

DOI: 10.5846/stxb201508221755

贾宝全, 仇宽彪. 北京市平原百万亩大造林工程降温效应及其价值的遥感分析. 生态学报, 2017, 37(3): - .

Jia B Q, Qiu K B. The cooling effect of plain afforestation in the Beijing Project and its remote sensing-based valuation. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(3):

北京市平原百万亩大造林工程降温效应及其价值的遥感分析

贾宝全^{1,2,3,*}, 仇宽彪^{1,4}

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 国家林业局城市森林研究中心, 北京 100091

4 北京林业大学水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 水土保持学院, 北京 100083

摘要:随着城市化进程的加快,城市热岛效应已经严重影响到了城市居民的生产与生活。大量的研究成果证明,以植被和水体为主导的冷岛效应是减弱城市热岛效应的最有效、最持久、最经济手段,但过往的研究成果主要以城市公园作为研究对象,样本数量少,研究结果的不确定性大,对于大范围人工林地的冷岛效应关注较少。北京市在 2012—2014 年间实施了“百万亩平原大造林”工程,累计形成 10648 个林地斑块,这为人工林地冷岛效应问题的进一步研究提供了绝好的研究样本。利用 2014 年 9 月 4 日的 landsat-8 卫星影像数据,通过定量遥感手段反演了北京市平原区的地表亮温,并以造林地斑块的 GIS 数据为基础,对造林工程的降温效应进行了分析。结果表明,虽然造林时间短,但由于采用了大苗造林措施、公司实施模式,这些造林地的平均降温幅度可达 1.023℃,其冷岛效应的辐射范围可到达林地边缘外 350m,其中 0—100m 距离范围内的降温效果最为显著,达到了 0.392℃。从降温效应的区域差异来看,延庆盆地造林地块的降温效果最显著,达到了 3.519℃,6 环以内造林地块的降温效果最小,只有 0.111℃。通过不同年份造林地块的降温效应分析发现,造林地块的景观格局和湿地保护与建设工程类型的规模对林地斑块的降温效果有显著影响。从全部林地斑块的大小看,其呈现了数量上以小斑块占优、面积上以中、小型斑块为主的数量特征,降温效果则呈现了斑块规模愈大降温效果愈显著的特点。初步的价值估算表明,平原区大造林工程的降温效益达到了 4.8882×10⁸元,其中林地本身的降温效应占到了 53.73%,林地外围辐射降温的效益占到了 46.38%。在今后的造林工程实践中,要注意造林地块大小的设计问题,应以超大斑块和巨斑块为主体,同时要注意将林地斑块的空间邻接距离保持在 100—500m 的范围内,以充分利用林地斑块冷岛效应空间上的辐射扩散特点。

关键词:造林工程;降温效应;LANDSAT-8;价值评估;平原区;北京市

The cooling effect of plain afforestation in the Beijing Project and its remote sensing-based valuation

JIA Baoquan^{1,2,3,*}, QIU Kuanbiao^{1,4}

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

4 Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating, Ministry of Education, College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing, 100083, China

Abstract: With the rapid development of urbanization, the urban heat island effect has exerted a great influence on the

基金项目:林业公益性行业科研专项经费项目(201404301);北京市自然科学基金(8152031)

收稿日期:2015-08-22; 网络出版日期:2016-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jiabaoquan2006@163.com

lives and productivity of urban residents. Ample research has suggested that the cooling effect caused by vegetation and water bodies is an economic way to efficiently and substantially mitigate the urban heat island effects at a local scale. However, because the previous studies mainly concentrated on a limited number of urban parks, the past result might have a large uncertainty. Since plain afforestation was implemented in the Beijing Project from 2012 to 2014, 10,648 forest patches have been constructed, therefore providing a great sample for examining the cooling effects of artificial forests. We analyzed the cooling effects of these artificial forests using the land surface brightness temperature as an indicator of urban heat islands. For this, we used the LANDSAT-8 images of 4 September 2014 and additional information about the originally afforested patches. The artificial forests in this project decreased in brightness temperature by 1.023°C , despite the short afforestation period. The latter can be explained by the large young plants that were used for the afforestation, as well as the special implementation mode used. A buffer zone analysis showed that the influence of this cooling effect reached as far as 350 m from the edge of the artificial forests. The strongest cooling effect was found within 100 m from the forest edges, with a decrease in brightness temperature of 0.392°C . In addition, a zonal analysis showed that the artificial forests had the most significant cooling effects in the Yanqing Basin, with a cooling of 3.519°C . The smallest significant decrease, 0.111°C , was found within the 6th Ring Road. An analysis between different years showed that the landscape pattern of artificial forest patches, as well as wetland protection and construction, were important for establishing the cooling effects. According to a patch size frequency analysis, the small patches had the highest frequency, whereas the middle and small patches covered a large part of the total area. Nevertheless, the large artificial forest patches had a larger significant cooling effect compared with the small ones. According to the primary valuation, the cooling effect of this project had a value as high as 488 million CNY. Approximately 54% of this total value was caused by cooling within the forest patches, whereas cooling within the influential range from the forest patch edges caused approximately 46%. For further afforestation intended for effective mitigation of the urban heat island effects, several factors should receive careful attention. First, large artificial forest patches are preferable in terms of forest patch design. Second, for the configuration of the forest patches, two adjacent forest patches should be between 100 and 500 m apart, in order to benefit from the cooling effects of the forest patches' influential range.

