Beijing 100091, China

Abstract: The normalized difference vegetation index (NDVI), linearly correlated with density distribution of vegetation, is widely used for investigating macro-scale vegetation coverage and thus vegetation changes at short and long time scales. We calculated the vegetation coverage and NDVI greater than 0.1 by the Landsat TM satellite images on Sept. 26, 1987

基金项目: 国家科技部“十二五”科技支撑项目(2011BAD38B03)

收稿日期: 2012-08-25; 修订日期: 2013-01-21

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jiabq@caf.ac.cn

and Sept. 22, 2009 for Beijing, China. The driving forces for vegetation changes were also analyzed including climate, geomorphology, human activities. In addition, the buffer analysis tool in the ARCGIS was used to derive the vegetation changes along the rivers as well as around the reservoirs and lakes. The quantitative analysis indicated that the land area of extremely low coverage, medium coverage and high coverage decreased by 5.15%, 0.54% and 0.03% respectively, while the area of vegetation of low coverage and extremely high coverage increased by 5.71% and 0.01%, respectively from 1987 to 2009 for the whole region of Beijing. The statistical results in NDVI greater than 0.1 showed that the vegetation quality of the whole city had basically improved and improved area reached 919302.3 ha. The ratio of slightly, moderately and extremely improved area was 28.31%, 41.33% and 30.36%, respectively. In addition, the degraded area was identified as 326931.12 ha. Considering NDVIs for different sub-regions of the city, the most noticeable vegetation degradation took place within the 5th ring and between the 5th ring and the 6th ring and the percentage of the area of degraded vegetation was 58.17% and 47.38%, respectively for these two regions. Contrarily, the regions with minimum percentage of vegetation degradation included Taihang Mountain and Yanqing Basin and the vegetation degradation area was 13.35% and 17.02%, respectively. Furthermore, the degradation for the Taihang Mountain and Yangqing Basin was basically attributable to slightly moderate degradation. There was no significant correlation between vegetation changes and climate changes both for whole Beijing and its sub-regions. However, human activities were found to be the major driving forces for vegetation changes in Beijing including regional green ecological restoration projects for both mountains and plains), urban landscape and greening projects, agricultural structure amendment for plain regions, and eco-environment restoration efforts for rural regions. In addition, water bodies had a very important effect on the vegetation changes along the river and around the reservoirs and lakes. A massive construction of reservoirs in the mountain region resulted in the no flow phenomena for the rivers in plain regions, thus, water body effects on the vegetation occurred in the mountain area. NDVI and vegetation coverage changes were buffered by 0—50m, 50—100m, 100—150m, 150—200m and 200—250m. We found that the buffer distance can be divided into two spatial levels for NDVI calculation. NDVIs buffered by 0—100m were enhanced over 0.1, but the NDVIs buffered by 100—250m increased by 0.0084—0.0089 from 1987 to 2009. We also found that the 0—250m buffer ranges also can be divided into two levels for vegetation coverage analysis. Compared with 1987, the ratio of vegetation coverage in 2009 was reduced for the buffer of 0—200m and increased for the buffer of 200—250m. Therefore, the changes of river water body caused by precipitation can influence riparian vegetation within 150 m from the average water level, especially within 100 m.

Key Words: vegetation coverage; NDVI; difference vegetation value; quantitative analysis; landsat TM image; Beijing

植被在陆地表面的能量交换、生物地球化学循环和水文循环过程中扮演着重要角色,作为全球生态系统和气候系统的重要组成部分,植被覆盖变化的研究是全球变化研究的重要内容之一^[1-2]。研究表明,归一化植被指数(简称 NDVI)与植被的分布密度呈线性相关,是指示大尺度植被覆盖的良好指标。NDVI 以其卓越的植被信息表达能力以及数据提取和处理过程中较强的抗干扰能力,而成为了区域植被变化研究的主要数量工具^[3-6]。植被盖度是最能反映地表植被分布特征的定量指标,是景观生态、气候变化和水土流失等多种地表过程研究的关键参数^[7]。获取地表植被覆盖现状及其变化信息,对于揭示地表空间分异规律、探讨变化的驱动因子,分析评价区域生态环境质量具有重要的现实意义^[8]。城市化是目前环境变化的最大驱动因素,城市用地的变化速率超过了任何其它一种土地利用类型^[9]。城市植被作为城市生态系统的重要组分,对于城市化过程中生态环境的变化具有重要的指示意义。北京是国际化的大都市,也是我国的政治文化中心,环境质量的好坏直接关系到这个城市的国际形象与居民生活,建设环境友好型生态宜居城市一直是其重要的努力方向和目标。2010 年年底,全市城镇常住人口已经达到了 2200 万;城市建成区面积由解放初的 109 km²,增加到了 2010 年的 1350 km²。城市化的大发展,出现了以城市化为主要特征的大规模的土地利用变化,具有新

中国城市化进程的典型特征,同时也给生态环境带来了前所未有的压力。因此,深入探讨北京市域植被的空间变化特点,分析其变化的原因,对于掌握目前的生态现状、明确今后生态建设中的重点区域,以更科学合理地指导今后的生态环境建设,具有极其重要的理论和实践意义。

1 研究材料与研究方法

1.2 研究材料

研究采用 30 m 分辨率的 Landsat TM 卫星影像数据,轨道号分别为 123/33、123/34,这两景影像覆盖了北京市域范围内 98.2% 的面积,因此,缺少部分对整个区域的变化趋势的影响可以忽略。在具体时间选择上,由于卫星影像受天气变化的影响较大,要找时间间隔合适、与植被发育节律相配、又尽可能无云的影像非常困难。同时在做植被遥感的定量分析时,还需要考虑植被的年内生长情况。对于北方地区而言,9 月份因为植物生长量差不多达到了年内的最大,同时气温还未影响到植物的叶色等,因此这一时期应该是利用 NDVI 指数进行植被变化分析的最佳月份。根据中国科学院遥感卫星地面站的存档数据查询,在时间上符合目标需求的 Landsat TM 卫星影像只有 1987 年 9 月 26 日和 2009 年 9 月 22 日的卫星影像。在利用 ERDAS 2011 软件对影像进行了几何校正、辐射校正和大气校正后,再分别利用其第 3 和第 4 波段数据,开展相关的研究工作。

1.2 研究方法

1.2.1 植被盖度的计算与分级

目前获取区域植被覆盖度信息的方法,主要包括传统的地表实测法与现代的遥感估算法两种^[10]。随着遥感技术手段的不断进步,目前越来越多的研究者倾向于通过遥感手段,利用归一化植被指数(NDVI)来进行植被盖度的估算工作。计算公式为:

$$fc = \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{veg} - NDVI_{soil}} \quad (1)$$

式中, fc 为植被盖度,NDVI 为 1987、2009 年某像元 NDVI 的实际值; $NDVI_{veg}$ 、 $NDVI_{soil}$ 分别为研究区域纯植被覆盖像元和全裸土壤覆盖像元的 NDVI 值。对于大多数裸土地表而言, $NDVI_{soil}$ 理论上应该接近于 0,并且是不容易变化的,但由于受众多因素的影响, $NDVI_{soil}$ 会随着空间而变化,其取值范围一般在 -0.1—0.2 之间^[11-12]。同时,由于植被覆盖类型随土地利用类型而变化,对于某一土地利用类型而言,因其植被类型近似,故 $NDVI_{veg}$ 值也近似。因此,在实际应用公式(1)的过程中,土地利用图和土壤图常常是计算 $NDVI_{veg}$ 和 $NDVI_{soil}$ 的基础。在本次计算过程中,对于 $NDVI_{soil}$ 值的提取,利用了北京市 1:10 万的土壤类型图,以其中的裸土土壤图斑的平均 NDVI 值作为 $NDVI_{soil}$ 的值,通过 GIS 统计计算,1987 年和 2009 年的 $NDVI_{soil}$ 值分别为 0.124925 和 0.190203。由于卫星影像的获取时间在 9 月底,此时植被生长差不多已经达到了年生长量的最大值,NDVI 也有一定的饱和现象,加之在实际研究工作当中,也有采用研究区域 NDVI 的最大和最低值来取代 $NDVI_{veg}$ 、 $NDVI_{soil}$ 值的实例^[13],所以取区域两个年份的 NDVI 最大值 1 作为 $NDVI_{veg}$ 的值。根据相关的研究结果,计算出的植被盖度共划分为 5 级,分级标准按照 $fc < 0.2$ 、 $0.2 \leq fc < 0.4$ 、 $0.4 \leq fc < 0.6$ 、 $0.6 \leq fc < 0.8$ 和 $fc \geq 0.8$,分别被命名为极低覆盖度、低覆盖度、中覆盖度、高覆盖度和极高覆盖度^[14]。

