

基于多源数据的北京通州区园林绿色废弃物 处理站点最优配置*

张澜卿¹ 冯飞¹ 江思敏¹ 张新娜¹ 李鹤菩² 邵卫才² 李亚齐³ Raffaele Laforteza^{1,4}

1 北京林业大学林学院 北京 100083

2 北京市通州区园林绿化局 北京 101118

3 通州区园林绿化工程质量服务中心 北京 101100

4 意大利巴里大学土壤、植物和食品科学系 意大利巴里 70126

摘要: 在推动生态文明建设的战略框架下, 聚焦北京绿色生态大都市中国林绿色废弃物的综合管理体系构建, 旨在通过合理规划其收集、高效处理、循环回收与资源化利用流程, 实现园林废弃物处理站点设置科学化, 促进城市绿色循环经济的可持续发展。文章使用 CASA 模型得到通州区 2022 年的 NPP 分布, 并换算成生物量和园林废弃物量; 基于机器学习算法识别通州区 5 类植被分布; 运用优化算法耦合 GIS 的空间分析技术, 得到较优的三级园林废弃物处理点。结果表明: 1) 通州区的 NPP 高值区主要分布在东部, 而通州区的东南部和东北部 NPP 呈现中低值; 2) 通州区落叶乔木产生的园林废弃物量最大, 主要分布在通州西南部; 3) 科学设置的三级处理点可以最大化降低成本, 提高园林废弃物处理效率。

关键词: 园林绿色废弃物; CASA 模型; 机器学习算法; 优化算法; GIS 空间分析

DOI: 10.12169/zgcsly.2024.06.27.0003

Optimal Configuration of Garden Green Waste Treatment Sites in Tongzhou District of Beijing Based on Multi-source Data

Zhang Lanqing¹ Feng Fei¹ Jiang Simin¹ Zhang Xinna¹ Li Hepu² Shao Weicai²

Li Yaqi³ Raffaele Laforteza^{1,4}

(1. Forestry College, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Bureau of Gardening and Greening, Tongzhou District, Beijing 101118, China; 3. Gardening and Greening Engineering Quality Service Center, Tongzhou District, Beijing 101100, China; 4. Department of Soil, Plant and Food Sciences, University of Bari Aldo Moro, Bari 70126, Italy)

Abstract: Under the strategic framework of ecological civilization development, this study focuses on the integrated management system for garden green waste in Beijing, the green ecological metropolis, aiming to achieve the science-based setup of garden waste treatment sites and promote the sustainable development of the city's green recycling economy through rational waste collection planning, efficient treatment, recycling use and resource-oriented utilization processes. In this study, we use CASA model to get the NPP distribution in Tongzhou District in 2022 and convert it to biomass and garden waste, identify the distribution of five types of vegetation in Tongzhou District based on machine learning algorithms, and use optimisation algorithms coupled with the spatial analysis technology of GIS to get the more optimal three-level garden waste treatment sites. The

收稿日期: 2024-06-27

* 基金项目: 国家重点研发计划项目 (2021YFE0193200); 北京林业大学“5·5 工程”科研创新团队项目 (BLRC2023B06)

第一作者: 张澜卿 (2004-), 女, 本科生。E-mail: zhanglq0630@bjfu.edu.cn

通信作者: 冯飞 (1989-), 男, 博士, 讲师, 研究方向城市林业 3S 技术、城市环境演变与人类活动的研究。Email:

feng_bjfu@126.com

results show that: 1) The high NPP value area in Tongzhou District is mainly distributed in the east, while the NPP in the southeast and northeast of Tongzhou District shows medium-low values; 2) The amount of garden waste of deciduous trees in Tongzhou District is the largest, which is the main influencing factor to the distribution range of garden waste in this district; and 3) The science-based set-up of three-level treatment points could provide directions for the treatment of garden green waste in Tongzhou.

Keywords: garden green waste; CASA model; machine learning algorithm; optimization algorithm; GIS spatial analysis

随着生态文明建设和美丽中国战略的深入实施,我国城镇绿化面积不断增加,园林绿色废弃物的产生量也随之急剧上升。当代城市化进程催生了一个亟待解决的问题——绿色垃圾(GW)快速增长。截至2021年,全球固体废物产生量增长至130.5亿t,其中GW比例持续上涨。在自然环境中绿色废弃物的分解过程往往十分缓慢,这不仅对城市景观的美观性造成负面影响,还可能加剧火灾风险^[1]。在废物管理与资源化利用领域,绿色废弃物因其富含有机质而展现出巨大的利用潜力和经济价值。在园林废弃物处理过程中产生的有害物质会污染城市空气和水源,并占用土地资源。此外,园林废弃物处理站点有可能成为噪声源影响居民日常生活,因此园林废弃物处理站点位置的规划设计至关重要^[2]。

