

2026 Vol. 4 No.4 总第21期

NMT 通讯

COMMUNICATIONS

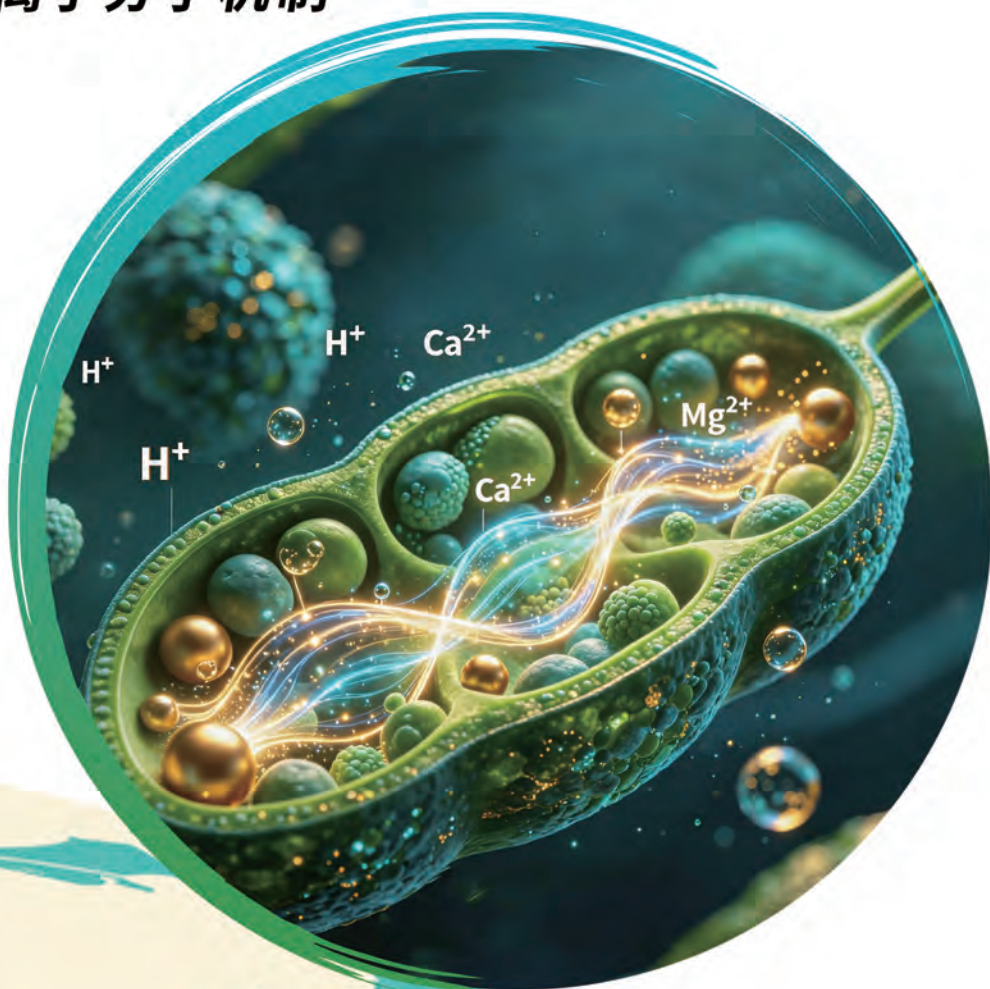


GiP全球离子分子组计划

植物光合作用二级子计划 白皮书

光合作用与碳固定离子分子机制

GSN: GiP-PL-04.v1.0-R



ISSN 2834-5355

eISSN 2834-5363



9 772834 535003

非损伤微测技术国际联盟 主办

中关村旭月非损伤微测技术产业联盟 承办





全球离子分子组计划

光合作用与碳固定离子分子机制

二级子计划白皮书

GSN: GiP-PL-04.v1.0-R

战略指导



匡廷云

国际著名植物生理学家
“匡廷云星”荣誉获得者
中国科学院院士
GiP首席科学家

技术指导

imOmics离子分子组学创立者
NMT非损伤微测技术发明人
“生命即环境”理念提出者
前NASA研究员



许越

全球离子分子组计划白皮书起草委员会

2026年5月

— ❁ — 起草单位 — ❁ —

旭月（北京）科技有限公司

中关村旭月非损伤微测技术产业联盟

美国扬格公司

NMT 国际联盟

目录

| | |
|--|----|
| 一、计划背景与战略意义 | 20 |
| 1.1 光合作用研究的时代使命 | 20 |
| 1.1.1 挑战的汇聚与科学的应答 | 20 |
| 1.1.2 从结构解析到功能调控破解活体生理的“黑箱” | 21 |
| 1.1.3 匡廷云院士的战略前瞻与范式引领 | 22 |
| 1.2 imOmics 与 GiP 的理论基础 | 24 |
| 1.2.1 imOmics 离子分子组学定义与学科定位 | 24 |
| 1.2.2 理论内核“生命 = f(环境, t)”与新生物学范式 | 27 |
| 1.2.3 NMTimOmicsGiP 三位一体的战略架构 | 30 |
| 1.2.4 imOmics 对光合作用研究的范式重构 | 31 |
| 1.3 光合子计划在 GiP 中的定位 | 33 |
| 1.3.1 总体定位旗舰科学计划 | 33 |
| 1.3.2 定位的多维结构 | 34 |
| 1.3.3 定位的核心科学焦点 | 37 |
| 1.3.4 光合子计划对 GiP 整体战略的贡献 | 38 |
| 1.3.5 与中国科技战略的深度对接 | 39 |
| 二、首席科学家与核心技术团队 | 40 |
| 2.1 匡廷云院士——GiP 首席科学家 | 40 |
| 2.2 许越研究员——imOmics 离子分子组学创立者 | 41 |

| | |
|-------------------------------------|----|
| 2.3 战略协作光合子计划的独特优势 | 42 |