1.2.2 NDVI 差值指数

植被差值指数是利用 2009 年和 1987 年北京市两期 NDVI 的 GIS 图件,通过差值计算而得到^[15],即:

$$\Delta NDVI = NDVI_{2009} - NDVI_{1987} \quad (2)$$

其中, $\Delta NDVI$ 为植被差值指数, $NDVI_{2009}$ 和 $NDVI_{1987}$ 分别为 2009 年和 1987 年北京市 NDVI 图上的像元值, $\Delta NDVI$ 的取值范围为 $[-2, 2]$ 。有关研究指出,当 NDVI 值大于 0.1 时,其代表的像元才是植被像元^[13,16],故这里的 $NDVI_{2009}$ 和 $NDVI_{1987}$ 分别为该年度 NDVI 值大于 0.1 的区域的 NDVI 值。植被差值分级结果为:1 为严重退化 ($-2 \leq \Delta NDVI \leq -0.15$)、2 为中度退化 ($-0.15 < \Delta NDVI \leq -0.05$)、3 为轻微退化 ($-0.05 < \Delta NDVI \leq 0$)、4 为轻微改善 ($0 < \Delta NDVI \leq 0.05$)、5 为中度改善 ($0.05 < \Delta NDVI \leq 0.15$)、6 为极度改善 ($0.15 < \Delta NDVI \leq 2$)。

1.2.3 研究尺度的选择

为了更深入地了解北京市植被变化的区域差异,同时也是为了更好地针对目前存在的问题,为以后的生态建设、环境管理提出针对性的措施,根据北京市地貌分异特点、人类活动强度以及城市空间扩展特点等,将整个北京市域划分为太行山区、燕山山区、延庆盆地、六环以北平原、六环以南平原、五至六环间和五环以内等 7 个区域单元。

1.2.4 统计数据

统计数据是进行过程分析与驱动力分析最重要的数据来源,本次研究中,利用的统计数据主要是北京统计 60 年(1949—2009)、北京改革开放 30 年(数说 1978—2008)和 2011 年北京市经济统计资料。另外也利用了北京市园林局所做的北京市城市园林绿化普查资料汇编(1995、2000 和 2005 年)。

2 研究结果

2.1 植被盖度的变化

2.1.1 植被盖度的总体变化

从北京市 1987 年和 2009 年植被盖度研究结果可以看出(表 1),极低覆盖度、中覆盖度和高覆盖度植被的面积均有所减少,其所占全市土地面积的比例从 1987 年到 2009 年分别降低了 5.15% 和 0.54% 和 0.03%;而低覆盖度和极高覆盖度植被的土地面积则分别增加了 92187.1 hm^2 和 211.8 hm^2 ,占整个研究区域的面积比例也分别增加了 5.71% 和 0.01%。极低覆盖度等级面积的增加,既可能意味着区域植被覆盖面积的绝对数量的增加,也可能意味着非植被土地面积的增大;而其他类型的变化则主要体现在植被功能强弱的变化上。对于北京市目前生态空间极其有限、且面临巨大的城市化压力的现状而言,植被覆盖面积的增加在某种程度上比植被功能的增强更为重要。这一变化情况说明,北京市域整体的植被状况 2009 年要好于 1987 年。

表 1 北京市域 1987 年和 2009 年植被盖度等级组成

Table 1 The composing of vegetation coverage of Beijing in 1987 and 2009

	1987		2009		增 Increase (+) 减 Reduce (-)	
	面积 Area / hm^2	比例 Ratio/%	面积 Area / hm^2	比例 Ratio/%	面积 Area / hm^2	比例 Ratio/%
极低覆盖度 Serve low	943348.7	58.41	860164.8	53.26	-83183.9	-5.15
低覆盖度 Low	567322.7	35.13	659509.8	40.84	92187.1	5.71
中覆盖度 Medium	103810.7	6.43	95027.8	5.88	-8782.9	-0.54
高覆盖度 High	506.0	0.03	73.9	0.00	-432.1	-0.03
极高覆盖度 Serve high	60.8	0.00	272.6	0.02	211.8	0.01
合计 Total	1615048.9	100.00	1615048.9	100.00	0.0	0.00

2.1.2 不同区域植被盖度的变化

从不同区域植被覆盖度的分级情况看(图 1),不同区域之间植被覆盖度变化最剧烈的主要集中在极低覆盖度、低覆盖度和中覆盖度这 3 个等级中。从极低覆盖度来看,变化最小的也在 4000 hm^2 以上,其中发生增加的区域主要有五环以内、五环至六环间和燕山山区,22a 间分别增加了 9029.8 hm^2 、12796.7 hm^2 和 25300.9 hm^2 ,其它区域都呈现面积减小的变化趋势,除延庆盆地减少了 4472.5 hm^2 外,其他区域的减少数量都在 35000—46000 hm^2 之间。而从低覆盖度的变化情况看,其呈现的变化趋势与极低覆盖度的区域变化趋势刚好相反:凡是在极低覆盖度等级上增加的区域都减少,而在极低覆盖度等级中凡出现减小变化的区域此时都呈现出增加的变化趋势,但在减小变化过程中,减小的幅度都不大,均在 10000 hm^2 以下,其中以燕山山区的减小幅度最低,仅减少了 3530.8 hm^2 ,五环至六环间减小幅度最大,但也只有 9567.2 hm^2 ,增幅最大的区域为六环以外的平原地区,其中六环以南区域增加了 44555.6 hm^2 ,六环以北区域增加了 35141.8 hm^2 ,太行山区增加了 28351.7 hm^2 ,延庆盆地增加了 4378.1 hm^2 。中覆盖度等级的区域变化情况与低覆盖度等级的变化趋势完全一致,增加的区域有太行山区、六环以北、六环以南和延庆盆地,增幅分别为 9383.9 hm^2 、7449.8 hm^2 、

1054.8 hm² 和 103.5 hm²; 类型面积减少的区域有燕山山区、五环至六环间和五环以内, 减幅分别为 21830.8 hm²、3102.8 hm² 和 1841.3 hm²。高覆盖度等级全部呈现减少的变化过程, 但由于该等级的绝对面积小, 因此减小的幅度都不很大, 最大的也只有 128.1 hm²。对于极高覆盖度等级而言, 由于六环以内区域两个年份都没有该类型的图斑出现, 因此变化主要集中在其它 5 个区域, 从其变化来看, 除了延庆盆地该类型的面积减少了 0.27 hm² 外, 其它区域都呈现面积增加的变化过程, 但增幅也都不大, 最大的燕山山区 22a 间也仅增加了 128 hm², 最小的为太行山区, 22a 只增加了 4.32 hm²。

