



利用 NMT、imOmics 和 GiP 国自然申请指南 (2)

按科学部与学科板块分类

许越

1. 中关村旭月非损伤微测技术产业联盟，中国，北京 100080
2. NMT 国际联盟，南迪尔菲尔德，美国马萨诸塞州 01373

通讯作者：许越，jeff@xuyue.net

摘要

本指南旨在为国家自然科学基金（NSFC）的申请者提供一份前瞻性、系统性的战略框架。当前，生命科学及相关交叉学科正经历从“静态描述”到“动态调控”的范式革命。本指南以三大支柱为核心：旭月非损伤微测技术（NMT）作为国际领先的原创性技术平台，imOmics（动态离子分子组学）作为突破性的科学理论框架，以及 GiP（全球离子分子组学计划）作为掌握全球科技领域话语权的国家级战略。通过将这三者有机结合，申请者能够显著提升项目的前沿性、创新性和战略价值。本指南将详细阐述如何在基础科学、技术科学、生命与医学、交叉融合四大科学部板块中，构建基于 NMT、imOmics 和 GiP 的创新性研究课题，并提供了具体的研究方向、设计思路和图文示例，旨在最大限度地提高 NSFC 项目的申请成功率，并推动我国在相关领域的原始创新和国际引领。

1. 引言：NMT、imOmics 与 GiP 的战略铁三角

在当前国际科技竞争日趋激烈的背景下，国家自然科学基金愈发重视项目的原始创新能力、多学科交叉属性以及服务国家重大战略需求的潜力。为此，本指南提出一个由“技术创新平台”“科学理论突破”和“国际话语权战略”构成的“战略铁三角”申请框架，旨在帮助申请者构建具有强大竞争力的研究项目。



测样咨询

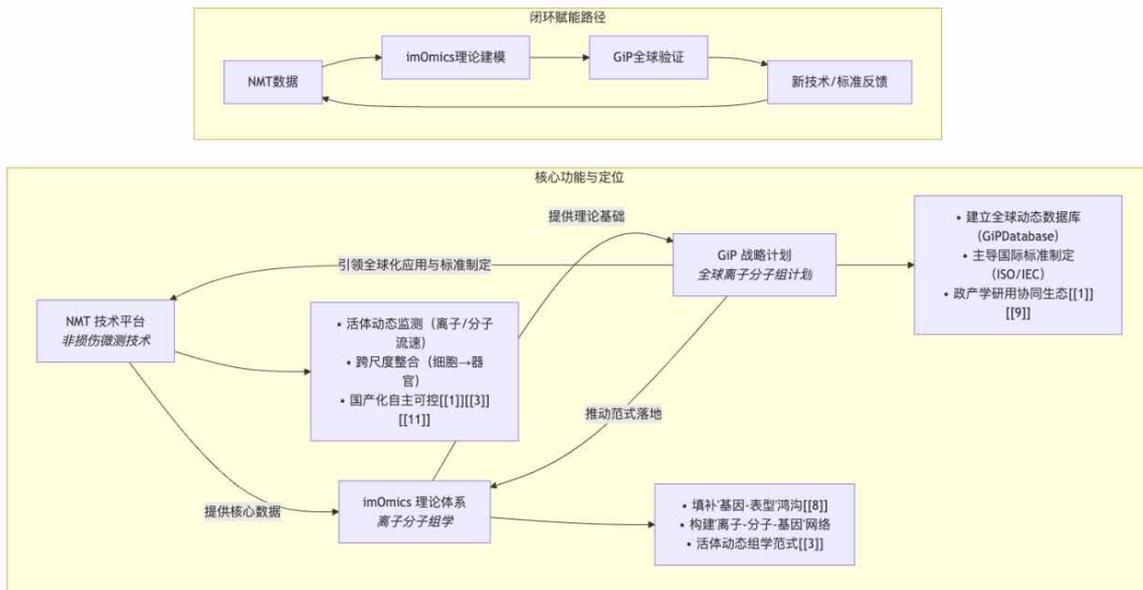


图 1: NMT (技术)、imOmics (理论) 与 GiP (战略) 构成的“战略铁三角”关系。NMT 为 imOmics 提供核心数据, imOmics 为 GiP 提供理论基础, GiP 则引领 NMT 技术和 imOmics 理论的全球化应用与标准制定。

