



中国科学院沈阳应用生态研究所
Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences



中国科学院沈阳应用生态研究所
Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences

成果汇编

Compilation of results

地址：(文化路园区)沈阳市沈河区文化路72号

电话：024-83970317

网址：<http://www.iae.cas.cn>



官方微信:IAE_CAS



中国·沈阳



中国科学院 沈阳应用生态研究所



研究所简介 *Brief Introduction*

中国科学院沈阳应用生态研究所（以下简称生态所）成立于1954年，其前身为中国科学院林业土壤研究所，1987年更为现名，2001年成为国家知识创新工程试点单位，2015年成为中国科学院“生态文明建设”领域首批特色研究所试点单位。

1987年

根据中国科学院强化生态资源环境研究的战略部署及学科需要，研究所更名为“中国科学院沈阳应用生态研究所”。学科定位为以陆地生态系统为研究对象，以现代生态学为主攻学科，主要开展宏观生态学、系统生态学、实验生态学、生物工程与生物技术等领域的研究。

1998年

生态所根据国际应用生态学的发展趋势、国家生态环境建设实践的需求、中国科学院的学科布局和我所的学科优势与积累，将我所的学科定位为“以应用生态学为主攻学科，以实验生态学方法为主要手段，重点开展森林生态学、污染生态学和农业生态学中的物质循环生态过程、区域农业可持续发展研究”。

2001年

生态所正式进入中国科学院知识创新工程试点，确立了森林生态与林业生态工程、土壤生态与农业生态工程、污染生态与环境生态工程三大领域的学科布局。

2010年

生态所根据中国科学院“创新2020”总体部署，制定了研究所“一三五”规划。

2015年

按照中国科学院“率先行动”计划的要求和研究所分类改革的统一部署，生态所成功进入中国科学院“特色研究所”建设首批试点研究所，进入新的历史发展时期。2018年，顺利通过特色研究所建设验收。



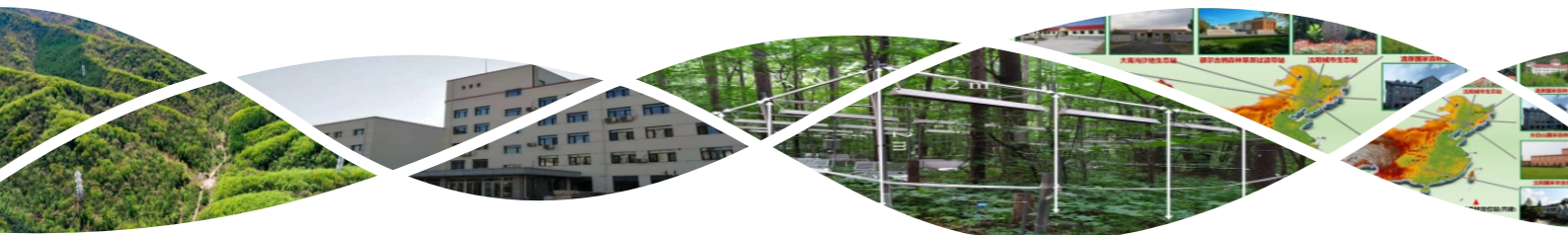
研究所简介 *Brief Introduction*

在新时期，生态所面向国家生态文明建设的重大战略需求，以碳中和、黑土地保护、绿色发展、生态安全等为目标，在森林生态与林业生态工程、土壤生态与农业生态工程、污染生态与环境生态工程领域，开展基础性-战略性-前瞻性研究，完善和创新应用生态学理论、方法和技术体系；聚焦退化生态系统恢复-重建与生态安全，黑土保护-利用与粮食安全，污染环境治理-改善与低碳绿色发展；为东北工农业现代化和新型城镇化提供生态与环境保障，为碳中和-两山论-绿色发展等生态文明建设目标实现提供科技支撑。共获得省部级以上奖励240多项，其中国家奖33项，省部级奖213项；出版专著300余部；发表学术论文11000余篇，其中SCI论文超4500篇；授权发明专利566项。

生态所是1981年国务院学位委员会首次批准的博士学位点，现设有生态学、土壤学、微生物学、环境科学四个一级学科博士学位点，植物学、森林培育两个二级学科学术硕士学位点及资源与环境、生物与医药两个专业型硕士学位点。设有生态学、农业资源与环境两个一级学科博士后流动站。共有在学研究生386人（其中博士生286人，硕士生170人），在站博士后44人。

沈阳生态所与美国、英国、德国、比利时、俄罗斯、瑞士、日本等国家的众多高水平大学和科研机构开展卓有成效的合作研究与学术交流，与国内知名高校和相关企业建立了合作关系。

沈阳生态所是辽宁省生态学会、辽宁省植物学会、辽宁省土壤学会、沈阳市植物学会的挂靠单位；主办中文期刊《应用生态学报》《生态学杂志》，及SCIE期刊Ecological Processes等学术刊物。



目录

CONTENT

01 林业 FORESTRY

东北东部山区森林保育与林下资源高效利用技术.....	2
基于综合评估的三北防护林工程营建关键技术.....	4
温带森林生物多样性维持及其对生产力的影响机制.....	6
建立 ¹⁵ N成对标记法揭示森林树木原位氮吸收偏好.....	8
辽河上游山水林田湖一体化修复技术与示范.....	11
城市适宜树种选择繁育及应用.....	13
北方城市森林生态服务功能研究.....	15
东北森林植物资源保护与利用.....	17
采用双季节无人机激光雷达点云提高森林单木分割和树高估算精度.....	20
基于清原科尔塔群协同观测揭示温带森林结构与反照率的关系.....	22
菌根类型优势度机制与生物多样性-生态系统功能尺度依赖关系.....	24
大气氮沉降在全球森林中的去向及其对森林碳汇的贡献.....	26
清原温带森林土壤一氧化氮排放的调控机制.....	29
多尺度城市扩展及其生态环境效应.....	31
农田防护林研究.....	34
森林野外大型增温实验方法.....	36
气候变化与干扰对未来东北森林碳储量的影响.....	38
科尔沁沙地植物繁殖对策研究.....	40
中国苔藓植物研究.....	42
中国水生甲虫物种多样性调查研究.....	44

中国东北植物本底研究.....	47
东北森林生产力和功能稳定性形成的生理生态机制.....	49
东北水源涵养屏障区生态安全格局优化技术.....	52
退化杉木人工林服务功能的恢复与提升技术.....	54
林业生态工程的构建与管理.....	56

02 农业 AGRICULTURE

东北黑土地玉米保护性耕作“梨树模式”研发与应用.....	59
大河湾漫坡漫岗黑土侵蚀阻控模式.....	61
聚谷氨酸肥料添加剂的研制与产业化.....	63
绿色肥料的创制与产业化推广应用.....	65
长效缓释肥料研制与应用.....	67
专用高效肥料关键技术与推广应用.....	69
农产品质量控制及追溯技术集成与应用推广.....	72
农产品和中药材产地溯源与品质鉴别技术.....	74
粮食作物富硒技术及营养评价.....	76
绿色农产品全程质量保障技术集成与应用.....	78
氮肥残效是农田NUE量化差异的主要来源.....	81
退化草原生态和生产功能调控机理与快速恢复技术.....	83
Vc发酵伴生依赖性解除及环境友好生产新技术.....	85
土壤生物群落组成及多样性对土壤健康的调控机制.....	87
氮同位素分析方法的建立及其在大气沉降氮和陆地氮循环上的应用.....	89
草原干旱适应机制与策略.....	93
量化东北地区典型玉米旱田土壤NO和N ₂ O的损失.....	95
水稻化感作用物质及其对土壤微生物群落和酶活性的调控.....	97
土壤稳定有机碳提升的根系调控技术原理.....	99
农业废弃物肥料化利用技术研究与应用工程示范.....	101

东北亚农用微生物资源保护与利用.....	103
北方蚯蚓养殖和蚯蚓消化食用菌菌糠等农业废弃物肥料化利用技术.....	105
土壤磷素活化技术与应用.....	107
设施尾菜高效处理与高值应用技术.....	109
可降解液态地膜产品及其应用技术.....	111
浅埋滴灌绿色节水技术.....	113
氮沉降和降水增加对草地生态系统养分循环、群落结构与功能的影响研究.....	115
温带森林土壤微生物群落组成及其与土壤有机碳矿化温度敏感性的关系.....	120
石油污染土壤中的微生物及其广宿主可移动基因原件.....	123
基于果蝇突变体构建的微生物功能快速筛选平台.....	127
不同施肥制度长期定位观测.....	129
新型生物杀菌剂-甲基营养型芽孢杆菌9912的研发及产业化.....	131
海参新型发酵生物饵料创制及万吨规模产业化.....	133

03 环境 ENVIRONMENT

油田含油废弃物处理技术体系与产业化应用.....	136
东北典型除草剂污染生物修复技术及产品研发.....	138
菱镁矿区污染土壤生态修复技术.....	140
创新型矿山生态修复模式研究.....	142
虚拟生态技术.....	144
农业碳排放及碳减排潜力研究.....	146
碱性矿物材料及废弃物碳汇核算研究.....	148
场地土壤环境损害鉴定评估方法和标准.....	150
污染土壤生态修复机理与关键技术研发.....	152

中国科学院 沈阳应用生态研究所

Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences



01 林业 FORESTRY

中国科学院沈阳应用生态研究所成果汇编

IAE

东北东部山区森林保育与林下资源高效利用技术

Techniques for Forest Conservation and Efficient Utilization of Non-wood Resources in the Eastern Mountainous Areas of Northeast China

成果背景

东北林区作为国家“两屏三带”生态格局中唯一森林带，在维系区域生态安全，保障资源、环境和经济可持续发展，促进生态文明建设中具有无可替代作用。然而，长期高强度人为干扰，森林资源锐减、质量严重下降；为此，国家实施了天保工程并禁止天然林商业采伐。在此背景下，如何保护森林资源、提升其质量，突破林区经济发展瓶颈，实现资源保护与经济发展双赢，便成为林业发展与生态文明建设的迫切需求。

研究内容

针对东北东部山区森林资源保育技术匮乏、资源恢复进展缓慢、林下资源掠夺式利用、林区经济发展受限等问题，通过创建了量化林分垂直结构/林窗立体结构新方法及其参数体系，为结构调控提供基准参数与技术；通过阐明了森林干扰过程及形成林窗对更新的影响机制，构建了主要树种更新的关键技术，通过揭示了次生林生态系统功能衰退的凋落物机制，构建了森林生产力提高和生态功能维持/提升的关键技术。开展保育/恢复森林资源、提升森林生态服务功能、促进林区资源高效利用等技术创新，解决森林保护与林农致富双赢等技术瓶颈问题。

重大科技贡献

- 1、创建了量化林分/林窗结构新方法体系、改进林窗光指数获取方法，为森林保育提供了结构调控基准参数和技术；
- 2、明确了主要干扰过程及意义，确定了光对主要树种天然更新的影响机理和建群种共存机制，为森林更新提供了关键技术；
- 3、揭示了凋落物决定主要功能发挥的作用过程，提出保护凋落物、培育混交林等保育技术；
- 4、集成创建林下资源高效利用技术，形成森林保育与林下资源可持续利用发展

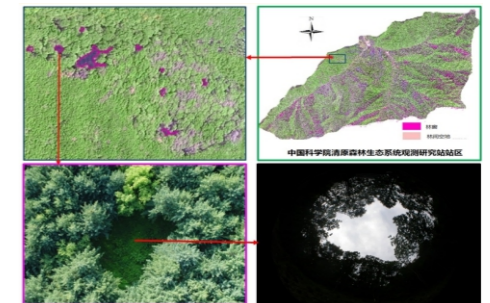
范式，实现了森林保护与林农致富双赢目标。

成果产出与荣誉

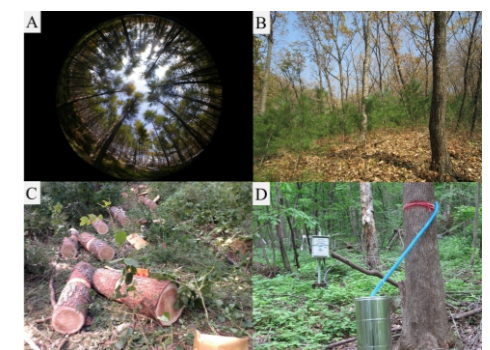
成果先后在东北林区推广应用193万公顷，三年新增生态效益92.2亿元，使5.1万林农脱贫。成果获发明专利2项，发表SCI收录论文80余篇，出版中文专著1部，参编英文著作2部。培养硕士、博士逾百人，培训基层技术推广人员2380人次。撰写的关于禁止凋落物出口和适度经营天然次生林等2份咨询报告，被国办、中办采纳，并得到国家领导人批示，形成保护凋落物的法律、法规，有效地保护了森林资源。2019年该成果获国家科技进步二等奖。

成果团队

朱教君（杰青）、于立忠、何兴元、闫巧玲（优青）、杨凯（优青）、王政权、李秀芬、刘常富、高添、佟立君



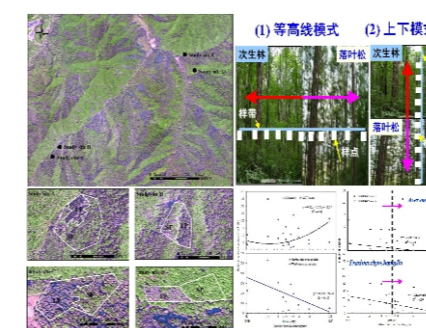
林窗闭合过程



森林保育技术研究



林下资源高效利用技术研究



促进恢复的更新技术



人工林林窗动态与更新研究样地



林下经济示范-落叶松人工林林下栽培刺龙芽

基于综合评估的三北防护林工程营建关键技术

Key Technologies for Three-North Afforestation Program Base on the Comprehensive Assessment

成果背景

1978年11月，党中央、国务院站在中华民族生存与发展的战略高度，作出了在我国风沙危害和水土流失严重的西北、华北及东北西部地区建设三北防护林体系的重大决策，开创了我国重点林业生态工程建设的先河。三北防护林体系建设工程（简称“三北工程”）范围包括我国西北、华北及东北西部的13个省（自治区、直辖市）和新疆生产建设兵团，总面积达4.07×106km²，占我国陆地总面积的42.4%，涵盖了我国95%以上的风沙危害区和40%的水土流失区。

营建防护林是全球应对生态环境问题的重要手段。三北地区（东北、华北、西北，13省区直辖市，近半国土）生态环境恶劣，是国家生态文明-美丽中国建设的短板区。为此，1978年国家启动了全球最大的防护林工程-三北防护林体系建设工程（三北工程），规划建设期73年（1978-2050）。工程建设40年，三北地区生态环境依然严峻，且防护林衰退等问题时有发生。那么，工程40年建设成效如何？存在哪些问题？未来如何建设？

研究内容

项目在中国科学院沈阳应用生态研究所（生态所）60余年“防护林学”历史积淀的基础上，围绕着防护林学核心内容-评估、经营与构建，历经二十余年研究，主要内容如下：（1）基于生态学取样原理，建立了防护林数量与质量动态监测的多分辨率影像尺度转换模型与技术；构筑了重大防护林工程生态成效评估技术体系，攻克了大尺度防护林综合评价技术缺失的国际难题；科学、系统、全面评估了三北工程建设40年的综合成效，甄别出存在问题及成因；（2）针对防护林衰退严重、结构不合理、沙化防治作用有限等问题，基于探地雷达、同位素示踪和热扩散技术，明确了防护林衰退水分机制，精准获取了树木生长过程中根系分布特征，创立了基于根-冠耦合耗水特征的结构调控经营技术；基于激光雷达，提出林冠截雨指数（CII）新结构参数，研发了基于林冠截雨的结构调控技术；（3）针对三北工程防护林成林率低、水量失衡等问题，利用多源遥感与地面监测相结合的方法，明确了乔、灌、草自然分布阈值，创建了片状防护林“以水定林/绿”的构建技术；提出农田防护林“景观-防护效应程度”新参数，形成了以“效益”定林构建方案。

重大科技贡献

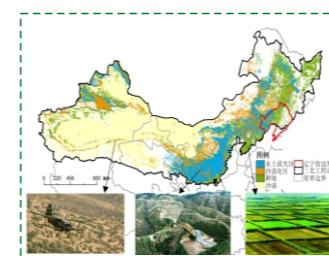
- 1、创建了天-地-空一体化的防护林监测与评估技术体系，全面评估了三北工程建设成效、甄别出存在的问题及原因；
- 2、针对防护林衰退严重、结构不合理、沙化防治作用有限等问题，确立基于根-冠耗水与林冠截雨的结构优化经营技术；
- 3、创立了以“水”定林和以“效益”定林构建方案。

成果产出与荣誉

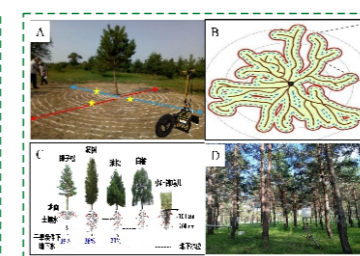
近三年生态效应经济价值量5.75亿元；基础理论成果发表相关论文60余篇、出版专著1部，技术成果形成被国家采纳的决策建议2份。研究成果集中反映在决策报告《三北防护林体系建设工程40年综合评价报告》中；该报告在国务院新闻办举行发布会，新闻联播对此进行详细报道，成为习近平总书记对三北工程的重要指示、李克强总理批示及韩正副总理具体部署三北工程建设的核心参考。

成果团队

朱教君(杰青)、郑晓、宋立宁、杨凯(优青)、李秀芬、张金鑫、闫巧玲(优青)、孙一荣、夏朝宗、于立忠、谢高地



■ 三北防护林工程区图



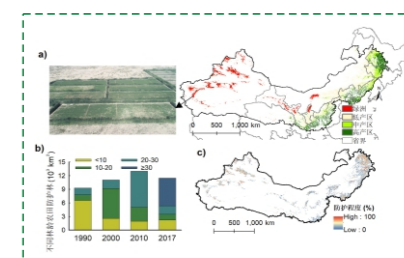
■ 根-冠耦合耗水特征的结构调控经营技术研究



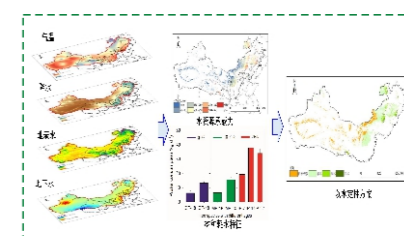
■ 奖励证书



■ 新闻发布会



■ 以“效益”定林的构建方案



■ 以水定林方案

温带森林生物多样性维持及其对生产力的影响机制

Maintenance Mechanism and Ecological Function of Temperate Forest Biodiversity

成果背景

森林作为陆地生物圈的主体，是群落结构最复杂、生物多样性最丰富、生态系统功能最齐全的自然生态系统。东北森林带是国家“两屏三带”生态安全格局中唯一森林带，在维护区域生态安全、保障资源、环境、经济可持续发展和促进生态文明建设中具有无可替代的作用。然而，由于长期高强度人为干扰，该区森林资源锐减、生物多样性和生态服务等功能下降，严重影响区域生态安全和社会经济可持续发展。因此，探究森林生物多样性如何维持及其生态功能如何发挥，不仅能够完善和发展生态学、生物多样性科学等领域的理论，也能为有效保护生物多样性、实现“碳中和”的国家需求提供科学依据。

研究内容

该项目以温带森林为主要研究对象，从不同营养级的角度出发，围绕森林生物多样性的维持机制及其生态功能开展研究，在单营养级生物多样性维持方面，重点分析了环境异质性、物种扩散和植物间关系等生态过程的相对作用；在多营养级生物多样性维持方面，重点研究了植食动物对植物群落的影响；在生物多样性的功能方面，重点探讨了树种多样性对森林生产力（碳汇）的影响及其内在机理。

重大科技贡献

- 1、明确了物种扩散能力对维持温带森林群落生物多样性格局的重要作用，改变了“环境异质性在物种较少的温带森林群落占主导地位”的传统认识，提出并验证了随机稀释假说，解决了传统生态位理论和中性理论关于种间关系的矛盾，丰富了森林生物多样性维持机制理论；
- 2、揭示了植食动物显著降低植物繁殖存活、生物量和多度，提高物种均匀度，但其强度存在不确定性，明确了植食动物对植物群落生产力和多样性具有重要的调控作用，突破了“气候和土壤等环境因素是影响植物群落结构的决定性因子”的传统观点，为森林生物多样性保护和管理提供了重要科学依据；

3、明确了多维度生物多样性显著提高森林生物量和生产力（碳储量/碳汇），揭示了生态位分化对温带森林生产力正向促进作用随群落演替而增强的规律，加深了生物多样性与森林碳汇等生态功能关系的理解。

成果产出与荣誉

共计发表科研论文120篇，其中在本领域国际权威刊物PNAS、Ecology、Journal of Ecology、Global Ecology and Biogeography等上发表SCI论文80篇，在中文核心期刊上发表CSCD论文40篇；获得软件注册和授权实用新型各1项。

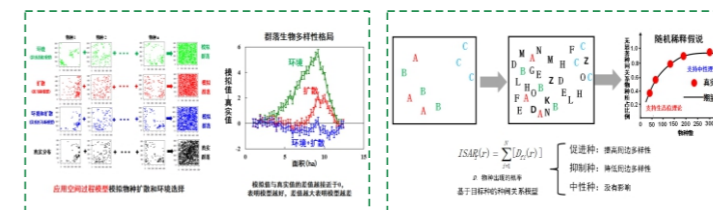
王绪高研究员曾获中国科学院院长优秀奖（2006年）、中国科学院首届卢嘉锡青年人才奖（2008年）、辽宁省青年科技奖（2009年）、中国生态学会第三届青年科技奖（2013年），2011年入选中国科学院青年创新促进会，2014年获得中科院卓越青年科学家项目，2017年获国家自然科学基金优秀青年项目，辽宁省“兴辽英才计划”青年拔尖人才，中国科学院优秀导师奖（2019年），中国科学院朱李月华优秀教师奖（2020年）。



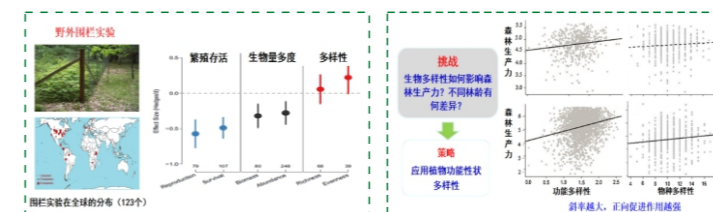
■ 奖励证书

成果团队

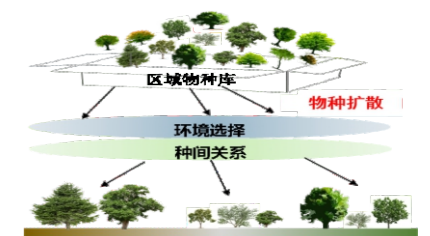
王绪高（优青）、叶吉、藺菲、房帅



- 物种扩散对维持温带森林群落植物多样性的作用强于环境选择，扩展了“环境选择在温带森林群落占主导地位”的传统认识。
- 随机稀释假说：随着物种数的增加，显著的种间关系被稀释，阐明了种间关系维持温带森林生物多样性的作用途径。



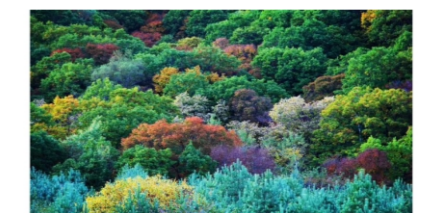
- 植食动物对植物群落多样性具有重要调控作用，突破了“气候和土壤等环境因素是影响植物群落结构的决定性因子”的传统观点。
- 植物功能多样性对温带森林生产力（碳汇功能）的正向促进作用强于物种多样性，且随着林龄增加而增强。



■ 单营养级-植物



■ 次生林（林龄80年）



■ 原始林（林龄300年）

建立¹⁵N成对标记法揭示森林树木原位氮吸收偏好

Quantifying NO and N₂O Emissions from maize Soils in northeast China

成果背景

氮元素是限制森林生产力的主要养分元素，不同森林植物可能表现不同的氮吸收偏好（喜铵或者喜硝），进而减少对氮的种间竞争而促进物种共存。然而森林植物氮吸收是否存在偏好还存在一定争议，针对氮吸收偏好还没有统一的量化方法，不同研究采用不同方法和不同指标。目前，主要研究方法是以¹⁵N溶液或土壤作为吸收介质，以氮吸收速率来指示和量化氮吸收偏好。其中通过¹⁵N溶液吸收法研究幼苗或植物根系氮吸收的方法存在明显的不足。首先，这种方法不能考虑土壤微生物和非生物过程对氮的竞争和固持作用；第二，如果仅仅以根部为考察对象，则可能高估铵氮吸收，因为植物通常在根系转化铵态氮为有机氮以减少铵毒害，而将硝态氮大部分转移至叶片经硝酸还原酶进一步转化。另外，幼苗的研究也可能不能反映成年大树原位氮吸收特点和偏好。因此，我们需要建立量化野外成年大树氮吸收特点和偏好的方法。

研究内容

基于此，中国科学院沈阳应用生态研究所稳定同位素生态学研究团队建立了成年大树原位¹⁵N成对标记法，即对树木根际区多点注射标记的铵态氮和硝态氮，追踪植物吸收¹⁵N的速率和比例，从而计算出树木氮吸收偏好（图1）。前期采用该方法量化了我国北方四种主要造林树种的氮吸收偏好（Zhou et al. 2021 New Phytologist）。最近，该团队以不同林龄的成年落叶松为对象，在标记后30天内不同时间段采集叶片、枝条、细根和粗根测定¹⁵N的吸收速率和回收率，进一步探讨：（1）采集叶片是否可以反映整株树木的氮吸收状况，以优化采样器官；（2）不同标记时间后所得到的氮吸收偏好是否不同，以优化采样时间。研究结果发现，采用高丰度的¹⁵N标记物对根际土壤进行标记，标记后30天内各器官之间和不同采样时间之间的氮吸收偏好无显著差异（图2）。考虑氮吸收的时间和采样操作便利性，建议标记后4天采集乔木叶片即可判断成年大树氮吸收偏好。该方法通过对成年大树根际直接供给和追踪其对不同形态氮吸收和转运，充分考虑了土壤氮竞争和固持，考虑了氮吸收后的转

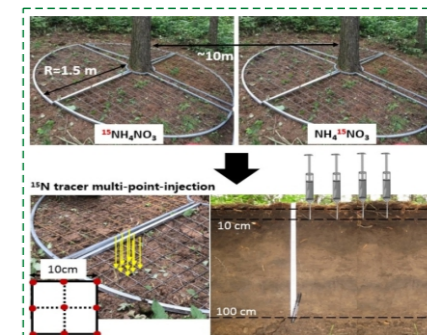
运，能真实反映成年大树原位氮利用特点。预测该方法具有广泛的应用性，可以适用于不同类型森林树木，包括阔叶树种。此外，该团队还对过去氮偏好研究方法进行了系统的梳理，对研究结果进行了总结，发现以溶液作为吸收介质的研究往往得到偏好吸收铵的结果，而对土壤进行标记的研究则往往发现更高硝氮吸收，这可能与溶液吸收法排除了土壤微生物和非生物过程对氮，尤其是对铵态氮的竞争和固持有关。

重大科技贡献

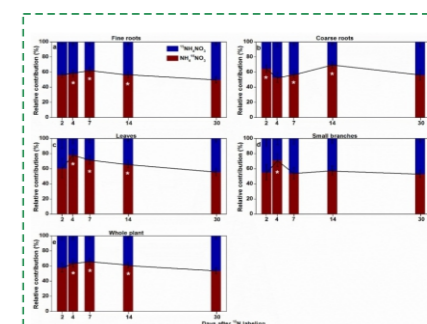
森林物种组成是决定森林生产力和碳汇功能的关键因素。植物氮吸收可能表现不同偏好进而减少竞争，促进物种共存。有关我国东北森林主要树种是否具有氮吸收偏好，将如何适应氮沉降等我们并不清楚；同时以往氮偏好研究多以幼苗或植物根系为研究对象，我们并不清楚成年大树野外实际氮吸收特点。

本成果团队先后取得了以下重要成果：

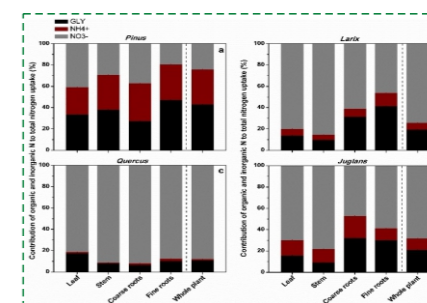
- 1、研究发现东北次生林内落叶松、蒙古栎、胡桃楸的幼苗氮吸收均偏好硝氮，硝氮吸收占其总氮吸收的68-88%；而红松通过根系优先吸收有机氮（甘氨酸），吸收比例为43%（图3；文章1）；
- 2、创立了成年大树¹⁵N成对标记法研究成年大树原位氮吸收偏好，发现在标记后第4天对大树叶片进行采样即可判断其氮吸收偏好（图1,2；文章2）；
- 3、采用该方法研究了东北人工林4个典型针叶树种野外原位氮吸收偏好，发现其均能高效吸收硝酸盐，与传统基于水培实验的针叶树种喜铵的结论不同（图4；文章3）。以上研究成果揭示了我国北方森林常见优势针叶树种树苗和大树均偏好吸收硝氮、具备高效吸收利用



成年大树原位¹⁵N成对标记法实验示意图（图1）

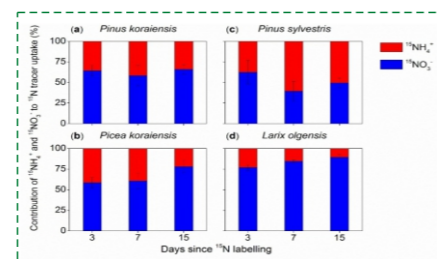


¹⁵N标记后，成年落叶松不同器官对铵态氮和硝态氮吸收和转移比例的时间动态变化(图2)



我国东北典型次生林四个优势树种树苗对不同形态氮吸收比例(图3)

硝酸盐能力。这暗示氮沉降加剧和硝氮比例增加等因子未必对其生长不利，我们可能需要重新评估针叶树种对全球变化的响应和适应性，为模型模拟和森林养分管理提供数据和机制更新。



■ 铵态氮和硝态氮对四种主要针叶树种大树的吸收贡献(图4)

成果产出与荣誉

发表SCI论文4篇，取得推广证明1项，培养硕士研究生2名。

1. Feifei Zhu#, Luming Dai#, Erik A. Hobbie, Yuying Qu, Dan Huang, Geshere A. Gurmesa, Xulun Zhou, Ang Wang, Yinghua Li, Yunting Fang* (2021) Quantifying nitrogen uptake preference for mature forests: an in situ whole tree paired ^{15}N labeling method. *Tree Physiology* 41(11): 2109-2125.

2. Feifei Zhu#, Luming Dai#, Erik A. Hobbie, Keisuke Koba, Xueyan Liu, Geshere A. Gurmesa, Shaonan Huang, Shanlong Li, Yinghua Li, Shijie Han, Yunting Fang* (2019) Uptake patterns of Glycine, Ammonium, and Nitrate differ among four common tree species of Northeast China. *Frontiers in plant science* 10, 799.

3. Xulun Zhou#, Ang Wang#, Erik A. Hobbie, Feifei Zhu, Yuying Qu, Luming Dai, Dejun Li, Xueyan Liu, Weixing Zhu, Keisuke Koba, Yinghua Li, Yunting Fang* (2021) Mature conifers assimilate nitrate as efficiently as ammonium from soils in four forest plantations. *New Phytologist* 229: 3184-3194.

4. Xulun Zhou#, Ang Wang#, Erik A. Hobbie, Feifei Zhu, Xueyan Wang, Yinghua Li and Yunting Fang* (2021) Nitrogen uptake strategies of mature conifers in Northeastern China, illustrated by the ^{15}N natural abundance method. *Ecological Processes* 10: 36.

成果团队

朱飞飞、Erik A. Hobbie、周煦伦、王鑫、戴陆明、Geshere A. Gurmesa、曲玉莹、黄丹、方运霆（优青、辽宁省“兴辽英才”计划领军人才）

辽河上游山水林田湖一体化修复技术与示范

Integrated Restoration Technology of Mountains-waters- forests-fields-lakes in the Upstream of the Liao River.

成果背景

生态文明建设是我国的基本国策，“山水林田湖生命共同体”理念是支撑生态文明建设的核心。辽河上游是吉林中部城市群的重要水源地，水生态环境安全保障意义重大。然而，辽河上游集水区域出现水源涵养能力降低、水体污染形势严峻等问题，且单项治理成效低，已严重影响了上游水环境健康。为保障水源地生态安全，确保库区及下游水质清洁、水量充沛，在中科院STS项目、国家重点研发计划等支持下，以“山水林田湖”生命共同体新理念为指导，在流域上游长期开展了各生态要素的系统修复与综合治理研究。

研究内容

辽河上游区是吉林中部城市群的重要水源地，水环境改善与水生态安全保障意义重大。针对辽河上游区水源涵养林生态功能低下、坡耕地水土流失严重、农田面源污染治理控制难/效率低、湿地与河流岸边带生态系统退化等问题，且以往单项治理技术成效低，已严重影响了上游水生态与水环境健康。项目团队提出长时间序列逐年-高精度-全要素生态系统时空甄别技术；进而以“山水林田湖生命共同体”生态保护和修复理念为指导，统筹山上山下、坡上坡下，岸上岸下，提出山水林田湖一体化修复的实施路径，即在河流源头区或山上开展水源涵养林保护/恢复的结构优化与改造，坡上开展坡耕地退耕还林及林下资源开发利用、“点-线-面”相结合的水土流失与面源污染治理，岸上河/库周边区开展基于植被结构调控与空间配置的湿地/河流岸边带生态恢复研究和示范，实现了辽河流域水量充沛、水质改善的目标。

重大科技贡献

1、遵循“山水林田湖生命共同体”理念，提出逐年-高精度-全要素生态系统时空甄别技术，为辽河流域生态修复工程和国土空间管治提供重要科技支撑；

2、系统研发了林窗更新、冠下更新、效应带改造等水源涵养功能提升关键技术，创建了辽河源头区/山上水源涵养林结构优化与调控、低效水源涵养林改造技术体系，提升了上游区水源涵养林的调水、蓄水、净水能力，为上游区森林植被水源涵养能力提升提供技术支持，支撑“山-林-水”生态恢复；

3、筛选了适合辽河上游区退耕还林的新品种，提出红松+油用牡丹、坡耕地林下资源开发利用等退耕还林新模式，控制了坡耕地水土流失等问题，提高土地产值15-25%；研发了农业种植结构优化、有机绿色栽培、多级生态透水坝等农业面源污染综合治理技术体系，削减了农业面源N、P污染负荷，支撑“田-水”的综合治理；

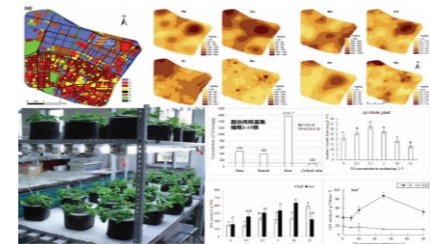
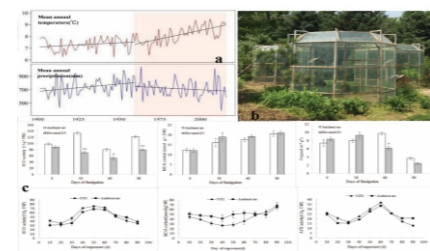
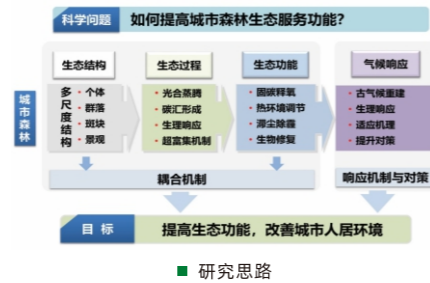
4、提出河岸带植物定向筛选技术，构建了河/库周边植被结构调控与空间配置技术体系，研发了湿地功能分区与快速恢复技术体系，形成了北方寒冷地区“一区三带”河岸带与湿地植被恢复模式，支撑“林-水-湖”的生态恢复。

成果产出与荣誉

项目共获授权专利21项，发表论文135篇，出版专著2部；发布中科院要情3份；提交吉林省政府咨询报告1份，并获省领导批示；入选国家“十二五”科技创新成就展。成果已在吉林省辽河流域、浑江流域和辽宁省浑河流域示范推广应用，建立综合示范区7500公顷，累计推广51万公顷，示范区水质达到地表水II类，该成果开创了山水林田湖草沙一体化保护修复的新局面，为打造东北森林带一体化保护修复吉林样板做出突出贡献，成为我国山水林田湖生命共同体理念的成功实践。成果获吉林省2022年科技进步一等奖（中国科学院沈阳应用生态研究所为第二单位）。

成果团队

何兴元、姜明、孙雨、李怀、王国栋、于锐、郑海峰、任志彬、陈玮、王洋、张粤、于帅、姚婧、徐胜、董禹麟



城市适宜树种选择繁育及应用

Selection, Breeding and Popularization of Urban Preference Tree Species

成果背景

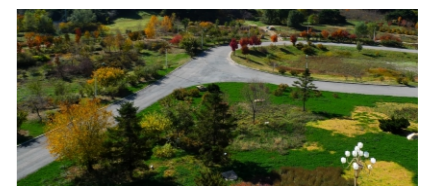
城市植被在城市污染物吸收与降解、改善城市小气候、减轻或消除城市热岛效应、维持大气碳氧平衡、缓解全球变化所带来的压力等方面具有无法替代的作用，而城市树木是城市植物群落营建和发挥各种效益的基本单元。因此，树种选择、繁育以及应用理论与技术问题是我们必须面对的关键问题。在特定的气候条件下选择具有哪些树种最适宜？选择哪些树种组成的城市绿地系统能发挥其最大化的生态功能？根据什么标准和采用何种方法来评价城市适宜树种？这都是树种选择必须要回答的科学问题。

研究内容

- 1、全面系统地揭示了城市主要树种的生理生态功能：系统测定并研究了城市主要树种的生理生态学特性与规律，确定了其固碳释氧、降温增湿、三维绿量和滞尘量等重要生态功能指标，为树种定量研究与评价奠定了坚实基础；
- 2、现有树种适生性的定量评价与选择研究：借助先进技术与方法(3S技术、CITYgreen模型)，通过树种分布、结构、抗性、健康状况等多项指标定量地确定了已应用的城市适生树种；
- 3、引进优良树种并攻克繁育难关：经过50余年国内外优良树种引种栽培试验，建立了45个专类树种收集区，成功引种栽培600种树木，筛选出50余种优良树种，并攻克树种繁育技术难题。

重大科技贡献

- 1、在国内外首次确立了城市树种的固碳释氧、降温增湿等定量指标，在城市树种定量评价、生理生态功能定量研究方面取得了重要突破，弥补了我国城市树种选择缺少定量研究的不



