



www.viserdata.com

自然科学研究

NATURAL SCIENCE RESEARCH

季
刊

■ 主办单位: Viser Technology Pte.Ltd.

■ ISSN 3041-0584(online) 3041-0576(print)



2024 **1**

第1卷 总第1期

COMPANY INTRODUCTION

公司简介

维泽科技文化有限公司(Viser Technology Pte. Ltd.)成立于新加坡，是一家科技与文化高度融合的创新型企业。我们拥有一支具有较高文化素质、管理素质和业务素质的团队，聚焦于国际开源中英文期刊、体现文化含量与学术价值图书的出版发行。秉承“传播科技文化，促进学术交流”的理念，与国内外知名院校，科研院所及数据库建立了稳定的合作关系。坚持开拓创新，实施“跨越-融合”的发展战略，立足中国、新加坡两地，辐射全球，并于中国设立河北和重庆两个分部。我们将紧紧围绕专业化、特色化的发展道路，不断营造“有情怀，有视野，有梦想”的企业文化氛围，独树一帜，做一家“有血、有肉、有温度”的创新型出版企业。

Viser Technology Pte. Ltd. was founded in Singapore with branch offices in both Hebei and Chongqing, China. Viser focuses on publishing scientific and technological journals and books that promote the exchange of scientific and technological findings among the research community and around the globe. Despite being a young company, Viser is actively connecting with well-known universities, research institutes, and indexation database, and has already established a stable collaborative relationship with them. We also have a group of experienced editors and publishing experts who are dedicated to publishing high-quality journal and book contents. We offer the scholars various academic journals covering a variety of subjects and we are committed to reducing the hassles of scholarly publishing. To achieve this goal, we provide scholars with an all-in-one platform that offers solutions to every publishing process that a scholar needs to go through in order to show their latest finding to the world.



自然科学研究

Natural Science Research

2024年·第1卷·第1期（总第1期）

主办单位：Viser Technology Pte. Ltd.

I S S N：3041-0584 (online)

3041-0576 (print)

发行周期：季刊

收录时间：4月

期刊网址：www.viserdata.com

投稿/查稿邮箱：viser-tech@outlook.com

地 址：111 North Bridge Rd, #21-01 Peninsula Plaza,
Singapore 179098

学术主编：马伟芳

学术副主编：Ajmal Khan

安 宁

安俊明

蔡懿苒

甘银波

张学东

吕贻忠

责任编辑：尹小文

美工编辑：李 亚 Anson Chee

定 价：SGD 20.00



本刊声明

本刊所载的所有文章均不代表本刊编辑部观点；作者文图责任自负，如有侵犯他人版权或者其他权利的行为，本刊概不负连带责任。

版权所有，未经许可，不得翻译、转载本刊所载文章。

警告著作权人：稿件一经本刊使用，如无电子版或书面的特殊声明，即视为作者同意授权本刊及本刊网络合作媒体进行电子版信息网络传播。

《Natural Science Research》即《自然科学研究》期刊由新加坡Viser Technology Ptd Ltd主办，国际标准刊号：ISSN 3041-0584。《自然科学研究》是一本关注自然科学领域最新进展的国际中文期刊，主要刊登自然科学各学科领域的基础研究和应用基础研究方面的高水平、有创造性和重要意义的最新研究成果论文，以促进学术交流与成果转化，文章被权威网站全文收录。

该刊支持思想创新、学术创新，倡导科学，繁荣学术，集学术性、思想性为一体，旨在为了给世界范围内的科学家、学者、科研人员提供一个传播、分享和讨论自然科学领域内不同方向问题与发展的交流期刊。

目 录



CONTENTS

城市尺度碳排放核算体系及其应用的研究.....	辛 莉 韩东梅 杨奕晨 马伟芳	1
福清市上迳镇松材线虫病的现状及防控方法.....	孙 涛	10
浅谈大田作物种植过程中存在的问题及应对措施.....	康惠忠	14
以乌兰察布市中心城区为例探讨乌兰察布市城市生物多样性保护现状及对策建议.....	董永祥 曹 婷 温雅文 曹永红	18
小流域水污染综合治理中存在的问题及相关措施研究.....	马晓文	21
生态修复技术在水利工程水土保持中的有效应用研究.....	李 刚	24
淤地坝“淤满”后的水沙效应及防控对策研究.....	张 峰 刘明和	27
光伏扬水灌溉系统在土地整治中的应用研究.....	陈丽月	30
腾格里沙漠南缘沙生芦苇无性系种群数量动态研究.....	马廷甲	33
完全混合式 MBR 反应器处理猪场沼液试验研究.....	杨 莉 仲立文 卫 丹 殷鸿洋 孙 昭	38
钛酸铋钠基无铅陶瓷储能的制备及性能研究.....	李骏扬 赵鑫宇 姜晓曼 李城钢 李一涵 张 杨	44

城市尺度碳排放核算体系及其应用的研究

辛莉¹ 韩东梅² 杨奕晨¹ 马伟芳^{1*}

1 北京林业大学环境科学与工程学院, 北京 100083

2 北京节能环保中心, 北京 101160

[摘要]城市碳排放核算作为了解城市碳减排潜力的第一步, 已经初步形成框架清晰、方法成熟的完整系统, 其应用逐步多元化, 并上升到影响低碳发展转型的战略高度。此文系统分析了核算体系中指标清单及范围、数学方法模型、数据获取方式等环节实施方法, 探讨了碳核算对于城市碳排放特征评估、驱动因素识别、减排措施及路径制定等方面应用的影响。研究表明: 指标交互性、数据质量是影响核算准确性的重要因素, 未来发展趋势将是多种模型的融合及系统性的碳平衡验证。

[关键词]城市碳核算; 核算模型; 数据收集; 评估框架

DOI: 10.33142/nsr.v1i1.12359

中图分类号: X196

文献标识码: A

Research on Urban Scale Carbon Emission Accounting System and Its Application

XIN Li¹, HAN Dongmei², YANG Yichen¹, MA Weifang^{1*}

1 College of Environmental Science & Engineering, Beijing Forestry University, Beijing, 100083, China

2 Beijing Energy Conservation and Environmental Protection Center, Beijing, 101160, China

Abstract: As the first step to understand the potential of urban carbon reduction, urban carbon emission accounting has initially formed a clear framework and mature methods for a complete system. Its application is gradually diversified and has risen to a strategic height that affects low-carbon development and transformation. This article systematically analyzes the implementation methods of indicator lists and ranges, mathematical methods and models, data acquisition methods and other links in the accounting system, and explores the impact of carbon accounting on the evaluation of urban carbon emission characteristics, identification of driving factors, emission reduction measures and path formulation. Research shows that indicator interactivity and data quality are important factors affecting the accuracy of accounting, and the future development trend will be the integration of multiple models and systematic carbon balance verification.

Keywords: urban carbon accounting; accounting models; data collection; evaluation framework

城市低碳转型迫切需要将气候变化政策与城市发展规划结合起来。大多数国家计划到 2050—2070 年实现碳中和, 即相对“零排放”^[1]。我国作为全球排放量最大的发展中国家, 处于能源消耗、碳排放量的上升期, 随着快速城市化过程推进, 城市碳排放量占比达 60%~80%^[2]。城市作为人类生产生活的主要中心, 不仅是能源消费和碳排放的主要空间载体, 也是实现碳中和的最重要的舞台。因此城市碳排放核算, 即量化表述碳排放变化趋势对于实现碳中和具有重要意义。

摸清城市碳排放底数是开展城市低碳转型工作的基础。从全球看, 城市碳核算研究可以划分为三个时期, 初始期(1988—2006 年)主要关注实地监测、遥感等碳排放检测方法, 集中在交通领域; 新兴期(2007—2014 年)基于检测技术、能源消费量建立的碳排放核算模型得到广泛应用, 大多数用于行业碳足迹分析; 繁荣期(2015 年至今)研究增长点在于城市碳排放核算及其驱动因素, 以及在城市政策规划制定方面的应用^[3]。我国 2011 年编制了《省级温室气体清单编制指南(试行)》, 并且陆续颁布

了近 30 个国家省部级的行业碳排放标准, 而城市层面的核算指南至今尚未出台。核算结果差异会影响城市低碳规划制定、增大了减排目标分解落实难度^[4]。国务院发布了《关于加快建立统一规范的碳排放统计核算体系实施方案》(发改环资〔2022〕622 号), 要求完善统一规范的碳排放统计核算体系。而且考虑到当今城市减少碳排放的策略已经从技术减排上升到低碳发展转型的战略高度^[5-6], 亟须开展城市尺度碳排放核算体系及其应用的研究。

本研究围绕城市碳排放核算体系的各个环节, 及其在城市碳排放特征评估、驱动因素识别、减排措施及路径制定等方面应用展开讨论, 旨在辨析城市碳核算体系的各种观点及未来发展趋势, 一起推进中国城市碳排放的核算工作。

1 碳排放核算体系

本研究系统梳理了城市碳排放核算体系的各个环节, 即核算的清单范围边界、方法模型、数据收集等三部分内内容(见图 1)。

1.1 核算清单、范围及边界

核算清单、范围及边界是从不同角度描述核算体的碳

排放情况。政府间气候变化专门委员会（IPCC）发布的清单方法学指南是各国碳排放核算范式与框架构建的重要参考^[7]。《IPCC 2006 年国家温室气体清单指南 2019 修订版》（以下简称《IPCC 指南》）清单中将经济部门划分为能源、工业过程和产品使用、农业、林业和其他土地利用、废弃物等 5 大部分。世界资源研究所/世界可持续发展工商理事会（WRI/WBCSD）在清单基础上对排放源进行的界定和描述、将城市温室气体排放划分为三个范围，其中范围 1 包括天然气、液化石油气等固定燃烧，汽油、柴油等移动燃烧，矿井甲烷、空调氢氟碳化物等无组织排放，以及工业过程和现场制造过程中释放的二氧化碳等四类产生的直接温室气体排放；范围 2 指电力、热力产生的间接温室气体排放；范围 3 为运输、废弃物处理等其他间接温室气体排放。地方政府永续发展理事会（ICLEI）发布的《ICLEI 城市温室气体清单指南》，从排放源的管理角度提出核算边界，即在城市碳核算中所设定的界限或边界，如行政边界、经济边界或其他界定方式，用于界定哪些碳排放源和活动应纳入到核算中。IPCC、ICLEI、WRI/WBCSD 的分类方法得到机构和学者的广泛认可。从组成要素看，核算的清单、范围及边界这三者所属的核算主体是一致的，通过清单编制、范围确定、边界划分来确定碳排放指标。三者之间的区别在于：清单是对城市各个行业、部门或活动的碳排放情况记录和统计，范围决定了哪些行业或部门纳入到核算中，边界则是用来界定核算的范围和边界。除这三类主流方法外，文献研究中还有内部排放、核心外部排放和非核心排放，内部过程排放、上游过程排放和下游过程排放等多种分类方法^[4]。在实际应用中，并不会刻意强调这些概念的不同，而是根据核算目的，选择合适碳排放主体的清单、范围及边界。

不同城市具有明显异质性，通常根据产业结构、地理资源禀赋、经济发展程度、居民消费习惯等城市特征，开展研究具有倾向性的核算。这是由于细致、全面的核算意味着程序复杂、数据量大，特别是在碳排放数据不齐全的情况下，全面核算实施具有一定难度。以厦门为例，核算了长途汽车（客货）、铁路、海运、航空等跨境运输，城市主要进口材料（燃料、水泥、水和食品），工业流程和产品（只涉及玻璃生产和电子行业的排放），农业活动（粪肥管理、肠道发酵、水稻栽培和种植土壤）中范围 1 和范围 2 的排放量，以及跨界交通和城市主要进口材料的范围 3 的排放量^[8]。同样是基于 IPCC 范围 1+2+3 的核算，美国丹佛、阿瓦达等 8 个城市的工业指标只是考虑了水泥的生产^[9]。对于上海城市碳排放研究，分为两大类，一是工业、交通、第三产业、居民生活及其他，共 5 个类别的人为活动中能源消费产生的直接碳排放；二是范围 3 中住宅、非住宅、铁路、道路、水管和煤气管道等 6 种基础设施，以及 10 种建筑材料的隐含碳排放^[10]。美国西雅图从行业角

度，考虑了交通（客运货运使用的汽油和柴油）、建筑（建筑物直接使用天然气供暖和热水）和垃圾处理领域等三类碳排放^[11]。伊朗开发的排放清单包括车辆、住宅、商业和公共服务、加油站、工业、能源转换行业（发电厂、炼油厂和石化企业）、公交终点站、机场和铁路、工业和燃料站等重点碳排放行业^[12]。这些研究核算内容存在差异，但通常核算主涵盖了 80% 以上的碳排放。因此，这种具有城市倾向性的核算，对于城市特征识别是有效的，而不能直接用于不同城市间碳排放量的对比。

相对于清单和范围的清晰，当前城市核算边界也在进一步细化。通常称之为“碳泄露”或称为跨区域碳排放活动的核算。城市作为资源交汇地，大量消耗能源的生产活动发生在城市外界、而产品的消费活动发生在城市内部。对美国 8 个城市碳排放评估表明，受行政边界的限制，对于城市材料和能源的碳排放量总体影响低估了 47%^[9]。当前已经有研究尝试将地理边界和运营控制设定城市边界，如电网跨省市供电、将飞机燃料碳排放量分配给到达地、离港地各 50%^[9]。关于明确城市间的碳排放权责分配，学者基本都持双方分摊的观点，然而差异在于分摊的多少。

为了能有效的对比，通常会选用相同指标对城市群进行分析。这类碳排放核算主体往往具有普适性，从清单看，以能源、交通、建筑、和工业为主；范围通常包括直接、间接碳排放；核算边界以行政边界为主，通常采用人均碳排放量、单位 GDP 碳排放量等指标衡量。因此，核算清单、范围及边界作为核算主体的识别，对于碳核算结果有直接的影响；城市间的碳排放责任需要进一步清晰界定。

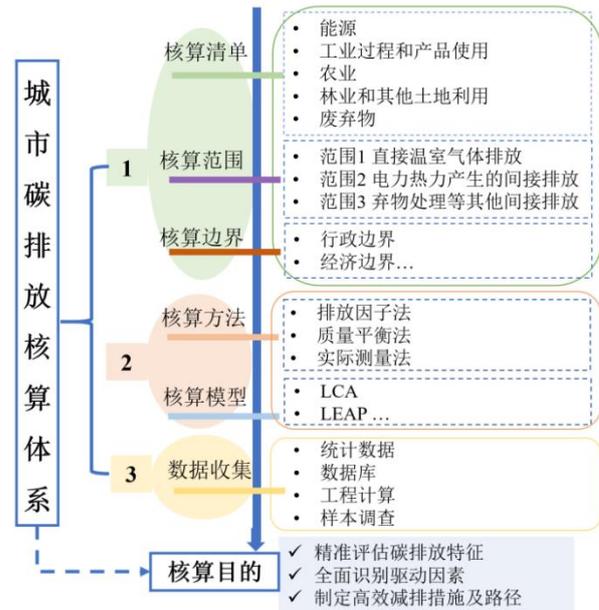


图 1 城市碳排放核算体系示意图

1.2 核算方法及数学模型

对于碳排放主体的核算方法可归纳为排放因子法

(Emission-Factor Approach)、质量平衡法(Mass-Balance Approach)、实际测量法(Experiment Approach)等3类,通常采用数学模型进行不同尺度大规模且复杂的碳排放核算(图2)。

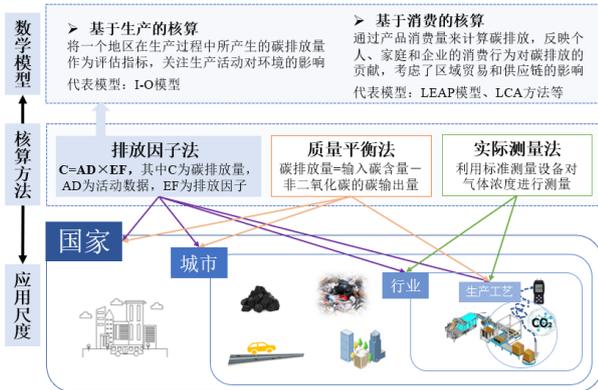


图2 城市碳排放核算基本方法及其适用范围

排放因子法具有可操作性强、数据获取难度低的优点。排放因子取值与能源类型、质量和燃烧条件相关,通常采用《IPCC 指南》、行业标准或专业机构的建议值^[13]。事实上,直接采用国家/省级清单上的缺省值可能会忽略本地特征,常采用蒙特卡罗方法计算活动数据和排放因子的不确定性。质量平衡法通过测量物料的进出量以及不同阶段的转化率计算碳排放量。该方法适用于相对独立整体的碳排放量核算和局部生产过程的核算^[14]。实际测量法利用标准测量设备对气体浓度进行测量,受样品采集和处理流程中样品代表性、测定精度等因素干扰。该方法主要针对特

定排放源的碳排放核算,如工业生产过程、交通车辆尾气、农业化肥畜禽饲养等层面^[15]。实际测量法在城市尺度应用很少、多用于获取某一参数值。综上,排放因子法是目前城市尺度碳排放核算应用最广泛的方法。

为了提升碳排放核算的准确度和自动化程度,学者们开发了多种模型提高计算效率,以满足不同的碳排放核算需求。数学模型大多以排放因子法为底层逻辑,基于生产、消费的两类视角开展计算,本研究总结了常见模型的优缺点及适用范围(表1)。生产侧核算关注生产活动对环境的影响,探讨能源部门与宏观经济之间的相互作用,不区分最终用途的能源消费。模型一般采用的变量包括宏观经济指标(国内生产总值、就业率和价格指数等)、气候条件、人口状况等,常用模型有投入产出法(input-output, I-O)。I-O法通过追踪物质和能源在经济系统中的流动,揭示不同经济部门和活动的碳排放水平^[16-18]。消费侧核算依据底层能源活动消耗量计算碳排放,反映个人、家庭和企业的消费行为对碳排放的贡献,通常划分为建筑、交通、工业、废弃物等不同维度^[19],常用模型有长期能源替代规划系统模型(Long-range Energy Alternatives Planning, LEAP)^[20-25]、生命周期算法(Life-cycle assessment, LCA)^[26-29]。由于城市间存在产品、能源的流通,因此使用基于消费的方法,可以克服与地域库存量和纯地理生产核算有关的限制。

模型的核算主体来自于核算清单、范围及边界,其精确性受到数据可获得性、数据质量的影响;本身作为核算的工具和手段,对于碳核算结果并无影响。由于计算的复杂性,越来越多的研究趋向于多方法、多模型的耦合。

表1 常用碳排放核算模型

模型	时间/开发者	计算公式	优点	缺点	应用
I-O 模型	1930s, 俄罗斯经济学家瓦西里·里昂蒂耶夫	$A = [a_{ij}], a_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_j}$ <p>A为直接消费系数矩阵,即a_{ij}为第i部门满足第j部门产出单位增加的产品投入;X_{ij}是i部门到j部门的输入;X_j为部门j的总产出</p>	基于投入产出表,计算简便快捷,不存在截断偏误	无法详细说明碳排放与技术变量、能源关系;投入产出表编制时间长、更新频率低,仅测算特定年份	特征识别
LEAP 模型	1980s, 斯德哥尔摩环境研究所和波士顿大学联合开发	$E = \sum_i \sum_j A_{n,j,i} \times L_{n,j,i}$ $C = \sum_i \sum_j \sum_n A_{n,j,i} \times L_{n,j,i} \times EF_{n,j,i}$ <p>E为能源消费总量, A为活动水平, L为能耗强度, C为终端能耗产生的碳排放量, n为能源类型, i为活动部门, j为终端能耗设备, EF为碳排放系数</p>	基于消费端核算,数据结构灵活;通过“资源、转换、需求”三部分来实现能源从开发到需求的完整过程	基于现有技术和市场进行模拟和预测,忽略了新技术和政策的潜在变革	降碳措施及路径
LCA 方法	1990s, 联合国环境规划署	$C_s = \sum_{i=1}^n R_i \times EF_i$ $S = S_1 + S_2 + \dots + S_n$ <p>C_s为产品/材料/服务的碳排放量, R为消耗量, EF为碳排放系数, S表示全生命周期的碳排放, S₁、S₂、...S_n表示生命周期的所有阶段碳排放</p>	全面考虑具体技术对多种原材料、能源和废弃处理等过程影响	计算复杂度较高、数据获取困难	特征识别 降碳措施 路径

1.3 数据收集方法

在实际核算中，数据可得性是完成核算的重要条件。在城市尺度上，碳排放数据多来源于统计部门，统计数据具有可得性高、代表性强、操作便捷的优点，然而现有城市统计数据种类有限、很难完全满足研究需要。我国 183 个城市中一半以上的城市缺乏可公开获取的二氧化碳排放数据，只有北京、天津、上海等超大城市具有完整的能源平衡表和能源清单^[30-31]。数据来源不一致、质量低、缺乏关键信息等，为当前碳核算带来一定难度。

为了满足核算需求，学者通过数据库、工程计算、抽样调查等方式来获得更多数据。数据库是专业部门搜集大量专业类信息设置而成。美国能源信息管理局 1977 年成立的 EIA 数据库包括石油、天然气、煤炭、核能、可再生能源等能源的生产、消费、进出口和储备等方面数据。法国环境与能源管理局 2011 年的开发 TABULA，包括建筑能耗、交通运输、服务业、产业等方面的能源消费和碳排放数据。欧盟第七框架计划 2013 年资助成立的 the EXIOBASE 数据库包括全球范围内能源使用、二氧化碳排放量、就业人口等各个经济部门的生产和消费数据等相关指标。中国碳核算数据库 (CEADs) 涵盖全球、国家、省级、城市、县级等多尺度碳核算清单及社会经济与贸易数据。此外，有些专业软件，如 BIM 软件带有自创的功能数据库涵盖行业常见组件信息^[32]。工程计算，即基于设计标准、设定运行时间、历史天气条件的理论，结合大数据挖掘和分析技术进行能耗估算^[33]。如采用随机森林模型将珠江三角洲地区 2 座建筑物的数据作为初始训练集，以找到施工阶段碳排放与设计参数之间的关系，估计建筑活动对环境的影响^[34]。然而，这种方式存在不确定性，需要人工插入参数，拟值与测量值之间存在一定范围误差^[35]。样本调查，通过收集代表性原始数据，以调查样本代表城市范围活动水平。这种方法受样本质量干扰、一定程度上忽略了个体特征差异。如通过计算单位数量建筑的碳排放量、代表城市所有建筑碳排放量^[36]，利用遥感夜间灯光影像表征人类活动强度、用于城市空间碳排放研究^[10]。这些数据的获取，一定程度弥补了由于数据缺乏所带来的研究困难。然而，仍存在不同程度的误差。因此，在丰富数据来源的同时，科学简化难以搜集、或需要实测的生产活动参数，做到内容涵盖尽量全面，不舍弃重要数据也是一项重要手段。

2 碳核算体系应用

城市碳排放核算结果应用大致可以分为三类：城市碳排放特征评估、驱动因素识别、减排措施及路径制定（图 3）。这三者之间存在相互联系与递进关系，城市碳排放特征依据核算结果进行评估，了解城市的碳排放状况进而确定低碳目标；通过识别驱动因素找到碳排放主要来源，为制定低碳策略提供科学依据；探讨减排措施及路径为政策规划制定可行性建议，指导城市的低碳发展。



图 3 碳排放核算体系及其应用概念图

2.1 城市碳排放特征

城市碳排放特征是指城市居民、产业和交通等活动所导致的城市二氧化碳排放特点。评估城市碳排放特征可以了解不同城市的碳排放来源、及其分布特点，常进行多个城市对比评估、或单个城市特征识别。

多个城市间的比较常在同一核算清单、核算方法下完成，单个城市碳排放特征评估与核算的清单及范围紧密相关。由于城市人口、规模差异，通常采用碳排放强度、人均碳排放量、能源强度等效率指标，描述不同城市的碳排放特征。如 2016 年泰国兰芬人均碳排放量为 10.1 吨 CO₂，而布里拉姆仅为 3.8 吨^[31]。基于能源平衡表，从 47 个社会经济部门、17 种化石燃料和 9 种第一产业产品等方面评估了全国 24 个城市，结果表明以煤矿和重工业为主的的城市人均碳排放量较高，如鸡西（22.84t）、呼和浩特（29.67t）、唐山（14.20t）等；位于偏远地区、处于欠发达阶段的城市如宿迁（1.18t）、南平（2.38t）、成都（2.53t）和武威（2.5t）等人均碳排放量较低^[37]。

单个城市的评估结果，由于采用了核算方法不同、数据来源不同，各类研究结果很难具有可比性。即使同一城市、结果也可能存在较大差异。同样是采用投入产出法，对北京的化石燃料、生物质、金属矿物、非金属矿物等 200 多种原料分析，结果显示建筑部门和非金属矿产占据城市的主导地位^[18]；而基于居民消费视角分析，间接排放量占大多数，特别是食住行通、教育娱乐^[38]。

当前对于城市碳排放特征评估已经拓展到空间形态。常借助于软件，如地理信息系统（GIS）工具分析建筑面积、人口密度、土地利用、道路结构等城市空间数据，可视化表达不同区域和空间单元的碳排放特征^[39]。

2.2 碳排放驱动因素识别

城市碳排放驱动因素的识别是在碳排放核算及特征

评估的基础上,解析碳排放影响因素的差异性。产生碳排放的能源消费活动受地域、经济、人口、技术、土地利用变化等外部环境的影响,常用 IPAT 模型、STIRPAT 模型、LMDI 模型、Kaya 等式等数学模型识别驱动因素(表 2)。

IPAT 模型用于识别人口、财富、技术等三大类因素对于城市碳排放的影响,可以扩展为 STIRPAT 模型,从城市化率、人均居住面积、居民消费水平、服务水平、能源强度、能源结构等更加具体的因素进行分析。STIRPAT 模型评估能源结构升级和能效提升是北京减排的关键驱动因素,即清洁能源消费比重每增加 1%、碳排放总量减少 0.54%,而能源强度每降低 1%,碳排放总量减少 0.53%^[40]。Kaya 等式主要用于识别社会、经济、能源等宏观影响因素对于碳排放的影响及其贡献。解析能源结构、能源强度、

经济产出、产业结构和人口等因素在城市演化过程中的表现^[45]。Kaya 等式可以进一步扩展为 LMDI 方法,将能源消费/污染物排放总量变化分解为各个因素贡献,并分析其相互作用。采用 LMDI 方法对 2000—2016 年中国 41 个行业碳排放的驱动因素分析,结果表明能源强度是降低 CO2 排放的主要指标,而碳强度、能源结构和产业结构的影响相对较小^[46]。LMDI 模型用于识别中国建筑业未来发展的主要驱动因素,估计发电、建筑存量调节和居住行为的贡献分别为 47.85%、14.24%和 13.68%^[47]。这些模型在描述排放特征方面具有明显的优势,但无法为低碳/零碳路径制定提供更具体的信息。

在实际应用中,不存在某一种驱动力分析方法绝对最优,需要根据实际情况进行选择。虽然这些模型描述了城

表 2 碳排放驱动因素识别模型

核算方法	定义	时间/开发者	计算原理与公式	优点	缺点	应用对象	文献
IPAT 框架 (Impact = Population × wealthy × technology)	揭示人口、富裕和技术三种不同驱动因素对环境的影响	1971, 美国斯坦福大学人口学家 Ehrlich 和 Holden	$I = PAT$ I 为环境压力, 一般用污染物排放或资源消耗来表示; P 表示种群大小; A 为经济财富因子; T 代表广义上的技术进步	简单易懂、可比性强	以影响因子与环境指标之间具有比例关系为前提, 不适用于驱动因素造成的非比例效应, 用于有限因素核算	国家, 城市	[18]
人口、富裕和技术的回归随机影响方法 (the method of stochastic impact by regression on population, affluence and technology, STIRPAT)	通过对 IPAT 模型取自然对数得到的多变量非线性方程	1994, 美国社会学家 Thomas Dietz 和 Eugene A. Rosa	$\ln I = a + b_1 \ln P + b_2 \ln A + b_3 \ln T + \ln e$ I、P、A、T 的含义同 IPAT 模型且可扩展为多个因素, a 为常熟项, b、c、d 分别为各因素的弹性系数, e 为随机扰动项	方便加入新指标和变量、进行多种方式变形, 探索社会经济和技术因素与能源消费之间的关系	只能反映变量对整体碳排放趋势的影响, 而无法区分各个因素的具体贡献	城市	[18, 40]
卡亚恒等式 (Kaya Identity, Kaya)	用社会、经济、能源等宏观影响因素之间关系以简单数学关系描述碳排放量变化	1989 年, 日本教授 Yoichi Kaya	$C = \frac{C}{F} \times \frac{F}{E} \times \frac{E}{G} \times \frac{G}{P} \times P$ C 为碳排放量, F 为化石燃料消耗量, E 为总能耗, G 为国内生产总值, P 为人口数量	数学形式简单、参数少、分解无残差, 计算简单, 以多因子形式清晰表达	只能解释碳排放量流量变化、无法解释存量变化, 得出政策建议具有模糊性和非理性	国家, 城市	[41]
对数平均迪氏指数 (Logarithmic Mean Divisia Index method, LMDI)	基于扩展的 Kaya 等式, 将能源消费/污染物排放总量变化分解为各个因素贡献, 并分析其相互作用	2004 年, 新加坡教授 B. W. Ang	(1) 加法分解法: $\Delta X_j = \sum_i [(Q_i^t - Q_i^0) / (\ln Q_i^t - \ln Q_i^0)] \cdot (\ln x_{ji}^t - \ln x_{ji}^0)$ (2) 乘法分解法: $D = \exp \left\{ \sum_i \frac{(Q_i^t - Q_i^0) / (\ln Q_i^t - \ln Q_i^0)}{(Q_i^t - Q_i^0) / (\ln Q_i^t - \ln Q_i^0)} \cdot (\ln x_{ji}^t - \ln x_{ji}^0) \right\}$ Q ^t 为 t 时间碳排放量; X _{ji} ^t 代表驱动分解因素; i 为主体所包含的部门或类型	乘法分解和加法分解可以相互转化, 细部门效应与总效应一致, 结果表达准确、无残差项	分析结果受数据质量和分解方案的影响较大; 无法考虑系统复杂度的变化	国家, 城市	[41-43]
灰色关联模型 (GRA 法)	由灰色系统理论发展而来的一个分支, 对受多个复杂因素影响的事物或者对象从系统观念出发做出综合分析和评价	中国教授邓聚龙	设定目标矩阵, 建立影响因子矩阵, 并进行标准化, 根据关联系数计算模型得到关联度计算模型 $R = (R_1, R_2, \dots, R_i, \dots, R_m)^T, i = 1, 2, \dots, m$ $R_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \gamma_{ij}(j), j = 1, 2, \dots, n$ R 为关联度, m 为样本个数, n 为影响因子个数	对样本量大小、样本有无规律都同样适用, 不会出现量化结果与定性分析不符的情况	基于一定前提假设, 如关联序列的平稳性和关联度的均匀分布等, 若假设在实际应用中不成立, 可能会影响模型的有效性	国家, 城市	[10, 44],

