

气候变化下城市植物物候变化与规划策略

孙景娣, 徐 阳, 王立琪, 尹德洁*

山东建筑大学艺术学院, 山东 济南

收稿日期: 2024年9月13日; 录用日期: 2024年10月18日; 发布日期: 2024年10月28日

摘要

城市绿地系统具有生态防护、美化环境等功能,对于维持城市生态稳定性十分重要。近年来,由于自然演进和人类活动导致的全球气候变化,对城市植被的物候期产生了巨大影响。本文聚焦于探讨气候变化背景下城市植物物候期的变化以及提出相应的城市植被规划策略。首先阐明了结合传统地面观测与现代遥感技术的综合监测体系,该体系能够高精度、全覆盖地捕捉城市植物生长周期的动态变化,为科学研究提供更为精确的数据基础。其次,深入分析了温度上升和降水量变化两大主要影响因子对植物物候期的影响机制,揭示出早春提前开花、夏秋季节生长周期缩短等显著现象。基于上述分析,进而提出了适应气候变化的城市植被规划策略。

关键词

气候变化, 植物种候, 城市植被

Changes in Urban Plant Phenology and Planning Strategies under Climate Change

Jingdi Sun, Yang Xu, Lili Wang, Dejie Yin*

School of Art, Shandong Jianzhu University, Jinan Shandong

Received: Sep. 13th, 2024; accepted: Oct. 18th, 2024; published: Oct. 28th, 2024

Abstract

The urban green space system, with its functions of ecological protection and landscaping, is important for maintaining the ecological stability of cities. In recent years, global climate change due to natural evolution and human activities has had a great impact on the phenology of urban vegetation. This paper focuses on the changes of urban plant phenology in the context of climate change and proposes corresponding strategies for urban vegetation planning. Firstly, a comprehensive

*通讯作者。

monitoring system combining traditional ground observation and modern remote sensing technology is elucidated, which can capture the dynamic changes of urban plant growth cycle with high precision and full coverage, and provide a more accurate data base for scientific research. Secondly, the mechanism of the two main influencing factors, namely temperature rise and precipitation change, on the climatic period of plants was analyzed in depth, revealing the remarkable phenomena of early flowering in early spring and shortening of the growth cycle in summer and autumn seasons. Based on the above analysis, the urban vegetation planning strategy for climate change adaptation is proposed.

Keywords

Climate Change, Plant Phenology, Urban Vegetation

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

伴随着人类工业化和城镇化进程，全球环境问题变得越来越严峻，其中，气候变化的影响最为明显，已成为不可逆转的全球性气候现象。自 1880 年以来，全球气温每 10 年平均升高 0.065°C ，至 2020 年，全球平均气温已上升 $1.2^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ，同时伴随着降水量的显著改变和极端天气的频繁发生[1]。由于人类活动和自然现象演进引起的气候变化，导致温度和降水量两个气候因子发生变化，反作用于自然生态环境以及人类社会，产生了巨大的负面影响，主要体现在海平面的上升、生物多样性遭到破坏以及社会经济方面发展受阻等方面。

城市植被是城市生态环境的重要组成部分，具有重要的生态环境效益和社会经济效益[2]。在生态环境方面，城市植被可以降低城市环境温度、增加空气湿度、减少空气污染、保护城市生物多样性，在城市雨洪管理中承担重要角色，具有改善城市生态环境质量的作用；在社会生活方面，城市植被可以起到美化城市环境，提供休闲娱乐场所，促进居民身心健康，降低患病率，提供公共生活空间等作用，从而提高居民生活质量和城市宜居性[3]。据前人研究，城市植被所具有的生态以及社会作用，皆与植物的生长环境、规格和生长状态等方面相联系，此结论进一步说明了植物物候期的变化对城市生态系统稳定性具有重要意义，所以气候变化对植物物候期的影响这一研究内容对于现在以及未来人居环境植被的规划选择以及优化具有重大意义。