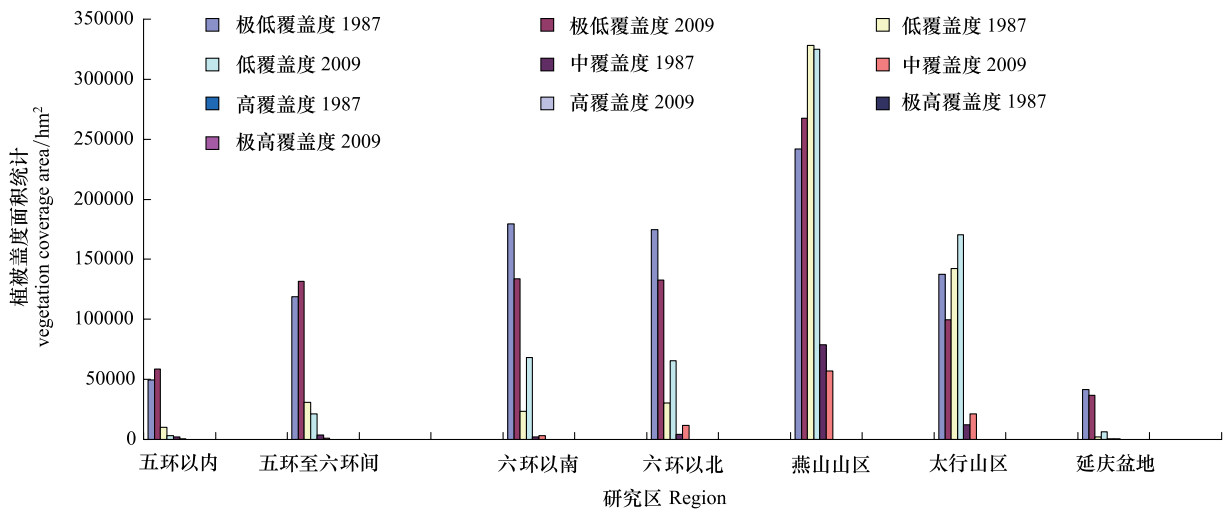


图 1 北京市不同分区单元 1987—2009 年植被覆盖等级面积组成

Fig. 1 The area composition of vegetation coverage of Beijing in 1987 and 2009

总体来看, 因为高覆盖度和极高覆盖度等级的绝对面积很小, 因此对不同区域生态质量好坏起直接制约作用的主要是其它三类覆盖度等级的绝对面积及其动态趋势。由于燕山山区和六环以内的平原区域极低覆盖度等级的植被面积在增加, 而其它等级的植被覆盖面积却在减少, 因此, 其总的区域植被状况处于退变的发展态势之中, 与之相反, 在太行山区、六环以外的平原区和延庆盆地, 它们则是以极低覆盖度等级的面积的减少, 以及低覆盖度和中覆盖度等级的面积的增加为特征, 所以, 其区域环境质量在向着良性、改善的方向发展。故从植被覆盖等级的变化看, 今后北京市的区域生态环境建设重点应该是燕山山区, 以及五环以内的城市区域和五环至六环之间的城乡过渡地带。

2.2 基于 NDVI 差值结果的植被空间变化分析

2.2.1 全市域 NDVI 差值变化

整个研究区的 NDVI 差值结果的空间分布见图 2。根据图 2 在 GIS 下所做的统计结果显示 (图 3), 北京市域植被质量以改善为主, 改善面积为退化面积的 2.8 倍多。全市以改善为主的植被面积总共达到了 919302.3 hm², 其中植被发生轻微改善的土地面积 260281.35 hm², 占植被发生改善变化的土地总面积的 28.31%, 中度改善的总面积为 379920.33 hm², 占 41.33%, 极度改善的面积达到了 279100.62 hm², 占 30.36%; 而植被发生退化变化的总面积 326931.12 hm², 其中发生中度退化与轻微退化的土地面积相差不多, 分别为 137247.03 hm² 和 141243.66 hm², 占到了退化变化土地面积的 41.98% 和 43.20%, 植被发生极度退化变化的土地面积仅为 48440.43 hm², 占 14.82%。从这些数据我们可以看出, 北京市域范围内的植被变化还是在向对环境有利的积极方向演化, 这是植被变化的主流趋势, 但从退化与改善的面积对比中我们同样可以看出, 虽然植被发生退化变化的土地面积只占到了发生变化的土地总面积的 26.23%, 且主要是以轻微退化和重度退化为主, 但因为这种退化变化的生态后果严重, 所以今后的植被生态建设中一定要对此问题保持一个比较清醒的认识。

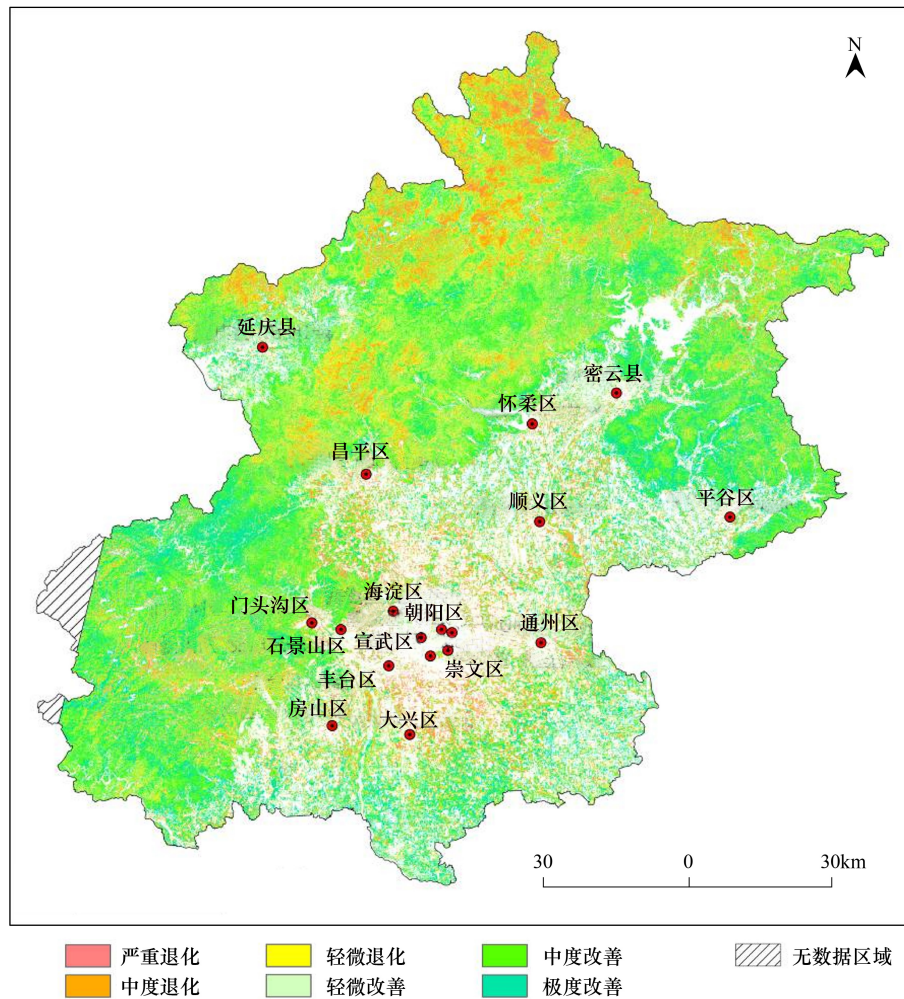


图 2 北京市域差值植被指数分布图(白色区域为非植被覆盖区域)

Fig. 2 The distribution of the NDVI difference value in Beijing (The white area are no vegetation region)

