

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.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.01.029

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

王雨桐,孙典韦,王立峰

(南京农业大学,江苏南京 210095)

摘要:在可持续发展战略以及城市生态保护的要求下,构建园林绿化废弃物的资源化利用处理体系,对于江苏省南京市完善建设生态文明城市既有必要性又有可行性。但南京市园林绿化废弃物循环利用工作仍处于起步阶段,水平有待提升。因此,梳理现行成熟的绿化废弃物利用形式,通过调查南京市绿化废弃物资源化利用的现状,对 2 个试点类型的废弃物处理场开展调研(主要包括资源利用方式和相应成本盈利测算 2 个方面),发现资源化处理途径有待扩展,市场化的运收处理规模和水平有待提升。通过梳理国外发达国家完善的法律法规体系和多方面的宣传管理引导,以及国内较早开展绿化废弃物收集处理的一线城市的多种运营模式,最终从健全法律法规、完善运收处理体系、加强经济扶持引导产业市场化 3 个方面对南京市绿化废弃物的处理提出建议,并为完善南京市绿化废弃物资源化利用提供指导意见,助力南京市生态文明建设。

关键词:园林;绿化废弃物;处理场;资源化利用;生态文明;南京市

中图分类号:X705 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)01-0205-05

园林绿化废弃物又称园林垃圾或绿色垃圾等,是指城市园林植物因人工修剪或自然凋落所产生的枯枝、落叶、草屑、败花及其他可能的植物残体等。随着我国城市绿化逐步受到重视,在“公园城市”和“森林城市”概念的提出和推广下,城市园林绿化面积逐年稳步提升,在“碳中和”政策的要求下,园林建设和生态环保的关联也变得愈发紧密。全国绿化委员会发布的《2021 年中国国土绿化状况公报》指出,新增 43 个城市开展国家森林城市建设,在全国范围内,成功建设 2 万余个“口袋公园”,绿道长度超过 8 万 km^[1]。城市固体废弃物的主要构成之一就是园林绿化废弃物,其会随着城市绿化工作的持续推进而不断产生。然而,每年进入环卫填埋系统的园林绿化废弃物逼近 50 亿 kg,成为城市固体垃圾的组成部分之一。对垃圾填埋场收纳增加持续性的压力,容易造成周边水体、大气和土壤环境的多重二次污染,更会导致大量生物质资源浪费和损失^[2]。加快园林绿化废弃物资源化利用

的步伐以及构建城市绿化废弃物处理体系的需求十分迫切,既有必要性又有可行性。长期以来,农林废弃物被视为固体垃圾,往往以掩埋和焚烧作为主要处理方式,既加剧了环境污染,又造成大量生物质能源消耗损失^[3]。且在泥炭资源大量减少的背景下,农林废弃物作为农业和林业生产的副产品,有着数量规模大、可再生、可降解、再生周期短等诸多优点,因此诸多研究将目光投向有机栽培基质的开发上^[4]。而绿化废弃物由城市绿化工作的推进而大量产生,也成为废弃物资源化处理重要的利用对象。目前,国内对于绿化废弃物的研究主要从绿化废弃物堆肥产物组成成分研究及应用潜力与价值^[5-7]、国内外绿化废弃物相关政策分析^[8-10]、国内各城市绿化废弃物资源利用模式分析^[11-12] 3 个方面开展。江苏省南京市随着全国各地绿化废弃物处理体系的构建,目前也建立了部分绿化废弃物处理点进行初期的试点,但接下来绿化废弃物规范化、资源化、市场化的模式和途径仍有待进一步探索和优化,以完善南京市建设生态文明城市的需要。在可持续发展战略及城市生态保护的要求下,本研究通过分析绿化废弃物可行性的处理方式,并调查南京市多家绿化废弃物处理厂的资源利用现状的手段和模式,与国内外城市政策要求和投资运营模式进行分析与对比,以期南京市绿

收稿日期:2023-02-27

基金项目:南京市园林绿化行业科技计划(编号:NJSYLJ20140302)。

作者简介:王雨桐(2002—),女,江苏南京人,主要从事景观理论与设计、园林植物应用研究。E-mail:wyutong2002@126.com。

通信作者:孙典韦,工程师,主要从事林业调查规划设计、生态产品价值实现机制研究。E-mail:1131213728728@qq.com。

化废弃物资源化利用提出多方面的优化建议。

1 现行成熟的绿化废弃物利用形式

1.1 土壤改良基质

将枯枝落叶进行粉碎后,以好氧堆肥发酵的方式生产,即经历适当的混合配比和加工处理后利用微生物代谢堆肥发酵,使得原先的有机质转变为稳定的腐殖质物质,最终产出富含腐殖质、氮、磷、钾等多种植物生长所需养分的产品^[13]。