2. 植物种候期观测方法与技术

近年来，由于全球变暖引起的一系列气候变化对于植物生长过程产生了一定的影响，国内外都对气候变化引起的植物物候变化进行了相应研究，进而在观测植物物候期技术方面也有一定的提升。

基于地面物候观测站点来记录植物生长发育过程，包括发芽、展叶、开花、结实、叶黄和落叶等[4]，是传统的物候观测方法。我国的近代物候学发展起源于 20 世纪 20 年代初，被誉为“中国物候学之父”的竺可桢先生于 1921 年在南京开始物候观测并持续终生[5]；我国现代物候学发展起始于 2002 年，葛全胜先生自筹经费使“中国科学院物候观测网”部分观测站点恢复工作[6]，并于 2014 年上线了中国物候观测网，推动了近年我国物候研究的发展。除此之外，欧洲、美国、加拿大、澳大利亚等国家也建立了物候观测网，为植物物候期变化监测作出巨大贡献。

随着科技的进步发展，除了传统的地面物候观测之外，遥感技术也成了收集植物物候数据的有效手段。卫星遥感获取的相关植被指数数据已经广泛应用于景观尺度植物物候学的研究，如叶面积指数(LAI, Leaf area index) [7]、归一化植被指数(NDVI, Normalized difference vegetation index)和增强型植被指数(EVI, Enhanced vegetation index)等[8]，都是重要的植物物候期观测数据指标。

将传统物候观测方法与现代遥感技术两者优势相结合，在保证物候观测高精度的同时，可以实现大面积、长时间的植物物候动态监测，提升对植物生长发育节律的把握能力，也保证了植物物候期观测结果的可靠性与全面性，为应对气候变化提升优化植物选择策略提供了重要支撑。

3. 气候变化引起的植物物候变化

气候是影响植物生长发育的重要决定因素，作为城市生态系统的关键构成部分，城市园林也在不断遭受气象灾害的影响[9]。在气候变化背景下，气候方面的各个因子都随之而变化，这些因子的改变进而会影响到植被的生长状况以及各种生理过程，对植物的生命节律产生了不可逆的影响[10]，因此，对于气候变化引起的植物物候变化的探索研究具有重要意义。经研究发现，在众多气候因子之中，温度与降水量是植物物候期的主要影响因子。

3.1. 温度对植被物候的影响

全球气候变化对于环境温度的影响颇深，温度的大幅度变化对植物的生长发育以及生态系统的稳定性产生了一定的影响。

植物的生长起始温度是指植物开始生长所需的最低温度，不同植物种类对生长起始温度的要求不同。一般来说，热带植物的生长起始温度较低，而寒带植物的生长起始温度较高。当气温达到植物的生长起始温度时，植物细胞开始活跃，代谢过程加快，从而促进植物的生长。在气候变化影响下，温度的升高会导致植物生长起始时间提前，改变植物的生长发育节律。

除了改变植物的生长起始时间之外，气候变化引起的温度变化也影响着植物的生长速率。在适宜的温度范围内，随着温度的升高，植物的光合作用和呼吸作用的强度增加，从而促进植物的生长。然而，当温度超过植物的最适生长温度后，过高的温度会导致植物细胞受损，光合作用和呼吸作用减弱，甚至可能导致植物死亡。

开花时间是植物生命周期中的重要环节，它受到温度的直接影响。植物在最适宜温度时开花，进而开始进行种子的传播，进入植物生长发育节律的下一阶段。然而，当温度偏离适宜范围时，开花时间会提前或延后。据研究表明，气候变化导致的环境温度上升导致植物的展叶期、花期等春季物候期提前，而秋色期、落叶期等秋季物候期则呈现时间延后的趋势[5]，展叶期的提前以及落叶期的延后则会导致植物生长季延长[11] [12]，进而改变自然季节的整体起始期以及持续期、物种多样性降低[13]。