足;

2、建立了我国首个城市树种综合评价指标体系,填补了空白;

3、3个树木园引种收集的城市树木种类在东北地区最丰富,在繁育与栽培技术方面取得多项突破;

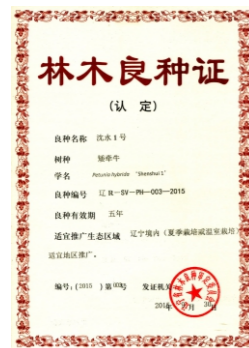
4、为沈阳“园林城市”和“森林城市”做出重要贡献。

成果产出与荣誉

本项目持续受国家重点研发计划项目、自然科学基金、中科院及省市项目资助。申请发明专利25件,授权20件;发表论文97篇,其中SCI 37篇,出版专著5部,良种2个,国家新品种3个。



■ 出版专著



■ 植物良种-矮牵牛



■ 杀虫助剂发明专利

成果团队

何兴元、陈玮、张粤、孙雨、李小玉、苏道岩



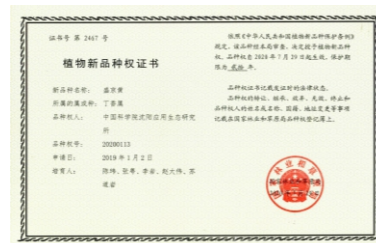
■ 吉林省自然科学一等奖



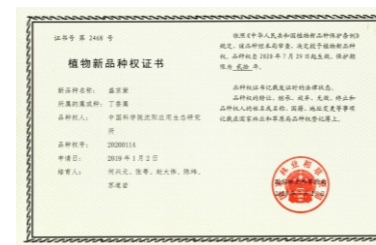
■ 辽宁省科技进步一等奖



■ 植物新品种权-盛京红证书



■ 植物新品种权-盛京黄证书



■ 植物新品种权-盛京紫证书

北方城市森林生态服务功能研究

Research on the Ecological Service Functions of Urban Forests in the Northern Region

成果背景

随着城市化进程加快,环境不断恶化,人类城市居住环境受到前所未有挑战。城市森林是指城市及周边分布的以木本植物为主体、对城市环境具有重要影响的森林与树木,其作为城市生态系统的主要组成部分,在污染物吸收与降解、改善城市小气候等方面具有无可替代的生态服务功能。但目前对城市森林相关生态服务功能认识不清,尤其是形成机制尚不明确。相对于南方,我国北方城市环境问题突出且城市森林覆盖相对较低且气候寒冷,因此如何最大限度地发挥、提高北方城市森林的生态功能成为当前必须解决的一个重要科学问题。

研究内容

围绕着城市森林生态服务功能,综合采用样方调查、遥感技术、控制实验、数值模拟等手段,系统开展了城市森林固碳释氧、滞尘除霾、减缓热岛、土壤碳汇功能、污染土壤修复等关键生态服务功能及其影响机制方面的研究,针对未来气候变化,重点在不同树种生理反应机制、气候重建、树种选择对策与高生态功能群落构建方面开展了创新性研究,丰富了城市森林生态学基础理论,对我国城市环境改善、应对全球气候变化具有重要的理论与实践意义。

重大科技贡献

1、阐明了城市森林生态服务功能与形成机制。构建了中国城市森林的基本理论体系,提出了全新的基于遥感与网络大数据的城市森林空间数据获取方法。提出了不同尺度的城市森林热环境调节的关键功能指标、揭示了热环境调节相关阈值及其作用机制;科学量化了城市森林主要树种的固碳释氧功能,明确了城市森林减少城市碳排放的贡献;提出了北方主要树种VOC排放与滞尘能力清单,为城市降尘除霾和臭氧污染减缓提供依据;

2、揭示城市森林土壤碳汇与生物修复功能及其形成机制。创新性提出了“年代序列-长期固定样地-统计效力分析法”获取落叶松林土壤碳截获速率,量化了典型城市森林土壤碳汇功能;明确了城市化进程中土壤碳的变化特征,揭示城市化增强土壤碳汇能力的形成机制;明确了北方重工业城市城市土壤污染特征;国际上首次发现了重金

属超富集木本植物忍冬，并阐明了其超富集多重Hormesis应激机制；

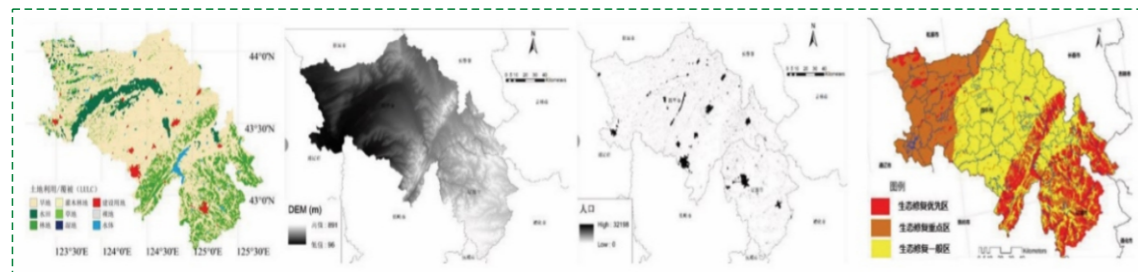
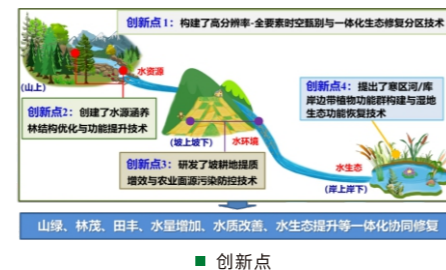
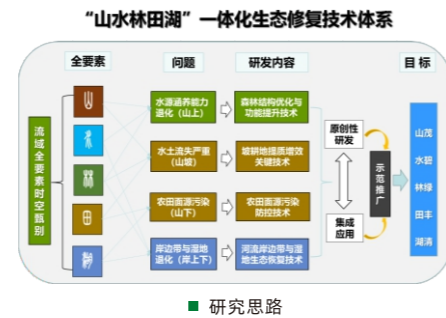
3、揭示了城市森林主要树种对全球气候变化生理响应机制与对策。基于开顶箱模拟控制实验，阐明了城市森林主要树种对CO₂和O₃联合倍增生理响应与机制；提出了基于树木年轮宽度、稳定碳同位素等城市气候（温度、降水、CO₂）重建方法，重建了北方典型城市二百年尺度的气候；提出了适应全球气候变化下的树种选择原则及城市森林构建模式。

成果产出与荣誉

本成果共发表SCI文章87篇，SCI总他引1054次；20篇核心论文总他引519次；8篇代表作合计影响因子35.6次，总他引216次，高被引1篇。被国际顶级期刊PNAS、Glob Change Biol、J Hazard Ma引用多次；专著2部，中文论文发表176篇，总他引6545次。本成果丰富了城市森林生态学基础理论，对提升我国北方城市森林生态功能、改善生态环境具有指导意义。成果获吉林省2019年自然科学一等奖（中国科学院沈阳应用生态研究所为第二单位）。

成果团队

何兴元、王文杰、任志彬、陈玮、刘周莉、李小玉、徐胜、陈振举、刘常富、郑海峰



■ 高分辨率-全要素时空甄别与一体化生态修复分区技术

东北森林植物资源保护与利用

Conservation and Utilization of Forest Plant Resources in Northeast China

成果背景

无序资源开发及全球变化加剧生态保护与经济发展的激烈冲突，植物资源科学保护与合理利用已经提升到事关人类福祉的全球高度。探索森林植物资源生态、经济功能可持续的生态保护技术，权衡和协调保护与利用之间的关系，建立和完善天然林有效保护前提下生物资源全产业链生态利用技术体系，是植物资源保护与利用的重要方向，亦是实现林区经济绿色转型、高质量发展的根本保障。然而，天然次生林恢复过程中的关键种、经济种有效保护，机制不清，模式匮乏，限制了天然林恢复技术的发展；东北林区生物资源产业均在种质创新、种苗扩繁、生态栽培、产地加工与高附加值产品开发等全产业链均存在关键技术瓶颈，产业效益低下，对野生植物资源保护能力不足。因此，如何实现东北林区天然林及林下植物资源有效保护与林区经济可持续发展的协同，已成为亟待解决的重要科学和技术问题。

研究内容

针对气候变化下东北森林生物多样性下降、次生林生态系统天然更新障碍，以及生物资源无序开发等亟需解决的关键问题，项目团队汇集和整编三个科技基础性工作专项及辽宁草地等调查数据，提升和完善东北植物与生境数据平台，以此为基础，将Maxent模型由物种引入群落，充分利用5000余块样地调查数据，编制首个区域尺度的群丛级植被图，预测植物物种、群落空间分布及其对未来气候变化的响应；基于种子植物区系、群落组成和结构及其多样性数据，研究群落结构与功能对不同恢复措施的响应，分析气候变化导致的森林濒危物种丰富度变化趋势和重点保护区规划，建立东北森林群落定向分类、优先保护分级技术和濒危物种保护策略。面向东北森林区生物资源产品形态单一、技术水平落后、国际竞争力低下等困境，项目团队基于国家重点研发计划、院种质创新项目和辽宁省社发重大专项课题、企业委托研发任务等，采用超微粉、纳米化以及现代分离与酶解等技术，开展了榛子

等坚果、软枣猕猴桃等浆果、兴安山芹等山野菜以及精油植物资源全产业链研发以及生态经济体系的构建，提高原料资源利用率和产品生物利用度及附加值。

重大科技贡献

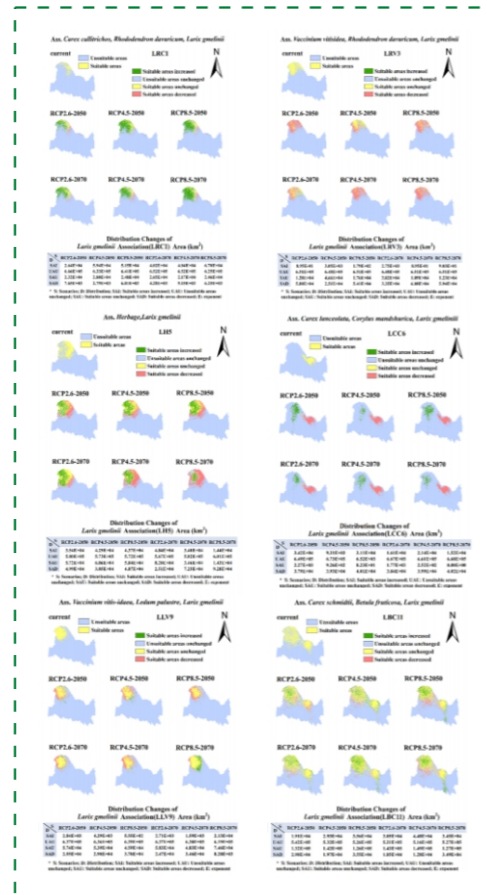
1、全面系统总结了黑龙江省野生及栽培维管束植物种类与县域分布，编撰出版了《黑龙江省植物志》（修订版），进一步完善了东北植物与生境数据平台，为多项国家重大项目以及沈阳国家植物园的筹建工作提供了基础数据支撑；

2、系统研究了植物种群、群落对气候变化的响应机制，明确了保护建群种对伴生种就地保护的重要意义；预测东北地区2600个维管植物种不同气候情景下丰富度的空间变化，阐明生态交错区丰富度高于划定的热点地区，热点地区物种损失风险更高；编制国内首个区域尺度群丛级高精度植被图；

3、将植物资源开发利用融入退化草地生态修复中，构建了生态经济型防护体系，即引入20余种乡土植物，构建以观赏、牧草、木本粮油为核心的乔灌木多层次、多功能防风固沙模式；

4、选育出紫丁香系列新品种3个、兴安杜鹃新品系12个，为城市园林绿化，以及国家重点保护野生植物的引种扩繁与创新应用提供了新的思路；

5、建立了以油松精油为主要功能成分的植物源减药杀虫助剂和食用菌增产助剂，减少80%以上化学杀虫剂用量并提升了杀虫



■ 基于RCP 2.6、RCP 4.5和RCP 8.5气候情景的落叶松群落地理分布现状和未来趋势(2050年和2070年)



■ 乔灌木多层次、多功能生态经济型防风固沙体系

效果，食用菌产量提升120%以上；

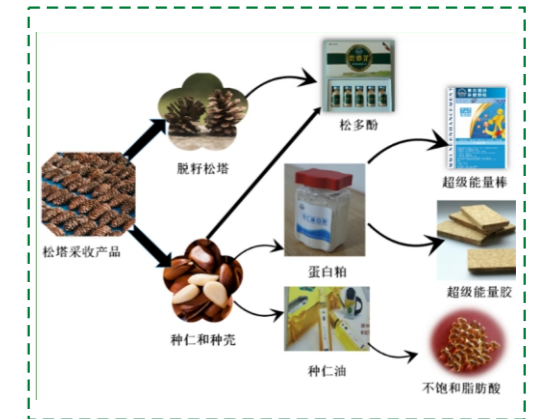
6、建立了以品种-生态栽培-全资源化利用为主线的红松等经济植物全产业链技术体系，为东北林区经济植物资源开发利用树立了典范。

成果产出与荣誉

本成果共发表SCI论文25篇，出版专著16部，获授权专利及软件著作权5项；提交政府咨询报告1份；《大兴安岭野生经济植物原色图鉴（第一卷）（第二卷）》获中国大学出版社图书奖优秀学术著作二等奖（中国大学出版社协会）。本成果在区域尺度上开展森林生态系统保护与区域特色生物资源生态化、产业化利用技术，发展体现区域生态特点的生态产业，将全力支持我国东北森林区天然林有效恢复和林农、林企增收，在自然-经济-社会复合系统重建中促进区域社会经济发展、产业绿色转型和民生改善，保障国家生态文明建设战略目标的实现，进而维护国家生态安全和区域经济可持续发展，部分成果与所内外团队联合，获得国家科技进步二等奖1项。

成果团队

何兴元、于景华、陈玮、于帅、伍智蔚、原树生、张粤、黄彦青



■ 红松全产业链技术体系

采用双季节无人机激光雷达点云提高森林单木分割和树高估算精度

Individual Tree Segmentation and Tree Height Estimation Using Leaf-Off and Leaf-On UAV-LiDAR Data in Dense Deciduous Forests

成果背景

精准的单木分割和树高测量是森林资源管理和碳储量估算的关键。单木的位置和结构参数（如：树高、冠幅和树冠体积等）和功能参数（如：地上生物量）均可在单木分割的基础上获取。无人机激光雷达（UAV-LiDAR）可直接通过点云数据获取地面高程和单木坐标信息，对单木分割和树高估算具有优势。然而，由于温带森林林分密度大、结构复杂、个体冠层边界不清，单一无叶期或有叶期的LiDAR数据无法获取完整的树冠结构和地面信息，影响单木分割和树高估算的精度。

研究内容

本研究在高林分密度落叶林（平均密度：936棵/公顷）分别获取无叶期和有叶期激光雷达点云数据，通过坐标匹配和特征点识别实现两期数据集融合，构建双季数据集。在扫描区内设立15块样地用于验证，包括：阔叶混交林、蒙古栎林、落叶松人工林和落叶松-阔叶混交林；记录样地内的胸径大于5cm的单木（共884棵）的坐标、树高、胸径和树种等信息。分析三种单木分割算法（Watershed method, PCS method和LSS method）在三个数据集的单木分割表现。基于实测树高与通过不同数据集单木分割获得的树高构建树高估算模型，验证不同数据集的树高估算精度。

重大科技贡献

针对温带森林特点，融合无叶期和有叶期点云数据集，结合层堆叠分割算法，提高单木识别精度16.7%，树高估算误差减小了0.22-0.27米，地上生物量的估算精度提高了2.6%-10%。本研究为无人机激光雷达数据在森林结构监测、参数估算和多期激光雷达数据的应用等方面提供了参考。

成果产出与荣誉

发表SCI论文1篇：

Chen, Q.; Gao, T.; Zhu, J.; Wu, F.; Li, X.; Lu, D.; Yu, F. Individual Tree Segmentation and Tree Height Estimation Using Leaf-Off and Leaf-On UAV-LiDAR Data in Dense Deciduous Forests. Remote Sens. 2022, 14, 2787.

成果团队

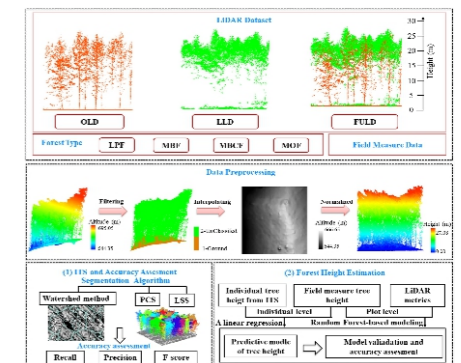
朱教君（杰青）、高添、陈庆达、李秀芬、卢德亮、于丰源



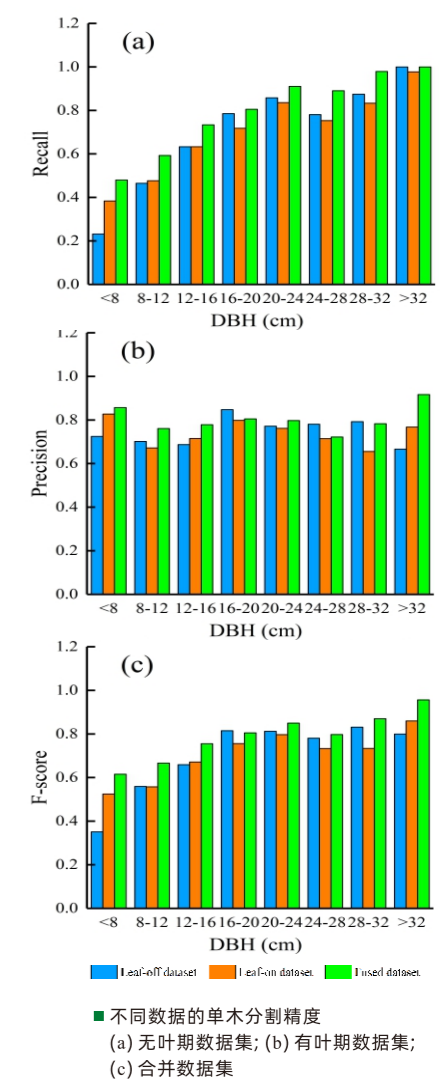
■ Riegl VUX-1LR无人机激光雷达飞行扫描系统



■ 样地树高测量



■ 技术流程



基于清原科尔塔群协同观测揭示温带森林结构与反照率的关系

Relationship Between Temperate Forest Structure and Albedo: A Comprehensive Observation Using Qingyuan Ker Towers

成果背景

再造林不仅可以固碳，还可改变地表反照率（增温或降温效应），是干预气候变化的重要手段。我国森林经长期自然/人为干扰，形成大面积次生林（Natural Reforestation）；为生产木材，大面积针叶人工林替代了次生林。次生林和人工林的物种组成和结构存在明显差异，可能导致森林反照率的改变。以往研究多报道土地利用/覆盖变化对地表反照率的影响，尚无研究关注再造林形成的次生林和人工林的冠上/冠下结构如何影响反照率，并进一步影响光合有效辐射吸收比例（FAPAR，可用于表征植被生产力）。

研究内容

依托清原科尔塔群（独立流域内3座观测塔：天然阔叶混交林T1-MBF、天然蒙古栎林T2-MOF、落叶松人工林T3-LPF）近地面遥感平台，监测了森林反照率和FAPAR的季节变化；监测林分结构（冠层叶面积指数、林下植被绿度），探究森林结构与反照率及FAPAR的关系，并分析3个生长季阶段（展叶期，稳定期、凋落期）森林结构对反照率变化的相对贡献，为森林管理应对气候变暖提供理论依据和决策建议。

重大科技贡献

- 1、发现落叶松人工林太阳辐射（SR）反照率小于阔叶林，表明针叶人工林吸收更多太阳辐射（增温效应）；
- 2、SR反照率呈季节单峰模式，在太阳辐射最强的夏至日左右达到峰值；相比北方森林，温带森林更有利于缓解气候变暖；
- 3、首次从实证角度发现林下植被对森林反照率变化的高贡献率（>40%）；
- 4、阔叶林较针叶人工林表现出更高的生产力（固碳）和反照率（降温）的协同效应；

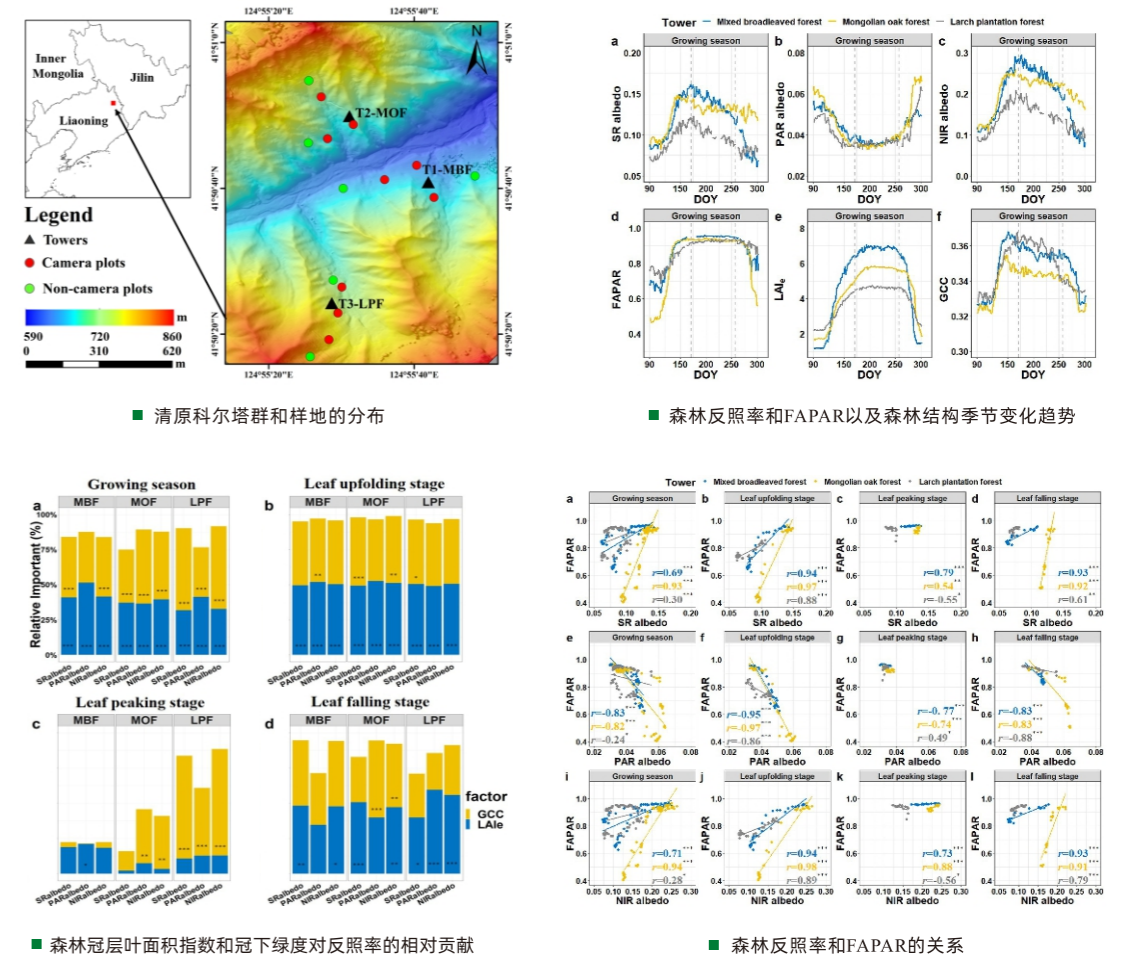
- 5、建议通过林下植被管理和将针叶纯林诱导为针阔混交林，以增加次生林生态系统缓解气候变化的能力。

成果产出与荣誉

Li S., Yan Q., Liu Z., Wang X., Yu F., Teng D., Sun Y., Lu D., Zhang J., Gao T., and Zhu J. 2023. Seasonality of albedo and fraction of absorbed photosynthetically active radiation in the temperate secondary forest ecosystem: A comprehensive observation using Qingyuan Ker towers. *Agricultural and Forest Meteorology*, 333: 109418.

成果团队

高添、李双天、朱教君(杰青)、闫巧玲(优青)、张金鑫、孙一荣、于丰源。



菌根类型优势度机制与生物多样性—生态系统功能尺度依赖关系

Mycorrhizal Dominance Mechanism and the Scale-Dependent Biodiversity-ecosystem Functioning Relationships

成果背景

生物多样性如何影响生态系统功能是生态学研究的核心问题之一，大量实验和理论研究发现，生物多样性与生态系统功能（如生物量等）之间存在显著的正相关关系（即BEF正关系），表明生物多样性正向促进生态系统功能。然而，在天然林生态系统中，已有研究发现BEF关系随研究尺度发生变化，在小尺度范围内（<0.1ha）呈正相关，而在大尺度范围（>0.1ha），BEF关系以负相关或无显著关系为主。这种尺度效应不仅大大限制了BEF研究对森林经营实践的现实指导意义，同时也对现有BEF理论体系提出了挑战，成为了困扰生态学家10年之久的未解难题。

研究内容

天然林生态组团队通过系统凝练和发展菌根共生观点，并重点关注外生菌根（EM）和丛枝菌根（AM）作用，在温带针阔混交林、落叶阔叶林和亚热带常绿阔叶林等多种林型内，明确了AM和EM树种优势度与土壤肥力的关系，并进一步与群落多样性和生物量建立联系，量化了AM-EM树种优势度对多样性-生物量这一重要BEF关系的影响规律，首次发现森林BEF关系的“由正转负”尺度变化规律主要受菌根类型优势度主导。

重大科技贡献

- 1、首次发现了菌根类型和土壤条件对森林多样性和生物量的协同调控机制，解释了天然林多样性与生物量的空间变异规律；
- 2、提出了“菌根类型优势度”新机制，解决了困扰生态学家10年之久的森林多样性-生态系统功能关系的尺度效应问题；
- 3、初步形成了综合考虑立地条件（土壤肥力）和树种特性（菌根类型）的AM-EM混交营林方案，为未来植树造林和森林管理提供科学参考。

成果产出与荣誉

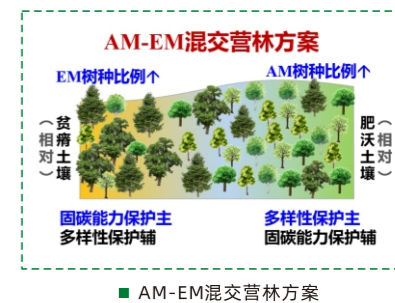
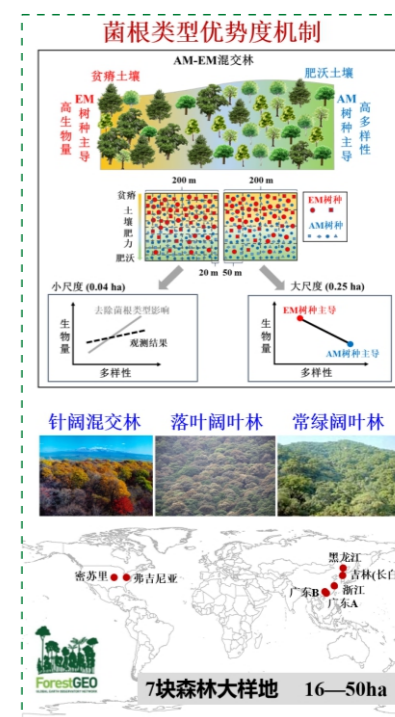
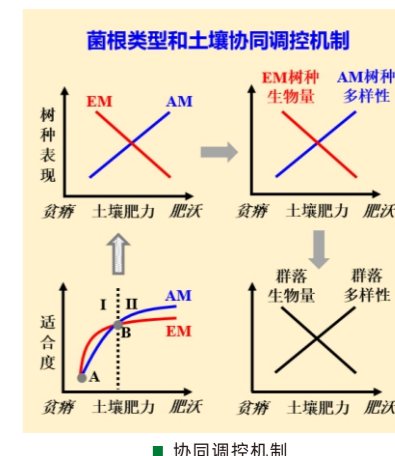
以上成果以SCI论文的形式先后发表于New Phytologist (2019,223:475-486)和Ecological Monographs (2023,93:e1568)，第一作者和通讯作者分别为天然林生态组毛子昆副研究员和王绪高研究员。

毛子昆副研究员曾获中国科学院院长优秀奖（2021年）、中国生态学家俱乐部青年学术报告奖（2022）、中科院沈阳应用生态研究所青年学术报告奖（2019/2020/2022）、中国科学院大学优秀毕业生荣誉称号（2021）等奖励，受到中科院特别研究助理资助项目（2021）和中科院沈阳应用生态研究所绿莖优秀青年科学家计划支持。

王绪高研究员曾获中国科学院院长优秀奖（2006年）、中国科学院首届卢嘉锡青年人才奖（2008年）、辽宁省青年科技奖（2009年）、中国生态学会第三届青年科技奖（2013年），2011年入选中国科学院青年创新促进会，2014年获得中科院卓越青年科学家项目，2017获国家自然科学基金优秀青年项目，辽宁省“兴辽英才计划”青年拔尖人才，中国科学院优秀导师奖（2019年），中国科学院朱李月华优秀教师奖（2020年）。

成果团队

王绪高（优青、“兴辽英才计划”青年拔尖人才）、叶吉、蔺菲、房帅、毛子昆



大气氮沉降在全球森林中的去向及其对森林碳汇的贡献

Retention of Deposited Ammonium and Nitrate and Its Impact on the Global Forest Carbon Sink

成果背景

人类活动导致全球大气氮沉降量增加，进而影响森林生态系统碳氮循环。氮沉降能够提升森林生态系统碳汇，缓解全球气候变暖，然而，氮沉降对森林碳汇影响的大小仍存在很大争议。氮沉降对森林碳汇的影响主要取决于沉降氮的去向，即沉降氮是被植物利用还是被土壤固持或是以淋溶和气体方式损失。不同形态沉降氮在生态系统内的去向也存在一定差异。因此，在氮沉降增加的背景下，准确量化不同形态沉降氮在森林中的去向和分配是评估氮沉降对森林碳汇影响的关键。目前，国际上虽已有较多的森林¹⁵N示踪研究，但多数实验尺度小时间短，而且对于不同形态沉降氮在不同类型森林中的去向及截留机制尚不清楚。另外，全球氮沉降总量及其形态也存在较大的空间变异性，大大增加了评估氮沉降对森林碳汇贡献的不确定性。氮沉降对森林碳汇贡献的不确定性一定程度上限制了对全球未来气候变化的预测。

研究内容

基于此，方运霆研究员于2014年牵头建立了我国森林生态系统¹⁵N成对标记示踪网络（由15个站点20个森林组成，南北地理跨度4000公里），并系统研究氮沉降在森林生态系统的分配和损失规律及其对森林碳汇的贡献。发现氮沉降在开始三个月损失30%~50%，此后3年内较稳定的存在于生态系统内部，但随时间推移沉降氮会重新分配，固持在土壤的氮逐渐释放并被植物吸收利用，且热带森林的重新分配周期要短于温带森林。研究团队进一步结合该标记网络结果和欧美森林4个成对¹⁵N标记研究数据，采用模型模拟估算得到全球每年氮沉降驱动的森林生态系统碳吸存达到0.72Pg C，约占全球陆地生态系统碳汇的20%，高于以往的研究结果，说明氮沉降对陆地生态系统碳汇的贡献可能被低估。

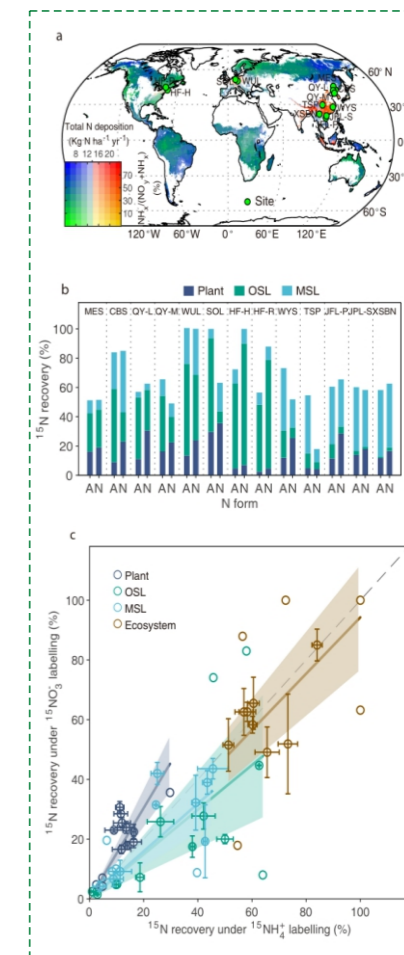
重大科技贡献

方运霆研究员建立的我国森林生态系统¹⁵N示踪网络，也是目前全球最大的多点联网¹⁵N示踪研究。该网络为揭示不同形态氮沉降在我国森林生态系统中的去向及其影响机制提供了极好的平台，具有明显的新颖性和独特性。该团队基于我国森林¹⁵N成对标记网络数据评估了全球森林对不同形态氮沉降的截留率，据此估算了全球氮沉降对森林生态系统碳吸存的贡献，发现过去的研究大大低估了其贡献。研究成果发表在Nature Communications和Global Change Biology等国际有影响力期刊上。因此，该研究进展不仅加深了有关氮沉降对我国乃至全球森林生态系统碳氮循环影响的理解，获得的成果也刷新了有关氮沉降对森林碳汇贡献的认知，成果属于全球领先地位。

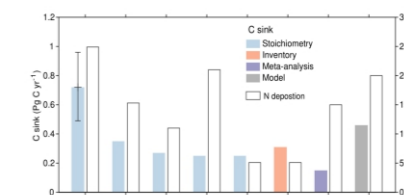
成果产出与荣誉

1. Gurmesa, G.A.#, Wang, A.#, Li, S., Peng, S.*, de Vries, W., Gundersen, P., Ciais, P., Phillips, O.L., Hobbie, E.A., Zhu, W., Nadelhoffer, K., Xi, Y., Bai, E., Sun, T., Chen, D., Zhou, W., Zhang, Y., Guo, Y., Zhu, J., Duan, L., Li, D., Koba, K., Du, E., Zhou, G., Han, X., Han, S., Fang, Y.* (2022) Retention of deposited ammonium and nitrate and its impact on the global forest carbon sinks. Nature Communications 13, 880.

2. Wang, A., Chen, D., Phillips, O.L., Gundersen, P., Zhou, X., Gurmesa, G.A., Li, S., Zhu, W., Hobbie, E.A., Wang, X., Fang, Y.* (2021) Dynamics and multi-annual fate of atmospherically deposited nitrogen in montane tropical forests. Global Change



■ (a) 全球森林生态系统氮沉降空间格局和本研究¹⁵N成对标记实验站点
■ (b) 不同生态系统组对不同形态沉降氮的截留率
■ (c) 生态系统及各组分对铵态氮和硝态氮的截留效率相关图



■ 不同研究的大气氮沉降及其对全球森林生态系统碳汇的贡献结果比较

Biology 27, 2076-2087.

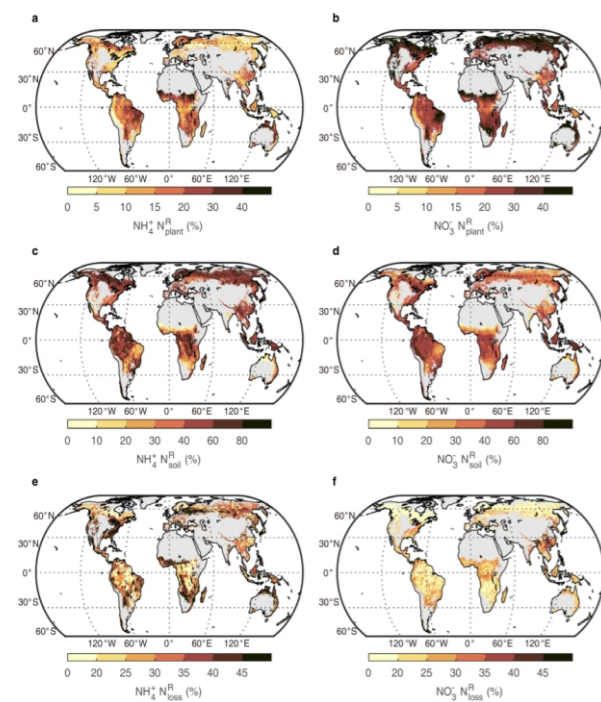
3. Li, S.#, Gurmesa, G.A.#, Zhu, W., Gundersen, P., Zhang, S., Xi, D., Huang, S., Wang, A., Zhu, F., Jiang, Y., Zhu, J., Fang, Y.* (2019) Fate of atmospherically deposited NH_4^+ and NO_3^- in two temperate forests in China: temporal pattern and redistribution. *Ecological Applications* 29, e01920.

4. Wang, A., Zhu, W., Gundersen, P., Phillips, O.L., Chen, D.*, Fang, Y.* (2018) Fates of atmospheric deposited nitrogen in an Asian tropical primary forest. *Forest Ecology and Management* 411, 213-222.

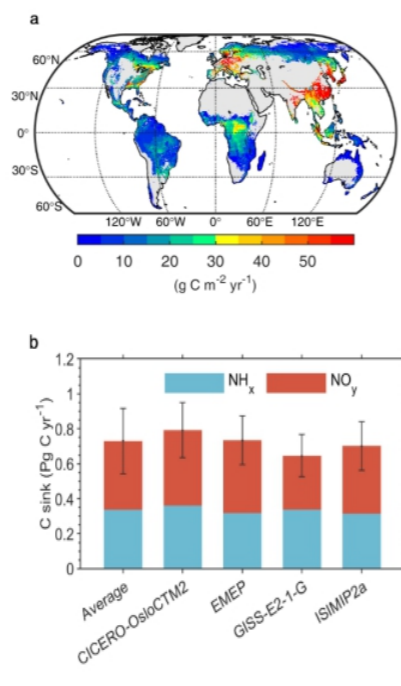
5. Gurmesa, G.A., Lu, X., Gundersen, P., Mao, Q., Zhou, K., Fang, Y., Mo, J. (2016) High retention of ^{15}N -labeled nitrogen deposition in a nitrogen saturated old-growth tropical forest. *Global Change Biology* 22, 3608-3620.