2.2.2 北京市域内不同分区的植被差值指数变化

北京市域内不同分区内部的植被指数差值分级统计结果看(表 2)。植被发生退化变化最明显的区域为燕山山区,以及五环以内和五环至六环间区域,这几个区域退化变化的植被面积占相应区域的面积比例分别达到了 30.25%、58.17% 和 47.38%,而且均以严重退化与中度退化为主,两者合计的面积比例分别为 15.79%、44.72% 和 34.19%。而发生退化变化面积比例最小的区域为太行山区和延庆盆地,其退化面积所占该区域植被面积的比例分别为 13.35% 和 17.02%,且其退化程度均以轻微退化和中度退化为主,其面积比例介于 5%—8% 之间。若以整个北京市域植被改善面积所占比例 73.77% 做为评价参考的相对标准,则可以看出,植被状况为绝对改善的区域主要有太行山区、延庆盆地和六环以南区域,其植被改善面积占相应区域的植

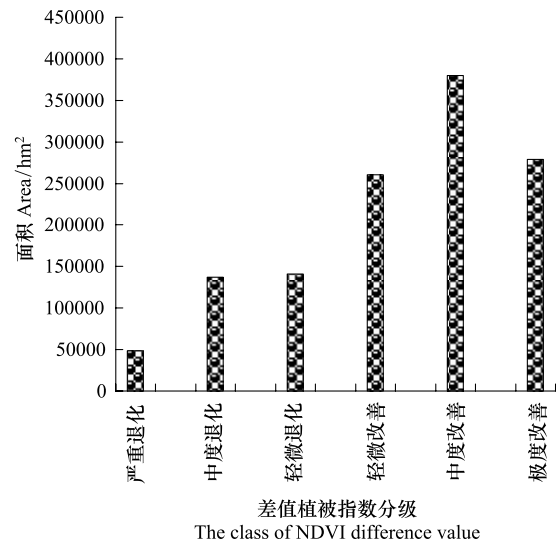


图 3 北京市全市域差值植被指数分级结果统计

Fig. 3 The difference value statistics from 1987 to 2009

被面积的比例分别达到了 86.65%、82.98% 和 74.8%。燕山山区与六环以北区域植被发生改善变化的面积占各自区域总的植被面积的比例分别为 69.74% 和 69.91%，虽然其面积比例的绝对数值要低于全市域平均值，但从景观生态学“斑块-基质-廊道”理论的观点看^[17]，其面积比例远高于 50%，因此其为名符其实的区域植被景观的基质，对区域植被的演化方向具有最重要的引领作用。而在六环以内区域中，五环以内植被改善的面积比例仅为 41.83%，很显然其对区域植被朝改善方向的演化没有绝对的引领作用，而五至六环之间的区域，虽然植被改善的面积比例超过了 50%，达到了 52.62%，但中度改善的面积比例最大，为 22.04%，而且这一区域又是城乡结合地区，受城市化发展的压力影响最大，因此在未来的城市化过程中，如果不引入强烈的植被改善外力因素，而放任目前的发展态势持续，其未来的植被生态状况则有极大的可能性会朝退化的方向演化。

表 2 北京市不同分区单元 NDVI 差值指数变化统计

Table 2 The changes of NDVI difference value in different sub-region

分区 Sub-region	严重退化 Serve degraded		中度退化 Medium degraded		轻微退化 Slight degraded		轻微改善 Slight improved		中度改善 Medium improved		极度改善 Serve improved	
	面积	比例	面积	比例	面积	比例	面积	比例	面积	比例	面积	比例
	/hm ²	/%	/hm ²	/%	/hm ²	/%	/hm ²	/%	/hm ²	/%	/hm ²	/%
五环以内 Inside ring 5	3591.99	23.47	3251.79	21.25	2058.48	13.45	2003.22	13.09	2771.46	18.11	1627.83	10.64
五环至六环间 Between ring 5 and ring 6	9784.08	14.45	13364.46	19.74	8932.77	13.19	9052.2	13.37	14920.92	22.04	11649.33	17.21
六环以南 South of ring 6	5491.71	4.79	12349.8	10.77	11069.64	9.65	12953.97	11.29	28392.57	24.75	44447.22	38.75
六环以北 North of ring 6	7338.87	7.68	11884.59	12.44	9533.7	9.98	10890.18	11.40	22701.87	23.76	33211.17	34.75
燕山山区 Mountain Yanshan	15735.69	2.65	77915.07	13.14	85733.64	14.46	111282.93	18.77	199894.2	33.72	102283	17.25
太行山区 Mountain Taihang	5812.65	1.72	17073.9	5.06	22152.24	6.56	111282.93	32.98	103005.7	30.52	78137.01	23.15
延庆盆地 Yanqing Basin	685.44	3.03	1407.42	6.21	1763.19	7.78	2815.92	12.43	8233.56	36.35	7745.04	34.19
全市域 All of Beijing	48440.43	3.89	137247	11.01	141243.7	11.33	260281.35	20.89	379920.3	30.49	279100.6	22.40

3 北京市植被变化的原因分析

有关研究指出，对区域植被变化影响的自然与人为因素主要包括了气候、生态建设工程等^[16]。利用北京市 1949—2010 年的年降水与年平均气温数据所做的线性回归方程分别为： $y = -5.0179x + 756.95$ ($R^2 = 0.1802$) 和 $y = 0.0351x + 11.082$ ($R^2 = 0.5204$)。这显示北京市近 60 年的气候变化基本上属于暖干类型，即年降水量呈现递减趋势，而年平均气温则呈现出缓慢的升高变化趋势，这对植被的生长发育是非常不利的。而从 1987 和 2009 前一年的降水量来看，1986 年和 2008 年的降水量则分别为 665.3 mm 和 626.3 mm，两者相差不大；而从两个年份当年的降雨量来看，1987 年全年降水量为 689.3 mm，2009 年全年降水总量仅为 480.6 mm，2009 年比 1987 年减少 208.7 mm。这说明，前述数据所反映的北京市植被变化与气候变化没有直接的关联关系，北京植被变化的原因应该还是受人为影响的制约为主。

3.1 山区生态工程对植被变化的影响

从前面的分析结果来看，北京市域 1987—2009 年的植被变化还是以改善为主，究其原因，这主要得益于北京市的生态工程建设。北京市已实施和正在实施的最主要的大型区域性生态工程有：太行山绿化工程、天然林保护工程、退耕还林工程、京津风沙源治理工程、废弃矿山植被恢复工程、中幼林抚育工程等，这些工程的实施地点主要是燕山山区、太行山区和延庆盆地等区域。这些大型工程的实施，对于北京市生态环境质量的

改善起到了极大的积极作用。由于这些工程的实施目标都是以造林绿化为手段,进而增加北京市域的植被面积,因此,其造林成效可以通过年造林累计面积和林木绿化率两项指标来衡量。从图 4 可以看出,自 1987 年以来,无论是年累计造林面积还是全市的林木覆盖率都发生了很大的变化,两项指标的增加趋势异常明显。从年造林累计面积看,1987 年当年造林仅 $1.97 \times 10^4 \text{ hm}^2$,到了 2009 年,22a 间累计的造林面积已经达到了 $62.79 \times 10^4 \text{ hm}^2$,为 1987 年的 31 倍多。随着造林面积的增加,全市的林木绿化率也从 1987 年时的 16.6% 提高到了 2009 年的 53%,翻了 3 倍多。由于北京地区经济实力雄厚、环境绿化的客观需求强烈,因此在造林绿化及其后续的管理工作中,常采用一些非常规人工措施,像山区的提水工程造林、保水剂大面积应用、大苗造林一次性成林等技术手段都是北方一般地区难以大范围实施应用的。这些非常规措施的采用,最大限度地克服了天然水文循环过程(尤其是降水条件)对林木生长的瓶颈制约作用,为区域植被的健康发展创造了前所未有的外围环境,明显增加了区域的植被总量,并使植被在质和量两个方面得到了改善。