1.1 NMT: 活体动态监测的技术基石

非损伤微测技术 (NMT) 是我国拥有自主知识产权、实现“自主可控”并引领国际的高端科研仪器技术^[1]。它能够对活体样本 (从单细胞、组织到器官) 表面的离子、分子流速进行实时、原位、动态、定量的检测, 具有非侵入性、高灵敏度和多参数同步测量的独特优势^[2]。NMT 技术不仅是实验工具, 更是获取生命系统动态信息的“眼睛”, 是所有后续理论创新和战略布局的技术基石。

1.2 imOmics: 从静态描述到动态调控的理论突破

imOmics (动态离子分子组学) 是基于 NMT 技术产生海量动态数据而诞生的新兴交叉学科^[3]。它突破了传统组学 (如基因组学、蛋白质组学) 主要进行“静态”描述的局限, 通过整合离子流、分子流与代谢流等动态信息, 致力于揭示生命系统在应激反应、发育分化、疾病发生等过程中的实时调控网络和因果关系链^[4]。imOmics 代表了生命科学研究从“描述性”向“预测性”转变的重大范式革命^[5], 为各类 NSFC 申请提供了全新的科学理论视角和切入点。

1.3 GiP: 抢占全球科技制高点的国家战略

全球离子分子组学计划 (GiP) 是以 NMT 技术为核心、imOmics 理论为引领, 由我国科学家倡导并发起的国际大科学计划^[6]。其目标是构建全球首个跨物种、跨尺度的活体动态数据库 (GiP Database), 主导相关技术的国际标准制定 (如 ISO/IEC 国际标准), 并建立“政-产-学-研-用”协同创新的全球生态^[7]。将 NSFC 项目与 GiP 的国家战略目标相结合, 不仅能彰显研究的宏大视野和重要价值, 更能契合国家抢占未来科技竞争制高点的战略布局, 从而获得评审专家的高度认可。



订阅本刊

1.4 “技术 - 理论 - 战略” 三位一体的国自然申请新范式

在 NSFC 申请中，将这三者结合，可以构建一个逻辑严密、层层递进的强大叙事框架：

- **立项依据的先进性：**以 imOmics 理论作为前沿科学问题，阐述传统静态研究的局限性。
- **研究手段的创新性：**采用我国原创的 NMT 技术作为核心研究手段，确保了技术方案的先进性和独特性。
- **科学意义与价值的深远性：**将研究成果与 GiP 的国家战略和全球目标对接，强调研究不仅能解决具体科学问题，还能为我国主导的国际大科学计划贡献数据、模型或标准，体现了申请者的战略格局。

2. 基础科学板块：拓展 NMT 与 imOmics 的理论边界

尽管 NMT 技术目前主要应用于生命科学领域，但其基于物理化学原理的特性，以及产生高时空分辨率数据的能力，为基础科学研究提供了丰富的交叉融合机遇。在这一板块申请 NSFC，核心思路是“反哺归源”，即利用生命科学问题中获取的 NMT 数据，推动基础学科的理论和方法创新。