市碳排放驱动因素的影响程度,但并不能完全体现定量分析特征,无法提供详细信息和分析结果。需要结合其他定量分析方法,以更加准确地评估环境影响、制定有效政策。

2.3 减排措施及路径制定

减排措施及路径制定的研究基于碳排放核算结果,利用识别出的重要驱动因素作为主要变化参数,采用情景分析法预测碳排放的趋势,主要包括以下两个方面:预测不同情境下降碳措施的实施效果,探讨实现碳达峰和碳中和的路径。

预测不同情境下降碳措施的实施效果,提出不同行业的降碳贡献比。厦门利用投入产出法对2009年的碳排放进行核算,结果显示工业部门的贡献最大,占总排放的55.13%;2050年实现碳中和目标的缓解策略是提供低碳交通、提高建筑效率、增加低碳能源满足能源需求的份额^[8]。巴西圣保罗使用LEAP模型核算并预测了2014年至2030年的碳排放,其中城市交通(58%)、家庭(15%)、商业和服务(13%)是主要碳排放来源,通过综合考虑城市能源系统的更新,预计到2030年可实现碳排放较2014年减少24%^[21]。运用STIRPAT模型和LEAP模型,设计了6个政策情景,分析北京各个部门消耗化石能源产生的碳排放,认为碳排放重点区域是电力、交通和商业部门,应该增加可再生能源在进口电力中的比例,通过利用CCUS实现碳中和^[40]。另外,一些研究侧重于分析某一因素对于碳排放量的影响,例如日本东京重点考察了建筑报废率^[48],上海研究了电力系统影响燃料结构改善、输电结构和输电规模^[49]。

此外,在实现双碳目标的大背景下,关于近远期目标实现的路径差异也是研究热点。不同城市对于碳达峰和碳中和的科学关注点和战略需求有明显差异^[50]。以广州为例,交通运输部门被视为减排潜力最大的部门,对于按时达到碳排放峰值目标至关重要;短期内,交通、工业和电力等领域需要采取严格的减排策略,而长远来看,建筑行业的减排策略,如提高能源效率和推广可再生能源的大规模应用对零碳目标至关重要^[51]。

综上所述,碳核算体系已初步形成一个完整的研究系统,尤其是在减排措施及路径制定这类定量研究方面,具有重要的理论意义,为实现碳中和目标提供了重要的科学支持。

3 碳核算问题分析及发展方向

城市碳排放量的科学核算是实现双碳目标的首要环节,具有重要的理论意义和应用价值。在短短的10多年时间里,碳排放研究已经发展成为一个范式清晰、方法成熟、使用范围广泛且与时代紧密结合的研究领域。然而,目前的碳排放研究仍存在一定的问题和不足,建议推进碳排放理论构建和方法论研究,以提升研究的精准度和参考价值。

3.1 碳排放指标交互性

在核算指标方面,亟待加强对城市内部行业关联以及城市之间商品流通所导致的碳排放指标的时空交互作用

进行解析。对于不同城市之间,城市能源和物质流动会引发跨界排放,比如外调电力、热力等跨区域流动的消费。

《IPCC指南》不计算外购电的排放、也没有对应的评估方法。在我国,特别是北京、上海等能源输入型城市,这类二次能源带来的碳排放量已经引起重视。综合考虑生产和消费两种视角,由碳转入地和转出地共同承担的排放责任分配^[52]。从城市内部行业活动的角度来看,同一项生产活动可以划归不同的行业。目前各个行业都颁布了相应的碳排放行业标准,但是排放主体方面存在一定程度的交叉。例如,建筑材料的运输既是建筑行业全生命周期核算的一部分,也属于交通行业中货物运输的范畴。因此,在城市层面进行核算时,如何进行行业分类归属、做到全面而不重复的核算也是需要关注的问题。

3.2 数据的标准化与精细化

数据指的是活动水平和排放因子,标准化与精细化体现在三个方面,即完善碳排放数据统计制度与健全数据共享机制、细化区域排放因子数值。数据缺失是影响核算准确性的重要约束因素,直接导致核算结果的差异。因此,迫切需要完善碳排放数据的统计制度,建立健全的数据共享机制,制定城市碳排放清单的标准方法和系统的数据管理,提供可靠的基础数据来源。

现有各种数据收集方法为重点行业和环节单元的碳排放核算提供了良好的思路,但是在城市层面上,会将个性放大为共性,由此带来的较大差异。此外,加强基层数据质量的提升。如利用烟气排放连续监测系统、企业在线能源/环境直报系统等企业层面的监测技术,可以大大提高清单的精度和可验证性^[53];因此,基础性数据的标准化和归一化工作,亟须进一步完善。

城市碳排放核算以排放因子法在为主,然而,碳排放因子大多来自于《省级温室气体清单指南(试行)》中的默认值,这可能与城市自身发展特点并不一致。《IPCC指南》不计算外购电的排放、也没有对应的评估方法。北京在2020年发布了《二氧化碳核算和报告要求(DB11/T 1787—2020)》一系列地方标准,提出了适用于本地的电力和热力排放因子参数的推荐值。各个城市应根据自身的自然资源禀赋、能源结构、地理条件等特点,考虑排放因子基于的特征和属性。

3.3 碳核算的平衡校验

单一的方法或模型已经无法满足对城市复杂系统的核算需求,采用多种方法、模型的耦合运算成为当前研究的趋势。碳核算涉及众多数据源和计算方法,模型是从有限的已知数据集进行外推和/或内推的方法,存在不确定性。《IPCC指南》建议与其他机构编制的排放或清除估算的比较,以及与完全独立评估(如大气浓度测量)推导的估算的比较。基于大气浓度(遥感测量和地面基站测量)反演温室气体排放量,从而验证传统自下而上清单结果^[53]。

在城市碳核算方面,应该尝试建立模型和数据的检查,进行核算系统的碳平衡校验。提供核算结果的可信度和可靠度,以帮助决策者评估结果的可行性和风险。

4 结论

建立科学的碳排放核算体系是建设低碳城市的首要环节。当前碳排放核算受制于清单边界不一致、测算方法不同、数据缺乏等问题,影响了碳排放核算的准确性和有效性,滞后于低碳城市的建设需要。本文从城市碳排放核算体系的清单范围、方法模型、数据收集等方面分析了其对于城市碳排放核算结果的影响,讨论了其在城市特征评估、驱动因素识别、减排措施及路径制定方面的应用,并指出了未来研究方向,以期为低碳城市建设提供理论支持。

基金项目:北京市碳中和达标体系与负碳技术解决方案研究与应用(Z211100004321001)。

[参考文献]

[1]CHEN L,MSIGWA G,YANG M,et al. Strategies to achieve a carbon neutral society a review [J]. Environmental Chemistry Letters,2022,20(4):2277-2310.

[2]王灿,张雅欣. 碳中和愿景的实现路径与政策体系[J]. 中国环境管理,2020,20(6):58-64.

[3]ZHANG Y,LI J,LIU G. Accounting For Urban Carbon Dioxide: A Review[J]. Journal of Environmental Accounting and Management,2016,4(3):339-351.

[4]丛建辉,刘学敏,赵雪如. 城市碳排放核算的边界界定及其测度方法[J]. 中国人口·资源与环境,2014,4(24):19-26.

[5]SOEST H L V,ELZEN M G J D,VUUREN D P V. Net-zero emission targets for major emitting countries consistent with the Paris Agreement[J]. Nature Communications,2021,12(1):2140.

[6]ZHAO X,MA X,CHEN B,et al. Challenges toward carbon neutrality in China:Strategies and countermeasures[J]. Resources Conservation and Recycling,2022,176(10):105959.

[7]蔡博峰,朱松丽,于胜民. 《IPCC200 年国家温室气体清单指南 2019 修订版》解读[J]. 环境工程,2019,7(37):10.

[8]LIN J,LIU Y,MENG F,et al. Using hybrid method to evaluate carbon footprint of Xiamen City, China[J]. En Policy,2013,58(74):220-227.

[9]HILLMAN T,RAMASWAMI A. Greenhouse Gas Emission Footprints and Energy Use Benchmarks for Eight US Cities [J]. Environ Sci Technol,2010,44(6):1902-1910.

[10]黄诚. 城市碳排放的多维度评价与情景模拟[J]. 博士学位论文,2020,34(9).

[11]LAZARUS M,CHANDLER C,ERICKSON P. A core

framework and scenario for deep GHG reductions at the city scale [J]. En Policy,2013,57(10):563-574.

[12]KHAZINI L,KALAJAHI M J,RASHIDI Y,et al. Real-world and bottom-up methodology for emission inventory development and scenario design in medium-sized cities [J]. Journal of Environmental Sciences,2023,127(13):114-132.

[13]LIU Z,GUAN D,WEI W,et al. Reduced carbon emission estimates from fossil fuel combustion and cement production in China [J]. Nature,2015,524(7565):335-338.

[14]SINGH P,KANSAL A,CARLIELL-MARQUET C. Energy and carbon footprints of sewage treatment methods [J]. J Environ Manage,2016,165(13):22-30.

[15]张靖. 镍冶炼废气中重金属产排污系数实测法核算[J]. 有色金属工程,2013,3(2):50-52.

[16]WEI J,HUANG K,YANG S,et al. Driving forces analysis of energy-related carbon dioxide (CO₂) emissions in Beijing:an input-output structural decomposition analysis [J]. J Clean Prod,2017,163(12):58-68.

[17]CHANG Y,RIES R J,WANG Y. Life-cycle energy of residential buildings in China [J]. En Policy,2013,62(21):656-664.

[18]JIN Y,WANG H,WANG Y,et al. Material footprints of Chinese megacities [J]. Resour Conserv Recycl,2021,174(23):105758.

[19]郑德高,吴浩,林辰辉,et al. 基于碳核算的城市减碳单元构建与规划技术集成研究 [J]. 城市规划学刊,2021,4(2):43-50.

[20]JIANG J,YE B,SHAO S,et al. Two-tier synergic governance of greenhouse gas emissions and air pollution in China's megacity, Shenzhen: Impact evaluation and policy implication [J]. Environ Sci Technol,2021,55(11):7225-7236.

[21]COLLAÇO F M D A,DIAS L P,SIMOES S G,et al. What if São Paulo (Brazil) would like to become a renewable and endogenous energy-based megacity? [J]. Renew Energ,2019,138(14):416-433.

[22]HERNANDEZ K D,FAJARDO O A. Estimation of industrial emissions in a Latin American megacity under power matrix scenarios projected to the year 2050 implementing the LEAP model [J]. J Clean Prod,2021,303(42):126921.

[23]CAI L,DUAN J,LU X,et al. Pathways for electric power industry to achieve carbon emissions peak and carbon neutrality based on LEAP model:A case study of state-owned power generation enterprise in China

- [J]. Computers & Industrial Engineering, 2022, 170(25): 108334.
- [24] CAI L, LUO J, WANG M, et al. Pathways for municipalities to achieve carbon emission peak and carbon neutrality: A study based on the LEAP model [J]. Energy, 2023, 262(24): 125435.
- [25] ZHANG R, HANAOKA T. Cross-cutting scenarios and strategies for designing decarbonization pathways in the transport sector toward carbon neutrality [J]. Nature Communications, 2022, 13(1): 3629.
- [26] FENNER A E, KIBERT C J, LI J, et al. Embodied, operation, and commuting emissions: A case study comparing the carbon hotspots of an educational building [J]. J Clean Prod, 2020, 268(16): 122081.
- [27] YANG X, ZHANG S, WANG K. Quantitative study of life cycle carbon emissions from 7 timber buildings in China [J]. Int J Life Cycle Assess, 2021, 26(9): 1721-1734.
- [28] WU P, SONG Y, ZHU J, et al. Analyzing the influence factors of the carbon emissions from China's building and construction industry from 2000 to 2015 [J]. J Clean Prod, 2019, 221(16): 552-566.
- [29] ZHANG Y, YAN D, HU S, et al. Modelling of energy consumption and carbon emission from the building construction sector in China, a process-based LCA approach [J]. En Policy, 2019, 134(16): 110949.
- [30] CHEN Q, CAI B, DHAKAL S, et al. CO₂ emission data for Chinese cities [J]. Resour Conserv Recycl, 2017, 126(22): 198-208.
- [31] KONGBOON R, GHEEWALA S H, SAMPATTAGUL S. Greenhouse gas emissions inventory data acquisition and analytics for low carbon cities [J]. J Clean Prod, 2022, 343(16): 130711.
- [32] REZAEI F, BULLE C, LESAGE P. Integrating building information modeling and life cycle assessment in the early and detailed building design stages [J]. Build Environ, 2019, 153(12): 158-167.
- [33] ZHAN J, LIU W, WU F, et al. Life cycle energy consumption and greenhouse gas emissions of urban residential buildings in Guangzhou city [J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 194(23): 318-326.
- [34] FANG Y, LU X, LI H. A random forest-based model for the prediction of construction-stage carbon emissions at the early design stage [J]. J Clean Prod, 2021, 328(33): 129657.
- [35] YANG X, HU M, HEEREN N, et al. A combined GIS-archetype approach to model residential space heating energy: A case study for the Netherlands including validation [J]. Appl Energy, 2020, 280(22): 115953.
- [36] ZHANG N, LUO Z, LIU Y, et al. Towards low-carbon cities through building-stock-level carbon emission analysis: a calculating and mapping method [J]. Sustain Cities Soc, 2022, 78(17): 103633.
- [37] SHAN Y, GUAN D, LIU J, et al. Methodology and applications of city level CO₂ emission accounts in China [J]. J Clean Prod, 2017, 161(19): 1215-1225.
- [38] YIN X, HAO Y, YANG Z, et al. Changing carbon footprint of urban household consumption in Beijing: Insight from a nested input-output analysis [J]. J Clean Prod, 2020, 258(33): 120698.
- [39] LOISEAU E, ATSSANI L, LE FÉON S, et al. Territorial Life Cycle Assessment (LCA): What exactly is it about? A proposal towards using a common terminology and a research agenda [J]. J Clean Prod, 2018, 176(24): 474-485.
- [40] HUANG R, ZHANG S, WANG P. Key areas and pathways for carbon emissions reduction in Beijing for the "Dual Carbon" targets [J]. En Policy, 2022, 164(26): 112873.
- [41] LU Y, CUI P, LI D. Carbon emissions and policies in China's building and construction industry: Evidence from 1994 to 2012 [J]. Build Environ, 2016, 95(36): 94-103.
- [42] JIANG M, AN H, GAO X, et al. Structural decomposition analysis of global carbon emissions: The contributions of domestic and international input changes [J]. J Environ Manage, 2021, 294(42): 112942.
- [43] ANG B W. Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method? [J]. En Policy, 2004, 32(9): 1131-1139.
- [44] 袁玥, 齐宇. 基于灰色关联分析的天津市碳排放驱动因素研究 [J]. 环境污染与防治, 2013, 35(20): 101-106.
- [45] SHEN L, WU Y, SHUAI C, et al. Analysis on the evolution of low carbon city from process characteristic perspective [J]. J Clean Prod, 2018, 187(31): 348-360.
- [46] ZHANG C, SU B, ZHOU K, et al. Decomposition analysis of China's CO₂ emissions (2000-2016) and scenario analysis of its carbon intensity targets in 2020 and 2030 [J]. Sci Total Environ, 2019, 668(5): 432-442.
- [47] YOU K, REN H, CAI W, et al. Modeling carbon emission trend in China's building sector to year 2060

[J]. Resour Conserv Recycl, 2023, 188(35):106679.
 [48] KAMEI M, KURISU K, HANAKI K. Evaluation of long-term urban transitions in a megacity's building sector based on alternative socioeconomic pathways [J]. Sustain Cities Soc, 2019, 47(22):101366.
 [49] WEI W, ZHANG P, YAO M, et al. Multi-scope electricity-related carbon emissions accounting: A case study of Shanghai [J]. J Clean Prod, 2020, 252(55):119789.
 [50] WEI Y M, CHEN K Y, KANG J N, et al. Policy and Management of Carbon Peaking and Carbon Neutrality: A Literature Review [J]. Engineering, 2022, 14(12):52-63.
 [51] HUANG Y, LIAO C, ZHANG J, et al. Exploring

potential pathways towards urban greenhouse gas peaks: A case study of Guangzhou, China [J]. Appl Energy, 2019, 251(45):113369.

[52] 方创琳, 梁龙武, 王振波. 京津冀城市群可持续爬升规律的定量模拟及验证 [J]. 中国科学: 地球科学, 2020, 50(33):104-121.

[53] 蔡博峰, 朱松丽, 于胜民, 等. 《IPCC2006 年国家温室气体清单指南 2019 修订版》解读 [J]. 环境工程, 2019, 37(21):1-11.

作者简介: 辛莉(1987—), 女, 在读: 博士研究生, 研究方向: 城市碳排放核算; *通信作者: 马伟芳(1974—), 女, 博士, 教授, 研究方向: 水生态修复、污染场地修复、碳中和。

福清市上迳镇松材线虫病的现状及防控方法

孙涛

福清市自然资源和规划局, 福建 福州 350300

[摘要] 松材线虫是对松树危害较大的外来入侵物种之一, 感染松树后会造松树针叶黄褐色或红褐色, 在 6 个月内即可导致病树整株干枯死亡, 且繁殖速度快, 传播途径、范围广难以防治, 是松林大片被毁的重要害虫。此文主要研究通过疫情监测、及时清理枯死树木、防治性采伐改造、防治松墨天牛等方法对上迳镇松材线虫病的控制效果。

[关键词] 松材线虫[Bursaphelenchus xylophilus (Steriner & Buhner) Nickle]; 松墨天牛 (Monochamus alternatus); 疫情监测; 清理枯死树木; 防治性采伐改造

DOI: 10.33142/nsr.v1i1.12366

中图分类号: S763.7

文献标识码: A

Current Situation and Prevention and Control Methods of Bursaphelenchus Xylophophilus (Steriner&Buhner) Nickel Disease in Shangjing Town, Fuqing City

SUN Tao

Fuqing Natural Resources and Planning Bureau, Fuzhou, Fujian, 350300, China

Abstract: Bursaphelenchus xylophophilus (Steriner&Buhner) Nickel is one of the most harmful invasive species to pine trees. After infecting pine trees, it can cause the needle leaves to be yellow brown or reddish brown, and within 6 months, it can cause the entire diseased tree to wither and die. Moreover, it has a fast reproduction speed, a wide range of transmission routes, and is difficult to control, making it an important pest that destroys large areas of pine forests. This article mainly studies the control effect of Bursaphelenchus xylophophilus (Steriner&Buhner) Nickel disease in Shangjing Town through methods such as epidemic monitoring, timely cleaning of dead trees, preventive logging and transformation, and prevention and control of Monochamus alternatus.

Keywords: Bursaphelenchus xylophophilus (Steriner&Buhner) Nickel; Monochamus alternatus; epidemic monitoring; cleaning up dead trees; preventive logging transformation

引言

松材线虫病具有极强的扩散性、蔓延性等特点, 危害性较大, 防治较困难。松材线虫病是一种由松材线虫[Bursaphelenchus xylophilus (Steriner & Buhner) Nickle]引起的松树萎蔫病^[1]。松材线虫从入侵、定居、适应到蔓延、扩散和危害, 是一个多点、多次、长期、复杂的生态过程, 其随机性、突发性和长期性的发生特点决定了防控松材线虫病是一项复杂性、长期性和艰巨性的任务, 目前常规的防控技术显然存在局限性。松墨天牛作为松材线虫最主要的媒介昆虫在松材线虫的传播中起着至关重要的作用。松材线虫可随着松墨天牛取食健康松树自然传播, 或者随着疫木及其制品的人为调运而长距离传播蔓延, 松树一旦感染会很快枯萎死亡。

1 上迳镇松材线虫病的现状

1.1 森林资源及松林资源情况

上迳镇位于福清西南部, 北邻宏路街道, 南邻渔溪镇, 东邻龙田镇, 西界福厦公路 324 国道。依山面海, 背负众多村庄, 依其优越的地理位置, 自古便是交通要道。福厦公路、福厦高铁、104 国道、209 省道横贯全境, 陆路交通便捷。上迳镇土地总面积 75441 亩, 其中林地面积 22946 亩, 生态林 11923 亩(国家级生态林 11737 亩、省级生态林 186 亩),

天然林 3517 亩, 其他林地 7506 亩。森林覆盖率 28.86%, 森林蓄积 146509 立方米, 其中马尾松 3618 亩, 松林是福清市上迳镇重要森林资源, 作为沿海地区的先锋树种, 松树能在岩石裸露、贫瘠的土地中生长, 具有改良土壤、水土保持和水源涵养等功能, 同时也是城市森林景观的重要树种。

1.2 上迳镇松材线虫病概况

福清市上迳镇自 2009 年发现松材线虫病, 当时通过上级业务主管部门的指导、镇林业部门及各村的积极努力, 严格按照相关技术规程, 积极有效地开展疫情防治工作, 通过采伐改造、零星清理松枯死树、生物防治(白僵菌)、物理防治(挂设诱捕器)等综合措施对松材线虫病进行持续防治工作, 于 2013 年消除了疫情。2017 年疫情又出现反复, 2018 年发现新的疫情。2019 年至 2023 年共上迳镇人民政府在市委、市政府领导下, 在福清主管部门的安排部署下, 通过清理松枯死树、挂设诱捕器等对疫情进行控制, 2019 年至 2023 年共清理各类松枯死树 10300 株, 共挂设诱捕器 340 套, 诱捕松墨天牛 44000 只, 其中 2019 年清理各类松枯死树 1650 株, 挂设诱捕器 50 套, 诱捕松墨天牛 7000 只; 2020 年清理各类松枯死树 1700 株, 挂设诱捕器 60 套, 诱捕松墨天牛 8000 只; 2021 年清理各类松枯死树 1450 株, 挂设诱捕器 70 套, 诱捕松墨天牛

9000 只；2022 年清理各类松枯死树 3000 株，挂设诱捕器 80 套，诱捕松墨天牛 10000 只；2023 年清理各类松枯死树 2500 株，挂设诱捕器 80 套，诱捕松墨天牛 10000 只。

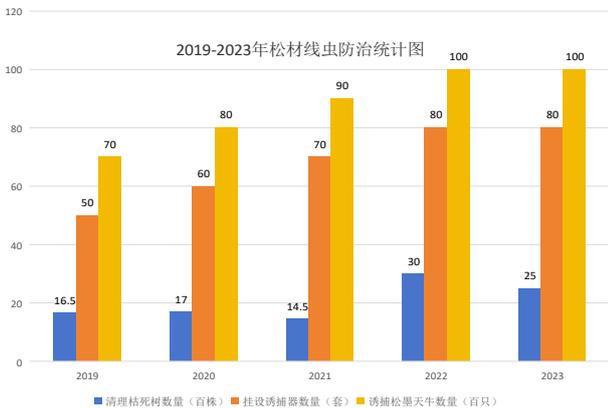


图 1 2019-2023 年松材线虫防治统计图

2 松材线虫防控方法

2.1 疫情监测

上迳镇林地不集中连片比较分散，发生松材线虫病的小班数量多、分布广。为及时、准确、有效地掌控疫情的发展动态，需及时对疫情发生小班进行查看，每个月至少查看 3 次，最好上中下旬各一次，对松林每年进行 2 次踏勘检查，春秋各一次。加大对松枯死树的排查力度，重点加强常年出现枯死树或原疫情发生区毗邻松林的疫情排查工作^[2]。及时处理松枯死树，对新发现的松枯死树进行定位、登记、取样、分离和线虫鉴定，数量以小班为单位进行统计，为后续制定疫情防控方案提供有效依据，以便及时有效的制定防控方案。

松墨天牛成虫羽化期，在林区内设立固定监测点、流动监测点，悬挂诱捕器诱捕松墨天牛。通过监测林区内松墨天牛成虫种群数量的变化，预测松材线虫病疫情的发展趋势。

2.2 清理枯死树木

对于已经确诊为松枯死树的树木要及时清理，聘请专业清理公司组织专业人员对感染松材线虫病的松枯死木进行伐除，不留下一棵受染病树^[3]。所有伐除的枯死松树和清理的枝桠应当严格按照当日采伐当日就地粉碎、削片、烧毁等进行除害处理，松枯死树伐除清理应做好 GPS 定位信息及清理现场影像资料，做到“一树一档”，归档统一管理。

伐桩除害方法，每株松枯死树伐桩位置用 GPS 定位登记。松枯死树砍伐后树头不得高于五厘米，在树头上放一到两粒磷化铝，并将树头用 0.8 毫米以上的塑料薄膜覆盖，塑料薄膜周围用绳进行捆绑并用土进行压实，也可采取挖出后粉碎、削片、烧毁。

树干、枝桠以及枯枝除害方法：选择采用就地切片、焚烧等处理方法。一是就地粉碎、削片处理，在山场、实施采伐山场的山下或集中连片防治内的适宜场所设置就

地除害处理点。二是焚烧，就地选择林边空地安全地段，集中小火堆烧（包括 1 厘米以上的枝桠），进行彻底焚烧处理。焚烧完毕要用水、土等彻底熄灭余火，确保野外用火安全。及时清理松枯死树可以防止疫情的进一步扩散。

2.3 防治性采伐改造

防治性采伐改造，2022 年 10 月至 2023 年 3 月对岭胶村、海头村、牌边村、下井村、洋中村、上迳村 2880 亩发生疫情的松林小班内的松树进行全部采伐，2023 年 10 月至 2024 年 3 月对油塘村、蟹屿村 2469 亩发生疫情的松林小班内的松树进行全部采伐（具体小班及面积详见表格），在冬春媒介昆虫非羽化期内集中进行。在 10 月-第二年底前开展，3 月底前完成采伐除治任务，并按照当日采伐当日山场就地处置的要求进行除治。并适时对采伐迹地进行更新造林或补植，提倡营造阔叶树、混交林，尽快恢复林相^[4]，可以按照因地制宜、适地适树，合理规划和调整林种、树种结构，树种选择以乡土常绿阔叶树种为主选择造林树种。

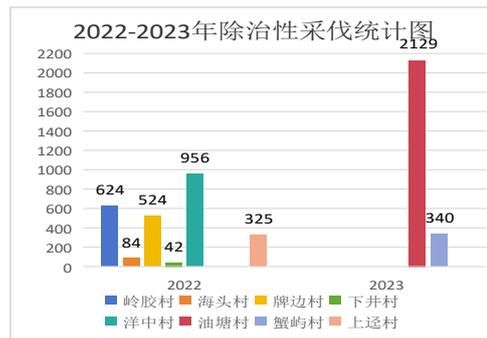


图 2 2022 -2023 年除治性采伐统计图

采伐要凭《林木采伐许可证》进行采伐。实施除治性采伐改造的，其小班内松枯死木应先彻底清理，并检查合格后方可进行活立木采伐。松枯死木需及时就地除害处理，原则上不得运出山场。伐桩高度要求上方不准超过 5cm，伐桩伐口要求伐面平整；伐木时先锯下口，后锯上口的方法控制倒向，上锯口与下锯口应在同一水平面上。采伐时，如果采伐木根周有生长草、灌、藤等植物时而影响采伐作业的，应先清除这些植物后，再伐木，确保采伐作业安全。

除治性采伐山场的松木，3 厘米以上的木运到指定地点进行旋切、切片。1 到 3 厘米的现场作无害化处理（埋、烧、破碎）或现场整带填埋。松疫木木段应当日采伐当日山场就地除害处理；伐桩高度不得超过 5 厘米；松梢及 1 厘米以上枝桠就地集中焚烧除害处理。