3.2 平原绿化工程对植被变化的影响

从前面的分析可以看出,平原区除了五环以内区域外,其它区域无论是 NDVI 指数、大于 0.1 的 NDVI 代表的植被区域面积还是植被盖度,以及植被差值指数均呈现出正向的良性变化趋势。究其原因,与北京市在平原区实施的大环境绿化系列工程关系很大。从 2000 年以来,在平原地区实施的绿化工程共包括了平原治沙工程、京津风沙源治理工程、卫星城、中心镇绿化美化工程、绿色通道绿化工程、城市绿化隔离地区绿化工程、第二道绿化隔离地区绿化工程和“三北”防护林体系建设工程等,据不完全统计,从 1987 年起,截止 2009 年年底,工程累计实施面积已经达到了 $18.529 \times 10^4 \text{ hm}^2$,仅此一项即将北京市平原区(含五环内区域)的林木绿化率提高了 29.4%。

3.3 平原区农业产业结构调整与新农村建设

北京市的平原地处华北平原北部边缘,农业种植历史悠久,农作物种植在该区域的经济结构中一直占有非常重要的地位。随着社会经济的发展,传统的农业种植结构也发生了很大的变化,其中最为突出、对区域植被生态改善作用最大的当推经济果林业的发展。从图 5 可以看出,1990—2010 年间,北京市的果业发展非常迅速。从 1990 年到 2000 年的 10a,是果林种植面积迅速增加的时段,全市果园面积从 1990 年年末的 $4.75 \times 10^4 \text{ hm}^2$,增加到了 $8.53 \times 10^4 \text{ hm}^2$,增加了 1 倍;2000 年到

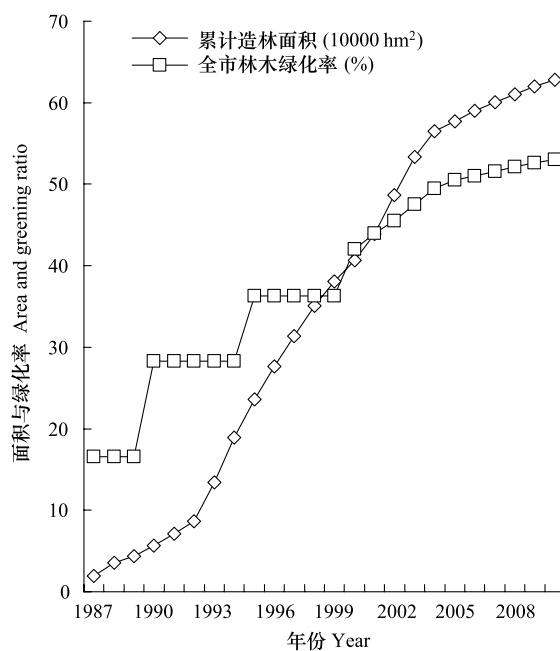


图 4 北京市 1987—2010 年累计造林面积与林木绿化率变化

Fig. 4 The changes of accumulated forestry building area and forest greening ratio from 1987 to 2010

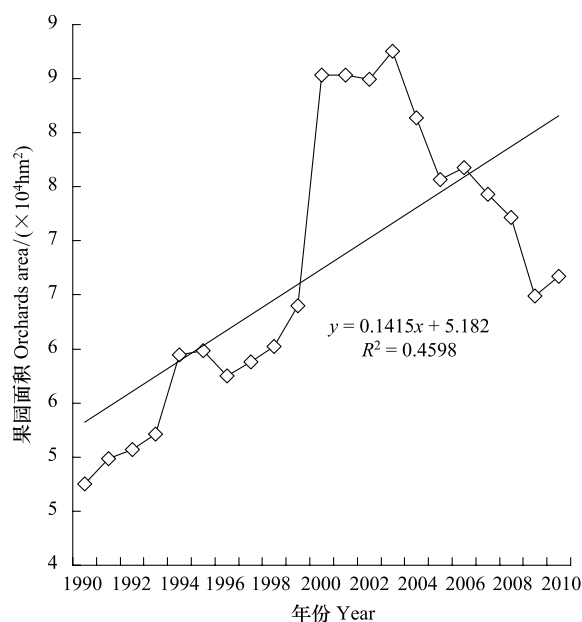


图 5 北京市 1990—2010 年年末果园面积

Fig. 5 Changes of orchards from 1990 to 2010

2003 年,是果业发展的相对稳定期,全市果园面积基本维持在 $8.5 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 左右;2003 年到 2010 年,全市的果业发展呈现出了明显的下滑态势,年末果园面积从 2003 年的 $8.75 \times 10^4 \text{ hm}^2$,减少到了 2010 年的 $6.67 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。尽管 20a 间经历了一定的起伏变化,但 2010 年的果园面积依然比 1990 年时的果园面积高出了 $1.92 \times 10^4 \text{ hm}^2$,其总体趋势依然处于增长发展的过程中。净增加的果园面积对平原区和浅山低丘区的植被生态环境的改善起到了非常重要的作用,其对北京市全市的林木绿化率的贡献可达 1.17 个百分点,如果将其全算在平原区内,则对平原林木绿化率的贡献率更是高达 3.05 个百分点。

平原区作为最重要的农业区域,除了农作物之外,农村居民点建设用地也如繁星般散布在广大的平原区,而且其生态环境的脏乱差一直是令行政管理部门头痛的事情之一。北京市自 2006 年起实施了农村村庄绿化工作,截止 2009 年年底,北京全市累计创建环境优美乡镇 117 个,生态村 956 个,有效提升了村镇的生态环境建设水平。由于缺乏全面有效的统计数据,为了定量探讨农村绿化对植被变化影响的效果,利用 GIS 的缓冲区分析技术,分别利用距离本次植被分析影像最近年份的 1985 和 2007 年土地利用/土地覆盖图件,将其中的平原区居民点建设用地单独抽提出来,参照相关研究的分析方法^[18],分别以两个年度的居民点建设用地边界为本底,向外做 100 m 的缓冲区,利用缓冲区和原来居民点建设用地一起作为分析范围的边界,来分别对 1987 年和 2009 年的 NDVI 做统计分析,结果显示(表 3),2009 年与 1987 年相比,整体的村庄及其周边 100 m 半径范围内,NDVI 的平均值提高了 0.055934,有植被区域(大于 0.1 的 NDVI 区域)的 NDVI 平均值提高了 0.035726,尽管其提高的幅度不算太大,但考虑到新农村建设距离 2009 年也才只有 3a 的时间,因此,从其反映的变化趋势依然可以感受到新农村绿化工作的成效。

表 3 北京市平原区居民点及 100 m 缓冲区范围内 NDVI 的统计特征

Table 3 The statistics characteristics of NDVI in 100m buffer belt around plain village

年度 Year	项目 Item	栅格数 Number	面积/ m^2 Area	最小 Min	最大 Max	平均 Maen	标准差 STD	总数 SUM
1987 年	NDVI	1535751	1382175900	-1	1	0.162262	0.143265	249194.78
	大于 0.1 的 NDVI ≥ 0.1	1010382	909343810	0.1	1	0.239719	0.105719	242207.55
2009 年	NDVI	1397154	1257438600	-1	1	0.218196	0.146175	304853.94
	大于 0.1 的 NDVI ≥ 0.1	1045051	940545920	0.1	1	0.275445	0.119326	287853.59

3.4 城区绿化对植被变化的影响

北京市目前的城市空间主要分布于五环以内区域,这一区域既是城市化最重要的发生、发展区,也是常规的城市基础设施建设与生态建设存在矛盾最剧烈的区域,从前面的植被指数差值分析中知道,该区域主要以退化为主,退化区域的面积占区域总面积的 58.17%,另外 42.83% 的区域属于植被改善变化区域,可以说在这一区域植被改善区与植被退化区处于相持的发展状态中。从几个典型年份的北京城市绿地普查数据看^[19-22](表 4),在研究时间段的 1987—2009 年之间,全市的公共绿地、居住区绿地是持续增长的,面积分别从 1990 年的 3314.95 hm^2 和 1431.2 hm^2 ,增加到了 2005 年的 10492.03 hm^2 和 5180.59 hm^2 ,分别翻了 3.1 倍和 3.6 倍。而道路绿地则呈现先升后降再升、总体提升的变化过程,单位附属绿地则呈先降后升、总体升高的变化趋势。这其中唯有生产绿地呈现出先降后升、总体降低的变化态势。城市园林绿地总体呈现出增加的发展态势,对生态环境贡献最大的项目为公共绿地和居住区绿地,正是这两类绿地的持续、大幅度增加,才保证了在快速城市化的过程中,强度城市化的区域内植被依然保持了 42.83% 的区域面积得到改善的格局。