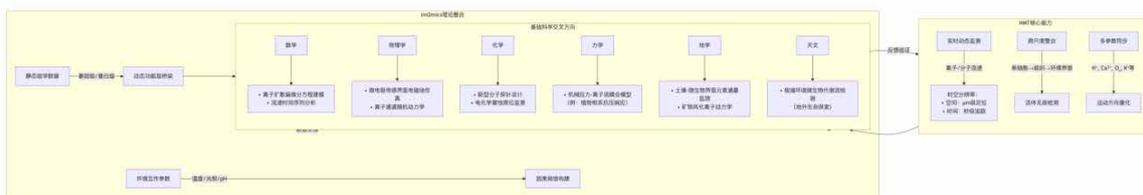


图 2：NMT 与 imOmics 在基础科学板块的潜在交叉研究方向。

2.1 数学与物理学：构建生命动态过程的数学物理模型

NMT 技术能够捕捉到离子在微米尺度、秒级时间分辨率下的扩散和流动过程，这为数学和物理学研究者提供了前所未有的高质量实验数据。

研究方向建议：

1. **偏微分方程 (PDEs) 建模：**NMT 的测量原理基于菲克扩散定律^[8]。可以针对复杂的生物结构（如细胞壁、组织间隙）和动态边界条件，建立和求解更为精准的反应 - 扩散方程组，用以描述离子在细胞微环境中的时空动力学。
2. **随机过程与统计物理：**离子通道的开放和关闭本质上是随机过程。可以利用 NMT 测得的局部离子流涨落数据，建立随机模型，研究离子通道蛋白的构象变化动力学，并与分子动力学模拟结果进行相互验证。
3. **计算物理学与反问题：**从 NMT 测量的体外离子流速数据，反演出细胞膜上离子通道或转运蛋白的精确空间分布和活性强度。这是一个典型的数学物理反问题，具有重要的理论和应用价值。

2.2 化学：面向新分子和新材料的分析化学新方法

NMT 的核心是离子 / 分子选择性微电极。化学学部，特别是分析化学和材料化学方向，可以在此基础上



大有可为。

研究方向建议：

1. 新型分子传感器的创制：设计和合成对特定生物小分子（如神经递质、活性氧 ROS/RNS、植物激素、药物分子）具有高选择性和高灵敏度的液相或固相离子选择性膜材料，从而极大拓展 NMT 的可检测分子范围。
2. 电化学界面过程研究：NMT 可用于研究电化学过程的动态性。例如，实时监测金属材料在特定腐蚀环境下的离子溶出速率和局部 pH 变化^[9]，为腐蚀科学提供原位、动态的研究新手段。
3. 活体分析化学：将 NMT 与质谱、光谱等其他分析技术联用，开发多模态的活体原位分析平台，实现对生命活动中化学物质“流量”和“存量”的同步动态表征。

2.3 力学：揭示力 - 化学信号转导的动态规律

生命系统中，力学信号与化学信号的耦合至关重要（如细胞对基质硬度的感知、血压对血管壁的剪切力等）。NMT 为研究这一交叉领域提供了理想工具。

研究方向建议：

1. 生物力学与离子通道：构建“力学加载 - NMT 监测”同步系统，研究机械应力（拉伸、压缩、流体剪切）如何激活细胞膜上的机械敏感性离子通道（如 Piezo 通道），并定量分析力学刺激强度与离子（如 Ca^{2+} ）内流速率之间的函数关系。
2. 细胞骨架动力学与离子流：研究细胞在迁移或形变过程中，由细胞骨架重组引起的局部膜张力变化，如何调控离子进出细胞的动态过程，从而揭示力学 - 化学信号在细胞运动中的协同作用。

2.4 地球科学与天文学：探索宏观世界的微观离子活动

虽然目前 NMT 在地学和天文学领域尚无直接应用，但其原理可以启发新的研究范式，尤其是在与生物和环境交叉的领域。

研究方向建议：

1. 生物地球化学循环：在受控的微宇宙（Microcosm）实验中，利用 NMT 实时监测土壤 - 微生物 - 植物根系界面关键元素（如 N, P, K, Fe）的离子交换通量，为理解全球元素循环的微观驱动机制提供直接证据。
2. 矿物风化与土壤形成：设计实验模拟不同酸碱和有机酸环境下矿物的化学风化过程，利用 NMT 原位监测矿物表面离子的溶出速率，定量评估生物活动对成土过程的影响。
3. 极端环境生命：对于地外生命探索（天体生物学），NMT 可作为一种潜在技术，用于未来探测任务中分析极端环境（如盐湖、热泉）中微生物垫的代谢活动，通过检测其离子交换来判断生命迹象。