园林废弃物作为主要的城市废弃物,国内外对其处理方式和处理站点位置规划各不相同。美国根据季节和地区的实际情况,使用堆肥的方式实现资源利用最大化,并且管理园林废弃物处理站点^[3-4]。英国对于绿色废弃物的类型和品质有着严格规定,属于该范围的绿色废弃物种类较少^[5-6]。在日本、加拿大和欧洲其他国家,非常重视绿色废弃物的循环利用,通过科学技术处理,推动园林废弃物堆肥产业化,同时政府在经济政策上也给予相应支持^[7]。与发达国家和地区相比,我国的园林废弃物回收方法仍有待优化。在北京、上海和广州等地,园林废弃物已经从城市废弃物处理中分类出来,交给园林绿化相关部门进行处理。北京市园林局严格落实相关政策意见^[8],在通州、房山、顺义等6个试点建立园林废弃物集中处理站,将高质量城市生态环境治理精细化。对于园林废弃物处理站点,每一个城市有不同的选址规划方法。上海市静安区在大型公共绿地或公园内

设置收集点,其他公共绿地由管理园林废弃物的单位收集至就近处理点^[9]。南京市将园林废弃物集中在安徽省和江苏省其他市区处理,没有设置南京本地的生物质发电厂^[10]。北京市也在探索绿色废弃物处理体系和政策,结合北京各区区植被特色和区位距离市中心的远近,设置不同的处理点位^[11]。

此外,目前园林绿色废弃物处理点仅在城市单位内进行设置,但是在更小的城市区级单位上的最优配置还不够完善。在多种环境因素下优化回收中心站点位置仍然有待完善。本研究使用目标优化算法,对园林绿色废弃物处理点进行空间规划,在通州区设置三个级别的园林废弃物处理点,从收集、运输、处理的科学合理性和成本控制等方面综合考虑,确保城区园林废弃物被科学合理地收集处理,实现城市绿色循环经济的可持续发展。

1 研究区概况

通州区位于北京市区的东南部,京杭大运河贯穿其南部。通州区是北京市的重要发展极,也是北京市政府规划中的重点发展区域之一。近年来,通州区的经济、社会 and 城市建设取得了快速发展,通州区在城市建设和规划中注重生态环境保护和可持续发展,注重园林废弃物的回收、利用、处理,努力打造宜居宜业的城市生活环境。

2 研究方法

2.1 数据来源

本研究所使用的数据均来自于国内外开放获取科学数据平台,在ArcGIS软件中进行重采样,将分辨率统一为1 000 m,统一投影坐标和处理范围。数据质量可靠(表1)。

表 1 数据概况

数据类型	数据内容	数据描述	数据来源
植被数据集	2022 年通州区逐月归一化植被指数 (NDVI) 数据	空间分辨率为 250 m, 提取出研究区栅格数据	国家青藏高原科学数据中心
用地类型数据集	2022 年通州区土地利用数据	空间分辨率为 30 m, 根据研究区需要分为 9 类	中科院资源环境数据中心
气候数据集	2022 年通州区逐月平均气温数据	初始数据为矢量数据, 分辨率为 1 000 m, 最后统一为栅格数据	CRU
气候数据集	2022 年通州区逐月降水量数据	初始数据为矢量数据, 分辨率为 1 000 m, 最后统一为栅格数据	中科院资源环境科学数据中心
气候数据集	2022 年通州区逐月太阳辐射数据	空间分辨率为 1 000 m, 提取研究区栅格数据	NASA
用地类型数据集	地类分类遥感影像数据集	通过 COPERNICUS/S2_SR 数据集获取研究区域内的 Sentinel-2A 数据	哨兵二号卫星数据
统计数据集	2022 年通州各类树种数据	根据北京市园林绿化局发布的文字统计数据, 得到各树种的株数, 树高, 平均胸径等	北京市园林绿化局
植被数据集	北京市地方标准根茎比参数和植物含碳率	根据《林业碳汇计量监测技术规程 (DB11/T953-2013)》中北京市地方标准得到	国家林业和草业局政府网
点位数据集	通州区居民活动点, 交通, 水系等	根据遥感影像, 文件资料得到	国家统计局