3.5 不确定性水面因素对植被变化的影响

北京市山区与平原并肩,降水的变率又大,而卫星影像所记录的又是某一特定时间点上的环境信息,因此不同时间段的对比研究中,河流水面与湖泊、水库水面的扩大或收缩对其水域边缘区的植被变化影响很大。在北京市域范围内,目前平原地区的河道基本上实现了人工渠化或人工固化过程,因此,该区域的河道水面变

化不大。但在山区,由于目前还基本上自然河道状态,故该区域河道水面变化对其周边植被存在状态的影响很大。为了探讨河道水面面积的临时性变化对其周边土地上植被变化的影响,以山区 1:1 万比例尺面状水系图为基础,分别向两边依次做 0—50 m、50—100 m、100—150 m、150—200 m 和 200—250 m 的缓冲区,再利用该缓冲区图件,分别对山区河道两边不同宽度河岸带的 NDVI、植被盖度和植被差值等级等进行统计分析。

表 4 几个典型年份北京市城市园林绿地普查数据

Table 4 The investigation data of city green area of Beijing in several typical years

	园林绿地合计/hm ² Total	公共绿地/hm ² Public	道路绿地/hm ² Road	居住区绿地/hm ² inhabitant	单位附属绿地/hm ² Unit	生产绿地/hm ² Production
1990 年	16549.33	3314.95	2840.4	1431.2	8411.64	551.14
1995 年	20623.76	5016.46	4762.3	2553.59	8075.12	216.29
2000 年	26679.92	7139.39	2829.56	3495.70	7873.19	413.35
2005 年	38877.54	10492.03	4320.58	5180.59	8837.28	442.54

从不同河道与水库的卫星影像直观对比来看,2009 年的河道水域范围要比 1987 年的小,也就是说 2009 年河道外一定宽度范围内的非水域陆地面积要比 1987 年的大,这与前面叙述中 2009 年降水量比 1987 年少的气象观测数据非常符合,另外从山区河道不同缓冲带的 NDVI 统计情况来看(表 5),2009 年不同宽度缓冲带内的 NDVI 平均值也都较 1987 年有所提高,提高幅度最大可达 0.10481,最小也达到了 0.08417,另外从其变化幅度可以看出,其明显可以划分为两个空间数量级,一个是河道外 0—100 m 范围,这一区间的 NDVI 提高值都在 0.1 以上,而在 100—250 m 缓冲区范围内,其 NDVI 平均值的提高幅度都在 0.084—0.089 的范围内,从这里我们可以初步推断,河道水面不确定性对其周边 NDVI 的影响范围至少应在 0—100 m 的宽度内。

表 5 北京市山区河道不同缓冲带 NDVI 统计特征

Table 5 The statistics characteristics of NDVI in different river buffer belt

缓冲带情况 Base information of buffer			1987 年		2009 年		平均值/Maen
宽度/m Wide	栅格数目 Cell number	面积/hm ² Area	平均值 Mean	标准差 Standard Deviation	平均值 Mean	标准差 Standard Deviation	
0—50	93535	8418.2	0.19547	0.16024	0.30028	0.13659	0.10481
50—100	92663	8339.7	0.21625	0.14848	0.31814	0.13044	0.10188
100—150	91453	8230.8	0.23919	0.14086	0.32751	0.12763	0.08832
150—200	90256	8123.0	0.25010	0.14045	0.33654	0.12441	0.08644
200—250	89061	8015.5	0.25981	0.13919	0.34398	0.12184	0.08417

从山区河道不同宽度的缓冲区植被覆盖度分级比例来看(表 6),1987 年和 2009 年的高覆盖度和极高覆盖度的覆盖比例都在 0.02% 以下,因此这两部分植被覆盖度类型对河道两边植被变化的指示意义不大。从其它类型覆盖度的变化情况看,0—200 m 缓冲区范围内,极低覆盖度植被覆盖比例从 1987 到 2009 年的变化也都是降低的,低覆盖度和中覆盖度类型的面积比例则是增加的;而在 200—250 m 缓冲区范围内,极低覆盖度类型和中覆盖度类型的面积比例是增加的,而低覆盖度类型则是减小的。为了探究是被覆盖类型的空间变化规律,先将 1987 年和 2009 年两个年度的极低覆盖度、低覆盖度和中覆盖度类型的面积比例相加,再用 2009 年的加和值减去 1987 年的加和值,结果显示,0—50 m、20—100 m、100—150 m、150—200 m、200—250 m 其差值依次分别为 0.01711、0.00324、0.00875、0.01330、0.01011,从这里可以看出,河道水面对周边植被产生最大影响的范围在 0—50 mm 缓冲区范围内,在 50—150 m 缓冲区范围内也有一定的影响,150—250 m 缓冲区范围内的影响已很微弱。

从不同缓冲带内的植被差值指数等级面积比例来看(表 7),以退化总面积比例而言,0—250 m 的缓冲区内可以明显划分出两个等级范围来,0—50 m 范围内,退化的面积比例最高,达到了 29.7%,其它范围内的退

化面积比例都在 28% 左右;而从改善的面积比例来看,也是两个空间等级,0—50 m 范围内,改善的面积比例为 70.3%,其它区域都在 71%—72% 的区间内。

表 6 北京市山区不同缓冲带植被覆盖度比例变化/%

Table 6 The vegetation coverage changes in different river buffer belt

缓冲带宽 Wide/m	1987					2009				
	极低覆盖 Serve low	低覆盖 Low	中覆盖 Medium	高覆盖 High	极高覆盖 Serve high	极低覆盖 Serve low	低覆盖 Low	中覆盖 Medium	高覆盖 High	极高覆盖 Serve high
0—50	72.11	25.93	1.95	0.015	0.002	67.94	29.93	2.13	0.000	0.000
50—100	68.28	29.56	2.15	0.006	0.001	63.93	33.45	2.62	0.000	0.004
100—150	62.89	34.53	2.57	0.011	0.001	61.46	35.77	2.77	0.000	0.003
150—200	59.43	37.71	2.84	0.017	0.000	59.15	37.73	3.12	0.001	0.002
200—250	56.17	40.69	3.13	0.011	0.002	56.85	39.65	3.50	0.000	0.003

表 7 北京市山区河道不同缓冲带植被差值指数等级面积比例变化/%

Table 7 The ratio changes of difference value in different river buffer belt

缓冲带宽度 Wide/m	严重退化 Serve degraded	中度退化 Medium degraded	轻微退化 Slight degraded	轻微改善 Slight improved	中度改善 medium improved	极度改善 Serve improved	退化合计 Total degraded	改善合计 Total improved
0—50	5.03	12.84	11.83	14.67	29.81	25.82	29.70	70.30
50—100	3.83	12.33	11.85	15.08	31.32	25.60	28.01	71.99
100—150	3.52	12.31	12.34	16.15	32.39	23.29	28.17	71.83
150—200	3.05	12.48	12.69	16.75	32.91	22.13	28.22	71.78
200—250	2.91	12.12	12.97	16.93	33.69	21.37	28.00	72.00