代表性产品除了有机肥料,还有作用相似的栽培基质和土壤改良剂等。如应用于园林草花的育苗与栽培,可部分代替有机栽培基质泥炭、草炭,进而从微生态环境的角度改良土壤内部,在一定程度上可以抑制病虫害的发生^[14]。堆肥技术主要有罐式发酵、膜覆盖发酵、槽垛式发酵和自然发酵,但时间最短 15~20 d,长则 3~6 个月,需要较大的场地,且来源差异会导致堆肥产品品质参差不齐。

1.2 地表有机覆盖物

有机覆盖物来源广,包括树皮、木片、松针等,一般需经高温杀菌处理,且对枝条要求高,即需健康的、直径 3 cm 以上的枝条。只需通过粉碎转化后形成,利用形式也非常简单方便,适量铺设于裸露地表即可。有机地表覆盖物富含植物生长的各种营养元素,是土壤养分良好的补给源,在土壤微生物的分解作用下,释放其中蕴含的营养元素,达到改良土壤和有效阻隔扬尘的多重作用,进一步减少浇水、施肥、除草等后续潜在的管理成本。它对土壤的长期改良与保育作用,有助于城市绿地的低成本维护^[15-17]。

有机覆盖物应用场景广泛,可用于树池覆盖在树木根部周围,分隔树木与周围草地;还可以用于花坛覆盖,以稀植花坛植物间的表土并造型花坛的自然配色;此外,还能用于公园大面积覆盖,用于分隔空间,丰富色彩变化,作为缓冲材料提高儿童游乐场地的安全性。现如今南京市江北新区已经实现绿化废弃物转为地表覆盖物的实际应用,在太子山公园和江北快速路、江苑路等多条道路绿化带开展使用多种色彩的有机覆盖物^[18]。

1.3 生物质能源

现代生物质能区别于传统的直接燃烧利用形式,以生物机质为媒介将太阳能转化成可贮存的化学能,在绿化废弃物的处理上,将枯枝落叶转化为新型清洁能源。具体形式有物理转换(成型燃料加工)、化学转换(燃烧、气化、液化等)、生物转换(发

酵等)等 3 种方式加工处理后形成。在能源安全和碳排放公约两者的共同要求下,生物质作为现今唯一能够通过不同处理方式转换为固、液、气 3 种利用形式的燃料,应用前景广阔。同时也是可再生能源中最具备存量丰富、可储存运输和碳中性优势的能源种类,在缓解传统化石燃料紧缺的压力上具有较强的可行性^[19-20]。

园林绿化废弃物的资源化属性从为作物提供养分、材料化利用和能源形式转换 3 个方面体现,相应地,绿化废弃物的资源化利用方向可分为肥料化利用、材料化利用和能源化利用^[3]。其中,生物质能源作为能源化利用的主要形式,其高价值属性成为引起世界各国研究领域的焦点,但多数尚处于研发探索阶段,还未形成产业化利用。加之绿化废弃物有粉碎颗粒材质疏松、板材承压力差等诸多特点,应用范围局限性较大,处理要求多、难度大,目前应用规模有限,而相较之下前 2 种资源化利用方向技术要求低,目前前 2 种利用方式已经有了成熟的发展方向,即呈规模化、产业化发展,成为当下城市绿化废弃物的主要处理途径。

2 南京市主城区部分绿化废弃物处理现状

2021 年 1—4 月的数据统计显示,南京市主城区各区纳入城维管养的行道树、各类市民广场、游园绿地产生的树木修剪枝材及落叶等废弃物共约 950 万 kg。其中 90% 以上废弃物被运往各区处置场(点)进行初步粉碎后再寻求深加工处理,约 10% 的废弃物被直接送往终端处理企业(板材加工、覆盖物加工等)。主要处理方式及处理量见表 1。