成果团队

方运霆（优青、辽宁省“兴辽英才”计划领军人才）、Geshere A. Gurmesa、王鑫、李善龙、朱飞飞、朱伟兴



■ 全球森林植物和土壤氮截留率的空间分布格局



■ 大气氮沉降对全球森林碳汇的贡献

清原温带森林土壤一氧化氮排放的调控机制

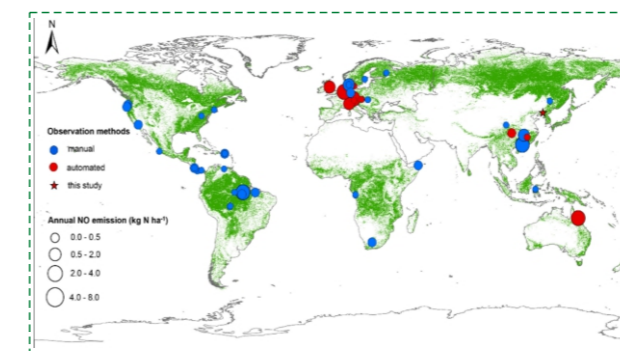
The Regulation Mechanism of Nitric Oxide Emission in Qingyuan Temperate Forest

成果背景

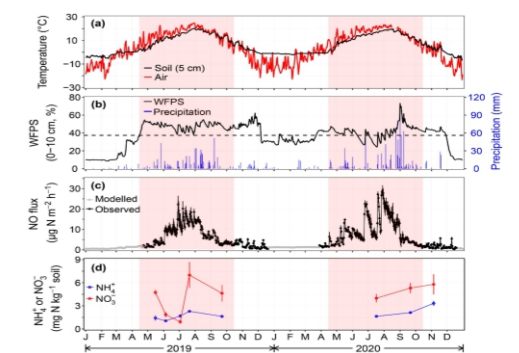
一氧化氮 (NO) 化学活性强, 影响着大气环境化学, 极易被对流层臭氧和氢氧自由基氧化, 同时也是大气细颗粒物中硝酸盐形成的前体物质。森林土壤是大气NO的重要排放源, 但全球森林土壤NO排放仍存在很大的不确定性, 这影响了全球森林NO排放的估算, 其中站点分布不均和缺乏高频在线监测是重要原因。目前, 在全球森林开展土壤NO排放研究的站点有59个, 而连续自动监测研究则只有13个, 在中国温带森林还没有NO连续自动监测的报道 (图1)。

研究内容

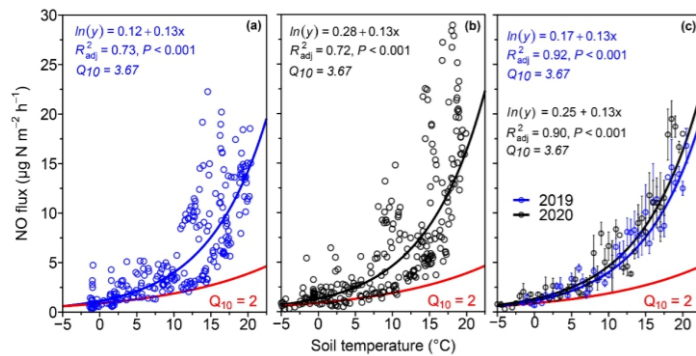
基于此, 中科院沈阳应用生态研究所稳定同位素生态学团队在辽宁清原森林生态系统国家野外科学观测研究站一典型温带针阔混交林建立了高频连续土壤NO排放速率的自动采样和测定系统 (系统由15个土壤呼吸室、自动控制系统和NO-NO₂-NO_x分析仪组成), 对该站点森林土壤NO的排放通量进行了连续两年的观测 (图2)。研究发现该站点森林土壤NO年排放量为 $0.42 \pm 0.04 \text{ kg N ha}^{-1}$, 低于全球森林土壤平均排放水平 $1.34 \pm 0.28 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$, 其中生长季NO排放贡献占全年NO通量的92%。土壤温度是NO排放的主要调控因子, 解释了NO季节变化的90-92%。NO通量的表观温度敏感性 (Q_{10}) 为3.67 (图3)。此外, 研究还发现生长季NO排放受土壤湿度的影响, 最适土壤湿度为37% WFPS (图4)。



■ 全球森林土壤NO排放研究的分布 (n = 59) (图1)



■ 清原大气和土壤温度 (a)、土壤湿度和日降水 (b)、土壤NO排放 (c) 和土壤有效态氮含量 (d) 的季节动态。图中阴影部分代表生长季 (4月中旬-10月中旬) (图2)



■ 土壤NO排放与土壤矿质层（5cm）温度的相关性。
图a, b分别代表2019和2020年土壤NO排放与温度的相关性；
图c数据点代表取0.5°C间隔后NO排放（图3）

重大科技贡献

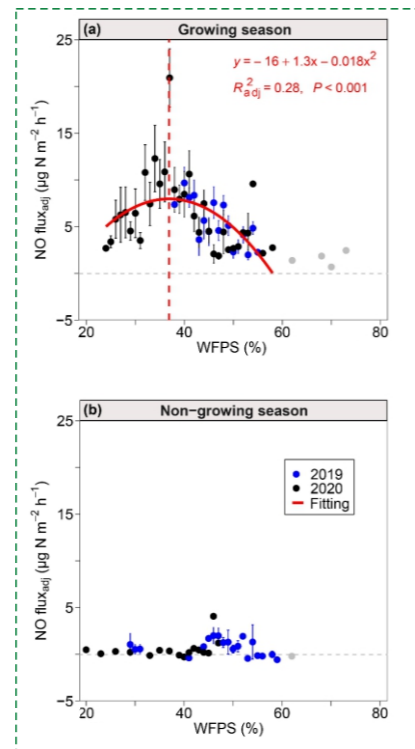
有助于我们更好的理解土壤温湿度对土壤NO排放调控机制，为开发更精确的生物地球化学模型和提高全球森林土壤NO排放估算的准确性提供科学基础。

成果产出与荣誉

以“A strong temperature dependence of soil nitric oxide emission from a temperate forest in Northeast China”为题在2022年6月7日发表在Agricultural and Forest Meteorology期刊。

成果团队

黄凯、宿晨霞、刘冬伟、段伊行、康荣华、于浩明、刘娱齐、李雪、Geshere Abdisa Gurmesa、全智、Jesper Riis Christiansen、朱伟兴、方运霆（优青、辽宁省“兴辽英才”计划领军人才）



■ 土壤NO排放与0-10cm矿质层土壤湿度的相关性。图a, b分别代表生长季和非生长季土壤NO排放与湿度的相关性；图中数据点代表取1% WFPS间隔后NO排放（图4）

多尺度城市扩展及其生态环境效应

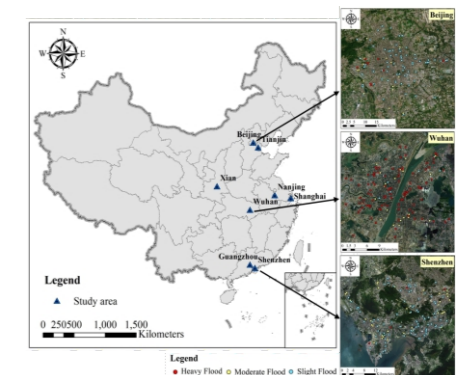
Multiscale Urban Expansion and Its Ecological and Environmental Effects

成果背景

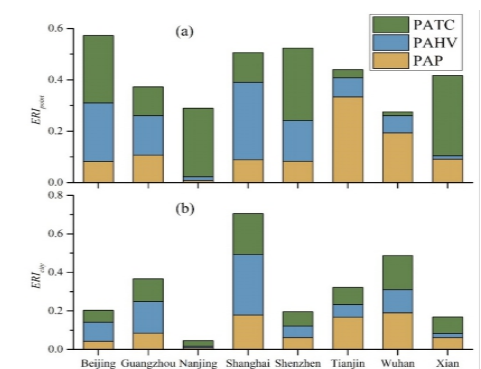
随着高速的城市化过程，剧烈的人类活动导致了显著的城市景观异质性。近几十年，我国快速城市化导致城市区域土地利用/覆被变化剧烈，城市面积扩张的同时，内部建筑物高度也在不断增长。二维三维城市扩展的动态特征深刻反映了城市化进程和城市空间结构的变化规律，使得城市景观格局具有明显的异质性、复杂性和动态性。城市格局演变导致其与周边生态环境的相互作用亦变得更为复杂。研究快速城市化背景下，城市景观格局与水-气-热等多种生态环境过程之间的关系，对于揭示格局对生态环境过程的响应机理，从生态规划与生态建设角度改善城市生态环境问题具有重要意义。

研究内容

融合无人机雷达技术、三维摄影测量技术、阴影长度反演、随机森林模型等技术手段，结合高分辨率遥感影像、夜间灯光数据、人口分布数据等大数据，构建了一套单体建筑-城市-全国的不同尺度城市三维建筑高度反演方法，并提出一系列三维景观格局指数对城市三维特征进行刻画。结合多源遥感、实测数据和过程模型模拟的方法，阐释了城市暴雨径流量和非点源污染负荷，识别了城市内涝风险热点区域及影响因素，评估了城市群不同季节大气污染物分布特征，量化了城市内部精细尺度的大气污染浓度分布与城市三维结构之间的关系，分析了城市热岛足迹的时空演变特征及其影响因素影响。通过生态环境过程模型探讨了城市二维和三维景观格局与城市热环境、水环境、大气环境过程的耦合关系，揭示城市格局对生态环境过程的综合影响，并针对关键过程进行景观格局优化。



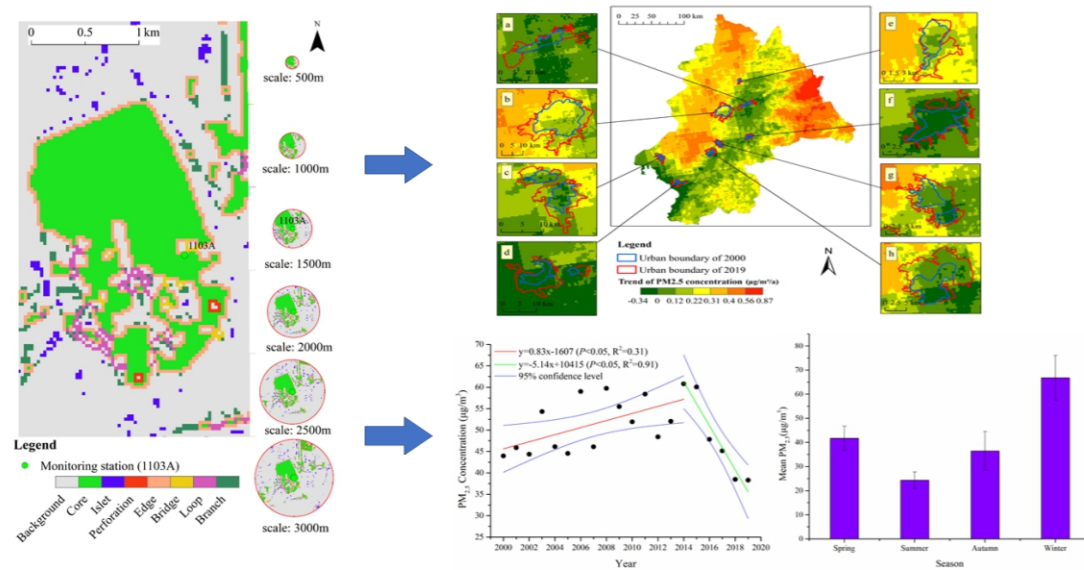
■ 中国特大城市的内涝点分布图



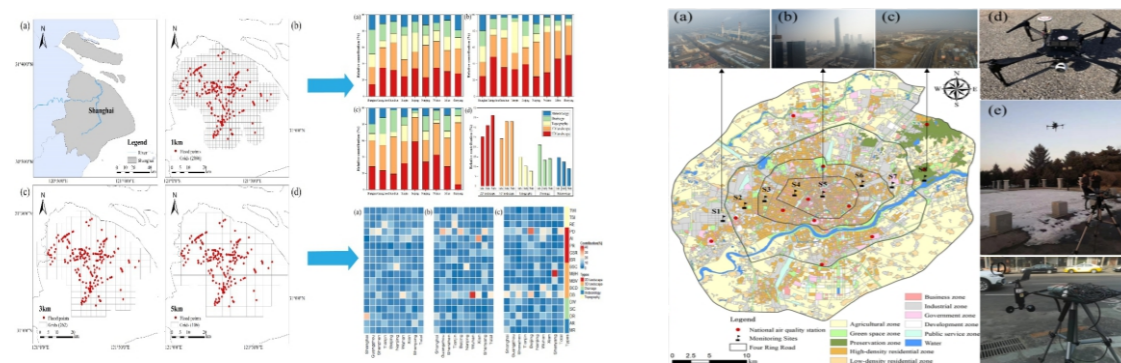
■ 不同城市内涝的潜在暴露风险指数

重大科技贡献

通过城市景观格局演变及其生态环境效应的研究，针对城市二维三维扩展带来的各种生态环境问题，开展了城市三维景观格局演变、内涝与非点源污染、大气污染、城市热岛等方面的研究，主要科技贡献：（1）突破传统城市景观格局的二维局限，构建了多尺度城市三维建筑高度反演方法和景观格局指数，推动了该城市研究向三维方向发展；（2）发展了城市内涝与非点源污染分析框架，阐释了城市内涝和非点源污染的输移特征及影响因素，揭示了城市景观格局变化对地表水环境过程的作用机理；（3）揭示了城市内部精细尺度的二维三维景观格局与大气污染物分布特征之间的耦合关系，综合探讨了多尺度城市二维三维景观格局对大气环境的影响过程。



不同尺度绿色基础设施格局对PM_{2.5}浓度的影响



不同尺度城市内涝驱动因素的相对贡献

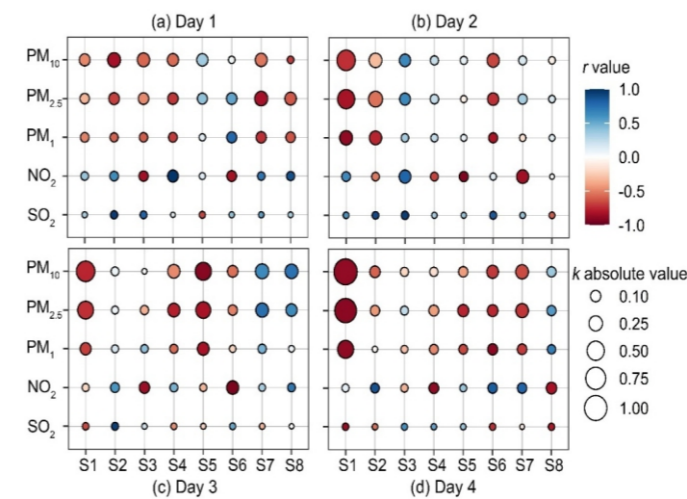
城市大气污染垂直监测试验设计图

成果产出与荣誉

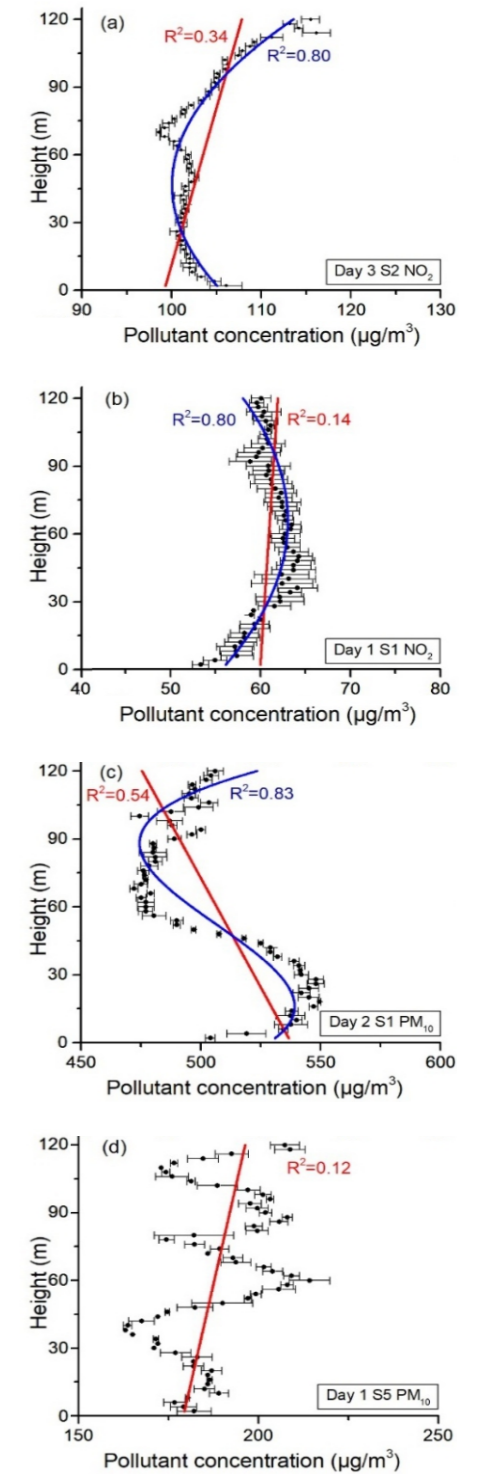
城市三维景观格局演变研究内容，在Applied Geography和Landscape and Urban Planning等期刊发表SCI论文9篇；城市内涝和非点源污染研究内容，在Journal of Hydrology、Journal of Cleaner Production和Science of the Total Environment等期刊发表SCI论文16篇；城市大气污染和城市热岛研究内容，在Sustainable Cities and Society、Building and Environment和Environmental Research等期刊发表SCI论文21篇。

成果团队

胡远满、李春林、刘淼、布仁仓、李月辉、熊在平



不同监测点和不同污染物的大气污染物垂直变化趋势



大气污染物的典型垂直分布特征

01 林业 FORESTRY
02 农业 AGRICULTURE
03 环境 ENVIRONMENT

农田防护林研究

Research on Farmland Shelterbelts

成果背景

我国东北、西北和华北地区风沙灾害十分严重，严重影响了当地的生态环境和农业生产。自1978年我国开始大规模防护林体系建设工程，构建防风固沙的绿色长城。随之而来的，如何构建高效的防护林体系，并科学评价其综合效益成为当时防护林营建与管理的迫切需求。也正是在20世纪80年代，沈阳应用生态研究所（原林业与土壤研究所）组建了林业气象研究团队，开始研发农田防护林和沿海防护林生态效益评价理论。

研究内容

1、农田防护林的核心功能就是减弱风力和缓解风沙灾害，但此前的防风效应研究多集中在单条林带或网格，以定性描述或统计分析为主，难以用于大面积农田防护林网的规划、设计、评价与管理。该项研究成果基于野外定位监测、风洞实验室模拟和理论模型构建，定量揭示了农田防护林结构、配置与防护效应的关系并构建了综合效应评估的理论框架；



■ 农田防护林

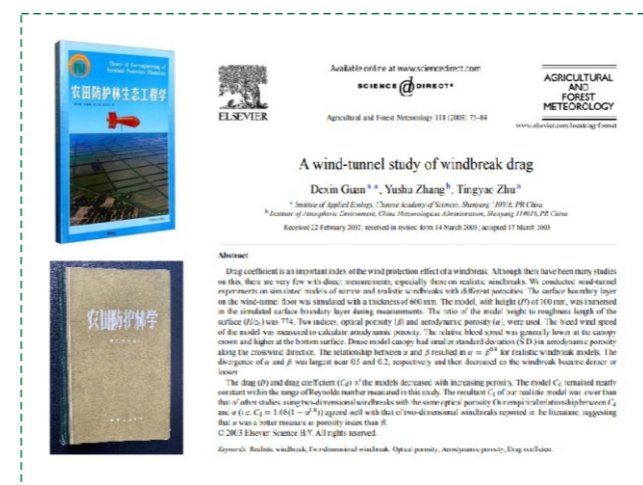
2、观测评价了沿海防护林减弱海煞危害的效益，提出了提高抗风性的海防林带剖面几何结构。

重大科技贡献

首次从湍流微结构方面揭示了农田防护林网的防风效应机制，发展了区域防风效应评价系统，解决了国际上农田防护林系统工程规划和管理中的量化指标科学难题。

成果产出与荣誉

发表论文30余篇，出版专著6部，先后获得中国科学院自然科学二等奖（1995）、第三世界科学组织网络和第三世界科学院农业奖（1998年）、林业部科技进步一等奖（1996）（第二单位）和国家科技进步三等奖（1997）（第二单位）。



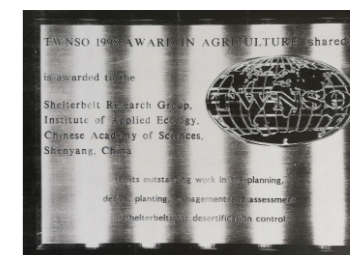
■ 成果论著

成果团队

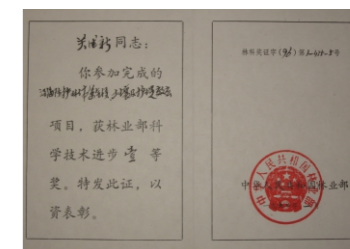
朱廷曜、姜凤岐、王述礼、关德新、周广胜（杰青）、金昌杰、曾德慧



■ 院自然科学二等奖



■ 第三世界科学奖



■ 林业部科技进步一等奖



■ 成果获奖

森林野外大型增温实验方法

Large-scale Forest Field Warming Experiment Method

成果背景

森林是重要的陆地生态系统碳汇，全球变暖将会深刻影响森林的碳汇格局。目前，在全球已建立了数十个森林增温站点，但绝大多数规模较小，无法揭示在生态系统尺度上森林气候变暖的响应规律及其机制。野外增温的方法分为主动和被动增温方式，主动增温主要包括加热电缆和红外辐射增温，通常能稳定控制增温幅度。相较于其它增温方式，红外辐射增温也更能模拟自然的气候变暖过程，且对生态系统扰动小。然而，过去开展的森林红外辐射增温样方面积也普遍都较小，样方面积通常小于12m²。森林生态系统具有结构复杂、地形多变、空间异质性较大等特点，因此，开展大型野外增温实验将有助于更好的评估森林生态系统对气候变暖的响应。目前，国际上仅有两个研究站点具有足够大的样方并开展了此类研究，一个位于美国的Harvard Forest，一个是位于瑞典的Flakaliden Forest，均采用电缆增温。我国东北地区温带森林是区域尺度上重要的森林碳汇，且处于气候变暖的敏感区域及快速升温区，然而该地区尚无原位土壤增温实验。

研究内容

中国科学院沈阳生态所方运霆研究员团队依托辽宁清原森林生态系统国家野外科学观测研究站建立了东北亚地区最大的森林野外增温实验平台。实验设计增温和对照2个处理，3个样方重复，单个样方面积达到108m²。首次采用联排红外辐射灯阵方法进行增温，结合控温系统对0-10cm土壤增温2°C。采用全天24小时增温方式，增温时间段是每年的无雪期（3月下旬-12月上旬）。增温平台的建设目标是评估我国东北典型森林生态系统碳汇对增温的响应及其机制。该平台于2017年开始筹建，并于2018正式运行。2018-2021年4年连续观测表明增温系统能够使0-10cm土壤稳定增温2°C，同时也使10-60cm土壤升温1.2-2°C。红外热成像仪的结果显示，表层土壤的增温效果非常均匀。此外，增温并未显著改变土壤湿度。清原森林野外增温平台自建成以来运行良好，能克服复杂的野外气候条件，这些结果充分表明联排红外灯阵增温方案的可行性，本平台稳定的增温效果为量化森林在生态系统尺度上对升温的响应奠定了坚实的方法基础。

重大科技贡献

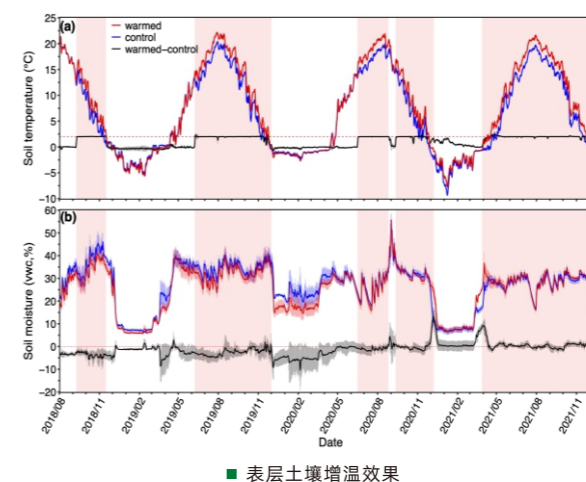
随着全球气温的逐渐变暖，野外增温实验对于探究陆地生态系统对气候变化的反馈至关重要。本研究是首个在东北地区利用红外辐射增温技术开展的大型野外增温实验，填补了该地区温带森林生态系统对增温响应研究的空白，本研究证明了采用红外辐射增温技术结合联排灯阵的布置方案在高大乔木的温带森林中开展大尺度增温实验的可行性。本研究报道的解决方案和经验对推动下一代陆地生态系统野外增温实验发展具有重要意义。

成果产出与荣誉

研究成果以“Design and performance of an ecosystem-scale forest soil warming experiment with infrared heater arrays”发表在生态学领域一区期刊《Methods in Ecology and Evolution》。

成果团队

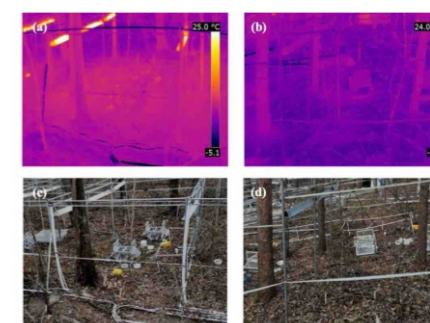
段伊行、刘冬伟、黄凯、朱飞飞、刘娱齐、于浩明、康荣华、王鑫、方运霆（优青、辽宁省“兴辽英才”计划领军人才）



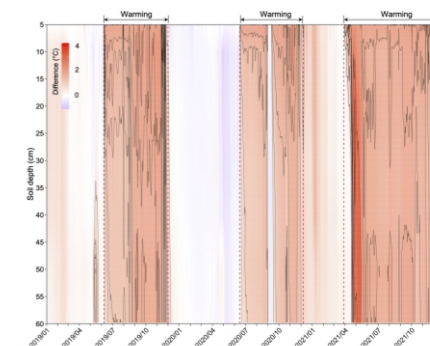
■ 表层土壤增温效果



■ 清原森林增温实验



■ 增温效果的空间分布



■ 深层土壤增温效果

气候变化与干扰对未来东北森林碳储量的影响

The Effects of Climate Change and Disturbance on the Future Forest Carbon Stock of Northeast China

成果背景

森林碳储量的大小及空间分布是多尺度过程共同影响下的结果。在区域到全球尺度上，气候决定森林树种组成、结构和碳汇功能。未来我国东北地区将呈现暖干化趋势，可能减弱森林的碳汇功能，降低森林碳储量。此外，景观尺度上的干扰因子（如火干扰等）是影响东北森林碳储量的主要空间动态过程。气候变化将加剧景观干扰发生的频率和强度，而干扰后森林重建、植被演替带来的树木快速生长、生物量积累则是增强森林碳储量的一个重要方面。因此，科学有效地评估东北森林碳储量大小、空间分布及其对气温升高和干扰、植被演替等多因子交互作用的响应和反馈是实现我国“碳中和”目标的先决和基础条件。

研究内容

目前我国大多数森林碳储量估算与预测没有考虑或只间接考虑了森林景观过程和干扰的作用，导致我国森林碳储量估算存在较大的不确定性。因此，通过耦合生态系统过程模型与森林景观模型预测未来东北森林碳储量动态变化，揭示气候变化与干扰对森林碳储量的影响，阐明多因子对森林碳汇形成的影响及机理，加深对气候-干扰-森林之间相互反馈的理解，从而提高森林景观动态变化及碳储量预测的精度。

重大科技贡献

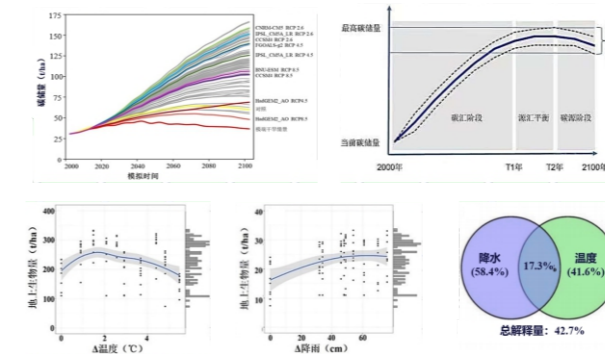
- 1、将森林景观过程纳入森林碳储量预测研究，显著提高预测真实性，量化了气候变化、自然干扰和人类活动对森林碳储量的影响及其相对重要性；
- 2、量化了气候变化与干扰对森林景观历史重构与未来预测的影响，揭示了气候变化、干扰对东北森林景观动态影响的阈值效应；
- 3、首次把植被动态变化的反馈作用加入到气候变化、干扰对森林景观动态影响研究中，修正了以往模拟研究中难以考虑植被变化对干扰的反馈作用；
- 4、通过景观过程调控明确了气候变化、干扰和森林演替驱动下的东北森林生态系统多目标增汇途径。

成果产出与荣誉

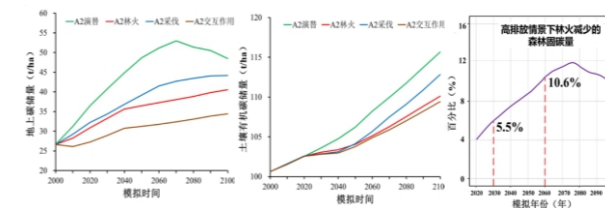
基于以上研究内容，研究团队共发表文章80多篇，其中SCI文章70多篇（如发表在Global Change Biology 2022和2018, Agricultural and Forest Meteorology 2023, Journal of Applied Ecology 2021等知名期刊文章）；申请包括国家自然科学基金在内的项目30多项、软件著作权1项（土地利用变化与森林景观过程耦合软件）、发明专利1项（高分辨率土地利用及森林景观过程耦合模拟系统及方法）；参编著作3部、撰写咨询报告2份（《我国森林防火体系存在的短板及对策建议》、《关于完善我国北方森林碳管理体系与健全生态补偿机制的建议》）、完成成果转化2项；研究团队成员获得中国科学院沈阳分院优秀青年科技人才奖等多项荣誉；与美国哈佛大学Jonathan Thompson教授团队、美国林署Eric Gustafson教授、美国地质调查局Todd Hawbaker和Zhiliang Zhu研究员等气候变化、林火干扰与森林景观模拟研究的知名学者，建立了长期的科研合作关系。

成果团队

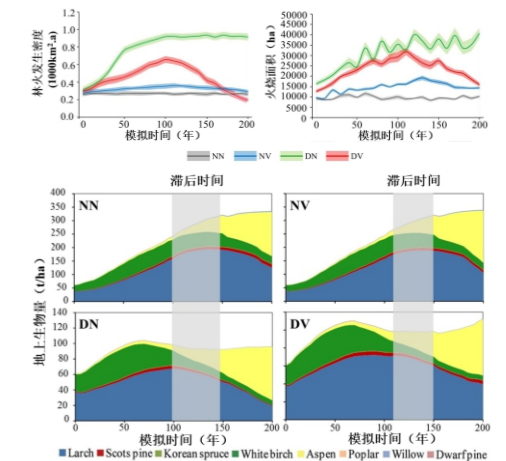
梁宇、刘波、马天啸、吴苗苗



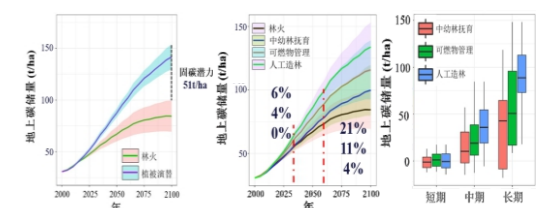
■ 东北森林地上碳储量的不确定性及地上生物量对温度和降水的敏感性



■ 气候变化、林火、采伐及其交互作用对东北森林碳储量的影响



■ 气候变化和植被反馈对林火发生状况的影响及气候变化和林火对树种组成的影响



■ 气候变化背景下东北森林植被固碳潜力及不同增汇管理途径

科尔沁沙地植物繁殖对策研究

Maintenance Mechanism and Ecological Function of Temperate Forest Biodiversity

成果背景

沙地是典型退化生态系统，其生境水分短缺、天然繁殖体库匮乏、土壤表层养分流失严重、风沙危害严重。植物如何通过特定繁殖对策适应风沙活动是沙地植被恢复与重建的关键，但目前人们对繁殖对策关注不够。在半干旱区科尔沁沙地，从有性繁殖和无性繁殖两个方面进行了植物繁殖对策研究，揭示沙生植物适应风沙活动的繁殖生物学机制，探讨不同沙生植物的繁殖对策，不仅丰富和发展了植物繁殖对策和植物沙生适应性的理论，更为沙区植被恢复与重建技术的研发提供实践经验。

研究内容

沙生植物如何通过特定繁殖对策适应风沙活动是植物进化生物学、恢复生态学和保护生物学非常关注的问题。本研究从有性繁殖和无性繁殖两个方面，在半干旱区科尔沁沙地进行了相关研究：(1) 沙生植物具有多种适应风沙活动的繁殖生物学机制，表现在生殖物候、种子形态学、植冠种子库、粘液繁殖体、土壤种子库、芽库、营养繁殖策略等诸多方面，这些方面单独或多个综合构成了特定沙生植物的沙生适应繁殖对策；(2) 植物繁殖对策与其生境的反馈过程共同赋予沙生植物的适应风蚀能力；(3) 不同沙丘部位具有不同风沙活动类型与强度，进而赋予其所生长的沙生植物以不同适应风沙活动机制；(4) 沙生植物的繁殖对策与植物生活型密切关联。本研究丰富和发展了植物繁殖对策和植物沙生适应性理论，对认识植物适应进化过程、进行强有力的沙区植被恢复和植物多样性保护具有重要的指导意义。

重大科技贡献

系统解析了种子库、芽库、克隆生长与植物沙生策略的关系，对植物沙生适应机制取得了突破性认识，丰富了植物沙生适应性理论。刘志民研究员及其团队成功组织举办第4届国际种子生态学大会，共有来自包括中国、美国、西班牙、澳大利亚、意大利、斯里兰卡、英国、巴西、捷克、希腊等23个国家和地区的165位代表参加了会议。会议为全球种子生态学家、植物保护学家、恢复生态学家、全球变化研究学者之

间的联系与交流搭建了桥梁。刘志民研究员当选为全球种子生态学大会学术委员会委员，致力于推动国内种子生态学领域发展。2016-2018年间，邀请著名克隆植物学家 Jitka Klimešová 来华，指导沙地营养繁殖学相关实验与考察，推动国内营养繁殖生态学发展。

成果产出与荣誉

2016年“科尔沁沙地植物繁殖对策”研究获辽宁省自然科学三等奖，2018年“北方盐碱化草地典型植物种子繁殖策略及适应机制”获吉林省自然科学二等奖。2023年“半干旱区草地沙化及其逆转的生态学过程与机制”获辽宁省自然科学二等奖。发表SCI论文三十余篇，中文文章CSCD论文二十余篇，出版专著1部。

成果团队

刘志民、刘博、周全来、钱建强、马群、梁炜



■ 实验风洞



■ 吉林省自然科学二等奖



■ 辽宁省自然科学三等奖



■ 科尔沁沙地植物繁殖对策

中国苔藓植物研究

Study on Chinese bryophytes

成果背景

苔藓植物是高等植物中由水生向陆生过渡的重要门类，全世界约有30,000种，我国约有3000种。中国的苔藓植物研究直至20世纪50年代，仍基本处于空白状态，滞后于欧、美和日本等国家百余年，在一无资料，二无标本的情况下，项目组成员开始了中国苔藓植物研究的光辉历程。

研究内容

调查了全国34个省区（含港、澳、台）的高山、海岛、平原和湿地，采集标本25.5万余份。自20世纪70年代起，通过与国内外研究机构的权威专家的合作，进行全国及地方的苔藓志编写工作、科属的专门分类修订研究、苔藓植物发育系统学构建方面的研究。

重大科技贡献

- 1、创建了中国科学院沈阳应用生态研究所和昆明植物研究所2个苔藓植物标本馆（基因库）；
- 2、全面揭示苔藓植物的形态结构特征，对重要代表科属，如曲尾藓科、缩叶藓科、紫萼藓科、黑藓科等科属完成分类修订，揭示了其在中国的种类和分布，修订了其分类系统，提出了新的分类标准和界线；
- 3、首次发现藓类孢子体的腐媒、风媒、汽-风媒、水媒、虫媒等传孢（粉）类型及其结构，充分表明了藓类内在的演化规律。并以孢子体为特征，提出了一个以科为单位的藓类植物新演化系统，提出了新的苔藓植物内在演化规律。

成果产出与荣誉

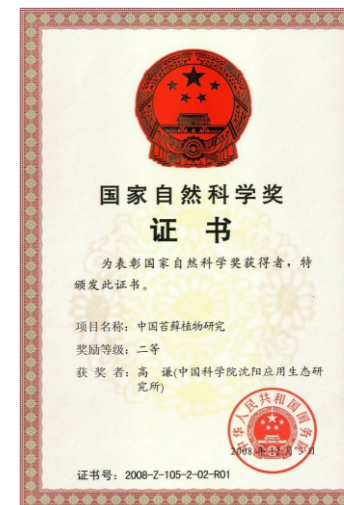
报道中国苔藓植物约2000种，占已知种的近2/3。建立新属3个，发现中国新记录科3个，新记录属30个，新种145个，16个新组合种和434个新记录种。极大丰富了世界和中国植物区系，为深入了解中国苔藓植物区系组成、起源、系统演化提供

了重要科学依据。发表研究论文240余篇，主编和参编出版中英文版全国和地方苔藓志共24部，其中《中国苔藓志》中英文第一卷均为中国首卷藓志，第九卷为中国首卷苔志。

“中国苔藓植物研究”2008年获国家自然科学基金二等奖。

成果团队

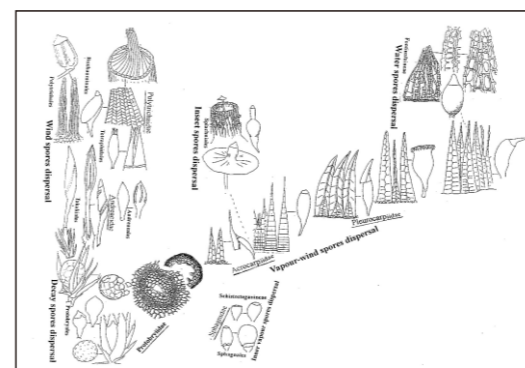
高谦、曹同、黎兴江、吴玉环、张光初



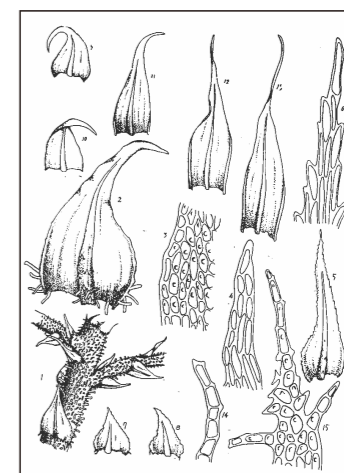
■ 中国苔藓植物研究证书——高谦



■ 中国苔藓植物研究调查范围



■ 高谦等建立的藓类新系统示意图



■ 建立的新属之一——陈氏藓属

中国水生甲虫物种多样性调查研究

Study on Biodiversity of Water Beetles in China

成果背景

水生甲虫是指其生活史中的成虫阶段大部分时间都浸没或半浸没水中的鞘翅目昆虫。水生甲虫是水生生物食物链上重要一环，对水生生态系统健康具有至关重要的作用。由于水生鞘翅目中的溪泥甲科、泥甲科、平唇水龟虫科等几个科昆虫迁飞能力相对较弱，幼虫、成虫阶段均浸没在水中，是理想的水生生态系统健康指示物，常被作为水质监测的生物学指标，然而有关水生鞘翅目物种多样性及资源分布情况文献十分有限，有大量种类未被描述与命名，这极大限制了水生甲虫在水质监测中的应用。

研究内容

生物多样性课题组对于全国范围内的水生鞘翅目昆虫进行了系统地调查采样与研究，采集样点遍布全国20余个省、自治区、直辖市的600余个水生甲虫栖息地，截止目前，中国水生鞘翅目调查项目发现了200余个水生鞘翅目新种；调查中还发现了较为稀有的水生鞘翅目种类如尖峰角胸牙甲 *Eumetopus acutumontis* Ji & Jäch，云居蛛甲 *Ancyronyx yunju* Bian, Guo & Ji，稀二叉溪泥甲 *Cuspidevia velaris*，云南平截溪泥甲 *Urumaelmis yunnanensis* Bian & Wang 及瑞丽多毛溪泥甲 *Dryopomorphus ruiensis* Bian, Dong & Peng 等，研究成果极大填补了水生甲虫研究的空白。

重大科技贡献

在水生甲虫物种多样性调查项目进行期间，收集了大量珍贵的水生甲虫标本，超过2万号标本，东北生物标本馆保存的水生甲虫模式标本从0增加到了152种639头；发现中国水生甲虫新记录科2科，新种超过200种；中国水生甲虫调查项目极大推进了人们对中国水生甲虫物种多样性的认识，为水生甲虫作为水生生态系统健康指示物提供了坚实基础。

成果产出与荣誉

1. Bian, D.J.* & Zhang, Y. 2023. Descriptions of eight new species of *Grouvellinus* from China (Coleoptera, Elmidae). *Zootaxa* 5254 (2): 257-277.
2. Bian, D.J.* & Zhang, Y. 2022. Three new species of the genus *Zaitzevia* Champion, 1923 from China (Coleoptera: Elmidae: Macronychini). *Zootaxa* 5190 (2): 257-266.
3. Bian, D.J.* & Wang Z. X. 2021. A new species of the genus *Urumaelmis* Satô, and the first record of the genus from China (Coleoptera: Elmidae). *Zootaxa* 5023 (1): 142-146.
4. Dong X. & Bian, D. J.* 2021. Three new species and two new records of *Helochaeres* (*Hydrobaticus*) MacLeay, 1871 from China (Coleoptera: Hydrophilidae: Acidocerinae). *Zootaxa* 4950 (1): 166-180.
5. Dong, X. & Bian, D.J.*. 2020. A new species of the genus *Graphelmis* DELÈVE, 1968 from China (Coleoptera: Elmidae). *Zootaxa*, 4728 (4): 483-488.
6. Bian, D.J.*., Jäch, M.A. 2019. Revision of the species *Grouvellinus* Champion, 1923 (Coleoptera: Elmidae) with long median pronotal carina, including descriptions of four new species from China. *Zootaxa* 4586 (1): 127-140
7. Zhu, BY, Ji, L.Z. & Bian D.J*. 2019. A new species of *Pelthydrus* (s. str.) *Orchymont*, 1919 from Yunnan, China (Coleoptera: Hydrophilidae: Hydrophilinae: Laccobiini). *Zootaxa* 4614 (3): 593-599.
8. Peng YF, Ji, L.Z., Bian D.J*. et al. 2019. Description of *Laccobius* (s. str.) *shengshanensis* sp. n. from China (Coleoptera: Hydrophilidae). *Zootaxa*, 2019, 4691(2): 197-200.
9. Jia F.L.*, Angus R.B. & Bian D.J. 2019. Two new species of *Coelostoma* Brulle, 1835 from China (Coleoptera: Hydrophilidae: Sphaeridiinae). *Aquatic Insects*, 2019, 40(4): 291-299.
10. Peng YF, Ji L.Z., Bian D.J.*., et al. 2018. Description



■ 瑞丽多毛溪泥甲
Dryopomorphus ruiensis
Bian, Dong & Peng



■ 稀二叉溪泥甲
Cuspidevia velaris



■ 云居蛛甲
Ancyronyx yunju
Bian, Guo & Ji



■ 云南平截溪泥甲
Urumaelmis yunnanensis
Bian & Wang

of *Neptosternus haibini* sp. nov. from China (Coleoptera: Dytiscidae: Laccophilinae). *Zootaxa*, 4500 (4): 581-586.