2.4 防治松墨天牛

松材线虫病的主要传播途径就是通过松墨天牛进行传播扩散，因此加强松墨天牛的防治工作，对于防治线虫病来说意义重大^[5]。一般在松墨天牛的幼虫期，这一时期最好用白僵菌或释放管氏肿腿蜂进行防治，或者可以用 50% 的久效磷乳油，或 40% 的乐果乳油进行灭杀，其效果都较为显著。

表 1 防治性采伐改造松林小班明细表

村名	大班号	小班号	树种组成	采伐面积 (亩)	林种	采伐时 间	村名	大班 号	小班 号	树种组成	采伐面 积(亩)	林种	采伐时 间
洋中村	1	341	9 马尾松 1 相思	222.78	国防林	2022	油塘村	1	789	10 马尾松	11.58	国防林	2023
洋中村	1	571	10 湿地松	69.1	一般用材林	2022	油塘村	1	330	10 马尾松	172.49	国防林	2023
洋中村	1	580	10 湿地松	72.25	一般用材林	2022	油塘村	1	430	10 马尾松	2.62	一般用材林	2023
洋中村	1	560	10 湿地松	57.52	一般用材林	2022	油塘村	1	183	10 马尾松	5.98	国防林	2023
洋中村	1	572	10 湿地松	19.68	一般用材林	2022	油塘村	1	793	10 马尾松	4.7	一般用材林	2023
洋中村	1	331	10 马尾松	94.56	国防林	2022	油塘村	1	670	10 马尾松	5.35	国防林	2023
洋中村	1	150	10 马尾松	100.35	国防林	2022	油塘村	1	781	6 马尾松 4 相思	23.76	一般用材林	2023
洋中村	1	140	10 马尾松	119.13	国防林	2022	油塘村	1	140	10 马尾松	25.82	薪炭林	2023
洋中村	1	370	10 马尾松	36.32	风景林	2022	油塘村	1	490	10 湿地松	17.4	国防林	2023
洋中村	1	792	10 马尾松	79.21	国防林	2022	油塘村	1	470	10 马尾松	9.31	国防林	2023
洋中村	1	550	10 湿地松	85.1	短轮伐期用材林	2022	油塘村	1	260	9 马尾松 1 相思	275.33	国防林	2023
小计				956			油塘村	1	797	10 马尾松	25.19	国防林	2023
岭胶村	1	250	8 相思 2 马尾松	14.4	国防林	2022	油塘村	1	360	10 马尾松	75.53	国防林	2023
岭胶村	1	400	10 马尾松	11.23	国防林	2022	油塘村	1	340	10 湿地松	125.09	国防林	2023
岭胶村	1	232	7 马尾松 3 木麻黄	28.95	国防林	2022	油塘村	1	317	10 马尾松	3.06	国防林	2023
岭胶村	1	430	10 马尾松	7.58	一般用材林	2022	油塘村	1	390	10 马尾松	136.75	薪炭林	2023
岭胶村	1	130	10 马尾松	80.05	国防林	2022	油塘村	1	740	10 马尾松	39.7	国防林	2023
岭胶村	1	150	10 马尾松	15.73	国防林	2022	油塘村	1	630	10 马尾松	20.67	国防林	2023
岭胶村	1	50	10 马尾松	92.31	国防林	2022	油塘村	1	550	10 马尾松	5.91	国防林	2023
岭胶村	1	300	10 马尾松	29.79	国防林	2022	油塘村	1	220	10 马尾松	55.79	国防林	2023
岭胶村	1	270	10 马尾松	55.49	国防林	2022	油塘村	1	280	10 马尾松	83.06	国防林	2023
岭胶村	1	60	10 马尾松	17.25	国防林	2022	油塘村	1	180	8 马尾松 2 相思	20.67	国防林	2023
岭胶村	1	460	10 马尾松	16.24	国防林	2022	油塘村	1	70	7 马尾松 3 相思	68.33	国防林	2023
岭胶村	1	480	10 马尾松	8.51	国防林	2022	油塘村	1	770	10 马尾松	12.01	一般用材林	2023
岭胶村	1	20	10 马尾松	70.07	国防林	2022	油塘村	1	750	8 相思 2 马尾松	11.57	一般用材林	2023
岭胶村	1	230	10 马尾松	37.32	一般用材林	2022	油塘村	1	130	10 马尾松	52.22	国防林	2023
岭胶村	1	490	10 马尾松	1.86	国防林	2022	油塘村	1	193	8 马尾松 2 相思	44.36	国防林	2023
岭胶村	1	340	9 马尾松 1 相思	37.6	国防林	2022	油塘村	1	799	7 相思 3 马尾松	6.33	一般用材林	2023
岭胶村	1	330	9 其它硬阔类 1 马尾松	13.71	国防林	2022	油塘村	1	460	10 马尾松	9.97	一般用材林	2023
岭胶村	1	90	9 相思 1 马尾松	86.22	国防林	2022	油塘村	1	712	10 马尾松	6.52	国防林	2023
小计				624			油塘村	1	782	10 马尾松	71.71	国防林	2023
牌边村	1	500	9 马尾松 1 木荷	9.32	国防林	2022	油塘村	1	110	9 湿地松 1 相思	100.43	国防林	2023
牌边村	1	330	6 马尾松 4 相思	14.59	一般用材林	2022	油塘村	1	795	10 马尾松	157.85	国防林	2023
牌边村	1	520	10 马尾松	14.14	国防林	2022	油塘村	1	250	9 马尾松 1 相思	14.87	一般用材林	2023
牌边村	1	241	10 马尾松	12.41	国防林	2022	油塘村	1	772	10 马尾松	73.68	国防林	2023
牌边村	1	180	7 马尾松 3 相思	26.84	一般用材林	2022	油塘村	1	440	10 马尾松	49.41	国防林	2023
牌边村	1	90	9 木荷 1 马尾松	126.26	国防林	2022	油塘村	1	170	10 湿地松	49.46	薪炭林	2023
牌边村	1	31	10 马尾松	20.73	国防林	2022	油塘村	1	61	10 马尾松	76.75	国防林	2023
牌边村	1	120	5 马尾松 3 相思 2 木荷	146.96	一般用材林	2022	油塘村	1	60	10 湿地松	25.15	国防林	2023
牌边村	1	290	8 马尾松 2 相思	18.68	国防林	2022	油塘村	1	715	10 马尾松	10.63	国防林	2023

表 1 防治性采伐改造松林小班明细表

村名	大班号	小班号	树种组成	采伐面积(亩)	林种	采伐时间	村名	大班号	小班号	树种组成	采伐面积(亩)	林种	采伐时间
牌边村	1	570	4 马尾松 4 相思 2 杉木	9.79	国防林	2022	油塘村	1	714	10 马尾松	5.93	国防林	2023
牌边村	1	260	9 马尾松 1 相思	94.42	国防林	2022	油塘村	1	400	10 马尾松	83.36	一般用材林	2023
牌边村	1	30	10 马尾松	27.84	国防林	2022	油塘村	1	786	10 马尾松	9.01	一般用材林	2023
牌边村	1	640	9 马尾松 1 相思	2.02	国防林	2022	油塘村	1	121	7 马尾松 3 相思	40.41	国防林	2023
小计				524			油塘村	1	773	8 马尾松 2 相思	9.68	一般用材林	2023
海头村	1	20	10 马尾松	41.36	国防林	2022	油塘村	1	370	10 马尾松	14.36	国防林	2023
海头村	1	70	10 马尾松	23.88	一般用材林	2022	小计			2129			
海头村	1	10	10 马尾松	18.76	国防林	2022	蟹屿村	1	40	10 马尾松	22.6	一般用材林	2023
小计				84			蟹屿村	1	50	10 马尾松	64.6	一般用材林	2023
下井村	1	80	10 马尾松	42	一般用材林	2022	蟹屿村	1	150	10 马尾松	5.3	一般用材林	2023
上迳村	1	260	10 马尾松	1.89	一般用材林	2022	蟹屿村	1	100	10 马尾松	13.1	一般用材林	2023
上迳村	1	220	10 马尾松	10.22	一般用材林	2022	蟹屿村	1	280	10 马尾松	10.8	一般用材林	2023
上迳村	1	290	8 马尾松 2 相思	4.05	一般用材林	2022	蟹屿村	1	170	8 相思 2 马尾松	10.8	一般用材林	2023
上迳村	1	80	8 马尾松 2 相思	71.8	一般用材林	2022	蟹屿村	1	30	10 马尾松	126.8	薪炭林	2023
上迳村	1	50	10 马尾松	73.3	一般用材林	2022	蟹屿村	1	210	10 马尾松	8.3	薪炭林	2023
上迳村	1	150	7 马尾松 3 木麻黄	18.25	一般用材林	2022	蟹屿村	1	160	8 相思 2 马尾松	20.09	一般用材林	2023
上迳村	1	110	8 马尾松 2 相思	36.52	一般用材林	2022	蟹屿村	1	61	10 马尾松	27.3	一般用材林	2023
上迳村	1	70	10 马尾松	54.94	一般用材林	2022	蟹屿村	1	110	8 湿地松 2 相思	30.31	一般用材林	2023
上迳村	1	120	8 马尾松 2 相思	17.19	一般用材林	2022	小计			340			
上迳村	1	20	10 马尾松	36.84	薪炭林	2022							
小计				325									

在松褐天牛的成虫期，可以在发病林中每隔一段距离设置一个诱捕器，器皿中放置脱脂棉，诱杀天牛成虫。在 4-11 月挂设 80 套诱捕器诱杀松墨天牛，要求在 3 月上旬做好挂设诱捕器前期准备工作，4 月 1 日前完成诱捕器挂设，一般每 30 亩挂一套诱捕器，每套之间相距 150 米左右，诱捕器尽量设置在林区相对开阔、通风较好的区域。应该垂直挂设，下端距离地面 1.5 米以上，在林中呈三角状或网格状布设。诱捕器挂设工作，必须合理、科学，由市自然资源和规划局统一布设管理，统一汇总统计松墨天牛诱杀数量。

诱捕器挂设后应该加强管理，防止人为故意破坏，极端天气破坏，定期检查统计诱捕数量，及时更换诱芯，诱芯采用持久型(每月更换 1 次)或增强持久型(每两月更换 1 次)。每半个月收集成虫一次，并记录诱集的松墨天牛成虫数量。

3 结论

松材线虫病是一种危害性极大的森林病虫害，对森林生态环境的伤害性很大，因此防治松材线虫病在保护森林资源上显得尤其重要。近年来上迳镇通过疫情监测、及时清理枯死树木、防治性采伐改造、防治松墨天牛等技术方法对松材线虫病得到较好的控制，但还是有进一步蔓延、加重的趋势，

需要后续更系统、更专用、更及时有效的监测及防治，才能更好地控制松材线虫，确保森林资源健康安全发展。

[参考文献]

[1] 孔青青. 中国松材线虫南北种群变异的研究[J]. 中国知网, 2021, 6(1): 23-25.

[2] 朱细俭, 方天松, 林明生, 等. 松材线虫病综合治理技术及成效[J]. 广东林业科技, 2011, 27(4): 13-16.

[3] 汤加兰. 松材线虫病的监测手段与防治技术[J]. 华东森林经理, 2010, 24(1): 22-24.

[4] 刘金燕, 刘闯, 田艳, 等. 松材线虫病防治中及时清理死亡松树和诱杀松褐天牛的必要性研究[J]. 现代农业科技, 2011, 1(1): 34-37.

[5] 王义锋. 浅谈松材线虫病的危害与防治方法[J]. 吉林农业, 2021, 1(1): 23-25.

[6] 黄金水, 汤陈生, 陈金涓, 等. 厦门市松材线虫病的持续控制技术[J]. 林业科学, 2010, 10(1): 17-20.

作者简介: 孙涛 (1994.3—), 毕业院校: 黑龙江大学化学化工与材料学院, 所学专业: 环境科学, 当前就职单位: 福清市自然资源和规划局, 职务: 新厝林业工作站负责人, 职称级别: 林业助理工程师 (专技十一)。

浅谈大田作物种植过程中存在的问题及应对措施

康惠忠

青海省尖扎县农牧业综合服务中心, 青海 黄南 811299

[摘要] 大田作物在我国农业中扮演着重要角色, 直接影响着整个农业的发展。然而, 在当前的现状下, 大田作物种植过程中面临着一些挑战。在我国各地区, 这些挑战主要包括土壤质量下降、水资源紧缺、病虫害频发、农药残留和环境污染、劳动力短缺等问题。针对这些问题, 各级政府和农业部门正在采取一系列的应对措施。这些措施包括实施土壤保护和改良计划、推广节水灌溉技术、加强病虫害监测和防治、推行绿色农药和生物防治、加强农民技术培训等。通过这些措施的实施, 有望有效解决大田作物种植过程中存在的问题, 促进我国农业的可持续发展。

[关键词] 大田作物; 大田种植; 问题及措施

DOI: 10.33142/nsr.v1i1.12365

中图分类号: S147

文献标识码: A

Brief Discussion on the Problems and Countermeasures in the Planting Process of Field Crops

KANG Huizhong

Qinghai Province Jainca County Agriculture and Animal Husbandry Comprehensive Service Center, Huangnana, Qinghai, 811299, China

Abstract: field crops play an important role in agriculture in China, directly affecting the development of the entire agriculture. However, in the current situation, the cultivation process of field crops faces some challenges. In various regions of our country, these challenges mainly include declining soil quality, scarce water resources, frequent outbreaks of diseases and pests, pesticide residues and environmental pollution, and labor shortages. In response to these issues, governments at all levels and agricultural departments are taking a series of measures to address them. These measures include implementing soil protection and improvement plans, promoting water-saving irrigation techniques, strengthening monitoring and control of pests and diseases, promoting green pesticides and biological control, and strengthening technical training for farmers. Through the implementation of these measures, it is expected to effectively solve the problems existing in the field crops planting process and promote the sustainable development of agriculture in China.

Keywords: field crops; planting of field crops; problems and measures

引言

大田作物种植是农业生产的重要组成部分,但在其种植过程中常常面临着诸多挑战和问题。这些问题涉及到土壤质量、水资源利用、病虫害防治等多个方面,直接影响着农作物的生长发育和产量质量。青海地区作为我国西北地区的重要农业生产基地之一,其大田作物种植面临着特殊的地理气候条件和资源约束,使得其面临的问题更加复杂和严峻。因此,深入探讨大田作物种植过程中存在的问题,并提出相应的应对措施,对于促进青海地区农业的可持续发展,提高农作物产量和质量,具有重要意义。在本文中,将对青海大田作物种植过程中常见的问题进行分析,并提出一系列有效的应对措施,通过对问题的深入分析和对策的系统探讨,旨在为青海地区大田作物种植提供科学合理的指导和方法,为其农业生产的可持续发展贡献力量。

1 大田作物种植的特点

大田作物种植是农业生产的重要组成部分,其特点主要表现在以下几个方面。首先,大田作物种植通常指的是在田地里进行的规模化种植活动,相对于其他种植方式,

如温室种植或水培种植,其规模较大,种植面积广泛,适用于广大农业生产者进行大规模的生产。其次,大田作物种植往往依赖于季节性气候和自然生态环境,如阳光、水源和土壤等,因此受季节性气候变化的影响较大,需要在不同的季节和气候条件下进行相应的种植管理。此外,大田作物种植通常涉及到多种作物的轮作和间作,以保持土壤的肥力和生产效益的稳定性,同时也有利于减少病虫害的发生^[1]。另外,大田作物种植在生产过程中需要考虑到种植技术、肥料施用、病虫害防治、灌溉管理等多个方面的综合因素,需要农业生产者具备一定的专业知识和技能,以确保生产顺利进行。

2 主要种植作物介绍

青海地区地处我国西北,其地理环境和气候条件多样,适宜于种植多种作物。在这个高原、寒冷、干燥的地区,农业生产面临着诸多挑战,但同时也培育出了适应这些条件的特色作物。首先,青稞是青海地区的主要粮食作物之一。青稞是高原地区的特色农作物,对寒冷、高海拔、干旱的气候具有很强的适应能力,因此在青海地区广泛种植。

青稞含有丰富的蛋白质、维生素和矿物质，是当地人民的主要食物来源之一。其次，小麦也是青海地区重要的粮食作物之一。青海地区的小麦种植面积广阔，品种丰富。冬小麦和春小麦的种植均有一定规模，能够适应青海的不同气候和地形条件，为当地的农业生产提供了稳定的粮食支持。除了粮食作物，青海地区还种植了一些经济作物。油菜是青海地区的重要经济作物之一，其油脂含量高，适合制作食用油和食品添加剂。马铃薯也是青海地区的主要经济作物之一，其耐寒性强，适应性广，能够在寒冷的高原气候下生长，为当地农民提供了重要的经济收入来源。

3 大田作物种植过程中的关键环节

在青海地区的大田作物种植过程中，有几个关键环节需要特别重视。首先是土壤准备和改良。青海地区的土壤普遍呈现出高原草甸土壤、冻土和盐碱土等特点，因此在种植大田作物之前，必须进行土壤的深翻和改良，以提高土壤的肥力和透气性，保证作物的正常生长。其次是种子选择和播种技术。由于青海地区的气候条件复杂，春季气温波动较大，而夏季气温又较高，因此在选择作物种子时需要考虑其对温度变化的适应能力。同时，播种技术也需要精细化，确保种子的密植均匀、深度适宜，以提高作物的发芽率和成活率。接下来是灌溉管理。青海地区降水量较少，但又处于高海拔地区，融雪水资源丰富，因此在大田作物的种植过程中，灌溉管理显得尤为关键。科学合理地制定灌溉方案，保证作物在不同生长阶段的水分需求，对于提高产量和质量至关重要。另外，病虫害防治也是大田作物种植过程中的重要环节。青海地区气候干燥，适宜病虫害的生存和繁殖，因此及时采取有效的病虫害防治措施，如合理施用农药、病虫害防控技术等，可以有效减轻病虫害对作物的危害，保障作物的健康生长。最后是及时的田间管理和收获。青海地区的气候变化多样，作物生长周期较短，因此需要及时对作物进行田间管理，包括松土、除草、施肥等工作，以促进作物的生长和发育。同时，在作物成熟后及时进行收获，保证作物的品质和产量。

4 大田作物种植过程中存在的问题

4.1 土壤质量下降

在青海大田作物种植过程中，土壤质量下降是一个普遍存在的问题。青海地区的土壤普遍呈现出高原草甸土壤、冻土和盐碱土等特点，这些土壤在长期的农业生产和人为活动的影响下，往往会出现质量下降的情况。土壤质量下降可能涉及多方面因素，包括土壤肥力减退、土壤结构疏松、土壤酸碱度失衡等。随着农业生产的持续进行和农药、化肥的大量使用，土壤中的有机质含量逐渐减少，土壤微生物活性下降，导致土壤肥力逐渐降低。同时，过度的耕作和水土流失也会导致土壤结构松散，土壤贫瘠，影响作物的正常生长和发育。此外，长期的化肥施用可能导致土

壤酸碱度失衡，影响土壤的生态平衡和作物的健康生长。土壤质量下降对于青海地区的农业生产和生态环境都会产生不利影响。它不仅影响作物的产量和质量，还可能引发土壤侵蚀、水土流失等环境问题，加剧土地的退化和沙漠化。

4.2 水资源紧缺与利用不当

青海地区位于我国西北地区，气候干旱，降水稀少，水资源相对匮乏。在这样的自然条件下，大田作物的生长和发育需要依赖有效的水资源供应。然而，由于青海地区的地理环境和气候条件特殊，水资源的获取和利用面临诸多困难和挑战。首先，青海地区的地理位置特殊，大部分地区处于高原、山地和沙漠地带，地形起伏较大，水源分布不均。因此，青海地区的水资源本就相对匮乏，大田作物的灌溉面临一定的困难^[2]。其次，由于青海地区气候干燥，水分蒸发速度快，土壤水分容易流失，导致灌溉水资源利用效率低下。农业生产中的不合理用水，如过度灌溉、浪费水资源等现象也比较普遍，加剧了水资源的紧缺情况。此外，青海地区的农田灌溉设施和管理水平相对滞后，灌溉方式落后，存在漏水、滴漏等问题，导致水资源的浪费和损失。

4.3 病虫害防治困难

青海地区的气候条件多变，气温较低，降水不足，这些因素使得农作物容易受到各种病虫害的侵袭。与此同时，青海地区地理环境复杂，作物种植面积较大，病虫害防治的难度也相应增加。首先，由于青海地区的气候条件较为严峻，农作物的抗病虫害能力相对较弱。低温多雨的环境容易导致各种真菌病和细菌病的滋生和蔓延，而且由于气候寒冷，农作物生长周期相对较长，使得病虫害的防治周期延长，增加了防治的难度。其次，青海地区的地形复杂，地域辽阔，农作物种植分布广泛，农田间距较大，这些因素造成了病虫害的传播速度较快、范围较广。此外，农民对于病虫害的认识和防治技术水平参差不齐，导致了防治工作的不到位。最后，青海地区的农业基础设施相对薄弱，病虫害监测和防治手段相对滞后。缺乏有效的监测手段和防治技术，使得病虫害的早期预警和控制难度增加，从而导致了病虫害防治的困难。

4.4 农药残留和环境污染

农药在作物生长过程中被广泛使用，以控制病虫害的发生，但是其过量使用和不当施用会导致农药残留的问题，严重威胁到环境和人类健康。首先，由于青海地区的气候条件多变，农作物容易受到各种病虫害的侵袭，农民为了保证作物的产量和质量，往往会过量使用农药，或者使用掺有有害物质的劣质农药，导致农药残留严重。其次，青海地区的水资源相对匮乏，农药在农田中的使用往往会造成土壤和地下水的污染，影响土壤质量和水

质安全,进而影响生态环境的稳定性和可持续性。另外,农药残留还可能影响人类健康。青海地区的农产品往往会被农药残留问题所困扰,如果长期摄入含有农药残留的农产品,可能会对人体健康造成潜在的危害,引发慢性病等问题。

5 大田作物种植过程中的应对措施

5.1 促进土壤改良与保护

在应对青海大田作物种植过程中的挑战时,促进土壤改良与保护是一项至关重要的措施。青海地区的土壤普遍呈现出高原草甸土壤、冻土和盐碱土等特点,这些土壤的质量和肥力对于作物的生长发育至关重要。因此,需要采取一系列措施来改善和保护土壤,以提高农作物的产量和质量,维护生态环境的稳定。首先,需要推广土壤改良技术,包括有机肥料的施用、矿物肥料的调配、绿肥和沉淀物的利用等。有机肥料富含有机质和微量元素,可以改善土壤结构,增加土壤肥力,提高土壤的保水保肥能力,有助于改善土壤质量。同时,科学合理地使用矿物肥料,可以补充土壤中的各种营养元素,促进作物的健康生长。其次,要加强土壤保护工作,防止土壤侵蚀和水土流失。青海地区地形复杂,容易发生土地沙漠化和水土流失等问题,因此需要采取一系列措施,如植树造林、草畜平衡、修复退化土地等,加强对土地的保护,保持土壤的稳定性和肥沃性。此外,要注重土壤的养护和保养,避免过度耕作和过度开垦,合理利用农业废弃物和农作物秸秆,减少土地的退化和污染,促进土壤的自然恢复和更新。

5.2 推广节水灌溉技术与资源管理

青海地区的水资源稀缺,且受到气候干旱的影响,因此有效利用水资源、提高灌溉效率对于农业生产至关重要。首先,推广节水灌溉技术是减少水资源浪费、提高灌溉效率的关键。青海地区可以通过引进滴灌、喷灌等高效节水灌溉技术,减少水分流失,提高水分利用率,达到节水的目的。与传统的洪灌或滚灌相比,节水灌溉技术不仅可以减少水资源的浪费,还可以降低农业生产的成本,提高作物的产量和质量。其次,加强对水资源的管理和调配,优化水资源配置。青海地区的水资源分布不均,部分地区水资源丰富,而另一些地区则水资源匮乏,因此需要合理规划和调配水资源,确保水资源的合理利用。可以通过建设水库、引河入田、集雨灌溉等方式,有效调剂水资源,保障农业灌溉用水需求。此外,还可以加强对农民的水资源管理意识培训,提高他们对节水灌溉技术的认识和应用能力,鼓励农民积极参与水资源管理和保护工作,推动农业水资源的可持续利用。

5.3 实施综合病虫害防治措施

青海地区的气候条件多变,农作物容易受到各种病虫

害的侵害,给农业生产带来了不小的损失。因此,采取综合病虫害防治措施,既能有效地控制病虫害的发生和蔓延,又能减少对环境的污染和对人体健康的影响,是保障农作物生长和丰收的关键。首先,可以通过生物防治的方式,利用天敌、天然病原微生物等生物制剂,对病虫害进行控制。引入或增加天敌种群,促进天敌自然控制病虫害的能力,有效降低化学农药的使用量,减少对环境的污染。其次,结合物理防治手段,采用覆盖、拦截、隔离等方法,阻断病虫害的传播途径,减少其对作物的侵害。比如,在病虫害高发季节,可以搭建防虫网、防雨棚等设施,保护作物免受病虫害的侵害^[3]。另外,还可以采取合理的栽培措施,选择适应性强、抗病害能力强的品种,合理密植、轮作轮作,提高作物的抗逆性和生长势,减少病虫害的发生。此外,加强病虫害监测和预警工作,及时发现病虫害的发生和蔓延趋势,采取针对性的防治措施,做到早发现、早预警、早治理,最大限度地减少病虫害对农作物的危害。

5.4 推行绿色农药与生物防治

青海地区的气候条件复杂多变,农作物容易受到各种病虫害的侵袭,而传统的化学农药使用过程中往往存在使用不当、残留过高等问题,不仅会对环境造成污染,还可能危害到人类健康。因此,推广绿色农药与生物防治技术成为了解决这一问题的关键措施之一。首先,推行绿色农药的使用是保障农作物生长和健康的重要手段。绿色农药是指对环境友好、对人畜无毒副作用、对农作物无残留的农药,通常采用植物提取物、微生物杀菌剂等天然物质制成,对人畜无害,不会造成环境污染。推广绿色农药的使用可以有效地控制病虫害的发生和蔓延,减少对农作物的损害,保障农产品的质量和安全。其次,生物防治技术是一种生态友好型的病虫害防治手段。生物防治是利用天敌、天然病原微生物、捕食性昆虫等生物因素,控制或降低病虫害发生的一种方法。与传统化学农药相比,生物防治技术具有无毒副作用、不会产生残留等优点,可以更好地保护生态环境,减少对人类健康的影响。

5.5 科技助力提高生产效率与劳动力培训

随着科技的不断进步,各种先进的技术手段如无人机、智能传感器、数据分析等已经被广泛应用于农业生产中。这些技术的应用能够有效地提高作物种植的生产效率和管理水平。通过引入科技手段,农民可以更加精确地控制灌溉水量和施肥量,实现精准农业管理,提高水资源和肥料的利用效率。同时,利用智能传感器监测作物生长情况,及时发现病虫害等问题并进行预警,有助于及时采取措施防止疫情扩散,减少损失^[4]。此外,加强劳动力的培训也是至关重要的。农业劳动力需要掌握现代化的种植技术和

管理方法,以适应新型农业生产模式的要求。通过培训,农民可以学习到科学的种植管理技术,提高其农业生产和管理水平,从而提高作物产量和品质。

6 结语

在大田作物种植的过程中,我们面对着多种挑战和问题,这些问题涉及土壤、水资源、病虫害等多个方面,直接影响着农作物的生长和产量。然而,通过科学合理的应对措施,我们可以有效地应对这些问题,保障农业生产的稳定发展。土壤改良与保护、节水灌溉与水资源管理、综合病虫害防治等措施的实施,将有助于提高农作物产量和质量,促进青海地区农业的可持续发展。希望本文的讨论能够为农业生产提供一些思路和方向,为青海地区的农业发展贡献一份力量。

[参考文献]

[1]张卫霞.邯郸市永年区大田作物种植技术分析[J].当代农机,2023(7):79-80.

[2]李莉,李民赞,刘刚,等.中国大田作物智慧种植目标、关键技术与区域模式[J].智慧农业(中英文),2022,4(4):26-34.

[3]卢英,卢元辉.浅谈大田作物种植过程中存在的问题及应对措施[J].河北农机,2020(10):21.

[4]刘洪亮.大田作物大豆的种植技术分析与研究[J].农业开发与装备,2020(5):185-187.