订阅本刊

3. 技术科学板块：赋能国家战略性新兴产业

技术科学部是连接基础研究与产业应用的桥梁。NMT、imOmics 和 GiP 为信息、材料、工程等领域提供了明确的应用需求和发展方向。

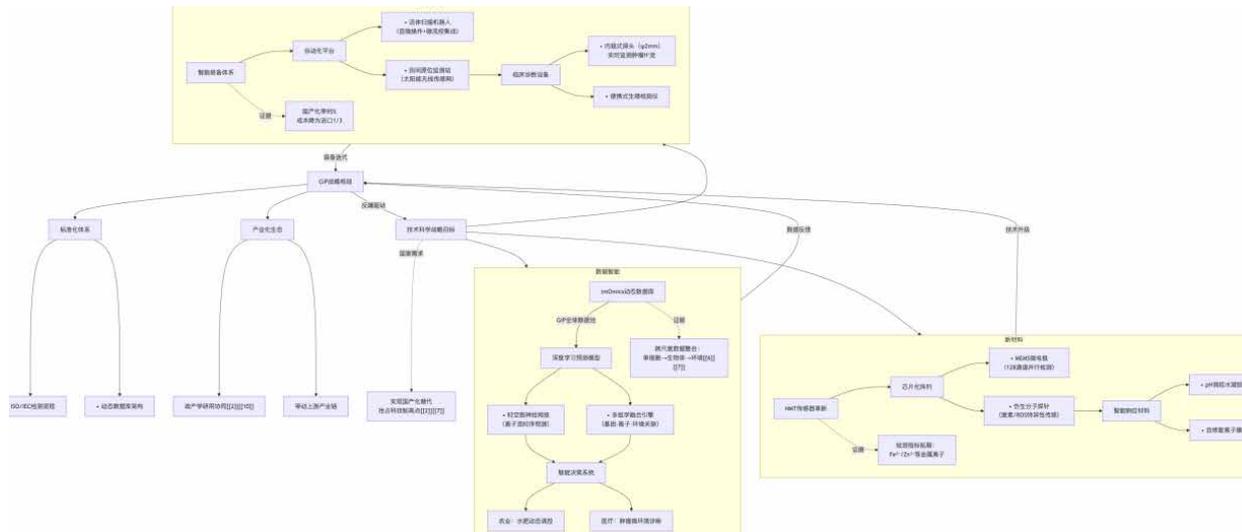


图 3: NMT 与 imOmics 在技术科学板块的核心研究方向, 旨在推动数据智能、新材料和高端装备的发展。

3.1 信息科学：挖掘 imOmics 大数据中的科学规律

imOmics 研究将产生海量的、高维度的时空动态数据^[10]。如何从这些数据中提取有价值的信息，是信息科学面临的挑战和机遇。

研究方向建议：

1. AI 驱动的预测生物学：开发基于深度学习（如时空图神经网络，STGNN）的算法，用于分析 imOmics 数据，识别不同离子 / 分子流之间的动态关联模式，预测生命系统在特定扰动下的功能响应^[11]。
2. 多组学数据融合与可视化：建立能够整合 imOmics、基因组学、转录组学、代谢组学数据的多尺度动态模型。开发交互式、多维度的可视化软件，将离子流数据动态地呈现在细胞或组织的三维结构上^[12]。
3. GiP 数据库构建与数据标准：参与 GiP 全球数据库的顶层设计，研究活体动态数据的标准化流程、数据确权、安全共享（如区块链技术）等关键技术问题，为我国主导国际数据规则制定提供技术支撑^[13]。

3.2 工程与材料科学：研发新一代传感器与功能材料

NMT 系统的性能直接依赖于传感器和相关材料。该领域的研究将直接服务于 GiP 计划对核心设备自主可控的战略需求。

研究方向建议：

1. 微型化与阵列化 NMT 传感器：利用 MEMS（微机电系统）技术，研发芯片化的 NMT 传感器阵列，实现对样品表面离子 / 分子流图谱的高通量、高分辨率成像。



2. 新型功能材料：研究离子交换膜、导电聚合物、纳米材料等在离子选择性电极中的应用，旨在提高传感器的选择性、稳定性、响应速度和抗干扰能力。
3. 仿生材料与离子输运：设计并制备具有离子通道功能的仿生纳米孔或智能水凝胶材料，并利用 NMT 作为表征工具，实时、定量地评估其离子选择性输运性能，为海水淡化、能量转换等领域提供新思路。