Key Words: afforestation project; cooling effect; LANDSAT-8; valuation; plain; Beijing

城市是人类文明的标志,是一个时代经济、政治、社会、科学、文化、生态环境发展和变化的焦点和结晶体^[1]。目前全球性的城市化进程,既影响着生物多样性和生态系统的功能,同时也影响着地方与区域气候,以及城市居民的生活质量^[2]。城市热岛效应作为影响城市生态环境质量的重要因素,正吸引了越来越多学者的关注^[3]。作为城市有生命的基础设施,绿地以其特殊的“冷岛效应”,在减缓热岛效应方面发挥着不可替代的作用^[4-5]。长久以来,围绕公园绿地的“冷岛效应”,国内外学者借助基于地面小气候观测到现代先进的遥感技术等不同的分析研究手段,探讨了公园面积、周长、几何形状等外部特征^[6-8],以及公园植被组成特征与垂直空间配置^[5,9-10]、公园内部绿地与水体的结构比例^[11]等对其降温效应的影响,同时也对冷岛效应的季节规律^[12-14]、日变化规律^[15-16]等进行了探讨。近年来,也有学者利用景观生态学的理论和方法,对公园的景观空间结构参数与城市热场的关系进行了卓有成效的分析^[17-20],另外也有部分学者对城市水域景观的热环境效应、城市公园中植被与水体结合度对公园“冷岛效应”的影响^[2,21-23]等开展了一些研究工作。从已有的研究成果看,过去的相关工作都聚焦在城市内部城市公园或其他类型的城市绿地上,在城市不断扩展,生态用地与其它用地矛盾加剧的现实状况下,这些研究工作对于揭示植被冷岛效应的形成机理、影响因素等科学问题是很有成效,但在我国目前城市化加速、城市外围乡村土地转化加快的背景下,这些研究成果能否有效指导城市外围地带的生态建设,目前还没有更多的科学根据来支撑;同时,这些工作的研究结论多是以个别公园或不多的公园组合为研究对象得出的,目前所见的最多公园样本数为 24 个^[19],由于受样本数量的制约,研究结果

具有一定的不确定性。

北京是我国乃至世界的著名大都市,占全市面积约 1/3 的平原区域承载了绝大部分的首都功能,但随着人口与经济的高密度聚集,以及中心城区的持续性外扩,该区域面临的生态与环境问题日趋严重。为了加强北京市的大气治理、改善区域生态环境,根据平原区林少、生态与环境问题严重的现实,北京市委、市政府规划、启动了平原区造林工程,规划在 2012—2014 年的 3a 时间内,在平原区新增森林面积 66666.7hm²。截止 2014 年年底,全市已完成平原造林 67935.42hm²,植树 5000 余万株,平原地区的森林覆盖率净增 9.65 个百分点。因其造林规模巨大、分布区又位于中心城区以外的广大城乡平原,这给我们深入探讨城市森林绿地“冷岛效应”的相关问题,提供了绝好的研究样本。

1 研究数据与研究方法

1.1 卫星影像数据

北京市域面积为 1.641×10⁴km²,因此我们选择中尺度的 Landsat TM 卫星影像作为本次研究工作的唯一信息源(卫星影像数据轨道号分别为 123/32、123/33)。由于北京市的造林工程以春、秋两季造林施工为主,所以在卫星影像的时间上,选择了 2014 年 9 月 4 日的 Landsat-8 卫星影像作为基本的分析数据源。自美国地质调查局(USGS)网站(<http://glovis.usgs.gov/>)下载了相关分幅的 L1T 级影像数据之后,再从中国科学院遥感与数字地球研究所的对地观测数据共享服务网(<http://www.geodata.cn/>)上下载同期同景数据(该网上数据的都是进行过正射校正的 L4 级产品,但因缺乏 band10 和 band11 故无法直接用来做热场反演)对其进行了几何校正,校正精度保持在 1 个像元之内,之后再在 ERDAS2011 软件平台上的 ATCOR2 模块下对影像进行大气校正。

1.2 平原造林数据

平原造林地块数据来源于北京市林业勘察设计研究院,该数据是在航片基础上通过野外调绘而成(图 1)。根据 GIS 统计,3a 来新造林图斑共 10648 个,最小的造林地斑块面积 5.25m²,最大的林地斑块面积 323.08hm²。造林过程均采用大苗造林方式,乔木的平均胸径 8.13cm、树高 5.09m。造林地主要来源于农耕地、腾退的建设用地、沙荒地等类型。

1.3 地面亮温反演

地面亮温数据以 Landsat-8 的热红外波段数据反演得到,在 Landsat-8 中,有两个热红外波段:波段 10 和波段 11,有关研究研究表明^[24],波段 10 反演的的地面亮温能更好地突出高温中心和低温区域,有利于城市热环境的分析,因此我们采用波段 10 来反演相关的地面亮温。

首先利用下式将波段 10 数据 DN 值转换为大气顶部辐射亮度 L_λ :

$$L_\lambda = M_{L_\lambda} Q_{cal} + A_{L_\lambda}$$

然后利用下式将辐射亮度转化为地表亮度温度 T_λ :

$$T_\lambda = K_2 / \ln(K_1 / L_\lambda + 1) - 273.15$$

式中, L_λ 为波段 10 的大气顶部辐射亮度($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$); M_{L_λ} 为波段乘积调整因子,从遥感影像头文件获取; A_{L_λ} 为附加因子,也从头文件获取; Q_{cal} 为像元亮度值 DN; T_λ 为星上亮度温度(°C); K_1 、 K_2 为常数,从头文件获取。