综合表 5、表 6 和表 7 的情况看,河湖水面影响的最大范围在平均水面线外 0—50 m 范围内,水面水情对水面外 50—100 m 范围内的植被状况也有较大的影响,对 100—150 m 范围内亦有一定的影响,对 150 m 以外的范围内的陆地植被状况的影响已经极其微弱。

4 结论

(1) 2009 年与 1987 年相比,北京市极低覆盖度、中覆盖度和高覆盖度植被的面积均有所减少,其所占全市土地面积的比例从 1987 年到 2009 年分别降低了 5.15% 和 0.54% 和 0.03%;而低覆盖度和极高覆盖度植被的面积比例则分别增加了 5.71% 和 0.01%。不同区域之间植被覆盖度变化最剧烈的集中在极低覆盖度、低覆盖度和中覆盖度这 3 个等级中。

(2) 大于 0.1 的植被指数差值分析显示,市域植被质量以改善为主,全市植被发生改善变化的土地面积为 919302.3 hm²,其中植被发生轻微改善的占 28.31%,中度改善的占 41.33%,极度改善的面积占 30.36%;全市植被发生退化变化的面积 326931.12 hm²,其中发生中度退化、轻微退化和极度退化的土地面积分别占到了退化变化总土地面积的 41.98%、43.20% 和 14.82%。

(3) 从不同区域的植被差值指数看,植被发生退化变化最明显的区域为燕山山区北部、五环以内和五至六环间区域,这几个区域退化变化的植被面积占相应区域的面积比例分别达到了 30.25%、58.17% 和 47.38%,而且均以严重退化与中度退化为主,两者合计的面积比例分别为 15.79%、44.72% 和 34.19%。因此这几个区域是北京市今后一段时间内生态建设应该重点关注的区域,尤其是平原区的六环以内区域既是北京市生态建设的重点也是难点所在。

(4) 从植被变化的驱动力来看,目前还看不出植被变化与气候变化之间的直接关联。北京市植被变化的驱动力还是人为因素。主要包括区域性的大环境绿化生态工程建设(包括山区与平原区),城市市政绿化工程建设、平原区的农业结构调整、新农村生态环境建设,以及由于降水而导致的山区河岸带变化等。其中河流水面变化对河岸带植被变化的影响范围在多年平均年水面线外 0—150 m 范围内,0—100 m 范围为影响最大

的区域。

References:

- [1] Han X Z, Li S M, Luo J N, Ji X. Study on spatiotemporal change of vegetation in China since 20 years. *Arid Zone Research*, 2008, 25(6): 753-759.
- [2] Li J Y, Yan L B, Cheng Z G. The dynamics characteristics of vegetation and its responding to the climatic change in Shaanxi province. *Soil and Water Conservation in China*, 2011, (6): 29-32.
- [3] Tian Q J, Min X J. Advances in study on vegetation indices. *Advances in Earth Sciences*, 1998, 13(4): 327-333.
- [4] LI D K, Guo N. Regional Distribution and Seasonal Variation of MODIS/NDVI over Shaanxi Area. *Journal of Desert Research*, 2008, 28(1): 108-112.
- [5] Wu Y L, Luan Q, Zhao Y Q, Wang Z W. Analyses on spatial-temporal change characteristics of NDVI during the past 25 years in Shanxi. *Ecology and Environment*, 2008, 17(6): 2330-2335.
- [6] Li Y J, Zeng H, Wei J B. Vegetation change in Shenzhen City based on NDVI change classification. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(5): 1064-1070.
- [7] Gu Z J, Zeng Z Y, Shi X Z, Zheng W, Zhang Z L, Hu Z F. A model calculating vegetation fractional coverade from ETM+ imagery. *Ecology and Environment*, 2008, 17(2): 771-776.
- [8] Chen T, Li P X, Zhang L P. Dynamic Analysis of Vegetation Fraction Change in Wuhan Region from 1988 to 2002. *Remote Sensing Technology and Application*, 2008, 23(5): 511-516.
- [9] Antrop M. Changing patterns in the urbanized countryside of Western Europe. *Landscape Ecology*, 2000, 15(3): 257-270.
- [10] Cheng H F, Zhang W B, Chen F. Advances in researches on application of remote sensing method to estimating vegetation coverage. *Remote Sensing for Land and Resources*, 2008, (1): 15-18.
- [11] Carson T N, Ripley D A. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote Sensing of Environment*, 1997, 62(3): 241-252.
- [12] Rundquist B C. The influence of canopy green vegetation fraction on spectral measurements over native tallgrass prairie. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 81(1): 129-135.
- [13] Chen J, Chen Y H, He C Y, Shi P J. Sub-pixel model for vegetation fraction estimation based on land cover classification. *Journal of Remote Sensing*, 2001, 5(6): 416-422.
- [14] Li H, Li D Z, Song Y, Zhou Y, Ke S L, Wang C Y, Sun Y B, Li L K, Zhao L Q. Vegetation coverage landscape pattern of Chongming in the background of fast urbanization. *Journal of East China Normal University: Natural Science*, 2009, (6): 89-100.
- [15] Liu Y L, Pan Z H, Fan J L, Zheng D W. Spatial and temporal analysis on vegetation cover dynamics in north piedmont of Yinshan mountain. *Resources Science*, 2005, 27(4): 168-174.
- [16] Zhou H J, Wang J G, Yue Y J, Li R. Research on spatial pattern of human-induced vegetation degradation and restoration: a case study of Shaanxi Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(9): 4847-4856.
- [17] Forman R T T. *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions*. London: Cambridge University Press, 1995.
- [18] Jia B Q, Wang C, Qiu K B. Potential analysis of urban ecological land in Wuhan city. *Urban Environment and Urban Ecology*, 2010, 23(5): 10-13.
- [19] Beijing Chorography Committee. *The Gardens and Greening Area*. Beijing: Beijing Publishing Company, 2000.
- [20] Beijing Municipal Bureau of Parks. *The Collection of the General Investigation Data Information of Beijing City in 1995*. Beijing: Beijing Publishing Company, 1997.
- [21] Beijing Municipal Bureau of Parks. *The Collection of the General Investigation Data Information of Beijing City in 2000*. Beijing: Beijing Publishing Company, 2002.
- [22] Beijing Municipal Bureau of Parks. *The Collection of the General Investigation Data Information of Beijing City in 2005*. Beijing: Beijing Publishing Company, 2006.

参考文献:

- [1] 韩秀珍, 李三妹, 罗敬宁, 姬翔. 近 20 年中国植被时空变化研究. *干旱区研究*, 2008, 25(6): 753-759.