2.2 CASA 模型估算通州区 NPP

净初级生产力 (Net Primary Production, NPP) 指在初级生产过程中可用于植物生长和繁殖的能量, 可以反应植被的生物量和园林废弃物量^[12]。实地测量和模型预估是常见的 NPP 估算方法^[13]。本研究使用朱文泉等^[14]改进后的 CASA 模型对通州区 2020 年的 NPP 进行估算。为了更好地贴合模型计算出 NPP, 本研究将模型中的植被类型数据替换成土地利用数据。静态参数的设置参考贾荣的研究结果^[15]。

传统的 CASA 模型计算公式如下:

$$NPP(x, t) = APAR(x, t) \times \varepsilon(x, t) \quad (1)$$

$$APAR(x, t) = SOL(x, t) \times FPAR(x, t) \times 0.5 \quad (2)$$

$$\varepsilon(x, t) = \varepsilon_{\max} \times T_e(x, t) \times W_e(x, t) \quad (3)$$

式 (1) ~ (3) 中: x 为空间位置; t 为时间, 在本研究中以年为单位计算; APAR 为光合有效辐射; ε 为光能转化率; SOL 为太阳辐射总量; FPAR 为植被能够吸收并利用的太阳辐射的比例; $\varepsilon_{\max}$ 为植物在理想条件下能够达到的最高光能转化效率; T_e 和 W_e 分别为温度胁迫系数和水分胁迫系数^[14]。CASA 模型在不同的区域有一定的局限性, 通州区作为一个人类活动密集的区域, 其生态系统相对复杂, 包括城市绿地、农田、湿地等多种生态系统类型。这种复杂性导致模型在模拟过程中产生误差, 因此 CASA 模型无法完全捕捉到所有生态系统类型的细微差别。

2.3 机器学习算法分类通州用地

随机森林 (Random Forest) 是由 Leo Breiman

等^[16]于 2001 年提出的一种集成学习方法, 主要用于解决分类和回归问题。它是一种决策树的集成方法, 通过构建多棵决策树并进行集成, 然后综合这些决策树的结果进行预测或分类, 以提高预测性能和稳定性^[17]。在 Google Earth Engine (GEE) 平台中使用随机森林分类器对哨兵二号遥感卫星下载的遥感影像训练数据进行训练^[18], 训练数据的总体精度为 95.65% 表明模型在验证样本上的整体分类准确性很好。使用 GEE 的 “sampleRegions” 函数对图像进行分析出现, 在不同的时期, 不同的遥感影像成像具有不同的特点^[19], 因此对通州冬季和夏季的数据集分开处理, 并进行过滤和中值滤波处理, 限制云覆盖百分比小于 10%。本研究将地物分类分成以下 11 个大类: 落叶乔木、常绿灌木、常绿乔木、草地、落叶灌木、裸地、水域、建筑物、湿地、矮生植物和其他, 并把其中会产生园林凋落物量的地区称为绿地。

2.4 通州区园林废弃物量估计

根据通州区植被生长情况, 本研究对通州区树种进行了详尽的分类与量化分析, 将通州区的所有树种划分为 5 个主要类别: 常绿灌木、常绿乔木、低矮植株、落叶灌木和落叶乔木^[20]。本研究使用 NPP 驱动的生物量反演模型对园林废弃物量进行换算。该模型认为在受到植物体根冠比和含碳量的影响下, 植被累积 NPP 与其生物量存在明确的线性关系^[21]。

$$B = \sum NPP \times A \times C \quad (4)$$

$$A = \frac{1}{1 + D} \quad (5)$$

式(4)~(5)中: B 为植物体生物量; A 为植物体地上生物量与整株植物体生物量的比值; C 为植物体碳含量的倒数,碳含量参考相关学者的研究论文,根据通州实地情况确定^[22-24]; D 为植物体根茎比,经过换算可以得到植物体的根冠比。

$$E = B \times k \quad (6)$$

式(6)中: E 为通州的园林废弃物估计量; k 为经过本研究实际调查计算的园林废弃物转换系数,该系数由实地测量结果修正后所得(表2)。每个大类(常绿乔木、落叶乔木、常绿灌木、落叶灌木、低矮植株)的生长、繁殖、凋落时间不一样^[25],最后计算出的园林废弃物量也不一样。

表2 参考系数表

类型	根茎比	根冠比	含碳率	园林废弃物转换系数
常绿灌木	0.43	0.70	0.46	0
常绿乔木	0.26	0.79	0.47	0.20
低矮植株	0.40	0.71	0.37	1.26
落叶灌木	0.29	0.78	0.45	1.21
落叶乔木	0.24	0.81	0.44	1.62