表 1 南京市主城区绿化废弃物处理情况统计

地区	粉碎后做 生物质发电 原料(万 kg)	堆肥 发酵 (万 kg)	生产 覆盖物 (万 kg)	板材 加工 (万 kg)	其他 (万 kg)
玄武区(含中山陵、玄武湖)	274	20	5		55
秦淮区		50	9		8
建邺区	102	5		2	
鼓楼区	171		45	10	
栖霞区	14	10	10	4	
雨花台区	119	35		2	
合计	680	120	69	18	63
总计			950		

从南京市绿化废弃物处理的目标地点上分析,运往生物质发电厂用作燃料的处理方式占总量的

71% (主要运往安徽省天长市、来安县、马鞍山市发电厂以及江苏省盱眙发电厂等,无南京市本地发电厂),其中堆肥发酵占 13%,覆盖物、板材、介质生产等方式占 16%。

而在处理成本收益上,用作发电燃料根据运距长短,成本为 0.24 ~ 0.28 元/kg,收益价格主要取决于废弃物含水率、类别等因素,结果为 0.19 ~ 0.24 元/kg。目前这种处理方式一方面满足南京市级严禁送往南京本地的垃圾焚烧厂进行处理的有关规定要求,另一方面在成本收益上处于基本平衡或略微亏损的状态,综合来看是市场上接受度较高的处理方式。

目前收益较高的处理方式是覆盖物生产,根据南京市秦淮区自筹经费引进的彩色覆盖物生产线运营数据,综合成本(人工、水、电、油等)约 1.2 元/kg,产品市场售价一般 3 ~ 4 元/kg;其他各类处理方式收益较少,计算成本后企业需花费一般 0.08 ~ 0.12 元/kg。

3 南京市现有绿化废弃物处理场类型

3.1 南京市河西绿化废弃物处置场

南京市河西绿化废弃物处置场项目于 2020 年底按期完工,处于设备测试运行阶段。选择采用的工艺为核心发酵工艺,使用密闭式好氧发酵罐,发酵周期由传统厌氧发酵的 3 ~ 6 个月缩减到 15 ~ 20 d,全程可编程序控制器(PLC)计算机控制,自动曝气、控湿、加温、除臭,通过工厂化、无害化处理,有效控制异味及污水处理,减少安全隐患,减少碳排放,发酵产品为有机基质,用于改良城市土壤组成成分,改善土壤板结的问题,增加土壤疏松度,提高透水透气性。

根据测试运行情况可知,2021 年 1—3 月开展外部配套设施建设、设备调试并更换相关零部件等相关工作,截至 5 月初累计处理废弃物约 100 万 kg,产出有机基质约 5 万 kg(去除原料水分、杂质后净质量),部分产品已回用于河西地区的土壤改良,剩余储存在处置场内。测试期间成本测算主要包括人员(3 人)、水、电、机油及其他辅材,破碎成本为 0.10 ~ 0.12 元/kg,通过罐体发酵成有机基质成本为 0.22 ~ 0.26 元/kg,综合人员工资、水费、电费等其他辅材费用约 0.229 元/kg。

3.2 南京市仙林绿化废弃物处置场

南京市仙林绿化废弃物处置场项目采用能源化结合堆肥发酵处理双工艺方案。草本类绿化废弃物富含纤维素,适合微生物降解,经过粉碎、无氧

发酵、有氧发酵等一系列处理,最终装袋用于改良土壤;而木本类绿化废弃物相较而言木质素含量更高,燃烧热值高,经过破碎粉碎、分筛除杂、压制成型,装袋用以做成生物质颗粒,主要用于生物质颗粒及碳化处理工艺的研究。成本测算中电费略低于河西绿化废弃物处置场的处理方式,辅材成本略高,总成本为 0.172 元/kg。由于测试运行阶段少量产品用于科研,产生的大部分粉碎产品也未走向市场销售,暂未产生经济效益。

随着上述 2 处绿化废弃物资源化处置示范点的运行及推广,2021 年南京市在玄武区、鼓楼区、江宁区、江北新区多处新增了绿化废弃物处置中心,逐步在全市范围完成建设,以深化探索企业、社会共同参与绿化废弃物处置工作。

综合来看,南京市绿化废弃物利用水平随着各区处理场的建立在逐步提升,形成较完整的处理体系。但仍存在一定问题,一方面处置设施选点未被重视,在用地规划上难以落地,各区处置场以临时用地为主;另一方面在处理方式上仍相对单调和有限,虽然堆肥发酵降解为有机基质和覆盖物生产 2 种形式有一定占比,实际可利用性较强,用于发电的量占比仍然较高,整体规模和产生的经济效益有限,资源化利用水平较低。