- [2] 李军媛, 晏利斌, 程志刚. 陕西省植被时空演变特征及其对气候变化的响应. 中国水土保持, 2011, (6): 29-32.
- [3] 田庆久, 闵祥军. 植被指数研究进展. 地球科学进展, 1998, 13(4): 327-333.
- [4] 李登科, 郭锐. 陕西 MODIS/NDVI 的区域分布和季节变化. 中国沙漠, 2008, 28(1): 108-112.
- [5] 武永利, 栾青, 赵永强, 王志伟. 近 25 年山西植被指数时空变化特征分析. 生态环境, 2008, 17(6): 2330-2335.
- [6] 李一静, 曾辉, 魏建兵. 基于归一化植被指数变化分级的深圳市植被变化. 应用生态学报, 2008, 19(5): 1064-1070.
- [7] 顾祝军, 曾志远, 史学正, 郑伟, 张振龙, 胡子付. 基于 ETM⁺ 图像的植被覆盖度遥感估算模型. 生态环境, 2008, 17(2): 771-776.
- [8] 陈涛, 李平湘, 张良培. 武汉地区 1988—2002 年植被覆盖度变化动态分析. 遥感技术与应用, 2008, 23(5): 511-516.
- [10] 程红芳, 张文波, 陈锋. 植被覆盖度遥感估算方法研究进展. 国土资源遥感, 2008, (1): 13-18.
- [13] 陈晋, 陈云浩, 何春阳, 史培军. 基于土地覆盖分类的植被覆盖率估算亚像元模型与应用. 遥感学报, 2001, 5(6): 416-422.
- [14] 李红, 李德志, 宋云, 周燕, 柯世朕, 王春叶, 孙玉冰, 李立科, 赵鲁青. 快速城市化背景下上海崇明植被覆盖度景观格局分析. 华东师范大学学报: 自然科学版, 2009, (6): 89-100.
- [15] 刘亚玲, 潘志华, 范锦龙, 郑大玮. 阴山北麓地区植被覆盖动态时空分析. 资源科学, 2005, 27(4): 168-174.
- [16] 周洪建, 王静爱, 岳耀杰, 李睿. 人类活动对植被退化/恢复影响的空间格局——以陕西省为例. 生态学报, 2009, 29(9): 4847-4856.
- [18] 贾宝全, 王成, 仇宽彪. 武汉市生态用地发展潜力分析. 城市环境与城市生态, 2010, 23(5): 10-13.
- [19] 北京市地方志编撰委员会. 北京志·市政卷·园林绿地志. 北京: 北京出版社, 2000.
- [20] 北京市园林局编. 北京市城市园林绿化普查资料汇编(1995). 北京: 北京出版社, 1997.
- [21] 北京市园林局编. 北京市城市园林绿化普查资料汇编(2000). 北京: 北京出版社, 2002.
- [22] 北京市园林局编. 北京市城市园林绿化普查资料汇编(2005). 北京: 北京出版社, 2006.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 5 March, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- The effect of nitrogen deposition on forest soil organic matter and litter decomposition and the microbial mechanism WANG Jingyuan, ZHANG Xinyu, WEN Xuefa, et al (1337)
- Advances and the effects of industrial hemp for the cleanup of heavy metal pollution LIANG Shumin, XU Yanping, CHEN Yu, et al (1347)
- A review for evaluating the effectiveness of BMPs to mitigate non-point source pollution from agriculture MENG Fande, GENG Runzhe, OU Yang, et al (1357)
- Progresses in dendrochronology of shrubs LU Xiaoming, LIANG Eryuan (1367)

Autecology & Fundamentals

- The characteristics of nocturnal sap flow and stem water recharge pattern in growing season for a *Larix principis-rupprechtii* plantation WANG Yanbing, DE Yongjun, XIONG Wei, et al (1375)
- Effects of soil drought stress on photosynthetic characteristics and antioxidant enzyme activities in *Hippophae rhamnoides* Linn. seedlings PEI Bin, ZHANG Guangcan, ZHANG Shuyong, et al (1386)
- Diurnal activity time budget of Père David's deer in Hubei Shishou Milu National Nature Reserve, China YANG Daode, LI Zhuyun, LI Pengfei, et al (1397)
- Sublethal effects of three insecticides on the reproduction and host searching behaviors of *Sclerodermus sichuanensis* Xiao (Hymenoptera: Bethytidae) YANG Hua, YANG Wei, YANG Chunping, et al (1405)

Population, Community and Ecosystem

- Seasonal succession of zooplankton in Sansha Bay, Fujian XU Jiayi, XU Zhaoli (1413)
- Biomass production and litter decomposition of lakeshore plants in Napahai wetland, Northwestern Yunnan Plateau, China GUO Xuhu, XIAO Derong, TIAN Kun, et al (1425)
- The flora and species diversity of herbaceous seed plants in wetlands along the Xin'anjiang River from Anhui YANG Wenbin, LIU Kun, ZHOU Shoubiao (1433)
- Spatial-temporal variation of root-associated aerobic bacterial communities of *phragmites australis* and the linkage of water quality factors in constructed wetland XIONG Wei, GUO Xiaoyu, ZHAO Fei (1443)
- Temporal dynamics and influencing factors of leaf respiration for three temperate tree species WANG Zhaoguo, WANG Chuankuan (1456)
- Environmental controls on water use efficiency of a poplar plantation under different soil water conditions ZHOU Jie, ZHANG Zhiqiang, SUN Ge, et al (1465)
- An analysis of calcium components of *Artemisia ordosica* plant on sandy lands in different ecological regions XUE Pingping, GAO Yubao, HE Xingdong (1475)
- Effects of alpine meadow plant communities on soil nematode functional structure in Northern Tibet, China XUE Huiying, HU Feng, LUO Daqing (1482)
- Soil fauna diversity of abandoned land in a copper mine tailing area ZHU Yongheng, SHEN Fei, YU Jian, et al (1495)
- Effects of ciprofloxacin on microbial biomass carbon and carbon metabolism diversity of soil microbial communities MA Yi, PENG Jinju, WANG Yun, et al (1506)
- Estimation of ecological water demands based on ecological water table limitations in the lower reaches of the Liaohe River Plain, China SUN Caizhi, GAO Ying, ZHU Zhengru (1513)

Landscape, Regional and Global Ecology

- The ecological security patterns and construction land expansion simulation in Gaoming SU Yongxian, ZHANG Hong'ou, CHEN Xiuzhi, et al (1524)
- Root features of typical herb plants for hillslope protection and their effects on soil infiltration LI Jianxing, HE Binghui, CHEN Yun (1535)

The dynamic change of the thermal environment landscape patterns in Beijing, Shanghai and Guangzhou in the recent past decade	MENG Dan, WANG Mingyu, LI Xiaojuan, et al (1545)
Change trends and driving factors of base flow in Kuye River Catchment	LEI Yongnan, ZHANG Xiaoping, ZHANG Jianjun, et al (1559)
Photosynthetic characteristics, biomass allocation, C,N and P distribution of <i>Schima superba</i> seedlings in response to simulated nitrogen deposition	LI Mingyue, WANG Jian, WANG Zhenxing, et al (1569)
Effect of iron slag adding on methane production, oxidation and emission in paddy fields	WANG Weiqi, LI Pengfei, ZENG Congsheng, et al (1578)

Resource and Industrial Ecology

Antioxidative system and chlorophyll fluorescence of <i>Zizania latifolia</i> Turcz. plants are affected by <i>Ustilago esculenta</i> infection	YAN Ning, WANG Xiaoqing, WANG Zhidan, et al (1584)
Analysis of cold-regulated gene expression of the Fingered Citron(<i>Citrus medica</i> L. var. <i>sarcodactylis</i> Swingle)	CHEN Wenrong, YE Jiejun, LI Yongqiang, et al (1594)
Hosts preference of <i>Echinothrips americanus</i> Morgan for different vegetables ...	ZHU Liang, SHI Baocai, GONG Yajun, et al (1607)
Induction effects of jasmonic acid on tannin content and defense-related enzyme activities in conventional cotton plants	YANG Shiyong, WANG Mengmeng, XIE Jianchun (1615)
Effects of irrigation with paper mill effluent on growth and nutrient status of <i>Populus tomentosa</i> seedlings	WANG Ye, XI Benye, CUI Xiangdong, et al (1626)
Water use efficiency of Jiangsu Province based on the data envelopment analysis approach	ZHAO Chen, WANG Yuan, GU Xueming, et al (1636)

Research Notes

Characteristics of precipitation distribution in <i>Pinus tabulaeformis</i> plantations under different canopy coverage in Taiyue Mountain	ZHOU Bin, HAN Hairong, KANG Fengfeng, et al (1645)
Driving factor analysis on the vegetation changes derived from the Landsat TM images in Beijing	JIA Baoqun (1654)
Effects of <i>Mikania micrantha</i> wilt virus infection on photosynthesis and the activities of four enzymes in <i>Mikania micrantha</i> H. B. K.	WANG Ruilong, PAN Wanwen, YANG Jiaoyu, et al (1667)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 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 33 卷 第 5 期 (2013 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 5 (March, 2013)

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



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元