2.5 多准则优化算法下园林废弃物处理站点的最优配置

本研究使用遗传算法(GA)进行建模选址,得到最合适通州区的园林废弃物处理点位。设置环境影响因子,避开通州的主要水系,防止造成水源污染。规定距离水系至少100 m;设置远离公安交警、居民活动设施和便民服务设施,距离至少400 m;设置远离军事禁区,距离至少1 000 m。同时,设置道路和绿地接近,在50 m以内,得到了14个二级处理点位和2个三级处理点位,二级处理点位靠近通州区东部,距离道路较近,避开了主要的居民活动范围;三级点位在南方和北方各设置1个,方便园林废弃物的集中处理。

遗传算法(Genetic Algorithm)是一种计算模型,是一类使用生物学的进化规律演化而成的随机化搜索方法,通过模拟自然进化过程来搜索最优解^[26]。

通过分析通州区域主要公园的位置,结合通州区城区具体情况、周边资源环境设施等,使用

遗传算法结合GIS的空间分析技术设置影响处理站点的选址因子,进而确定园林废弃物的三级处理点位,对园林废弃物处理点位进行整体的规划和布局设计,力求找到最优的处理点位^[27]。

3 结果与分析

3.1 NPP 时空分布特征

通州区NPP的空间分布存在显著的地理差异。特别在通州区的东南部,由于太阳辐射明显较低,且降水值相对较少,这些不利的气候条件导致该区域的NPP呈现中低值($0 \sim 200 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)特征。而在通州区的东北部,虽然气温较高,但由于建设用地的大量分布,人类活动频繁,植被覆盖度低,同样呈现出NPP中低值的情况。相比之下,通州区的东部和西南部部分区域则成为NPP高值区($200 \sim 375.72 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$),这些区域之所以能够获得较高的NPP,主要得益于其高植被覆盖度,特别是西南部的湿地公园和大运河周边地带,由于植被覆盖度高且受到人类活动干扰较小,其NPP达到了较高水平。进一步分析发现,NPP与土地覆盖类型之间存在着密切的联系。图1中:红色区域代表NPP单位面积值较高的区域,这些区域主要分布在通州区西南部的湿地公园和大运河周围;而蓝色的NPP低值区则主要分布于城市建设区和居民区,以斑块形式镶嵌在通州区的绿地中,这些区域受到频繁、强烈的人类活动影响;绿色空间被割裂,植被多为人工种植,且覆盖度较低、植被质量较差,从而导致碳汇能力降低。

如图2所示,在时间尺度上,NPP最大值出现在7月,最小值出现在11月。这一变化模式表明,NPP的波动主要受到温度类因子的主导。温度的季节性变化对植被的生长和光合作用具有显著影响,从而影响了NPP的季节性变化。

最后,通过对比CASA模型计算所得的NPP值($375.72 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)与MODIS处理后2022年的NPP数值($373.85 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)发现,CASA模型在估算通州区NPP时具有较高的可靠性和准确性。