3.3 自动化与仪器科学：构建智能化 NMT 系统与装备

将 NMT 从实验室仪器发展为可用于大田、临床的自动化、智能化装备，是实现 imOmics 和 GiP 宏伟目标的关键一步。

研究方向建议：

1. NMT 机器人系统：开发与显微操作系统、微流控芯片或机器人手臂集成的自动化 NMT 测量平台，实现对复杂样品的全自动、高通量扫描和数据采集。
2. 田间原位 NMT 监测系统：针对精准农业需求，研发可部署于田间土壤或水培系统中的微型化、低功耗、无线传输的 NMT 探头，实现对作物根际养份动态的长期原位监测^[14]。
3. 临床应用的内窥式 NMT 探头：探索将 NMT 传感器与医用内窥镜或手术探针结合的可能性，用于在手术中实时监测病灶组织（如肿瘤）的微环境离子变化，辅助医生精准切除^[15]。

4. 生命与医学板块：破解重大生命健康与农业难题

生命与医学板块是 NMT 与 imOmics 应用最成熟、成果最丰富的领域，也是 NSFC 申请的热点。这里的核心策略是利用“动态”视角，对已有的“静态”认知进行颠覆性或补充性的研究。

4.1 生物学：揭示核心生命过程的动态调控机制

研究方向建议：

1. 植物科学：研究植物在响应盐、旱、重金属等非生物胁迫时，根、茎、叶等不同器官关键离子（ Na^+ ， K^+ ， H^+ ， Ca^{2+} ）的动态流速变化，揭示 SOS、HKT 等信号通路的实时调控网络^[16]。例如，研究植物气孔对光、 CO_2 、ABA 信号的动态响应机制。
2. 神经生物学：在体外培养的神经元网络或脑片上，利用 NMT 实时监测神经递质（如谷氨酸、GABA，需开发新电极）和关键离子（ K^+ ， Ca^{2+} ）在突触活动、长时程增强（LTP）或神经元兴奋性毒性过程中的时空动态，为理解学习记忆和神经退行性疾病提供新视角。
3. 细胞生物学：研究细胞周期、细胞凋亡、细胞迁移等基本生命过程中，细胞表面离子流（特别是 Ca^{2+} 和 H^+ ）的标志性动态变化模式（ion signature），探索其作为细胞命运决定的功能性生物标志物的可能性。
4. 生态学：研究植物根系与丛枝菌根真菌（AMF）共生界面、或植物与根际促生菌（PGPR）互作过程中的信号分子（如 NO ， H_2O_2 ）和营养离子（N，P）的动态交换，揭示种间互作的化学语言。



4.2 农业科学：服务“智慧育种”与“精准农业”国家战略

imOmics 技术被认为是继分子标记辅助选择 (MAS) 和基因组选择 (GS) 之后的第三代生物育种技术革命, 即“功能表型组育种”。

研究方向建议:

1. 耐逆作物智能育种: 建立基于 NMT 的高通量活体功能筛选平台, 对大量种质资源 (如水稻、小麦、玉米) 的幼苗进行耐盐、耐旱、耐低氮 / 磷等胁迫处理, 通过测量根尖离子流表型, 快速筛选出优异的抗逆基因资源或品种, 将育种周期从 5-8 年缩短至 1-2 年^[17]。
2. 肥料高效利用与精准施肥: 通过原位监测作物根系对氮 (NH_4^+ , NO_3^-)、磷、钾等主要营养元素的实时吸收速率, 结合环境参数, 构建作物营养需求的动态预测模型, 指导水肥一体化的精准管理, 提高肥料利用率, 减少农业面源污染^[18]。
3. 种子活力与储藏: 研究不同储藏条件下种子萌发过程中, 胚根的离子 (如 H^+ , K^+) 外排活性与种子活力的定量关系, 为建立快速、无损的种子活力评价新方法提供理论依据^[19]。