通过上述步骤反演的 2014 年 9 月 4 日北京市地面亮温分布情况见图 1。

1.4 景观斑块分级

景观斑块的大小不同,其生态学意义差别很大。大量的国内外研究结果表明,植被与水体斑块的大小对于城市热岛效应的减弱或冷岛效应的发挥具有重要意义^[10,25-26]。目前对于斑块大小的划分不同学者之间因为研究区域、研究对象、研究目标的不同而差异很大。考虑到平原大造林的目标不同于传统的城市园林绿化,其营造与后续经营均是按照森林生态系统的经营目标与规范进行的,故这里的斑块大小规模的划分,我们参

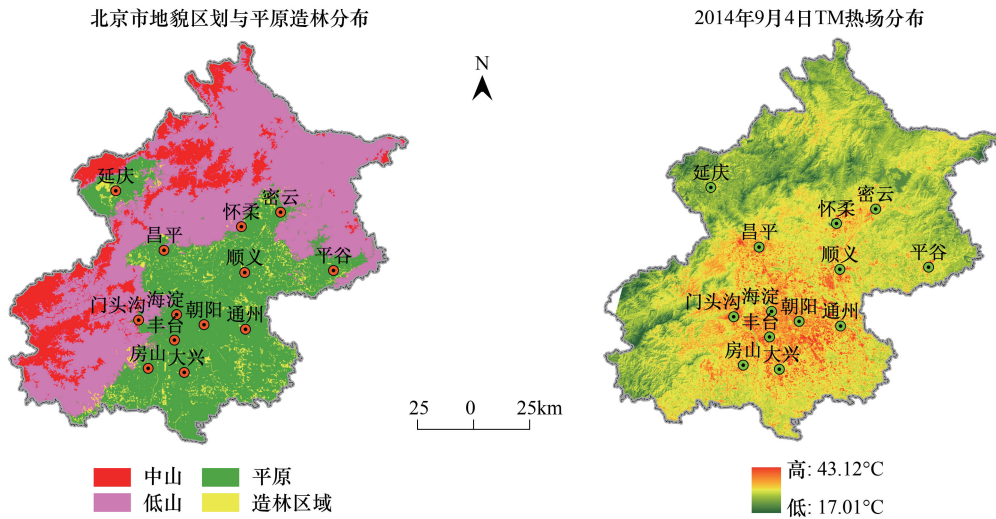


图1 北京市平原造林分布与热场分布

Fig.1 The spatial distribution of the plain forestation patches and land surface temperature

照郭晋平在研究山西省关帝山的森林群落时所提出的标准^[27](表1)。

表1 林地斑块规模划分等级标准

Table 1 Standard of patch scale level of forest landscape

斑块规模名称 Name of scale level	小斑块 Small	中斑块 Medium	中大斑块 Large-medium	大斑块 Large	超大斑块 Extra large	巨斑块 Huge
斑块规模范围/hm ² The range of size	≤10	11—30	31—50	51—100	101—200	≥201

1.5 研究尺度的选择

北京市域面积 16410km²,其中平原面积 6338km²,占全市面积的 38.6%,主要集中在分布于市域范围的东南部(图1),为了突出平原区热场的时空分异特征,同时也为了更好地研究林地降温效应的空间分布特点,根据平原区地貌分异差异、人类活动强度以及城市建设用地的空间扩展特点等,将整个平原区划分为延庆盆地、六环以内、六环以北平原、六环以南平原(六环以和六环以南以通州和顺义的行政边界为限)等4个区域单元。

2 结果与讨论

2.1 总体亮温变化

林地斑块的冷岛效应空间包括了两个部分:林地斑块本身所占据的地表区域以及紧靠林地斑块外围一定距离范围内的非绿色植被空间范围。文献资料表明,绿地降温效应的最大外围边界距离在 200—500m 之间,超过 500m 之后就没有直接关联了^[14],基于此,利用 GIS 的缓冲区分析功能,以现有的百万亩平原造林地斑块为主体,在其外围 0—500m 范围内,以 50m 为基础做缓冲区,通过比较不同缓冲区林地斑块的平均温度,一方面显示林地斑块的冷岛效应强度大小,另一方面也可以反映林地斑块的降温效应随林地斑块外围距离逐渐变化的变化特征,相关的统计结果见图 2。

从图 2 可以看出,无论是全部还是不同等级的造林地斑块,而在其边界之外,随着与林地斑块距离的逐渐增大,林地斑块的降温效应呈现了逐步衰减的变化过程。以全部斑块的平均状况而论,至 350m 以外的缓冲区范围内,其温度变化几近饱和,据此可以初步认为,林地斑块降温效应的最大边界距离在其边界之外 350m 左右,若以 350—400m 缓冲区距离内的平均温度作为非林地的温度 28.237°C 作为本底背景温度,与林地斑块本身的平均温度 27.213°C 相比,则全部林地斑块本身的降温幅度可达 1.023°C,如果以 2004 年 9 月 8 日作为

造林前的林地斑块范围内的平均温度 26.922°C 做背景参考,则新造林林地斑块的降温效应可以达到 1.954°C ;在林地斑块外围的有效降温距离内,以最靠近林地斑块的 $0-100\text{m}$ 的缓冲区距离范围内的降温效果最大,达到 $0.392-0.577^{\circ}\text{C}$,随着距离林地边缘距离的逐步递增,其降温效果在逐渐减弱,在林地斑块外 $150-200\text{m}$ 的范围内降温效果尚可达到 0.123°C ,而到了 $300-350\text{m}$ 的距离范围内,降温幅度仅有 0.014°C 。