3.2 生物量与园林废弃物量的计算

通过实地调查和计算发现,常绿灌木、常绿

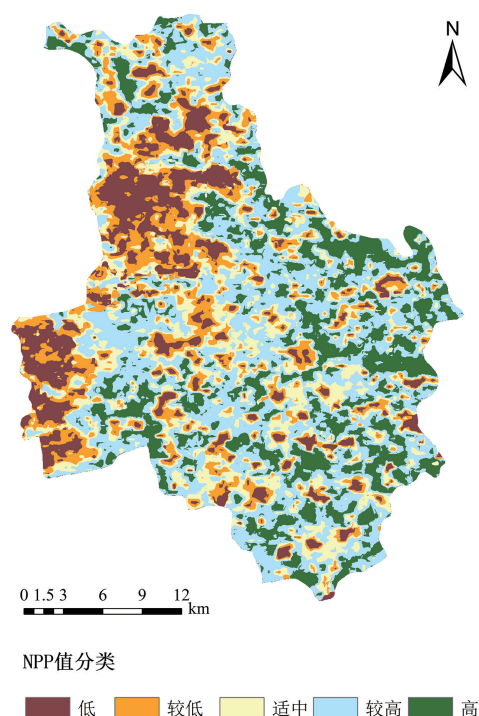


图1 CASA 模型处理过程及其结果

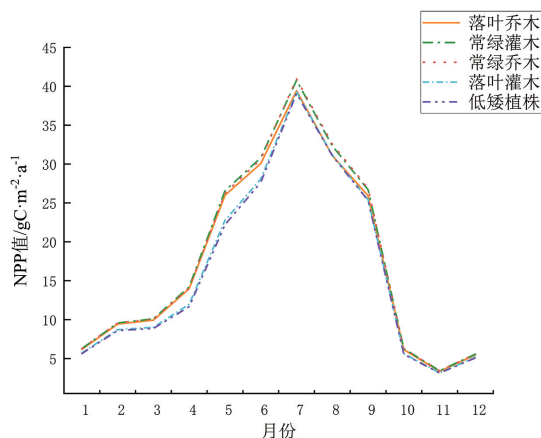


图2 2022年通州区五类植被类型NPP变化趋势

乔木、低矮植株、落叶灌木和落叶乔木的园林废弃物转换系数分别为 0、0.20、1.26、1.21 和 1.62, 生物量分别为 571.18、634.45、725.33、647.24 和 688.64 $\text{t} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。通过应用这些园林废弃物转换系数, 计算得到 5 类植物在生长过程中产生的废弃物和凋落物的总量。计算结果显示, 常绿灌木的园林废弃物量为 $0 \text{ t} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 常绿乔木为 $128.95 \text{ t} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 低矮植株为 $917.55 \text{ t} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 落叶灌木为 $783.29 \text{ t} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 而落叶乔木的园林废弃物量最大, 达到了 $1114.89 \text{ t} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。不同植被类型的生物量虽

然高, 但是对应的园林废弃物量较低, 说明其凋落后产生的园林废弃物因为回收技术和方法的问题收集率较低, 也有部分植物在冬天不会自然凋落, 如常绿灌木和常绿乔木。因此, 通州园林废弃物的回收方法有待提高。

研究结果表明, 落叶乔木在通州区园林废弃物产生量中占据重要地位, 尤其在通州区西南部地区, 由于落叶乔木的分布较为密集, 该区域园林废弃物产生量最大。而在通州的北部, 尽管落叶乔木的分布不及南部, 但相较于其他植被类型, 其园林废弃物产生量仍然较多。另一方面, 园林废弃物量较多的低矮植株则主要分布在通州区的中部地区, 特别是围绕建设用地周边。这些低矮植株虽然个体较小, 但因其数量众多, 且多处于人类活动频繁的区域, 其园林废弃物的累积和产生速度不容忽视。可见, 通州区不同植被类型的园林废弃物产生量及其空间分布具有不同的特点。因此, 在落叶乔木分布密集的西南部及北部地区, 应适当增加园林废弃物收集和处理设施的数量和容量; 同时, 考虑到低矮植株在中部地区的广泛分布及其园林废弃物产生量的特点, 建议在建设用地周边增设园林废弃物收集点。

经计算得到通州区 2022 年凋落物区域面积为 48515.85 hm^2 , 总园林废弃物量为 $1428600 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ 。这一结果表明, 在通州区生态系统中, 落叶乔木在物质循环和能量流动方面发挥着至关重要的作用。它们通过大量的园林废弃物量输入, 为生态系统的养分循环和土壤改良提供了重要的物质基础。

3.3 三级处理点的最优配置

公园作为植被集中的区域, 设置为通州园林废弃物的一级处理点; 再通过遗传算法耦合 GIS 的空间分析技术, 计算得出二级处理点和三级处理点的位置 (图 3)。

公园是符合建立一级处理点的候选绿地类型之一, 因为它们通常具有较大的绿地面积和较高的园林废弃物产生量。

二级处理点的主要作用是对收集的园林废弃物进行集中堆放和初步处理。本研究在划分二级处理点的区域时, 综合考虑各候选区域的位置分布、交通主干道和河流的位置等因素, 并根据

