

面向“碳中和”目标的拔尖创新人才培养体系研究

尹家波^{1,2*}, 田蝶³

¹武汉大学水利水电学院, 湖北 武汉

²水资源工程与调度全国重点实验室(武汉大学), 湖北 武汉

³武汉市武昌区未来实验小学, 湖北 武汉

收稿日期: 2024年1月20日; 录用日期: 2024年3月14日; 发布日期: 2024年3月25日

摘要

针对“碳达峰碳中和”和长江大保护等国家战略, 当前亟须探讨新时期的拔尖创新人才培养路径。建议基于“首推创新、推动创业”的双创理念, 贯穿高水平人才培养的“产学研用”链路, 强化碳中和科学传播, 培养技术过硬、基础扎实的气候治理及碳汇谈判人才, 提升我国在全球变化领域的国际话语权。建议以校企联合培养为动力, 从多领域交叉融合的课程体系、多方位的协同培育平台、多元化的教学方式等三个方面搭建新时期人才培养架构。建议瞄准复合应用型拔尖创新人才的培养目标, 推动工程教育与国际治理接轨, 建议结合行业特色及需求, 依托国际及国家级科技攻关项目, 通过跨学科国际合作和创新创业竞赛等多渠道, 培育学生的国际化视野及跨文化沟通技能, 为国家储备大量优秀的创新人才, 助力实现“碳达峰碳中和”目标。

关键词

碳中和, 人才培养, 拔尖创新, 教育改革

Research on the Cultivation System of Top-Notch Innovative Talents for the Goal of “Carbon Neutrality”

Jiabo Yin^{1,2*}, Die Tian³

¹School of Water Resources and Hydropower Engineering, Wuhan University, Wuhan Hubei

²State Key Laboratory of Water Resources Engineering and Management, Wuhan University, Wuhan Hubei

³Future Experimental Primary School in Wuchang District, Wuhan City, Wuhan Hubei

Received: Jan. 20th, 2024; accepted: Mar. 14th, 2024; published: Mar. 25th, 2024

*通讯作者。

文章引用: 尹家波, 田蝶. 面向“碳中和”目标的拔尖创新人才培养体系研究[J]. 社会科学前沿, 2024, 13(3): 313-320.

DOI: 10.12677/ass.2024.133219

Abstract

In light of major national strategic goals such as “peak carbon emissions” and “carbon neutrality”, there is an urgent need to investigate mechanisms for cultivating top-notch innovative talents. It is recommended to build a mechanism based on the educational philosophy of “innovation before entrepreneurship”, to seamlessly integrate the entire chain of talent development in the “industry-academia-research-application” spectrum. This involves strengthening the dissemination of carbon neutrality science, nurturing a reserve force of climate governance talents, and enhancing students’ international competence. Driven by collaborative education between universities and enterprises, a collaborative training model is proposed, focusing on three aspects: a curriculum system rooted in interdisciplinary integration, a multi-faceted collaborative education platform, and diverse teaching methods. Following the goal of cultivating top-notch innovative talents with a compound applied orientation, the model aims to align engineering education with international standards and effectively improve the quality of talent development. Aligned with industry demands and leveraging international and national-level scientific and technological projects, the proposed model advocates for interdisciplinary international collaboration. This involves participating in international academic conferences and innovation and entrepreneurship competitions to enhance students’ international perspectives and cross-cultural communication skills. This approach aims to cultivate and reserve a large number of top-notch innovative talents, contributing to the achievement of the national goal of “carbon neutrality”.