另外从图 2 还可以看出,不同级别林地斑块其降温效应也存在很大差异。首先斑块规模越大,相同外围距离处的温度就越低,以林地斑块外 $0-50\text{m}$ 距离缓冲区为例,小斑块、中斑块、大中斑块、大斑块、超大斑块和巨斑块的温度分别为 27.81°C 、 27.48°C 、 27.51°C 、 27.59°C 、 26.94°C 和 27.21°C ,巨型斑块的影响温度比小斑块整整低了 0.6°C ,其他缓冲区也有相同的变化趋势;其次,斑块规模越大,其温度影响的距离效应愈大,从图 3 可以看出,小斑块和中斑块对其外围温度影响的最大距离在林地斑块外围 $350-400\text{m}$ 间,大中斑块、大斑块、超大斑块和巨斑块的外围影响距离都在在 $400-450\text{m}$ 之间。

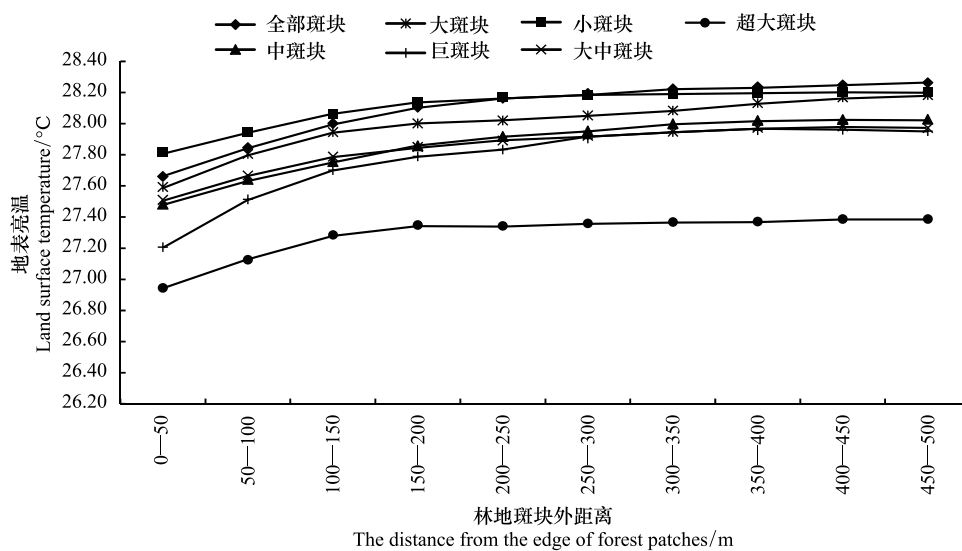


图 2 平原造林地斑块降温效应的缓冲区分析

Fig.2 The buffer analysis of cooling effect on forest patches outside

由于林地斑块外 500m 缓冲区范围内的土地覆盖情况差异较大,这种环境背景会对研究结果造成一定的影响。2010 年土地利用的分析结果表明(表 2), 500m 缓冲区范围内的土地利用类型以耕地(占 69.2%)和农村居民点建设用地(占 24.5%)为主,其他地类的占比都很小,因此这两种土地利用类型对研究结果影响较大,由于由于百万亩平原造林地大多是在耕地、未利用地、水域边缘、草地等的基础上建成的,因此,这些地类对研究结果的影响可以作为背景忽略不予考虑,但农村居民点建设用地的影响较大,由于居民点建设用地的热效应为正向效应,其对本文研究的冷岛效应起消减作用,目前从技术上很难将这种影响完全去除。但由于农村居民点一般单个斑块面积不大、且空间分布比较零散,因此目前的研究结果可以作为冷岛效应的低限来看待。

表 2 林地斑块外 500m 缓冲区内土地利用

Table 2 The statistics of land use within the 500m buffer outside the forestry patch

项目 Items	耕地 Cultivated land	林地 Wooded land	草地 Grassland	水域 Water body	农村居民点用地 Construction land	未利用地 Unused land
面积/ hm^2 Area	220909.7	11169.0	6628.1	2629.4	78113.8	0.9
比例/ $\%$ Ratio	69.2	3.5	2.1	0.8	24.5	0.0

2.2 不同区域造林地斑块的亮温差异

根据前面的平原分区方案,对各区域内林地斑块 2014 年 9 月 4 日的亮温统计结果见图 3。从图 3 可以看

出,不同区域的平原造林地块,其温度差异明显,其中以延庆盆地的造林地斑块的温度最低,平均为 24.718℃,比全市造林地斑块的平均温度整整低了 2.5℃,冷岛效应幅度可以达到 3.519℃,这可能与延庆盆地地处燕山山脉包围之中,且其海拔平均较高有关。而在最大的北京平原区,以 6 环以内的新造林地块的温度最高,达到了 28.126℃,比全市造林地的平均温度还高出了 0.913℃,受强烈的城市化过程的影响,其冷岛效应强度只有 0.111℃;而六环以南和六环以北两个区域的造林地斑块平均温度相差不大,但均比全部造林地斑块的平均温度略高,其冷岛效应强度分别为 0.967℃ 和 0.883℃。而从亮温温度极差来看,其区域差异要比平均亮温的变化明显许多,总体呈现了沿延庆盆地-6 环以北-六环以南-六环以内这一梯度逐步扩大的规律。

2.3 不同造林年份的森林景观斑块的亮温差异

北京市的平原造林工程开始实施于 2012 年,截止 2014 年,共完成了平原造林任务 63333hm²,由于不同造林地块的造林年份不同,这势必会在造林林地的降温效应上有所反映,为量化这种差异,我们也对不同造林年份的林地斑块的平均亮温进行了统计(图 4)。