4 国内外绿化废弃物处置投资运营模式

相较国内,国外更早面对日益严峻的城市废弃物处理问题,对园林绿化废弃物的处理有更早的认识和更完善的处理手段和体系。在立法方面,早在 1994 年美国国家环境保护局(EPA)就制定了专项法律条约和规范,严格管控有关园林绿化废弃物的各项工艺流程,从初级的收集分类到后续的发酵和再利用流程都有涵盖。强调以有机物覆盖、生物堆肥、再生生物质能源等生态环保方法替代填埋和焚烧园林绿化废弃物等破坏环境的方法,引领世界对园林绿化废弃物进行资源化再利用。

在联邦法律层次上,美国国家环境保护局通过立法的方式,从环境保护的角度确保园林绿化废弃物合理处置,视其作为城市固体废弃物管理的重要组成部分;在州法律层次上,禁止焚烧或填埋园林绿化废弃物的法令在美国超过 20 个州内颁布^[21-22],甚至有些州还附加规定,严格要求政府部门采购或使用绿化废弃物堆肥支撑的材料产品用于土壤改良。

现如今日本可以井井有条地规范化处理废弃物,也是因为其早在 20 世纪 90 年代日本政府就制定了一系列废弃物循环利用的法律规范。日本在 20 世纪 90 年代连续修订或颁布 3 个有关固体废物处理处置方法的法律条文,一方面从整体上以等级划分的形式开展废弃物处理,提出卫生处理、正确处理、再生利用的三步转换利用逻辑,后又根据循环型社会发展的需要确定立法宗旨,几年后从国家战略层面上提出构建“与自然共生”的广义循环型社会的要求,在具体的单项立法上增加了许多条规,规范循环型社会中的城市废弃物管理,要求政府采购绿化废弃物经过加工处理后获取的生态产品,由政府带头实现资源的再利用。

除了通过立法和行政指导监管等形式以法律程序确保绿化废弃物的利用,同时还会采取税收、财政、信息等多元化的多重手段来辅助。为引导园林绿化废弃物的循环化使用,美国多个州自发成立相应的社会组织机构,政府也会拨付专项经费来督促行业内部措施的规范。比利时由绿化服务机构建立处置场并处理,再由非营利性组织进行市场化销售,政府还会按照生产的堆肥量向市民发放相应的补贴。而加拿大政府通过发放堆肥箱的方式鼓励市民将绿化废弃物自行放入,可以在一定时间段后自行使用发酵后的肥料,并开展“肥料周”活动,以活动宣传的形式对这项举措进行推广^[21]。

2007 年,原中华人民共和国建设部发布了我国第 1 部直接要求城市园林绿化废弃物循环利用的法规性文件《关于建设节约型城市园林绿化的意见》(建城[2007]215 号),并提出“鼓励通过堆肥、发展生物质燃料……减少占用垃圾填埋库容,实现循环利用”^[21]。南京市政府在 2014 年发布《关于印发南京市加快推进生态文明建设三年行动计划(2015—2017)的通知》,积极跟随国家推进生态文明城市建设的要求,北京市、广东省深圳市等城市建设园林绿化废弃物处理场试点并开展绿化废弃物的回收和利用,明确各主体责任形成统筹管理机制,探索园林绿化废弃物综合利用的可行方向,建设园林绿化废弃物资源化处置示范点并推广^[23]。

在具体绿化废弃物处理场的投资运营模式上,目前国内以 3 种运营模式为主,一是政府投建、财政补贴,如北京市西城区园林绿化废弃物处置中心由区政府投资,处理原料包括西城区的绿化废弃物和环卫垃圾,通过政府补贴的方式进行运作;二是政

府投建、企业运营,如深圳市采取的是政府建设、企业运营的模式进行运作,生产的产品主要由企业自行消化;三是财政补贴、市场化运行,如浙江省杭州市、宁波市通过市场化引入企业对废弃物进行处置和资源化利用,政府给予适当补贴。本研究对昆山市、深圳市和北京市 3 个城市采用的投资运营模式展开实际分析,作为率先开展绿化废弃物试点的城市,其处理模式所展现的优劣势和可行性都极具参考意义。