11. Zhu, BY, Ji, L.Z. & Bian D.J*. 2018. A new species and a new record of *Pelthydrus* Orchymont, 1919 from Yunnan, China (Coleoptera: Hydrophilidae: Hydrophilinae). *Zootaxa* 4438 (1): 189-194.

12. Bian, D.J., Dong, X. & Peng Y.F. 2018. Two new species of the genus *Dryopomorphus* Hinton, 1936 from China (Coleoptera, Elmidae). *Zookeys* 765: 51-58.

13. Bian, D.J., Jäch, M.A. 2018. Revision of the Chinese species of the genus *Grouvellinus* Champion, 1923 (Coleoptera: Elmidae). The *G. acutus* species group. *Zootaxa*, 4387(1):174-182.

14. Bian, DJ., Sun H.B. 2016. A key to *Grouvellinus* Champion, 1923 from mainland China with descriptions of two new species (Coleoptera, Elmidae). *ZooKeys* 623: 89-104.

15. Bian, D.J., Zhang, Y., Ji, LZ. 2015. *Microdytes huangyongensis* sp. n. and new records of *Allopachria* Zimmermann, 1924 from Zhejiang Province, China (Coleoptera: Dytiscidae). *Zootaxa*, *Zootaxa* 4040 (4): 469-471.

16. Ji LZ, Guo C., Bian, DJ. 2014. *Allopachria longyanensis* sp. n. from China (Coleoptera: Dytiscidae). *Zootaxa*, 3755 (2): 194-196.

17. Song, KQ, Xue HJ, Beutel RG, Bai M, Bian, DJ, Liu J, Ruan YY, Li WZ, Jia FL, Yang XK. 2014. Habitat-dependent diversification and parallel molecular evolution - water scavenger beetles as a case study. *Current Zoology* (formerly *Acta Zoologica Sinica*), 60(5): 561-570.

18. Bian, D.J., C. Guo & L.Z. Ji. 2013. *Allopachria yiae* sp. n. from Chongqing, China (Coleoptera: Dytiscidae: Hydroporinae). *Zootaxa*, 3681(1): 85-88.

成果团队

姬兰柱、边冬菊(兴辽英才计划-青年拔尖人才)、董百丽、刘彦斌、郭橙、张悦、彭云飞、朱冰月、孙海滨、董雪、王湛香、张依

中国东北植物本底研究

Plant Basic Studies in Northeast China

成果背景

中国东北地域广阔，占全部国土面积的八分之一。东北地区是全球同纬度地区植物极其丰富的区域之一，野生植物总数占全国总数的十分之一，因而在全国占有十分重要的地位。针对由于区域植物本底不够清晰，导致在植被恢复、生态建设及资源利用等，以及国家相关决策方面缺少科学的本底数据支持问题，东北生物标本馆的植物学研究团队近二十年来开展多层面的综合研究，以反映本区域的植物本底。

研究内容

该项目以东北维管束植物为研究对象，在植物志编研、植物区系与分布、群落植物多样性、珍稀濒危植物、外来入侵植物、早春类短命植物等方面全面地、系统地开展了科学研究。建立种级分布区类型体系，该体系得到40余个自然保护区和区域单位的广泛应用，出版了第一部植物种级分布专著《中国东北种子植物种的分布区类型》。对东北重点区域植物区系进行了系统研究，出版了大兴安岭、小兴安岭和长白山地区的植物区系专著。出版了东北地区第一部模式标本集，抢救性地保护了东北的模式标本资源。出版了《东北草本植物志》第九卷，《东北草本植物志》全套典籍出版完成，确定了东北植物种类组成、分布与生境等本底特征。创建了珍稀濒危植物、外来入侵植物和早春植物的专项评价体系，为国家精准制定保护策略和防治策略提供了科学依据。

重大科技贡献

该项目中的《东北草本植物志》（第九卷）是植物学领域的典籍性著作，目前国内外学者和相关工作人员均以此套志书为基础，在东北地区开展各类植物调查。此外，诸多自然保护区广泛采用《中国东北种子植物种的分布区类型》的成果，用于分析保护区植物多样性。这一系列科研成果，摸清了东北植物“家底”，对东北的“金山银山”宝库提供了更为清晰的认识，为中国东北植物研究奠定了坚实基础，为合理进行林业、农业决策提供了理论依据，为东北老工业基地的生态环境建设提供

具体化的科学论据，为东北生态文明建设贡献了力量。系列研究成果在植物区系理论与实践中取得创新，在植物志编研方面取得重要进展，以及在查清我国东北地区植物家底方面做出突出贡献。

成果产出与荣誉

该项目系列研究成果出版了8个论著，并荣获2020年辽宁省自然科学二等奖。

8个论著：

1、傅沛云，曹伟，李冀云，秦忠时，刘淑珍，于兴华，朱彩霞。《中国东北部种子植物种的分布区类型》沈阳：东北大学出版社，2003。主编：2003。

2、李冀云，曹伟，王薇，何汇珍，朱彩霞。《东北草本植物志》（第九卷）北京：科学出版社，2004。

3、曹伟，李冀云。《小兴安岭植物区系与分布》，北京：科学出版社，2007。

4、曹伟，李冀云，傅沛云，于兴华，朱彩霞。《大兴安岭植物区系与分布》。沈阳：东北大学出版社，2004。

5、曹伟，李冀云。《长白山植物自然分布》。沈阳：东北大学出版社，2003。

6、曹伟，韩士杰，李冀云，朱彩霞，于兴华。《东北生物标本馆维管束植物模式标本考订》。北京：科学出版社，2011。

7、张悦，郭利平，易雪梅，曹伟，王远遐，吴培莉，姬兰柱。长白山北坡3个森林群落主要树种种间联结性。生态学报，2015，35(1):106-115。

8、刘巍，曹伟。长白山云冷杉群落主要种群生态位特征。生态学杂志，2011，30(8):1766-1774。

成果团队

曹伟、李冀云、于兴华、朱彩霞、张悦



■ 张悦（左）、曹伟（中）和于兴华（右）



■ 曹伟



■ 李冀云（左）和曹伟（右）



■ 朱彩霞（左）、曹伟（中）和于兴华（右）

东北森林生产力和功能稳定性形成的生理生态机制

Ecophysiological Mechanisms Underlying the Formation of Forest Productivity and Functional Stability in Northeast China

成果背景

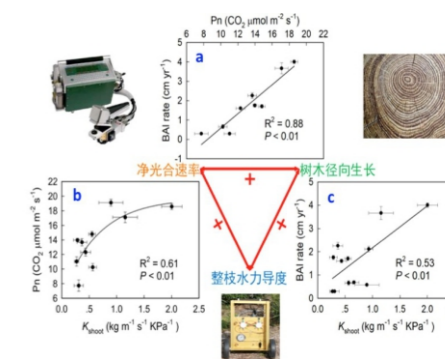
提高森林生产力和功能稳定性是当今我国林业发展和生态建设的迫切需求，同时对于我国实现“碳中和”目标具有重大的现实意义。东北林区森林面积和蓄积量都约占全国的三分之一，是我国面积最大、森林资源分布最集中的林区和重要的生态安全屏障，林业在该区“生态文明”建设中占有重要地位。然而，东北地区树木生长的自然条件严酷且气候暖干化趋势明显，森林已出现了较严重的衰退、更新困难等问题，相关的生理生态机制研究已成为当务之急，将对东北地区森林可持续经营具有重要基础意义。

研究内容

重点以东北地区典型森林生态系统主要树种为研究对象，从木质部水力结构、光合生理等角度开展了树木的生理生态适应机制及胁迫抗逆生理机制研究。开展了东北森林主要树种生产力形成的水-碳耦合生理机制研究；从树木水力结构角度探讨了较高纬度地区典型森林主要树种生产力和抗逆性间的权衡关系；开展了沙地樟子松等防护林树种衰退死亡的树木生理机制研究。在开展基础理论研究的同时，注重和国家林业需求紧密结合，为解决森林生产力低、衰退死亡多发等突出问题提供科学依据，服务于我国的林业和生态可持续发展。

重大科技贡献

1、明确了木质部水分传输效率对东北典型森林优势树种生产力的决定性影响。以东北三大硬阔为研究对象，阐明了水分传输-碳同化-径向生长协同规律（图1）；发现了东北森林优势树种的“脆弱性分割”现象，揭示了树木在最大化水力和光合效率的同时，保证水力传输安全的

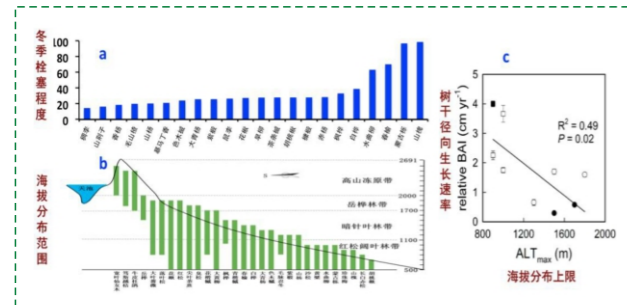


■ 东北典型针阔混交林优势树种水分传导、光合作用和径向生长间的协同（图1）

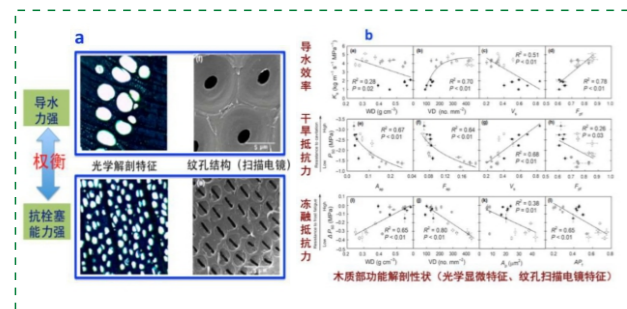
机制 (图2);

2、揭示了东北典型森林优势树种生产力和抗逆性权衡的生理学机制。明确了越冬后木质部栓塞修复对较高纬度地区树木抗逆性产生重要影响的生理机制 (图3); 提出并验证了较高纬度温带森林环境中木质部水分传输效率、冻融栓塞抵抗力、干旱栓塞抵抗力三者间的权衡关系 (图4);

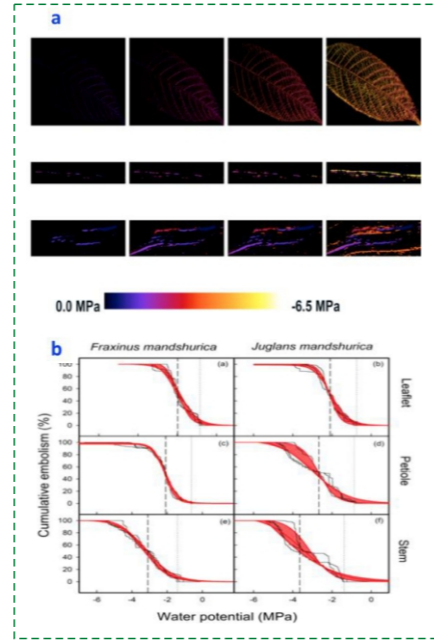
3、揭示了樟子松防风固沙林早衰的树木水力学机制。证实了水分受限地区樟子松树木易发早衰的水力限制假说 (图5); 揭示了基于密度调控 (林分水量平衡维持原理) 的樟子松防护林功能稳定性维持的生理机制 (图6)。



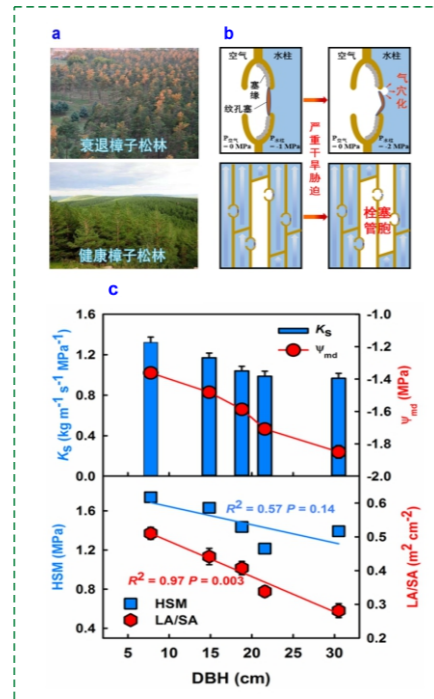
■ 长白山主要树种对冻融诱导栓塞的抵抗力及其与海拔分布间的关联 (图3)



■ 东北典型森林优势树种间木质部水分传输效率和安全性间的权衡 (图4)



■ 可视化技术用于测定干旱导致叶脉、叶柄和茎秆中导管栓塞发生过程 (图2)



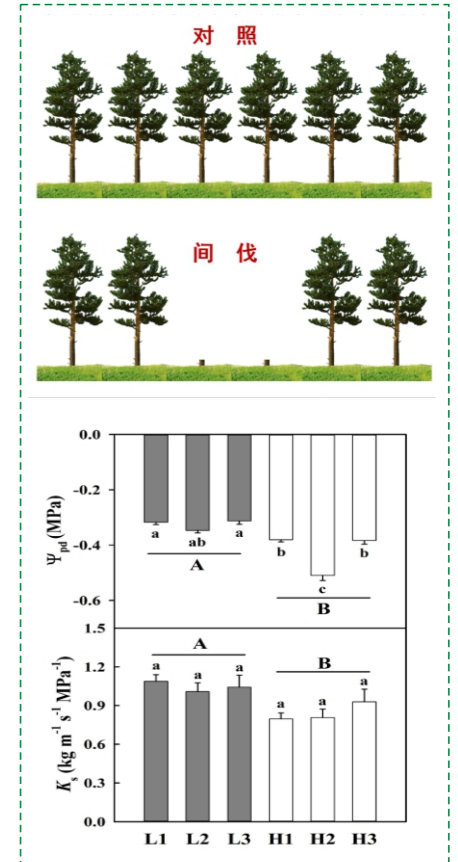
■ 水分受限地区樟子松防风固沙人工林早衰发生的气穴化栓塞机制 (图5)

成果产出与荣誉

以树木水力结构研究为核心, 取得了初步创新性基础科学研究成果。建成了树木水力结构研究先进实验室, 搭建了支撑相关研究的野外平台和技术体系。发表科研论文37篇, 其中SCI检索33篇、论文在WoS核心数据库中被他引1400余次, 授权专利1项、出版书籍章节1项等, 研究成果被中国科学院网、中科院之声、网易辽宁等多次报道; 团队负责人受邀做学术报告40余次; 基于相关成果, 在中科院“百人计划”项目终期评估中获得“优秀”(2019), 获国家林草局“林业青年科技奖”(2019)和生态环境部“国家生态环境保护专业技术青年拔尖人才”(2021)等表彰共计15项, 累计获得科研经费1500余万元, 培养的多名研究生和青年团队成员获得了国家研究生奖学金、公派留学项目或晋升副高职称 (培养的7名博士生毕业后获得了青年基金)。

成果团队

郝广友 (优青)、王焱、龚雪伟 (绿莖青年科学家)、李名勇、Attullah Khan、郭晶晶、殷笑寒、李娜



■ 间伐处理改善高密度樟子松人工林中树木的水分状况并显著缓解早衰发生 (图6)



■ 植物生理生态研究团队

东北水源涵养屏障区生态安全格局优化技术

Optimization Technology of Ecological Security Pattern in Water Source Conservation Barrier Area, Northeast Forest Belts

成果背景

传统有关生态安全格局构建，仅考虑水源涵养服务能力高的区域作为生态源地，以生境质量作为生态阻力值评估的标准，并基于生态源地-阻力面-生态廊道的框架来构建区域生态安全格局，但可能漏掉为生态屏障或功能区外提供水资源服务的关键区域，从而不能真正发挥生态屏障的作用。要发挥屏障带的屏障效应，不仅需要带内水源涵养服务的提高，还需要为带外供水能力的提高，即屏障带的辐射效应。但迄今为止，对于如何发挥水源涵养服务的辐射响应，相关的研究还比较少。本课题利用水文流动模型和水资源安全评估方法，利用ArcGIS平台，识别关键的供水区域，并将其作为生态源地构建水源涵养区生态安全格局。

研究内容

以多期遥感数据为基础，利用生态脆弱性和生态系统受干扰程度（退化）构建水源涵养区生态安全格局技术，评估屏障内生态安全受威胁的区域；利用生态服务评估技术、水资源安全评估技术，识别出水源涵养区发挥屏障效应的关键区域，并考虑已有的自然保护地作为生态源地，利用电路理论提出水源涵养区生态安全格局设计技术，构建生态安全网络；将生态安全受威胁区域作为生态修复和保护区，将生态安全格局中的生态源地、廊道等作为屏障效应的核心区，其他区域作为生态生产兼顾区，进行生态服务格局的优化。其中生态安全区以生态系统可持续为目标，屏障效应的核心区以提升水源涵养服务为目标，其他区域则考虑实际情况，兼顾社会经济发展。在考虑土地类型生态适宜性和不同土地利用类型生态服务能力的基础上，开展生态服务格局优化。

重大科技贡献

1、基于水资源流动的水资源供应关键区识别技术。识别了屏障区内为区外供水的区域和供应量，确定了向东北平原以及三江平原供水的关键流域689个，总面积约为20.09万km²，流经东北平原的水量41.6亿m³，占东北森林带外地区需水量的48.9%；

2、水源涵养屏障区生态安全格局优化技术和方法。细化了东北屏障区的生态系统服务需求，提出了针对不同生态安全问题和生态服务需求的优化方案。东北森林带共有生态源地24个，面积14.72万km²，廊道51条。按照水资源供需平衡和供水全流域作为核心区的方法，识别出水源涵养屏障区核心区的面积分别占24.4%和46.5%。生态安全受威胁区的面积为3.42万km²，占东北森林带面积的5.7%；

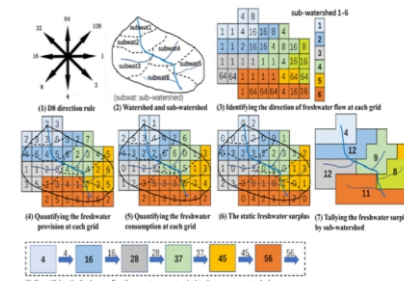
3、提出了水源涵养屏障区生态服务格局优化技术。按照供水全流域作为核心区优化后，东北森林带水源涵养服务提高了9.5%，固碳释氧提高了9.0%，但粮食产量减少了4.2%，农业用地减少了30.3%。关键区水源供给能力由占带外耗水量的55.87%提高到了62.53%。

成果产出与荣誉

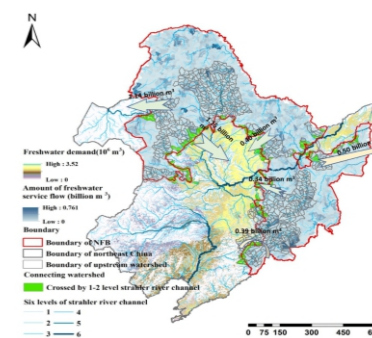
共发表论文14篇，形成科技成果两项：中科评字[2021]第5590号和5591号。经专家评审，认为该成果总体达到国内领先水平，在跨区域水流模型应用于生态格局优化方面达到国际先进水平。

成果团队

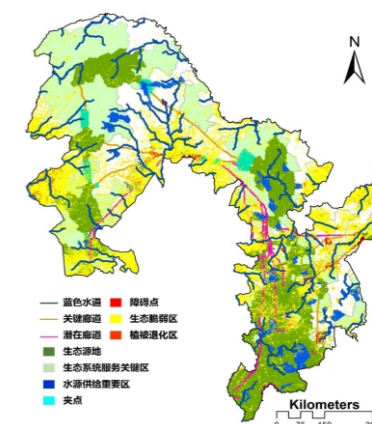
于大炮、齐麟、周莉、朱琪、周旺明



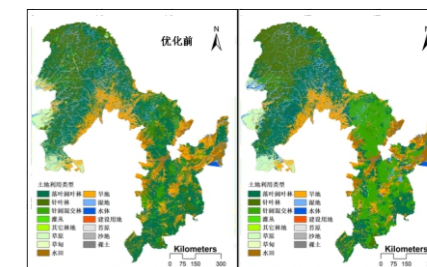
■ 水资源供应关键区识别技术



■ 东北地区水资源供需情况



■ 东北森林带生态安全优化格局



■ 提升东北森林带生态服务的土地利用优化格局

退化杉木人工林服务功能的恢复与提升技术

Restoration and Improvement Techniques for the Service Function of Degraded Chinese Fir (Cunninghamia lanceolata) Plantation

成果背景

我国是世界人工林面积第一大国，杉木是我国亚热带特有的速生用材树种，因其材质优良，速生丰产等特点被广泛栽培，杉木人工栽培面积最大，其纯林连栽以及不合理经营措施导致的土壤质量衰退、生产力下降问题以及生态系统功能降低等问题，严重制约了我国人工林业的可持续发展。人工林生态组研究团队紧紧围绕这一突出问题，针对亚热带地区杉木人工林结构单一、地理衰退和经营强度不高的现状开展了以林分结构调控、林下植被管理、养分管理等技术为核心的针对退化杉木人工林服务功能的恢复与提升技术的研究与示范。

研究内容

针对我国杉木人工纯林大面积连栽所出现的生产力下降和地力衰退问题，进行衰退杉木人工林的地力恢复途径及其机制的系统研究，以中亚热带会同地区杉木人工林为研究对象，通过林分结构调控（针阔混交、间伐、修枝等）、林下植被管理、养分管理等技术，观测林木生长及生理特征、土壤有机质及其组分、微生物群落结构组成与功能等植物和土壤指标，解决杉木人工纯林连栽地力衰退问题，构筑了以土壤有机质为核心的退化杉木人工林土壤管理理论体系，从而改善杉木人工林的地力、提高其生产力和提升其碳中和能力。

重大科技贡献

基于营造的不同乡土阔叶树种、不同比例的杉木阔叶树混交林，通过长期定位观测树木生长、凋落物和土壤性质等指标，确定了混交林中阔叶树种类和混交比例。

基于杉木人工林不同间伐强度（对照、



■ 改良土壤性质

轻度、中度和重度）长期观测试验样地和修枝试验样地，根据长期观测数据，明确了杉木人工林合理的间伐强度和修枝技术。

通过长期定位观测研究，首次系统揭示了制约杉木人工林持续发展的根本问题，提出了杉木人工纯林连栽地力衰退的三大机理，即营养、自毒和生物机理。创立了将单一树种变为多树种、将单层结构变为复层结构、不同发育阶段林地密度、林下植被管理的林分结构调控模式，创建了以提高连栽林地土壤质量和生产力为目标的N、P、K配比施肥、以加速杉木凋落物分解为目标的凋落物管理等土壤养分提升技术体系。可在杉木主要分布区为提升退化杉木人工林的地力、生产力和碳中和能力提供技术途径和服务。

成果产出与荣誉

发表论文40余篇、出版专著2部并获得湖南省科技进步二等奖一项。

成果团队

王清奎、汪思龙、张伟东、杨庆朋、陈龙池



■ 混交林



■ 林下植被管理



■ 修枝

林业生态工程的构建与管理

Construction and Management of Forestry Eco-engineering

成果背景

林业生态工程的实施对于我国北方生态脆弱区的生态安全具有重大意义，防护林建设是我国经济稳定发展的重要保障和生态文明建设的重要内容。尽管近四十年来三北地区的防护林建设取得了举世瞩目的成就，但部分地区仍存在森林植被生长衰退的现象并引起广泛关注。如何在生态脆弱且资源有限的环境中构建可持续经营的防护林以及修复衰退林，是实现防护林生态效益最大化的关键。

研究内容

课题组以三北防护林为研究对象，聚焦防护林构建和可持续经营、防护林衰退机制和功能稳定性提升技术以及气候变化背景下生态脆弱区森林可持续发展，系统开展了树木生长、林分密度与自然稀疏、土壤水分动态、水分利用效率、林分水量平衡、防护林生态系统稳定性评价、天然更新、土壤养分循环以及养分回收与利用效率、土壤有机碳稳定性及其微生物学机制、关键生态系统过程对全球变化和人为干扰的响应等研究。

重大科技贡献

- 1、开拓低山丘陵区防护林建设的理论与实践；
- 2、开辟防护林经营新领域，指导三北防护林建设实践，取得显著的生态和经济效益；
- 3、在我国首次提出露天矿区林业生态工程设计，开辟矿山复垦的新途径；
- 4、提出基于不同气候、不同立地条件的防护林营建、经营、管理和修复技术体系；
- 5、揭示防护林衰退的养分与水分机制；
- 6、评估了防护林的防风、固沙、保持水土、固碳等生态效益；
- 7、阐明了防护林生态系统生物地球化学循环过程对全球变化和人为干扰响应

的土壤微生物学和酶学机理；

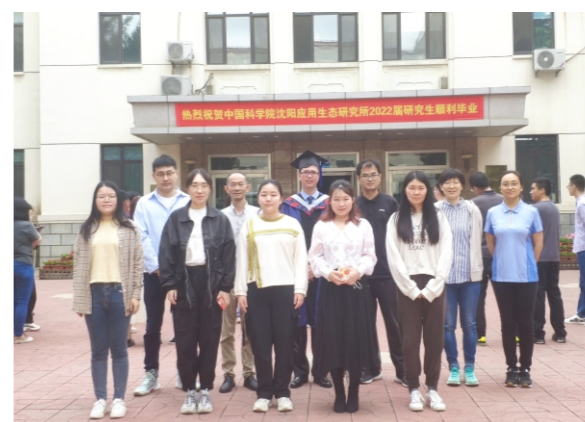
8、明确了全球变化背景下防护林主要树种适应土壤养分有效性变化的叶片养分利用和根系养分获取策略。

成果产出与荣誉

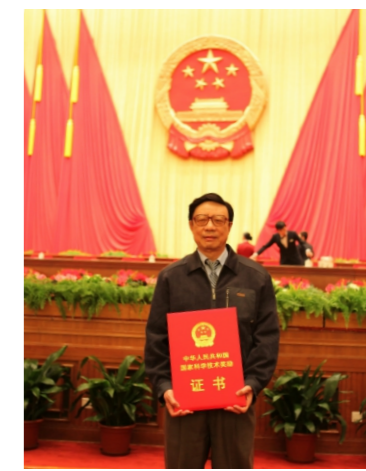
林业生态工程组在Global Ecology and Biogeography、Oikos、Biogeochemistry、Plant and Soil、Forest Ecology and Management等期刊发表研究论文200余篇，荣获第三世界科学院颁发的第三世界科学组织网络奖(TWNSO; 2008年)、国家科技进步二等奖(2008)、辽宁省自然科学奖一等奖(2016年)、辽宁省科技进步二等奖(2003年)，出版了《防护林经营学》、《科尔沁沙地生态系统退化与恢复》、《生态脆弱区植被恢复：结构与过程》、《农牧交错区生态工程理论与应用》、《林业生态工程构建与管理》等专著。

成果团队

姜凤岐、曾德慧、范志平、陈伏生、于占源、胡亚林、赵琼、李禄军、毛榕、黄月、林贵刚



■ 课题组成员



■ 姜凤岐先生团队获国家科技进步二等奖



■ 获第三世界科学组织网络奖



■ 曾德慧研究员获中国生态学会突出贡献奖

02 农业

AGRICULTURE

中国科学院沈阳应用生态研究所成果汇编



东北黑土地玉米保护性耕作“梨树模式”研发与应用

Development and Application of the “Lishu-Mode” of Conservation Tillage in Northeast China

成果背景

粮食安全是国家战略安全的根本保障，东北粮仓是我国粮食安全的压舱石。习总书记在东北调研时强调“土质要不断优化，不能退化，绿色发展要有可持续性，农业生产不能竭泽而渔”。然而，在传统耕作模式下，由于缺乏有机物料归还，东北黑土地土壤有机质含量下降、黑土层变薄，导致土壤生产功能衰退、生产效益下降。因此，改革传统耕作制度，从资源掠夺模式发展为资源循环模式，是解决土壤退化问题的根本。保护性耕作可实现秸秆原位循环，通过覆盖阻控土壤侵蚀、通过有机输入提高土壤有机质数量和质量，提升土壤综合功能。

研究内容

团队牵头在我国产粮大县--吉林省梨树县建立了东北黑土地第一个保护性耕作研发基地，创建了一整套具有区域适宜性的玉米秸秆覆盖免耕技术模式，总结形成了“梨树模式”并于2016年在《农民日报》刊载。该模式有效提升了黑土地农田土壤增碳培肥、抗旱保墒、节肥增效等功能，为黑土地产能提升提供了长效保障。在装备研发方面，团队研发了我国第一台具有自主知识产权的玉米秸秆全覆盖免耕播种机、秸秆归行机及配套机械，同时创建了农机-农艺融合新模式，优化了农机作业配套技术，建立了秸秆覆盖条件下免耕播种和施肥一体化全程机械化作业技术体系。团队通过和大专院校、技术推广部门、农机制造企业和新型农业经营主体密切合作，创建了“五位一体”的保护性耕作技术推广服务体系。

重大科技贡献

“梨树模式”作为东北黑土地综合功能提升的关键技术，通过“五位一体”的技术转移服务体系，在东北地区已建立12个核心示范区和61个辐射示范基地，建立了黑土地保护与利用联盟，形成了示范推广网络。在东北黑土地累计推广应用已超过3000万亩，实现经济效益27.3亿元。“梨树模式”得到了国家领导人的高度重视和认可，推动了《东北黑土地保护型耕作国家行动计划（2021-2025）》的制定和实施。2020年习

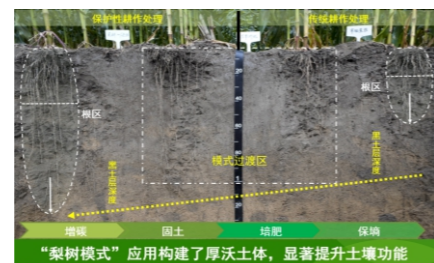
总书记调研吉林梨树高标准农田建设时，特别指出“要认真总结和推广‘梨树模式’，采取有效措施切实把黑土地这个‘耕地中的大熊猫’保护好、利用好，使之永远造福人民”。2021年中央一号文件也指出“实施国家黑土地保护工程，推广保护性耕作模式”，从而推动国家农业绿色发展。

成果产出与荣誉

通过近20年的理论和实践探索，团队在 Nature Microbiology, Soil Biology and Biochemistry, Geoderma等杂志发表一系列有影响力的学术论文，提出了微生物碳泵及土壤氮素过渡库的理念，单篇论文引用超过350次。团队获得授权专利近20项，出版《玉米保护性耕作技术手册》等专著4部，获批吉林省地方标准（技术规程）2项，获批和保护性耕作相关的企业标准7项。相关研发工作于2021年获得中国科学院科技促进发展奖。培养科技部中青年领军人次和“万人计划”入选者1名，中科院交叉创新团队一个，获批辽宁省“兴辽英才计划”高水平创新团队1个。团队以“黑土地保护性耕作创新应用联盟”为核心，建立了特色推广-示范-服务体系，通过“研发”-“推广”-“应用”三方互动，促进“梨树模式”在东北黑土区推广应用。

成果团队

张旭东、关义新、王贵满、解宏图、李保国、任图生、何红波、董文赫



■ 保护性耕作与传统耕作黑土层及根系长度的对比示意图



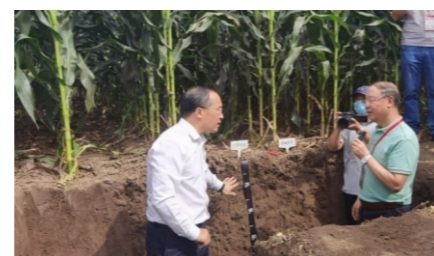
■ 秸秆全覆盖全程机械化作业模式



■ 胡春华副总理调研“梨树模式”，部署国家黑土地保护战略



■ 张亚平副院长在梨树调研



■ 张涛副院长在梨树调研

大河湾漫坡漫岗黑土侵蚀阻控模式

Erosion Resistance and Control Model of Black Soil in Dahewan

成果背景

东北黑土区是我国重要粮食基地，被誉为我国粮食安全的“稳压器”和“压舱石”。然而，长期的用养失调和土壤侵蚀导致黑土发生退化，影响了黑土区农业可持续发展和粮食产能的稳定与提升。本项目结合大河湾示范区以棕壤土为主的黑土类型、区域地形复杂以及黑土水蚀的特殊性，依托国营农垦集团产业基础，开展先进技术模式验证示范。探索以“智能农机+农业模拟器”为核心的黑土地保护模式，将大河湾打造成以黑土地保护、产业融合发展为基础的现代化农业示范标杆与典范。

研究内容

针对大河湾示范区纵横交错的水蚀沟分割农田、吞噬耕地、侵蚀土壤、降低机械工作效率，常规耕作措施扰动地表，风大、多风、雨量集中且强度剧烈等导致风蚀水蚀危害严重、土壤质量普遍下降等问题，模式一面向内蒙古东四蒙主粮作物种植区，以治理恢复和监测预防来破解黑土生产障碍因素为解决黑土侵蚀的思路，摸清黑土侵蚀规律的基础上，根据土壤侵蚀动态变化、土地利用变化以及植被覆盖度变化情况，建立土壤侵蚀预测模型，实时预测土壤侵蚀动态；结合示范区耕地特点，设计大河湾漫坡漫岗黑土水蚀沟修复技术，综合采取工程措施和生物措施等多种手段恢复已侵蚀区域；同时利用水、土、肥协同增效的技术手段，最终形成以监测、预警、修复、防范为一体的漫坡漫岗黑土侵蚀阻控修复综合技术模式。

重大科技贡献

有效修复黑土水蚀沟侵蚀土地1000亩以上，实现土壤风蚀降低25%以上，水蚀降低20%，地力提升0.50个等级，产量提高10%以上的目标。在此基础上，以大河湾农场为核心，向农垦集团岭东多个农场