Keywords

Carbon Neutrality, Talent Cultivation, Top-Notch Innovation, Educational Reform

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

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

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



Open Access

1. 引言

在人类经济活动快速发展的背景下，第二次工业革命以来的温室气体和气溶胶排放引起了全球气候变暖，对地球系统的辐射平衡及生态系统水碳循环产生了显著影响，这导致全球近地气温不断升高，改变了大气边界层的热力和动力环境。气候变暖影响了气象水文过程，进而引发了诸如降水、蒸散发、径流和陆地水储量的时空分布不均加剧等问题。气候变暖还改变了全球陆地生态系统的结构，可能减缓或加剧气候变化。这些变化对未来水资源、粮食安全和生态系统的可持续发展构成威胁。在这一背景下，预测和评估未来气候变化下的极端水文事件成为国际水科学领域的研究热点，也是关系国家水资源、生态环境和社会经济发展的关键问题。

中国在国际舞台上积极应对气候变化，通过提高国家自主贡献力度、制定更有力的政策和措施，争取在 2030 年前实现碳达峰，在 2060 年前实现碳中和，这体现了中国在应对气候变化方面的坚定决心。全球气温创新高，极端天气事件对全球各地产生影响，2023 年的联合国气候变化大会成为解决气候危机的关键机会。联合国气候变化框架公约第 28 届会议通过的全球评估协议首次公开呼吁各国摆脱对化石燃料的依赖。为维护宜居气温，必须迅速减少对化石燃料的依赖，加大可再生能源发电能力。此外，适应气候变化的融资和投资也需要有质的飞跃。研究“碳达峰碳中和”的实现路径对促进高新技术增长和创业就业具有重要价值和实用意义。

在这一大背景下, 研究全球变暖对社会经济、生态环境和人类福祉的影响机制成为迫切的任务, 这也是我国实现“碳达峰碳中和”目标的重要科学技术支撑。在实现“碳达峰碳中和”战略目标的过程中, 培养通晓国际气候谈判和能源减排政策的创新人才变得至关重要。本文以武汉大学水利学科为例, 研究如何培养新时期的拔尖创新人才。

2. “碳中和”战略的国内外背景及实现路径

中国在全球气候变化应对中发挥着积极的作用, 特别是通过实施“碳达峰碳中和”国家重大战略, 力争在 2030 年前实现碳达峰, 并争取在 2060 年前实现碳中和。这一战略旗帜下, 我国积极参与国际气候谈判, 力求在全球层面推动气候变化治理的进程。通过设定碳中和目标, 中国将全球升温幅度控制在 1.5°C 之内, 为国际社会应对气候危机提供了积极引领。2015 年通过的《巴黎协定》明确了全球应对气候变化的方向, 要求各国制定和更新国家贡献, 并加强行动以限制全球升温。中国作为全球最大的发展中国家, 通过承诺实现“碳达峰碳中和”目标, 为全球气候治理贡献了积极力量。同时, 为应对气候变化的影响, 中国正在加快推进能源转型、提高能源利用效率, 促进碳减排和新能源的发展。这一系列措施有助于减缓气候变化的不利影响, 推动全球迈向更加可持续的未来。

随着对高温热浪时空演变格局的研究不断深入, 国内外学者认识到高温热浪对人类健康与社会经济具有显著的影响。高温热浪对于我国不同区域不同人群的影响也存在较大差异。因此, 地理学家开始尝试使用脆弱性工具开展高温脆弱性评价, 制作高温脆弱性地图, 以识别脆弱地区和人群。当前, 有关高温热浪脆弱性评估框架的相关研究不少, 但是没有形成较为统一的评估框架, 现有的方法主要包括压力-状态-响应脆弱性评价、社会经济脆弱性评价、人与自然耦合系统的脆弱性评估等, 其中最常用的脆弱性评估框架是 IPCC 提出的“暴露性-敏感性-适应性”框架。研读现有文献可以发现, 高温脆弱性的研究主要是利用地面气象站网数据、社会经济资料、人口数据, 通过“暴露性-敏感性-适应性”思路建立综合性评价指标体系, 对高温热浪的脆弱性进行评价, 进行脆弱性区域识别, 但这方面的研究成果整体来说相对较少。自 2003 年高温热浪造成欧洲国家 7 万多人死亡后, 国际学界较为关注高温热浪事件对人类健康的影响。大量研究表明, 热浪造成的健康风险状况与人群的年龄结构、身体状况、经济条件、地理环境以及性别等因素存在较大关联。近年来, 学者们开始通过人口普查数据、社会经济数据、高温热浪相关气象数据开展研究, 主要是通过“高温胁迫-社会脆弱性-人口暴露”研究框架构建评价指标体系, 采用主成分分析、层次分析、因子分析、综合指数法等统计学工具量化高温人口健康风险, 揭示高温人口健康风险在空间上的异质性, 并制作了高温人口健康风险地图。总体来看, 在高温人口健康风险研究方面, 主要集中在中、宏观尺度, 但对于高温人口健康风险主导类型区域识别、形成机制以及影响因素等方面的挖掘仍然还不够深入。关于将高温脆弱性引进人口健康风险的研究, 起步较晚, 研究成果也较少, 较为缺乏大尺度的研究, 难以为科学制定减缓高温措施提供有力支撑[1]。