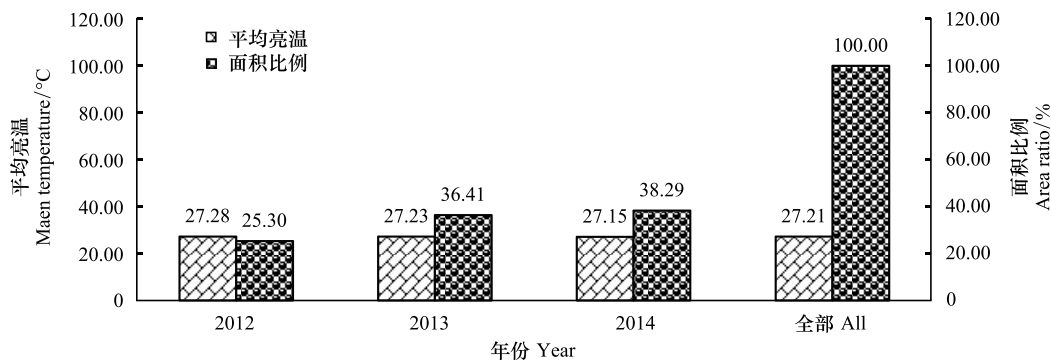


图 4 不同造林年份林地斑块的平均亮温

Fig.4 The mean land surface temperature of the forest patches in different year

从图 4 可以看出,不同年份的造林地斑块的亮温温度差异还是客观存在的,但其绝对差异的幅度较小,介于 0.05—0.13℃之间,其中 2012 和 2013 年造林地斑块的平均亮温要大于区域林地整体的平均亮温。尤其值得注意的是,统计结果显示,越是造林晚的林地斑块,其降温效果似乎越明显,这与一般的认识有所差异。一般而言,造林地的时间愈长,其系统的稳定性相对而言愈高、系统的生长发育状况愈好,因此其降温效果愈明显。之所以会出现这种反常变化,认为,主要有两方面的原因。首先是林地斑块的景观格局的差异。国内外的相关研究结果表明,景观格局对于绿色植被的降温效果有很大的影响,其中,绿色植被斑块的周长-面积比率与其表面亮温成正比,而斑块的总面积和平均面积与其表面亮温成反比^[23, 28]。从相关年份林地斑块的相关格局指数来看(表 3),按照 2012 年到 2014 年的时间序列,其周长-面积比率呈现出了逐步缩小的变化过程,而平均面积与林地总面积则都呈现逐步增大的变化趋势,这一切都预示着其林地斑块的亮温会逐年降低,这实际变化结果既进一步印证了相关文献中的结论,也从景观格局方面说明了上述不同年限造林地块温度随时间序列逐步降低的内在原因。

除了景观格局的原因之外,上述情况的出现可能还与工程造林类型中的湿地保护与建设有一定的关系。在平原造林工程的实施过程中,共包括了景观生态林、绿色通道和湿地保护与建设等三大类型(表 4),以三大

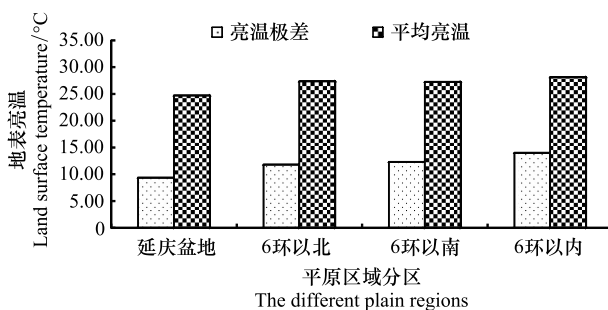


图 3 北京市平原造林不同区域的林地斑块亮温比较

Fig.3 The land surface temperature comparison among different plain region

类型工程的总体情况看,平原造林以景观生态林建设和绿色通道建设为核心,两者合计的工程量占到了工程总量的 98% 以上,从年度推进情况来看,这两类工程的推进情况虽然 2012 年与其它两个年份有一定的差异,但 2013 和 2014 两年的推进幅度与比例相差不大,年度推进中幅度变化最显著的是湿地保护与建设工程,2012 年实施的该工程面积仅占 3 年来该类工程实施总量的 7.94%,2013 年的占 22.88%,2014 年的实施面积占到了工程总实施量的 69.17%。Chen 等对广州公园绿地降温效应的研究中发现^[29],当公园绿地中的水体面积大于 12.89hm²时,公园的降温效果会更加明显,也就是说林水的有效结合可以增强绿地的降温效果,从不同工程类别土地的地表亮温情况看,湿地保护与建设工程造林地块的平均亮温为 26.93℃,分别比绿色通道和景观生态林工程造林区的平均亮温低了 0.41℃ 和 0.31℃。2012—2014 年平原造林地块的温度变化的年际差异也可能与此有很大的关系。

表 3 平原造林地斑块的景观格局指数

Table 3 Part landscape pattern index of forest patches

项目 Item	周长-面积比率 Perimeter-area ratio	平均斑块大小/hm ² Mean patch size	斑块数量/个 Patch number	面积/hm ² Area
2012	1169971.26	5.69	3023	17192.08
2013	11675.14	6.21	3947	24721.30
2014	7904.22	7.11	3678	26137.60
全部 ALL	28431.15	6.39	10648	68050.98

表 4 平原造林地不同工程类型统计

Table 4 The statistics of the different project area and its ratio in different year