4.1 江苏省昆山市绿化废弃物处理方式

目前江苏省昆山市初步成形了相对闭合的绿化废弃物处置模式。昆山模式由政府引导、协会参与,最终选择以企业为主体,形成三者共建共享的新型模式,在具体的方式方法上选用粉碎堆肥回土、改良土壤的加工处理方法实现绿化废弃物再利用^[24]。

昆山市全市共设 9 个处置点,其中 7 个为初级收集点,剩下 2 个处置点用于实现绿化废弃物的循环利用。其中,绿化废弃物的初步收集与运输均遵循“谁产生谁负责”原则,送至各处置点;循环利用点负责收集 7 个初级收集点绿化废弃物。企业提供循环利用点的生产线并负责运营,政府则对产品进行回购,再分配给市内绿化养护和建设单位。

昆山模式现存的问题在于较小场地的处理能力有限,整体绿化废弃物循环利用规模偏小,此外处置利用途径只能停留在粗粉碎,制作生物质燃料的阶段。

4.2 广东省深圳市绿化废弃物处理方式

广东省深圳市主要采取政府建设,企业运营的模式进行运作,生产的产品主要由企业自行消化。以承包责任制作为园林绿化废弃物的主要运收形式,借由市场化运作的方式来完善园林绿化养护和管理。道路绿地、公园绿地、小区绿地的管理养护会按类型和分区交由绿化管理处或园林绿化公司承包商,每个单位负责将自己相应辖区内的植物碎屑或枝条用手推车收集后送往附近的垃圾中转站,最终统一集中用压缩车运往填埋场填埋^[25]。

4.3 北京市绿化废弃物处理方式

北京市采用多种经营模式共存的方式,包括纯企业化运作和有政府直接运营等诸多模式。西城区的园林绿化废弃物处置中心就是以区政府牵头,处理原料包括西城区的园林废弃物和环卫垃圾,通过政府补贴的方式进行运作。

通过国内外绿化废弃物的现行处理方式不难

看出,成熟而规模化的园林绿化废弃物处理体系具有以下几点要求:一是合理而完善的政策支持对政府和企业共同合作,以构建绿化废弃物处理体系提供了有力的保障;二是政府和企业之间要明确具体责任分工,提升工作与管理效率;三是积极推进市场化引导,以达到最终将绿化废弃物资源化利用的目的。

5 南京市绿化废弃物的处理建议

基于上述对南京市城区绿化废弃物处理现状的调研现状,参考国内外先进的经验模式可知,绿化废弃物的处理主要需要政府进行前期规范引导和后期社会多方落实。由此对南京市城区绿化废弃物的再利用提出以下几点建议,主要从健全法律法规、完善运收处理体系、加强经济扶持引导产业市场化 3 个方面入手。

5.1 健全相关法律法规

由国内外的经验可见,由政府出台且与绿化废弃物处理直接相关的指导性专项法律法规,是推动绿化废弃物资源化利用的切实基础保障。在详实规范的指导下,在研究方面,可以鼓励科研院校开展对绿化废弃物资源化途径的发展和研究,完善生产程序,改进设施设备,探索资源产品化应用的可能性;在实际落实方面,可以由政府牵头,联合企业规范化废弃物处理流程。

5.2 完善运收处理体系

南京市各区根据实际情况,合理规划处置设施场所,配套相应政策、资金,对所有产生的绿化废弃物进行收集、运输、处置,实现全过程、全覆盖,处置后的产品全部回用于区域内的土壤改良、裸土覆盖等。此外,明确各阶段的职责分工,整合部门职责,提高管理效率,加强监督监管,保障绿化废弃物资源化处理的有效推进。

5.3 加强经济扶持,引导产业市场化

绿化废弃物循环利用的市场培育处于起步阶段,资源化利用水平需要提高,方式类型有待丰富,各区在现有处置点的基础上,原则上只对绿化废弃物进行收集和初级粉碎处理,方式基础单一。财政根据测算成本适当进行补贴。终端资源化利用环节充分发挥市场资源配置效应,鼓励采用多种途径让企业与社会共同参与。

6 总结

本研究通过调查南京市绿化废弃物各区厂资

源化处理现状,包括资源利用方式和成本盈利测算,结合国内外现有政策和运营模式的分析研究,为南京市进一步完善绿化废弃物处理体系,从健全法律法规、完善运收处理体系、加强经济扶持引导产业市场化 3 个方面提出建议。