由于干旱和高温热浪的复杂性, 干热复合事件的影响评估大多侧重于从其自身角度进行的频率分析、时空变化和重现期等, 部分对干热复合事件的影响评估研究已经开始将关注点集中在其对植被、碳通量和碳循环的影响上。有学者通过 10 个最先进的陆地碳模型分析了温度和降水的极端情况以及陆地碳通量的极端变化之间是如何相互关联的, 并讨论复合事件(极端高温和干旱的复合)的影响是否超过预期的相加影响。国内外学者研究发现: 干旱和热浪通过不同的机制转化为陆地表面二氧化碳的异常净释放, 干旱显著降低初级生产总值, 降低呼吸总量; 热浪会略微降低初级生产总值, 但增加呼吸总量; 并且在热带森林中, 碳循环极端是由水的可用性所驱动的, 而在北方森林中, 温度起着更重要的作用。有学者基于太阳诱导叶绿素荧光(Solar induced chlorophyll fluorescence, SIF)和近红外反射(NIRv)数据, 计算了研究区初级生产总值 GPP (Gross Primary Productivity), 发现春季较高的气温增强了植被 GPP, 在很大程度上缓

解了夏季后热浪和干旱对植被光合作用的负面影响, 产生了明显的补偿效应; 与此同时, 温暖的春天也有滞后的影响, 因为土壤水分减少, 同时降水稀少, 导致夏季植物生长受到水分胁迫。部分学者阐述了干旱和/或高温热浪事件与碳循环的相关性, 发现在大尺度大气条件下, 干旱热浪可能逐渐展现并影响陆地碳循环。部分学者探讨了大气边界层水-热因子对热浪、干旱及其并发事件的驱动机制, 并预估了 21 世纪末全球复合灾害的风险变化及驱动力。总体来看, 国内外对干热复合指数的研究从简单的变量联合到逐步具体的指数; 对干热复合事件的影响评估趋向于通过植被等评估其对于碳通量、碳循环的影响, 但定量评估干热复合事件对植被影响的研究还较少[2] [3]。

实现碳中和目标是一项复杂且系统的大工程, 不仅要增加教育投资、改革初等学校和高等学校的人才培育体系人才培育机制, 提升学生的跨学科学习能力和国际胜任力, 为减排增汇和零碳科技领域储备并培育一大批技术型人才, 提升我国在全球气候减缓和减排增汇领域的国际话语权。