作者简介:康惠忠,单位:青海省尖扎县农牧业综合服务中心,邮编:811200,毕业院校:西北农林科技大学,专业:农学,职称:农艺师。

以乌兰察布市中心城区为例探讨乌兰察布市城市生物多样性保护现状及对策建议

董永祥 曹婷 温雅文 曹永红

乌兰察布市园林服务中心, 内蒙古 乌兰察布 012000

[摘要]城市生物多样性是评价城市生态系统服务功能的重要指标, 对维护城市的生态安全和生态平衡以及改善城市人居环境具有重要意义。为了更好地保护乌兰察布市城市生物多样性, 文中以乌兰察布市中心城区为例系统地阐述了乌兰察布市城市生物多样性的保护现状, 通过探讨乌兰察布市城市生物多样性保护存在的问题, 提出城市生物多样性保护的对策以及建议, 以为乌兰察布市城市生物多样性保护工作提供有益参考。

[关键词]城市; 生物多样性; 城市绿地; 保护现状; 存在问题; 对策建议; 乌兰察布市

DOI: 10.33142/nsr.v1i1.12364

中图分类号: X173

文献标识码: A

Exploration on Current Status and Countermeasures of Urban Biodiversity Conservation in Ulanqab City Taking the Central Urban Area of Ulanqab as an Example

DONG Yongxiang, CAO Ting, WEN Yawen, CAO Yonghong

Ulanqab City Garden Service Center, Ulanqab, Inner Mongolia, 012000, China

Abstract: Urban biodiversity is an important indicator for evaluating the service function of urban ecosystems, which is of great significance for maintaining urban ecological security and balance, and improving urban living environment. In order to better protect the urban biodiversity of Ulanqab City, this article takes the central urban area of Ulanqab City as an example to systematically explain the current status of urban biodiversity protection in Ulanqab City. By exploring the problems in urban biodiversity protection in Ulanqab City, countermeasures and suggestions for urban biodiversity protection are proposed, in order to provide useful references for the protection of urban biodiversity in Ulanqab City.

Keywords: city; biodiversity; urban green space; protection of current situation; existing problems; suggestions for countermeasures; Ulanqab City

引言

城市生物多样性是全球生物多样性的重要组成部分, 能为城市居民提供食物、能源等各种赖以生存的生命资源, 是城市居民生存和发展的需要, 对维持城市生态系统平衡起到关键作用, 可以为人类带来不可估量的价值。^[1-3]但随着城市化发展进程不断加速, 经济社会与生物多样性保护之间的矛盾日益突出, 城市生物多样性急剧下降。^[4-5]为有效解决城市生物多样性逐渐减少的问题, 各部门印发《关于加强城市生物多样性保护工作的通知》(2002)以及《全国城市生态保护与建设规划(2015-2020年)》等文件, 提升生物多样性保护的重视程度, 将生物多样性保护纳入城市生态保护与建设指标体系, 并提出了城市生物多样性保护的具体目标和任务。但我国生物多样性保护工作仍然存在不少问题和薄弱环节, 为进一步推动生物多样性保护工作, 2017年习近平总书记在召开的十九大报告中提出“构建生态廊道和生物多样性保护网络, 提升生态系统质量和稳定性”; 2020年召开的十九届五中全会进一步提出“实施生物多样性保护重大工程”; 2021年《中国的生物多样性保护》白皮书明确了“中国将生物多样性保护上升为国家战略, 把生物多样性保护纳入各地区、各领域中长期规划”的任务; 2024年发布的《生物多样性保

护战略与行动计划(2023-2030年)》推进落实生物多样性保护工作, 完善生物多样性治理体系。

在国家积极推动城市生物多样性保护的背景下, 城市绿地系统中生物多样性的作用愈来愈引起普遍的关注, 对城市生物多样性保护的研究也成为维护城市生态安全、加快推进生态文明建设的迫切要求。^[6-7]本文立足于保护城市生物多样性, 实施可持续发展战略的时代背景, 进一步梳理乌兰察布市中心城区城市生物多样性的保护现状, 以乌兰察布市中心城区为例探讨乌兰察布市城市生物多样性保护存在的问题, 并提出城市生物多样性保护的对策以及建议, 以为乌兰察布市城市生物多样性保护工作提供有益参考。

1 自然环境概况

乌兰察布市中心城区位于内蒙古自治区中西部, 是内蒙古自治区乌兰察布市的市辖区, 地处北纬 40° 01', 东经 113° 10', 群山环绕, 地广人稀。^[8-9]

乌兰察布市中心城区属于典型的北温带蒙古高原大陆性气候。主要气候特征为: 昼夜温差较大, 日照充足, 全年多风少雨, 寒冷干旱。^[8-9]日照时数 3130 小时, 年平均气温在 4.4℃ 之间, 无霜期 120 天左右, 年均降水量在 384 mm, 降水时间和空间分布极为不均, 一般夏季七、八

月份降水较为丰富。乌兰察布市中心城区春季较为干燥，有多达 60 天的大风日数；夏季气候凉爽，平均气温一般低于 20℃；秋季霜冻较早；冬季寒冷少雪，平均气温在 -15℃ 以下，极端最低温可达 -32℃。^[10]

乌兰察布市中心城区位于内蒙古高原南部地带，系阴山山余脉之丘陵区，地势北高南低，整体由西北向东南逐渐降低，是一南西北三面环山的盆地，全境北高南低，西北多系山地，平均海拔约 1416.56 米。主要地貌形态有土石山区、低山丘陵、玄武岩台地等，属侵蚀构造型。^[11]

2 乌兰察布市城市生物多样性保护现状

2.1 生物多样性保护现状

2013 年，乌兰察布市出台了《乌兰察布市城市生物多样性保护规划》，对乌兰察布市生物多样性提出了详细的保护策略与规划措施，对绿地保护、栖息地保护、生物资源保护提出建议要求。在政策方面，城市生物多样性保护已纳入了市委、市政府生态文明建设重要内容。2022 年、2023 年，乌兰察布市连续 2 年对全市城镇绿地内外来入侵物种进行了普查，有效保护了本市原有生物种类。

2.2 乌兰察布市中心城区城市绿地建设现状及对生物多样性保护的影响

城市绿地系统人工植物群落的构成，承担着为城市生物提供栖息生存环境的作用。近年来，乌兰察布市各项园林绿化指标逐年提升，乌兰察布市城市绿地系统逐步在规划、政策、建设等方面融入对城市生物多样性的保护工作。乌兰察布市、区政府紧紧围绕“建设祖国北方重要生态安全屏障”的目标，先后筹集绿化建设资金 150 多亿元，构筑起以白泉山、老虎山为重点的城中绿岛，建设出以卧龙山、军民义务植树基地，结合铁路、公路为框架的通道绿化，修复成以霸王河、泉玉岭河、白海子公园等湿地保护为重点的城市水系。截至 2022 年年底，乌兰察布市中心城区建成区面积 75.4 平方公里，绿地面积高达 2883.49 公顷，绿地率 38.24%，绿化覆盖率 40.87%，公园绿地面积 1011.02 公顷，人均公园绿地 34.62 m²/人，公园绿化活动场地服务半径覆盖率达到 83.36%、城市林荫路覆盖率达到 74.5%；先后被评为“全国绿化模范县（区）”“国家园林城市”“国家卫生城市”。2023 年，乌兰察布市中心城区通过“拆迁还绿、见缝插绿”，中心城区街道拐角、老旧小区附近新建 7 处公园绿地，新增绿地面积 5.43 万平方米。

乌兰察布市城市绿量的增加和植物群落的丰富都为生物多样性保护和发展奠定了基础，使城市绿地系统中物种资源呈增长趋势，城市生态系统稳定性明显提升。

3 乌兰察布市城市生物多样性保护存在问题

3.1 执行规划力度不够

虽然乌兰察布市已于 2013 年出台《乌兰察布市城市生物多样性保护规划》，但在具体执行规划的过程中，园林部门、规划部门等缺乏系统化的体系指引和专业化的专项引导，生物多样性保护工作与相关专项规划之间缺少统

筹与衔接，对规划的重点问题和难点把握不够全面和准确，亟待在全市范围内建立切实可行的管理制度，将相关部门城市生物多样性保护工作统筹规划起来，形成长期的城市发展战略，提升城市生物多样性保护力度。

3.2 城市绿地连通不足

越来越多的研究表明，城市绿地连通性增强了破碎的城市生境中的生物多样性。乌兰察布市绿地系统中生物多样性一般采用就地保护措施，生物多样性保护空间网络的整体性和连通性不足，绿地与绿地之间、公园与公园之间存在保护空缺，缺少必要的生态廊道，从而影响城市绿地之间的基因流动，制约生物多样性保护成效。例如乌兰察布市中心城区的霸王河湿地公园、白泉山公园、老虎山公园等含有大量野生动物，但由于生态廊道的缺失，导致野生动物活动范围较小，极大地制约了生物多样性的发展。

3.3 专业技术力量薄弱

目前，乌兰察布地区从事生物多样性保护的专业人员匮乏，专职科技人员的专业技术较弱，再加上相关经费不足，专业技术人员缺乏必要的培训和深造机会，导致乌兰察布地区在开展生物多样性保护工作过程中，缺少对城市绿地系统中生物资源的全面性、系统性的研究，严重地制约了生物多样性保护工作的进程。其次，各个部门分工不同，导致专业技能和相关资源严重隔离，极大地削弱了生物多样性保护的进度。

3.4 资源普查数据不完善

目前，乌兰察布地区在物种资源现状调查和数据收集方面，数据不够新问题严重突出，物种资源的数据多为几年前的旧数据，缺乏近期的新数据，且在物种资源数据调查时仍然存在覆盖不全面、调查不深入、方法不够新等问题，再加上各部门、各机构分工细，物种资源数据也存在隔阂，导致物种资源数据不同步，缺少数据共享和数据整合。

3.5 宣传教育意识不强

当前，乌兰察布地区城市生物多样性保护的鼓励和宣传措施还尚未完善，相关部门在干预、引导、宣传方面还未形成有力的机制体制，公众对城市生物多样性保护方面的法律意识和整体认知不高，致使公众对野生动植物的保护意识淡薄，对生物多样性保护工作的积极性和参与度明显不足。

4 乌兰察布市城市生物多样性保护对策建议

4.1 优化方法机制，完善保护配套功能

在国家相关法律法规的大框架内，以《乌兰察布市城市生物多样性保护规划》为基准，逐步开始从调查、监测、预警、控制、评估、清除、生态修复等不同层面制定完善相关方法机制。建立城市生物多样性工作小组，推进重点工作，协调多个行业、部门解决重大问题，对相关管理、保护内容、处罚办法、工作部门等作出明确规定，健全生物多样性保护制度，进一步推动城市生物多样性保护工作的顺利开展。

4.2 增强景观连通，构建 3D 生态网络

在园林景观设计提高景观连接方式的多样性，致力

于增加生态廊道与生态斑块之间的连通,还要注意景观植物复层群落结构的设计,系统地增强景观绿地连通性。合理配置乔、灌、藤、草本植物以及苔藓植物,形成疏密有致、高低错落的复层植物景观形态,细化园林景观纵向设计,在构建城市野生动物迁移路线的同时使城市景观肌理层次更加丰富。合理利用城市中小微绿地空间规划口袋公园、街头游园,对存在的闲置地、桥下空地、拆除废弃地等城市灰空间绿化美化规划,提升城市空间资源的利用,对已破坏区域进行绿化美化,塑造城市立体生境,强化城市绿地韧性建设。除此之外优化改善跨越式桥梁、地下通道涵洞等生物通道,使各个空间绿地斑块之间产生联系,逐步构筑乌兰察布市 3D 生态网格。

4.3 加强人才建设,提升科研技术能力

为减少专业技术力量薄弱以及各部门人才队伍分工过细引发的部门隔阂和资源浪费等问题。一方面,可以通过外派学习和专业技术培训等方式,提升专职人员的专业技术能力,培养一批能够独立完成科研任务的专业人员,或者通过制定合理的人才引进计划,壮大专业技术人员的队伍,提升专业技术人员的整体科研能力;另一方面,成立专门的生物多样性保护工作小组,整合各部门技术能力,利用各部门的专业优势,联合开展技术合作与交流,共同探讨生物多样性保护方法,协同开展生物多样性保护工作。

4.4 构建保护监测体系,开展动态管理

着重收集和分析乌兰察布市重要生物资源,采用传统地面调查、遥感、生态学和地理信息技术等多种科学方法相结合的方式开展城市绿地系统生物多样性的监测统计。可建立多部门共享的智慧平台技术,整合优化城市生物遗传资源数据,建立集物种资源分布展示、生态系统健康状况监控、信息传输、数据分析、业务管理、资源共享、信息发布等于一体的信息综合应用平台,提高信息传输与监测效率。对乌兰察布市公园、道路绿地、环城绿带、居住区绿地和林地的各种生物分布格局现状开展踏查和记录,建立城市生物多样性数据库和分布地图,对重要物种栖息地进行精准识别,并将其纳入生物多样性长期动态监测网络。

4.5 加强宣传引导,鼓励公众广泛参与

围绕城市生物多样性保护需求,结合“世界湿地日”“世界野生动植物日”“环境日”等活动,在全市范围内,对生物多样性相关传统文化、本土特色珍稀动植物、乡土风俗知识等进行收集汇总,通过杂志报纸、广播电视、互联网、公众号、短视频介绍等多媒体方式广泛进行宣传,开展生态环境全民教育行动。在企事业单位中,深入推进生态环境教育培训,以单位为主体开展示范创建工作,推动新时代生态环境建设志愿服务活动。发挥院校教育优势,以中小学学生为主体组织开展生态专题研学教育活动,传播生态文化、生态健康、生态环保、生物多样性保护等知识,使青少年从小树立爱护生态环境的意识。

5 结论

生物多样性保护是实行可持续发展战略的重要任务之一。^[7]在国家积极推动城市生物多样性保护的背景下,乌兰察布市将深入贯彻落实“二十大”精神,以生态文明建设为指导、以改善城市生态环境为出发点、以构建城乡一体化的生物多样性保护为抓手、以实现保护和可持续利用生物多样性为目标,进一步完善城市生态环境功能系统,提高公众参与生物多样性保护意识,促进经济、社会与生态环境的协调发展。

[参考文献]

- [1]王德悦,孙晓宁.北大港湿地生物多样性保护现状及对策建议[J].天津科技,2023,50(1):88-90.
 - [2]郭宜强,汪水前.福安市生物多样性保护的现状及对策[J].福建水土保持,2004(1):13-16.
 - [3]曾海聪,李晨亮,张君瑶,等.城市绿地生物多样性影响因素研究概述[J].中国城市林业,2023,21(5):171-178.
 - [4]胡四维,杨永川,靳程.中国城市森林生物多样性及其影响因素研究概况[J].中国城市林业,2022,20(6):1-9.
 - [5]陈晓,赵黎芳.北京城市生物多样性保护现状及对策[J].城市管理与科技,2005(5):195-197.
 - [6]史成琳.东营市城市生物多样性保护规划研究[D].泰安:山东农业大学,2020.
 - [7]蒙倩彬.基于生物多样性保护的城市生态廊道研究[D].北京:北京林业大学,2016.
 - [8]胡鑫伟.乌兰察布市集宁区老旧小区绿化提升改造设计[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2021.
 - [9]任爱琳.乌兰察布市集宁区城市公园使用行为与空间环境关系的研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2017.
 - [10]刘宇.乌兰察布市集宁新区道路绿带调查研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2017.
 - [11]陈江海.漳平市生物多样性保护现状及对策[J].现代农业科技,2011(13):195-196.
- 作者简介:董永祥(1972.10—),毕业院校:内蒙古扎兰屯林业学校,所学专业:森林保护,当前就职单位:乌兰察布市园林服务中心,职务:乌兰察布市园林服务中心党组书记、主任,职称级别:林业工程师;曹婷(1989.3—),毕业院校:沈阳农业大学,所学专业:森林培育,当前就职单位:乌兰察布市园林服务中心,职务:乌兰察布市园林服务中心植物保护科副科长,职称级别:园林高级工程师;温雅文(1992.5—),毕业院校:北京交通大学,所学专业:设计学,当前就职单位:乌兰察布市园林服务中心,职称级别:园林中级工程师;曹永红(1996.2—),毕业院校:西北农林科技大学,所学专业:植物保护,当前就职单位:乌兰察布市园林服务中心。

小流域水污染综合治理中存在的问题及相关措施研究

马晓文

北京世纪农丰土地科技有限公司, 宁夏 银川 750010

[摘要] 在实践中, 小流域水土保持综合治理尤为重要, 它不仅可以有效地减少水土流失的负面影响, 而且可以有效地保护人类的生命、健康和安全, 它对促进人与自然的和谐共处具有极其重要的作用, 也是中华民族长远发展的重要保障, 文章讨论和分析了小流域水土保持综合治理中存在的问题, 并提出了相应的对策和建议, 以确保更好地实施治理措施。

[关键词] 小流域; 综合治理; 问题; 措施

DOI: 10.33142/nsr.v1i1.12362

中图分类号: X52

文献标识码: A

Study on Problems and Relevant Measures in Comprehensive Treatment of Water Pollution in Small Watershed

MA Xiaowen

Beijing Shiji Nongfeng Land Technology Co., Ltd., Yinchuan, Ningxia, 750010, China

Abstract: In practice, the comprehensive management of soil and water conservation in small watershed is particularly important. It can not only effectively reduce the negative impact of soil and water loss, but also effectively protect human life, health and safety. It plays an extremely important role in promoting the harmonious coexistence between man and nature, and it is also an important guarantee for the long-term development of the Chinese nation. This paper discusses and analyzes the problems existing in the comprehensive management of soil and water conservation in small watershed, and puts forward corresponding countermeasures and suggestions to ensure the better implementation of management measures.

Keywords: small watershed; comprehensive management; problems; measures

引言

现阶段, 社会的进步、国家的发展, 与新工业化、城市化进程有着密不可分的关系。我国的生态文明建设与西方发达国家相对比, 在社会发展的今天也是取得了卓越成绩的, 在现代化中国建设发展的过程中, 我们重视生态和环境的发展建设, 以提高人民的生活质量, 建设文明和谐的社会主义现代化国家为己任, 推动环境的可持续发展建设, 但是, 目前小流域的土地和蓄水综合治理还存在一些问题, 不仅会对区域内的生态环境造成威胁, 而且还会关系到该生态环境区域内人民的生命健康安全, 因此, 高效、综合地治理小流域水土是改善我国社会生态环境、促进长远发展的重要保证之一, 也是推动环境可持续发展的一种必要手段。^[1]

1 小流域水污染处理在水土保持中的作用

1.1 有利于提升生产力

中国经济社会发展与环境的发展都是遵循可持续发展的, 随着经济的快速发展, 尽管人民的物质生活水平在一定程度上有了很大的提高, 但是制约和威胁着我们生态环境是始终存在的, 自然资源的过度浪费: 矿山资源的过度开采、水资源的过度开发和浪费、污染环境的大气过度排放等等, 对中国和谐社会的发展、合理构建生态环境等

产生非常严重的影响。作为新时代环境的保卫者, 我们要着眼于新时期的生态治理, 提高土地综合开发利用率, 提高当地农业利用能力, 推动我国小流域自然生态治理环境持续发展, 使其走向健康良性循环之路。通过多种渠道加强小流域综合治理, 使其取得更明显的经济效益和社会效益, 小流域资源的综合管理也有助于逐步提高饮用水资源、农业用地等自然资源的综合利用率, 提高我国粮食综合生产和自给自足水平。^[2]

1.2 提升生态效益

由于不同地区的环境条件不同, 为提高环境效益, 还应选择小流域水土保持综合治理措施, 为避免因技术问题造成的损失, 应充分分析和科学证明水土保持技术, 以确保自然和谐发展。小流域综合管理的主要技术手段能够有效地改善小流域的自然土壤结构, 提高流域降水的渗透性, 提高流域的降雨蓄能和蓄排水能力, 促进流域重要水资源的综合利用, 有效地管理、保障和利用小流域的水资源, 并将其推广到其他环境政策中, 使自然资源得到有效保护。^[3]

2 小流域水土保持发展状况

目前, 中国被国际列为世界上水土流失和污染问题最严重的国家之一, 轻度水土流失会严重降低土壤肥力和土壤质量, 破坏土壤土层, 加速其他地区土壤侵蚀, 甚至导

致干旱,当地水土资源的严重流失很可能直接导致溪流、湖泊和其他水体中固体污泥的急剧增加,也可能严重影响水资源的生态保护,也很可能直接导致各种自然灾害,如极端洪水、泥石流和其他山体滑坡。

3 小流域水污染处理中存在的问题

3.1 治理技术水平有限

目前,技术层面的短板一直是影响小流域综合管理影响的重要因素之一,在小型水道综合管理的背景下,通常选择较传统的技术,这些技术往往无法满足当前经济和社会发展对环境保护的要求,如果技术本身不能有效结合,整个处理过程将面临许多问题,同时,经济效益也受到严重影响,环境保护效果也不是很明显,不能满足我国的相关要求和标准。^[4]

3.2 资本投入不足

小流域水土保持综合管理需要巨大的投资,这一资金的筹集和来源往往依赖于中央政策的补贴、地方扶持机构的补贴以及自筹资金,在一些经济落后、水土流失严重的地区,很难筹集到投入的建筑资源,而且资金水平很难达到所需的数额,此外,地方政府和民众对小流域的综合管理重视程度不一,这也可能导致投资水平无法满足管理部门的需要。

3.3 管理措施不完善

当前我国对国内小流域的综合治理工作的开展并没有形成完善的管理机制,缺少舆论监督机制和法律法规来协调和引导,目前主要依据的法律为《水土保持法》。在治理的过程中存在政出多头,交叉管理等,多以对于区域管控的划分,也是存在诸多异议的。

4 小流域水污染处理措施

在积累、形成和流动的过程中,我们将各个组成部分组成有机循环、能量流动和信息传递相结合,将小流域水污染管理视作一个环境共同体。它是用系统思想来监督管理计划和实现路线。科学准确的测量方法。

4.1 综合管理

治理的目标是以统一的方式统一自然、经济和社会的需求,并设定科学的目标。为了确立管理的目标,必须确立管理目标,以确立水体的目标,并考虑公众和地方经济的需要。最新的目标是解决公众强烈反映的环境问题。中期目标是进一步降低水污染程度,不直接或间接损害双方。长期目标是水体达到功能需求。管理措施必须结合污染管理和环境管理,两手都要硬。对于我部中小型流域的管理,严格控制污染和进行综合环境改善同样重要。加快城市环保设施建设,加大工业企业减排力度,开展农村环境整治,落实河道综合整治等任务措施。此外,他们必须提交强制性管理控制要求,如控制区域排放、严格行业许可证限制、加强监管、增强监测能力、实施单位控制和环境卫生管理。

我们注重治理的重要性,统一点、线、面治理效果。重点关注基金的重要性,以及在改善环境质量方面发挥重要作用的重要监督管理公司、重要管理改造公司、重要管理河流重组公司和重要源头管理区的管理,有限的管理河流和重要区域的源头管理范围,以及有限的资金和管理能力,释放了箭头,并采取了科学正确的措施,使管理活动更加经济高效。

在管理安全方面,考虑了审查、询问和舆论监督,确保了责任的履行。为了明确责任,根据区域控制的原则,将水体划分为不同的控制单元,每个控制单元建立责任单元和水质控制目标,水质控制目标的完成情况是考核和考核的依据。下一步可以充分发挥水系的作用,加强责任的落实。同时,为了弥补环境监管能力的不足,动员全社会参与流域管理活动,通过水质信息的披露、开发进度公告以及环境违法问题。

4.2 资金投入

在资金管理上,统一加大政府投入,鼓励社会资本进步,拓宽资金渠道。另一方面,当地政府必须对环境质量负责,必须继续实施流域污染对策。另一方面,采取PPP等模式,鼓励民间资本参与流域对策,促进流域对策的可持续发展,提高资金使用效果。

5 新型小流域污水处理技术的应用

DR-801A1 自动抽取式定深采样桶采用注射器原理,使用 DR-801A1 自动抽取式定深采样桶前先将桶内空气排空,然后将桶置于水体中。当下沉到指定深度后启动抽取,满桶后自动停止。DR-801A1 自动抽取式定深采样桶可以精准地完成在指定深度采样的要求。同时避免了传统采样桶对水层扰动、定深不准、采样有混合等弊端。

DR-801A1 自动抽取式定深采样桶到达预设深度后,定深浮子提拉启动抽取。在水污染源、河流、湖泊、水库等可以大规模采用 DR-801A1 自动抽取式定深采样桶进行环境水体采样。

功能特点:

提前排空,到达深度 DR-801A1 自动抽取式定深采样桶自动抽取,更符合采样标准要求;

DR-801A1 自动抽取式定深采样桶水样无层间交叉干扰,采取的水样更有代表性;

因为 DR-801A1 自动抽取式定深采样桶在使用前提前排空桶内空气,无需另加配重采样桶即可下沉;

DR-801A1 自动抽取式定深采样桶体积小,纯机械结构,无需电源,重量轻,方便携带;纯机械结构,无需电源操作简单,采水平稳。

6 结束语

小流域水综合治理对促进我国经济社会发展具有极其重要的作用,也是一个重要的环节,在中国保护环境和建设生态文明的过程中,这一点不容忽视。小流域水污染

处理有待加强,相关人员需要采取有效措施,确保综合治理符合当地气候,加强自然生态和经济发展,只有提高综合治理质量,才能提高治理效率,避免水土流失,改善当地生态环境,改善土地利用的影响,促进当地社会经济的正常有序发展。

[参考文献]

[1]范清成,曹雪芹.小流域治理的难题及对策[J].河南水利与南水北调,2018(11):14-15.
 [2]姜慧.太平小流域清洁综合治理效益评价研究[D].大连:大连理工大学,2016.
 [3]刘毅.对龙南县小流域水污染处理中产业发展的调查和建议[J].水利发展研究,2010(1):66-68.

[4]吴禧.天祝县小流域水污染处理现状分析及建议[J].甘肃农业,2014(23):40-42.

[5]姜明武,陈秀宏.农安小流域水污染处理现状分析与思考[J].吉林水利,2013(4):51-53.

[6]张洪江,张长印,赵永军,等.我国小流域水污染处理面临的问题与对策[J].中国水土保持科学,2016(1):131-137.

作者简介:马晓文(1988.9—),毕业院校:沈阳农业大学,所学专业:水利水电工程,当前就职单位:北京世纪农丰土地科技有限公司,职务职称:项目经理/水利水电中级工程师,目前主要从事国土综合整治、生态修复等方面规划设计工作。

生态修复技术在水利工程水土保持中的有效应用研究

李刚

北京世纪农丰土地科技有限公司, 宁夏 银川 750000

[摘要]近年来,我国综合国力得到了显著的提升,从而为水利工程行业的发展带来了诸多的机遇。为了从根本上促进水利工程水土保持工作水平的不断提升,还需要在结合实际情况的基础上选择适合的专业技术,从而对水利工程水土保持工作的有序高效地开展给予帮助。这篇文章主要围绕生态修复技术在水利工程水土保持中的实践运用展开全面深入的研究分析,希望能够对我国社会稳步健康发展有所助益。

[关键词]生态修复技术;水利工程;水土保持;运用

DOI: 10.33142/nsr.v1i1.12361

中图分类号: X171.4

文献标识码: A

Effective Application of Ecological Restoration Technology in Water and Soil Conservation of Water Conservancy Projects

LI Gang

Beijing Shiji Nongfeng Land Technology Co., Ltd., Yinchuan, Ningxia, 750000, China

Abstract: In recent years, Chinese comprehensive national strength has been significantly improved, which has brought many opportunities for the development of water conservancy engineering industry. In order to fundamentally promote the continuous improvement of water and soil conservation work level of water conservancy projects, it is also necessary to select appropriate professional technology based on the actual situation, so as to help the orderly and efficient development of water and soil conservation work of water conservancy projects. This article mainly focuses on the practical application of ecological restoration technology in water conservancy project soil and water conservation, hoping to be helpful to the steady and healthy development of our society.