绿化废弃物资源化、减量化、无害化处置是绿化废弃物分流处置的必然趋势,作为一项强调资源再利用而非盈利的环保产业,前期的运营管护需要政策的保障、正度的立法支持和资金投入,在推进过程中更离不开各级政府协调统筹和企业的规范化实施,尽可能充分利用现有的环卫、园林收集点和收运体系,加快园林绿化废弃物资源化利用从分类收运到处置利用体系的完整体系构建。

参考文献:

- [1] 全国绿化委员会办公室. 2021 年中国国土绿化状况公报[J]. 国土绿化,2022(3):13-17.
- [2] 路强强,赵叶子,陈智坤,等. 城市园林废弃物中纤维素高效降解微生物菌系的构建[J]. 江苏农业科学,2020,48(6):272-277.
- [3] 田 赞,王海燕,孙向阳,等. 农林废弃物环保型基质再利用研究进展与展望[J]. 土壤通报,2011,42(2):497-502.
- [4] 索琳娜,金茂勇,张宝珠. 农林有机废弃物生产花木栽培基质技术和前景[J]. 北方园艺,2009(4):108-112.
- [5] 冯小杰,刘国梁,张 伟,等. 园林绿化废弃物堆肥对土壤有机碳组分影响[J]. 北京林业大学学报,2021,43(7):120-127.
- [6] 殷泽欣,张 璐,白一帆. 园林绿化废弃物堆肥替代泥炭用于波斯菊的栽培[J]. 浙江农林大学学报,2022,39(5):1045-1051.
- [7] 马其雪,孙向阳,李素艳,等. 园林绿化废弃物堆肥对铅、锌污染土壤上小白菜生理特性的影响[J]. 浙江农业学报,2020,32(11):2027-2034.
- [8] 吕子文,方海兰,黄彩娣. 美国园林废弃物的处置及对我国的启示[J]. 中国园林,2007,23(8):90-94.
- [9] 吕子文. 日本绿化植物废弃物处置场见闻[J]. 园林,2012(2):32-34.
- [10] 刘宏钊,陈德敏. 论城市园林绿化废弃物循环利用的法律规制[J]. 中国园林,2015,31(10):104-108.
- [11] 于 鑫,孙向阳,徐 佳,等. 北京市园林绿化废弃物现状调查及再利用对策探讨[J]. 山东林业科技,2009,39(4):5-7,11.
- [12] 王锐颖. 西安市园林绿化废弃物循环再利用现状与对策研究[J]. 中国农学通报,2021,37(25):97-102.
- [13] 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):7-11.
- [14] 刘 瑜,戚智勇,赵佳颖,等. 我国城市园林废弃物及其资源化利用现状[J]. 再生资源与循环经济,2020,13(8):38-44.
- [15] 阚丽艳,奚霄松,何晓颖,等. 有机覆盖物对城市园林植物土壤养分状况的影响[J]. 上海交通大学学报(农业科学版),2014,32(1):79-88.
- [16] 王欣国. 有机覆盖物及其在美国城市园林中的应用概况[J].

李嘉欣,李 智,郭明月,等. 不同种植年限设施蔬菜土壤的理化性质及对供磷能力的影响[J]. 江苏农业科学,2024,52(1):210-218.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.01.030

不同种植年限设施蔬菜土壤的理化性质 及对供磷能力的影响

李嘉欣¹, 李 智¹, 郭明月¹, 朱文昊¹, 张朝春^{1,2}, 刘 龙³, 叶新新¹, 郅红建¹

(1. 安徽农业大学资源与环境学院,安徽合肥 230036; 2. 中国农业大学资源与环境学院,北京 100193;
3. 安徽省和县土壤肥料工作站,安徽合肥 238200)