3. “碳中和”愿景下的新技术新理论发展态势

在气候变暖的背景下, 极端天气事件如暴雨、寒潮、干旱、飓风、洪涝、野火和热浪愈加频发, 对国民经济和生态系统碳汇产生了重要影响。湖北省受全球变暖影响显著, 自 1961 年以来平均气温上升了 1.6°C, 升温速为每 10 年 0.27°C, 明显高于全球平均水平。近年来, 持续高温天气过程(热浪)不断冲击我省, 2022 年夏季 36 个县(市)最高气温突破建站以来最高纪录, 全省 60.5% 的区域日最高气温超过 40°C。持续高温不仅对农业生产、电力供应和人体健康造成不利影响, 还易引发气象、水文、农业和社会经济干旱。例如, 2022 年湖北省同步发生严重伏秋冬连旱, 其中特旱等级的最大发生范围达 69.7%, 重旱及以上等级最大发生范围达 92.1%, 形成了历史罕见的热浪-干旱复合灾害[4]。

陆地生态系统碳循环是推动生态系统变化的关键物理过程, 与生态系统水循环、养分循环和生物多样性等存在着紧密关系。全球陆地生态系统是一个巨大的碳汇, 但陆地生态系统碳循环对气候变化十分敏感, 长期以来一直受到高温热浪、干旱及其复合灾害的胁迫, 该问题值得深入探讨。然而, 在气候变化的背景下, 对于高温热浪-干旱复合灾害的大气动力学成因仍然不甚明晰, 而气候系统的水碳循环变异如何传导并影响陆地生态系统尚待深入研究。学者们以全球能量收支和水分循环为观察视角, 利用卫星重力和大气再分析产品, 构建了陆地水储量亏缺与高温事件的二维诊断关系; 通过量化大气边界层水-热传输异常对极端气候灾害的驱动过程, 他们辨识了大气对流有效位能、对流抑制能、水汽辐合通量等对近地高温的影响路径。综合考虑大气湿度、土壤状况、陆地水储量等与陆地水分条件的互馈过程。研究者们进一步量化了大气热力和动力环境变化对热浪、陆地水储量亏缺并发事件的驱动机制; 通过采用日光诱导叶绿素荧光作为植被光合作用的理想探针, 结合机器学习、MODIS 探测器和通量塔观测数据, 他们实现了对热浪、干旱及其复合事件对陆地生态系统碳汇的定量胁迫诊断[5]。

在未来气候变暖的情景下, 全球水碳循环变异的机制更为复杂。部分学者依托中尺度天气气候模式和大尺度生态水文模型, 输入偏差校正后的 CMIP6 全球气候模式集合, 预估未来气候变化下的大气-气象过程; 驱动考虑水文过程的机器学习模型, 预估未来径流、地下水和陆地水储量系列; 基于全球气候模式输出, 考虑多种碳排放情景, 结合动态植被模型、全球水文模型和通用陆面模式, 估算中国伊朗地表现碳收支过程, 并定量解析预估各环节的不确定性。学者们提取气候变化下复合灾害的特征值, 优选关键热力和动力因子为协变量, 构建非一致性条件下的多变量复合灾害频率分析模型, 推导复合灾害最可能组合的计算通式, 预估未来多变量复合灾害的时空重现规律; 量化多样本、多模式、多模型、多排放情景下预估结果的不确定性, 通过多因素方差分解量化各不确定性源的相对贡献; 考虑社会经济和陆地生态系统碳收支的动态属性, 结合机器学习和时变矩模型, 提出极端水文事件对社会经济-生态系统胁迫效应的定量诊断技术[6]。