Keywords: ecological restoration technology; hydraulic engineering; water and soil conservation; application

引言

在社会快速发展的过程中,尽管各个领域的发展都取得了显著的成绩,但是与此同时也出现了较为严重的生态污染的问题。并且水利工程的建造对于生态平衡也造成了严重的破坏,所以切实地将生态修复技术加以运用,能够有效的对上述问题加以缓解,将水利工程与生态修复加以整合。在实际组织开展各项施工工作的时候,应当对生态修复问题加以侧重关注,在保证不会对生态环境造成破坏的基础上推动社会经济的发展。

1 生态修复技术在水电水利工程水土保持中发挥的作用

我国地域辽阔,其中包括大量的江河湖海,所以全面地落实水利工程建设工作对于社会发展是非常有帮助的。但是所有的事情的发展都是有两面性的,水利工程在推动社会发展的同时也导致对大量的生态环境的破坏,所以在实施水利工程建设工资挪的过程中务必要加强对生态环境的保护,并且在整个工程项目建设中还需要积极地落实水土保持工作。为了实现上述目标,最为有效的方法就是将生态修复加以合理地运用,在确保生态平衡的基础上,推动水利工程行业的快速发展^[1]。

1.1 促进水利工程的可持续发展

水土的稳固和水利工程二者是存在密切的关联的,只有切实地对水土加以稳固才可以促进土壤层的蓄水能力的提升,尽可能地规避发生水土流失的情况。一旦出现水土流失的问题,那么是无法对土壤中的水分的稳定性加以保障的,这样就无法将水利工程的作用切实地发挥出来。

1.2 促进相关行业利益和效率的综合性

通常来说水利工程整体性能的提升都是利用人为改造的方式将原有的水循环系统进行完善,最终实现提升水资源利用效率的目的。但是就当下实际情况来说,我国水利技术整体水平还没有达到成熟的状态,所以会对施工效果和效率造成巨大的影响。将生态修复技术加以合理地运用,可以有效的解决水利技术中所存在的问题,为水利工程行业的健康稳步发展打下坚实的基础^[2]。

2 水土流失的危害

在社会快速发展的过程中水土流失的问题越发的严重,所以造成了土地生产力的逐渐下降的不良后果的发生。在现如今农业生产过程中,不合理的生产模式对于土地资源造成了巨大的损害,并且也是的的是的大量的农业生产用地被征用,造成土质结构逐渐的变化,严重的影响到了土

壤层的肥力,不但对土壤的有机质造成了损害,并且也引发了水土流失情况的发生。在一个区域出现严重的水土流失的情况的时候,就会导致河道的通常性的下降,河流出现淤积的情况,对于河道的抗洪能力也会造成诸多的损害,导致大量的自然灾害的出现。一旦遇到严重的水土流失的情况,不但会对耕地的质量造成严重的损害,并且也会导致耕地资源的逐渐下降,对于地面的完整性造成诸多的损害,在土地质量不断下降的形势下,会对土地造成严重的不良影响。

3 生态修复技术在水利工程水土保持中的有效运用

将生态修复技术加以合理地运用,不但可以有效的促进工作时间效率的提升,并且也可以为水利工程水土保持工作的发展起到一定的推动作用,为了对这项技术进行进一步的研究,还需要对实践工作加以正确的认识,从多个细节方面推动技术水平的不断提升。

3.1 保护表层种植土,维护其原有生态系统

就生态修复工作实际情况来说,最为关键的就是土壤资源,土壤的储备情况、质量以及种类都会对生态修复的效果造成直接的影响。就以往的水利水电工程来说,因为在施工过程中会涉及到大量的挖掘工序,所以会产生诸多的废弃物,从而对土地的质量造成严重的损害。在开展后期修复工作的时候,最为重要的是需要将填埋的废渣挖掘出来,随后实施施肥为植物的生长提供充足的养料^[3]。在生态修复工作中最为重要的工序就是切实地落实水土修复工作,这也是保证工作整体效果的重要基础。在水利工程建设中切实地避免对当前生态植被造成破坏,促进生态系统能够始终维持在良好的状态。水利工程施工影响范围较大,原有地表植被在遭到损害之后,就会导致其生态功能的丧失,不但会诱发水土流失的不良后果,并且也能对植被的种植造成一定的困难。在水利工程施工中尽管都是在红线的范围之内进行,但是非红线范围不能随意进行施工。

3.2 合理调整生产布局,加大技术应用力度

我国土地资源较为充足,但是各个地区的土质结构情况以及水域情况都是不同的,在实施水利工程以及后期的生态修复工作的时候,应当秉承因地制宜的原则,切实地推进各项施工工作的有序开展。特别是那些通过测算和规划的地区,需要规定禁止开发水利水电工程,这样才能有效的规避水土流失问题的发生。其次,需要将监管监督的职责尽可能地发挥出来,在实施工程建造工作的过程中往往会受到人为因素的影响,无法对确保工程整体的生态效果。要想将水利水电工程的职能作用充分地发挥出来,还需要对各个地区地质情况进行合理地改善,避免对民众正常生活造成不良影响,为了全面地落实生态修复工作,各个地区的地方政府需要给予必要的支持和辅助,积极地开拓市场,引入社会资本,为生态系统建设工作提供

有利的条件^[4]。其次,在实施水利水电工程建设工作的时候,还应当积极地完善检测体系,首先需要对整个地区各方面实际情况进行全面的了解,确定水利水电工程的重点施工区域,并且为后续的检测站各项工作进行合理的规划安排,为各项工作的开展打下坚实的基础。对于当前拥有的管理办法和监测机制加以综合分析和研究,对于工作中所存在的问题利用有效的方法来加以解决,为工程实践工作的实施创造良好的基础。

3.3 制定修复计划,科学运用技术措施

尽管我国国土面积较为辽阔,但是各个地区的水土流失的情况也是不尽相同的,所以在对水利流失的问题加以治理的时候,需要结合各个地区的各方面实际情况来选择适合的方式方法,制定出详细的生态系统修复方案,为实践工作的实施给予规范性的指导。对于水土流失的情况的不同,所采用的解决方案也是不一样的。在实际开展治理工作的时候,可以积极地引入先进的科学技术,结合水土保持和生态学的原理,将生态治理工作的作用更好地发挥出来。并且要结合整个地区的实际情况将植物进行合理地搭配,创建出良好的生态系统,从而保证获取更加丰厚的经济效益。在生态自我修复中,还需要生态系统将自身的综合能力施展出来,为了实现上述目标还需要拥有良好的自然环境条件,结合各个地区生态自我修复的情况和需要,对于不同的情况制定针对性的方案^[5]。在组织开展各项实践工作的时候,应当积极地利用人工的方法,促进生态自我修复的正太效率和效果。在生态自我修复方案的落实中,各个部门务必要因地制宜地做好生态修复的各项工作,并且对生态自我修复与人为手段的辅助加以整合,促进水土流失防治工作整体水平的不断提升。

3.4 建立区域水土保持监测体系

为了进一步提高生态修复技术应用水平,要重视构建完善的水土保持监测体系,通过监测体系的进一步构建,能够更好地采取科学的技术措施,以确保水利工程建设质量不断提高,从而实现水土保持工作科学化开展。在具体工作开展过程,要重视做好区域主干河流的水土检测工作,结合基层水土保持工作开展实践,进一步确保监测网络的完善。

4 结束语

总的来说,在社会不断发展的推动下,我国水利行业的发展取得了显著的成绩,兴修水利为社会发展带来了诸多的助力,但是也造成了大量的生态问题。所以我们应当积极地对这些问题加以解决,并且制定出完善的解决方案,促进水利工程建设工作整体水平的不断提升。将水利修复技术进行合理地运用可以促进水利工程整体质量的提升,并且也可以维护生态环境的平衡,工作人员应当将自身的职责充分地发挥出来,并且不断的学习先进的理论知识和实践技能,积极地落实管理工作,为进一

步为生态建设和水利工程水土保持工作可持续发展奠定良好基础。

[参考文献]

- [1]黄桂云,张国禹,吴笛.生态修复技术在水利工程水土保持中的有效运用[J].绿色环保建材,2019(10):219.
- [2]袁立恒.生态修复技术在水利工程水土保持中的有效运用[J].现代物业(中旬刊),2019(6):66.
- [3]张培君,张家富,赵金波.生态修复技术在水利工程水土保持中的有效运用[J].科学技术创

新,2019(16):129-130.

[4]杨远洋.浅析生态修复技术在水利工程水土保持中的有效运用[J].民营科技,2018(11):99.

[5]谭经平.水利工程水土保持生态修复技术的有效运用[J].科技风,2016(22):121.

作者简介:李刚(1986.2—),毕业学校:沈阳农业大学,所学专业:水土保持与荒漠化防治,当前就职单位:北京世纪农丰土地科技有限公司,项目设计师,职称:水利水电中级。

淤地坝“淤满”后的水沙效应及防控对策研究

张峰¹ 刘明和²

1. 靖边县无定河流域治理服务中心, 陕西 榆林 718500

2. 靖边县水利监察大队, 陕西 榆林 718500

[摘要] 由于黄土高原的地形地貌的特殊性, 黄土高原的水土流失是特别严重的, 而淤地坝的出现, 正好缓解了黄土高原水土流失这一现象。我国近几十年来在黄土高原上修建了几万座淤地坝, 这些淤地坝也在黄土高原改善生态环境的方面发挥了它的巨大作用。但是随着时间的流逝, 许多淤地坝已经出现淤满的现象, 对于淤地坝淤满后的水沙效应方面, 我国的研究还是比较匮乏的, 因此文中通过淤地坝淤满的水沙效应进行简要分析, 然后提出相对应的对策来解决这些问题, 希望能够有效解决黄土高原上淤地坝淤满后所造成的安全隐患问题。

[关键词] 黄土高原; 淤地坝; 淤满现象; 水沙情况; 对策

DOI: 10.33142/nsr.v1i1.12363

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

Water and Sediment Effect and Prevention and Control Countermeasures after "Silting Up" of Check Dams

ZHANG Feng¹, LIU Minghe²

1. Jingbian County Wuding River Basin Management Service Center, Yulin, Shaanxi, 718500, China

2. Jingbian County Water Conservancy Supervision Brigade, Yulin, Shaanxi, 718500, China

Abstract: Due to the particularity of the landform of the Loess Plateau, the soil and water loss in the Loess Plateau is particularly serious, and the appearance of check dams just alleviates the phenomenon of soil and water loss in the Loess Plateau. In recent decades, tens of thousands of check dams have been built on the Loess Plateau in China. These check dams have also played a great role in improving the ecological environment of the Loess Plateau. However, with the passage of time, many silt dams have been silted up. There is still a lack of research on the water and sediment effects after silt dams are filled in China. Therefore, this paper briefly analyzes the water and sediment effects of Silt Dams, and then puts forward corresponding countermeasures to solve these problems. It is hoped that the potential safety problems caused by the silting dam on the Loess Plateau can be effectively solved.

Keywords: Loess Plateau; check dams; siltation; water and sediment conditions; countermeasures

引言

黄土高坡中水土流失现象的情况十分严重,我国为了有效的治理黄土高坡中水土流失现象,对黄土高原的沟沟岔岔建设起淤地坝来有效缓解水土流失等诸多问题。因此,新中国成立以来尤其是上世纪六七十年代,一度呈现出了筑坝热潮,约80%的淤地坝都建于该时期,主要以“农业学大寨”“大会战”等形式建设,主要分布在黄土高原的丘陵沟壑区,其次少量分布梁峁涧地区,淤地坝在黄土高原上都能进行有效的拦泥、阻沙以及淤地,并且在减少自然灾害方面也提供了巨大的帮助,除此之外,它还提高了黄土高原周边对于水资源的利用率,并且还促进了黄土高原上坡耕地的退耕还林还草,很大程度上提高了黄土高原上农民的经济增长,淤地坝在改善黄土高原山区交通方面,以及生活条件方面发挥出极大的作用。经过近几十年的发展,淤地坝,从最开始的试验示范,到中期的广泛推广普及使用,以及高速的进行发展建设,到最后的进行淤地坝除险加固阶段,我国的淤地坝总体得到有效的发展,通过调查发现,黄土高原中的淤地坝到目前为止可达六万多座。

这些淤地坝工程,在近近年来有效的防洪减沙淤地,在黄土高原中发挥了巨大的作用,但是有调查发现,这些工程由于超标暴雨,也会造成连锁的溃坝现象,当遇到特大暴雨时,淤地坝会受到不同程度的损毁现象,并且如今,很多淤地坝出现淤满的现象,刚出现该现象,可以对该工程进行加高进行处理,但是也不能对其进行无限加高,所以我们对淤地坝淤满后的水沙效应进行深入研究分析,清楚其在淤地坝中的情况是怎样的?然后根据这些情况进行有效的防控,相信对黄土高原的减灾可以提供巨大的帮助。

1 淤地坝淤满后的侵蚀情况

首先,淤地坝淤满后,它的整个地形整体都会发生比较大的变化,有一点就是坝控的整个沟道范围的全部坡度会有所降低,并且淤满后,由于其侵蚀基准面有所增高,所以对于整个淤地坝内的径流长度也有所改变,通过调查发现,建坝前其径流长度可以有约28米左右,但是到淤满后,整个平均径流程度下降至20米左右,除此以外,由于淤地坝的淤满,整个沟道的形态和以前对比也出现了

变化,原本的河道是v型沟道,现如今的河道已经变成了U型沟道。其次,淤地坝淤满后,其土壤侵蚀也发生变化,有研究表明,整个淤地坝周围的平均土壤侵蚀模数有所降低,降低的幅度大约是10%左右,并且淤地坝淤满以后,原本淤积侵蚀比较严重的沟谷地区是导致整个坝控范围土壤出现侵蚀模数下降的主要因素,这个现象可以叫作淤地坝的原地减蚀作用,虽然淤地坝淤满后出现该情况,但它还是存在,有效的拦沙作用。最后,淤地坝淤满后整个地表径流速度也出现变化,有研究表明,淤地坝在淤满前,当出现暴雨现象时,整个坝地流速是比较高的,但是在淤满后,其流速有所降低,在未修建淤地坝时的流速为0.83m/s,淤满后变成只有0.27m/s,虽然坝地流速是下降的,但整个坝体的外坡流速却是增加的,未修坝时为0.64m/s,现如今可达到2.3m/s,尤其是在淤地坝的坡底,流速可增加到3.76m/s。

2 淤地坝淤满后对于侵蚀输沙的影响情况

淤地坝在建成后可以有有效的拦截上游部位的泥沙,因此,淤地坝在建成后几年,整个的面积会被不断的抬高,曾经被侵蚀的很严重的沟谷和沟床,也会随着时间的流逝被泥沙给淤埋,这整个过程中,很大程度上改变了整个坝控范围的坡度,让其整个形状变成了侵蚀强度比较低的U形状,淤地坝的坝控范围的土地利用类型也得到了改变,这使得原本淤积在坝底部的土壤侵蚀得到了控制,整个坝的两侧的土体,滑动面出现的情况得到减少,这很大程度上提高了整个土体的抗滑稳定性,尽管淤地坝已经淤满,整个侵蚀基准面也得到了提高,其水流速度也变缓了,裹挟泥沙的能力也有所降低,但淤地坝的拦沙减蚀作用也还得到有效的发挥,其拦沙作用降低到最低,已淤坝地就变成了基本农田,对于水土流失现象还可以起到减蚀和阻拦泥沙的效果,但不可否认其减蚀作用已经有所降低。并且对于已经淤满的淤地坝来说,整个坝体存在着安全隐患问题,他的坝体外坡已经呈现比较明显的陡坡形状,当该地区发生特大暴雨时,产生的洪水会冲刷坝顶、外坝坡甚至是已淤坝地,从小冲沟会逐渐变成大冲沟,这样会使得整个坝体得到严重的冲刷,虽然一次暴雨,不会全部冲刷掉整个坝体,但经过多次暴雨洪水的冲刷,会使得整个淤地坝中保留的淤沙被全部冲掉,这样就会变成了大型的侵蚀沟,这样会使得我国政府对于黄土高原这几十年的有效治理成果付诸东流。

3 淤地坝淤满后有效的防控措施

3.1 应尽快修建、配套病险淤地坝的放、泄水建筑物

在建造淤地坝时,都是将其建设成小流域的主要单位,所以在完善整个坝体的沟道排洪设施中应该以小流域作为基本单位来完成,具体操作是在坡体的一侧,建设起能进行有效排洪的渠道,并且在溢洪道的下半段,为了有效应对整个沟道下切现象的出现,必须将其完全建设为钢筋混凝土或浆砌石溢洪道来进行有效防范。除此之外,对于大

型坝以及中型坝,都必须全部修建起排洪渠道,对于那些处于坝体下游的小型坝来说,也必须对其建设排洪渠道,这样对其全面完善,相信可以提高整个坝体的排洪能力。

3.2 必须加强淤地坝的坡面治理

对于黄土高原这种特殊的地质来说,仅仅修好淤地坝,并不能完全避免灾害的发生情况,除了对淤地坝进行完善好沟道排洪设施的建设以外,对于整个坝体的坡道也应该采取有效的措施,只有在治沟以及治坡二者同时进行完善建设,才能更好地发挥淤地坝的有效作用。对于淤地坝的整个坡面治理,可以在坡道上进行科学合理的植树,也可以在植树的同时进行种草,除此以外,还可以在坡道上修建起梯田,对于那些坡度比较缓的,并且整个土地面积比较集中的坡地,可以将其修建成梯田,对于其他坡道上还有的耕地,应该让本地的农民对其退耕还草还林。并且从异地减蚀作用的原理出发,我们对于整个淤地坝,还必须大力开展沟头防护措施,这样都可以有效的消耗以及分散整个坡面的来水量,减轻洪水对坡道的侵蚀作用,也可以从根本上减轻其对沟谷的侵蚀作用。

3.3 利用有效的防护材料对淤地坝的坝体进行有效的防护

淤地坝的整个坝体,在暴雨以及很大的太阳光强度下,都会得到严重的损伤,因此可以利用有效的防护材料,对整个坝体进行有效的防护,减少整个坝体的损伤,可以降低灾害发生的频率。例如可以利用新型复合材料PET进行有效的覆盖,该材料不仅具有很强的拉伸度,其抗老化的能力也是很强的,并且该材料在整个淤地坝的坝体上,还可以,有着透水保土的功能,除此之外,土工格栅也有着很高强度的耐腐蚀能力,还具有耐久性与提高坝体整个稳定性的功能。因此,对于整个坝体,要想进行有效的防护,工作人员可以将这种新型复合材料PET以及土工格栅铺设在整个坝体的表面,整个坝体的范围得到防护材料的有效铺盖,不仅对于整个坝体结构的稳定性都能起到有效作用,而且对于自然灾害的发生,也可以减缓坝体被冲刷的现象,防止整个坝体被冲刷破坏,能从根本上防止其形成侵蚀沟。

3.4 必须做好整个坝体陡坡的防治措施

由于整个淤地坝在淤满后,整个坡体会发生显著变化,原本的外坡道会变成陡坡,泥沙的径流速度也有所增加,这样会使得原本的土壤侵蚀度得到很大程度的增高,所以对于整个坝体侵蚀防治措施必须要做到位,对于淤地坝的陡坡的有效防治措施,具体而言,可以分为两类,一种是对整个陡坡面的范围铺设截水以及排水的设施设备,另一种是对整个都陡坡面采用工程建设措施以及植物防范措施二者相结合的方式,这样可以很大程度上提高整个陡坡面的覆盖度。可以在整个淤地坝的坝体外坡道面进行铺设小型的截水沟道,有了节水沟道的防护,这样可以很大程度上减轻水力对坡面的冲刷程度,如果整个都铺面的排水

设施设备做到极致，尽管淤地坝已经淤满，也还能对整个黄土高原地区的水土流失进行有效的防护。

4 结语

黄土高坡中水土流失现象可以得到有效控制，很大程度上得益于淤地工程的建设，尽管已有很多淤地坝出现淤满的情况，但是通过对其水沙效应的情况进行有效分析，得到整个坝体的整体水沙情况，对于淤满后的其地形的侵蚀情况、土壤的侵蚀情况、其地表径流流速情况以及整个坝体侵蚀输沙情况的深入了解分析，我们可以针对其产生的情况，采取有效的防范对策，在其外坡道铺设有效的排水沟道，减轻整个水量对坡面的冲刷程度，利用新型的铺设材料对整个坡道面进行铺设，减轻洪水以及太阳光对整个坡道面的破坏程度，还可以，对整个坡道面进行植树种草，提高整个坡道面的覆盖程度，这样都可以有效的对淤地坝淤满后进行有效的防治。

[参考文献]

[1]魏艳红,焦菊英.黄土丘陵沟壑区不同土地利用方式下

小流域侵蚀产沙特征[J].水土保持学报,2021,35(3):96-103.

[2]马增辉.陕北黄土高原地区淤地坝建设探析[J].现代农业科技,2021(8):174-177.

[3]邓红霞.关于淤地坝建设中水毁问题及解决措施研究[J].现代农业研究,2021,27(4):131-132.

[4]申震洲,亢晨波,张宁宁,等.黄土丘陵区小流域坝地沉积泥沙颗粒分布特征[J].水土保持研究,2021,28(3):1-6.

[5]董亚维,李晶晶,任婧宇,等.关于黄土高原地区淤地坝水土保持监测的几点思考[J].中国水土保持,2021(4):62-65.

[6]成晨,刘冰,赵阳,等.黄土丘陵沟壑区淤地坝沉积泥沙来源分析[J].南昌工程学院学报,2020,39(6):69-74.

作者简介:张峰(1986.11—),男,杨凌职业技术学院水利水电建筑工程专业,靖边县无定河流域治理服务中心,工程师。

光伏扬水灌溉系统在土地整治中的应用研究

陈丽月

江山市峡口水库管理中心, 浙江 衢州 324116

[摘要]土地整治近年来的受关注程度不断提升, 各类新型技术在该领域的应用成为业界热点, 相关理论研究和实践探索也大量涌现。基于此, 文章简单分析光伏扬水灌溉系统的应用现状, 结合地处山岗丘陵地区的浙江省江山市垦造耕地情况。实例深入探讨土地整治中光伏扬水灌溉系统的具体应用, 并以光伏扬水灌溉系统构成、数据对比、效益分析等内容, 直观展示了光伏扬水灌溉系统的应用价值。以供业内人士参考。

[关键词]光伏扬水; 灌溉系统; 土地整治; 逆变器; 低碳节能

DOI: 10.33142/nsr.v1i1.12360

中图分类号: S275

文献标识码: A

Application of Photovoltaic Water Lifting Irrigation System in Land Regulation

CHEN Liyue

Jiangshan Xiakou Reservoir Management Center, Quzhou, Zhejiang, 324116, China

Abstract: In recent years, land remediation has been paid more and more attention. The application of various new technologies in this field has become a hot spot in the industry, and a large number of relevant theoretical research and practical exploration have emerged. Based on this, this paper briefly analyzes the application status of photovoltaic water lifting irrigation system, combined with the cultivated land in Jiangshan City, Zhejiang Province, which is located in mountainous and hilly areas. This paper deeply discusses the specific application of photovoltaic water lifting irrigation system in land regulation, and intuitively shows the application value of photovoltaic water lifting irrigation system based on the composition, data comparison and benefit analysis of photovoltaic water lifting irrigation system for reference.

Keywords: photovoltaic water lifting; irrigation system; land improvement; inverter; low carbon energy-saving

引言

通过有机结合农业灌溉技术与光伏技术, 光伏扬水灌溉系统可以将太阳能作为动力源, 以此开展的农业灌溉在节水、节能、增收、增产等方面的表现较为突出。近年来光伏扬水灌溉系统的应用范围不断扩大, 为保证土地整治中光伏扬水灌溉系统能够充分发挥自身优势, 文章正是围绕该课题开展具体研究的原因所在。

1 光伏扬水灌溉系统的应用现状

1.1 系统特点

光伏扬水灌溉系统在城市水景、草原畜牧、农业灌溉、生活用水、荒漠治理等方面均存在较高应用价值, 能够充分体现节能、环保、低碳等现代理念, 在改善边远地区农业条件方面的优势极为突出。光伏扬水灌溉系统一般由光伏组件、水泵、逆变器等组成, 如逆变器负责条件和控制整个系统, 能够将直流电向交流电转换, 满足水泵工作的能源需要, 如阴雨天气或光照不足, 可通过后备供电方式满足灌溉需要, 以此实现全天候用水, 这一过程需保证逆变器的可靠性。光伏扬水灌溉系统的逆变器多通过变频控制对电机进行控制, 逆变器输出频率随增强的光照强度而提升, 此时存在更快的水泵电机转速。光伏扬水灌溉系统可基于需要选择是否投入蓄电池, 以此满足不同应用需求, 一般光伏扬水灌溉系统在单纯的水泵蓄水应用场景中的

表现较为出色, 具备零碳排放、低运行成本、安全难度低、无须人工值守等优势, 属于解决偏远地区农业灌溉、日常用水问题的理想方案, 在土地整治领域的应用价值也较高^[1]。

1.2 应用现状

近年来光伏扬水灌溉系统在我国各地得到广泛应用, 该系统具备的优势也受到业界认可。以毛乌素沙漠南缘的陕西省靖边县光伏扬水灌溉系统应用为例, 为实现治沙护林目标并发展生态农业, 当地在新能源应用方面投入大量资源, 如在生态农业基地引入光伏扬水灌溉系统。生态农业基地引入的光伏扬水灌溉系统型号为SolartechPS3000, 配置的电池板阵列、交流水泵、逆变器规格分别为4800W、3000W、PB3700H, 光伏扬水灌溉系统拥有35m扬程, 主要用于光伏节水重力滴灌, 夏季日供水量、春秋季节日供水量分别为95t、70t, 能够满足沙漠经济作物灌溉需要, 具体灌溉面积为26.67hm², 同时可服务于土地整治^[2]。

按照光伏扬水灌溉系统的设计参数及应用效果进行分析可以发现, 该系统每年拥有7500KW的发电量, 系统存在25年使用寿命, 因此可实现70t标准煤节省, 灰渣、烟尘、二氧化硫、二氧化碳的减排量分别为18t、1.1t、1.4t、31t。系统同时可用于滴灌施肥, 在减少农药和化肥用量方面也有着出色表现, 能够更好满足环境保护需要。

相较于地面洪灌，光伏扬水重力滴灌的灌水效率更高，具体能够实现 70% 节水。依托未治理沙地和封沙育林生态治理成果，光伏扬水灌溉系统将生态农业项目与荒漠化防治相结合，经济社会可持续发展与防沙治沙工作也同时实现充分结合。在综合应用的农耕措施、工程措施、科技措施下，照光伏扬水灌溉系统真正融入当地社会与经济发展、农民脱贫致富，产业发展与生态建设、生产方式改进与结构调整、经济效益与生态效益同时实现的结合也能够更直观展示系统的应用价值^[3]。

2 土地整治中光伏扬水灌溉系统的具体应用

2.1 研究区概况

以浙江省江山市山地丘陵区作为研究对象。自 2016 年开始，江山市开展垦造土地改造工作。据不完全统计，截至目前全市垦造耕地 351 处，面积 6 万多亩，覆盖 19 个乡镇街道。但垦造后土地因地处山岗丘陵，具有地势高、需水量大的特点。目前其主要存在三种灌溉方式，包括靠天吃饭、电力抽水、柴油机三相抽水。靠天吃饭的灌溉方式主要用于耐旱作物种植，但由于降雨量不均衡，作物产量往往较低。电力抽水通过电网供电提水，这种方式成本较高，线路架设及变压器安装需要一次性投入较大成本，且整个运行期的设备维护成本和电费成本较高。柴油机三相抽水可通过短期暂时能源满足灌溉需要，但需要耗费一定成本购入柴油机，同时存在柴油机维护折旧、柴油消耗等成本。因此，用水成本成为制约整治土地综合利用发展的瓶颈。新垦造的耕地因灌溉用水不足，一年只能种植 1 季早稻，每亩产量 300 斤，如果灌溉用水充足，每亩产量可以达到 700 斤以上。

下面以军源农业科技为例。2017 年军源农业科技与袁隆平团队合作。在江山市石门镇锯家岗村 380 亩垦造耕地上种植生产优质丹霞黑梗糯、丹霞香米等功能水稻，在坡改梯综合治理和提高粮食产量上获得很大成功。但是，该地块西高东低，西边 280 亩由峡口水库东干渠电力提水灌溉，东侧由东干渠自流灌溉。近三年军源农业科技每年花费电费 6 万多元。为满足农业科技创新需要，响应节能减排号召，军源农业科技如应用光伏扬水灌溉系统，安装太阳能光伏板 20 块，费用 12000 万元；逆变器 1 个，费用 230 元；太阳能水泵 1 个，费用 1000 元；蓄水池 1 处，费用 15000 元；管道等附属设施 21770 元；合计费用 5 万元。至第 5 年成本下降至 300%。

2.2 光伏扬水灌溉系统构成

图 1 为案例是江山市军源农业科技采用的光伏扬水灌溉系统结构图，图中的 1、9、10、7、11 分别为光伏智能处理组件、环境检测器、太阳能电池板、光伏吸收组件、反射镜，14、12、13、8、2 分别为固定件、立柱、支座、控制器、蓄电池，3、5、4、6 分别为逆变器、洒水装置、抽水泵、蓄电池。

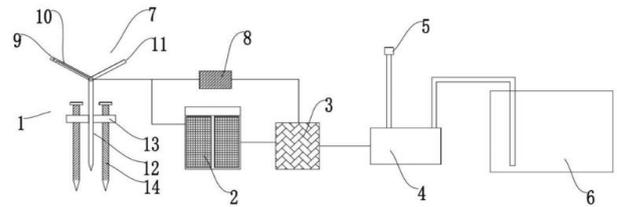


图 1 光伏扬水灌溉系统结构图

图 1 所示光伏扬水灌溉系统存在较为简单的结构和较高实用性，通过对反射镜和太阳能电池板间的角度进行智能调节，即可得到最大的太阳能吸收率。环境检测器由雨雪检测模块和光照检测模块组成，在系统中负责对雨雪情况和光照强度进行检测，如确定存在阴天状态的光照强度，洒水装置的喷洒量需要适当减少，反之则需要适当增加洒水装置的喷洒量。水泵转速调节以日照强度变化为依据，达到峰值的日照对应存在额定转速运行的水泵，日照较充足时存在处于最大功率点跟踪方式的调速运行，水泵在日照较低时低转速运行。如出现雨雪天气，环境检测器需要及时传递信息至系统，此时光伏扬水灌溉系统停止工作，这能够避免频繁变化的低速运行、满转、空转对系统正常运行及使用寿命造成危害；逆变器同样属于光伏扬水灌溉系统的核心工作部分，其能够在系统中将直流电向交流电转换，太阳能电池板能够在该组件的最大功率点跟踪功能支持下保持高效输出。

系统拥有变频启动功能、逆变功能、数字控制功能、最大功率点跟踪功能，在系统的变频启动功能支持下，可实现对驼峰电流现象的智能克服、尖峰电流的完全消除，逆变功能可满足三相交流电输出需要，数字控制功能可实现系统的无人值守、自动运行和保护，最大功率点跟踪功能可实现输出频率实时调节。抽水泵由三相交流电机驱动，可以从江河湖泊、深井等水源中提水并向储水设备注入，如蓄水池、水箱，也可以直接用以灌溉。