4.3 医学与药学：迈向“活体病理学”与精准医疗新时代

imOmics 有望推动医学从基于组织形态变化的“静态病理学”发展到基于细胞功能异常的“活体病理学”^[20], 实现疾病的超早期预警和精准干预。

研究方向建议:

1. 肿瘤学: 研究肿瘤微环境中关键离子 (H^+ , K^+ , Ca^{2+}) 的动态特征, 揭示其在肿瘤增殖、侵袭、转移和耐药中的作用机制。利用 NMT 技术实时监测化疗或靶向药物对肿瘤细胞离子流的影响, 为开发新药和评价药效提供功能性筛选平台^[21]。
2. 心血管疾病: 在离体灌流心脏或心肌细胞模型上, 研究药物 (特别是抗心律失常药或具有心脏毒性风险的药物) 对心肌细胞 Ca^{2+} , K^+ 离子流的影响, 为药物心脏安全性的早期评价提供高灵敏度的方法^[22]。
3. 神经退行性疾病: 针对阿尔茨海默病 (AD)、帕金森病 (PD) 的细胞或动物模型, 研究 $\text{A}\beta$ 蛋白、 α -突触核蛋白等病理蛋白对神经元钙稳态的动态干扰过程, 探索基于神经元离子流异常的超早期诊断生物标志物^[23]。
4. 中医药现代化: 利用 NMT 技术, 研究针灸刺激下穴位点皮肤组织的离子信号 (如 Ca^{2+} , K^+) 动态变化, 探索经络传导的物质基础^[24]。或者, 研究中药活性单体对靶细胞离子通道的功能性影响, 阐明其药理作用机制^[25]。

5. 交叉融合板块：推动学科范式变革与管理创新

交叉融合是 NSFC 大力鼓励的方向。NMT、imOmics 和 GiP 本身就是多学科深度融合的产物, 天然契合交叉科学部的定位。



测样咨询

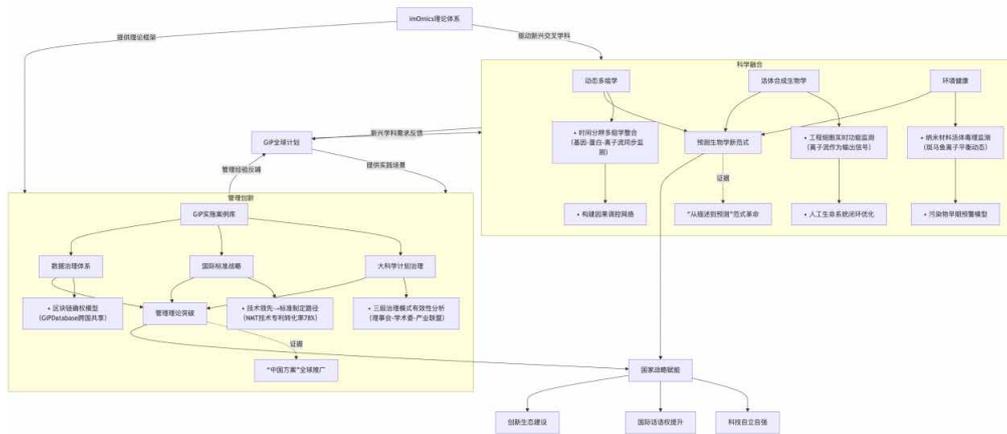


图 4: 在交叉融合板块中, imOmics 作为核心驱动力, 推动新兴交叉学科的形成, 而 GiP 的实施则为管理科学提供了丰富的研究案例。

5.1 交叉学科: 催生“动态组学”与“预测生物学”

申请交叉科学部的项目, 应着重强调研究的“范式变革”潜力。

研究方向建议:

1. 动态多组学 (Dynamic Multi-omics): 在同一生物学过程 (如细胞分化、免疫应答) 中, 同步进行 imOmics、时间分辨的转录组学和蛋白质组学测量, 构建包含“基因-转录-蛋白-功能”完整因果链的动态调控网络模型, 推动生命科学从“关联”研究走向“因果”研究。
2. 活体合成生物学: 在设计和构建人工生物系统 (如基因回路、代谢通路) 时, 将 NMT 作为一种实时“读出”设备, 监测工程细胞的功能输出 (如特定离子的外排), 从而实现对人工生命系统的在线优化和精准调控。
3. 环境健康: 结合 NMT 技术和环境科学、毒理学, 研究纳米材料、微塑料、环境内分泌干扰物等新型污染物对模式生物 (如斑马鱼、大型蚤) 的活体动态毒理效应, 揭示其干扰离子平衡和神经信号传导的机制。