■ 黑土地侵蚀退化综合阻控技术体系

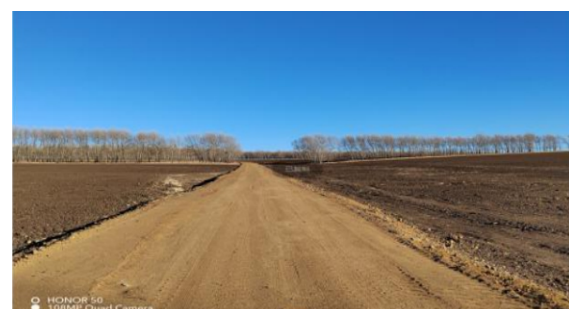
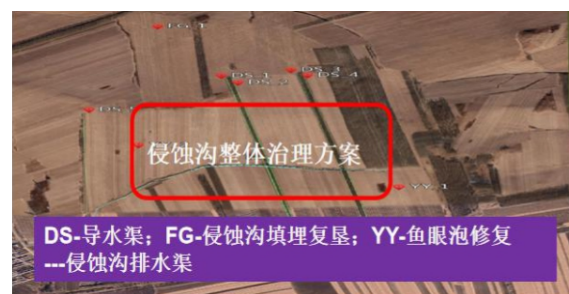
进行示范推广，并辐射到整个内蒙古东四盟区域。通过示范推广，实现土壤风蚀降低25%以上，水蚀降低20%以上，地力提升0.5个等级以上，产量提高10%以上，有效提高黑土抗蚀能力，最终形成可推广、可复制的大河湾水蚀沟修复治理样板。

成果产出与荣誉

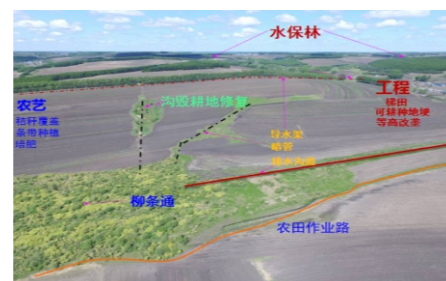
形成风蚀水蚀治理修复技术体系1-2套，制定地方标准或技术规程1-2项，完成水蚀沟治理面积1000亩，关键技术和模式核心示范1000亩，辐射推广16万亩。

成果团队

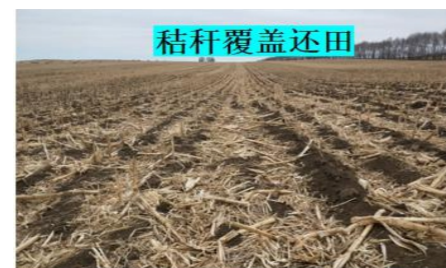
孙涛（优青）、孙毅、谷健、宋玉超



■ 创新性提出了面蚀为基、侵蚀沟为辅的漫坡漫岗侵蚀阻控解决思路



■ 山水林田路草沙一体化治理



■ 研发了固土防蚀保墒促肥技术模式

聚谷氨酸肥料添加剂的研制与产业化

Development and Industrialization of Poly-glutamic Acid Fertilizer Additive

成果背景

化肥是粮食安全的压舱石，对粮食产量的贡献率达50%-55%。中国是氮肥消耗量最多的国家，2020年无机氮肥消耗量约为4千万吨（按单质氮计算），占全球农业施用总量的1/3。氮肥的低利用效率（40%左右）造成大量的能源浪费和环境污染，因此，化肥的提质增效，尤其是氮肥，解决当前粮食危机和改善生态环境的战略需求，是我国农业绿色转型的迫切需求。向氮肥中添加肥料添加剂（增效剂）是实现氮肥高效利用的重要有效途径之一。

研究内容

聚谷氨酸是一种主要由微生物利用农业废弃物发酵生产的胞外高分子聚合物，由谷氨酸之间的 α -氨基和 γ -羧基链接，其主链上含有大量羧基等基团，使其具有阴离子特性、吸附性、吸水保水性、螯合性等多种特性。聚谷氨酸显著促进作物生长、增加多种作物的产量和提高氮肥利用效率，将其添加到肥料中，可使常规肥料具备养分有效性强、高效吸收、利用率高、保水、促进作物根系发育和提高作物抗性等功能。与传统的肥料增效剂相比，还具有来源绿色、完全可降解、生物兼容（自身提供氨基酸营养）等优势，因此在肥料添加剂领域中具有明显竞争优势、在农业中具有广阔应用前景。本技术开展的具体研究内容包括：（1）从土壤养分转化和作物吸收两方面系统解析聚谷氨酸的增效机理；（2）针对土壤环境、作物需肥、肥料原材料特性进行肥料产品的研发和应用；（3）建立工业化生产聚谷氨酸型肥料的添加和生产工艺。

重大科技贡献

完成聚谷氨酸肥料增效机理、田间效果评价、肥料应用技术、专用肥产品开发、产品检测方法等研究，形成了系统的聚谷氨酸肥料增效与农业应用技术体系。明确聚谷氨酸的增效机理在于富集与保护土壤速效养分、改变土壤酶和微生物活、调控土壤养分转化、促进作物根系发育、增加作物养分吸收、提高植物新陈代谢、促进养分运转。针对干旱、半干旱风沙地作物研发了抗旱型种苗肥产品，针对叶菜茄果类作物，

研发出快速供肥的增效底肥产品，针对生育期长的大田作物研发高氮免追肥产品；针对中微量元素易与肥料中的磷拮抗失效的问题，研发了新型聚合镁物质，实现补镁与肥料增效的双重目的。

成果产出与荣誉

发表论文10篇，获得授权专利2个，《高分子聚谷氨酸肥料添加剂的研制与产业化》获得辽宁省科技进步二等奖，《聚谷氨酸肥料的研制与应用》获得本溪市科学技术进步一等奖、《聚合氨基酸复合型肥料增效剂》、《一种检测聚- γ -谷氨酸分子量的便携装置》获得辽宁省土壤肥料领域科技新成果。研究成果已在东北、中原、西南地区15家化肥生产企业得到应用，产品年销量约17万吨、推广面积约420万亩，代表性企业有山东三方化工集团有限公司、辽宁盛源肥业科技有限公司、贵州天保丰生态农业科技有限公司、赤峰金健生物科技有限公司等，培育出一批地区知名品牌，如“中科爱地”、“锦联”、“聚离子生态肥”、“天保丰”等。

成果团队

石元亮、张丽莉（万人领军）、武志杰（泰山学者）、卢宗云、张蕾、聂宏光、张鹰、宫平、李杰、王玲莉、薛妍



■ 辽宁省科技进步二等奖



■ 本溪市科学技术进步一等奖



■ 辽宁省土壤肥料领域科技新成果



■ 辽宁省土壤肥料领域科技新成果

绿色肥料的创制与产业化推广应用

The Innovation and Industrialization of Green Fertilizers

成果背景

“创新、协调、绿色、开放、共享”的新发展理念是十四五乃至更长时期我国的发展思路、方向和着力点的集中体现。肥料作为最大的外源投入品和生产资料，对农产品数量、质量和农业生态环境作用巨大，影响深远，在农业绿色发展中具有举足轻重的地位。欧美发达国家对绿色肥料经过了几十年的研究，在其原料、生产、产品、流通、施用上实现了绿色环保，我国相关研究亟待完善，也是未来肥料领域新的发展方向。

研究内容

以环境友好、绿色低碳、营养均衡、缓释控释的多功能产品研发为目标，聚焦绿色抑制剂溶剂、助剂、保护剂及应用工艺研究；研究高纯度小分子聚谷氨酸的合成精制、定向解聚和结晶固化技术；研究适合多区域、多作物、多种类的抑制剂与聚谷氨酸的配伍“技术包”以及脲酶抑制剂、硝化抑制剂、聚谷氨酸在固体水溶肥料中的精准应用；集中攻克尿素系统和高塔熔体造粒中脲酶抑制剂、硝化抑制剂的均匀、精准、保活的连续化和自动化添加工艺，高纯度小分子聚谷氨酸连续化中试和规模化生产工艺，非水溶功能材料在水溶肥料中的悬浮分散工艺。

重大科技贡献

以肥料绿色提质增效为目标，以创制具有自主知识产权绿色肥料核心技术为基础，以稳定性肥料产业技术创新战略联盟和稳定性肥料示范网为抓手，构建新型绿色肥料技术研发、中试孵化和规模化应用的全贯通链条，进而支撑农业供给侧结构性改革，引领肥料产业健康发展，实现肥料节本增效、环境友好。相关研究有助于破解我国肥料低效利用造成的营养供应与环境安全矛盾的难题，为我国的农业绿色转型发展和生态文明建设提供技术支撑，促进传统肥料产业的产品升级换代，替代高端肥料进口，提高国际影响力。

成果产出与荣誉

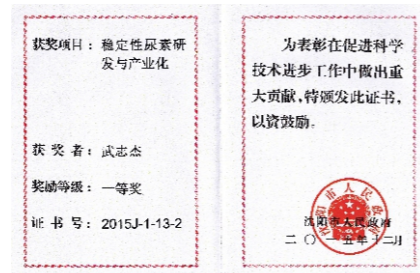
团队先后获得国家科技进步二等奖两项，中科院特等奖一项，省部级一等奖6项，建立了我国稳定性肥料的国家标准和行业标准。与施可丰、锦天化、史丹利等48家企业开展产学研合作，建立了缓释尿素、脲甲醛双包膜肥料、长效复混肥料等生产线，并率先建立了我国稳定性肥料产业技术创新战略联盟（科技部重点培育）和全国稳定性肥料示范网络，产品已在全国22个省推广，累计生产364.4万吨，推广面积1.2亿亩，对于支撑我国肥料产业绿色转型和农业健康发展成效显著。鉴于团队的国际影响力和贡献，2019年国际肥料科学中心从德国迁至我所，是国际肥料科学中心的挂靠单位，通过项目合作和召开国际会议等形式，与国际知名科研院所及企业进行产品开发、技术合作、共建研发基地、人才交流与培养等多方面的合作，初步实现了国际研发机构的全球布局。

成果团队

张丽莉（万人领军）、武志杰(泰山学者)、石元亮、宫平、魏占波、李杰、王玲莉、张蕾、薛妍



■ 国家科技进步奖 ■ 国家技术发明奖二等奖



■ 辽宁省科技进步一等奖



■ 中科院科技进步特等奖



■ 专利证书 ■ 澳大利亚授权专利

长效缓释肥料研制与应用

Research and Application of Long-lasting Slow-released Fertilizer

成果背景

肥料是粮食丰产与优质的决定性因素之一。联合国粮农组织（FAO）统计资料表明，在提高单产中，化肥对增产所起的作用占40-60%。

目前，世界发达国家化肥利用率平均为50%-60%，其中氮素为50%-70%，然而我国氮肥利用率仅30%-35%，磷肥10-25%，低于发达国家15-20个百分点，损失率高达45%以上，每年通过淋溶、挥发等途径损失的化学氮素价值约合350-600亿元人民币。因此，要提高农业效益，必须要大力开发新型长效缓释肥料，大幅度提高肥料利用率；同时，研发新型高效长效缓释肥料是解决农产品品质差、保障食品安全的措施之一；在农村面源污染中，化肥污染占30-45%。我国每年约1300万吨N进入大气和水体，应用新型长效缓释肥料是减少面源污染的根本途径之一；研制新型高效长效缓释肥料也是发展民族肥料产业，增强国际竞争力的迫切需要，对于推动和支撑民族肥料产业的发展，意义非常重大。

研究内容

- 1、根据土壤酶学原理，筛选与合成环境友好脲酶抑制剂与硝化抑制剂，利用抑制剂协同增效作用、物理包膜与抑制剂结合调控肥料氮在土壤中转化过程；
- 2、运用增铵营养原理，通过控制进入土壤的氮的形态比例，提高氮的同化效率；
- 3、根据离子络（螯）合作用原理，利用活化剂控制高价阳离子活度，活化土壤中的固定态磷和保护肥料磷的有效性；
- 4、开发缓释尿素、长效缓释复混肥产业化设备，突破在大型普通尿素、复混肥生产线上连续添加缓释剂工艺技术，实现缓释尿素和长效缓释复混肥规模化生产。



■ 中科院沈阳应用生态研究所与施可丰公司院企合作签约暨揭牌仪式



■ 锦天化

重大科技贡献

- 1、通过调控技术的集成与组合，攻克了抑制剂作用时间短的技术难题，使肥效期达到120天以上，取得了控制期延长2-2.5倍的效果；
- 2、通过化学型磷素活化剂的构建，攻克了肥料磷在土壤中固定过快的难题，使土壤有效性磷提高29.0%-49.0%，有效期由35天左右延长到65天以上；
- 3、通过缓释肥料的中试放大工艺及规模化生产流程设计，攻克了抑制剂与活化剂材料相互反应及添加不均的技术难题，实现了长效缓释肥料的规模化生产。

成果产出与荣誉

开发出氮肥长效增效剂3大类6种，开发出长效复合肥添加剂3种，缓释尿素缓释剂3种，各类长效缓释肥料60余种。

出版了我国第一部系统论述缓释/控释肥料的专著；发表文章143篇；申请发明专利30项，授权发明专利7项。获得辽宁省科技进步一等奖1项，获得辽宁省优秀新产品一等奖1项，国家专利局最佳发明专利奖1项。



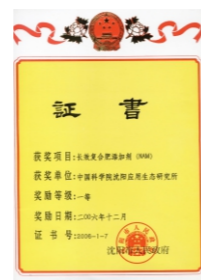
■ 产品

成果团队

石元亮、武志杰(泰山学者)、陈利军、张旭东、何兴元、高祥照、李忠、陈卫东、孙运生、张世强



■ 国家科技进步二等奖



■ 沈阳市科技进步一等奖



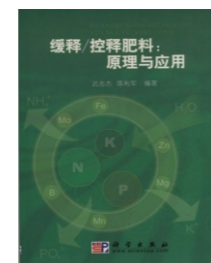
■ 辽宁省科学技术一等奖



■ 最佳项目获奖证书



■ 部分发明专利证书



■ 缓释/控释肥料：原理与应用



■ 农业生产中的控释与稳定肥料

专用高效肥料关键技术与推广应用

Key Technology and Popularization and Application of Special High Efficiency Fertilizer

成果背景

针对我国化学肥料产能过剩，同质化严重，施用量过多，肥料利用率低于发达国家30-40%，没有针对不同作物种类和果树、不同类型土壤、不同气候条件、不同土地利用方式和栽培模式、不同耕作制度和生产力水平、农产品生产标准要求的专一的专用高效肥料技术及其产品。为解决化肥行业和农业生产中的实际问题，结合国家农业供给侧结构性改革的需要，实现技术与当地资源相匹配，与当地的耕作制度和生产力水平相适应，开展此项技术的研究与应用。

研究内容

经国家“十一五”、“十二五”支撑计划，“十三五”重点研发计划和省部级项目十五年的持续资助，历经三个五年计划研究了用于此项技术产品原料（同时也是单质专用氮素肥料）的高效稳定性尿素技术，高效稳定性增效尿素技术，含微量元素锌的高效稳定性尿素技术，高效稳定性专用尿素生产工艺技术，醋酸酯淀粉包膜尿素肥料创新技术，高效磷素肥料合成关键技术，各种专用高效肥料配方技术，以及各种专用高效肥料的产业化生产工艺技术等。创新针对不同应用对象的稳定性肥料的稳定性与控释技术，攻克了不同作物和特定生产要求的高效专用肥料关键技术；突破了专用肥料配方中氮素关键调控技术，以提高氮肥有效性技术为基础，结合磷、钾以及多种中微量元素配方技术，专用高效肥料配方关键技术。创制了不同应用对象和生产目的的有着极强针对性的低成本的多专用高效肥料。解决了高效、专一的氮肥稳定性技术，稳定性与肥料增效技术结合的技术瓶颈。构建了专用高效稳定性尿素、绿色包膜控释尿素及高效磷肥生产技术，以其为原料的一系列专用高效肥料加工技术。创新了专用高效稳定性与高效增效尿素、绿色控释尿素，高效稳定性尿素与微量元素结合、专用高效磷肥合成等关键技术，技术先进而独特。解决了肥料效率低，特别是氮肥利用率低，不同施用对象没有专用高效肥料等问题，实现了专用高效肥料产业化生产和大面积推广应用，产品各项指标远高于国内外同类产品。关键技术水平达到国内领先。

重大科技贡献

此项技术减少氮淋失50%，降低N₂O排放70%；磷肥利用率提高24.5%，钾肥利用率提高10.1%，肥料利用率和氮肥利用率平均提高15.6%和12.2%，作物产量平均提高12.6%。企业新增利润12-15%，农民增收15-18%，减少资源消耗5%以上，经济效益与社会效益十分显著。

此项技术的应用采用高新技术解决化肥行业同质低效、缺少差异化产品等难点和关键技术问题，推动产品结构调整和升级，提高企业市场竞争力，实现化肥行业技术跨越式进步起着决定性作用。

成果产出与荣誉

此技术获得7项发明专利的授权，制定了3项企业标准，发表SCI论文12篇，CSCD论文18篇，获得省部级奖励3项。



■ 发明专利证书



■ 标准和文章

成果团队

张丽莉(万人领军)、武志杰(泰山学者)、石元亮、宫平、魏占波、李杰、王玲莉、张蕾、薛妍

农产品质量控制及追溯技术集成与应用推广

The Integration and Application Promotion of Quality Control and Traceability Technologies of Agricultural Products

成果背景

近年来，党和国家对农产品质量安全十分重视，开展农产品质量安全前沿基础领域和关键技术领域的研究已迫在眉睫。农产品质量安全全程控制包括产地环境、生产管理和产后处理3个环节，其中，产地环境是母质基础，其对产品质量的影响是一个极其复杂的生理生化过程和生命系统，其定性定量规律较难捕捉，对绝大多数生产者来说是不可控因素。产后处理是相对商品化处理而言，对于农产品来说，主要是采收、贮藏、保鲜、运输、包装等，其对产品质量的影响归于产后交易的规范化。本成果基于上述因素考虑形成技术集成，并转化成生产实用生产技术及管理技术，通过推广和应用，保障和促进农产品质量安全。

研究内容

本成果针对农产品质量安全问题，研究了保证农产品质量安全的过程机制，从农药肥料等农用投入品的安全施用技术、配套技术规范制定与实施、农产品产地溯源与追溯技术等三个方面入手，重点开展农产品安全投入品控制与监管、农产品产地溯源和农产品追溯的信息化等关键技术研发，创新性的针对农用投入品环境消解行为，基于农产品的膳食风险，提出了以农药安全间隔期为核心的农药残留的安全监控技术与方法；阐述了农产品风险发生机制，建立了以同位素溯源技术、化学指纹技术和信息化技术为核心的农产品全过程质量追溯技术体系；控制了农用投入品造成农产品农药残留和重金属污染的关键环节，解决了农产品产地无法溯源的技术手段问题，形成了农产品及环境风险预警监测机制，实现农产品从产中、产后过程的安全追溯保障。

重大科技贡献

本成果针对农产品质量安全问题，基于农产品的膳食风险，提出了以农药安全间隔期为核心的安全监控技术与方法；建立了以同位素产地溯源技术、化学指纹技术和信息化技术为核心的农产品质量追溯技术体系，实现了农产品生产过程的安全追溯保障。本成果集合各方面有益因素，强化了农产品质量安全产前、产中、产后标准化技

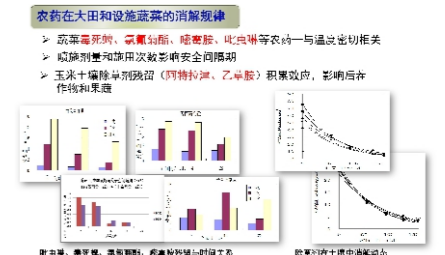
术推广，形成了“科研单位+推广单位+基层示范+生产企业+农户”五级联动推广模式，破解农业科技成果转化“最后一公里”难题。本成果推广面积累计达2075.8万亩，产地溯源面积789万亩，新增经济效益410874.3万元，制定地方标准20项。全省设施蔬菜、水果检测合格率较项目实施前提高5个百分点。初步实现了“减农药减化肥”，保护了农业生态环境，取得较好的经济效益、生态效益和社会效益。

成果产出与荣誉

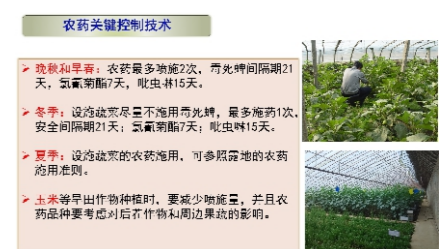
本成果发表论文15篇（SCI论文3篇），申请专利2项，辽宁省地方标准20项，获得2016年农业部农牧渔业丰收奖二等奖项目。成果的控制技术在法库县、辽中县、瓦房店市、等全省19个县推广，主要应用于蔬菜生产和水果生产，其中，涉及施蔬菜品种6个，水果品种4个，推广面积达1286.5万亩；产地溯源技术与推广，推动了辽宁省花生、五味子地理标志产品的申报，全省花生地理标志农产品260万亩，五味子地理标志农产品3万亩。在全省实现高毒农药定点经营或禁售管理的县、区有46个，设高毒农药定点经营单位798个。全省列入追溯的农业投入品监管点已有2000余个。通过远程监控技术，对农资商店的销售情况进行实时监控，从而实现投入品流通环节的全程监管和质量追溯。该技术保障了辽宁省农产品质量安全，促进辽宁省农业健康安全的发展，具有鲜明的区域特点。累计质量控制技术推广面积1286.8万亩，追溯技术推广面积789万亩，新增经济效益410874.3万元。

成果团队

王颜红、王世成、李静、李晓磊、智红涛、刘航、王巍



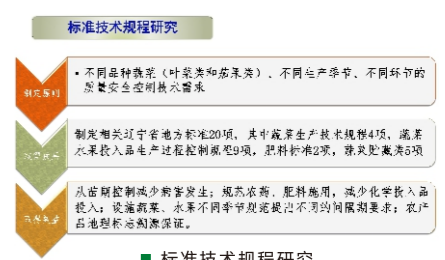
■ 农药在大田和设施蔬菜的消解规律



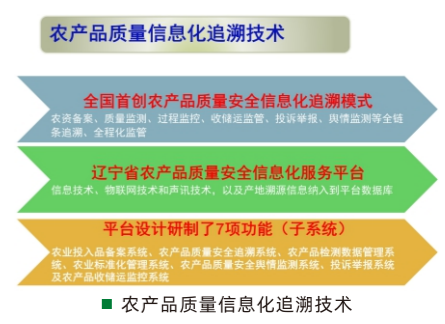
■ 农药关键控制技术



■ 肥料重金属研究及控制技术



■ 标准技术规程研究



■ 农产品质量信息化追溯技术

农产品和中药材产地溯源与品质鉴别技术

Original Discrimination of Vegetal Food and Traditional Chinese Medicine

成果背景

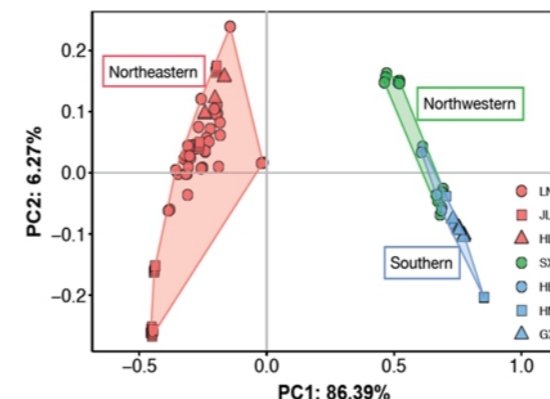
近年来，随着系列食品安全事故的发生，引起消费者、政府部门和科研人员的广泛关注，食用农产品质量安全控制成为全球近年来热点问题之一，特别是以非特色地区名牌农产品冒充特色地区名牌农产品的问题时有发生，农产品产地溯源和农产品鉴别需求不断上升。为此，我们结合课题组拥有的检测技术，开展了基于矿物元素分析、稳定同位素分析和色谱质谱联用分析并结合组学技术的农产品产地溯源和识别技术研究。

研究内容

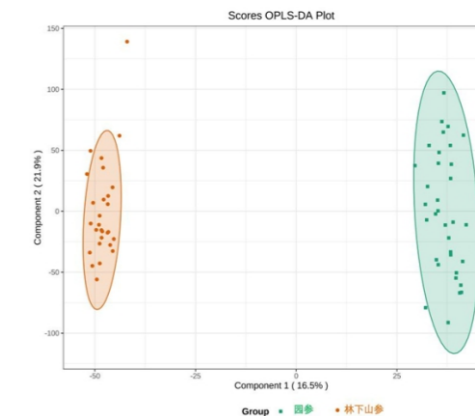
基于色谱质谱联用分析、稳定同位素比值分析和元素含量测定等检测技术，结合化学计量学分析和组学分析手段，建立了林下山参、人参、五味子、葡萄酒、南果梨、番茄、萝卜等特色农产品的产地溯源和真伪鉴别技术。构建了我国多个省份的五味子、人参、葡萄酒、番茄的同位素比值、代谢组成数据库。采用多变量分析技术筛选出特征因子，构建了产品的判别模型。形成的溯源技术对林下山参、人参、五味子、葡萄酒、南果梨、番茄、萝卜的产地来源判别正确率在98-100%之间，对于有机番茄与普通番茄、园参与林下山参、人参与西洋参鉴别正确率为93%-100%。

重大科技贡献

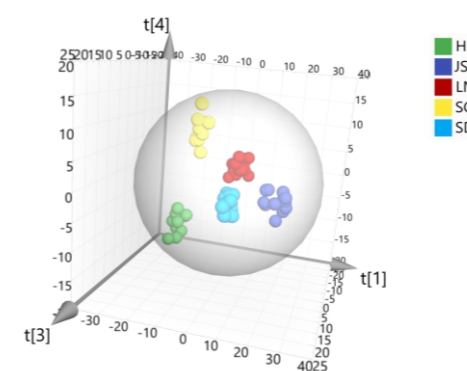
研究针对不同类型的农产品，比较分析了不同农产品的内源性化学因子用于产地溯源的可行性实用性，系统比较了主成分、偏最小二乘法、随机森林、支持向量机等不同化学计量学方法，筛选出用于特定农产品产地判别的标志成分指标，并分别构建了我国多个省份的林下山参、人参、五味子、葡萄酒、南果梨、番茄、萝卜等特色农产品的产地溯源和真伪判别模型。筛选的特定农产品的特征指标和化学计量学方法，为开展产地溯源研究提供了有力的方法依据和数据支持；形成的农产品产地溯源技术体系，可实际应用用于相应农产品的产地溯源判别，进一步保障特色农产品生产者的利益。成果可为产地溯源技术的进一步的发展提供技术支撑。



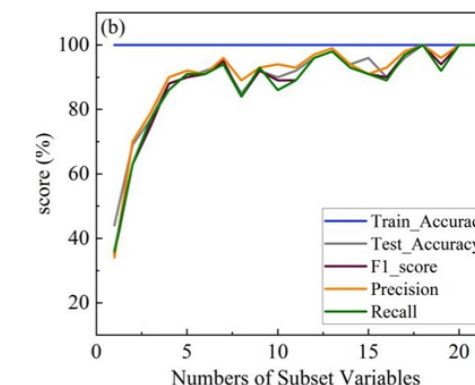
不同产地五味子产地溯源得分图



园参和林下山参鉴别模型得分图



不同产地番茄判别模型得分图



萝卜产地溯源的随机森林模型准确率曲线

成果产出与荣誉

该成果发表论文5篇，获得发明专利2项。

成果团队

李国琛、王世成、李波、王莹、王颜红、张红

粮食作物富硒技术及营养评价

Selenium Enrichment Technology in Cereals and Its Scientific Assessment

成果背景

硒 (Se) 作为人体必不可少的微量元素, 发挥着提高机体免疫力、抗氧化、调节代谢、解毒、促进生殖等重要的生理功能, 硒的不同形态也发挥不同的功能活性, 硒的过量摄入也会对人体产生毒害, 引起人体硒中毒。近年来, 富硒产品呈现全球性蓬勃发展的态势。充分利用天然富硒土壤, 或通过叶面喷施硒肥等外源强化富硒技术, 提高农产品中硒的含量和有目的的提高某种硒形态成为功能性农产品研究的热点。为此, 我们开展了富硒农产品资源调查、富硒营养和富硒技术方面的系统研究。

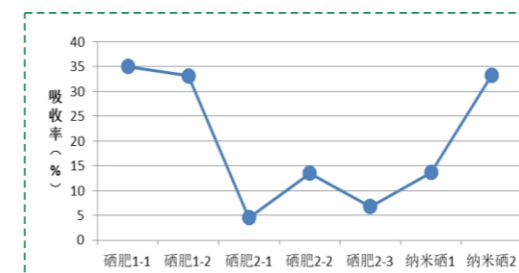
研究内容

开展了辽宁省铁岭市开原县富硒土壤调查和全省富硒稻米和富硒苹果的调查分析, 总结了富硒稻米和富硒苹果硒含量和硒形态变化规律, 并开展了人体膳食安全和营养评价; 开展了水稻、玉米、大豆富硒技术研究及稻米富硒对土壤重金属的协同和拮抗作用研究, 掌握了富硒对粮食作物中无机元素和氨基酸等营养元素的影响规律和富硒对稻米镉的影响规律; 采用先进的HPLC-ICP-MS和HPLC-HRMS联用技术分别建立了富硒粮食作物中硒蛋氨酸、硒(半)胱氨酸、甲基硒代半胱氨酸的高灵敏度测定方法, 其中一个方法形成农业农村部行业标准1项; 应用代谢组学技术研究了不同富硒条件下富硒产品的初级和次生代谢物的变化规律。

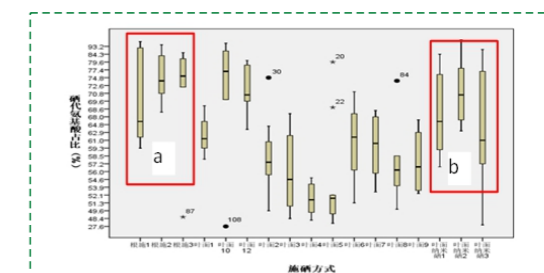
重大科技贡献

通过调查掌握了辽宁省部分高硒土壤地区硒含量分布, 掌握了辽宁省富硒产业发展现状, 发现了富硒降低了农产品中胱氨酸和蛋氨酸含量, 降低了铜、锌和镉元素含量, 增加了铁、钙、镍等营养成分含量。评价了富硒产品对人体健康安全和营养价值; 建立了富硒产品中硒形态的高精度的分析方法, 对富硒农产品的质量 and 营养评价提供了较大技术支撑; 发现了采用土壤根施无机硒肥和叶面喷施纳米硒肥, 稻米中硒代氨基酸占总硒比例较高。在富硒产业状况及需求调查、富硒产品的营养变化及形态检测技术研究、硒肥组成和施用实验基础上, 形成了水稻、玉米、大豆

等粮食作物的较高效益的叶面硒肥施用技术。为科学合理富硒提供了技术依据, 为进一步发展富硒产业提供技术支持。



不同硒肥在水稻叶面喷施的吸收率



不同富硒方式对稻米有机硒占比的影响 (框图中a为土壤施硒, b为纳米叶面施)

成果产出与荣誉

该成果发表论文1篇, 申报发明专利1项, 形成农业部行业标准1项, 辽宁省富硒农产品的调查报告1份, 撰写政府咨询报告1份、为辽宁省相关富硒农产品生产企业提供技术服务, 500多项次, 为富硒水稻生产企业和合作社提供了多次技术咨询服务。



硒代氨基酸测定方法行业标准

成果团队

王世成、李国琛、崔杰华、李波、王颜红、张红



采用无人机的叶面硒肥喷施实验

绿色农产品全程质量保障技术集成与应用

The Integration and Application of Quality Control Technologies for the Whole Process of Green Agricultural Products

成果背景

影响农产品质量安全的因素制约着绿色农产品的生产和发展。产地环境是决定农产品质量的第一要素，目前，农业产地环境适宜性评价指标体系不健全，评估方法不完善，产地环境质量评价结果不能科学的反映产地环境的真实情况，导致适宜性区域划分难以有效指导农业生产和种植结构调整；农药、肥料不科学施用，缺少关键技术的研究和支撑，造成安全操作规程制定无据可依，从而导致农药残留和重金属超标成为农产品污染的主要因素，农业投入品的安全使用技术及其危害物控制技术已成为农产品安全生产的主要限制因子；在产后农产品质量监控环节，技术手段的滞后显著影响了农产品质量的有效监管。

研究内容

本成果以绿色农产品全程质量安全为目标，集成产前产地功能区划、产中投入品控制、产后农产品溯源与危害物筛查等关键技术，建立了绿色农产品全程质量保障体系，形成了农产品及环境风险预警监测机制：

1、基于不同区域环境特征与农产品种类的数量关系，确定影响绿色农产品产地环境质量区域差异性的主导因素，量化重金属、有机污染物等产地环境评价指标，建立绿色农产品产地环境评价指标体系；

2、根据不同规模的模拟实验，建立农药和肥料重金属与作物安全的量效关系和数学模型，评估农药施用安全间隔期和肥料施用规程，提出投入品安全控制关键技术；

3、以农产品危害物筛查和产地溯源为突破口，研发以同位素分析、色谱联用、指纹图谱、主成分分析为核心的绿色农产品危害物筛查和产品溯源关键技术。

重大科技贡献

针对农产品生产中产前、产中、产后三个关键环节，本成果突破了3个方面的关键技术，取得了如下创新：

1、基于不同区域的环境特征与农产品种类的数量关系，提出了基于重金属镉、铅有效态、农药残留及持久性有机污染物的多级绿色农产品产地环境适宜性评价指标体系；

2、针对农用投入品的环境行为与膳食风险，以农药安全间隔期和肥料重金属安全限量为核心，提出了16种重金属、有机农药的累积和残留的安全监控原理与方法；

3、阐述了农产品风险发生机制，建立了以同位素溯源技术和组学筛查技术为核心的绿色农产品质量保障的技术，形成了农产品风险预警监测机制，实现了绿色农产品产后质量保证和跟踪溯源。

据此，形成了适于东北地区的绿色农产品生产的技术体系与管理框架，实现绿色农产品全程质量安全保障。

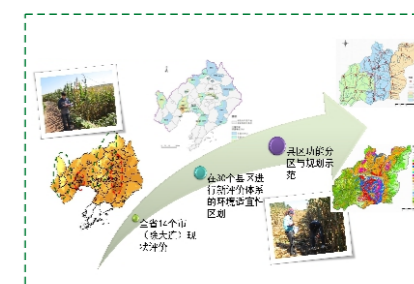
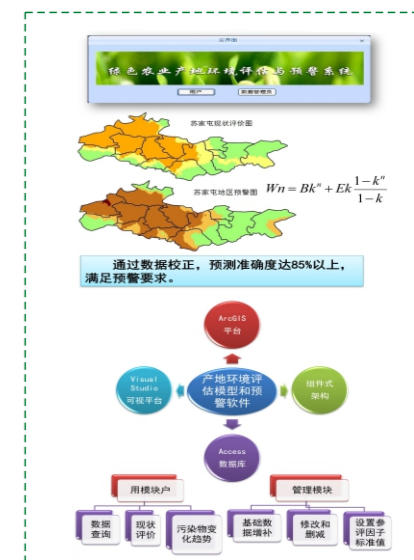
成果产出与荣誉

本成果在辽宁省14个市30个县区推广应用，生产面积1353万亩，获绿色食品标志334个，新增利润29.6亿元，取得了巨大经济和社会效益。发表研究论文26篇（SCI论文6篇），申请专利2项，授权发明专利1项，软件登记1项，行业标准5项，地方标准17项，获2014年辽宁省科技进步二等奖，是适合我国东北地区绿色农产品质量安全保障的新原理、新方法和新技术。

本成果核心技术基本成熟，适用于我国东北地区绿色农产品生产过程质量安全保障的应

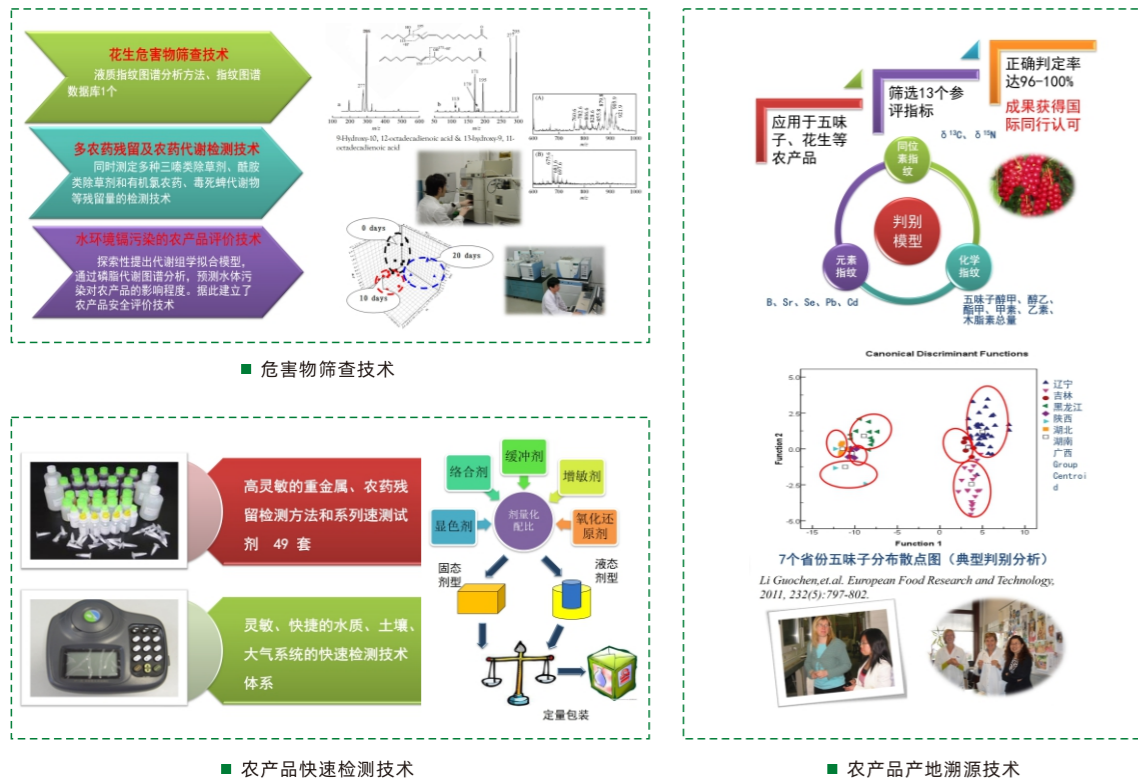


■ 筛选土壤环境新增评价因子及风险阈值，建立评价体系



■ 产地环境区划与示范

用。通过在铁岭、葫芦岛、锦州等地的示范应用，从理论和实践两方面逐步完善了产地环境适宜性评价指标体系，生产过程投入品安全监控的操作规程，形成了保证农产品质量安全的过程机制和技术集成体系。



成果团队

王颜红、郭书海、张红、胡远满、吴波、李静、仇伟光、郝晓莉、李晓磊、程少敏、杜石

氮肥残效是农田NUE量化差异的主要来源

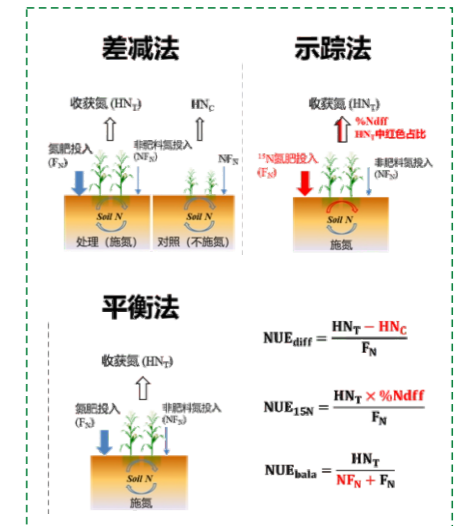
Legacy Effect is the Main Source for the NUE Differences among Different Approaches