2.3 数据分析

2015 年，浙江省水利河口研究院把光伏提水灌溉模式作为在浙江省应用的研究课题，对光伏提水，电力提水和柴油提水作了成本对比。在此基础上，光伏扬水灌溉系统现已在军源农业科技得到良好应用，改善了原丘陵地区土地，对该光伏扬水灌溉系统土地整治数据进行整理，其扬程、输水距离分别为 101m、956m，出水量为 40m³/h，为提升光伏扬水灌溉系统综合效益，更好地整治丘陵土地，配套建设了 2000m³ 蓄水池，同时铺设输水管道、电缆分别 3776m、2166m，使光伏扬水灌溉系统的影响区域扩大至周边 1300 亩土地。相较于以往灌溉方式，光伏扬水灌溉系统以太阳能为驱动力，环保节能明显，并对当地丘陵土地进行改善优化，使土地情况更适宜种植农作物。在当地以往农业生产中，受限于丘陵土地条件而大规模种植低价值、低产、耐旱农作物，极大限制了当地农业发展，而

光伏扬水灌溉系统的应用改善了土地条件,经光伏扬水灌溉系统长期应用下,土地整治效果显著,现已能够种植高价值、高产农作物。

以光伏组件寿命对光伏扬水灌溉系统的使用寿命进行统一度量,按 155.5 万 m^3 总抽水量作为系统整个寿命周期的统一对比总条件,不考虑柴油运输费用,且假设水源地与高压线路间存在 1500m 直线距离,可确定存在表 1 所示的不同抽水系统成本及参数对比。

表 1 不同抽水系统成本及参数对比

提水系统	柴油机三相抽水系统	电力抽水系统	光伏扬水灌溉系统
功率/kW	5.5	5.5	8
购置成本/元	11525	31200	104600
运行成本/元	2514136	356370	50150
总抽水量/ m^3	1555000	1555000	1555000
总成本/元	2525661	387570	154750
单位成本/元	1.624	0.249	0.995

2.4 效益分析

江山市军源农业科技案例表明,光伏扬水灌溉系统的应用效益主要体现在三个方面:第一,经济效益。在案例区域的光伏扬水灌溉系统应用中,其经济效益源于当地粮食产量的增加,结合近年来各地开展的同类实践可以发现,光伏扬水灌溉系统在实际应用中存在产出高、投入高、风险低、投资回收快等优势,具备较高的经济可行性。系统的应用能够实现灌溉保证率的有效提升,在土地质量等级提高、土地整治方面的表现较为出色,同时可做到农业增产、农民增收,在改善农业条件、促进经济发展方面同样能够发挥积极作用;第二,社会效益。一个区域的灌溉保证率可通过光伏扬水灌溉系统显著提升,对于很多偏远地区来说,当地灌溉条件能够实现质的飞跃,自主有效灌溉可在系统

支持下取代以往的靠天吃饭局面,农民的生产积极性也能够同时提升。为最大化光伏扬水灌溉系统效用,需在推广系统的过程中做好培训工作,同时聚焦农业新品种引进,依托先进的管理和技术手段,提升农业生产科学性,更好实现对财力、人力、物力的节约,这种示范作用在农业生产条件改善、现代农业发展推动、农业发展后劲增强、区内耕地质量持续提升、农业稳定发展等方面均能够得到直观体现;第三,生态效益。在实现对能源节约的同时,光伏扬水灌溉系统在降低污染物质排放方面的表现也较为出色,如降低烟尘、灰渣、二氧化硫、二氧化碳的排放量,这对区域生态系统优化、生态环境改善能够带来积极影响,同样需要得到各界重视。

3 结论

综上所述,光伏扬水灌溉系统能够较好满足土地整治需要。如在江山市范围内的垦造耕地上进行进一步应用,土地整治的效果将得到极大提升;当然,为更好开展土地整治,还需要当地政府主导,譬如出台补助惠农政策,成立专项扶助资金,补贴加大、设备成本控制、维保工作人员配备等方面内容,从而使土地整治能够在低碳节能前提下完成,助力乡村振兴。

[参考文献]

- [1]高林朝,谢毅,郝庆英.光伏发电扬水蓄能监测系统试验研究[J].河南科学,2020,38(8):1215-1221.
- [2]徐政,李旭,陈锐坚.基于单相感应电泵的光伏扬水系统开发[J].太阳能学报,2018,39(2):529-535.
- 作者简介:陈丽月(1974.9—),女,毕业院校:西南交通大学,专业:土木工程专业,当前就职单位:江山市峡口水库管理中心,职位:渠道管理科科长,职称级别:高级工程师。

腾格里沙漠南缘沙生芦苇无性系种群数量动态研究

马廷甲

新疆双河勘测设计有限公司, 新疆 博乐 833400

[摘要] 芦苇具有极高的营养生殖能力, 其自然族群主要通过根茎进行繁殖更新, 是典型的非有性繁殖的植物, 其生态范围非常广泛。通过对腾格里沙漠南缘—红崖山水库附近, 固定沙丘、半固定沙丘、平地 3 个生境的沙生芦苇种群动态进行实地调查研究, 编制静态生命表, 进行存活曲线、生存分析和动态指数的讨论。不同生境的沙生芦苇种群数量动态均呈增长型, 平地的种群动态有趋于稳定的趋势。腾格里沙漠南缘沙生芦苇无性系种群整体应以保护为主, 才能促进群落持续发育, 发挥更好的防风固沙效益。

[关键词] 沙生芦苇; 种群; 数量动态; 生命表; 生存分析

DOI: 10.33142/nsr.v1i1.12917

中图分类号: S718.5

文献标识码: A

Study on the Quantitative Dynamics of the Clonal Population of *Phragmites Communis* in the Southern Edge of Tengger Desert

MA Tingjia

Xinjiang Shuanghe Survey and Design Co., Ltd., Bole, Xinjiang, 833400, China

Abstract: Reed has extremely high nutritional and reproductive abilities, and its natural population mainly reproduces and updates through roots and stems. It is a typical non sexually reproducing plant with a very wide ecological range. The population dynamics of *Phragmites australis* in three habitats of fixed dunes, semi fixed dunes and flat land near the Hongyashan Reservoir in the southern edge of Tengger Desert were investigated on the spot, and the static life table was compiled, and the survival curve, survival analysis and dynamic index were discussed. The population dynamics of sand reed in different habitats show an increasing trend, while the population dynamics on flat land tend to stabilize. The clonal population of *Phragmites communis* in the southern margin of Tengger Desert should be mainly protected in order to promote the sustainable development of the community and play a better role in wind prevention and sand fixation.

Keywords: sand reed; population; quantity dynamics; life table; survival analysis

引言

芦苇(学名: *Phragmites communis* Trin) 是一类禾本科的根茎植物, 它具备强劲的繁衍力, 并能通过根茎更新自身, 属于典型的无性繁殖植物。这种植物在经济和环保方面都具有显著的价值, 不仅是高级的饲草, 而且可用于药品制造和造纸产业。同时, 它的根系能够滤除有害物质、保水、防止堤防冲蚀和改善土壤等^[1]。在沙漠地带, 芦苇借助其强壮的地下根茎和根系, 能够固定沙土并增强土壤通气性^[2]。虽然过去的研究主要关注湿地环境中的芦苇形态和生理特性, 但对沙漠环境的芦苇研究却相对稀缺。因此, 我们选择了在沙漠生态环境下生活的芦苇作为研究对象, 探讨了其在不同沙质环境下的种群数量变化, 以便深入理解它在各类沙漠环境下的适应机制。

种群动态是描述在一定环境下的所有生物种群, 随着时间的推移都会展现出个体数量的增减和分布的变化, 这是生物种群独特的生命表现。种群动态涵盖了种群的数量密度、年龄组成、生命期、种群的扩展以及自然种群数量变化等诸多方面。

实际上, 植物种群数量的变动, 是环境因素与植物个

体的生存能力相互作用的结果。探究在各种环境条件下的植物种群的年龄结构、生命期、生存和死亡曲线, 能够反映植物种群的当前状况, 同时揭示出种群与环境互动对抗的关系^[3], 这对于预测群落未来发展趋势至关重要^[4-5]。自从 J. L. 自从 1977 年 Harper 深入提出了生物构件理论^[6]以来, 植物生态学中的无性系植物群研究一直是热点话题^[7]。然而, 对于“无性系种群”这个词, 目前的理解会随研究对象的不同而有所差别。我们的研究围绕沙生芦苇利用无性繁殖方法增加其种群数量这一特性, 对不同沙生环境下芦苇种群数量变化进行了深入探讨, 目标是深入理解芦苇如何应对各种沙生环境, 从而为芦苇生长策略以及有益的植物资源利用提供理论基础。

1 研究区概况

在甘肃的西北部, 河西走廊的东北一隅, 以及石羊河下游所覆盖的区域, 有一个名为民勤县的地方, 其坐落在东经 101° 49' 41" ~ 104° 12' 10"、北纬 38° 3' 45" ~ 39° 27' 37" 的位置上。围绕它的三面, 东、西、北, 都是被腾格里和巴丹吉林两大沙漠所包围。

纬距约 156km, 经长约 206km 的民勤县面积大致在 1.59 万 km² 左右。海拔从最低的 1298m 到最高的 1936m, 平均大约在 1400m 左右。其地形主要以沙漠、低矮的山丘和平原为主。四周地势较高, 多为侵蚀留下的残丘, 流动和半流动的大沙丘, 以及戈壁。然而中心偏北的部分, 是一块像浅锅底一般的农业绿洲。本地防风固沙工作对保持绿洲农业的持续发展起着关键性的作用。因其三面被沙漠包围, 气候呈现着典型的温带大陆性干旱气候特征, 如: 冬季寒冷、夏季炎热、降雨稀少、日照时间长、昼夜温差大等。年平均湿度仅为 5.5, 年平均风速达 2.45 m/s, 降雨量仅有 110mm, 而蒸发量却高达 2644mm, 日夜温差能达到 25.2℃, 年平均气温仅有 7.8℃, 日照时间 3073.5 小时, 无霜期 162 天。

以腾格里沙漠南缘—红崖山水库周围固定沙丘、半固定沙丘与平地为研究区域。

在固定沙丘区域, 植物的生长情况良好, 主要的植物品种有白刺 (*Nitraria tangutorum*)、沙生芦苇、沙蒿 (*Artemisia desteriorum* Spreng)、苦豆子 (*Sophora alopecuroides* L)、沙拐枣 (*Calligonum mongolicum* L)、刺蓬 (*Cornulaca alaschanica ordosica*) 和五星蒿 (*Echinopsilon divaricatum* Kar. et Kir) 等。这些植被的覆盖率大概有 20%, 结皮厚度约在 4~5cm, 干沙部分的厚度则大约是 10~30cm。

在半固定沙丘区域, 常见的植被主要包括白刺、沙蒿、沙生芦苇和五星蒿等, 偶尔也可以看到花棒 (*Hedysarum scoparium*)。这些植物通常因为被沙土覆盖而呈现丛生的分布, 尤其是白刺沙包的生长发育良好。大约有 5%~15% 的地方被这些植被覆盖, 土壤结皮的厚度大概在 1~3cm, 而干燥的沙层厚度约为 10~20cm。

在平地区域, 主要植物有白刺、沙蒿、沙拐枣、苦豆子、沙米 (*Agriophyllum squarrosum* (Linn.) Moq.)、沙枣 (*Elaeagnus angustifolia* Linn.)、柽柳 (*Tamarix chinensis* Lour.) 等。植被盖度在三类区域中最大, 约为 50%~60%, 结皮厚度约为 10cm, 存在一些已经枯死在地表的沙蒿。

2 研究方法

2.1 样地设置

我们将半固定沙丘、固定沙丘与平地视为典型样本地进行研究, 采取随机抽样的方式进行实验。在这三种样本地上, 各自选择三个 10m×10m 的大样本区, 并在每一个大样本区内, 进一步选出三个 1m×1m 的小样本区。

2.2 调查方法

分别记录各个样地每一基株内所有芦苇的年龄、基径和高度, 测定各级植株的冠幅以及与母株间的距离。标记芦苇无性系母株年龄级记为最大, 其他分株以母株为参考, 记录无性系各龄级的分株个数、基径大小等指标。

2.3 数据处理

2.3.1 龄级划分

依据分蘖株距母株的距离来划分龄级。母株与相邻分蘖株的年龄间隔为一年, 距离母株最远的分蘖株为 1 龄植株, 以此类推。

2.3.2 生命表的编制

以种群各年龄数据为基础来编制沙生芦苇种群的静态生命表。静态生命表一般包含如下栏目:

x —单位时间内年龄等级的中值;

Δx —年龄宽带 (单位: a);

n_x —在 x 年龄级内出现的个体数;

l_x —存活率, 即 x 年龄期开始时的存活率, $l_x = n_x / n_0$;

d_x —从 x 到 $x+1$ 年龄级间隔期内死亡数, $d_x = l_x - l_{x+1}$;

q_x —从 x 到 $x+1$ 年龄级间隔期个体死亡率, $q_x = d_x / l_x$;

L_x —从 x 到 $x+1$ 年龄级间隔期平均存活个体数, $L_x = (l_x + l_{x+1}) / 2$;

T_x —从 x 年龄级到超过 x 年龄级的个体总数, 即 $T_x = \sum L_x$;

e_x —进入 x 年龄级个体的生命期望, $e_x = T_x / l_x$;

K_x —致死力或消失率, 从 x 到 $x+1$ 期受到的阻力, $K_x = \ln(l_x) - \ln(l_{x+1})$ 。

2.3.3 生存函数分析

为了更好地分析沙生芦苇种群的结构形式, 阐明其生存规律, 引入生存分析中的 4 个函数项目于种群分析中, 即生存率函数 $S(t)$ 、积累死亡率函数 $F(t)$ 、死亡密度函数 $f(t)$ 、危险率函数 $\lambda(t)$ 。在生命表中这 4 个函数常用下列公式估算:

生存率函数: $S(t) = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdots P_t$ (P_i 为存活率)

累计死亡率函数: $F(t) = 1 - S(t)$

死亡密度函数: $f(t) = \frac{S(t) - S(t-1)}{h(t)}$ ($h(t)$ 龄级宽度)

危险率函数: $\lambda(t) = \frac{2(1 - S(t))}{h(t) \cdot (1 + S(t))}$

2.3.4 种群年龄结构的数量变化动态指数 (V_{pi})

龄级间动态指数: $V_n = \frac{S_n - S_{n+1}}{\text{Max}(S_n, S_{n+1})}$ (S_n 为第 n 龄级种群个体数)

种群动态指数: $V_{pi} = \frac{1}{K-1} \cdot \sum_{n=1}^{K-1} (S_n \cdot V_n)$ (K 为龄级数)

龄级数修正动态指数: $V_{pi-K} = \frac{\sum_{n=1}^{K-1} (S_n \cdot V_n)}{K \cdot \text{Min}(S_1, S_2, S_3, \dots, S_K) \cdot \sum_{n=1}^{K-1} S_n}$

非完全随机干扰修正动态指数:

$$V_{pi-P} = \text{Max} \left(\frac{P_1}{S_2}, \frac{P_2}{S_2}, \frac{P_3}{S_3}, \dots, \frac{P_K}{S_K} \right) \cdot \frac{\sum_{n=1}^{K-1} (S_n \cdot V_n)}{\sum_{n=1}^{K-1} S_n}$$

$$(P_n = \frac{d_n}{\sum_{n=1}^K d_n}, d_n \text{ 为各龄级的死亡率})$$

4 结果与分析

4.1 不同生境沙生芦苇种群特征

表 1 为 3 个不同生境的沙生芦苇种群形态特征。可以看出,不同生境沙生芦苇种群在个体形态、株高等方面存在明显差异。

比较不同生境沙生芦苇种群的冠幅、株高、株距、基径以及密度。半固定沙丘、固定沙丘和平地冠幅和株距差异显著,并且由半固定到固定,再到平地依次增大,这可能主要由于半固定沙丘水分条件差所致;株高和基径则是平地最大,固定沙丘最小,这可能是由于平地对沙生芦苇种群的适合度相对较大,个体生长较佳;半固定沙丘的种

密度相较其他两个生境都大,这可能主要由于该生境不宜芦苇空间扩张。

4.2 沙生芦苇种群生命表

种群的静态生命表可以反映出其生长生境种群动态变化。生命表是研究种群数量动态变化和进行种群统计的重要工具,通过对种群生命表的编制和分析可描述特定年龄出生率、死亡率和损失率等重要参数,从而可为种群数量统计提供更多信息^[8]。由沙生芦苇静态生命表可看出,不同生境的芦苇,其存活率,死亡率各不相同,处在半固定沙丘的沙生芦苇,生存条件比较的恶劣,土壤水分比较少,使得这种生境下的沙生芦苇对水分竞争加剧,存活率最高 0.357,各年龄级的存活率相差很大,存活率小于死亡率,但是,在 4 龄级之后的死亡率为 0。相对于半固定沙丘生境,固定沙丘沙生芦苇的存活率和死亡率,各龄级

表 1 不同生境沙生芦苇种群特征

生境类型	冠幅 ($\times 10^3 \text{cm}^2$)	株高 (cm)	基径 (cm)	株距 (cm)	种密度 (株. m^2)
半固定沙丘	0.946 \pm 0.032	112 \pm 2.7	0.375 \pm 0.011	10.22 \pm 1.50	0.071 \pm 0.004
固定沙丘	0.955 \pm 0.013	83.5 \pm 3.3	0.267 \pm 0.007	15.75 \pm 0.83	0.032 \pm 0.004
平地	1.103 \pm 0.004	150.3 \pm 1.5	0.404 \pm 0.016	16.25 \pm 1.02	0.055 \pm 0.001

表 2 民勤不同生境沙生芦苇种群静态生命表

生境类型	年龄 (a) x	存活数 n_x	存活率 l_x	死亡数 d_x	死亡率 q_x	L_x	T_x	生命期望 e_x	消失率 K_x
	0	80	1.000	60	0.750	50	120	1.50	1.39
	1	20	0.250	2	0.100	19	70	3.50	-6.82
	2	18	0.225	4	0.222	16	51	2.83	7.16
	3	14	0.175	1	0.071	13.5	35	2.50	0.07
固定沙丘	4	13	0.163	4	0.308	11	21.5	1.65	0.37
	5	9	0.113	5	0.556	6.5	10.5	1.17	0.82
	6	4	0.050	2	0.500	3	4	1.00	0.69
	7	2	0.025	2	1.000	1	1	0.50	—
	8	0	0	—	—	0	0	—	—
	0	42	1.000	27	0.643	28.5	63	1.50	1.03
	1	15	0.357	5	0.333	12.5	34.5	2.30	0.41
	2	10	0.238	5	0.500	7.5	22	2.20	0.69
半固定沙丘	3	5	0.119	1	0.200	4.5	14.5	2.90	0.23
	4	4	0.095	0	0	4	10	2.50	0.00
	5	4	0.095	0	0	4	6	1.50	0.00
	6	4	0.095	0	0	2	2	0.50	—
	7	0	0	—	—	0	0	—	—
	0	55	1.000	32	0.582	39	83.5	1.52	0.87
	1	23	0.418	4	0.174	21	44.5	1.93	0.19
平地	2	19	0.345	6	0.316	16	23.5	1.24	0.38
	3	13	0.236	13	1.000	7.5	7.5	0.58	—
	4	0	0	—	—	0	0	—	—

变化幅度不大,比较稳定,存活率最高 0.250,为 1 龄级的分株,存活率和死亡率基本持平。对于平地的芦苇,和半固定沙丘、固定沙丘相比,生存条件得到改善,没有流沙沙埋对幼株的危害,存活率要好于前两种生境,高的存活率使得死亡率很小,各级变化稳定。生命期望 (e_x) 反映的是年龄级内个体的平均生存能力^[9]。种群在 1~3 年龄级生命期望值大,表明此年龄阶段沙生芦苇的生存质量较好,生理活动达到旺盛期。随着年龄级的增加,生命期望值减小,反映出此阶段种群生存力有所下降。

4.3 沙生芦苇种群生存函数分析

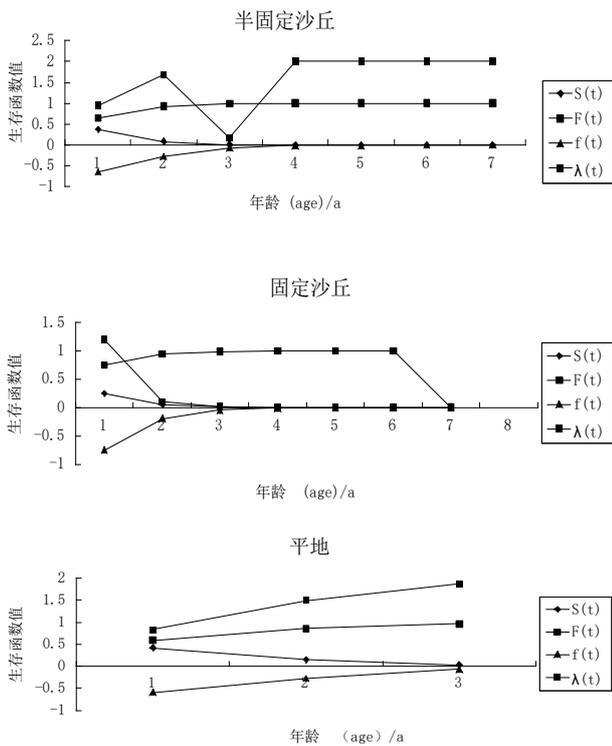


图 1 民勤不同生境沙生芦苇种群生存分析曲线

图 1 为我们详细揭示了沙生芦苇类植群的生存曲线、死亡密度曲线、累计死亡率曲线以及危险率曲线。这些图表准确地反映了腾格里沙漠南部的沙生芦苇类植群的动态变化。生存率与危险率曲线的波动性较大,半固定沙丘和平地的危险率、死亡率变化趋势相似。无一例外,累计死亡率一直在增长,而生存率确实是在下滑,尽管增长或降低的幅度在平地更为显著。在固定沙丘的种群中,累计死亡率先行上升后又突然下降。总体来看,上述四个函数曲线揭示了沙生芦苇类植群的动态特征,即初期衰退、中

期波动不定、晚期增长。主要原因是前期严重的风蚀改变了原来的生存环境,一方面使沙生芦苇根系裸露受旱致死,另一方面,风蚀增大了水分蒸发,出现水分胁迫现象致使沙生芦苇受旱致死。中期,随着周边环境的改善,沙生芦苇种群对各个生境的适应能力增强,种内斗争激烈,半固定和固定沙丘表现得最为突出,此时的种群数量变化不稳定。后期,经过长期的适应和选择,各生境的沙生芦苇种群能够自然更新,种群相对稳定。

4.4 沙生芦苇种群动态指数 (V_{pi}) 分析

以种群动态的名义来研究其数量或规模如何跟随时间和空间的变动而发生改变。通过使用静态生命表的方法,我们可以获取到乔木或灌木种群的年龄结构数据(或者相对的年龄等级和大小等级),并且这些数据可以生成四种类型的种群年龄结构图,分别是金字塔形、逆金字塔形、近柱型和不规则型。无论哪种类型的种群结构图,我们都能以 n 年到 $n+1$ 年的年龄等级(大小等级)为基础来分析种群内相邻两级的个体数量的变化情况。依据种群动态量化方法对腾格里沙漠南缘的沙生芦苇种群相邻级间个体数量变化动态进行分析(表 3),不同生境沙生芦苇种群各龄级间的动态指数相差不大,并且各生境均大于 0。这可能是由于当地的立地条件适合沙生芦苇的生长,水分也能得到较好的补充。

腾格里沙漠南缘不同生境沙生芦苇种群动态指数表现为半固定沙丘>固定沙丘>平地,三者均大于 0,表明种群趋于增长型。考虑龄级制约,也表现出相同的结果。考虑未来的环境因素对种群的影响,半固定沙丘、固定沙丘,以及平地沙生芦苇种群的龄级间动态指数分别为 0.006、0.003 和 0.003,均超过 0。这说明这三种环境对该种群来说相对较稳定。这也与上述对沙生芦苇的龄级结构分析的结果相吻合。

5 结论与讨论

在腾格里沙漠的南部边缘,广大的沙生芦苇群落得以生存,它们在稳定沙丘的过程中扮演着无法被其他方法取代的角色,因此为南部的农业生产创造了良好的生产条件。该区域半固定沙丘、固定沙丘以及平地三个生境生长的沙生芦苇种群数量动态差异不是太大。由于其周边环境的改善,减少了风蚀沙割对沙生芦苇种群的破坏,加之红崖山水库的存在,为沙生芦苇种群的存在及扩张提供了水分供给保障。通过生存函数分析可知,三种生境的沙生芦苇在种群在数量上均呈增长型,其中,平地的比较稳定。通过种群动态指数 (V_{pi}) 分析的结果与生存函数分析的结果一致。

表 3 民勤不同生境沙生芦苇种群动态指数

生境类型	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_{pi}	$P_{pi,K}$	$V_{pi,P}$
半固定沙丘	0.333	0.500	0.200	0.00	0.00	—	0.262	0.009	0.006
固定沙丘	0.100	0.222	0.071	0.308	0.556	0.500	0.225	0.016	0.003
平地	0.174	0.316	—	—	—	—	0.182	0.002	0.003

基于上述研究结果,可以预测研究区域沙生芦苇种群未来的变化趋势,考虑到环境因素的干扰,未来半固定沙丘和固定沙丘沙生芦苇种群的动态数量是增长的,而平地沙生芦苇种群的动态数量是稳定的。对于该区应当给予适当的人工干扰,才能更加稳定地发挥沙生芦苇种群的固沙作用。例如,在半固定沙丘周边设置沙障或栽植沙枣、柽柳等乔木,以减少风蚀对沙生芦苇种群的破坏;在平地不定期地引进一些红崖山水库的水,以减小其水分胁迫,进而减少种间、种内斗争。

[参考文献]

[1]杨允菲,郎惠卿.不同生态条件下芦苇无性系种群调节分析[J].草业学报,1998,7(2):1-6.
 [2]杨允菲,李建东.松嫩平原不同生境芦苇种群分株的生物量分配与生长分析[J].应用生态学报,2003,14(1):30-34.
 [3]张文辉.裂叶沙参种群生态学研究[M].哈尔滨:东北林业大学出版社,1998.
 [4]LI G Q(李跟前),HUANG B L(黄宝龙),TANG D R(唐德

瑞),ZHAO Y Q(赵一庆),WANG D H(王迪海).Age structure dynamics and genetic consequences of *Hippophae rhamnoides* L. ssp *sinensis* clone population in Mu Su sandland[J].Chinese Journal of Applied Ecology(应用生态学报),2001,12(3):347-350.

[5]徐文泽,邹春静.中国陆地生态系统[M].北京:中国林业出版社,1998.

[6]Harper J. L. :Population Biology of Plant[J]. Academic press, London and New York,1977(1):1-12.

[7]钟章成.我国植物种群生态学研究的成就与展望[J].生态学杂志,1992,11(1):4-8.

[8]闫桂琴,赵桂仿,胡正海,等.秦岭太白红杉种群结构与动态的研究[J].应用生态学报,2001,12(6):824-828.

[9]熊能,金则新,顾婧婧,等.千岛湖次生林优势种群结构与分布格局[J].生态学杂志,2010,29(5):847-857.

作者简介:马廷甲(1990.3—),男,学历:本科,所学专业:水土保持与荒漠化防治,职称:工程师,目前工作单位:新疆双河勘测设计有限公司。

完全混合式 MBR 反应器处理猪场沼液试验研究

杨莉¹ 仲立文² 卫丹^{2*} 殷鸿洋³ 孙昭³

1. 常州苏测环境检测有限公司, 江苏 常州 213164
2. 常州大学环境科学与工程学院, 江苏 常州 213164
3. 常州科清环保科技有限公司, 江苏 常州 213164

[摘要]近年来,我国规模化养猪场得到了迅速的发展,同时产生的养猪废水也给生态环境带来了极大的压力。文章以浙江某地区规模化养猪场沼液为研究对象,研究利用 MBR 处理猪场沼液对污染物的处理效果。主要结论如下:长期稳定运行特性研究:长期运行条件下,MBR 处理猪场沼液时受 COD 容积负荷限制不大,受氨氮容积负荷影响较大。COD 容积负荷在 $0.16\sim 3.07\text{kg}\cdot\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ 之间,去除率为 70%~95%,出水 COD 浓度在 $237\sim 651\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间,不能够稳定达到《畜禽养殖业污染物排放标准》中小于 $400\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的标准,这部分主要是沼液中的难降解有机物,单纯依靠生物处理达标难度较大。氨氮容积负荷不高于 $0.60\pm 15\%\text{kg}\cdot\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ 时,出水氨氮浓度能够稳定达到《畜禽养殖业污染物排放标准》的排放标准 ($\leq 80\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$),去除率可以稳定达到了 96% 以上。但是,长期运行条件下发生亚硝态氮积累的情况应该引起重视。MBR 出水 TOC 主要分布在 < 1 k 区间内,占总 TOC 的 94.3%,C30 以下直链烷烃占到了 50% 以上。

[关键词]猪场沼液; COD; MBR

DOI: 10.33142/nsr.v1i1.12916

中图分类号: X713

文献标识码: A

Experimental Study on the Treatment of Pig Farm Biogas Slurry Using a Fully Mixed MBR Reactor

YANG Li¹, ZHONG Liwen², WEI Dan^{2*}, YIN Hongyang³, SUN Zhao³

1. Changzhou Suce Environmental Testing Co., Ltd., Changzhou, Jiangsu, 213164, China
2. School of Environmental Science and Engineering, Changzhou University, Changzhou, Jiangsu, 213164, China
3. Changzhou Keqing Environmental Protection Technology Co., Ltd., Changzhou, Jiangsu, 213164, China

Abstract: In recent years, large-scale pig farms in China have experienced rapid development, and the generated pig wastewater has also brought great pressure to the ecological environment. This article takes the biogas slurry from large-scale pig farms in a City of Zhejiang as the research object, and studies the treatment effect of using MBR to treat pollutants in pig manure. The main conclusions are as follows: research on long-term stable operation characteristics: under long-term operation conditions, MBR treatment of pig manure is not limited by COD volume load, but is greatly affected by ammonia nitrogen volume load. The COD volumetric load ranges from $0.16\sim 3.07\text{kg}\cdot\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$, with a removal rate of 70%~95%. The effluent COD concentration ranges from 237 to 651 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, which cannot stably meet the standard of less than 400 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ in the Livestock and Poultry Pollutant Discharge Standard. This part is mainly composed of recalcitrant organic compounds in the biogas slurry, which is difficult to achieve solely through biological treatment. When the volumetric load of ammonia nitrogen is not higher than $0.60\pm 15\%\text{kg}\cdot\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$, the ammonia nitrogen concentration in the effluent can stably reach the emission standard of the Livestock and Poultry Pollutant Emission Standard ($\leq 80\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), and the removal rate can stably reach over 96%. However, the accumulation of nitrite nitrogen under long-term operating conditions should be taken seriously. The TOC of MBR effluent is mainly distributed within the range below 1 k, accounting for 94.3% of the total TOC, and straight chain alkanes below C30 account for more than 50%.