4. 面向“碳中和”目标的气候预测及减缓技术

全球变暖改变了地球陆地圈与大气圈的能量收支和水分循环过程, 导致水资源时空分布不均现象加剧。预测未来洪水风险及其对社会经济的影响, 以及如何减缓气候灾害, 是当前面临的重要难题。本文以洪水和高温热浪-干旱复合事件的未来预测为例, 简要介绍目前的气候预测和减缓技术。为了深入探索径流形成的物理机制, 一些学者首先通过机器学习模型辨识了中国径流变化的主要驱动力, 并描绘了径流对边界层水热因子的响应路径。进一步考虑下垫面产流和汇流机制, 他们提出了融合大气热动力条件和产汇流机制的深度模型。在对中国的 204 个流域进行径流模拟试验中, 研究发现物理机制约束下的深度学习模型在水文模拟效果上更为优越, 尤其适用于人类活动影响剧烈的区域。在假定不同碳排放情景和社会经济发展路径的基础上, 采用偏差校正后的最新全球气候模式集合输出驱动该水文-深度学习耦合模型, 预估了中国主要流域的未来日径流系列。通过考虑洪水事件的多变量特征属性, 采用统计学模型构建了洪水峰值和持续时间的联合分布函数。通过联合概率密度函数表征洪水事件的最可能组合, 研究评估了本世纪末中国洪水风险的变化特征。最后, 基于共享社会经济路径的动态发展指标, 量化了受洪水风险增加影响的人口和地区生产总值, 并综合评估了洪水及其社会经济风险预估的不确定性[7]。

2022 年, 北半球多国遭遇世纪性高温事件, 其中包括北美、欧洲、中东、南亚和东亚。持续的极端高温对农业生产、电力供应和人体健康带来了不利影响, 引发了气象、水文、农业和社会经济方面的干旱, 形成了热浪-干旱复合型灾害。为深入解析高温热浪-干旱复合灾害的形成机理, 一些学者从大气动力学角度出发, 研究大气边界层水-热因子对热浪、干旱及其并发事件的驱动机制, 并预估了 21 世纪末全球复合灾害的风险变化及主要驱动力。在高温环境下, 人体通常通过汗液蒸发来散发热量, 但是人体排汗速率不仅取决于气温, 还受大气湿度的影响。过去关于高温热浪事件的研究较少考虑大气湿度, 未能科学评估人体对环境温度的响应特征。该研究团队采用 ERA5 大气再分析数据集的干球温度、露点温度、气压推算相对湿度和比湿, 同时考虑湿球温度推算致病高温胁迫指数(致死性热应激), 发现自 1979 年至 2021 年, 全球大多数陆地都面临明显的变暖趋势。研究人员进一步搜集了全球 22,538 个流域的径流系列, 通过严格的质量控制, 筛选出 11,637 个受人类活动影响较小的流域。采用标准化径流指数来表征干旱特征, 为湿度胁迫下的高温热浪-干旱复合灾害提出了一种诊断方法[8] [9]。

学者们基于不同的温度指标进行了分析, 研究了大气对流有效位能、对流抑制能、整层气柱水汽含量、水汽辐合通量、比湿、相对湿度等对热浪事件的驱动机制。他们发现, 采用致病高温胁迫指数定义热浪事件时, 边界层的水热传输能力明显弱于湿球温度定义的热浪事件。受制于大气动力机制的影响, 采用致病高温胁迫指数计算的复合灾害并发概率显著高于湿球温度, 从而阐明了相对湿度对高温热浪-干旱复合灾害的重要影响。学者们进一步结合 ISIMIP3b 框架下的全球气候模式集合和流域水文模型, 预估了三个不同共享社会经济路径下全球未来时期的高温热浪、水文干旱及复合事件。采用 Copula 函数分析了复合灾害风险变化, 发现本世纪末全球大多数流域的复合灾害风险将显著增加, 其中高排放情景下的增加幅度最高。主要驱动力为热浪事件的强度增大, 预示未来极端气候灾害预测技术需要进一步融合物理机制[10] [11] [12]。

总体来看, 国内外对于干热复合指数的研究从简单的变量联合到逐步具体的指数; 对于干热复合事件的影响评估趋向于通过植被等评估其对于碳通量、碳循环的影响, 但定量评估干热复合事件对植被影响的研究还较少, 碳中和相关的净零排放及气候减缓技术还较为缺乏。

5. 面向“碳中和”战略目标的本科生拔尖创新人才培养机制

结合武汉大学水利水电学院的实际情况, 拔尖创新人才培养需要构建复合型、宽视野和跨学科的人才属性, 可以从以下几方面着手培养拔尖创新人才:

(1) 优化本科专业设置: 不断优化和更新水利水电学科的本科专业设置, 确保专业与时俱进, 切实满足“碳达峰碳中和”等新兴技术领域的迫切需求。

(2) 强化实践教学: 加强实践教学环节, 提供实际项目参与和实地实习的机会, 使学生能够更好地将理论知识应用于实际工程问题。

(3) 拓展国际交流: 推动学生与国际水利水电领域的高水平研究机构建立联系, 提供国际化的学术交流平台, 促进国际经验和资源的共享。

(4) 加强科研导向: 鼓励学生参与科研项目, 培养其独立思考和解决问题的能力, 提升学生在“碳中和”等领域的科研创新水平。

(5) 提升师资水平: 进行师资队伍的培训 and 引进, 确保教师具备“碳中和”领域的专业知识和实践经验, 为学生提供高质量的教学资源。

(6) 建立产学研一体化机制: 加强与行业和合作, 建立产学研一体化的机制, 使学生能够更好地融入实际工程实践, 增强实际操作能力。

通过以上方面的努力, 武汉大学水利水电学院可以更好地适应“碳中和”战略目标的需求, 为培养高水平的水利水电工程专业人才做出更大贡献。

6. 面向“碳达峰碳中和”战略目标的研究生拔尖创新人才培养机制

为了培养创新能力强的新时代研究生, 结合武汉大学水利水电学院的具体情况, 建议开设“碳达峰碳中和”相关的公开课。这些课程应该紧密围绕国家“碳达峰碳中和”战略目标, 与英国牛津大学合作, 联合创新国际化教学方法, 优化武汉大学水文水资源专业博士生培养体系, 激发研究生的创新潜能, 培养具有国际视野的拔尖创新人才, 以更好地服务国家战略, 联合创新国际化教学方法, 优化武汉大学水利学科的研究生课程体系, 激发研究生的创新潜能, 产出高水平原创研究成果, 培养一批具有国际视野的拔尖创新人才, 以更好地服务“碳达峰碳中和”、“一带一路”和“长江经济带发展”等国家战略。通过问题式、探究式、跨学科等先进教学手段, 引导研究生围绕“全球变化与水碳循环”领域提出科研选题, 结合授课教师团队承担的国家级研究课题设计教学案例, 提高研究生在“双碳”领域的原始创新能力; 通过引入国际碳中和领域的知名学者参与授课, 提高研究生的国际视野和跨学科研究能力。充分发挥课程建设“主战场”在研究生思想政治工作中的作用, 将思想政治教育融入《全球变化与水碳循环研究前沿》课程教学各环节、贯穿人才培养全过程。在绪论及中国碳交易市场等章节的教学中, 以全国高校思想政治工作会议上的重要讲话精神为指导, 结合“碳达峰碳中和”国家重大战略开展课堂教学, 以社会主义核心价值观为灵魂和主线, 坚持价值引领、能力培养和知识传授有机融合, 各类课程与思想政治理论课同向同行, 形成协同效应。

在全球碳中和与碳关税等章节的教学中, 融入习近平总书记给武汉大学参加中国南北极科学考察队师生代表的重要回信精神, 在碳中和知识传授中强调青年学生国际胜任力的价值引领, 结合中国近年来在减排增汇与碳关税谈判方面取得的重大成就, 挖掘思想政治教育元素并融入教学环节。在水碳循环与水碳耦合前沿等章节的教学中, 有效结合水利学科特色, 紧紧围绕坚定研究生理想信念, 以爱党、爱国、爱社会主义、爱人民、爱集体为主线, 系统进行中国特色社会主义和中国梦教育、社会主义核心价值观教育、法治教育、劳动教育、心理健康教育、中华优秀传统文化教育, 引导研究生提升跨学科创新能力, 为解决全球气候变化的国际难题贡献科学青春智慧。本课程从价值塑造、能力培养、知识传授三个方面落实立德树人根本任务和学校人才培养目标, 以立德树人为根本, 深度挖掘水碳循环课程中蕴含的思想政治教育元素和所承载的思想政治教育功能, 使思想政治教育融入人才培养全过程, 实现思想政治教育与知识体系教育的有机统一。预计在教育教学理论、知识产权成果、高水平学术论文和人才培养等多个方面取得成果。