成果背景

作物氮利用效率 (NUE, Nitrogen Use Efficiency) 是指肥料中氮元素被作物吸收利用的比例，是评价农田氮投入资源利用效率和环境影响一个重要指标，被科研人员、政府决策者、肥料企业和农户等广泛使用。然而，NUE虽然定义简单，但却并不容易直接量化。不同的人员往往根据自身不同需要和便利条件采用不同的量化方法，通常需要在一定的前提和假设下采用间接方法进行估算。由于采用的假设不同，不同方法计算的NUE差异较大，尤其是在平衡法和差减法/示踪法之间。例如，我国粮食作物NUE平均水平被普遍认为在30%左右，而采用平衡法计算的NUE却高达60%以上。不同量化方法间的巨大差异致使不同研究间缺乏可比性，阻碍了不同地区研究人员和利益相关者的交流、比较和经验分享，不利于农田氮肥管理和政府决策制定。

研究内容

依托文献中全国尺度的调研数据和田间长期定位试验数据，该研究系统阐述了三种农田氮利用效率 (NUE) 不同量化方法 (差减法、示踪法和平衡法) 的科学内涵、差异原因和潜在联系，提出“氮肥残效” (即残留于土壤中的肥料氮对后季作物氮吸收的贡献) 是造成不同量化方法不具可比性的主要原因。差减法和示踪法不涉及或较少涉及土壤残留效应，而平衡法则主要涉及了土壤残留效应。除此之外，不同NUE量化方法针对的对象不同也是原因之一但一般贡献较小 (差减法和示踪法主要针对化肥氮的投入，平衡法主要针对氮素的总投入，包括来自大气沉降和非共生物固氮的氮输入)。采用差减法、示踪法和平衡法量化了我国粮食作物的氮利用效率，结果分别为32%、30%和52%。



重大科技贡献

2021年4月，该研究成果发表在期刊《Nature Food》上，文章发表后获得了国内外同行及媒体的广泛关注。该研究为NUE量化调查农田施氮的资源环境效应提供了新评价标准，建议相关人员需要根据不同目标选用恰当的量化方法，在比较时采用统一标准以增加可比性。对不同方法计算的NUE进行比较时需采用统一标准以增加可比性，要重点考虑氮肥残效的影响。论文观点已被中国农业大学张福锁院士、国际肥料工业协会（IFA）Achim Dobermann教授、英国洛桑试验站David S. Powelson教授等专家在期刊论文中引用20多次。该理论框架对于其他肥料元素作物利用效率和排放因子的计算同样适用。总的来说，该论文帮助解释了一个长期困扰农田氮循环研究者的“不同文献中NUE变异大、缺乏可比性”的难题，研究结果为理解和合理应用农田NUE提供了新的视角，可以用于指导未来的田间试验和养分管理，促进农业可持续发展和生态环境保护。

成果产出与荣誉

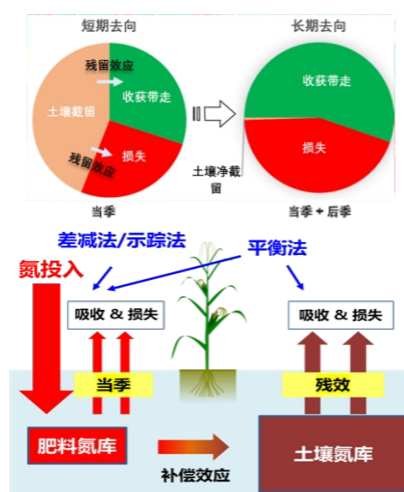
2021年4月21日，该研究以“Different quantification approaches for nitrogen use efficiency lead to divergent estimates with varying advantages”为题发表在Nature Food上。该研究得到了国家重点研发计划项目和国家自然科学基金的资助。

成果团队

全智、张鑫、方运霆（优青、辽宁省“兴辽英才”计划领军人才）、Eric A. Davidson

三种最常用NUE量化方法的对比（粮食作物 地上部）			
	差减法NUE _{diff}	示踪法NUE _{15N}	平衡法NUE _{bal}
中国	27% (n=667) (张福锁等, 2008); 30% (n=151) (Jin, 2012); 34% (n=185) (于飞和董卫明, 2015); 35% (n=461) (于飞和董卫明, 2015);	36% (n=216) (Quan et al., 2021); 37% (n=92) (Ju and Christie, 2011)	68% (Norton et al., 2015); 68% (Zhang et al., 2019)
全球	48% (Baan and Johnson, 1999); 47% (n=748) (Krupnik et al., 2004); 48% (n=452) (Yan et al., 2020)	44% (n=804) (Krupnik et al., 2004); 42% (n=88) (Smith and Chalk, 2018); 42% (n=622) (Yan et al., 2020)	99% (Norton et al., 2015); 62% (Zhang et al., 2015)
NUE 平均值			

■ 三种常见量化方法对中国和全球粮食作物地上部分NUE的影响



■ 氮肥短期和长期去向差异及其对不同方法NUE的影响

退化草原生态和生产功能调控机理与快速恢复技术

Scientific Mechanisms Underlying Ecological and Production Function of Degraded Grasslands and Fast-Restoration Technology

成果背景

我国草原主要分布于干旱、半干旱的生态脆弱区，持续受到气候变化的不确定性影响，在日益增强的人类活动干扰和长期高强度利用条件下，大部分草原处于不同程度的退化状态，其生产功能和生态功能低下，制约着牧区和农牧交错区社会经济的发展 and 生态安全屏障功能的发挥。中国科学院沈阳应用生态研究所科研团队长期聚焦草原生态系统结构和功能的维持，从水养资源调控、植物群落动态、地上地下生态过程耦联等多侧面开展了系统研究工作。

研究内容

- 1、草原植物资源利用策略：从限制北方干旱半干旱区植物生长的重要水养资源条件入手，分析不同环境条件下草原植物对水分、养分、光照等自然资源的利用与转化；
- 2、草原植物群落结构与功能维持机制：结合刈割、放牧、围封等草原常见利用和管理措施，解析草原植物物种多样性、功能多样性、群落组成、地上和地下生产力的变化规律及驱动机制；
- 3、牧草品质提升机理与技术：从土壤养分供给、植物养分吸收和利用两个层面明确改善草原牧草品质的内在调控因子，并以此为基础研发牧草高产优质的草原管理技术。

重大科技贡献

- 1、明确了我国北方干旱、半干旱区草原土壤和植物养分状况的分布格局与变化规律，解析



■ 内蒙古呼伦贝尔草原实验平台和示范基地



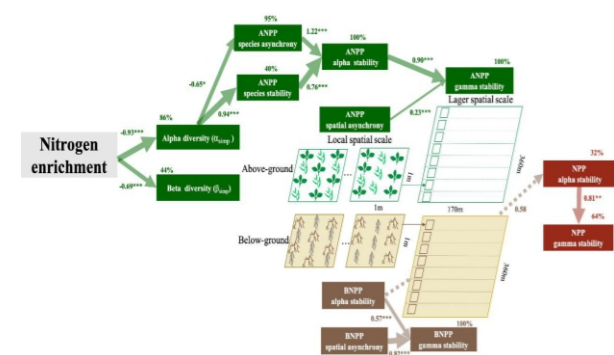
■ 草甸草原产能快速恢复与提升技术研发平台

了草原植物的氮磷养分利用策略对水养资源条件变化的响应规律，阐明了草原水氮条件限制类型及成因，为进行草原管理的分类施策奠定了基础；

2、发现了促进草原牧草产量提升的氮素饱和阈值，阐明了氮素输入对草原多营养级生物多样性的影响机理及其调控途径，为发展退化草原生产力快速提升技术提供了科技支撑。

成果产出与荣誉

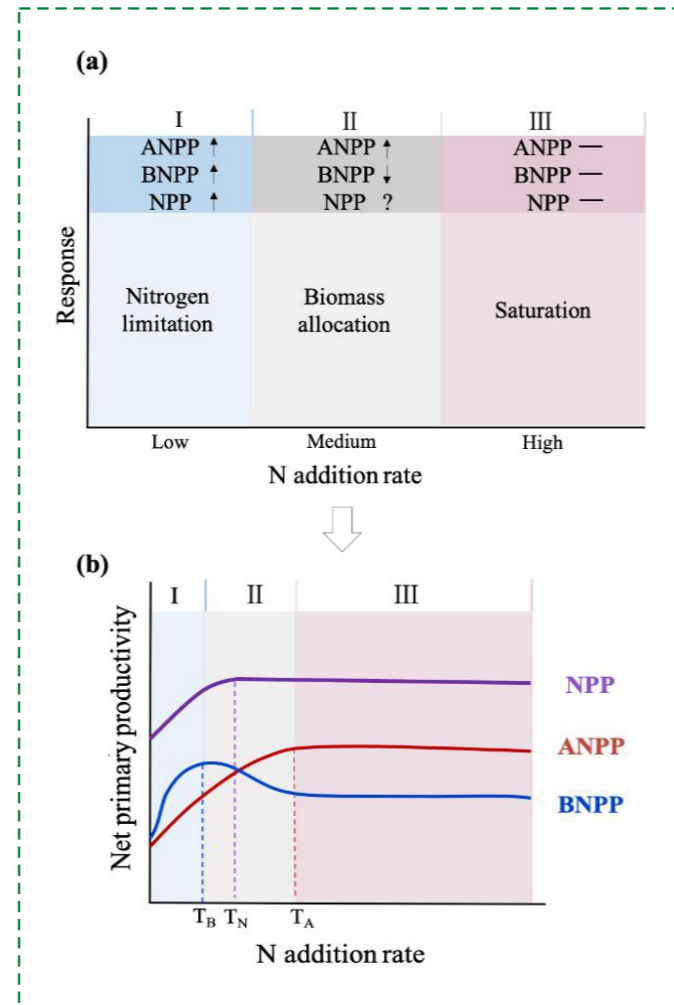
在Global Change Biology、New Phytologist、Ecology等国内外生态学主流期刊发表学术论文100余篇，获得省部级自然科学奖1项。



■ 养分输入影响牧草产量可持续供给的路径解析

成果团队

王正文（国家林草局科技创新团队负责人、辽宁省学术头雁）、吕晓涛（优青、辽宁省百层次人才）、雒文涛（中科院青促会会员）



■ 研究团队提出的草地生产力养分响应理论框架 (a) 和预测模型 (b)

Vc发酵伴生依赖性解除及环境友好生产新技术

A Novel Companion-Dependency-Relieved Fermentation Technology and Environment-Friendly Production Technology of Vitamin C

成果背景

我国维生素C (Vc) 年产量约16万吨以上，供应全球Vc市场，是中国出口量最大的原料药。Vc生产采用我国独创的两步发酵法，其显著特征是第二步发酵为两种菌（产酸菌和伴生菌）的混合发酵，产酸菌必须依赖于伴生菌才能生长和产酸，但两菌生长和转化过程难以协调至最佳状态。这种伴生依赖性常常导致发酵稳定性差、转化效率低下，成为阻碍生产效率提升的关键技术瓶颈问题。此外，Vc发酵提取过程中，会排放以万吨计的废液-如废菌渣液和废母液，废母液COD极高(60-80mg/L)且pH极低，废菌渣COD高(8-10mg/L)，尚缺乏其资源化利用新技术，给Vc企业带来巨大环保压力，严重制约了Vc产业的绿色、可持续发展。

研究内容

针对上述技术瓶颈问题，经过老中青三代科学家近30年的科技攻关，在Vc发酵技术方面，研究了Vc混菌发酵的生态学过程，查明伴生菌的伴生机制，研究了产酸菌关键代谢酶特征，建立伴生菌和产酸菌的高通量筛选模型并通过太空诱变技术开展发酵菌株的快速筛选，开展酶促双平台发酵和高浓度发酵研究，显著提高了Vc发酵效率；其次，在废弃物资源化利用方面，研究了大宗废弃物的特性，开发废菌渣生产饲料蛋白、废母液高效回收古龙酸钠并生产Vc-Na和废母液生产新型有机肥技术，实现变废为宝。上述新技术为我国Vc产业卡脖子难题提供了一个可行、高效的解决方案。

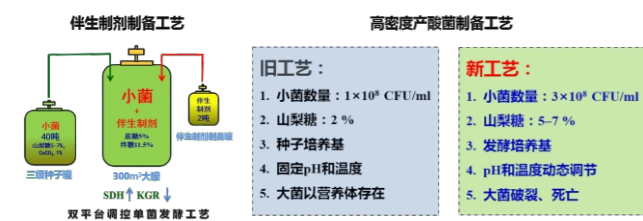
重大科技贡献

1、Vc单菌发酵技术体系的建立及工业化应用：从分子水平上揭示了混菌发酵的伴生规律和作用机理，率先分离并纯化出伴生活性物质，查明其为一个3.6万道尔顿酸性单亚基蛋白质，并系统检测了它的理化特性；分离并纯化产酸菌的两个关键酶-山梨糖脱氢酶及古龙酸还原酶，查明其酶促反应条件及差异；研发出简便、廉价的伴生活性制剂制备工艺，构建了以伴生活性物质替代伴生菌、解除伴生依赖性的Vc单菌发酵新技术，同时依据关键酶的各自特性，建立双平台控制单菌发酵技术体系，实现了Vc单菌发酵的生产应用；

2、Vc大宗废弃物资源化利用技术开发及应用：开发了废弃菌渣液的等电聚凝技术，将其制成菌体饲料蛋白产品；根据废母液的特性，从废母液中高效回收古龙酸，并将剩余母液开发成具有显著提高作物产量和品质的特种有机肥料，实现了Vc大宗废弃物的100%资源化和高值化再利用。

成果产出与荣誉

研究成果已分别在相关维C生产企业和肥料生产企业得到推广和产业化应用，取得了显著的经济和环境效益：发酵新技术在某维C生产企业应用后，3年累计新增产值7.4亿元；建成年产新型生物有机肥料3万吨的示范工厂，使废母液得以资源化和高值化利用。研究成果入选中国科学院建院70周年成果展，获得辽宁省科技进步一等奖（2017年）、农业农村部神农中华农业科技二等奖（2018年）、辽宁省科技进步二等奖（2013年）和沈阳市科技进步一等奖（2012年）等5项科技奖励。累计发表科技论文40余篇（SCI收录12篇），申请国家发明专利20余项（其中授权13项，2项专利获得转化应用），获授权国际发明专利1项，参编中英文专著2部。



■ Vc解除伴生依赖性发酵新技术示意图

成果团队

徐慧、张忠泽、杨伟超、满都拉、孙浩、高明夫、孔双、吕晓欢



■ Vc发酵技术成果获辽宁省科技进步一等奖



■ 东药集团Vc发酵车间



■ 太空诱变菌种的筛选



■ Vc废母液生产新型生物有机肥料

土壤生物群落组成及多样性对土壤健康的调控机制

Regulatory Mechanisms of Soil Biotic Community Composition and Diversity on Soil Health

成果背景

土壤生物多样性在维持陆地生态系统碳动态和养分循环等方面发挥着重要作用。联合国粮农组织在《全球土壤生物多样性现状报告》中指出，土壤生物能够促进土壤结构维持、土壤有机质形成和转化、以及生源要素生物地球化学循环等过程。与此同时，不同种类的土壤生物是相互联系的，即土壤微生物（细菌、真菌等）、食微动物（线虫、原生动物等）、捕食性动物（捕食性线虫、捕食性螨等）之间通过取食和被取食关系构成了土壤食物网，土壤食物网不同营养级间的互动与生态系统功能之间也存在着多重关联。因此，土壤食物网中不同土壤生物功能群及多样性的变化都能够导致土壤生态系统功能的改变，进而影响土壤健康状况。

研究内容

土壤健康是指土壤作为一个动态生命系统具有维持其功能的持续能力。通常健康土壤中的生物种类丰富，具备生物多样、代谢活跃、食物链结构合理等特点，能够有效维持土壤生态系统能量流动和物质循环。基于此，土壤生态组研究团队以土壤生物多样性和土壤食物网为核心，探明了土壤生物多营养级间的互动机制对不同管理措施的响应机理；揭示了土壤线虫多样性时空分布的主要驱动因素；提出了土壤健康生物学表征的整体思路，为黑土地土壤资源可持续利用提供理论基础和技术支撑。

重大科技贡献

揭示了不同有机替代方式对土壤生物网络结构与土壤健康的影响机制，以不同有机替代类型下旱田土壤为研究对象，针对化肥减施条件下秸秆、牛粪和生物炭部分替代化肥对土壤微生物和线虫群落及其构成的土壤微食物网进行分析发现，秸秆替代通过调节细菌多样性而间接改善了土壤质量；而牛粪替代削弱了土壤生物与作物之间的养分竞争，稳定了土壤生物网络，进而提高了玉米产量；生物炭替代能够降低植物寄生线虫危害的潜在风险。

阐明了土壤生物网络结构特征对资源养分限制的响应机理，分析了土壤微食物网对元素限制的响应机制。研究发现环境碳限制降低了土壤微食物网网络结构的复杂

性，减少了营养级之间联系的多样性，导致贫营养型细菌在网络中起主导作用，表明养分元素限制在构建土壤食物网网络结构中发挥着重要作用。

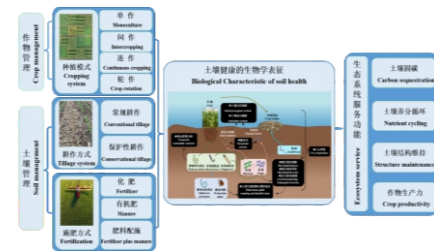
利用稳定碳同位素示踪技术探明了中小型土壤动物及其构成的食物网对有机碳积累的影响机制，量化了土壤食物网不同分解通道对外源碳的利用状况。研究发现中小型土壤动物通过对土壤微生物的捕食作用将外源有机碳固定到体内，并通过营养级联效应和捕食通道的偏好改变微生物残体代谢进而影响土壤有机碳的更新。

成果产出与荣誉

围绕土壤生物多样性和土壤生物健康，团队成员先后承担国家自然科学基金重点和面上项目、国家973计划课题、重点研发计划子课题、中国科学院对外合作重点项目和黑土粮仓先导专项子课题等相关研究任务30余项，所取得的相关研究成果分别发表在Soil Biology & Biochemistry、Journal of Cleaner Production、Global Change Biology等SCI刊物上，总计发表SCI论文50余篇，他引4000余次；出版了《Soil Nematodes of Grasslands in Northern China》和《长白山森林土壤线虫》专著2部；建立了中小型土壤动物稳定同位素分析方法，优化了土壤线虫的高通量测序方法，参与制定了《土壤健康综合表征的生物测试方法》的国家标准，参与编写了《第三次全国土壤普查技术规范（修订版）》中“第三次全国土壤普查技术规范（修订版）”、“第三次全国土壤普查土壤生物调查技术规范（修订版）”。

成果团队

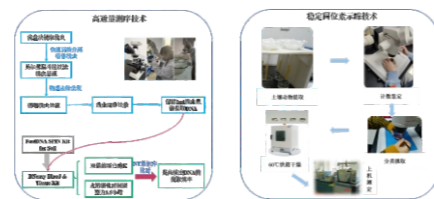
梁文举、李琪、张晓珂、李英滨、杜晓芳



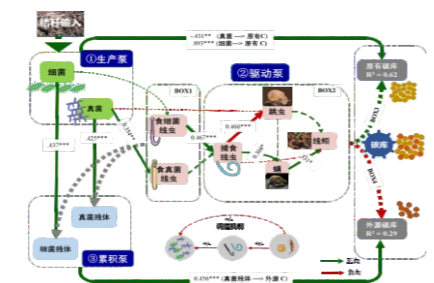
■ 提出了土壤健康生物学表征的整体思路



■ 出版了土壤动物中英文专著



■ 建立了中小型土壤动物同位素测定和高通量测序方法



■ 探明了中小型土壤动物对土壤有机碳积累的调控机制

氮同位素分析方法的建立及其在大气沉降氮和陆地氮循环上的应用

Chemical Method for Isotopic Analysis of Ammonium and Nitrate and Application to Atmospheric Deposited Nitrogen and Terrestrial Nitrogen Cycles

成果背景

氮循环是地球重要物质循环过程。自工业革命后，人类通过施肥和化石燃料燃烧等活动不断向自然环境释放活性氮，显著改变了氮循环的自然进程。目前，全球人类活动固持的氮已经超过陆地和海洋自然固定的氮，自然界的氮平衡被打破，负面效应显现。大气中活性含氮气体激增导致了严重的大气污染和过量氮沉降，大大影响了人类生存环境和自然生态系统的服务功能。科学制定减少大气氮污染的政策首先要认识其来源和生态环境效应，这在我国尤其迫切。稳定同位素自然丰度技术在揭示氮来源、解释氮循环过程、量化生态系统氮循环速率和氮去向等方面具有不可或缺的独特作用。基于此，方运霆团队建立和发展了一系列氮稳定同位素分析技术，并在揭示大气氮沉降的来源和转化过程、量化森林和草地生态系统氮循环等研究中。

研究内容

1、创新发展了稳定氮同位素分析方法。首次发现亚硝酸和盐酸羟胺反应可用于铵态氮同位素分析，进而建立了测定铵态氮¹⁵N丰度的新方法（盐酸羟胺法；论文1）。新方法不需要将铵根从溶液中分离出来，样品氮需求量为20nmol，仅为传统方法需求量的千分之一，使得环境介质痕量样品（如气溶胶和冰芯）氮同位素测定成为可能。同时，改进了硝酸盐同位素分析的化学方法，将叠氮酸（有毒和挥发性药品）的使用量减少为传统方法的千分之一，极大提升了实验安全性（论文4）；

2、利用稳定同位素技术解析了大气氮沉降来源。建立了大气不同氨来源氮同位素特征谱（论文10），量化了大气氨与颗粒物铵盐氮同位素自然丰度，解析了大气PM2.5的铵来源，发现汽车尾气和电厂氨逃逸对城市霾污染期间气溶胶铵的贡献高达90%，改变了“城市大气氨主要来自农业排放”的传统观点（论文3），后续在华北地区其他城市进一步证实了该规律（论文11）。这些成果革新了有关氮沉降来源和形成途径的定量认识，为我国大气活性氮，特别是氨减排政策制定奠定了科学基础；

3、利用稳定同位素技术揭示了氮循环过程特征及机制。形成了利用硝酸盐氮氧同位素自然丰度量化生态系统反硝化速率的方法体系(论文2,9),发现森林反硝化的气态氮损失可高达 $30\text{kgNha}^{-1}\text{yr}^{-1}$,挑战了“森林生态系统气态氮损失很低”的传统观点。进一步通过同位素自然丰度技术和氮循环过程模型,揭示了我国干旱和半干旱区域生态系统氮生物地球化学特征,为干旱和半干旱区域的划分提供同位素地球化学的依据(论文5)。

重大科技贡献

1、建立和发展的含氮物质同位素分析方法克服了传统方法存在的交叉污染、样品量大和耗时费力等缺陷,具备“简单、准确、量少”三大特点,在我国含氮物质稳定同位素分析技术的创新上实现了从无到有。新研发和建立的方法适用于环境中不同介质样品含氮物质的同位素测定(如气溶胶,论文3和12;冰芯,论文8;降水,论文6,7,10;土壤浸提液,论文2,5,9;气体,论文11),使用前景非常广阔。建立了辽宁省稳定同位素技术重点实验室,能满足目前国内外在氮循环研究中的所有氮同位素测定需求,推动稳定同位素技术在我国陆地生态系统生态学、全球变化生态学和稳定同位素生态学等学科交叉前沿研究的应用。完成人在稳定同位素分析方法和技术方面取得的成绩也引起国际同行的关注和采纳。受国际原子能机构邀请,团队带头人方运霆研究员分别参加了2018年和2019年在维也纳举行有关稳定同位素分析最新方法研讨会(全球十个受邀专家中中国唯一专家)和撰写建立全球河流硝酸盐同位素监测网方案(全球五个受邀专家中中国唯一专家);

2、有关城市大气霾污染期间气溶胶铵主要来自汽车尾气和氨逃逸的成果发表后引起国内外同行和生态环境部等相关管理部门的高度关注,该成果对认识大气污染来源和形成机制、为国家氨减排政策的制定和大气污染防治提供了新的方向。我们基于同位素示踪发现的工业源氨排放证据结束了多年的大气氨来源争议,目前有关工业来源的氨逃逸和汽车尾气对大气污染的贡献开始得到业内同行的认可,促进了行业标准的制定;

3、氮沉降及其在陆地生态系统氮循环的作用和去向得到国内外的高度关注,如美国普林斯顿大学著名教授Daniel M. Sigman团队2017年发表在Science的文章引用我们有关城市区域大气氮沉降的成果,用来支持大气沉降增加是导致西沙群岛珊瑚礁中 ^{15}N 丰度变得越来越贫化的推测。此后,Science对该文章的评论再次引用了代表性论文4。有关森林集水区尺度上的反硝化作用成果挑战了传统的认知(以往研究普遍认为森林受氮限制,土壤气态氮损失量很低),实现了在生态系统尺度上量化反硝化作用速率。

成果产出与荣誉

发表SCI论文12篇,培养研究生5名。

1. Liu Dongwei; Fang YunTing*; Tu Ying; Pan YuePeng; Chemical method for nitrogen isotopic analysis of ammonium at natural abundance. Analytical Chemistry, 2014, 86(8): 3787-3792.

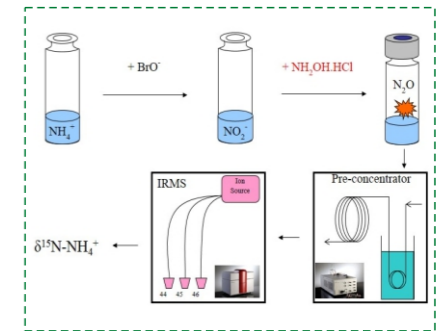
2. Fang Yunting; Keisuke Koba*; Akiko Makabe; Chieko Takahashi; Zhu Weixing; Takahiro Hayashi; Azusa A. Hokari; Rieko Urakawa; Edith Bai; Benjamin Z. Houlton; Xi Dan; Zhang Shasha; Kayo Matsushita; Tu Ying; Liu Dongwei; Zhu Feifei; Wang Zhenyu; Zhou Guoyi; Chen Dexiang; Tomoko Makita; Hiroto Toda, Liu Xueyan, Chen Quansheng, Zhang Deqiang, Li Yide, and Muneoki Yoh. Microbial denitrification dominates nitrate losses from forest ecosystems, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS), 2015, 112(5): 1470-1474.

3. Pan Yuepeng*; Tian Shili; Liu Dongwei; Fang Yunting*; Zhu Xiaying; Zhang Qiang; Zheng Bo; Greg Michalski; Wang Yuesi; Fossil Fuel Combustion-Related Emissions Dominate Atmospheric Ammonia Sources during Severe Haze Episodes: Evidence from ^{15}N -Stable Isotope in Size-Resolved Aerosol. Environmental Science and Technology, 2016, 50 (15): 8049-8056.

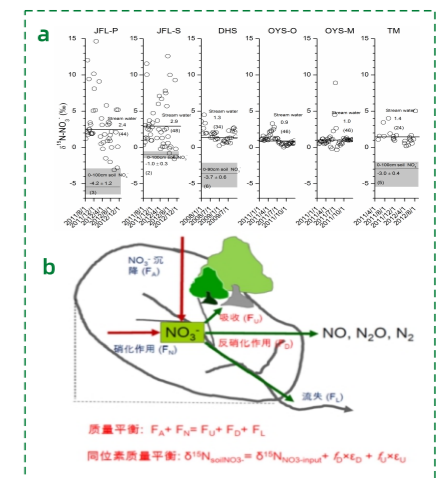
4. Tu Ying; Fang Yunting*; Liu Dongwei; Pan Yuepeng; Modifications to the azide method for nitrate isotope analysis, Rapid Communications in Mass Spectrometry, 2016, 30: 1213-1222.

5. Liu Dongwei#; Zhu Weixing*; Wang Xiaobo#; Pan Yuepeng; Wang Chao; Xi Dan; Bai Edith; Wang Yuesi; Han Xingguo; Fang Yunting*; Abiotic versus biotic controls on soil nitrogen cycling in drylands along a 3200 km transect, Biogeosciences, 2017, 14: 989-1001.

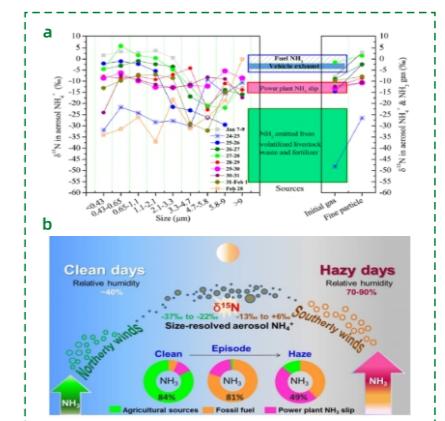
6. Huang Shaonan; Emily M. Elliott; J David Felix; Pan Yuepeng; Liu Dongwei; Li Shanlong; Li



■ 铵态氮稳定同位素测定新方法(盐酸羟胺法)流程(论文1)



■ 森林溪水和土壤硝化作用产生的硝酸盐 ^{15}N 自然丰度(a),硝酸盐氮氧同位素自然丰度方法量化生态系统尺度上的反硝化作用速率原理示意图(b)(论文2)



■ 北京2013年初气溶胶中铵同位素特征(a)和大气氨来源随霾污染过程和气象条件的变化示意图(b)(论文3)

Zhengjie; Zhu Feifei; Fu Pingqing; Fang Yunting*; Seasonal pattern of ammonium ^{15}N natural abundance in precipitation at a rural forested site and implication for NH_3 source partitioning, Environmental Pollution, 2019, 247: 541-549.

7. Li Zhengjie; Wendell W. Walters; Meredith G. Hastings; Zhang Yanlin; Song Linlin; Liu Dongwei; Zhang Wenqi; Pan Yuepeng; Fu Pingqing; Fang Yunting*; Nitrate isotopic composition in precipitation at a Chinese megacity: Seasonal variations, atmospheric processes, and implications for sources, Earth and Space Science, 2019, 6(11): 2200-2213.

8. Li Zhengjie; Hastings Meredith G.*; Walters Wendell W.; Tian Lide; Clemens Steven C.; Song Linlin; Shao Lili; Fang Yunting*; Isotopic evidence that recent agriculture overprints climate variability in nitrogen deposition to the Tibetan Plateau, Environment International, 2020, 138: 105614.

9. Huang Shaonan, Wang Fan, Elliott, Emily M., Zhu Feifei, Zhu Weixing, Koba Keisuke, Yu Zhongjie, Hobbie Erik A., Michalski Greg, Kang Ronghua, Wang Anzhi, Zhu Jiaojun, Fu Shenglei, Fang Yunting*. Multiyear measurements on $\Delta 17\text{O}$ of stream nitrate indicate high nitrate production in a temperate forest. Environmental Science & Technology, 2020, 54: 4231-4239.

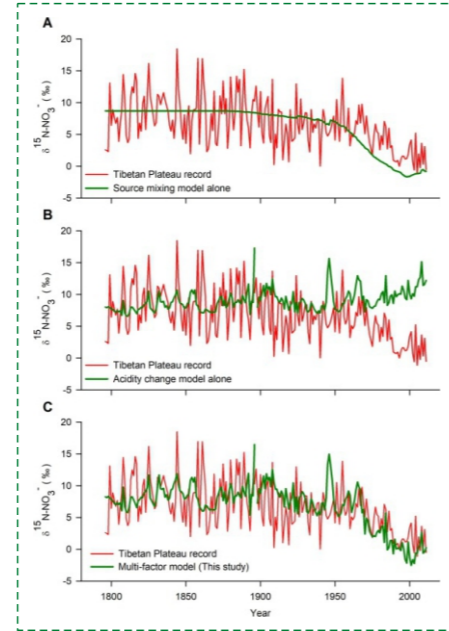
10. Shaonan Huang, Yunting Fang*, Feifei Zhu, Emily M. Elliott, J. David Felix, Fan Wang, Shanlong Li, Dongwei Liu, Linlin Song, Zhengjie Li, Pingqing Fu, Shenglei Fu*. Multiyear measurements on ^{15}N natural abundance of precipitation nitrate at a rural forested site. Atmospheric Environment, 2021, 253, 118353.

11. Song Linlin, Walters W. Wendell, Pan Yuepeng, Li Zhengjie, Gu Mengna, Duan Yihang, Lü Xuemei, Fang Yunting*. ^{15}N natural abundance of vehicular exhaust ammonia, quantified by active sampling techniques. Atmospheric Environment, 2021, 225(15): 118430.

12. Mgelwa Said Abubakari, Song Linlin, Fan Meiyi, Li Zhengjie, Zhang Yanlin, Chang Yunhua, Pan Yuepeng, Gurmessa Abdisa Geshere, Liu Dongwei, Huang Shaonan, Qiu Qingyan, Fang Yunting*. Isotopic imprints of aerosol ammonium over the north China plain. Environmental Pollution, 2022, 315: 120376.