工程类型 Project name	2012 年		2013 年		2014 年		合计 Total		平均亮温/℃ MLST *
	面积/hm ² Area	比例/% Ratio	面积/hm ² Area	比例 Ratio	面积/hm ² Area	比例/% Ratio	面积/hm ² Area	比例/% Ratio	
景观生态林 Landscape forest	12392.92	25.62	17691.88	36.57	18292.53	37.81	48377.33	71.09	27.24
绿色通道 Road forest	4697.03	25.54	6735.16	36.63	6955.57	37.83	18387.76	27.02	27.34
湿地保护与建设 Wetland construction	102.13	7.94	294.26	22.88	889.50	69.17	1285.89	1.89	26.93

* MLST: Mean land surface temperature

2.4 造林地斑块尺度大小与降温效应

2.4.1 斑块大小的构成分析

根据景观生态学理论,景观斑块的大小不同,其内部的包含的物质与能量有差异,因此会影响到景观斑块的一些表观功能特征。根据郭晋平的林地斑块划分标准对 3 年来北京平原造林地块的斑块尺度所做的统计结果见图 5。

从图 5 可以看出,在林地景观斑块数量上,以小斑块占绝对优势,其数量比例占到了全部斑块数量的 83.64%,其次为中斑块类型,但其数量比例只有 11.82%,其他的斑块类型的数量比例均在 3% 以下。

从林地景观斑块的分级面积来看,与斑块数量变化具有相同的变化趋势,但变化的剧烈程度要有很大缓和。大致可以分为 3 个量级:中、小斑块为第一级,其所占的面积比例都在 25% 以上;中大斑块与大斑块为第二级,所占面积比例在 10%—15% 之间;超大斑块与巨斑块为第三级,面积比例均在 10% 以下。

2.4.2 不同等级斑块的亮温分析

不同规模大小的林地斑块的亮温统计结果见图 6。

从图 6 可以看出,斑块大小对亮温的影响总体来说是斑块面积尺度越大,降温效应愈明显。例如,面积小于 10hm² 规模的小斑块,其平均亮温为 27.48℃,比林地斑块的平均温度 27.21℃ 高出了 0.27℃,中斑块、大中斑块和大斑块类型的亮温情况与小斑块类似,其平均温度也都高于全部林地斑块的平均亮温,只有超大斑块和巨斑块的平均亮温分别比全部林地斑块的平均亮温分别低了 0.43℃ 和 0.42℃,如果以全部林地斑块外围

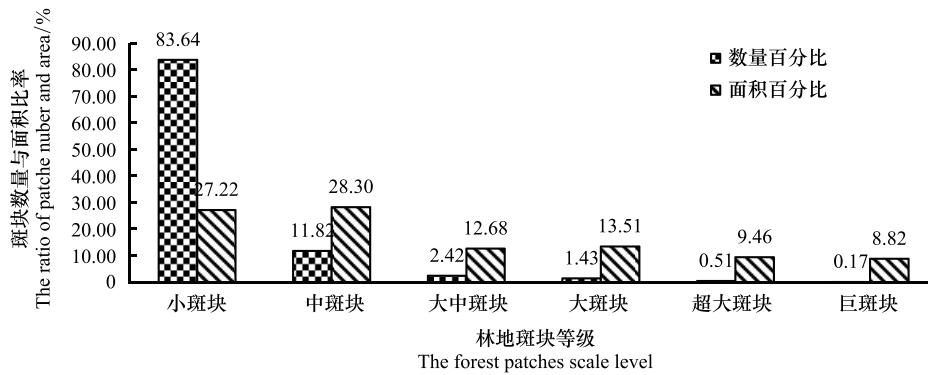


图 5 平原造林地斑块大小的尺度分析

Fig.5 The scale analysis of the forest patches

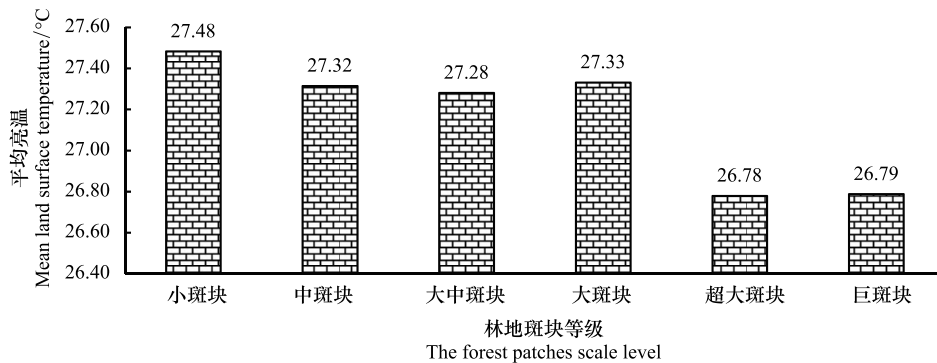


图 6 不同等级林地斑块的亮温分布

Fig.6 The mean land surface temperature in different forest patch classes

350—400m 缓冲区距离内的平均温度 28.237°C 作为不受林地影响的参考背景温度, 则其冷岛效应强度分别达到了 1.457°C 和 1.449°C 。

2.5 平原造林工程降温效应的价值评价

对于植被降温效应的价值评估, 国内外都做了大量的工作, 其基本流程是: 首先计算植被蒸腾所吸收的热量, 之后再在温度降低的能量被全部用于植被蒸腾作用的假设前提下, 将温度降低的数值转换为植被蒸腾消耗的热量值, 之后通过电能节约环节, 再将热量值转换成电能; 最后通过居民用电电价就可以将夏季林地的降温功能转化成以货币量化的生态价值。