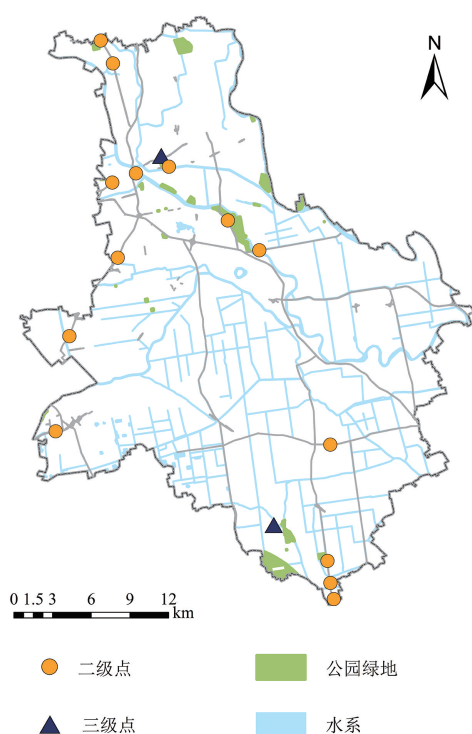


图3 二级处理点和三级处理点选址结果

GIS空间分析技术,分析不同区位的影响因子;同时在绿地数量较多、道路较为密集的地带多建立二级点,在居民活动范围较大的区域减少二级点位的建立。

园林废弃物在经历各二级处理点的初步筛选与处理后,需进一步运送至集中处理厂,即本研究所设置的三级点位,以进行精细化和专业化处理,从而生产出高质量的有机肥和有机覆盖物等农业及环境友好型产品。本研究综合考虑了各二级点位之间的地理距离和相互关系,在南北两个方向分别设置了1个三级处理点。这些点位均远离密集居民活动区域,以减少对周边环境和居民生活的影响。同时,这些点位也具备良好的交通条件和基础设施支持,能够确保园林废弃物的高效、安全处理,减少了因运输延迟或中断而导致的资源损耗和环境污染风险。此外,合适的运输距离不仅降低了运输成本,还有助于减少能源消耗和碳排放,提高整个系统的环境可持续性。

4 讨论

党的二十大报告指出,大自然是人类赖以生存发展的基本条件。尊重自然、顺应自然、保护自然,是全面建设社会主义现代化国家的内在要

求^[28]。然而,当前园林废弃物在处理和运输上仍面临多重挑战^[29]。为了突破这些局限,急需科学的布局设计案例为城市园林废弃物应用提供有效参考。对通州区园林废弃物的处理和再利用,无疑推动了城市绿色、低碳、可持续发展,也是北京实现“宜居城市”的重要一步^[30]。

本研究估算的通州区NPP主要受到降水、土地利用类型和人类活动影响。通州区的降水量对NPP有显著影响,降水集中在6—9月,其中7—8月平均占70%~80%。降水量多的月份,植被生长旺盛,NPP值相对较高。林地和低矮植株的园林废弃物量是通州区重要的生态系统组成部分,其植被覆盖度和生长状况直接影响NPP。林地的树种组成、林龄结构以及低矮植株的管理等都会影响植被的生长和NPP。农业活动如灌溉、施肥、农药使用等都会对植被生长和NPP产生影响,合理的农业活动可以促进植被生长、提高NPP。但是使用NPP数据估算园林废弃物量会有一定误差:首先是实地测量树木数据的过程会产生一定误差,如修剪植被的时间不同,不能保证对园林废弃物的随落随拾,以及收集人员的主观判断和经验不足也可能对估算系数和结果产生影响;其次就是查阅到北京市5类植被的根冠比和根茎比变幅较大,数据时效性有待提升。

本次研究设计的三级处理点位能为通州区园林垃圾的处理提供切实可行的指导。有关园林绿色废弃物处理点的选址方法有多种,部分学者利用层次分析法评估影响选址的因子并开发相关成本和潜力模型^[31-32],以考虑林业废弃生物质最优化利用^[33]。关于北京园林废弃物处理站点的选址研究,大部分没有经过小区域的实地调查和最新的政策解读。本研究经过大量实地调查研究和绿化政策解读,最终通过遗传算法结合GIS的空间分析技术,确定了更加精准的选址布局,在处理点位的设计上更加贴合于通州市区布局。

遗传算法通过模拟自然进化过程中的选择、交叉和变异等操作,在问题空间中进行全局搜索,有效避免了陷入局部最优解,这对于复杂的空间优化问题尤为重要^[34]。相比粒子群算法和蚁群优化法,遗传算法搜索范围广,具有更快的收敛速度。粒子群算法主要依赖于粒子间的交流和学

习^[35],在复杂的空间优化问题中,粒子间的交流受到限制,导致搜索效率下降;蚁群优化法通过模拟蚂蚁觅食过程中的信息素更新来寻找最优解,然而在空间优化问题中,信息素的更新受到多种因素影响,导致算法收敛速度较慢^[36]。

本研究关于一级点位的设置可以更加细致化,如将通州区分成几个小区域,确定哪些公园需要一级处理点,哪些一级处理点可以合并;三级点位也可以多和北京市其他区域联合,选择建设跨区集中处理站点^[37]。北京园林绿化面积相对较大,政府可以颁布更加细化的法律法规禁止绿色废弃物进行没有规划的运输或焚烧,并对有自主创新的工厂和工作单位提供资金支持^[38]。