3.2. 降水量对植被物候的影响

降水作为环境中的主要水分来源，对植物的生长发育和物候期变化起着至关重要的作用。极端强降水会造成短时间内排水不畅和园林积水，积水时间过长会造成植物根系死亡。一般来说，夏季干旱发生的概率较大，持续的干旱会造成土壤干旱，进而导致叶片干枯萎蔫甚至整株枯死，或者使得地上部分器官从根系夺水，造成根系死亡[9]。

种子萌发阶段是植物生命周期的初始阶段，所以土壤湿度是影响种子萌发的关键环境因素。适宜的土壤湿度能够促进种子吸水膨胀，激活酶系统，从而引发种子萌发过程。然而，土壤过于干燥或过湿都会对种子的萌发产生抑制作用。其次，根系是植物吸收水分和养分的主要器官，其生长状况直接影响植

物的水分吸收能力，因此，土壤的含水量是影响根系生长的关键因素之一。在水分充足的条件下，根系能够迅速扩展，增加对水分和养分的吸收面积，从而促进植物的生长。然而，在干旱条件下，根系生长会受到抑制，甚至出现枯死现象，导致植物水分供应不足，影响其正常生长。此外，根系还具有调节植物体内水分平衡的功能，通过吸收和排放水分，维持植物体内的水分状态。因此，水分对于植物种子萌发具有重要意义，所以，在气候变化背景下，降水量的变化对于各类不同植物的具有极大的影响。

降水的多少对植物地上部分的生长有着显著影响。适量的降水能够满足植物的光合作用和蒸腾作用对水的需求，促进植物的生长，而降雨过多或过少都会对植物的生长产生不利影响。长时间的干旱会导致植物叶片萎蔫、光合作用下降，甚至影响植物的生存；而降雨过多则可能导致土壤过湿，影响植物根系的呼吸，同时增加病虫害的发生率，对植物的生长造成一定威胁。

除此之外，降水条件对开花时间具有显著影响。适量的降雨可以为植物提供必要的水分，促进花芽分化和开花。然而，降雨过少或过多都可能导致开花时间的偏差。长时间的干旱可能延迟开花时间，而降雨过多则可能促使植物过早开花，这两种情况都可能对植物的繁殖和生态系统功能产生不利影响。

除了温度和降水量两个气候因子的变化引起的植物一系列自身生理变化之外，在宏观上，植物物候期的变化会对生态系统的功能产生重要影响。例如，植物物候期的变化还可能影响其他生物的生活习性和分布范围，从而对生态系统的结构和功能产生连锁反应，导致物种组成和分布格局的变化，进一步影响生态系统的稳定性。

4. 城市植被规划策略

气温的变化直接影响城市植物景观，暖期延长会影响城市植物的生长，积极影响主要体现在植物生长率提高、生长季延长，不利影响如极端气候对植物生长的胁迫、气候变化加剧病虫害发生等后果[13]。为应对气候变化带来的一系列重大影响，需要根据各个气候因子的影响机制来制定具有韧性的城市植被规划策略，优化植物选择方案，促进城市植被持续健康发展，助力绿色双碳目标的实现。主要的城市植被规划策略的优化从两个角度出发，一是提出相关的适应性管理，二则是应对气候变化总结归纳出相应的减缓措施，通过可持续规划设计、水资源管理等方式，一方面形成全生命周期规划设计的主动干预，提供依托生态智慧、生态技术的不断更新的应对策略与手段，有效减缓气候变化的不利影响；另一方面不断提高城市韧性，使得城市能够更好地适应气候变化带来的诸多影响[14]。

4.1. 优化城市植被空间布局

在全球气候变化背景下，优化城市绿地空间首先需要扩大城市绿化总量。目前天津市的绿地率和绿化覆盖率相对较低，新建区域需要紧密结合城市发展形态增加绿量，优先布局绿色空间。可以通过建设屋顶绿化以及垂直绿化等绿色基础设施，增加城市绿色空间，提高城市的生态容量，从而缓解城市热岛效应，改善城市小气候环境。同时，在遵循生态原则的前提下，对城市绿地空间进行科学规划和检测，利用地理信息系统(GIS)等工具，对城市植被分布进行检测，定期评估植被覆盖情况，以便于及时调整绿化策略，适应城市的发展变化，提高城市的生态价值，促进城市的可持续发展。

