

算法模型揭示珠三角碳、氮、磷循环奥秘， 为流域精准治理提供科技支撑

■广东工业大学 解玉磊

在全球气候变化与高强度人类活动交织的背景下,流域如何维持其生态系统的活力与稳定,已成为区域可持续发展的核心命题。其中,碳、氮、磷作为生命与环境的基石元素,它们的循环过程如同自然界的“呼吸”与“脉搏”,其平衡与否直接关系到水环境安全、土壤健康乃至气候调节。在此背景下,我们以珠江流域52个采样点样本,创新性地构建了机器学习、约束线耦合模型,首次精准量化了环境因子对碳、氮、磷空间分布的约束效应与调控潜力,清晰揭示了气候变化与土地利用在元素循环中的差异化主导角色,为正处于高速发展的粤港澳大湾区破解环境治理难题、推进绿美广东生态建设提供了全新的科学视角与精准的决策罗盘。

困境与突破:从“识别参与者”到“预判游戏规则”的科学跨越

要深度解析流域生源要素的迁移转化过程,首先必须回答一个根本性问题:究竟是哪些因素在主导碳、氮、磷的空间分布?它们各自的影响力有多大?过去,科学研究多依赖于传统回归分析或机器学习模型来评判环境驱动因子的“重要性”。这好比在一场比赛中,仅能识别出哪些球员在场上

以及谁触球的次数最多,但无法知晓哪位球员的战术改变能最大程度影响比赛结局。传统方法的局限在于,它往往忽视了环境因子与元素浓度之间普遍存在的非线性、边界性关系。如同降水量增加对水体磷浓度的提升效应,并非直线上升,可能存在一个临界点,超过之后影响会陡然加剧或减弱。这种“天花板”效应,是传统重要性指标难以捕捉的。

为了突破这一瓶颈,我们创造性地将机器学习模型与约束线理论相结合。该模型不仅能像过去一样给出因子的重要性排名,更能通过绘制环境因子与元素浓度的边界线,首次量化出每个因子的“变量潜能”——即该因子在发生变化时,对元素浓度所能造成最大潜在影响范围或改变边界的能力。“变量潜能”这个概念,让我们从静态的重要性判断,迈向了动态的调控潜力评估。它告诉我们,改变哪个“开关”,能最有效地撬动整个系统,实现生态效益的最大化。

潜力性发现:被低估的“幕后导演”——土地利用

应用模型对珠江流域水、土、植被三大介质中九种环境驱动因子进行精细解码后,得出了若干颠覆传统认知的结论。其

中最引人注目的,是不同土地利用这一因子角色的重新定位。在随机森林模型给出的重要性排名中,土地利用的表现并不突出,甚至未能通过部分显著性检验。然而,在“变量潜能”的评估中,土地利用却异军突起,对水体有机碳、土壤总磷等绝大多数元素的分布展现出最高的调控潜力。这一发现具有深刻的政策含义,它意味着,从长远和根本上看,科学规划和优化土地利用结构,其生态效益可能远超短期的、末端的污染治理。土地利用就像是一个幕后导演,它本身不直接产生碳、氮、磷,但它通过改变植被类型、施肥水平、地表径流、污染物输入等直接过程,设定了这些元素循环的“舞台规则”和“表演边界”。

因此,未来的流域管理,应将国土空间规划提升到更核心的战略位置。通过合理划定农业、生态、城镇空间,优化农业种植模式、保护并修复生态绿地、控制城市无序扩张,可以从源头上、格局上更有效地调控流域内的元素循环,特别是缓解普遍存在的磷限制压力,这是一种更具前瞻性和根本性的治理策略。

双雄并立:气候因子的强大“约束力”

研究在揭示土地利用潜力的同时,也确认了气候因子的强

大现实影响力。降水和温度被证实是对碳、氮、磷空间分布格局约束能力最强的因子。这意味着气候因子为元素浓度设定了一个非常清晰且难以逾越的“天花板”,其变化严格受制于降水与温度的格局。这清晰地表明,在全球气候持续变化的背景下,珠江流域的元素地球化学循环将不可避免地受到深刻影响。极端降雨事件的频发、气温的波动,都可能直接冲击流域的生态平衡与水环境安全。这一发现从科学上凸显了应对气候变化的紧迫性,以及将气候变化因素纳入环境风险评估与流域综合规划的必要性。

失衡的循环:人类活动如何拆解元素“同盟”

一个健康的生态系统,其碳、氮、磷循环往往是协同变化的命运共同体,即存在耦合关系。然而,通过模型深入剖析后发现,在人类活动的强烈干扰下,这种同盟关系正变得脆弱甚至破裂。分析表明,在人均生产总值、夜间灯光指数这些社会经济因素驱动强烈的区域,土壤中的氮与磷、水体中的总磷与总有机碳之间,出现了显著的解耦现象。原本协同变化的“伙伴”关系被打破,意味着生态系统的物质循环流程受阻或发生紊乱,这通常是生态系统退化或失衡的前兆。