园林废弃物处理站点建设对周边环境的潜在影响是多方面的,园林废弃物处理过程中会产生渗滤液,如果处理不当,这些渗滤液可能渗入地下水或地表水,导致水质污染。建议加强对渗滤液的处理和监测,确保达到排放标准后再进行排放或回用。同时,优化站点布局,避免在水源保护区和敏感水体附近建设处理站点。此外,园林废弃物中的有害物质在处理过程中会渗入土壤,导致土壤污染,对此应采用科学的处理方法和技术,如好氧堆肥、厌氧消化等,减少有害物质对土壤的污染^[39]。政府相关部门可以在站点选址和设计时充分考虑生态保护的需求,避免对敏感生态系统造成破坏。园林废弃物处理需要投入大量的人力、物力和财力,包括设备购置、运营维护、人员培训等费用^[40],可以通过技术创新和规模效应降低处理成本。同时,政府可以出台相关政策支持园林废弃物处理行业的发展,如提供财政补贴、税收优惠等,也要加强与社区居民的沟通和交流,充分听取其意见和建议。科普宣传和教育活动也能提高社区居民的环保意识和参与度,促进形成共建共治共享的良好氛围^[41]。

5 结论

以北京市通州区为例,本研究首先使用CASA模型得到通州区NPP分布,基于随机森林模型确定通州各植被种类分布;然后对研究区域内可收集的园林废弃物进行了调查,依据统计树木数据得到园林废弃物量转换系数,从而计算

出园林废弃物量的总产值,结合GIS技术和遗传算法设计求多元化园林废弃物处理站点。得到结论如下:1)通州区东南部和东北部NPP呈现中低值,其东部和西南部部分区域呈现高值;2)通州区常绿灌木的园林废弃物产生量最小,落叶乔木的园林废弃物量最大,主要分布在通州西南部;3)设置三级园林废弃物处理点,一级处理点设在各个公园内部,二级处理点根据各个公园交通和环境条件设置,在通州区南部和北部各设置1个三级处理点,可以最大化降低成本、提高园林废弃物处理效率。

参考文献

- [1] 刘学磊,任学勇,宋曙光,等.双碳背景下园林绿化废弃物资源化利用研究进展[J].安徽农业科学,2024,52(9):1-4,24.
- [2] 孙向阳,徐佳,杜建军.北京市园林绿化废弃物资源化再利用现状及思考[C]//北京园林学会,北京市园林绿化局,北京市公园管理中心.2010北京园林绿化新起点.北京:北京林业大学水土保持学院,北京市园林绿化局,2010.
- [3] ROBERT S.How much does it cost to compost yard trimmings[J].Biocycle,1996,37(9):39-45.
- [4] 范海荣,华璐,傅桦,等.城市垃圾堆肥的生态效应与对策研究[J].土壤,2004,36(5):498-505.
- [5] TURER R K,SALMONS R,POWELL J,et al.Green taxes,waste management and political economy[J].Journal of Environmental Management,1998,53:121-136.
- [6] 梁品,吕子文,方海兰.园林绿色废弃物堆肥处理的国外现状与我国的出路[J].中国园林,2009,25(4):1-4.
- [7] 周肖红.绿化废弃物堆肥化处理模式和技术环节的探讨[J].中国园林,2009,25(4):7-12.
- [8] 北京市园林绿化局.关于加快园林绿化废弃物科学处置利用的意见.京绿办发[2018]125号[S].北京:北京市园林绿化局,2018.
- [9] 宫明军.园林绿化废弃物收集点的选址规划:以上海市静安区为例[J].中国城市林业,2014,12(3):51-52.
- [10] 王雨桐,孙典韦,王立峰.南京市园林绿化废弃物资源化利用现状调查及前景模式探讨[J].江苏农业科学,2024,52(1):205-210.
- [11] 张小军,尹卫红,陈静.北京市“宜居城市”与土地资源利用探讨[J].北京联合大学学报(人文社会科学版),2006,2(5):20-23.
- [12] 朴世龙,方精云,郭庆华.1982—1999年我国植被净第一性生产力及其时空变化[J].北京大学学报(自然科学版),2001,37(4):563-569.
- [13] FIELD C B,RANDERSON J T,MALMSTRÖM C M.Global net primary production:combining ecology and remotesensing[J].