成果团队

方运霆（优青、辽宁省“兴辽英才”计划领军人才）、刘冬伟（中科院青促会会员）、图影、黄韶楠、李郑杰、宋琳琳、Mgelwa Said Abubakari



冰芯硝酸盐含量和 $\delta^{15}\text{N}$ 、硫酸盐 (SO_4^{2-}) 和铵盐 (NH_4^+) 离子含量的历史变化 (论文8)

草原干旱适应机制与策略

Grassland Adaptive Mechanisms and Strategies to Drought

成果背景

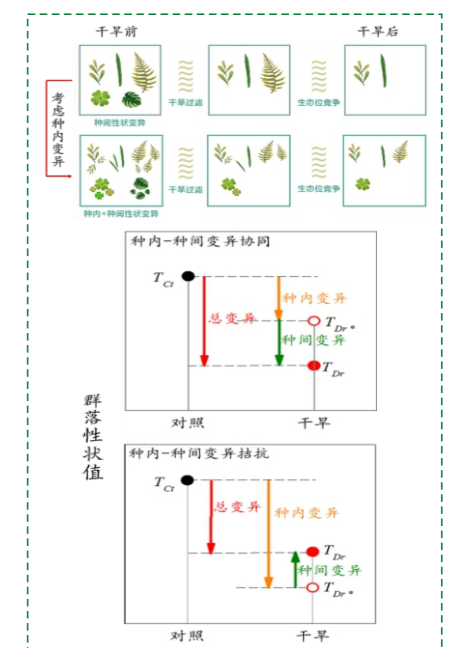
全球变化背景下，干旱事件发生的强度和频度显著增加，导致我国北方温带草原生态系统功能受损，不仅制约着草牧业良性发展，而且对我国北方生态屏障构成严重威胁，亟需探讨草原生态系统功能在干旱条件下的变化及维持机制，为草原保护管理及可持续利用提供科学依据。植物功能性状的表达和植被环境适应性密切相关，体现了植物资源的整合和获取能力，能够决定并预测特定的生态系统功能，为探究生态系统功能维持机制提供了新视角。

研究内容

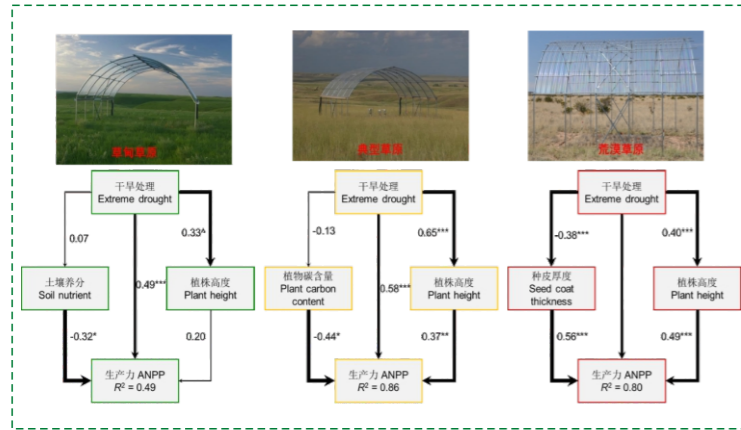
鉴于此，本课题组立足于我国北方温带草原，围绕生态系统功能的维持机制，基于长期监测、样带调查和干旱联网控制实验，开展了干旱条件下植物功能性状的变化规律及其与生态系统功能关系等方面的研究。

重大科技贡献

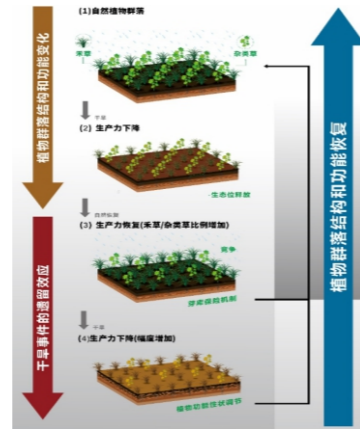
提出了种内和种间性状变异调控植物群落响应干旱的资源补偿机制（图1），阐明了干旱条件下植物群落性状驱动草原生产力的优势度效应机制（图2），揭示了干旱胁迫解除后植物群落生产力快速恢复的芽库保险机制（图3）。这些研究聚焦种内和种间性状适应进化、生态位分化和互补机制、生态系统功能稳定性机制等理论研究前沿，有助于准确认识干旱对北方温带草原生态系统结构与功能的影响机制，进而对实现草原生产和生态功能的可持续利用具有重要科学意义。



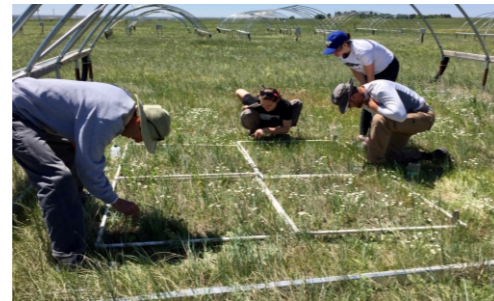
种内和种间性状对草原植物群落响应干旱的影响 (图1)



■ 干旱对草原植物功能性状和生产力的影响 (图2)



■ 干旱遗留效应对草原植物群落的影响 (图3)



■ 试验样地

成果产出与荣誉

在Ecology (3篇)、Journal of Ecology、Functional Ecology (3篇) 等期刊发表论文40余篇。提交资政建议报告2份, 其中1份被九三学社中央和全国政协采纳, 1份被辽宁省政协采纳。

成果团队

雒文涛 (中科院青促会会员)、宋琳、特尼乌、史瑗

量化东北地区典型玉米旱田土壤NO和N₂O的损失

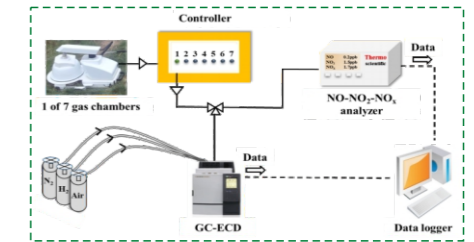
NO and N₂O Emissions from a Rainfed Maize Field in the Northeast China

成果背景

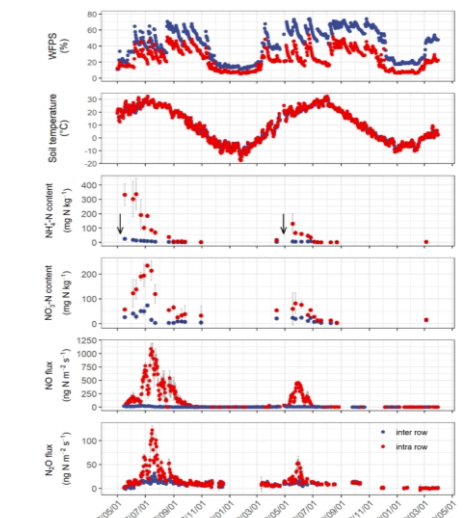
农田土壤是大气氧化亚氮 (N₂O) 和一氧化氮 (NO) 的重要排放源。其中N₂O是重要的温室气体, 也是破坏平流层臭氧的重要底物; 而NO化学活性强, 极易被对流层臭氧和氢氧自由基氧化, 是大气细颗粒物中硝酸盐形成的前体物质。农田大量氮肥的施用增加了土壤N₂O和NO的排放。东北地区是我国重要的粮食产区之一, 该区域60%以上的农田为旱地。前期研究报道该区域农田氮肥利用率不足40%, 约20%的氮肥可能通过气态氮的形式损失, 但对各含氮气体的损失量、排放的时空动态规律和控制因子仍缺乏了解。

研究内容

主要依托辽宁沈阳农田生态系统国家野外科学观测研究站, 运用高频率自动观测系统 (图1), 对东北典型玉米旱田土壤NO和N₂O排放速率和主要控制因子进行了连续两年的观测。结果发现, NO和N₂O的年均排放量为2.1和5.6kgNha⁻¹yr⁻¹, 分别占田间施氮量的1.4%和3.7%。生长季内, 土壤NO和N₂O的排放呈现相同的季节动态 (图2), 主要受土壤温度和无机氮含量的控制。此外, 该研究还发现旱田土壤春季冻融过程产生的NO和N₂O对全年NO和N₂O的贡献非常有限。该研究指出气候变化 (比如干旱) 可能增加该区域旱作农田土壤氮素的气态损失 (尤其是NO); 长期和高分辨率的观测有助于更好地了解NO和N₂O排放速率的昼夜、季节和年际变化。



■ 土壤NO和N₂O排放通量自动采集和测定系统 (图1)



■ 研究期间土壤温湿度、无机氮含量、NO和N₂O日排放速率的季节变化动态。黑色向下箭头表示施肥日期。(图2)

重大科技贡献

该研究结果有助于农田气态氮损失及其控制因素的理解。同时，建立了土壤NO/N₂O/CH₄/CO₂排放同步和自动化连续观测系统。将土壤呼吸室采样控制系统与气相色谱仪、氮氧化物分析仪连用，实现气体的24小时连续自动采集与分析，可减轻野外工作强度、解决传统手动采样法低频率、数据缺乏连续性等问题。为准确量化土壤碳氮气体排放量，探讨主要控制因子提供技术支持。

成果产出与荣誉

研究结果发表在Environmental Pollution和Frontiers in Environmental Science期刊上。

Su, C., Zhu, W., Kang, R., Quan, Z., Liu, D., Huang, W., Shi, Y., Chen, X., Fang, Y., 2021. Interannual and seasonal variabilities in soil NO fluxes from a rainfed maize field in the Northeast China. Environ. Pollut. 286, 117312. <https://doi.org/10/gj2qhw>

Su, C., Kang, R., Huang, W., Fang, Y., 2021. Temporal patterns of N₂O fluxes from a rainfed maize field in Northeast China. Front. Environ. Sci. 9. <https://doi.org/10/gj2qhv>

成果团队

宿晨霞、朱伟兴、康荣华、全智、黄文韬、陈欣、方运霆（优青、辽宁省“兴辽英才”计划领军人才）

水稻化感作用物质及其对土壤微生物群落和酶活性的调控

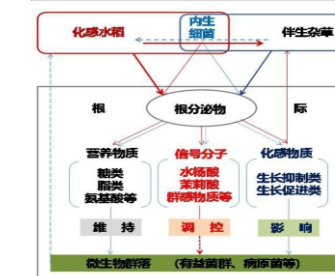
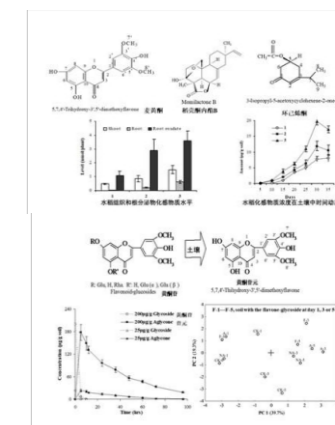
Rice Allelochemicals and Their Regulation Mechanisms on Soil Microbial Community and Enzyme Activity

成果背景

植物能产生和释放特定的次生代谢物质调控邻近植物的生长和种群建立，即植物化感作用（allelopathy）。在作物众多的种质资源中，少数作物品种也能合成释放化感作用物质来调控共存的杂草，意味着这些作物化感品种自身能产生“除草剂”抑制杂草，从而减少对除草剂的依赖。揭示并充分利用作物化感品种这一内在化感作用机制既能拓宽认识作物和杂草间相互作用关系的视野，又能开拓生态安全的农田杂草控制新途径。

研究内容

从国际公认的水稻化感品种PI312777中分离鉴定了147个次生物质，并通过控制和田间实验逐一验证这些次生物质对稻田主要杂草的抑制作用。在此基础上，确定了水稻化感作用物质是麦黄酮、稻壳酮内酯B和环己烯酮，而不是普通的酚酸类物质，澄清了长期以来关于水稻化感品种通过哪些次生物质抑制杂草的争论。发现水稻化感品种能检测识别杂草并及时启动相应的化学响应机制，即水稻化感品种首先是通过与杂草间的化学识别及信息传递，然后才是合成释放相应的化感作用物质抑制杂草。进一步以水稻关键的化感作用物质麦黄酮为模式化合物，探讨了其从根系释放、土壤迁移转化和与微生物相互作用的全过程。发现水稻化感品种在地上部合成无毒的黄酮苷，这些不同的黄酮苷从根系释放到土壤中很快转变成同一的苷



■ 水稻化感物质及其抑制杂草机理

元麦黄酮，从而对杂草产生抑制作用。最有意义的是，水稻化感品种根系释放的化感物质显著影响土壤微生物和土壤酶活性，尤其是水稻化感作用物质能调控土壤微生物建立有利于水稻生长的微生物群落结构。

重大科技贡献

上述成果是首例完整地阐释了农田生态系统作物和杂草生物化学作用关系的研究，研究结果不仅丰富完善了植物化感作用的内容，而且对建立生态安全条件下稻田杂草的可持续控制策略具有重要的指导意义。研究成果得到了国内外同行广泛关注，并产生了重要影响。联合国粮农组织专门召开了水稻化感作用研讨会并出版了水稻化感作用学术专刊，尤其是项目结束和论文发表10年之后，5篇代表性论文依然被持续增长地引用，充分显示这一研究结果的重要性和可靠性。

成果产出与荣誉

已在国内外重要学术刊物发表论文20余篇，其中5篇代表性论文总引用>628次，其中他引>547次。出版专著1部。获得辽宁省自然科学奖二等奖（2022年度）。

成果团队

孔垂华、王朋、梁文举

土壤稳定有机碳提升的根系调控技术原理

Mechanisms of Plant Roots on Promotion of Stabilized Organic Carbon in Soil

成果背景

土壤有机碳是陆地生态系统最大的碳库，其源汇关系改变事关气候变化对陆地生态系统碳循环和生产力的正负反馈方向和幅度。稳定土壤有机碳是土壤有机碳库的主体，更是土壤有机碳库动态变化的晴雨表。植物根系既能够显著促进土壤有机碳分解，即“根际激发效应”，又能够有利于土壤稳定有机碳形成，即表现为明显的“双刃剑”效应。因此，有效降低根际激发效应是促进土壤稳定有机碳提升的关键。

研究内容

以我国东北主要的木本植物、草本植物及作物为研究对象，重点开展根际激发效应方向、幅度的影响因素及调控机制研究。影响因素包括生物因素和非生物因素。生物因素有：植物物种、生长速率、氮磷养分需求、根系性状及养分捕获策略、微生物分解活性、微生物碳利用效率及周转速率等。非生物因素有：土壤碳氮含量、养分可利用性、碳氮磷交互影响、土壤团聚体周转、土壤水分及多因素交互作用。主要调控机制包括：微生物活性假说、团聚体周转假说、氮挖掘机制、养分竞争机制及多种调控机制相对重要性的解析。

重大科技贡献

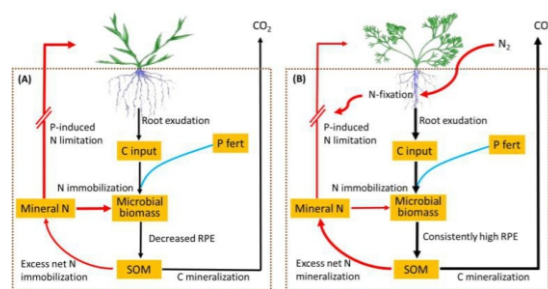
采用¹⁸O标记技术发现根际过程显著调控微生物周转进而提高了根际激发效应，其对于土壤碳储的影响作用强于微生物碳利用效率的变化。采用稀土金属氧化物标记技术发现土壤团聚体周转加快导致强烈的根际激发效应。发现物种间根际激发效应差异主要受细根性状调控。相比丛枝菌根，外生菌根选择特殊的微生物群落，具备较强的氮降解酶合成能力，表明菌根类型对土壤生地化循环显著的调控作用。发现施磷降低了禾本科植物根际激发效应，而对豆科植物无显著影响。磷肥施入导致土壤氮限制是主要原因，揭示了碳-氮-磷相互作用对于理解根际激发效应的重要性。首次发现非生长季根际激发效应约占全年总量的1/3，对于精确评估土壤有机碳动态具有重要意义。

成果产出与荣誉

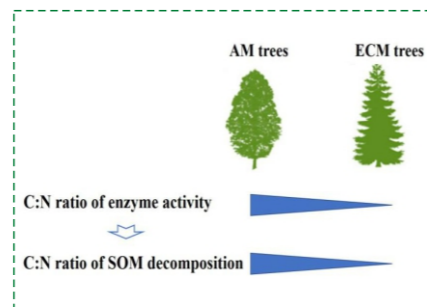
成果产出主要体现为论文发表。到目前为止，已在I区TOP期刊发表SCI文章20余篇，包括生态学、植物学及土壤学方面的旗舰刊物，如New Phytologist, Soil Biology & Biochemistry。相关成果受到了国际同行的关注与引用，比如，法国著名根际生态学家Sebastien Fontaine教授，美国生态学家Richard P. Phillips教授。碳-氮-磷交互作用对根际激发效应的影响机制入选Soil Biology & Biochemistry期刊的“editor choice”。多次在国际大型学术会议上受邀做大会口头报告。获得CERN十篇青年优秀学术论文，省林业科学技术一等奖等奖项。

成果团队

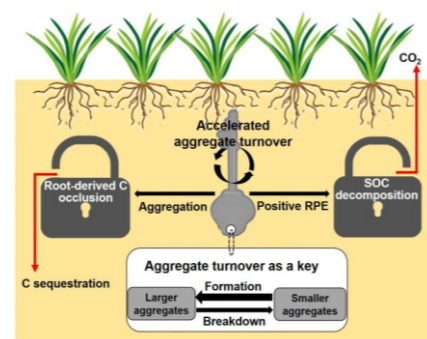
王朋、阴黎明（辽宁省“兴辽英才”拔尖人才）、霍常富、卢佳禹（沈阳市高级人才）



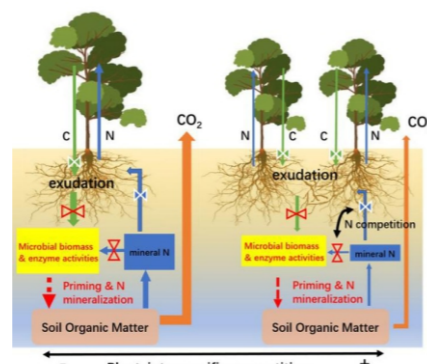
■ 碳-氮-磷交互作用影响激发效应



■ 菌根真菌对根际激发效应化学计量比的影响



■ 团聚体周转加快根际激发效应



■ 养分竞争抑制根际激发效应

农业废弃物肥料化利用技术与工程示范

Research and Engineering Demonstration on Fertilizer Utilization Technology of Agricultural Wastes

成果背景

2013至2023年期间国家级相关部门一直关注畜禽粪便等农林废弃物的利用问题。二十大报告再次提出：“实施全面节约战略，推进各类资源节约集约利用，加快构建废弃物循环利用体系。”2023中央农村工作会议：推进农业绿色发展。加快农业投入品减量增效技术推广应用，推进水肥一体化，建立健全秸秆、农膜、农药包装废弃物、畜禽粪污等农业废弃物收集利用处理体系。充分体现党中央对农业绿色发展和民生的重点关注。

研究内容

农业废弃物是指在整个农业生产过程中产生的被丢弃的有机类物质，主要包括：农林业生产残余类废弃物，畜牧渔业产生的动物类残余废弃物，农业加工产生的加工类残余废弃物和农村城镇生活垃圾等。通常我们所说的“农业废物”主要指农作物秸秆和畜禽粪便。主要根据农林废弃物自身特性，开展有区域养分循环特点的微生物降解多级利用问题，分离纯化以及高效代谢菌株构建的研究和工艺优化工作：(1) 生物法生产沼气及酵母菌、乳酸菌的代谢网络研究；(2) 微生物发酵法高效分解不同木质素的生物转化过程；(3) 先进能源生产菌株的构建及代谢途径信号转导；(4) 酶的生物信息分析；(5) 因地制宜的建立不同的微生物转化模式；(6) 构建适合不同地区的肥料化工厂建设模型。

重大科技贡献

在国内率先提出，在堆肥过程中添加5%-8%的褐煤不仅不会影响堆肥温度，同时利用堆肥的温度和湿度，会产生腐植酸铵，抑制氮元素挥发，活化褐煤中的腐植酸，平均减少氮元素挥发33.06%。按照10亿吨农业废弃物中含有121.14万吨氮元素计算，每年可减少氮元素挥发40.05万吨。

堆肥是实现农业废弃物资源化利用的主要途径之一。堆肥过程中适宜的C/N，利于微生物繁殖和堆肥进程的加快。通常合适比例为25-35，过高和过低都不利于堆肥腐熟，过低会加快氮元素转化为氨态氮挥发。实验结果显示，当堆肥中C/N分别为11.9、

19.3、27.7、35.1、39.3时，氮元素的损失率分别为59.3%、61.9%、35.3%、24.6%和24.1%，说明适宜的C/N比可促进堆肥进程，同时能够抑制氮元素的挥发。

成果产出与荣誉

2010年“畜禽养殖废弃物无害化处理与资源化利用的关键技术研究开发”获辽宁省科技进步二等奖；一种以菌糠为原料制备生物有机肥的方法获沈阳市专利三等奖。2015年畜禽养殖废弃物资源综合利用技术与示范，辽宁省科技进步三等奖。申请专利10余项，发表相关文章10余篇。通过科技成果转化方式与四川中农润泽生物科技有限公司、通化万通盛泰生物科技有限公司、沈阳润农生物科技有限公司等20余家建立了成果转化基地，年处理农业废弃物超过100万吨。



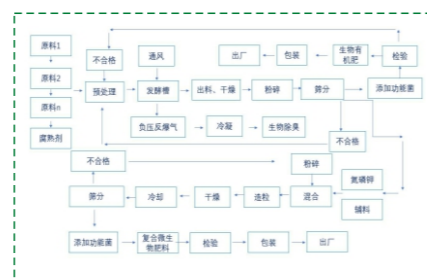
■ 2010年辽宁省科技奖励



■ 2015年辽宁省科技奖励



■ 技术成果转化企业



■ 技术实施路线

成果团队

陈欣、江志阳、马建、鲁彩艳、李汝会

东北亚农用微生物资源保护与利用

Protection and Utilization of Agricultural Microbial Resources in Northeast Asia

成果背景

天然微生物作为植物保护剂的优势在于它们能够有效地降低农作物对化学农药的依赖性，而且它们也不会对人类健康产生危害。此外，天然微生物也能够有效地防止农作物遭受昆虫、真菌和病毒的侵害。以国民经济和社会发展的重大需求为导向，面向生命科学前沿，开展东北亚地区（寒冷地区、海洋、森林、干旱区）微生物资源利用的基础和应用基础研究；建立从微生物资源获取、机制解析、功能开发、到技术创新的完整研究体系，为升级农用生物产业、改善生态环境等提供新理论、新技术和新产品。

研究内容

过去和现在的人类农事操作和生产生活正在影响世界各地的土壤健康和作物健康，对粮食、蔬菜生产的强烈需求而降低了作物产量。与此同时，人类社会正在寻求可持续发展的高效农业技术，这些技术可以在减少合成化学品投入的同时保持或提高生产力。增强植物健康最有前途的方法之一是利用形成植物微生物组的大量微生物的资源和功能优势。土壤和作物适应性的许多关键特征取决于集合的微生物组，如养分均衡吸收、土壤生态环境维持、对植物病原体的自然保护。有益微生物可以维持土壤健康的农作物的安全，因此本技术具体开展工作：(1) 微生物资源搜集、保存、功能微生物资源梳理；(2) 微生物适应机制与发酵工艺技术；(3) 微生物天然产物与矿质营养元素互作机理研究；(4) 微生物肥料、生物农药、土壤修复菌新技术研发。

重大科技贡献

当前各界正寻找以化学物质为基础的传统农业的替代品。而在世界各地进行的各种农作物试验表明，有益微生物在提高作物产量和土壤肥力方面具有良好的实际应用前景。因此在该领域提出：首先依托现有的国家野外观测站、生物多样性检测平台网络，阶段性监测土壤微生物种群数量等方面的变化，体现出不同地域、不同气候、不同使用途径、不同植物的特点和趋势；其次，优化现有的微生物资源平台保护和利用

共进的利用方式，让保存的微生物资源为农业、医学、环境、林业等领域所用；第三，结合农业绿色发展和环境保护适度加大科研项目的设立，关注基础科学和应用科学的同步性，建立土壤微生物农用产品的技术开发体系建设、标准体系完善以及市场监督体系的县域化，达到研发-生产-应用-监管的立体体系建设，以保证粮食安全和土壤健康。

成果产出与荣誉

《生物质资源化能源化多产品联产的绿色生物炼制技术研发及产业化》项目获得辽宁省科技进步一等奖，《生物质能源多产品联产的关键菌株和工艺研发及产业化》获得中国可再生能源学会科技进步一等奖。现拥有生产菌株超过200株，菌种保藏超过600株。申请专利10余项，发表相关文章20余篇。通过科技成果转化方式与山东土木启生物科技有限公司、山东施可丰生物科技有限公司、通化万通盛泰生物科技有限公司等多家建立了成果转化基地。



■ 微生物发酵平台

成果团队

陈欣、江志阳、马建、鲁彩艳、李汝会



■ 2021年辽宁省科技奖励



■ 2021年中国可再生能源学会奖励



■ 农民日报报道

北方蚯蚓养殖和蚯蚓消化食用菌菌糠等农业废弃物肥料化利用技术

Fertilizer Utilization Technology of Agricultural Waste Including Spent Mushroom Substrates by Earthworm Digestion in Northern China

成果背景

针对食用菌菌糠等农村有机废弃物传统堆肥工艺存在发酵慢、用时长、杂菌多、效率低、资源化利用程度低和堆肥质量低等诸多问题，利用生物过腹消化功能，将蚯蚓引入菌糠堆肥过程，并添加微生物发酵技术合成的绿色表面活性剂，进一步加快了堆肥进程和质量。通过该技术能够很好的解决菌糠等堆肥产品不能达到农用标准难以销售而重新成为垃圾的难题。二次利用菌糠等农村有机废弃物，获得蚯蚓产品，延长循环链条，增加价值，减轻处理压力和污染问题。

研究内容

1、加快堆肥进程，缩短堆肥期：堆肥预处理显著改善有机物料的化学组成，增加氨基酸等营养物质，提高菌糠的饲料化利用能力，显著改善菌糠香味和酸味得分以及乳酸含量，利于蚯蚓进食消化，从而提高堆肥效率；

2、蚯蚓粪肥施用提升土壤质量：蚯蚓堆肥氮磷钾全量元素含量增加，蚯蚓粪pH值趋于中性。施用后土壤pH值降低6%，铵态氮降低52%，可以防止养分损失，提高土壤有机碳含量5-20%、全氮含量5-16%、全磷含量5-13%、全钾含量5-19%、速效磷含量3-7%；

3、蚯蚓粪肥施用促进作物生长及养分吸收：叶菜、西红柿根长、根鲜重、根干重分别提升21%、108%和92%，叶片维生素和叶绿素分别提升26%和7%，地上部平均增产15-22%。



■ 蚯蚓堆肥

重大科技贡献

辽宁宏金龙蚯蚓养殖有限公司、辽宁省岫岩满族自治县东鹏食用菌有限公司、辽宁宏金龙生物科技有限公司商丘分公司等企业投产制备微生物发酵表面活性剂预处理蚯蚓养殖料的蚯蚓粪生物有机肥和有机无机复合专用肥，年产蚯蚓1000吨，蚯蚓粪总产能20000吨。



■ 蚯蚓粪肥产品

成果团队

张玉兰（沈阳市拔尖人才）、张颖、姜楠（沈阳市拔尖人才）、陈振华（沈阳市拔尖人才）、孙彩霞、解宏图（沈阳市拔尖人才）、盛铁雍、李忠华

土壤磷素活化技术与应用

Mobilizing Phosphorus in Soils: Technologies and Applications

成果背景

我国磷肥与磷矿的矛盾与日俱增。农业磷肥消耗量占全球总消耗量的27%，施用量高达全球平均水平的5倍；但我国磷矿资源基础储量不足世界总储量的5%，高品位磷矿资源将在40年内耗竭一空。同时，磷肥长期、大量输入导致土壤磷素水平激增，土壤中残留的磷素超过我国磷肥25年生产量总和，亟需有效的土壤磷素活化措施，通过活化土壤中积累的磷素满足农业生产中的需求，从根本上降低对磷肥的过度依赖。

研究内容

微生物及其胞外酶是土壤磷素循环的重要驱动者，对其进行合理开发利用，可提高土壤有效磷含量和肥料利用效率。本项目针对土壤磷素激增的现状，以土壤磷素活化技术与产品为核心，开展（1）集成技术方案区域适宜性：明确最优配伍、最大减施量及减施时限等关键问题、以及技术区域适宜性及其有效的实施方案，以理论与数据支撑技术，保障农业生产中磷素的持续、稳定供应；（2）集成有机物料替代技术：有机物料可为微生物、酶等提供良好的微环境，优化土壤磷素活化技术，进一步磷素提高减施增效的潜力，从保护稀缺资源和确保粮食安全角度出发，为农业生产提供更多廉价、实用的磷肥或部分替代的技术与产品，从根本上解决对磷肥的依赖问题。

重大科技贡献

- 1、理论突破-机理机制：明确秸秆粉碎、炭化、堆沤等不同还田策略对土壤磷素保持与供应能力的影响及其酶学与微生物学机制，并揭示免耕秸秆覆盖条件下，磷肥减施策略的微生物调控机制；
- 2、技术研发-建立具有磷素调节作用的菌种库，开展菌种特性研究与应用；
- 3、技术效果-稳产增效：研究发现，适宜的微生物菌剂、酶制剂等调节剂与化学肥料配施可提高土壤有效磷含量和肥料利用效率，连续2年减少磷肥施用量20%，仍保证作物高产稳产。与常规施肥相比，微生物菌剂添加可增加土壤有效磷含量8.6%，微生

物菌剂与酶制剂混合添加可增加土壤有效磷含量10.2%，酶制剂与小分子肽混合添加可增加土壤有效磷含量13.7%。此时，土壤有效磷含量最高达农田需磷量（20mg/kg）2.1倍，仍存在化学磷肥减施的潜力。



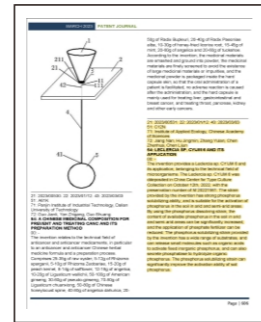
■ 田间定位试验平台：春耕→秋收→测产
(磷素减施、作物不减产)

成果产出与荣誉

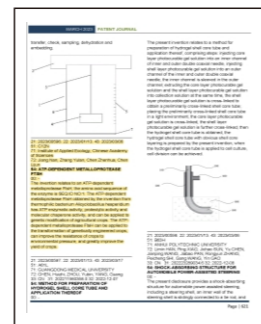
发表SCI论文6篇、授权国际专利2项、授权软著2项、提交咨询报告被辽宁省政协采纳2项、申请国家发明专利2项。

成果团队

姜楠（沈阳市拔尖人才）、张玉兰（沈阳市拔尖人才）、陈振华（沈阳市拔尖人才）、姜冬奇、陈利军（沈阳市领军人才）



■ 一株勒克氏菌CYIJM 6及其应用
(授予发明专利权通知书)



■ 一种ATP-依赖的金属蛋白酶FtsH
(授予发明专利权通知书)



■ 一株Pseudomonas sp. CYIJM 17
及其应用和菌剂
(发明专利申请受理通知书)

设施尾菜高效处理与高值应用技术

Efficient Processing and High-value Application Technology of Facilities Vegetable Straw

成果背景

尾菜（蔬菜秸秆）是设施蔬菜生产中的副产物，棚室每生产周期产量占目标产品总量的3.7-10.1%，具有产量大、持续性产生的产生特点，受棚室连续耕作制度和尾菜性状影响，常规的还田、堆肥处理措施均无法有效处理或处置费效差，尚未形成经济可行的处理模式。针对设施农业实际生产中尾菜处理的难点，分别从高效堆肥和厌氧发酵两方面开展技术研发，形成设施尾菜高效覆膜发酵技术和厌氧产酸技术工艺。对应形成设施尾菜高腐殖化堆肥产品和多元小分子有机酸发酵液。其中多元小分子有机酸发酵液富含尾菜中氮、磷、钾及微量元素矿物质的可直接还田应用，具有提高作物品质，提升产量的效果，并形成了对应的水溶肥产品达成了市场化推广应用，实现了设施尾菜的高值化应用。

研究内容

在设施尾菜高效堆肥方面，进行了覆膜条件下设施尾菜低碳氮比（C/N=14）堆肥工艺的研发，实现了在传统条垛式堆肥条件下，堆肥物料腐植酸含量达到11%，腐殖化率31%的实际生产效果。在突破实现设施尾菜高效发酵堆肥技术的同时，提高了堆肥质量，为实现尾菜的高效还田提供了技术方案。

在设施尾菜高值化应用方面，以厌氧发酵为主要技术途径，从设施尾菜高效打浆前处理，低成本碳源投入，发酵反应过程定向调控，高效发酵菌种组合筛选，不同物料组合配比几个方面开展技术研发，形成了设施尾菜规模化产酸发酵工艺。

重大科技贡献

设施尾菜的高效处理与低成本应用一直被认为相悖的两方面。本技术组合通过厌氧、好氧两种途径有效化解了高效处理与少成本投入的矛盾，提出了系统性解决设施农业有机废弃物问题的解决方案，改变了设施尾菜只能作为农业垃圾处理的传统认知，实现了设施农业领域有机废弃物的资源化利用，并形成了完备的工程化、工艺化应用模式，为设施尾菜处理后实现产品化应用提供借鉴。

成果产出与荣誉

形成授权专利2项，以尾菜发酵液为主要成本注册形成水溶肥产品2项。配套研发了设施尾菜工业化快速产酸发酵成套设备，并于寿光进行落地转化，扶持企业建立“尾菜快速产酸——土壤改良剂产品”“尾菜发酵残渣——高氮有机肥产品”的产品生产与产业化运行模式。建立了周期（5-7天）处理2-3吨（鲜重）尾菜，生产5-7吨发酵有机酸产品的中试生产线，该生产能力可实现年处理周边150-200棚（2亩/棚，300-400亩）设施尾菜的技术效果。在企业投入生产设备制造成本30-50万元，运维成本10-18万元/年（含人工）的基础上，预期实现年销售收入150-220万元。



■ 发酵产酸生产线1

■ 发酵产酸生产线2



■ 发酵产酸生产线3

成果团队

马建，陈欣



■ 尾菜田间发酵堆体



■ 尾菜覆膜发酵



■ 发酵水溶肥产品

可降解液态地膜产品及其应用技术

Degradable Liquid Film Products and Application Technologies

成果背景

辽宁省特别是辽西北地区水土流失面积大，侵蚀十分严重，严重阻碍了我省国民经济的快速发展和生态文明建设步伐。造成辽西北地区多年来水土流失一直得不到有效治理的重要症结在于该地区降水少，自然环境恶劣，植物成活率低，覆盖面积小所致。因此，尽快研制出固持水土、提高辽西北水土保持林草成活率和生长的关键技术和措施对加速治理辽西北地区的水土流失，改善辽西北地区的生态环境，尽快实现我省的生态文明、促进我省的国民经济快速发展至关重要。

研究内容

本成果针对辽西干旱半干旱地区降水量少、自然环境恶劣、植物成活率低、传统地膜覆盖“白色污染”严重等问题，主要开展可降解液态地膜产品的研发及其应用技术的创制。包括新的可降解材料筛选与制备工艺改进、产品的研发；基于新的降解液态地膜产品，构建新的应用技术模式。通过示范推广，实现对生态环境不产生污染的基础上减少地表蒸发、固实土壤、提高植物成活率，取得显著的经济、社会、生态效益。

重大科技贡献

1、以聚乙烯醇、腐植酸钠、羟甲基纤维素钠、微生物菌剂等为主要原料，研制出无环境污染、适应范围广、保水效果好的生物降解液态地膜产品及其工艺，为解决农业生产长期应用塑料地膜导致的残膜污染、水土流失严重等提供了有效技术途径；

2、研发出具有大容量承载、高压喷射、全自动稀释的液态地膜专用配套喷施设备，确保了作业效率和质量；



■ 荒坡上液态地膜喷施

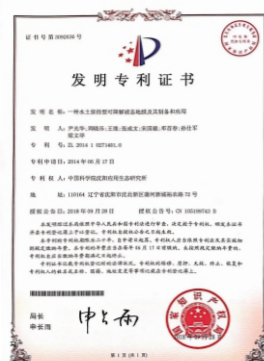
3、建立了以生物降解地膜为主体的大垄双行、精量机播、配方施肥、病虫害综合防治等高产栽培技术体系、水土保持荒坡地造林和梯田生态固埂抗蚀降解液膜综合治理技术体系，具有极好的推广和应用价值。

成果产出与荣誉

该成果获国家授权专利3项，发表论文3篇，制定企业标准1项，建立产品试制实验室1个，中试生产车间1个。获朝阳市科技进步一等奖1项，辽宁水利科技进步一等奖1项。成果在农业生产上，四年来累计示范应用面积9万余亩，增加花生和玉米产量370多万公斤，新增经济效益近1000万元；在水土保持方面，示范推广3万亩，显著降低地表径流和土壤流失量，提高了荒坡造林成活率，累计增加总产值4500万元，新增纯效益2550万元，具有较好的推广和应用价值。



■ 液态地膜现场喷施



■ 一种水土保持型可降解液态地膜及其制备和应用
(发明专利)



■ 可降解液态地膜产品

成果团队

尹光华、谷健、马宁宁

浅埋滴灌绿色节水技术

Green Water-saving Technology for Shallow Buried Drip Irrigation

成果背景

粮食安全始终是关系我国国民经济发展、社会稳定和国家自立的全局性重大战略问题。玉米是我国最重要的粮食、饲料和经济作物之一，辽宁省西部半干旱地区（简称辽西地区）是辽宁省玉米优势主产区，采用高效的新型节水灌溉方式是解决该地区玉米生产中存在的降雨少且分布不均、水肥资源利用率低等限制因素的一个重要途径。目前，辽宁省农田节水灌溉技术以引进新疆的膜下和地表滴灌技术为主。膜下滴灌具有“残膜污染”的严重环境问题，地表滴灌存在“蒸发较大、铺设困难”等管理难题，不利于大面积推广。因此，迫切需要研发一种新的节水灌溉技术，来满足当前农业生产需求。

研究内容

本成果在吸取传统滴灌技术优点的基础上，以“绿色高效节水”为中心，结合“节水增效机理”和“浅埋滴灌关键技术突破”思路开展玉米浅埋滴灌关键技术和绿色高效节水技术模式的攻关和创新，在探明浅埋滴灌绿色高效节水增效机理的基础上，重点突破浅埋滴灌田间应用设备和灌溉施肥优化制度等技术难点，构建绿色高效节水技术模式，并进行大面积推广应用，实现绿色高效生产，取得了显著的经济、生态、社会效益。

重大科技贡献

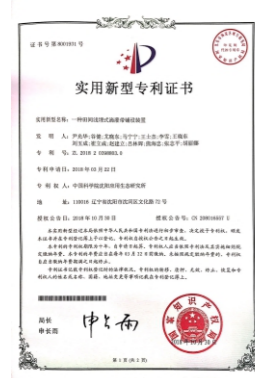
1、研发了浅埋滴灌技术，明确了技术的定义和内涵，并从土壤水分运动、抑蒸效应、供水方式、作物生长、光合、产量效应等角度揭示了节水增效机理，为浅埋滴灌技术研发和模式构建提供了科学依据；

2、突破了不同降雨年型条件下的浅埋滴灌灌溉施肥、田间优化管理等关键技术，创造性地研制出浅埋滴灌铺设机具、灌溉施肥装置等关键设备，提出了适宜的滴灌带、过滤器和施肥器等应用设备，改进了传统的多功能一体化播种机，制定了玉米浅埋滴灌高效节水栽培技术规程，保障了浅埋滴灌田间大面积推广应用；

3、根据辽宁西部地区的生态特点，首次构建了浅埋滴灌绿色节水增效技术模式，实现了浅埋滴灌与农机农艺技术的有机结合和配套，提高了产量和效益。

成果产出与荣誉

本成果在辽宁省西部地区大面积应用，2017-2019年累计推广93.8万亩，累计增产玉米19.7万吨，增收8433.8万元。于2020年8月11日在辽宁日报进行了宣传报道，获授权专利3件，制定辽宁省地方标准1项，发表论文6篇（其中SCI收录3篇）；获辽宁省科技进步一等奖1项、三等奖1项，辽宁农业科技贡献二等奖1项。



一种田间浅埋式滴灌带铺设装置



一种浅掩式滴灌装置



浅埋滴灌田间铺设



浅埋滴灌田间照片

成果团队

尹光华、谷健、马宁宁

氮沉降和降水增加对草地生态系统养分循环、群落结构与功能的影响研究

Impacts of Nitrogen Deposition and Precipitation Increment on Ecosystem Biogeochemistry, Community Structure and Function in a Typical Grassland

成果背景

工业革命以来，由于化石燃料燃烧、土地开垦、尿素大量施用等，导致大气氮沉降增加、降水格局改变、全球变暖等一系列全球变化问题，严重影响生态系统过程及服务功能。中国北方草地生态系统同样遭受着过度放牧、氮沉降加剧以及频发的极端气候事件，氮素、磷素以及水分成为半干旱草地生产力的重要限制因子。为此，我们团队依托2005年于内蒙古多伦县建立的模拟氮沉降和模拟降水增加的长期定位实验平台，系统开展了氮添加与增水对退化草地土壤-植物养分循环以及生态系统结构和功能影响研究，旨在预测草地生态系统对全球变化与人类干扰的响应，为资源调控下退化草地生态系统恢复与重建提供理论参考。

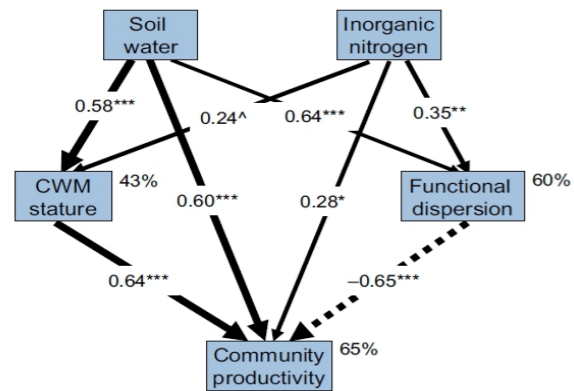
研究内容

- 1、探究氮、水添加对土壤酸化特征、酸缓冲容量和盐基离子的影响；
- 2、研究氮、水对植被群落结构与功能的影响，包括植被盖度、物种丰度、密度、群落组成和生产力，功能群相对变化等；
- 3、探究氮、水添加对土壤微生物群落结构和功能的影响及其与地上植被的关联。

重大科技贡献

- 1、发现加氮降低天然草地表土层的酸缓冲容量，使草地栗钙土由碳酸钙缓冲体系逐渐转变为阳离子交换缓冲体系，表土层无机碳耗竭；增水缓解氮添加导致的土壤酸缓冲容量降低，对氮沉降的酸化效应存在调节作用；
- 2、氮添加降低植物多样性和群落稳定性，提高群落生产力；水分的添加改善了群落的结构和功能，使群落的物种丰富度、密度、植被盖度和生产力显著提高。同时，添加水分也提高了群落的稳定性，对于加快内蒙古退化草地的恢复具有明显的作用；
- 3、土壤微生物多样性与地上植物多样性在氮沉降胁迫下呈正相关关系，降水增加

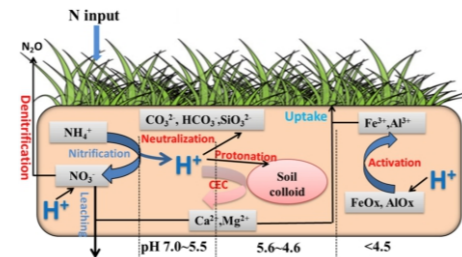
使地上-地下生物多样性关联解耦；氮添加增加土壤微生物群落中富营养菌相对丰度；土壤微生物群落代谢活性受地上生物量输入到土壤中的资源差异的调控。