参照相关案例的研究方法及其在北京计算时的有关参数^[30-32], 按照每年 90d 的高温期计算, 计算结果见表 5。

从表 5 可以看出, 平原造林地块除了其自身 68050.98hm^2 的降温面积之外, 通过冷岛效应向周边的辐射作用, 形成的降温面积总计可达 250212.88hm^2 , 其中降温辐射较强的 0—100m 边界外围范围即达到了 86544.66hm^2 , 已经高于造林工程本身所覆盖的地表面积。从其蒸腾降温所消耗的热能来看, 每年林地本身降温节能 $209912.48 \times 10^8\text{J}$; 外围间接降温节能总计 $180833 \times 10^8\text{J}$, 其中 0—100m 外围边界范围内降温消耗的热量占到了 70.97%。

按照居民用电价格 0.5 元/kWH 计算, 平原大造林形成的降温效应总价值为 4.8882×10^8 元, 其中林地本身的降温价值达到了 2.626×10^8 元, 占总价值的 53.72%, 通过本身冷岛向周边辐射引起的间接降温效应的价值为 2.2622×10^8 元, 这其中紧靠林地斑块外围 0—100m 范围内的间接降温价值达到了 1.6055×10^8 元。

表 5 北京市平原造林降温功能评估

Table 5 The value assessment of the plain forestation project cooling effect

项目 Items	面积/hm ² Area	降温值/°C Value of temperaturefalling	每天蒸腾吸热* Heat absorbed by transpiration everyday	90 天高温期 蒸腾吸热* Heat absorbed by transpiration during high temperature every year	降温价值/10 ⁸ 元 Cooling value assessment by money	
核心降温区 Core region	林地 Forestland	68050.98	1.0233	209912.48	18892123.18	2.6260
外围降温区 Extend region	0—50	46890.95	0.5769	81543.70	7338933.33	1.0201
	50—100	39653.72	0.3915	46796.84	4211715.73	0.5854
	100—150	37088.18	0.2354	26317.39	2368565.07	0.3292
	150—200	34841.10	0.1316	13821.29	1243916.15	0.1729
	200—250	32551.24	0.0734	7202.19	648197.00	0.0901
	250—300	30535.51	0.0433	3985.60	358704.19	0.0499
	300—350	28652.19	0.0135	1165.98	104938.54	0.0146

* 单位为 10⁸J

3 结论

(1) 从 2012—2014 年的 3a 间,北京市的平原大造林工作累计造林 67935.42hm²,形成新的林地景观斑块 10648 个。从其斑块构成看,在林地景观斑块数量上,以小斑块占绝对优势,其数量比例占到了全部斑块数量的 83.64%,其次为中斑块类型,但其数量比例只有 11.82%,其他的斑块类型的数量比例均在 3% 以下;从林地景观斑块的分级面积看,与斑块数量变化具有相同的变化趋势,但变化的剧烈程度要有很大缓和,其中中、小斑块所占的面积比例都在 25% 以上;中大斑块与大斑块所占面积比例在 10%—15% 之间,而超大斑块与巨斑块的面积比例均在 10% 以下。

(2) 利用 2014 年 9 月 4 日 landsat-8 所反演的地表亮温看,北京市平原区百万亩大造林工程,其区域降温效果与效益都是非常显著的。平均而言,林地本身的降温效果可以达到 1.023°C,林地的降温辐射范围可以到达林地外围 350m 的距离。从斑块尺度对亮温降低的效应看,不同级别林地斑块其降温效应差异很大,其总体趋势是,斑块规模越大,相同外围距离处的温度就越低,同时斑块规模越大,其温度影响的距离效应愈大,但其降温效应的影响范围与已有文献的结论类似,均未超出林地斑块边缘外 500m 的距离范围。

(3) 平原造林地块除了其自身 67935.42hm²的降温面积之外,通过冷岛效应向周边的辐射作用,形成的降温面积总计可达 250212.88 hm²。初步的价值估算表明,平原大造林形成的降温效应总价值为 4.8882×10⁸元,其中林地本身的降温价值占总价值的 53.72%,通过本身冷岛向周边辐射引起的间接降温效应的价值为 2.2622×10⁸元,这其中紧靠林地斑块外围 0—100m 范围内的间接降温价值达到了 1.6055×10⁸元。

(4) 有关研究的结果表明,当公园面积大于 12hm²之后,随着公园面积的进一步扩大,公园的冷岛效应会越来越强^[33],本次研究的结果也显示,面积 100hm² 以上的超大林地斑块和巨型林地斑块的降温效应最为突出。这启示在今后的平原人工造林与平原人工林的后续经营中,在工程设计之初就应该注意到林地斑块大小的设计问题,尽量利用地形与地势,建立大的林地斑块,这样一方面有助于增强所建林地的降温效应,另外,面积设计大了之后,也更有利于后续的以郊野公园等形式为主体的林地生态效益的深度开发利用。

参考文献 (References):

- [1] 胡嘉骢,魏信,陈声海.北京城市热场时空分布及景观生态因子研究.北京:北京师范大学出版社,2014:1-6.
[2] Li J X, Song C H, Gao L, Zhu F G, Meng X L, Wu J G. Impacts of landscape structure on surface urban heat islands: A case study of Shanghai,