- Remote Sensing of Environment, 1995, 51(1): 74–88.
- [14] 朱文泉, 张锦水, 潘耀忠, 等. 中国陆地生态系统生态资产测量及其动态变化分析[J]. 应用生态学报, 2007, 18(3): 586–594.
- [15] 贾荣. 基于 CASA 模型的杭州市森林生态系统服务价值评价[D]. 济南: 山东师范大学, 2020.
- [16] BREIMAN L. Random forests[J]. Machine Learning, 2001, 45: 5–32.
- [17] 周正龙, 沙晋明, 范跃新, 等. 基于随机森林的遥感土地利用分类及景观格局分析[J]. 计算机系统应用, 2020, 29(2): 40–48.
- [18] 郝斌飞, 韩旭军, 马明国, 等. Google Earth Engine 在地球科学与环境科学中的应用研究进展[J]. 遥感技术与应用, 2018, 33(4): 600–611.
- [19] 唐琪, 李恒凯, 周艳兵, 等. 基于 Sentinel-2 与时序 Sentinel-1 SAR 特征的赣南柑橘种植区识别方法[J]. 农业机械学报, 2024, 55(3): 193–202.
- [20] GREGORY P J, TENNANT D, BEIFORD R K. Root and shoot growth and water and light use efficiency of barley and wheat crops grown on a shallow duplex soil in a mediterranean-type environment [J]. Journal of the Australian Institute of Agricultural Science, 1992, 43: 555–573.
- [21] 方鹏. 改进 CASA 模型支持下的作物生物量估算研究[D]. 开封: 河南大学, 2021.
- [22] 郑唯婕, 包维楷, 辜彬, 等. 陆生高等植物碳含量及其特点[J]. 生态学杂志, 2007, 26(3): 307–313.
- [23] 北京市园林绿化局. 林业碳汇计量监测技术规程: DB11/T 953—2013[S]. 北京: 北京市质量技术监督局, 2013.
- [24] 郭婷婷, 朱思瑾, 楼一蕾, 等. 城市公园常见植物固碳能力评估[J]. 中国城市林业, 2024, 22(2): 113–120.
- [25] 贺士元, 邢其华, 尹祖棠, 等. 北京植物志[M]. 北京: 北京出版社, 1992.
- [26] HOLLAND J H. Adaptation in natural and artificial systems: An introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence [M]. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1995.
- [27] 赵晨成. 园林废弃物处理点规划设计研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2022.
- [28] 武晓虎. 孝义市园林废弃物无害化处理存在的问题及对策[J]. 居业, 2024, 16(3): 170–172.
- [29] 聂世勇, 李亚光, 孟格蕾, 等. 上海市园林废弃物循环利用现状调研及对策分析[J]. 园林, 2021, 38(12): 32–37.
- [30] 苏贤明. 北京园林绿化废弃物资源化利用与选址布局研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2010.
- [31] MA J G, SCOTT N R, DEGLORIA S D, et al. Siting analysis of farm-based centralized anaerobic digester systems for distributed generation using GIS[J]. Biomass and Bioenergy, 2005, 28(6): 591–600.
- [32] HADDAD M A, ANDERSON P F. A GIS methodology to identify potential corn stover collection locations [J]. Biomass and Bioenergy, 2008, 32(12): 1097–1108.
- [33] PANICHELLI L, GNANSOUNOU E. GIS-based approach for defining bioenergy facilities location: a case study in northern Spain based on marginal delivery costs and resources competition between facilities[J]. Biomass and Bioenergy, 2008, 32(4): 289–300.
- [34] 张芳旭, 王军, 韩宇平, 等. 基于遗传算法的二维土壤水与作物生长耦合模拟模型构建和参数优化[J/OL]. 农业机械学报. (2024–08–13) [2024–09–20]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1964.s.20240813.0929.007.html>.
- [35] 熊芮, 赵林军, 张宇航. 基于灰狼-粒子群算法的有源配电网故障定位[J/OL]. 电力系统及其自动化学报. (2024–08–13) [2024–09–20]. <https://doi.org/10.19635/j.cnki.csu-epsa.001501>.
- [36] 邵桂荣. 基于改进蚁群算法的机器人路径规划[J]. 山西大同大学学报(自然科学版), 2024, 40(4): 5–8.
- [37] 朱建刚. 关于德国、瑞典园林绿化废弃物资源化利用现状及对北京市的启示[J]. 国土绿化, 2018(12): 38–40.
- [38] 朱悦, 何晶晶, 章骅. 上海市园林废弃物产生与利用现状、难点及对策分析[J]. 环境卫生工程, 2023, 31(3): 15–23.
- [39] 崔馨月. 基于生态系统负面服务的哈尔滨城市公园绿地评价研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2020.
- [40] 劳惠达, 李晓东, 刘新鲁, 等. 新常态下城市绿色废弃物循环利用存在的问题及对策研究[J]. 环境与发展, 2017, 29(3): 60–61.
- [41] 王芳, 李洪远. 绿化废弃物资源化利用与前景展望[J]. 中国发展, 2014, 14(1): 5–11.