摘要:研究不同种植年限设施蔬菜土壤养分和磷库的变化及磷吸附-解吸的能力,旨在为设施蔬菜合理施用磷肥提供理论依据。通过采集蔬菜典型生产区种植 5、28 年土壤以及临近的水稻土和自然条件下原状背景土的 0~20、20~40 cm 土层的土壤样品,测定土壤主要理化性质;利用 Hedley 磷分级法分析土壤磷库变化。选取安徽省和县的 2 种典型土壤,探究土壤磷的吸附-解吸特性以及与土壤理化性质之间的关系。结果显示,设施蔬菜土壤的养分含量显著高于水稻土与背景土,但 pH 值显著低于后者。种植 28 年设施蔬菜表层(0~20 cm)土壤的全磷、有效磷含量分别为 4.16 g/kg、380.22 mg/kg,与种植 5 年的土壤相比分别提高 232%、138%,且 NaHCO₃-P、NaOH-P、HCl-P 逐渐成为主要的磷库,而 NaOH-P_o 组分含量显著下降。随种植年限的延长,土壤磷的吸附能力下降而解吸能力增加,亚表层(20~40 cm)土壤有效磷含量增加。相关分析结果表明,土壤 C/P、N/P、pH 值、有机质含量、有效磷含量是决定土壤最大缓冲容量(MBC)的主要因子;土壤磷吸附能力与 C/P、N/P、NaOH-P_o 含量呈显著正相关,与 C/N、pH 值、有机质含量、微生物量磷含量、全氮含量、全磷含量、有效态磷(Olsen-P)含量及其他磷组分含量呈显著负相关,而解吸能力与之相反。因此设施蔬菜土壤随种植年限的延长,土壤磷吸附能力下降,解吸能力增加,导致土壤供磷能力提高;但同时促进磷向深层土壤移动,增加磷面源污染风险。

关键词:蔬菜;长期施肥;土壤理化性质;土壤磷组分;土壤磷吸附-解吸特性

中图分类号:S630.6;S143.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)01-0210-09

中国种植结构正经历着从“以粮为纲”向“粮经协调发展”的转变;设施农业能充分利用自然资源,产量高、品质优,种植面积不断加大^[1]。然而,设施

农业具有养分投入大、施肥不合理等特点,容易造成土壤板结和盐渍化等问题,不仅危害作物生长,而且导致土壤氮磷流失,加剧环境污染风险^[2-3]。

磷作为作物正常生长发育所必需的大量营养元素之一,其合理施用可提高作物产量^[4];但不当施用不仅会降低磷肥的当季利用率,而且容易增加水体富营养化等风险^[5]。蔬菜带来的高经济价值导致菜农容易过量施用肥料,因此,蔬菜等经济作

收稿日期:2023-02-08

基金项目:安徽省科技重大专项(编号:202103a06020012)。

作者简介:李嘉欣(1996—),女,四川峨眉山人,硕士研究生,主要从事植物磷素高效利用与调控研究。E-mail:1531546403@qq.com。

通信作者:张朝春,博士,教授,主要从事作物间套作研究。E-mail:zhangcc@cau.edu.cn。

广东园林,2015,37(2):77-79。

[J]. 中国园林,2015,31(10):104-108。

[17]周 翔. 有机覆盖物在园林绿地中的应用研究[D]. 上海:上海交通大学,2011。

[22]吕子文,方海兰,黄彩娣. 美国园林废弃物的处置及对我国的启示[J]. 中国园林,2007,23(8):90-94。

[18]南京江北新区:“废料”变“肥料”绿化废弃物化身“城市吸尘器”[EB/OL]. (2022-12-16)[2023-02-15]. <https://mp.weixin.qq.com/s/HANM3pa5zUqNoDT7WxDDuQ>.

[23]南京市绿化园林局. 市政协十四届四次会议第 0520 号提案的答复(关于进一步加强园林绿化废弃物处置和综合利用工作的建议)[EB/OL]. (2021-07-13)[2023-02-15]. https://www.nanjing.gov.cn/xxgkn/2021njytabl/shizxta/202112/t20211207_3223972.html.

[19]马隆龙,唐志华,汪丛伟,等. 生物质能研究现状及未来发展策略[J]. 中国科学院院刊,2019,34(4):434-442。

[24]园林废弃物循环利用·昆山模式[J]. 园林,2020(6):81。

[20]侯家萍,王 闻,张蕾欣,等. 现代生物质能源技术体系及其产业化应用态势[J]. 现代化工,2022,42(5):7-13。

[25]春建伟,刘鸿雁,梁顺文,等. 深圳市园林绿化垃圾的产生和收集现状及处置对策[J]. 环境卫生工程,2009,17(1):47-49。

[21]刘宏钊,陈德敏. 论城市园林绿化废弃物循环利用的法律规制