- China. *Remote Sensing of Environment*, 2011, 115(12): 3249-3263.
- [3] 黄良美, 邓超冰, 黎宁. 城市热岛效应热点问题研究进展. *气象与环境学报*, 2011, 27(4): 54-58.
- [4] Rizwan A M, Dennis L Y C, Liu C H. A review on the generation, determination and mitigation of urban heat island. *Journal of Environmental Sciences*, 2008, 20(1): 120-128.
- [5] Zhang Z, Lu Y M, Pan H T. Cooling and humidifying effect of plant communities in subtropical urban parks. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2013, 12(3): 323-329.
- [6] Chang C R, Li M H, Chang S D. A preliminary study on the local cool-island intensity of Taipei city parks. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 80(4): 386-395.
- [7] 周东颖, 张丽娟, 张利, 范怀欣, 刘栋. 城市景观公园对城市热岛调控效应分析——以哈尔滨市为例. *地域研究与开发*, 2011, 30(3): 73-78.
- [8] 王剑强, 王志泰. 基于缓解热岛效应的山地城市生态斑块研究——以贵州省贞丰县为例. *西北林学院学报*, 2014, 29(2): 232-236.
- [9] 刘娇妹, 李树华, 杨志峰. 北京公园绿地夏季温湿效应. *生态学杂志*, 2008, 27(11): 1972-1978.
- [10] 陈朱, 陈方敏, 朱飞鸽, 曹璐, 沈兴华, 李俊祥. 面积与植物群落结构对城市公园气温的影响. *生态学杂志*, 2011, 30(11): 2590-2596.
- [11] 冯晓刚, 石辉. 基于遥感的夏季西安城市公园“冷效应”研究. *生态学报*, 2012, 32(23): 7355-7363.
- [12] Onishi A, Cao X, Ito T, Shi F, Imura H. Evaluating the potential for urban heat-island mitigation by greening parking lots. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2010, 9(4): 323-332.
- [13] Ren Z B, He X Y, Zheng H F, Zhang D, Yu X Y, Shen G Q, Guo R C. Estimation of the relationship between urban park characteristics and park cool island intensity by remote sensing data and field measurement. *Forests*, 2013, 4(4): 868-886.
- [14] Hamada S, Ohta T. Seasonal variations in the cooling effect of urban green areas on surrounding urban area. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2010, 9(1): 15-24.
- [15] 高玉福, 李树华, 朱春阳. 城市带状绿地林型与温湿效益的关系. *中国园林*, 2012, 28(1): 94-97.
- [16] 闫伟姣, 孔繁花, 尹海伟, 孙常峰, 许峰, 李文超, 张啸天. 紫金山森林公园降温效应影响因素. *生态学报*, 2014, 34(12): 3169-3178.
- [17] 马雪梅, 张友静, 黄浩. 城市热场与绿地景观相关性定量分析. *国土资源遥感*, 2005, 17(3): 10-13.
- [18] Li X M, Zhou W Q, Ouyang Z Y, Zheng H. Spatial pattern of greenspace affects land surface temperature: evidence from the heavily urbanized Beijing metropolitan area, China. *Landscape Ecology*, 2012, 27(6): 887-898.
- [19] 冯悦怡, 胡潭高, 张力小. 城市公园景观空间结构对其热环境效应的影响. *生态学报*, 2014, 34(12): 3179-3187.
- [20] 周雅星, 刘茂松, 徐驰, 方芳, 钟晶晶, 张明娟. 南京市市域热场分布与景观格局的关联分析. *生态学杂志*, 2014, 33(8): 2199-2206.
- [21] 李东海, 艾彬, 黎夏. 基于遥感和 GIS 的城市水体缓解热岛效应的研究——以东莞市为例. *热带地理*, 2008, 28(5): 414-418.
- [22] 岳文泽, 徐丽华. 城市典型水域景观的热环境效应. *生态学报*, 2013, 33(6): 1852-1859.
- [23] Chen A L, Yao X A, Sun R H, Chen L D. Effect of urban green patterns on surface urban cool islands and its seasonal variations. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2014, 13(4): 646-654.
- [24] 王鹏龙, 张建明, 吕荣芳. 基于空间自相关的兰州市热环境. *生态学杂志*, 2014, 33(4): 1089-1095.
- [25] 葛伟强, 周红妹, 杨引明, 丁金才. 基于遥感和 GIS 的城市绿地缓解热岛效应作用研究. *遥感技术与应用*, 2006, 21(5): 432-435.
- [26] Kong F H, Yin H W, James P, Hutyrá L R, He H S. Effects of spatial pattern of greenspace on urban cooling in a large metropolitan area of eastern China. *Landscape and Urban planning*, 2014, 128: 35-47.
- [27] 郭晋平. 森林景观生态研究. 北京: 北京大学出版社, 2001: 170-178.
- [28] 孟丹, 李小娟, 宫辉力, 赵文吉. 北京地区热力景观格局及典型城市景观的热环境效应. *生态学报*, 2010, 30(13): 3491-3500.
- [29] Chen X Z, Su Y X, Li D, Huang G Q, Chen W Q, Chen S S. Study on the cooling effects of urban parks on surrounding environments using Landsat TM data: a case study in Guangzhou, southern China. *International Journal of Remote Sensing*, 2012, 33(18): 5889-5914.
- [30] 杨士弘. 城市绿化树木的降温增湿效应研究. *地理研究*, 1994, 13(4): 74-80.
- [31] Lin W Q, Wu T H, Zhang C G, Yu T. Carbon savings resulting from the cooling effect of green areas: A case study in Beijing. *Environmental Pollution*, 2011, 159(8/9): 2148-2154.
- [32] Zhang B, Xie G D, Gao J X, Yang Y. The cooling effect of urban green spaces as a contribution to energy-saving and emission-reduction: A case study in Beijing, China. *Building and Environment*, 2014, 76: 37-43.
- [33] Lu J, Li C D, Yang Y C, Zhang X H, Jin M. Quantitative evaluation of urban park cool island factors in mountain city. *Journal of Central South University of Technology*, 2012, 19(6): 1657-1662.