| 2.3.1 协作体系的构成与核心共识 | 42 |
| 2.3.2 三大战略协同的深度解析 | 43 |
| 2.3.3 “双轮驱动”——协作范式的核心优势 | 46 |
| 2.3.4 团队协同的生态系统优势 | 47 |
| 2.3.5 协作优势的不可替代性 | 48 |
| 2.3.6 战略协作的时代意义 | 50 |
| 三、核心科学问题 | 52 |
| 3.1 光合器官离子动态调控图谱 | 52 |
| 3.1.1 科学问题的提出：从静态组分到活体动态的认知鸿沟 | 52 |
| 3.1.2 图谱的科学内涵与构建目标 | 53 |
| 3.1.3 图谱构建的技术体系 | 55 |
| 3.1.4 预期产出的核心图谱集 | 56 |
| 3.1.5 图谱构建中关键科学挑战的突破 | 58 |
| 3.1.6 图谱的科学意义与应用价值 | 59 |
| 3.1.7 与其它核心科学问题的衔接 | 60 |
| 3.2 光合膜蛋白功能的活体验证 | 61 |
| 3.2.1 科学问题的提出从结构到功能的“最后一公里” | 61 |
| 3.2.2 匡廷云院士的战略洞见从“看结构”到“看功能” | 64 |
| 3.2.3 活体验证的科学框架与核心问题 | 66 |

| | |
|------------------------------------|----|
| 3.2.4 结构功能闭环验证策略 | 67 |
| 3.2.5 重点验证对象从结构亮点到功能靶点 | 69 |
| 3.2.6 活体验证的关键技术突破点 | 70 |
| 3.2.7 预期科学产出从静态结构到动态机制的跨越 | 73 |
| 3.3 光合作用对环境胁迫的动态响应机制 | 75 |
| 3.3.1 科学问题的战略意义 | 75 |
| 3.3.2 胁迫条件下离子稳态破坏的级联效应 | 77 |
| 3.3.3 胁迫响应的动态时间维度 | 78 |
| 3.3.4 典型胁迫场景的 imOmics 解析框架 | 79 |
| 3.3.5 建立“胁迫因子的离子分子组响应指数” | 80 |
| 3.3.6 核心技术路线与创新方法 | 82 |
| 3.3.7 预期科学贡献与应用价值 | 83 |
| 3.4 光能利用效率的 imOmics 优化路径 | 84 |
| 3.4.1 光能利用效率从理论极限到田间现实 | 84 |
| 3.4.2 比较生物学视角高光效物种的离子分子组特征 | 86 |
| 3.4.3 光能利用效率的离子调控节点图谱 | 88 |
| 3.4.4 imOmics 优化光能利用效率的多尺度策略 | 90 |
| 3.4.5 从比较生物学到作物改良的转化路径 | 91 |
| 3.4.6 光能利用效率的 imOmics 预测模型 | 92 |
| 3.4.7 与匡廷云院士团队已有成果的战略协同 | 94 |