4.2. 因地制宜配置植物群落

营建气候适应性植物景观的首要原则是因地制宜、适地适树，即选择适宜在当地气候条件下生长的植物。例如，在高温多雨的华南地区，种植羊蹄甲、棕榈等喜热植物；在寒冷干燥的华北地区，选择国槐、旱柳等耐寒、抗旱植物。乡土植物是经过当地生态环境长期锻炼和考验存留下来的植物，对当地气候具有较强的适应性。因此，广泛使用乡土植物不仅能够维持生态安全，而且能够减少管理成本和能耗，具有多重生态效益及经济效益[15]。此外，选择乡土植物除了能够发挥最大程度的生态和经济效益之外，

还能够传播本土植物文化，符合当地历史文脉，可以形成地域性景观。

4.3. 植物引种与驯化

在各个地区，除了适合生长的本地乡土树种的选择之外，大量未被应用的植物品种具有很大的潜力，可以适应气候的变化，为城市生态环境带来更多的效益。可以选择与当地自然条件相对适应的植物品种，比引入外来品种更适合未来城市绿化，可以划定区域范围作为植物资源库进行引种和驯化，使更多的自然品种适应城市生态环境，提升城市生物多样性。

4.4. 提高气候变化模拟水平，加强对气候变化影响的评估

未来气候变化对各生态系统的影响会出现怎样的变化趋势，现在说法不一，各种文献资料观点并不相同。关键是要进一步提高气候变化模拟水平，通过对模拟中各种物理化学过程的进一步细化，把各种资料加以同化加入模拟，减少气候变化及其影响评估结果的不确定性。目前这方面的工作比较欠缺，对未来气候变化的模拟结果比较粗糙，且在国际上地位不高，因此提高气候变化模拟的水平应为未来一段时间的工作重点。此外，应进一步加强气候变化对生态系统影响的评估工作，这里面包含的不仅是气候问题，还有其他诸如生态、环境、经济等各种问题，这需要我们把各个方面综合起来进行研究，并根据研究结果不断提出应对措施。

未来气候变化对生态系统潜在影响的研究正面临诸多挑战，其中之一便是气候模型的不确定性。当前，尽管已有一系列气候模型被开发出来，但在模拟地球系统中的复杂物理、化学和生物过程时，仍存在较大的误差。为了提高气候模型的准确性，通过对模拟中各种物理化学过程的进一步细化，把各种资料加以同化加入模拟，减少气候变化及其影响评估结果的不确定性[16]。

除了气候模型本身的改进，研究者们还在努力加强对气候变化影响的综合评估。这包括评估气候变化对生态系统结构和功能的影响，以及对生物多样性、水资源、农业生产等方面的影响。这些评估工作需要跨学科的合作，整合气候学、生态学、地理学、经济学等多领域的知识和方法。

在应对气候变化的挑战时，政策制定者和决策者需要准确的科学信息作为支撑。因此，提高气候变化模拟的水平，并加强对影响的综合评估，对于制定有效的气候变化适应和缓解策略至关重要。这不仅有助于我们更好地理解气候变化对地球系统的影响，还能为未来的可持续发展提供科学依据。

5. 讨论与结论

气候变化对城市植被产生了深远的影响，这些影响涉及生长状况、树种构成、物候特征、景观和生态功能等多个层面，且既有积极效应，也有负面的后果。面对气候变化带来的挑战，城市绿地建设既面临机遇也面临挑战，但挑战显然超过了机遇。