7. 面向青少年的“碳中和”科学传播及后备人才培养机制

中国未来的碳中和目标不仅需要全球气候治理的支持,更需要我国在碳减排理论和相关技术研究方面培养具备国际视野的创新人才。青少年是国家未来发展的生力军,培养他们对碳中和理念的认知、创新思维的锤炼以及绿色发展意识的培养,对实现碳中和目标至关重要,通过科学传播促进拔尖创新人才后备力量培养。本节将探讨在长江中游城市群开展的面向青少年的“碳中和”科学传播及后备人才培养机制。

(1) 长江中游城市群作为试点

长江中游城市群作为我国碳中和战略的重要区域,集聚了丰富的科教资源和绿色经济实践,是理想的试点地区。该地区通过大力发展绿色经济、建设水电能源基地、推进科技创新集群,将在中国碳中和实施进程中发挥关键作用。因此,我们选择在长江中游城市群展开“碳中和”科学传播及后备人才培养计划,旨在为全国范围提供可复制、可推广的经验。

(2) 以点带面的宣传方式

采取“以点带面-区域宣传-辐射全域”的科学传播方式,我们将以长江中游城市群中小学校为点,组织高等学府的专家学者前往典型中小学校,举办高水平科普讲座。这将为青少年提供直接接触碳中和理念和科技前沿的机会,激发他们对碳中和事业的兴趣。

(3) 线上线下的碳中和体验营

为适应青少年的特点,我们将设立净零排放线上体验营。通过多媒体视频、互动游戏、有奖竞猜等形式,我们将以寓教于乐的方式提高青少年对国家碳中和战略的理解。线下体验营将提供实地观察和实践机会,让学生更加深入地了解碳中和技术和实践。

(4) 提升气候环保知识,助力“碳达峰碳中和”国家战略

为了进一步扩大宣传效果,我们计划创立面向青少年的碳中和宣传网站。该网站将成为一个集科普知识、实践体验和交流互动于一体的平台,提高科普宣传活动的覆盖面。在长江中游城市群的典型中小小学,我们将组织气候知识趣味竞赛,通过线上-线下的形式激发中小学生对全球气候变化知识的兴趣。同时,借助武汉大学的科教资源,我们将开展净零排放体验活动,提高青少年的水资源保护意识。

(5) 科技创新培育与跨学科研究

为培养中小学生的科技创新意识,我们将发挥武汉大学的跨学科优势,研究中国长期低碳发展战略与转型路径。同时,我们将探索面向中小学校的科技体验营常态化运行机制,为有条件的中小学提供一定的优质科教资源。

8. 结语

针对“碳达峰碳中和”和长江大保护等国家重大战略,亟须提出具有社会主义特色的高水平创新人才培养体系人才培养机制。以武汉大学水利水电学院为例,建议基于“首推创新、推动创业”的双创育人理念,贯穿高质量人才培养的“产学研用”链路,积极支持并促进学生的就业和创业工作。在水利工程领域,人才培养应该紧密结合具体的工程案例实践,建议与长江电力、长江科学院、黄河水利委员会等单位展开深度合作。通过校企联合培养、国内国外协同指导等多渠道,通过构建多学科交叉融合的课程体系、多方位的协同育人平台和多样化的教学模式,打造水利类学生的新型协同培养模式。为更好地适应武汉大学新工科建设的实际需求,提倡遵循复合应用型拔尖创新人才的培养目标。通过推进工程教育与国际接轨,提升武汉大学水利专业人才培养的质量,为实现“碳达峰碳中和”战略目标培养一大批卓越人才。结合水利行业的需求,提出倡导依托“未来地球”科技攻关项目,通过跨学科的国际合作、