| | |
|--|-----|
| 3.5 光合碳代谢耦合的多维离子网络 | 95 |
| 3.5.1 从线性链条到动态网络理解光合碳耦合的范式升级 | 95 |
| 3.5.2 光碳耦合的关键离子/分子信号全谱 | 96 |
| 3.5.3 多维离子网络模型的理论框架 | 98 |
| 3.5.4 imOmics 同步监测从单离子到网络的测量学跨越..... | 99 |
| 3.5.5 关键科学问题分解 | 101 |
| 3.5.6 网络模型的数学本质与预测能力 | 102 |
| 3.5.7 预期科学产出与应用前景 | 103 |
| 四、技术路线与方法体系 | 105 |
| 4.1 核心技术平台 | 105 |
| 4.1.1 平台总体定位与战略价值..... | 105 |
| 4.1.2 核心仪器人工智能离子分子组学 NMT 系统 (imOmicsNMT) | 106 |
| 4.1.3 NMT 测量原理与光合子计划适配性..... | 108 |
| 4.1.4 微环境控制与多模态联用系统 | 110 |
| 4.1.5 高通量与自动化从实验室到平台设施 | 112 |
| 4.1.6 技术创新与自主知识产权护城河 | 113 |
| 4.1.7 平台能力与科学目标的对应关系 | 114 |
| 4.2 实验体系设计 | 116 |
| 4.2.1 设计理念从“单一实验”到“体系化验证” | 116 |
| 4.2.2 四大实验模块概览 | 118 |

| | |
|---------------------------------------|-----|
| 4.2.3 模块一离体活体联用体系 | 119 |
| 4.2.4 模块二模式植物与作物比较体系 | 121 |
| 4.2.5 模块三环境因子梯度体系 | 123 |
| 4.2.6 模块四遗传扰动体系 | 125 |
| 4.2.7 模块间的协同与数据整合 | 126 |
| 4.3 数据标准与分析体系 | 128 |
| 4.3.1 战略定位将数据资产转化为知识权力 | 128 |
| 4.3.2 数据标准体系从操作规范到全球互认 | 130 |
| 4.3.3 光合离子分子组数据库 (PiDB) | 133 |
| 4.3.4 数据分析体系 | 136 |
| 4.3.5 数据治理与开放共享机制 | 139 |
| 4.3.6 标准国际化路线图 | 140 |
| 五、预期成果与阶段目标 | 141 |
| 5.1 科学预期 | 141 |
| 5.1.1 从“可能”到“实现”科学预期的顶层设计 | 141 |
| 5.1.2 理论贡献构建活体光合离子调控认知新体系 | 143 |
| 5.1.3 方法学创新建立 imOmics 光合研究标准化体系 | 145 |
| 5.1.4 资源共享建成全球首个光合离子分子组数据库 | 148 |
| 5.1.5 范式引领开辟光合作用研究的新维度 | 150 |
| 5.1.6 科学预期的可衡量指标体系 | 152 |

| | |
|---|-----|
| 5.1.7 科学预期的疆域拓展从基础认知到应用转化 | 153 |
| 5.2 应用预期 | 154 |
| 5.2.1 从基础研究到应用转化的价值逻辑 | 154 |
| 5.2.2 应用方向一作物分子育种——光合育种的离子靶标革命 | 155 |
| 5.2.3 应用方向二智慧农业——基于离子分子组的光合实时监测与精准管理 .. | 159 |
| 5.2.4 应用方向三人工光合作用——从自然模板到仿生设计 | 162 |
| 5.2.5 应用方向四技术辐射与产业生态培育 | 164 |
| 5.2.6 应用预期的国家战略对接 | 165 |
| 5.3 阶段目标 | 167 |
| 5.3.1 总体推进策略四期递进，螺旋上升 | 167 |
| 5.3.2 启动期（第1—2年）夯基垒台，立柱架梁 | 168 |
| 5.3.3 拓展期（第3—5年）体系运转，图谱初成 | 170 |
| 5.3.4 深化期（第6—8年）重点突破，模型建立 | 173 |
| 5.3.5 应用期（第9年起）转化落地，全球辐射 | 175 |
| 5.3.6 阶段目标的可量化评估体系 | 177 |
| 5.3.7 阶段衔接与风险评估 | 178 |
| 六、国际合作与开放共享 | 180 |
| 6.1 开放科学从理念到基础设施的全球公共品 | 180 |
| 6.2 合作理念与开放原则 | 180 |
| 6.3 国际合作的层次化架构 | 181 |

| | |
|-------------------------------|-----|
| 6.4 国际顾问委员会 | 183 |
| 6.5 联合研究与合作模式 | 184 |
| 6.6 数据共享机制 | 186 |
| 6.7 能力建设与全球培训网络 | 189 |
| 6.8 国际学术会议与社区建设 | 190 |
| 6.9 知识产权与成果共享规则 | 191 |
| 6.10 现有国际合作基础与拓展方向..... | 192 |
| 七、结语 | 193 |
| 7.1 微光成炬从“匡廷云星”到人类文明的星光 | 193 |
| 7.2 双星辉映战略远见与技术发明的时代相遇..... | 194 |
| 7.3 方法的革命让中国创新范式成为全球标准..... | 195 |
| 7.4 十年磨一剑从科学蓝图到大地丰收 | 196 |
| 7.5 天下为公以中国智慧推动人类可持续发展..... | 197 |
| 7.6 向光而行走向生命科学的新纪元..... | 197 |