5.2 管理科学: 研究大科学计划的创新生态与国际战略

GiP 作为一个由中国主导、雄心勃勃的国际大科学计划, 其组织模式、实施路径、国际合作和标准制定策略, 为管理科学部提供了绝佳的研究案例。

研究方向建议:

1. 大科学计划的治理模式研究: 以 GiP 为例, 研究其“政-产-学-研-用”协同创新生态系统的构建与演化机制, 分析“理事会-学术委员会-产业联盟”三级治理模式的有效性, 为我国未来发起和组织更多国际大科学计划提供管理学理论和实践参考 [26]。



订阅本刊

2. 颠覆性技术创新的国际标准战略：研究像 NMT 这样的原创性技术，如何通过 GiP 这样的平台，从技术引领走向标准引领，最终掌握国际话语权的全过程。分析其在标准制定过程中的策略、挑战与国际博弈，为我国科技“走出去”提供战略建议^[27]。
3. 全球科研合作中的数据治理研究：针对 GiP Database 的建设，研究在遵循国际数据开放共享原则的同时，如何保障国家数据主权、知识产权和生物安全。探索基于区块链等新技术的“技术共享+数据确权”新型国际合作模式的可行性与法律伦理框架^[28]。

参考文献：

- [1] 许越教授的背景与学术贡献
- [2] 非损伤微测技术简要介绍
- [3] 《imOmics 动态离子分子组学白皮书》——从静态组学到动态整合的生命科学研究新范式
- [4] 《GiP 及 imOmics 常问解答 50 问》
- [5] 《全球离子分子组计划（GiP）、动态离子分子组学（imOmics）及非损伤微测技术（NMT）战略问答》V1.0
- [6] 《NMT 通讯（植物藻类专刊）》
- [7] 全球离子分子组计划（GiP）白皮书
- [8] 《GiP 及 imOmics 常问解答 50 问》
- [9] 非损伤微测技术简要介绍（提及材料腐蚀应用）
- [10] 研究报告：imOmics 动态离子分子组学信息管理系统构建蓝图
- [11] 动态离子分子组学——imOmics 数据标准化
- [12] 中国农作物离子分子组学计划
- [13] 全球离子分子组计划（GiP）白皮书（涉及数据标准与共享）
- [14] 《imOmics 动态离子分子组学白皮书》（提及精准农业应用）
- [15] 《imOmics 动态离子分子组学白皮书》（提及医学应用）
- [16] 《NMT 通讯（植物藻类专刊）》
- [17] 中国农作物离子分子组学计划
- [18] 《imOmics 动态离子分子组学白皮书》（提及精准农业）
- [19] 中国农作物离子分子组学计划（提及种子活力）
- [20] 《全球离子分子组计划（GiP）、动态离子分子组学（imOmics）及非损伤微测技术（NMT）战略问答》



测样咨询

V1.0

- [21] 《imOmics 动态离子分子组学白皮书》（提及肿瘤研究）
- [22] 《imOmics 动态离子分子组学白皮书》（提及心血管研究）
- [23] 《imOmics 动态离子分子组学白皮书》（提及神经退行性疾病）
- [24] 《NMT 中医针灸机制研究联合实验中心项目建议书及实施计划》
- [25] 世界科技未来在中国，中国科技未来在中医！（提及中药机理研究）
- [26] 《全球离子分子组计划（GiP）、动态离子分子组学（imOmics）及非损伤微测技术（NMT）战略问答》V1.0（提及组织架构）
- [27] 全球离子分子组计划（GiP）白皮书（提及标准战略）
- [28] 全球离子分子组计划（GiP）白皮书（提及数据治理与区块链）