Keywords: PIG farm biogas slurry; COD; MBR

1 试验装置与方法

1.1 试验装置及流程图

完全混合式 MBR 反应器处理猪场沼液试验装置流程图如图 1 所示,图 2 为装置的现场试验图。反应器长*宽*高为 $85\text{cm}\cdot 15\text{cm}\cdot 100\text{cm}$,有效容积 95L。内置 PVDF 平板膜(江苏大孚膜科技有限公司),有效膜面积为 0.1m^2 ,平均膜孔径 $0.1\mu\text{m}$ 。连续进出水,定时对膜进行清洗以保持

恒定膜通量。反应器内加热棒使水温保持在 $20\sim 25^\circ\text{C}$ 之间。 $\text{DO}\geq 5\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,pH 保持在 $8\sim 9$ 之间,接种污泥取自某联合污水处理厂,启动接种浓度 $\text{MLSS}=2624\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, $\text{MLVSS}=1868\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,试验过程中未进行剩余污泥排放,试验共运行 46 天。通过逐步缩短 HRT、增大负荷的方式完成试验启动,HRT 从 12.7d 缩短至 9.5d、6.3d、4.8d、3.8d,并最终缩短至 3.2d。

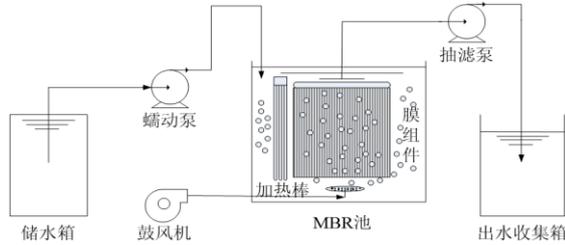


图1 MBR反应器处理猪场沼液装置流程图



图2 MBR反应器处理猪场沼液现场试验图

1.2 反应器主要设备

试验装置主要设备见表1。

表1 反应器设备表

设备	型号	规格	生产厂家
蠕动泵	BT300-1J	0.07~1140mL·min ⁻¹	保定兰格恒流泵有限公司
抽滤泵	BT300-2J	1.7~870mL·min ⁻¹	保定兰格恒流泵有限公司
鼓风机	ACO-012	150L·min ⁻¹	浙江森森实业有限公司
加热棒	H-935	17~35℃	中山超信电器有限公司

1.3 试验水质

2023.4—2023.10 期间不定期采集某规模化猪场沼液，每次采集 1t，静置沉淀后室温（10~15℃）储存作为 MBR 试验原水，原水水质见表2。

表2 试验用水水质

项目	TCOD	SCOD	TN	NH4 ⁺ -N	TP	pH
数值	1034~ 8740	905~ 8056	1206~ 1698	7653~ 1536	32.9~ 117	7.52~ 7.99

(注：除 pH 外，其余项目单位均为 mg·L⁻¹。)

1.4 检测项目及方法

试验过程中主要检测项目及方法见表3所示。

表3 试验检测项目及方法

分析项目	方法	主要仪器
COD	重铬酸钾法	JHA-100 标准 COD 消解器
氨氮	纳氏试剂比色法	岛津 UV-2450 紫外可见分光光度计
TOC	仪器法	岛津 TOC-VCS 总有机碳分析仪
pH 值	仪器法	6173 型微电脑酸度/氧化还原/温度台式测定仪
溶解氧	仪器法	YSI D0200 型便携式溶解氧仪
MLSS、VSS	减重法	DGG-9053A 型电热恒温鼓风干燥箱
分子量	滤膜法	MSC300 杯式超滤器

2 长期运行条件下 MBR 对沼液污染物的去除效果

2.1 COD 负荷和 COD 去除效果

COD 去除效果及负荷如图3~4所示。1~31天 COD 容积负荷主要集中在 0.16~0.59kg·m⁻³·d⁻¹ 之间，容积负荷较低，出水 COD 浓度在 237~648mg·L⁻¹ 之间。32~61天进水 COD 浓度急剧升高，达到了 7000mg·L⁻¹ 以上，主要原因是这段时间采集沼液的猪场正在进行改造，采集沼液有一定困难，MBR 进水为之前的剩余沼液（2013年1月6日采集）。此阶段 COD 容积负荷在 1.55~3.07kg·m⁻³·d⁻¹ 之间，容积负荷最高为普通活性污泥法（0.4~0.8kg·m⁻³·d⁻¹）的 3.8 倍，试验装置开始稳定运行，COD 去除率稳定在 91% 以上，出水 COD 浓度在 368~651mg·L⁻¹ 之间。62~85天 MBR 进水为剩余沼液中添加新采集的沼液，COD 容积负荷较前一阶段有所下降，在 0.74~1.40kg·m⁻³·d⁻¹ 之间，出水 COD 浓度在 284~588mg·L⁻¹ 之间。86~115天进水 COD 浓度较前面有所降低，在 1393~1841mg·L⁻¹ 之间，因为这批沼液水样采集于 2013年7月，此时正值夏季，此阶段 COD 容积负荷主要集中在 0.50~0.63kg·m⁻³·d⁻¹ 之间，污泥负荷维持在 0.03~0.05kg-COD·kg⁻¹-MLSS·d⁻¹ 之间，远远低于普通活性污泥法。但是出水 COD 浓度并没有发生太大变化，在 376~588mg·L⁻¹ 之间，去除率有所下降，只有 70% 左右。

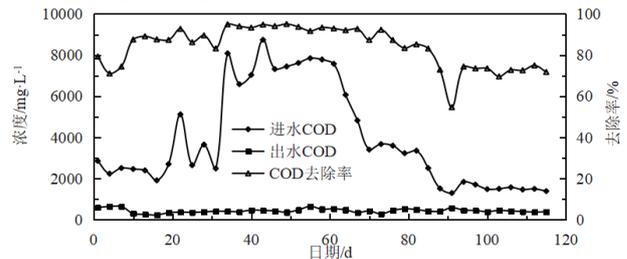


图3 MBR对COD的去除效果

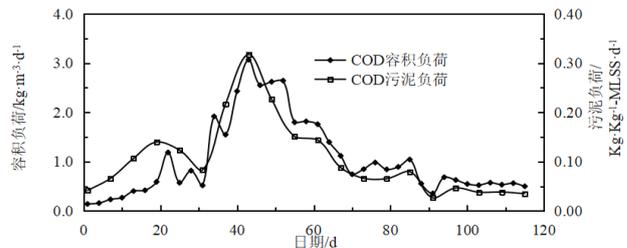


图4 COD容积负荷和污泥负荷

整体上 COD 去除率在 70~95% 之间，要高于传统好氧生物处理方法时 COD 去除率（75~80%），但是出水 COD 浓度依然很高，在 237~651mg·L⁻¹ 之间，不能稳定达到《畜禽养殖业水污染物排放标准》中要求出水 COD 浓度小于 400mg·L⁻¹ 的标准。特别是在 86 天以后，在进水 COD 浓度低、COD 容积负荷与普通活性污泥法接近、污泥负荷远远低于普通活性污泥法时，出水 COD 浓度依然在 350mg·L⁻¹ 以上。说明猪场沼液单纯依靠生物处理达标准

度较大,主要是因为沼液中存在难降解有机物,该部分有机物需通过投加高效降解菌或增加深度处理工艺方可有望达标。

115天以后 MBR 出水 COD 浓度一直大于进水 COD 浓度,且二者的差值越来越大,140~142 天有所降低是因为稀释作用,期间反应器进行了排泥,然后添加自来水保持体积不变。此阶段进水 COD 浓度在 $1034\sim 1427\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间,负荷也没有发生变化,但是出水浓度达到了 $4000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以上。考虑 COD 的测试方法会受到亚硝态氮的影响,理论上 $1\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 亚硝态氮将产生 $1.141\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\text{COD}$,所以 127 天开始对出水亚硝态氮进行了跟踪检测,发现反应器中发生了亚硝态氮积累的情况(图 5),并且亚硝态氮的变化趋势与出水 COD 基本一致,正是由于测试中重铬酸钾溶液具有强氧化性,导致了出水 COD 浓度检测值变高。但是长期运行条件下 MBR 处理猪场沼液过程中会发生亚硝态氮积累的情况应该引起重视。

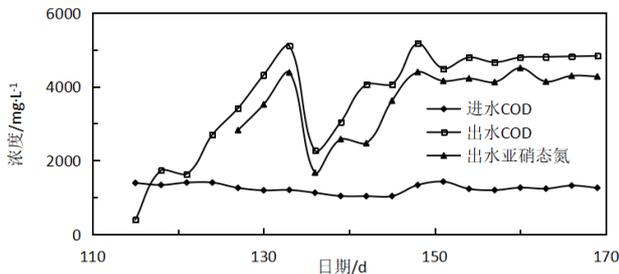


图 5 115~169 d 进出水 COD 浓度变化情况

2.2 氨氮负荷和氨氮去除效果

氨氮负荷是影响沼液处理效果的最重要因素。氨氮负荷过高时,不仅会影响系统的硝化效率,还会在反应器内积累高浓度的氨氮,对微生物产生毒性,从而抑制微生物对其他污染物的降解活性。长期运行条件下氨氮去除效果与氨氮负荷变化情况如图 6~7 所示。

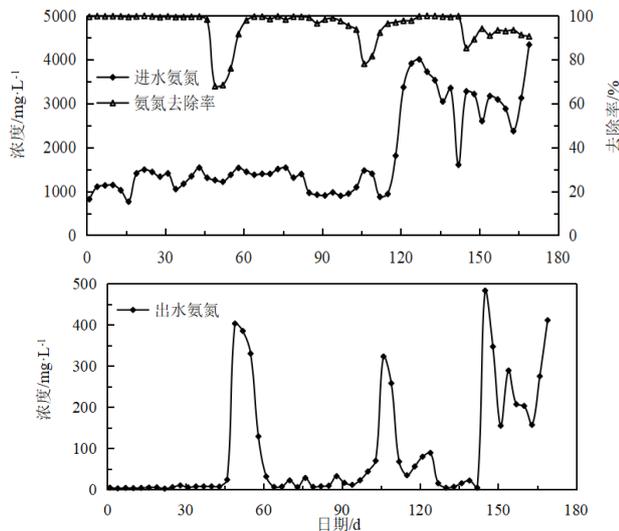


图 6 MBR 对氨氮的去除效果

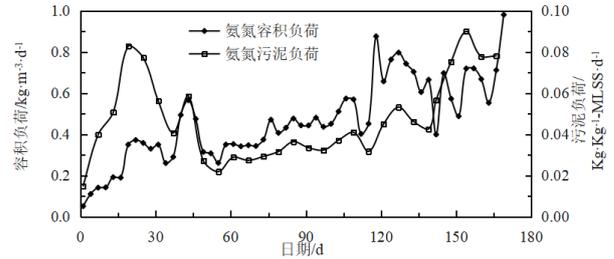


图 7 氨氮容积负荷和污泥负荷

1~16 天氨氮容积负荷集中在 $0.11\sim 0.19\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ 之间,此阶段为试验开始阶段,容积负荷较低,出水氨氮浓度在 $5.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下。17~73 天进水氨氮容积负荷集中在 $0.31\sim 0.37\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ 之间,进水氨氮浓度在 $1049\sim 1536\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间,出水浓度主要在 $2.28\sim 23.9\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间,去除率达到了 98% 以上。第 49 天出水氨氮浓度急剧升高,达到了 $403\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,原因可能是在这之前氨氮容积负荷提高过大 ($0.47\sim 0.57\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$),活性污泥还不能适应,整体处理能力有限。74~115 天氨氮容积负荷进一步提高,集中在 $0.43\sim 0.51\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ 之间,出水氨氮浓度集中在 $6.59\sim 69.8\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间,较前一阶段出水氨氮浓度有所升高。106 天时氨氮容积负荷提高到 $0.57\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$,导致出水氨氮浓度升高,达到了 $323\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,随后将氨氮容积负荷重新调整到 $0.50\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ 以下,出水氨氮浓度降低。为进一步考察 MBR 对氨氮容积负荷的耐受性,随后的 MBR 进水中人工添加硫酸铵和碳酸氢钠,提高进水氨氮浓度。116~139 天氨氮容积负荷在 $0.61\sim 0.88\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ 之间,出水氨氮浓度在 $4.43\sim 89.2\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间,去除率仍然达到了 96% 以上。表明活性污泥经过之前的高氨氮负荷驯化后,硝化能力有所提高,抗氨氮冲击负荷能力增强。140 天排泥 40L 后,出水氨氮浓度开始升高,在 $155\sim 483\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间。

由上述结果可知,在氨氮容积负荷不高于 $0.60\pm 15\%\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ 时,MBR 处理猪场沼液的出水氨氮浓度能够稳定达到《畜禽养殖业污染物排放标准》的排放标准 ($\leq 80\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$),与普通活性污泥法的氨氮容积负荷相比 ($0.1\sim 0.15\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$),本研究得到的 MBR 可耐受氨氮容积负荷比普通活性污泥法提高了 2 倍以上。

3 进出水分子量分布及 GC-MS 分析

3.1 进出水分子量分布

3.1.1 实验方法与仪器

本实验采用超滤膜法进行 TOC 分子量分布的测定。超滤膜采用的是上海摩速科学器材有限公司生产的 SARTORIUS 膜系列,膜材质为聚醚砜树脂 (PES)。实验膜用去离子水浸泡漂洗三次(光滑面向下),每次浸泡 1 h,用去离子水清洗后放入冰箱内 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保存待用。使用前用 500mL 去离子水过滤清洗三次,直至出水的 UV254 和去离

子水相一致。

实验采用的 MSC300 杯式超滤器为杯式超滤器，由 MSC050 公司提供，有效容积 300mL，有效面积为 $3.32 \times 10^{-3} \text{m}^2$ 。内有聚四氟乙烯磁力搅拌装置，转速 $200 \sim 300 \text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 。用高纯氮气作为驱动压力，工作压力为 $0.2 \sim 0.4 \text{Mpa}$ 。实验采用平行法，水样先通过 $0.45 \mu\text{m}$ 微滤膜过滤，再分别通过 100k、30k、5k、1k 的超滤膜，分别测定每次过滤液的 TOC。

3.1.2 实验结果

试验第 103 天采集 MBR 进出水水样，对其有机物分子量分布情况进行测定，如图 8 所示。进水沼液 TOC 主要分布在 30k~100k 和 <1k 两个区间，两个区间的有机物含量分别占总 TOC 的 8.11% 和 88.4%，MBR 出水 TOC 主要分布在 <1k 区间，其有机物含量占出水总 TOC 的 94.3%，可以看出进水和出水有机物基本上都集中在 <1k 区间内；其他三个区间内进出水 TOC 所占的比例变化不大。通过进出水分子量分布比较，30k~100k 区间的出水 TOC 明显减少，而 <1k 区间的出水 TOC 明显有增加，并且两者的数值相差不大，说明生物处理过程中活性污泥对 30k~100k 区间的有机物降解效果较好，降解产物基本都是属于 <1k 区间的有机物。

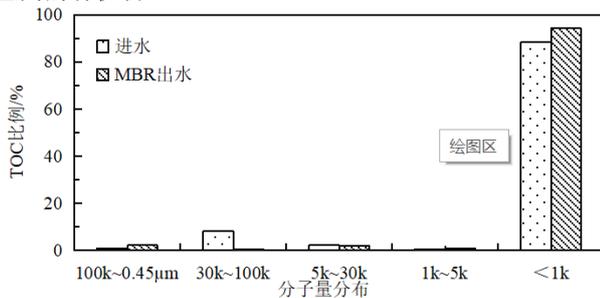


图 8 MBR 进出水分子量分布情况

4 进出水 GC-MS 扫描分析

4.1 实验方法与仪器

用机萃取液进行气-质联用分析，GC/MS 为安捷伦公司生产的 GC/MS (7890A/5975C) 型气相色谱-质谱联用仪。

GC 条件：HP-5 色谱柱，载气为氦气，柱流量为 $1 \text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ；程序升温条件：初始温度 40°C ，保持 2min，先以 $10^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 的速率升温至 150°C ，保持 2min，然后以 $5^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 升温至 270°C ，保持 2min，再以 $5^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 升温到 180°C ，保持 2min，总共运行 41min。进样口温度设为 250°C ；分流进样，分流比为 5 : 1，分流流量 $5 \text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

MS 条件：电离方式为 EI，电子能量为 70eV，传输线温度为 250°C ，离子源温度为 230°C ，四级杆温度为 150°C ，采用全扫描，扫描范围 m/z 为 35~500。

4.2 样品预处理

实验使用二氯甲烷作为萃取剂萃取猪场沼液和 MBR

出水中的有机物组分，经浓缩后用 GC-MS 进行检测。

(1) 碱性萃取：取 500ml 经过玻璃纤维膜过滤后的水样置于分液漏斗中，使用 NaOH 溶液将水样的 pH 值调节到 11 以上，然后加入 30ml 二氯甲烷，振荡 5min，期间周期性地释放分液漏斗中压力，摇匀后静置 10min。然后分离出二氯甲烷相进行离心破乳，重复萃取三次，合并萃取物。

(2) 酸性萃取：用 H_2SO_4 溶液将碱性萃取后水样的 pH 值调节到 2 以下，其余操作与碱性萃取相同，重复萃取三次，合并萃取物。

最后将上述二种萃取物合并后加入少量无水硫酸钠干燥，过滤液经旋转蒸发仪浓缩至 2ml，然后经高纯氮气吹干后用二氯甲烷定容至 1ml，冰箱中保存待测。

4.3 结果与讨论

试验第 103 天采集 MBR 进出水水样进行 GC-MS 检测，其有机物的总离子流图谱如图 9~10 所示。

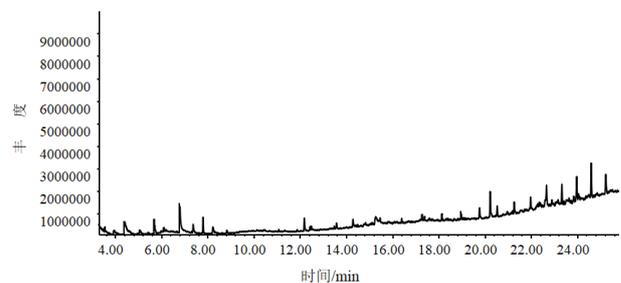


图 9 MBR 进水沼液中有有机物总离子流图

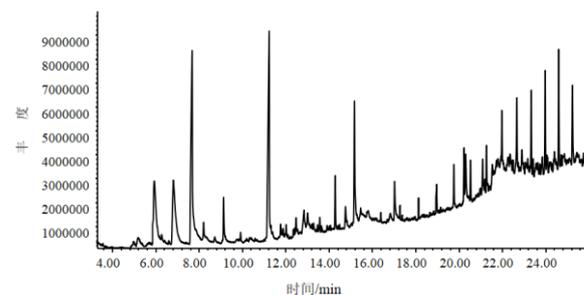


图 10 MBR 出水中有机物总离子流图

据图谱导出的 CAS 号和匹配度，参照图-按时间顺序列出 MBR 进水中峰面积在 100 万以上的有机物，见表 4。进水沼液中有有机物的种类较多，部分有机物的含量也较大（图 9）。6 分钟前后出现了二种苯酚类物质，苯酚可用作消毒剂，可能在清洗猪舍时会有少量的使用。7 分钟左右出现了大量的苯乙酸，苯乙酸是医药等有机合成的中间体，在医药工业中用于青霉素、地巴唑等药物的生产，具有很强的杀菌作用。9 分钟后出现了大量的吡啶类物质，主要是 3-甲基吡啶，3-甲基吡啶又名粪臭素，大都存在于粪便中。14 分钟和 20 分钟左右时出现的邻苯二甲酸二异丁酯和邻苯二甲酸二异辛酯两种物质属于我国环境优先污染物黑名单和美国 EPA 公布的 129 种优先污染物之一。18

分钟后出现了很多长链烷烃类物质,主要有十七烷、十八烷、二十烷等。

表 4 MBR 进水中峰面积在 100 万以上的有机物

时间/min	物质	匹配度	峰面积
5.938	对甲基苯酚	97	20096828
6.827	对乙基苯酚	93	25565886
7.690	苯乙酸	91	37334682
9.143	3-甲基咪唑	94	4202235
11.248	1-甲酸基咪唑啉	70	34489979
14.296	邻苯二甲酸二异丁酯	90	4301180
15.185	棕榈酸	99	12556537
17.035	硬脂酸	89	3905042
18.157	十七烷	96	1220775
18.980	十七烷	97	1812655
19.774	十七烷	97	2136611
20.240	邻苯二甲酸二异辛酯	86	3427162
20.542	十八烷	96	2925018
21.103	(-)-异长叶醇	46	2567951
21.278	二十一烷	97	2941480
21.988	十八烷	95	3172439
22.677	二十烷	97	2886371
23.343	二十烷	98	5462080
23.988	二十烷	98	6634717
24.614	二十烷	98	7844062
25.248	二十烷	96	6688460

由图 10 可以看出, MBR 出水中有机物的含量明显减少, 将 MBR 出水中峰面积在 30 万以上的有机物按时间顺序列出, 见表 5。出水中苯酚类、嘧啶类和喹啉类等复杂有机物都没有被检出, 在试验过程中基本上都被降解了。同样, 在 14 分钟左右检测出邻苯二甲酸二异丁酯, 含量较进水大大地减少了, 出水中没有检出邻苯二甲酸二异辛酯。16 分钟后出水中检测出的大量有机物基本上是 C30 以下的直链烷烃类物质, 主要为十八烷和二十烷, 但是烷烃类物质的含量明显降低。出水中也检测出了新的物质, 主要是脂类, 可能是进水中某些烃类物质的氧化中间产物。结果表明, MBR 对可降解有机物的去除效果良好。

表 5 MBR 出水中峰面积在 30 万以上的有机物

时间/min	物质	匹配度	峰面积
4.405	戊二醛	80	1525069
5.705	1-氯-2,2-二氟丙烷	32	1738027
6.809	1,5-Hexadiene, 3-methyl-	47	3744564
7.381	CAS 号 026688-50-6	78	1108615
7.810	3,4-二氢-2H-吡喃	58	1067025
8.236	2-甲基喹啉	96	871007

时间/min	物质	匹配度	峰面积
12.192	三烯丙基异氰脲酸酯	99	12556537
14.297	邻苯二甲酸二异丁酯	81	649121
16.405	十六烷	96	366589
17.298	二十一烷	96	426964
18.153	二十一烷	95	495014
18.980	二十四烷	95	584664
19.770	二十三烷	95	876383
20.237	邻苯二甲酸单(2-乙基己基)酯	83	1820494
20.535	二十一烷	95	847402
21.275	二十烷	96	756796
21.985	二十烷	96	737719
22.670	二十烷	96	1681762
23.336	十八烷	95	1745479
23.977	二十烷	96	2346429
24.607	二十烷	94	2596329
25.237	十八烷	93	2013975

5 结果与分析

本文研究了长期运行时, 不同容积负荷条件下 MBR 对猪场沼液的去除效果, 以及进出水微量有机物的变化情况, 具体结论如下:

(1) MBR 处理猪场沼液时受 COD 容积负荷限制不大, COD 容积负荷在 $0.16 \sim 3.07 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 之间, 去除率在 70%~95% 之间。但是出水 COD 浓度很高, 在 $237 \sim 651 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间, 不能稳定达到《畜禽养殖业污染物排放标准》中小于 $400 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的标准, 这部分主要是沼液中的难降解有机物, 单纯依靠生物处理达标难度较大, 该部分有机物需通过投加高效降解菌或增加深度处理工艺方可有望达标。

(2) MBR 处理猪场沼液受氨氮容积负荷影响较大, 在氨氮容积负荷不高于 $0.60 \pm 15\% \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 时, MBR 处理猪场沼液的出水氨氮浓度能够稳定达到《畜禽养殖业污染物排放标准》的排放标准 ($\leq 80 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), 去除率可以稳定达到了 96% 以上。但是, 长期运行条件下会发生亚硝态氮积累的情况应该引起重视。

(3) MBR 进出水 TOC 主要分布在 $< 1 \text{ k}$ 区间内, 分别占总 TOC 的 88.4% 和 94.3%, MBR 出水中有机物的含量较进水明显减少, 出水中苯酚类、嘧啶类和喹啉类等复杂有机物都没有被检出, 进出水检出的有机物中 C30 以下直链烷烃占到了 50% 以上。

6 结论

长期运行条件下, MBR 处理猪场沼液时受 COD 容积负荷限制不大, COD 容积负荷在 $0.16 \sim 3.07 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 之间, 去除率在 70%~95% 之间。但是出水 COD 浓度很高, 在 $237 \sim 651 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间, 不能稳定达到《畜禽养殖业污染物排放标准》中小于 $400 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的标准, 这部分主要是

沼液中的难降解有机物,单纯依靠生物处理达标难度较大,该部分有机物需通过投加高效降解菌或增加深度处理工艺方可有望达标。

MBR 处理猪场沼液受氨氮容积负荷影响较大,在氨氮容积负荷不高于 $0.60 \pm 15\% \text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 时, MBR 处理猪场沼液的出水氨氮浓度能够稳定达到《畜禽养殖业污染物排放标准》的排放标准 ($\leq 80 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$), 去除率可以稳定达到了 96% 以上。但是, 长期运行条件下会发生亚硝态氮积累的情况应该引起重视。

MBR 进出水 TOC 主要分布在 $< 1\text{k}$ 区间内, 分别占总 TOC 的 88.4% 和 94.3%, MBR 出水中有机物的含量较进水明显减少, 出水中苯酚类、嘧啶类和喹啉类等复杂有机物都没有被检出, 进出水检出的有机物中 C30 以下直链烷烃占到了 50% 以上。

[参考文献]

- [1] 张青, 栗方亮, 孔庆波. 沼液配施化肥对蜜柚产量、品质及土壤重金属的影响 [J]. 中国南方果树, 2024, 53(2): 21-27.
- [2] 林东文. 南方中小规模养猪场楼层式改造及粪污资源化利用实践 [J]. 中国畜禽种业, 2024, 20(3): 96-101.
- [3] 黄燕. 猪场沼液中悬浮固体对自养同步脱氮工艺的影响 [D]. 四川: 四川农业大学, 2023.
- [4] 刘佳鑫, 邓良伟, 张静妮, 等. 新型微氧反应器对沼液的处理性能 [J]. 环境工程学报, 2023, 17(3): 1011-1022.
- [5] 刘思强, 信欣, 朱羽蒙, 等. 脱氮除磷功能菌泥强化低溶解氧 ACF-BAF 工艺处理猪场沼液效能及微生物种群分析 [J]. 环境工程学报, 2022, 16(7): 2397-2407.
- [6] 施艳红, 规模化猪场粪污资源化利用种养结合新模式创建与示范应用 [Z].
- [7] 郭佳豪, 胡宝娥, 肖雅, 等. 猪场沼液本土微生物富集的氮磷回收特性 [J]. 华中农业大学学报, 2022, 41(4): 79-86.
- [8] 吴永明, 邓利智, 余郭龙, 等. 多级 A/O-SBBR 生化工艺耦合生态净化系统处理猪场沼液的工程应用 [J]. 水处理技术, 2022, 48(7): 153-156.
- [9] 张海莹, 刘梦亭, 花俊国. 粮食主产区畜禽粪便对耕地的污染风险与预测 [J]. 农业科学研究, 2023, 44(4): 7-14.
- [10] 宁秀美, 李雨娟, 洪坤钰. 中卫市沙坡头区畜禽养殖污染防治研究 [J]. 中国资源综合利用, 2023, 41(12): 177-179.
- [11] 扬州市人大常委会. 扬州市畜禽养殖污染防治条例 [N]. 扬州日报, 2023-12-11(04).
- [12] 常保良. 农村畜禽养殖环境污染监测与净化的综述和展望 [J]. 畜牧业环境, 2023(22): 17-19.
- [13] 杜金辉. 畜禽粪污资源化利用及养殖污染防治策略 [J]. 低碳世界, 2024, 14(4): 27-29.
- [14] 林荣科. 畜禽养殖污染防治策略探究 [J]. 广东蚕业, 2024, 58(4): 32-34.
- [15] Yuxuan Xu, Ting Ma, et al. Spatial patterns in pollution discharges from livestock and poultry farm and the linkage between manure nutrients load and the carrying capacity of croplands in China [J]. Science of the Total Environment, 2023(901): 166006.
- [16] Boyang Shi, Changbin Yin, et al. Opportunities for centralized regional mode of manure and sewage management in pig farming: The evidence from environmental and economic performance [J]. Waste Management, 2023(170): 240-251.
- [17] Bincheng Lin, Jinxing Ma. Recent advances in biofilm technologies for breeding wastewater treatment: Fundamentals performance and impacts of antibiotics [J]. Journal of Water Process Engineering, 2024(62): 29.
- [18] Shuang Peng, Hongyan Zhang, et al. Distribution of antibiotic heavy metals and antibiotic resistance genes in livestock and poultry feces from different scale of farms in Ningxia China [J]. Journal of Hazardous Materials, 2022(440): 129719.
- [19] Mengyuan Zou, Weijun Tian, et al. Quinolone antibiotics in sewage treatment plants with activated sludge treatment processes: A review on source concentration and removal [J]. Process Safety and Environmental Protection, 2022(160): 116-129.
- [20] Boyang Shi, Shu Wang, et al. Recognition on characteristics and applicability of typical modes for manure & sewage management in pig farming: A case study in Hebei China [J]. Waste Management, 2022(148): 83-97.