这种解耦现象与快速的城镇化进程和密集的工农业生产密切相关。例如,在珠三角核心区,多元且剧烈的污染排放源,打破了自然状态下元素循环的固有节律。据此,研究提出了分区精准治理的建议:在流域上游植被覆盖较好的地区,应重点实施保磷策略,减少水土流失与磷的输出;而在下游高度城镇化的河口区域,则需采取氮磷双控的严格措施,对工业、农业和生活源进行综合治理,以修复失衡的元素循环。

该项研究的价值,不仅在于深化了对珠江流域这一复杂巨系统内在运行规律的理解,更在于它将复杂的科学机理转化为清晰、可操作的决策依据。其所倡导的“重视土地利用长期规划的根本性效能”与“关注气候变化持续而强大的约束压力”的双核心理念,对于正致力于高质量发展与绿美广东生态建设的粤港澳大湾区而言,恰逢其时。随着更高分辨率、更长序列的监测数据的积累,以及大数据、人工智能技术的深度融合,科学家们将能更动态、更精准地模拟和预测流域生态系统的行,为广东乃至全国的区域可持续发展提供更强大的科技支撑。

刘光荣遗失广州市南沙区农业农村局于2025年2月25日核发的海洋渔业职务证书助理船副,编号:510113196706121557,现声明作废。

揭阳市立斌电子商务有限公司遗失公章,财务章,法人章各一枚,现声明作废。

遗失声明:钟静雯于2025年12月10日不慎遗失身份证件,证号:44122420041203****,现声明作废。

遗失声明:赖嘉辉于2025年11月26日,不慎遗失身份证件,证号:445321198606060659,现声明作废。

遗失声明:李会多于2025年12月1日不慎遗失身份证件,证号:44122419670223****,现声明作废。

本人毛福康警官证丢失,警号:030195,特此声明作废。2025年12月12日。

周*身份证件遗失,证号:4452*****23,自见报之日起不承担被人冒用而引发的一切法律责任,特此声明。

崔世友遗失政府专职消防员证,证号:政消字第070338号,声明作废。

广州益威恩生物科技有限责任公司遗失营业执照副本,统一社会信用代码:91440101MA59FXN02L,声明作废。

湛江市远洋渔业经贸有限公司遗失公章一枚,湛江市市场监督管理局签发的营业执照正、副本(统一社会信用代码:91440800MA57YKNGX5),声明作废。

湛江市乡镇企业联合公司金属经销部遗失公章一枚,湛江市赤坎区市场监督管理局于1995年7月17日签发的营业执照正、副本(注册号:19449556-5),声明作废。

湛江市轻质建筑材料厂遗失湛江市赤坎区市场监督管理局签发的营业执照正、副本(统一社会信用代码:91440802194384208J),声明作废。

湛江市对外加工装配服务公司遗失湛江市市场监督管理局签发的营业执照正、副本(统一社会信用代码:91440800MAA4C7CF2W),声明作废。

湛江市远洋渔业发展公司遗失湛江市市场监督管理局签发的营业执照正、副本(统一社会信用代码:91440800MA57YN6B9W),声明作废。

广东湛江华粤公司遗失湛江市市场监督管理局签发的营业执照正、副本(统一社会信用代码:91440800MA57XUH02N),声明作废。

湛江市林业物资公司贸易部遗失公章一枚、湛江市市场监督管理局签发的营业执照正、副本(统一社会信用代码:91440800MA57YENC03),声明作废。

湛江市林业物资公司遗失公章一枚、湛江市市场监督管理局签发的营业执照正、副本(统一社会信用代码:91440800MA57XW528T),声明作废。

湛江市农房建材成套供应公司建材部遗失公章一枚、湛江市市场监督管理局签发的营业执照正、副本(统一社会信用代码:91440800MA57YJJA3M),声明作废。

湛江市农房建材成套供应公司遗失湛江市市场监督管理局签发的营业执照正、副本(统一社会信用代码:91440800MA57YRJQXA),声明作废。

湛江市乡镇企业发展公司贸易一部遗失公章一枚、湛江市市场监督管理局签发的营业执照正、副本(统一社会信用代码:91440800MA57YTY5T73W),声明作废。

湛江市三园书店遗失公章一枚、湛江市市场监督管理局签发的营业执照正、副本(统一社会信用代码:91440800MA57Y5T73W),声明作废。

湛江市农房建材成套供应公司遗失湛江市市场监督管理局签发的营业执照正、副本(统一社会信用代码:91440800MA57Y235J3),声明作废。

湛江市乡镇企业发展公司贸易一部遗失公章一枚、湛江市市场监督管理局签发的营业执照正、副本(统一社会信用代码:91440800MA57Y46H6P),声明作废。