当前，关于气候变化对城市植被影响的研究主要集中在欧美国家，且多数研究聚焦于城市森林和树木，而对城市植被系统的整体关注相对较少。鉴于中国丰富的气候类型和植物资源分布，以及广泛应用的地域特性，从多学科的角度研究中国城市绿地及植物景观如何适应气候变化的课题，仍需进一步研究探讨。

鉴于气候变化对城市植被造成的诸多负面影响，尤其是在中国已经将“碳中和”和“碳达峰”纳入国家可持续发展战略的背景下，加强气候变化对城市植被影响的研究，并在城市绿地建设和管理中制定出适应气候变化的策略，显得尤为重要。这将有助于促进城市植被的健康发展，以及保证生态系统服务的可持续供给，从而为实现可持续发展目标提供有力的支持。

参考文献

- [1] World Meteorological Organization (2020) State of the Global Climate 2020, Provisional Report. World Meteorological

Organization.

- [2] He, M., Yuan, C., Zhang, X., Wang, P. and Yao, C. (2023) Impacts of Green-Blue-Grey Infrastructures on High-Density Urban Thermal Environment at Multiple Spatial Scales: A Case Study in Wuhan. *Urban Climate*, **52**, Article ID: 101714. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101714>
- [3] 孟庆岩. 城市绿度空间遥感[M]. 北京: 科学出版社, 2020.
- [4] 武永峰, 李茂松, 宋吉青. 植物物候遥感监测研究进展[J]. 气象与环境学报, 2008, 24(3): 51-58.
- [5] 代武君, 金慧颖, 张玉红, 等. 植物物候学研究进展[J]. 生态学报, 2020, 40(19): 6705-6719.
- [6] 葛全胜, 戴君虎, 郑景云. 物候学研究进展及中国现代物候学面临的挑战[J]. 中国科学院院刊, 2010, 25(3): 310-316.
- [7] Kang, S. (2003) A Regional Phenology Model for Detecting Onset of Greenness in Temperate Mixed Forests, Korea: An Application of MODIS Leaf Area Index. *Remote Sensing of Environment*, **86**, 232-242. [https://doi.org/10.1016/s0034-4257\(03\)00103-2](https://doi.org/10.1016/s0034-4257(03)00103-2)
- [8] Duarte, L., Teodoro, A.C., Monteiro, A.T., Cunha, M. and Gonçalves, H. (2018) Qphenometrics: An Open Source Software Application to Assess Vegetation Phenology Metrics. *Computers and Electronics in Agriculture*, **148**, 82-94. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.03.007>
- [9] 贾文茜, 陈正洪, 陈英英, 等. 气候变化背景下城市园林受极端气候影响分析[J]. 华中农业大学学报, 2024, 43(2): 114-122.
- [10] Peñuelas, J. and Filella, I. (2001) Responses to a Warming World. *Science*, **294**, 793-795. <https://doi.org/10.1126/science.1066860>
- [11] Walther, G., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T.J.C., et al. (2002) Ecological Responses to Recent Climate Change. *Nature*, **416**, 389-395. <https://doi.org/10.1038/416389a>
- [12] Jeong, S., Ho, C., Gim, H. and Brown, M.E. (2011) Phenology Shifts at Start vs. End of Growing Season in Temperate Vegetation over the Northern Hemisphere for the Period 1982-2008. *Global Change Biology*, **17**, 2385-2399. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02397.x>
- [13] 董丽, 邢小艺. 气候变化对城市植被的影响研究综述[J]. 风景园林, 2021, 28(11): 61-67.
- [14] 张浪. 应对气候变化背景下的风景园林途径[J]. 园林, 2023, 40(8): 2-3.
- [15] 魏祯, 范舒欣, 董丽, 等. 基于气候适应的植物景观营建策略[J]. 景观设计, 2023(6): 86-90.
- [16] 欧英娟, 彭晓春, 周健, 等. 气候变化对生态系统脆弱性的影响及其应对措施[J]. 环境科学与管理, 2012, 37(12): 136-141.