作者简介: 杨莉 (1987.7—), 女, 本科, 环保中级工程师, 研究方向: 环境工程; *通讯作者: 卫丹: (1990.2—), 男, 研究生, 研究方向: 环境工程。

钛酸铋钠基无铅陶瓷储能的制备及性能研究

李骏扬 赵鑫宇 姜晓曼 李城钢 李一涵 张杨*
巢湖学院化学与材料工程学院, 安徽 合肥 238000

[摘要] 钛酸铋钠 (简称 BNT) 陶瓷作为无铅陶瓷的一种, 具有优良的电致应变、剩余极化以及高的居里温度等性能, 可以应用在储能、制动器、电容器和脉冲等领域。采用在钛酸铋钠陶瓷中掺入 Sr 元素, 并于 1170°C 下高温固相烧结, 制备陶瓷样品。利用 XRD、SEM、介电测试仪、铁电分析仪等仪器, 测试分析 $(\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5-x}\text{Sr}_x)\text{TiO}_3$ 陶瓷的晶体结构、微观形貌、介电性能以及储能密度。材料在 $x=0.02$ 时晶粒尺寸最为均匀; XRD 表明了材料具有典型的钙钛矿结构、无第二相生成; 在 1kV、1Hz 的条件下, $x=0.02$ 的储能密度最高为 $1.32\text{J}/\text{cm}^3$ 。

[关键词] 钛酸铋钠 (BNT); 储能; 掺杂改性

DOI: 10.33142/nsr.v1i1.12915

中图分类号: TQ174.652.2

文献标识码: A

Preparation and Performance Study on Sodium Bismuth Titanate Based Lead-free Ceramic Energy Storage

LI Junyang, ZHAO Xinyu, JIANG Xiaoman, LI Chenggang, LI Yihan, ZHANG Yang*
Chaohu University Chemistry and Materials Engineering School, Hefei, Anhui, 238000, China

Abstract: Sodium bismuth titanate (BNT) ceramics, as a type of lead-free ceramics, have excellent properties such as electrostrain, residual polarization, and high Curie temperature. They can be applied in energy storage, brakes, capacitors, and pulse fields. Ceramic samples were prepared by doping Sr elements into bismuth sodium titanate ceramics and solid-phase sintering at high temperature of 1170 °C. Using instruments such as XRD, SEM, dielectric tester, ferroelectric analyzer, etc., the crystal structure, microstructure, dielectric properties, and energy storage density of $(\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5-x}\text{Sr}_x)\text{TiO}_3$ ceramics were tested and analyzed. The grain size of the material is most uniform at $x=0.02$; XRD indicates that the material has a typical perovskite structure and no second phase formation; Under the conditions of 1kV and 1Hz, the highest energy storage density of $x=0.02$ is $1.32\text{J}/\text{cm}^3$.

Keywords: sodium bismuth titanate (BNT); energy storage; doping modification

目前, 电池、电介质电容器以及电化学电容器是市面上应用最多且最为广泛的三类储能器件^[1-2]。电池包括锂离子电池、钠离子电池和固态电解质电池等, 锂离子电池具有体积小、质量轻、能量密度高、循环寿命长等特点, 被广泛应用在便携式电子设备、新能源汽车、军用通讯设备等^[3-4]方面。电介质电容器的功率密度较高, 但其储能密度较低, 而电池表现出与之相反的特性。电化学电容器的功率密度和储能密度介于二者之间, 表现出较大的漏电流, 并且工作电压较低^[5-6], 所以其实际应用受到一定的限制。相比之下, 电介质电容器具有更为广泛的应用前景。

根据电介质材料的不同, 将电介质电容器分为陶瓷电容器和聚合物电容器两类。虽然聚合物电容器的储能密度较高, 但由于其具有较高的温度敏感性, 难以在高温下保持稳定性能, 所以限制了聚合物电容器在实际中的应用。对于电介质陶瓷, 按照电滞回线的特点, 可以将其分为线性电介质 (LD)、铁电体 (FE)、弛豫铁电体 (RFE) 以及反铁电体 (AFE) 四类^[7]。电介质陶瓷具有优良的热稳定性, 能够更好地适应高温工作环境。铁电陶瓷材料是目前世界上应用最多且最为广泛的电介质陶瓷, 占据市场份额的三分之一以上。虽然铁电体的 P_{max} 较高, 但同时高的

Pr 导致其有效储能密度 W_{rec} 较低, 且能量损耗也较高^[8], 故其不适合用作高性能储能材料。弛豫是指一个系统由于外界条件的变化而转变为热力学非平衡状态, 然后经过一定时间再次转化为热力学平衡状态的过程。弛豫铁电体具有弥散相变、频率色散、偏离居里-外斯定律和电滞回线四个特性^[9]。弛豫铁电体的电滞回线、介电常数表现出较强的可调控性, 所以相对于传统的铁电材料具有优良的储能特性, 能够吸收和释放更多的能量, 故在能源存储方面有着巨大的应用潜力^[10]。目前传统的铅基陶瓷材料, 如 PZT 铅基陶瓷储能特性研究已经比较成熟, 但由于铅基材料在烧结过程中铅易挥发以及后续的三废处理会造成环境污染, 因此各个国家正在一定程度上限制它的使用, 而陶瓷电介质具有较长的使用寿命并且可以循环使用的特点, 所以无铅陶瓷电介质材料及其储能特性的研究正在被各国密切关注。

目前传统的铅基陶瓷材料, 如 PZT 铅基陶瓷储能特性研究已经比较成熟, 但由于铅基材料在烧结过程中铅易挥发以及后续的三废处理会造成环境污染, 因此各个国家正在一定程度上限制它的使用, 而陶瓷电介质具有较长的使用寿命并且可以循环使用的特点, 所以无铅陶瓷电介质材料及其储能特性的研究正在被各国密切关注。钛酸铋钠陶

瓷(即 BNT 陶瓷)具有优良的铁电性和声学性能、高的居里温度以及烧结温度适中的特点。但缺点也非常明显,如由于矫顽场较大($E_c=73\text{kV/cm}$)导致其极化困难以及致密性较差等,使其具体的应用受到了一定的限制。随着近年来 Zhang 等^[1]对 BNT 陶瓷的研究,并且发现其具有大的电致应变后,对 BNT 陶瓷性能的相关研究也随之广泛地展开。

目前,BNT 陶瓷主要采用传统固相高温烧结法制备陶瓷,该方法成本较低,实验过程简单。

1 电介质陶瓷的储能机理

储能密度 W 可以定义为单位体积电介质中所储存的能量,也即为能量密度,用以表征电介质材料的储能特性,可由公式表示:

$$W = \int_0^{P_{\max}} E dP = \int_0^{E_{\max}} \epsilon_0 \epsilon_r E dE = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r E^2 \quad (1.1)$$

由于非线性电介质材料的介电常数会随着电场的变化而变化,所以公式 1.1 不适用于非线性电介质材料。对于介电常数较大的电介质材料,其电位移和极化强度非常接近,因此可以用公式 1.2 来计算材料的储能密度,即:

$$W = \int_0^{P_{\max}} E dP \quad (1.2)$$

式中 P 和 P_{\max} 表示介电材料的极化强度和最大极化强度。由式 1.2 可知,电介质材料的总储能密度为放电过程中可释放的能量密度(即有效储能密度 W_{rec})和电介质的能量损耗(即损耗能量密度 W_{loss})之和。

2 实验

2.1 实验原料、设备

为了确保实验的准确性和可靠性,在制备同一组分的样品时应选择纯度较高且同一厂家的药品,实验原料如表 1 所示,实验设备如表 2 所示。

表 1 实验原料

名称	化学式	规格	纯度	生产厂家
碳酸钠	Na_2CO_3	GR	$\geq 99.8\%$	上海阿拉丁生化科技有限公司
氧化铋	Bi_2O_3	AR	$\geq 99\%$	上海阿拉丁生化科技有限公司
二氧化钛	TiO_2	AR	$\geq 99\%$	福晨化学试剂有限公司
碳酸锶	SrCO_3	AR	$\geq 99\%$	上海新宝精细化工厂
无水乙醇	$\text{C}_2\text{H}_5\text{O}$	AR	$\geq 99.7\%$	无锡市展望化工试剂有限公司

表 2 实验设备

仪器设备名称	型号	生产厂家
电子分析天平	AF224	上海恒平天平科学仪器有限公司
电热恒温鼓风干燥箱	DHG-9101.2A	上海三发科学仪器有限公司
集热式磁力搅拌器	DF-101S	常州国宇仪器制造有限公司
超声波清洗器	KQ-500	昆山市超声仪器有限公司
全自动压片机	PP-30S	天津市精拓仪器科技有限公司
行星式球磨机	YXQM-2L	长沙米淇仪器设备有限公司

2.2 实验步骤

该实验采用传统固相高温烧结法制备陶瓷样品,传统

固相高温烧结包括下列步骤:

(1) 计算称量:根据物料所标注的纯度及对应的相对分子量,并按照各组元的化学式($\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$)计算出每个物料所需质量。将称好的原料放入鼓风干燥箱中于 100°C 干燥 10h,然后准确称取每一组分的原料质量,并尽量减小误差。

(2) 混料、一次球磨:将称取的各组物料放入球磨罐中,以乙醇为球磨介质,并加入锆球,然后将球磨罐放置在行星式球磨机上,设定好球磨参数。球磨时间为 10h,转速为 250r/min 。在混料时,可以先称取质量较多的原料,再称取质量较少的原料,以防止较少的原料粘在球磨罐内壁而造成误差。

(3) 干燥、预烧:将完成球磨的物料取出干燥,研磨过筛后,放入坩埚中置于马弗炉中 800°C 下保温 2h 进行预烧。为了保证样品的致密度,应选择合适的预烧温度,一般选择在 800°C 左右。如果预烧温度过低,可能原料中的杂质不能充分消除,对后续烧结处理可能会有不利影响。

(4) 二次球磨:预烧后的物料放入球磨罐中,重复一次球磨步骤与相应的参数设置,使物料进一步混合均匀。

(5) 造粒:将二次球磨后的物料干燥后,加入 8% 的 PVA 黏结剂后将物料进行充分研磨,过筛(80 目分子筛)后得到所需原料。PVA 主要是能够增加粉料的可塑性,有利于后续的压制成型。

(6) 压片:每次称取 0.3g 原料,放入模具中利用全自动压片机压制陶瓷圆片。

(7) 排胶:将压制成型后的陶瓷片放入坩埚中于 500°C 保温 2h 进行排胶处理,升温速度为 3°C/min 。目的是将造粒时加入的 PVA 黏结剂于高温下排出。

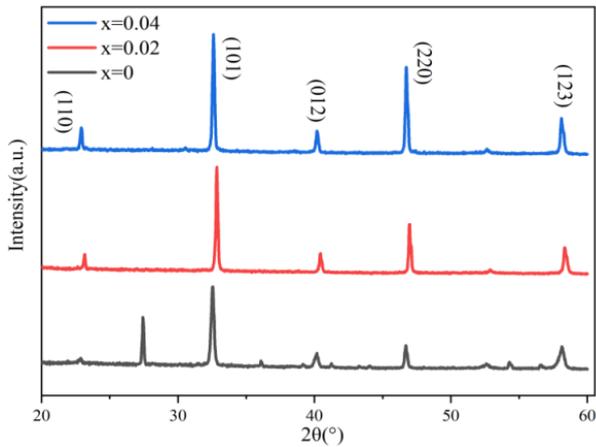
(8) 烧结:在制备钛酸铋钠陶瓷(即 BNT 陶瓷)的过程中,为了抑制 Na^+ 、 Bi^{3+} 的高温挥发导致的误差,在称量过程中可以按比例适当的多称取一些碳酸钠和氧化铋,或者是采用埋粉烧结的方式。并且氧化锆粉末也要在 1500°C 下保温 10h 使其失去活性,避免与样品发生物理化学反应等。即使为同一烧结温度,也会因组分的不同产生不同的性能差异。

(9) 刷银、极化:在对烧结成瓷的样品抛光处理后进行手工刷银,然后在 650°C 下保温 30min,使氧化银转变为银,使其与样品紧密结合形成具有优异导电性能的银层,以便后续的极化处理。

3 性能测试与分析

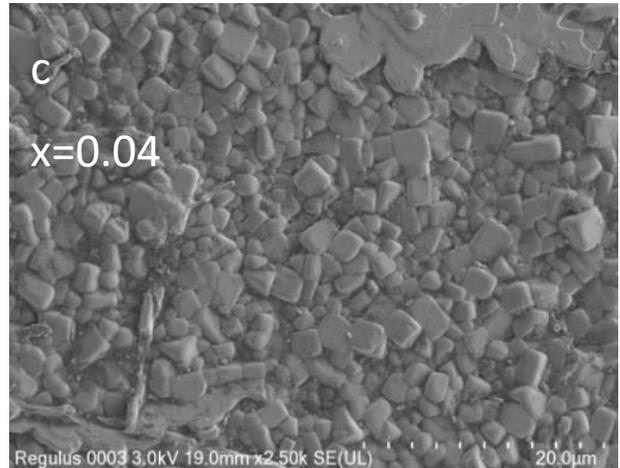
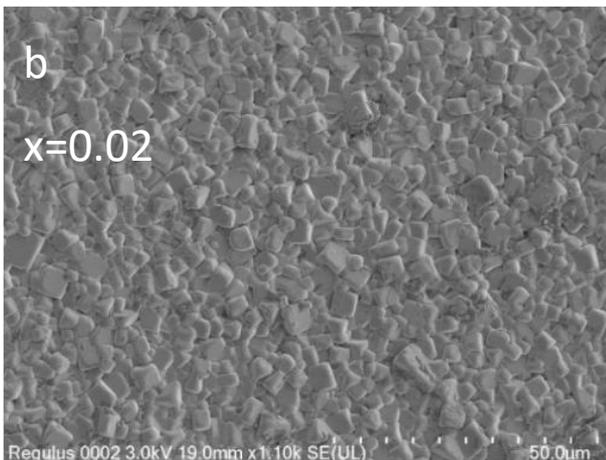
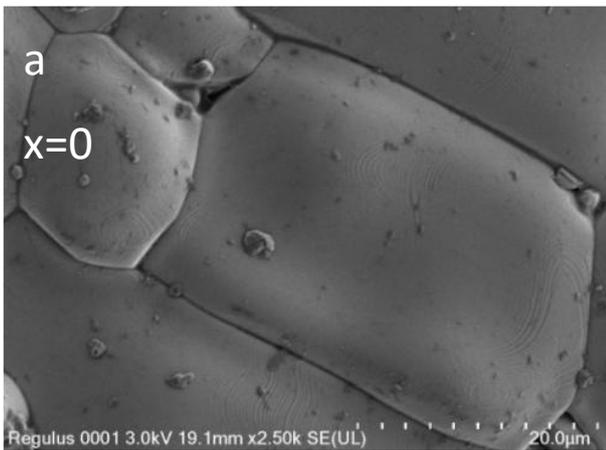
3.1 陶瓷材料的相结构

图 1 为($\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$)陶瓷的 XRD 图谱。由图 1 可知,加入了 Sr 元素的 BNT 陶瓷具有钙钛矿结构;而且在相同烧结温度(1170°C)下,未掺杂 Sr 的组分($x=0$)出现一些杂峰。随着 Sr 含量的增加,BNT 陶瓷(110)、(101)和(220)衍射峰整体强度均有明显的增加,说明 Sr 元素有利于改善陶瓷材料的结晶度。


 图 1 $(\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5-x}\text{Sr}_x)\text{TiO}_3$ 陶瓷的 XRD 图谱

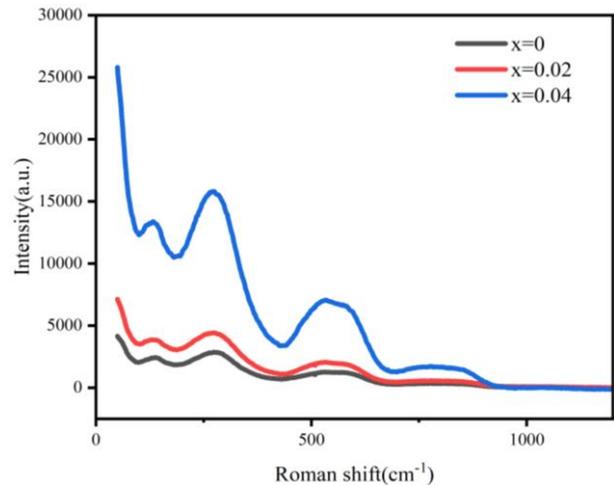
3.2 陶瓷材料的显微结构

图 2 中的 a 和 b、c 分别表示不同 Sr 含量（即 $x=0$ 、 $x=0.02$ 、 $x=0.04$ ）下 BNT 陶瓷的 SEM 图。由图 2 可见，在同一烧结温度下（ 1170°C ），掺杂 Sr 元素陶瓷的晶粒度要明显优于纯 BNT 陶瓷，图 2（b-c）中的晶粒大小较为均匀。图 2（a）中表面存在的波纹状可能是材料内部存在的电畴所致；a 和 c 相比较，可以看出 Sr 元素含量的增加可以提高材料的晶粒度，均匀材料的晶粒尺寸。


 图 2 不同 Sr 含量 $(\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5-x}\text{Sr}_x)\text{TiO}_3$ 陶瓷的 SEM 图

3.3 拉曼光谱

图 3 为 $(\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5-x}\text{Sr}_x)\text{TiO}_3$ 陶瓷的拉曼光谱。由图 3 可以看出，Sr 含量为 0 和 0.02 组分的拉曼光谱形状基本一致，而 Sr 含量为 0.04 的拉曼光谱形状变化较大，强度也较前两者有所增加。从光谱中可以检测到四个主要区域，与相关报道中的 BNT 陶瓷数据几乎相同。 130cm^{-1} 处反映了钙钛矿结构中 A 位中的 Na-O 键的特性； 521cm^{-1} 处主要与氧位移振动有关。


 图 3 $(\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5-x}\text{Sr}_x)\text{TiO}_3$ 陶瓷的拉曼光谱

3.4 介电性能

图 4 为不同 Sr 含量下 $(\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5-x}\text{Sr}_x)\text{TiO}_3$ 陶瓷的介电常数图谱。由图 4 可知，当频率为 1Hz 时，含 Sr 元素陶瓷的介电常数明显低于纯 BNT 陶瓷；其中，对于含 Sr 的陶瓷，介电常数随 Sr 含量的增加而有所升高。说明，Sr 元素能够改善材料的介电性能。

图 5 为不同频率下 $(\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5-x}\text{Sr}_x)\text{TiO}_3$ 陶瓷的介电常数图谱。当 Sr 含量相同时，材料的介电常数随频率的升高而降低。其中，纯 BNT 陶瓷介电常数的变化最为明显；对于含 Sr 元素的陶瓷，温度低于 225°C 时，材料的介电

常数随频率的升高表现出明显的下降现象，温度高于 225℃ 时，材料的介电常数随频率变化不大。说明 Sr 能够改善 BNT 陶瓷介电常数的频率稳定性。从图 5 可得，材料在 325℃ 左右具有最高的介电常数。

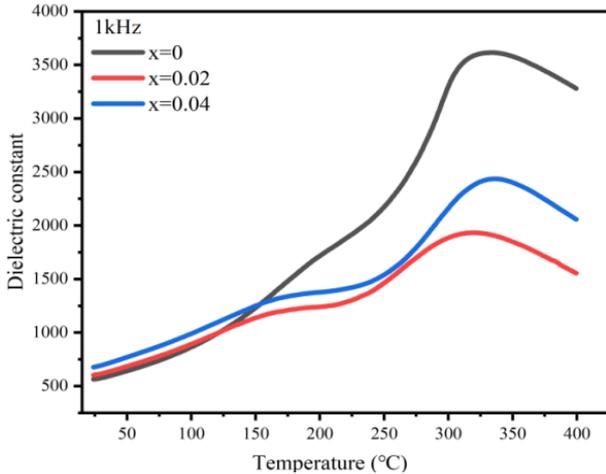


图 4 不同 Sr 含量下 (Bi_{0.5}Na_{0.5-x}Sr_x)TiO₃ 陶瓷的介电常数随温度变化图谱

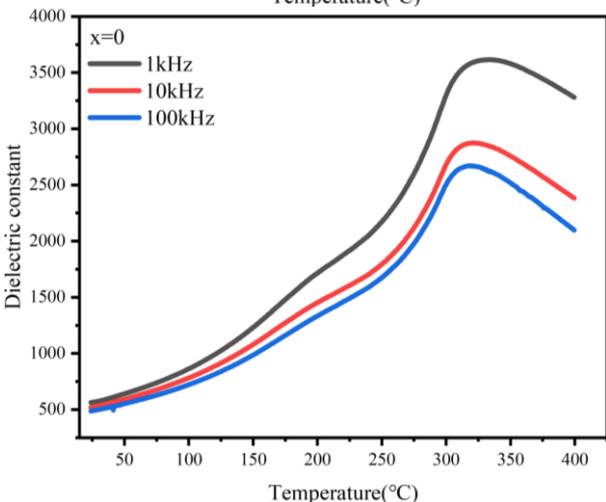
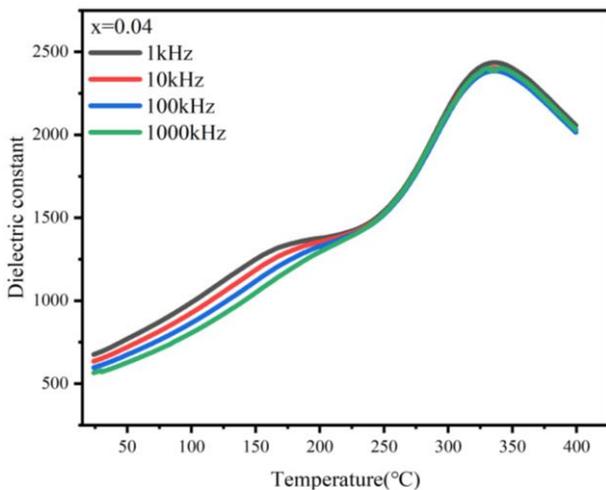


图 5 不同频率下 (Bi_{0.5}Na_{0.5-x}Sr_x)TiO₃ 陶瓷的介电常数随温度变化图谱

3.5 铁电性能

图 6 (Bi_{0.5}Na_{0.5-x}Sr_x)TiO₃ 陶瓷的电滞回线 (P-E) 示意图。由图 6 可知，相对于纯 BNT 陶瓷，Sr 元素的加入能够显著提高材料的最大极化强度 P_{max}，并降低其剩余极化强度 P_r，使得电滞回线更加“瘦长”。由此可见，改性后的材料具有较高的最大极化强度和较低的剩余极化强度，即具有良好的储能特性。此外，材料的矫顽场 E_c 也随着 Sr 含量的增加而降低。

由公式 (1.2) 知，材料的储能密度：

$$W = \int_{P_r}^{P_{max}} E dp = \int_{4.3}^{22.4} 0.73 dp = 1.32 J/cm^3$$

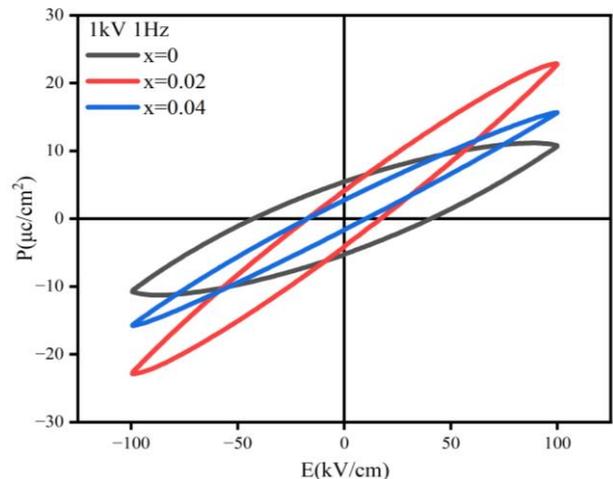


图 6 (Bi_{0.5}Na_{0.5-x}Sr_x)TiO₃ 陶瓷的电滞回线 (P-E) 示意图

4 结论

本文采用传统固相法制备 (Bi_{0.5}Na_{0.5-x}Sr_x)TiO₃ 陶瓷，并对其性能进行研究分析。成功地研制出了碳酸铋钠基无铅陶瓷储能陶瓷。Sr 元素有利于改善陶瓷的结晶度，均匀材料的晶粒尺寸，改善材料的介电性能。在 x=0.04 时，陶瓷的结晶度、晶粒尺寸以及结构对称性较为良好；x=0.02 时，材料具有最高的饱和极化强度 P_{max} 和较低的剩余极化强度 P_r，故材料在该条件下具有最高的储能密度为 1.32J/cm³。由于实验过程中不可避免存在杂质，以及实验仪器和操作过程中存在的误差，在后续的实验更应该更加严谨地避免这些可能的影响，从而能够提高材料性能的准确度。

基金项目：省级大学生创新创业训练项目(项目编号：S202310380033)。

[参考文献]

- [1]Hao X.A review on the dielectric materials for high energy-storage application[J]. Journal of Advanced Dielectrics,2013,3(1):1330001.
- [2]Sherrill, Stefanie A. Banerjee, et al.High to ultra-high power electrical energy storage[J]. Physical Chemistry Chemical

Physics, 2011, 13(46):20714-20723.

[3] 韩啸, 张成银, 吴华龙. 锂离子电池的工作原理与关键材料[J]. 金属功能材料, 2021, 28(2): 37-58.

[4] 饶秋实. 新型二维材料 MXene 合成及其在锂离子电池应用[C]. 广东: 广东工业大学, 2020.

[5] 司峰. BaTiO₃-BiMeO₃ 基储能陶瓷的制备与性能研究[D]. 四川: 电子科技大学, 2020.

[6] Chen H, Cong T, Yang W, et al. Progress in electrical energy storage system: a critical review [J]. Progress in Natural Science, 2009(19): 291-312.

[7] 孙无忧. Bi_{0.5}Na_{0.5}TiO₃ 基无铅储能陶瓷的制备和性能研究[C]. 辽宁: 沈阳工业大学, 2022.

[8] 张凡博. 钛酸铋钠基无铅陶瓷的制备及其储能特性研

究[D]. 陕西: 西安工业大学, 2022.

[9] 时婧. 钛酸铋钠基材料的电致应变与弛豫特性研究[D]. 陕西: 西北工业大学, 2015.

[10] 胡笛. 脉冲电容器用 Na_{0.5}Bi_{0.5}TiO₃ 基介电陶瓷的制备、储能性能及温度稳定性研究[D]. 浙江: 宁波大学, 2021.

[11] Zhang L, Pu Y, Chen M, et al. Novel Na_{0.5}Bi_{0.5}TiO₃ based, lead-free energy storage ceramics with high power and energy density and excellent high-temperature stability[J]. Chemical Engineering Journal, 2020(383): 123154.

作者简介: 李骏扬 (2003—), 男, 巢湖学院大二学生, 无机非金属材料工程专业; *通讯作者: 张杨 (1982—), 男, 副教授, 博士, 主要从事功能陶瓷的制备及器件研究。

Viser Technology Pte. Ltd.

公司地址

111 North Bridge Rd, #21-01 Peninsula Plaza,
Singapore 179098

官方网站

www.viserdata.com