参与国际学术会议和创新创业赛事等途径,提升学生的国际化视野和跨学科持续创新能力。同时,建议加强“碳中和”科学传播的力度,培养更多具备“碳中和”知识和专业技能的创新型人才,使其成为未来碳中和事业的积极推动者。

基金项目

武汉大学“教育教学改革”建设引导专项(本科教育质量建设综合改革子项目)、武汉大学学位与研究生教育教学改革研究项目、武汉大学研究生导师育人方式创新项目、武汉大学研究生研究学分课程建设项目等资助。

参考文献

- [1] Yin, J., Gentine, P., Slater, L., *et al.* (2023) Future Socio-Ecosystem Productivity Threatened by Compound Drought-Heatwave Events. *Nature Sustainability*, **6**, 259-272. <https://doi.org/10.1038/s41893-022-01024-1>
- [2] Yin, J. and Slater, L. (2023) Understanding Heatwave-Drought Compound Hazards and Impacts on Socio-Ecosystems. *The Innovation Geoscience*, **1**, Article ID: 100042. <https://doi.org/10.59717/j.xinn-geo.2023.100042>
- [3] 杨远航, 尹家波, 郭生练, 等. 中国陆域干旱演变预估及其生态水文效应[J]. 科学通报, 2023, 68: 817-829.
- [4] 顾磊, 陈杰, 尹家波, 等. 气候变化下中国主要流域气象水文干旱潜在风险传播[J]. 水科学进展, 2021, 32(3): 321-333.
- [5] Yin, J., Guo, S., Yang, Y., Chen, J., Gu, L., Wang, J., He, S., Wu, B. and Xiong, J. (2022) Projection of Droughts and Their Socioeconomic Exposures Based on Terrestrial Water Storage Anomaly over China. *Science China Earth Sciences*, **65**, 1772-1787. <https://doi.org/10.1007/s11430-021-9927-x>
- [6] 尹家波, 郭生练, 王俊, 等. 全球极端降水的热力学驱动机理及生态水文效应[J]. 中国科学: 地球科学, 2022: 1-19.
- [7] Kang, S., Yin, J., Gu, L., *et al.* (2023) Observation-Constrained Projection of Flood Risks and Socioeconomic Exposure in China. *Earth's Future*, **11**, e2022EF003308. <https://doi.org/10.1029/2022EF003308>
- [8] Yin, J., Slater, L., Gu, L., *et al.* (2022) Global Increases in Lethal Compound Heat Stress: Hydrological Drought Hazards under Climate Change. *Geophysical Research Letters*, **49**, e2022GL100880. <https://doi.org/10.1029/2022GL100880>
- [9] 尹家波, 郭生练, 顾磊, 等. 中国极端降水对气候变化的热力学响应机理及洪水效应[J]. 科学通报, 2021, 66(33): 4315-4325.
- [10] 尹家波, 郭生练, 吴旭树, 等. 两变量设计洪水估计的不确定性及其对水库防洪安全的影响[J]. 水利学报, 2018, 49(6): 715-724.
- [11] 尹家波, 郭生练, 杨妍, 等. 基于陆地水储量异常预估中国干旱及其社会经济暴露度[J]. 中国科学: 地球科学, 2022, 52(10): 2061-2076.
- [12] Yin, J., Guo, S., Wang, J., Chen, J., Zhang, Q., Gu, L., Yang, Y., Tian, J., Xiong, L. and Zhang, Y. (2023) Thermodynamic Driving Mechanisms for the Formation of Global Precipitation Extremes and Ecohydrological Effects. *Science China Earth Sciences*, **66**, 92-110. <https://doi.org/10.1007/s11430-022-9987-0>