湛江市乡镇企业生产资料公司经营部遗失公章一枚、湛江市市场监督管理局签发的营业执照正、副本(统一社会信用代码:91440800MA57Y5204G),声明作废。

湛江市远洋渔业发展公司渔船服务部遗失公章一枚、湛江市市场监督管理局签发的营业执照正、副本(统一社会信用代码:91440800MA57Y507Y),声明作废。

湛江市新骏业电子实业有限公司遗失湛江市市场监督管理局签发的营业执照正、副本(统一社会信用代码:91440800MA57XX5JXK),声明作废。

湛江市乡镇企业环球实业公司遗失公章一枚、湛江市市场监督管理局签发的营业执照正、副本(统一社会信用代码:91440800MA57YAPX4R),声明作废。

湛江市乡镇企业联合公司遗失公章一枚、湛江市市场监督管理局签发的营业执照正、副本(统一社会信用代码:91440800MA57Y1EMXT),声明作废。

湛江鸿丰酒店遗失湛江市市场监督管理局签发的营业执照正、副本(统一社会信用代码:91440800MA57Y8F053),声明作废。

湛江市林业物资公司经营部遗失公章一枚、湛江市市场监督管理局签发的营业执照正、副本(统一社会信用代码:91440800MA57Y6B9W),声明作废。

管理局签发的营业执照正、副本(统一社会信用代码:91440800MA57XYWX9E),声明作废。

湛江市农村信用合作联社石岭信用社基本户开户许可证1份,核准号J5912001678501,声明作废。

遗失声明:陈豪于2025年12月16日不慎遗失身份证件,证号:441224*****7011,现声明作废。

惠州鹏成建筑工程有限公司遗失公章一枚,现声明作废。

遗失声明:深圳回响体育文化发展有限公司遗失已盖财务专用章的空白收款收据10本,收据编号:711641至711740,711781至711880,共200份收据,现声明作废。

广东省汕头市潮阳区西胪镇正电器门市,遗失公章一枚,现声明作废。

遗失声明:陈豪于2025年12月1日不慎遗失身份证件,证号:44022320030808****,现声明作废。

袁永梅身份证件遗失,证号:50023419960217****,自见报之日起不承担被人冒用而引发的一切法律责任,特此声明。

唐浴鹃遗失《医师资格考试报名暨授予医师资格申请表》,编号:2023441104082199803156883,现声明作废。

深圳市喜点文化策划有限公司,统一社会信用代码:91440300MA5H8A491M,现经股东会决议,拟将原注册资本从人民币100万元减至20万元人民币,请债权人见报45天内向本公司申报债权,本公司承诺对原注册资本内的债务承担清偿责任,股东承担连带责任。联系人易银芳,电话:13128800114,地址:深圳市龙华区民治街道新牛社区民治大道牛栏前大厦B514-25。

作废。

廉江市石岭胡氏种养专业合作社遗失廉江市农村信用合作联社石岭信用社基本户开户许可证1份,核准号J5912001678501,声明作废。

遗失声明:陈豪于2025年12月16日不慎遗失身份证件,证号:441224*****7011,现声明作废。

惠州鹏成建筑工程有限公司遗失公章一枚,现声明作废。

遗失声明:深圳回响体育文化发展有限公司遗失已盖财务专用章的空白收款收据10本,收据编号:711641至711740,711781至711880,共200份收据,现声明作废。

广东省汕头市潮阳区西胪镇正电器门市,遗失公章一枚,现声明作废。

遗失声明:陈豪于2025年12月1日不慎遗失身份证件,证号:44022320030808****,现声明作废。

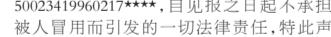
袁永梅身份证件遗失,证号:50023419960217****,自见报之日起不承担被人冒用而引发的一切法律责任,特此声明。

唐浴鹃遗失《医师资格考试报名暨授予医师资格申请表》,编号:2023441104082199803156883,现声明作废。

深圳市喜点文化策划有限公司,统一社会信用代码:91440300MA5H8A491M,现经股东会决议,拟将原注册资本从人民币100万元减至20万元人民币,请债权人见报45天内向本公司申报债权,本公司承诺对原注册资本内的债务承担清偿责任,股东承担连带责任。联系人易银芳,电话:13128800114,地址:深圳市龙华区民治街道新牛社区民治大道牛栏前大厦B514-25。

跑政通:全国登报、公证认证、公众号迁移、AAA信用认证、企业信用修复、律师函代发、翻译、正规备案刻章,一键式线上办理,咨询热线:

4001081766、17364579989



跑政通