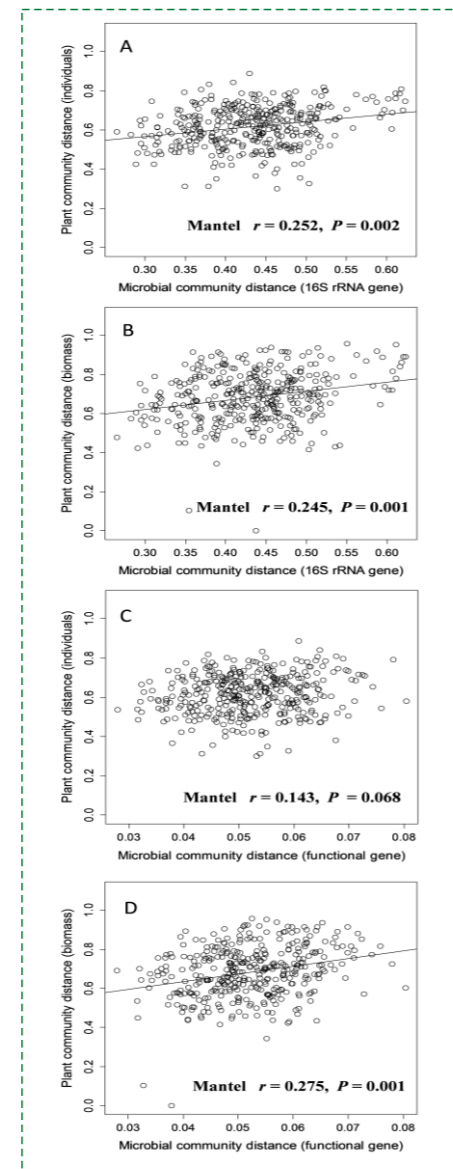
■ 氮、水添加对草地群落的影响受到功能性多样性的调节

成果产出与荣誉

1. Wang RZ#, Liu HY#, Sardans J, Feng X, Xu ZW, Peñuelas J. 2020. Interacting effects of urea and water addition on soil mineral-bound phosphorus dynamics in semi-arid grasslands with different land use history. *European Journal of Soil Science*
2. Wang ZR#, Yang S#, Wang RZ, Xu ZW, Feng K, Feng X, Li TP, Liu HY, Ma RA, Li H*, Jiang Y. 2020. Compositional and functional responses of soil microbial communities to long-term nitrogen and phosphorus addition in a calcareous grassland. *Pedobiologia*, 78: 150612
3. Li TP#, Liu HY#, Wang RZ*, Lü XT, Yang JJ, Zhang YH, He P, Wang ZR, Han XG, Jiang Y*. 2019. Frequency and intensity of nitrogen addition alter soil inorganic sulfur fractions but the effects vary with mowing management in a temperate steppe. *Biogeosciences*, 16(14): 2891-2904



■ 氮沉降导致土壤缓冲体系的转变



■ 氮水添加对植物-微生物多样性关联的影响

4. Wang RZ, Dijkstra FA, Liu HY, Yin JF, Wang X, Feng X, Xu ZW, Jiang Y*. 2019. Response of soil carbon to nitrogen and water addition differs between labile and recalcitrant fractions: evidence from multi-year data and different soil depths in a semi-arid steppe. *Catena*, 172: 857-865

5. Xu ZW, Li MH, Zimmermann N, Li SP, Li H, Ren HY, Sun H, Han XG, Jiang Y*, Jiang L*. 2018. Plant functional diversity modulates global environmental change effects on grassland productivity. *Journal of Ecology*, 106: 1941-1951

6. Wang RZ, Zhang YH, He P, Yin JF, Yang JJ, Liu HY, Cai JP, Shi Z, Feng X, Dijkstra FA, Han XG, Jiang Y*. 2018. Intensity and frequency of nitrogen addition alter soil chemical properties depending on mowing management in a temperate steppe. *Journal of Environmental Management*, 224: 77-86

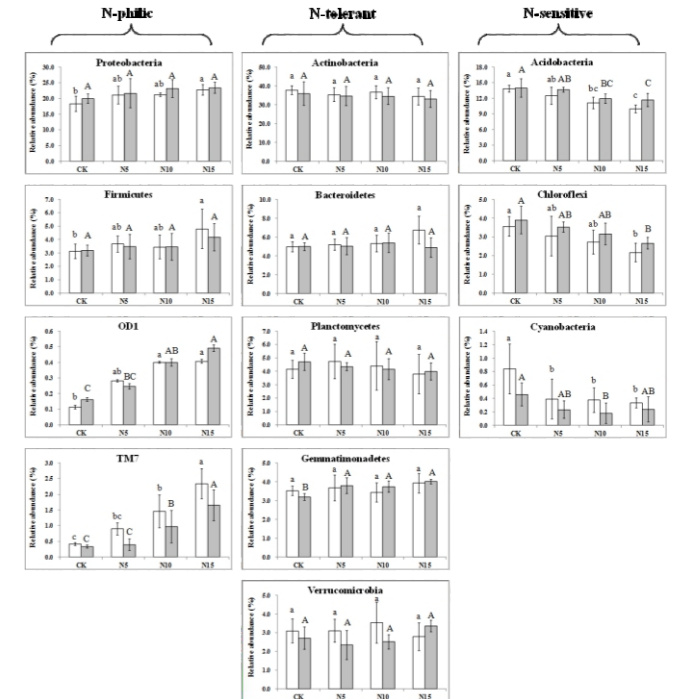
7. Li H, Xu ZW, Yan QY, Yang S, Van Nostrand J, Wang ZR, Zhou JZ, Jiang Y*, Deng Y*. 2018. Soil microbial beta-diversity is linked with compositional variation in aboveground plant biomass in a semi-arid grassland. *Plant and Soil*, 423: 465-480

8. Li H, Yang S, Xu ZW, Yang QY, Li XB, van Nostrand JD, He ZL, Yao F, Han XG, Zhou JZ, Deng Y*, Jiang Y*. 2017. Responses of soil microbial functional genes to global changes are indirectly influenced by aboveground plant biomass variation. *Soil Biology & Biochemistry*, 104: 18-29

9. Wang RZ, Dorodnikov M, Dijkstra F, Yang S, Xu ZW, Li H, Jiang Y*. 2017. Sensitivities to nitrogen and water addition among microbial groups within soil aggregates in a semi-arid grassland. *Biology and Fertility of Soils*, 53: 129-140

10. Wang X#, Xu ZW#, Lü XT, Wang RZ, Cai JP, Yang S, Li M-H*, Jiang Y*. 2017. Responses of litter decomposition and nutrient release rate to water and nitrogen addition differed among three plant species dominated in a semi-arid grassland. *Plant and Soil*, 418: 241-253

11. Xu ZW, Ren HY, Li MH, Brunner I, Yin JF, Liu HY, Kong DL, Lü XT, Sun T, Cai JP, Wang RZ, Zhang YY, He P, Han XG, Wan SQ, Jiang Y*. 2017. Experimentally increased water and nitrogen affect root production and vertical allocation of an old-field grassland. *Plant and Soil*, 412: 369-380



■ 土壤细菌优势类群对氮水添加的响应

12. Wang RZ, Dungait JAJ, Buss HL, Yang S, Zhang YG, Xu ZW, Jiang Y*. 2017. Base cations and micronutrients in soil aggregates as affected by enhanced nitrogen and water inputs in a semi-arid steppe grassland. *Science of the Total Environment*, 575:564-572

13. Wang X, Xu ZW, Yan CF, Luo WT, Wang RZ, Han XG, Li MH, Jiang Y*. 2017. Responses and sensitivity of N, P and mobile carbonhydrates of dominant species to increased water, N and P availability in semi-arid grasslands in northern China. *Journal of Plant Ecology*, 10: 486-496

14. Cai JP, Luo WT, Liu HY, Feng X, Zhang YY, Wang RZ, Xu ZW, Zhang YG, Jiang Y*. 2017. Precipitation-mediated responses of soil acid buffering capacity to long-term nitrogen addition in a semi-arid grassland. *Atmospheric Environment*, 170: 312-318

15. Cai JP, Weiner J, Wang RZ, Luo WT, Zhang YY, Liu HY, Xu ZW, Li H, Zhang YG, Jiang Y*. 2017. Effects of nitrogen and water addition on trace element stoichiometry in five grassland species. *Journal of Plant Research*, 130: 659-668

16. Yang S, Xu ZW, Wang RZ, Zhang YY, Yao F, Zhang YG, Turco RF, Jiang Y, Zou HT, Li H*. 2017. Variations in soil microbial community composition and enzymatic activities in response to increased N deposition and precipitation in Inner Mongolian grassland. *Applied Soil Ecology*, 119: 275-285

17. Ren HY#, Xu ZW#, Isbell F, Huang JH, Han XG, Wan SQ, Chen SP, Wang RZ, Zeng DH, Jiang Y, Fang YT*. 2017. Exacerbated nitrogen limitation ends transient stimulation of grassland productivity by increased precipitation. *Ecological Monographs*, 87:457-469

18. Wang RZ, Creamer CA, Wang X, He P, Xu ZW, Jiang Y*. 2016. The effects of a 9-year nitrogen and water addition on soil aggregate phosphorus and sulfur availability in a semi-arid grassland. *Ecological Indicators*, 61: 806-814

19. Li H, Xu ZW, Yang S, Li XB, Top E, Wang RZ, Zhang YG, Cai JP, Yao F, Han XG, Jiang Y*. 2016. Responses of soil bacterial communities to nitrogen deposition and precipitation increment are closely linked with aboveground community variation. *Microbial Ecology*, 71(4) :974-989

20. Xu ZW†, Ren HY†, Li MH, van Ruijven J, Han XG, Wan SQ, Li H, Yu Q, Jiang Y*, Jiang L*. 2015. Environmental changes drive the temporal stability of semi-arid natural grasslands through altering species asynchrony. *Journal of Ecology*, 103:1308-1316.

21. Wang RZ, Dorodnikov M, Yang S, Zhang YY, Filley TR, Turco RF, Zhang YG, Xu ZW, Li H, Jiang Y*. 2015. Responses of enzymatic activities within soil aggregates to 9-year nitrogen and water addition in a semi-arid grassland. *Soil Biology & Biochemistry*, 81: 157-169.

22. Xu ZW†, Ren HY†, Cai JP, Wang RZ, He P, Li MH, Lewis BJ, Han XG, Jiang Y*. 2015. Antithetical effects of nitrogen and water availability on community similarity of semiarid grasslands: Evidence from a nine-year manipulation experiment. *Plant and Soil*, 397: 357-369

23. Wang RZ, Dungait JAJ, Creamer CA, Cai JP, Li B, Xu ZW, Zhang YG, Ma YN, Jiang Y*. 2015. Carbon and nitrogen dynamics in soil aggregates under long-term N and water addition in a temperate steppe. *Soil Science Society of America Journal*, 79: 527-535

24. Ren HY†, Xu ZW†, Huang JH, LüXT, Zeng DH, Yuan ZY, Han XG, Fang YT*. Increased precipitation induces a positive plant-soil feedback in a dryland. *Plant and Soil*, 389:211-223

25. Xu ZW*, Ren HY, Cai JP, Wang RZ, Li MH, Han XG*, Lewis BJ, Jiang Y*. 2014. Effects of experimentally enhanced precipitation and nitrogen on resistance, recovery and resilience of plant cover in a semi-arid grassland following a natural drought. *Oecologia*, 176: 1187-1197.

26. Wang RZ, Filley TR, Xu ZW, Wang X, Li MH, Zhang YG, Luo WT, Jiang Y*. 2014. Coupled response of soil carbon and nitrogen pools and enzyme activities to nitrogen and water addition in a semiarid grassland of Inner Mongolia. *Plant and Soil*, 381(1): 323-336.

27. Ren HY§, Xu ZW§, Zhang WH, Jiang L, Huang JH*, Chen SP, Wang LX, Han XG. 2013. Linking ethylene to nitrogen-dependent leaf longevity of grass species in a temperate steppe. *Annals of Botany*, 112: 1879-1885 (IF: 3.449, Co-first author)

28. 张玉革, 刘月秀, 杨山, 马锐骛, 吴辉, 孟亚妮, 李慧. 2021. 模拟氮沉降和降水增加对弃耕草地土壤微生物学特性的影响. *沈阳大学学报(自然科学版)*, 2021, 33(1): 10-19.

29. 王志瑞, 杨山, 马锐骛, 王汝振, 冯雪, 李慧*, 姜勇. 2019. 内蒙古草甸草原土壤理化性质和微生物学特性对刈割与氮添加的响应. *应用生态学报*, 30(9):3010-3018.

30. 姜勇*, 徐柱文, 王汝振, 李慧, 张玉革. 2019. 半干旱草地长期施肥和增水对某些土壤性质和植物功能性状的影响. *应用生态学报*, 30(07): 2470-2480.

31. 曹彦卓, 王汝振*, 张玉革, 李慧, 吕晓涛, 姜勇. 2019. 氮沉降对草地土壤及团聚体元素有效性的影响. *生态学杂志*, 38(08): 2531-2539.

32. 杨山, 李小彬, 王汝振, 蔡江平, 徐柱文, 张玉革, 李慧*, 姜勇. 2015. 氨水添加对中国北方草原土壤细菌多样性和群落结构的影响. *应用生态学报*, 26(3): 739-746.

成果团队

姜勇、徐柱文、李慧、王汝振（优青）、杨山、蔡江平、刘贺永、李天鹏、冯雪、王志瑞



■ 团队工作照片

温带森林土壤微生物群落组成及其与土壤有机碳矿化温度敏感性的关系

Soil Microbiota in Temperate Forests and Their Relevance to the Temperature Sensitivity of Soil Organic Carbon Mineralization

成果背景

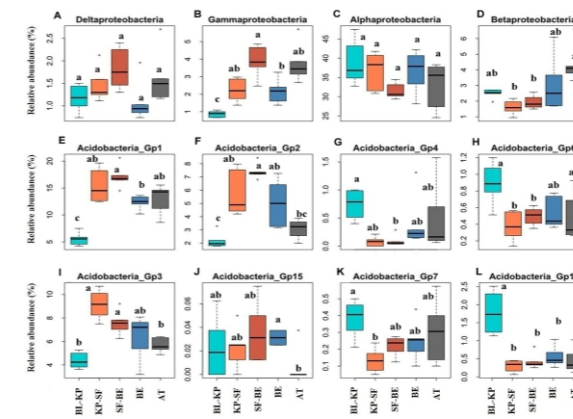
由于学科交叉和研究手段的限制，对森林土壤微生物的深入研究在我国开展较晚。温带森林中存在哪些土壤微生物，其功能是什么及其与地上植被的关系都尚未可知。此外，温带森林蕴藏着巨大的土壤有机碳(SOC)库，在未来气候变暖背景下，其微弱变化都会对全球碳平衡造成重大影响。土壤微生物在SOC分解过程中扮演重要角色，但土壤微生物群落结构和功能能够在多大程度上影响SOC矿化对增温的响应(温度敏感性)及其潜在作用机制尚不明确。了解温带森林土壤微生物群落组成及其生态功能对于丰富温带森林土壤微生物资源的认识和解析微生物驱动的“碳-温度”反馈关系具有重要意义。

研究内容

- 1、长白山不同植被类型下土壤微生物群落组成和多样性及其驱动因素。通过高通量测序手段分析长白山不同植被类型下土壤微生物多样性和群落结构组成，并分析土壤理化因子、植被、气候等因素的驱动作用；
- 2、温带森林地上-地下生物多样性关联。通过样方调查获得东北地带性植被阔叶红松林和主要次生林型杨桦林植被多样性和群落组成，通过扩增子高通量测序获得土壤微生物多样性和群落组成；分析地上-地下alpha-多样性和beta-多样性生态关联及其在不同演替阶段的差异；
- 3、温带森林土壤有机碳矿化温度敏感性及其微生物驱动机制。以分布在东北地区的阔叶红松林为研究对象，通过纬度梯度样带采样和不同季节采样，采用短期培养法和长期培养法估测温带森林土壤有机碳矿化温度敏感性，同时分析土壤理化、凋落物性质、土壤酶活性、土壤微生物群落组成和功能基因丰度；厘清有机碳矿化温度敏感性的多因素驱动机制及其时空动态变化。

重大科技贡献

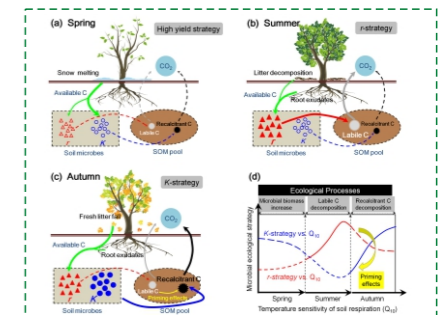
- 1、首提用微生物类群营养生态位理论解释不同林型下土壤微生物组成。针叶林为相对的寡营养生境，土壤细菌 α -多样性低，以酸杆菌为代表的寡营养微生物相对丰度较高；针阔混交林为相对富营养生境， α -多样性比针叶林高，以变形菌为代表的富营养微生物相对丰度较高；
- 2、阔叶红松林地上-地下生物群落多样性并不总是存在正相关关系，取决于不同演替阶段地上植被和土壤微生物的养分互馈竞争关系；
- 3、首次尝试整合微生物遗传信息来解释有机碳矿化温度敏感性与土壤微生物之间的复杂关系，并将有机碳分解温度敏感性与微生物生态策略联系起来。在南部温度较高地区，微生物K-策略特性占主导，惰性碳组分矿化对增温更加敏感，北部温度较低地区活性碳组分矿化对增温更加敏感。春季，微生物采取高生长策略，与土壤呼吸及其温度敏感性关系不显著；夏季，微生物采取r-策略，活性碳组分对呼吸贡献较大；秋季，微生物采取K-策略，惰性碳组分对呼吸贡献较大。



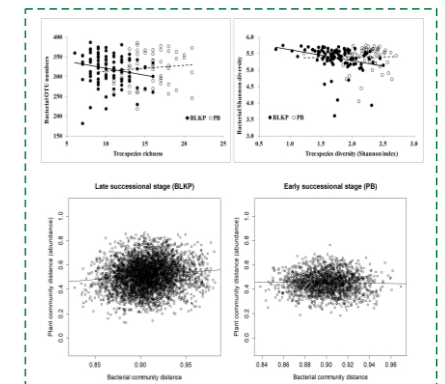
■ 长白山不同林型下土壤微生物类群分布



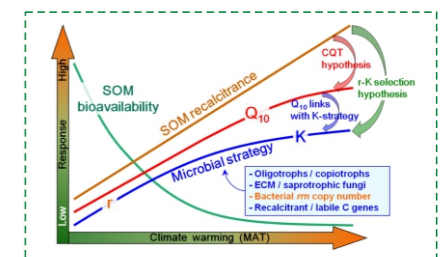
■ 森林采样工作照片



■ 土壤微生物策略与土壤有机碳矿化的关系及其季节动态



■ 温带森林地上-地下生物多样性关系



■ 温带森林土壤有机碳矿化温度敏感性的微生物驱动机制

成果产出与荣誉

1. Yang S, Wu H, Wang ZR, Semenov M, Ye J, Yin LM, Wang XG, Kravchenko I, Semenov V, Kuzyakov Y, Jiang Y, Li H*. 2022. Linkages between temperature sensitivity of soil respiration and microbial ecological strategy are dependent on sampling season. *Soil Biology & Biochemistry*, 172, 108758
2. Li H#, Yang S#, Semenov M, Yao F, Ye J, Bu RC, Ma RA, Lin JJ, Kurganova I, Wang XG, Deng Y, Kravchenko I, Jiang Y*, Kuzyakov Y. 2021. Temperature sensitivity of SOM decomposition is linked with a K-selected microbial community. *Global Change Biology*, 27: 2763–2779.
3. Yang S, Yao F, Ye J, Fang S, Wang ZR, Wang RZ, Zhang QL, Ma RO, Wang XG, Jiang Y, Dorodnikov M, Li H*, Zou HT*. 2019. Latitudinal pattern of soil lignin/cellulose content and the activity of their degrading enzymes across a temperate forest ecosystem. *Ecological Indicators*, 102: 557-568
4. Yao F, Yang S, Wang ZR, Wang X, Ye J, Wang XG, DeBruyn JM, Feng X, Jiang Y, Li H*. 2017. Microbial taxa distribution is associated with ecological trophic cascades along an elevation gradient. *Frontiers in Microbiology*, 8: 2071
5. Li H, Wang XG, Liang C, Hao ZQ, Zhou LS, Ma S, Li XB, Yang S, Yao F, Jiang Y*. 2015. Aboveground-belowground biodiversity linkages differ in early and late successional temperate forests. *Scientific Reports*, 5: no. 12234
6. Li H, Ye DD, Wang XG, Settles M, Wang J, Hao ZQ, Zhou LS, Dong P, Jiang Y, Ma ZS*. 2014. Bacterial communities in soils under different types of natural forest in Northeast China. *Plant and Soil*, 383: 203-216
7. Wang XG*, Li H, Bezemer TM, Hao ZQ. 2016. Drivers of bacterial beta diversity in two temperate forests. *Ecological Research*, 31: 57-64

成果团队

李慧、王绪高（优青）、杨山、叶吉、王志瑞、吴辉

石油污染土壤中的微生物及其广宿主可移动基因原件

Soil Microorganisms and Mobile Genetic Elements in Petroleum Contaminated Soils

成果背景

我国石油工业发展迅速，但也随之带来严重的环境污染问题，有近千万亩的耕地受到不同程度的石油烃污染，其中原油开采和冶炼过程中的工业污水排放和溢油泄漏事故是导致土壤石油烃污染的主要原因，不仅破坏了生态环境，还可通过食物链的生物富集作用而直接危害人类健康。土壤微生物在石油烃降解过程中发挥着非常重要的作用，采用生物修复法降解石油烃污染物，具有操作简单、无二次污染和成本低廉的优点。因此，了解土壤中参与石油烃污染物降解的主要微生物类群，并研发切实可行的生物修复技术，恢复污染土壤生态功能以保障农产品安全是一项十分迫切的任务。

研究内容

- 1、以沈抚污灌区为例，分析从灌渠上游至下游主要微生物群落结构组成，了解不同污染程度石油烃污染土壤中存在哪些微生物；
- 2、采用实验室长期培养实验，分析多环芳烃胁迫下，土壤中发挥作用的主要微生物类群及其降解多环芳烃能力评价；
- 3、在污染土壤中，由广宿主质粒介导的细菌之间的基因交流在加速污染物代谢和菌群适应污染环境的过程中发挥着非常重要的作用。从污染土壤中分离广宿主质粒并进行组学分析，为石油污染土壤生物修复提供新的思路 and 材料。

重大科技贡献

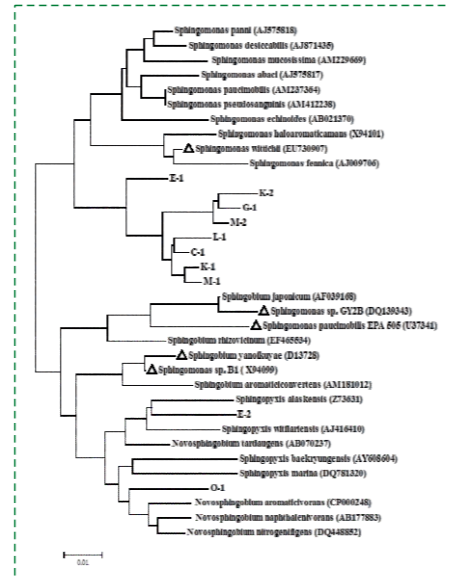
- 1、调查了沈抚灌渠不同程度污染土壤微生物群落结构组成和多样性，发现土壤微生物群落多样性与总石油烃含量相关。实验室培养实验发现，在多环芳烃胁迫下，鞘氨醇单胞菌（*Sphingomonas*）是参与多环芳烃分解的主要种属；



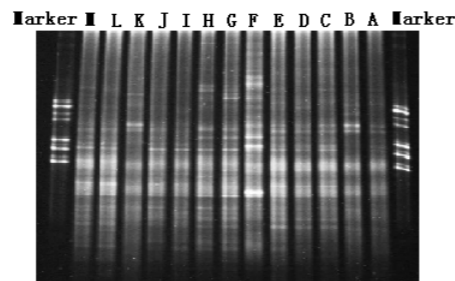
■ 鞘氨醇单胞菌特异性引物设计

2、自行设计了鞘氨醇单胞菌属特异性引物，并分析了沈抚灌渠石油污染土壤中该种属的群落组成和多样性，发现鞘氨醇单胞菌多样性与多环芳烃相对比例呈正相关，且污灌区存在很多特有的鞘氨醇单胞菌；采用“属特异性引物-PCR结合链霉素抗性平板”法特异性分离鞘氨醇单胞菌，并筛选到高效萘降解菌和芴降解菌；

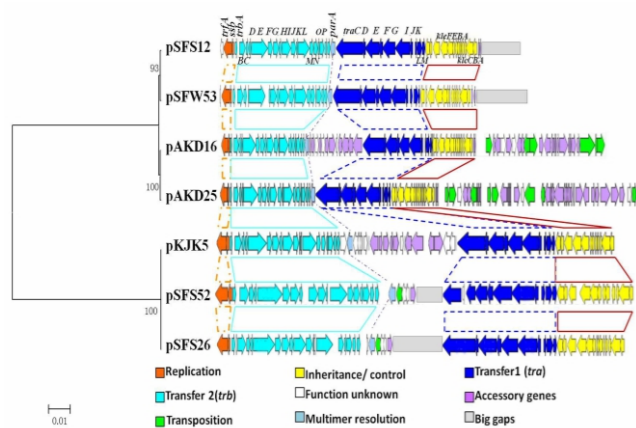
3、采用“三亲配法”从沈抚灌区石油污染土壤中分离到6个广宿主可自转质粒，并进行了全基因组序列分析，其中1个质粒属于PromA家族，是PromA质粒家族的第6个成员，也是从中国发现的第一个PromA质粒；4个质粒属于IncP-1ε不相容群，通过比较基因组学，将IncP-1ε不相容群分为ε-I和ε-II两个分支。发现抗生素抗性基因和污染物代谢基因各自有喜好的插入位点，ε-I分支成员的装配单元插入的热点区域为parA基因位点附近，而ε-II质粒的装配基因通常插入在trfA基因位点附近。



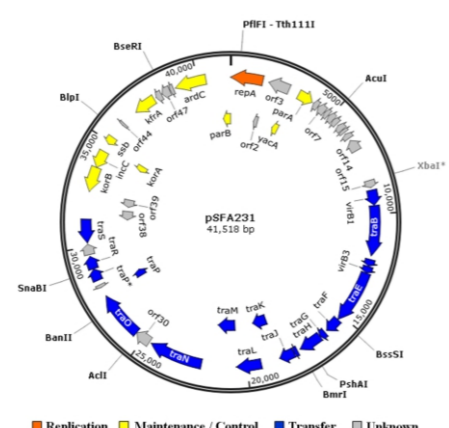
■ 芳香烃降解鞘氨醇单胞菌遗传发育分析



■ 沈抚灌渠石油污染土壤微生物群落结构DGGE分析



■ 石油污染土壤中分离到的广宿主 IncP-1ε质粒比较基因组分析



■ 石油污染土壤中分离到的广宿主PromA质粒全基因组分析

成果产出与荣誉

发表论文：

1. Li XB, Wang YF, Brown C, Yao F, Jiang Y, Top E, Li H*. 2016. Diversification of broad host range plasmids correlates with the presence of antibiotic resistance genes. *FEMS Microbiology Ecology*, 92(1): fiv151
2. Li XB, Top EM, Wang YF, Brown C, Yao F, Yang S, Jiang Y Li H*. 2015. The broad-host-range plasmid pSFA231 isolated from petroleum-contaminated sediment represents a new member of the PromA family. *Frontiers in Microbiology*, 5: 777
3. Zhou LS, Li H*, Zhang Y, Han SQ, Xu H. 2016. Sphingomonas from petroleum-contaminated soils in Shenfu, China and their PAHs degradation abilities. *Brazilian Journal of Microbiology*, 47:271-278
4. Zhou LS, Li H*, Zhang Y, Han SQ, Xu H. 2014. Development of genus-specific primers for better understanding the diversity and population structure of Sphingomonas in soils. *Journal of Basic Microbiology*, 54(8): 880-888
5. Zhou LS, Li H*, Zhang Y, Wang YF, Han SQ, Xu H. 2012. Abundance and diversity of Sphingomonas in Shenfu petroleum-wastewater irrigation zone, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 19: 282-294
6. Li H, Zhang Y, Li DS, Xu H, Chen GX, Zhang CG. 2009. Comparisons of different hypervariable regions of rrs genes for fingerprinting of microbial communities in paddy soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 41: 954-968
7. Li H, Zhang Y, Kravchenko I, Xu H, Zhang CG. 2007. Dynamic changes in microbial activity and community structure during biodegradation of petroleum compounds: A laboratory experiment. *Journal of Environmental Sciences*, 19(8): 1003-1013
8. Li H, Zhang Y, Zhang CG, Chen GX. 2005. Effect of petroleum-containing wastewater irrigation on bacterial diversities and enzymatic activities in paddy soil irrigation area. *Journal of Environmental Quality*, 34(3): 1073~1080
9. 王亚菲, 李慧*, 李小彬. 2013. 沈抚灌区广宿主石油烃代谢质粒的分离和鉴定. *应用生态学报*, 24(11): 3289-3299
10. 李慧, 周丽莎, 王亚菲, Eva M. Top, 张颖, 徐慧. 2011. 携带污染物降解基因的可移动基因元件及其介导的生物修复. *应用生态学报*, 22(2): 526-536
11. 周丽莎, 李慧*, 张颖, 王亚菲, 徐慧. 2011. 石油污染土壤鞘氨醇单胞菌遗传多样性16S rDNA-PCR-DGGE分析. *土壤学报*, 48(4): 804-812
12. 何晶晶, 李慧*, 张颖, 王纯利. 2008. 沈抚灌区石油污染土壤微生物多样性的研究. *新疆农业大学学报*, 31(4): 33-37
13. 李慧, 陈冠雄, 张颖, 徐慧, 张成刚. 2007. 高效石油烃降解菌的分离鉴定及

降解特性初步考察. 哈尔滨工业大学学报, 39(10): 1664-1669

14. 李慧, 张颖, 苏振成, 张成刚, 陈冠雄. 2006. 沈抚石油污水灌区稻田土壤细菌遗传多样性16S rDNA-PCR-DGGE分析. 土壤学报, 43(6): 972-980

15. 李慧, 陈冠雄, 杨涛, 张成刚. 2005. 沈抚灌区含油污水灌溉对稻田土壤微生物种群及土壤酶活性的影响. 应用生态学报, 16(7): 1355-1359

发明专利:

1. 发明人: 李慧, 李小彬, 王亚菲, 张玉革, 杨山, 姜勇. 发明专利名称: 一种对石油污染土壤进行生物修复的方法. 专利号: ZL 201310738330.6 受理日期: 2013年12月27日 授权日期: 2017年4月19日 B09C1/10; C12N1/21;

2. 发明人: 李慧, 王亚菲, 张颖, 徐慧, 韩斯琴, 史荣久, 杨伟超, 陈冠雄. 发明专利名称: 一种利用三亲配对接合并以石油烃为唯一碳源筛选携带石油烃降解基因的可自转移广宿主质粒的方法. 专利号: ZL 201110439161.7 受理日期: 2011年12月23日 授权日期: 2016年3月23日 C12N15/10

3. 发明人: 李慧, 张颖, 徐慧, 张忠泽, 韩斯琴, 史荣久, 倪志龙, 杨伟超, 陈冠雄. 发明专利名称: 快速高通量筛选多环芳烃降解菌的改进固体双层平板法. 专利号: ZL 200810010561.4 受理日期: 2008年3月7日 授权日期: 2013年3月20日

成果团队

李慧、张颖、周丽沙、李小彬、王亚菲、杨伟超、徐慧、史荣久、韩斯琴、陈冠雄、张成刚

基于果蝇突变体构建的微生物功能快速筛选平台

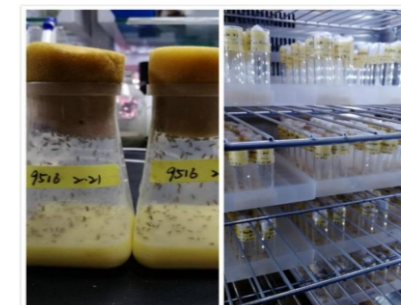
Drosophila Mutants Based Rapid Screening Platform for Microbial Function

成果背景

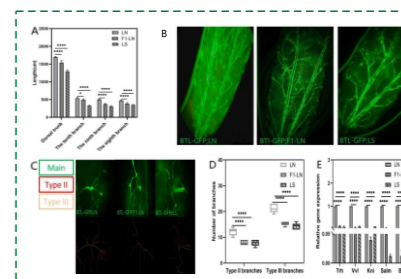
益生菌是后抗生素时代维持肠道健康的有力保障。其功能不囿于已知的调节肠道内菌群平衡，促进营养吸收保持肠道健康等。某些益生菌株在炎症，精神，肿瘤，内分泌疾病等领域的辅助治疗过程中有重要意义。益生菌的功能并不以物种分类水平得以区分，同一物种的不同菌株可能存在巨大的功能差异，“益生菌的功能要一株一株的做”成为业界共识。目前，具有临床价值的“功能型益生菌株”专利均由国外企业把持，市场空间巨大，利润可观。在数目巨大的益生菌库中快速挖掘益生菌功能，开发高利润的治疗型益生菌产品成为从业者追逐的产品开发热点。传统的药物筛选模型（如啮齿类动物模型）繁殖周期长，饲养难度大，很难对候选菌株进行快速高通量筛选。因此，具备快速繁殖，短生命周期，明确的基因组和肠道微生物组结构，具备病理模拟能力的快速筛选平台成为业界刚需。

研究内容

利用CRISPR/Cas9实现果蝇的基因敲入，构建具有全身炎症（肠道炎症）、胰岛素低耐受性（二型糖尿病）等特征的果蝇突变体，通过杂交技术形成具有稳定疾病表型的果蝇筛选模型。同时，课题组对上述模型的效度、信度及本底生理特征进行筛查，以确定其适用于与上述疾病相关的治疗型益生菌筛选。同时，课题组通过粪菌回接技术，建立了一套以无菌野生型果蝇为样本，构建具有人源化肠道微生态结构的果蝇模型技术。目前，该技术正在纳入更多具有疾病特征的人类肠道微生物群落（如糖尿病、肿瘤等），彻底实现果蝇肠道菌群对人类患者肠道微生物菌群的精准模拟，用于益生菌的定殖、与肠道微生态系统互作等领域的研究。



用于模拟二型糖尿病患者低胰岛素耐受性特征的InR^{E119}/TM2果蝇突变体库



慢性阻塞性肺炎果蝇模型，用于筛选治疗严重感染的药物和候选益生菌株系，并验证其干预效果（与中国医科大学盛京医院呼吸科合作）

重大科技贡献

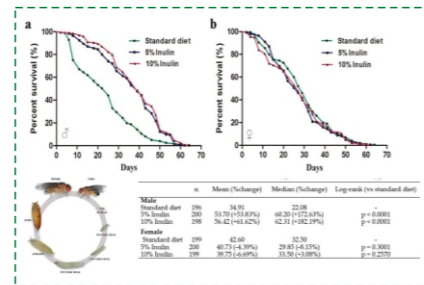
业界首次以具有稳定疾病表性的突变体果蝇为生物学模型，实现了疾病背景下益生菌候选菌株的快速筛选，发表SCI收录论文3篇。目前已可以实现适用于二型糖尿病，炎症肠病，帕金森等疾病的治疗型菌株的筛选。该技术获得业内企业的高度认可，并实现落地转化。获得具有明确降低血糖，提高葡萄糖转运效率的功能型乳酸菌2株。建立了快速稳定的果蝇肠道微生物群落移植方法，获得了具有稳定的人类肠道微生态系统特征的野生黑腹果蝇品系一个。

成果产出与荣誉

- Ji, D.; Sun, H.; Yang, W.; et.al. Transfer of Human Microbiome to Drosophila Gut Model. *Microorganisms*2022,10,553.
<https://doi.org/10.3390/microorganisms10030553>
- Ma, S.; Sun, H.; Yang, W.; et.al. Impact of Probiotic Combination in InR^[E19]/TM2 Drosophila melanogaster on Longevity, Related Gene Expression, and Intestinal Microbiota: A Preliminary Study. *Microorganisms* 2020, 8, 1027.
<https://doi.org/10.3390/microorganisms8071027>
- Dong, Y.; Sun, H.; Yang, W.; et.al.. The Effect of Inulin on Lifespan, Related Gene Expression and Gut Microbiota in InR^{p545}/TM3 Mutant Drosophila melanogaster: A Preliminary Study. *Nutrients* 2019, 11, 636.
<https://doi.org/10.3390/nu11030636>
- 杜蓓蓓,孙浩,杨伟超,等. 采用RAPD-PCR技术评估果蝇肠道噬菌体多样性[J]. *生态学杂志*,2019,38(11):3560-3566. DOI:10.13292/j.1000-4890.201911.005.
- 一种植物乳杆菌及其应用 202110852185.9
- 一种具有降血糖作用的益生菌和益生元组合物及其应用 202110852193.3
- 《益生菌高通量功能筛选模型的设计及炎症肠病微生态制剂研发》项目乙方：山东中科嘉亿生物工程有限公司，编号：2019210101000356，主持：孙浩

成果团队

孙浩、杨伟超、高明夫、孔双、吕晓欢、徐慧



InR^[E19]/TM2果蝇突变体对益生元菊粉的降血糖效果进行全寿命期评估



2020年课题组与国内益生菌原料药产能第三的中科嘉亿生物技术有限公司签订技术合作协议

不同施肥制度长期定位观测

Long-term Trail of Different Fertilization Systems

成果背景

我国农业发展过程中施肥制度大抵可归纳为原始移耕、传统养分循环、化肥投入和化肥基础上养分循环等模式。为充分了解不同施肥制度对我国农业发展的贡献，1990年在辽宁沈阳农田生态系统国家野外科学观测研究站建立不同施肥制度长期定位观测试验，以时空替代方式将不同施肥制度置于同一空间进行比较，旨在为探索不同施肥制度下农田土壤肥力、作物产能、环境质量长期变化提供平台与支撑。

研究内容

依托该平台开展了辽河平原不同施肥制度对农田生态系统养分收支与分配、土壤有机碳数量积累规律与质量变化趋势、作物产量与产量稳定性特征、土壤物理-化学-生物学性状、养分在“作物-畜禽-土壤”系统中循环效率、禾本科与豆科轮作的土壤培肥与作物增产效应、氮磷在“土壤-作物”系统中赋存形态-供应能力-损失风险、温室气体排放规律、养分循环条件下重金属与抗生素等风险物质环境行为影响等方面的系统研究，为辽河平原农田养分管理措施优化提供了科学依据。

重大科技贡献

通过上述研究明确了辽河平原潮棕壤土壤质量退化过程、机制与治理路径，明晰了农田生态系统内循环养分循环通量及其对土壤肥力水平提升的贡献，量化了施肥进步与养分循环再利用的作物产量增益及其地理分异特征，揭示了有机碳在土壤团聚体中逐级饱和规律及其对评估土壤固碳潜力的意义，阐明了生物与非



养分循环与否作物长势差异

生物过程对氮素保存与供给的影响及其对养分管理措施的响应，阐释了豆玉轮作的跨季养分运筹保供与增产机制，构建了“养分均衡-机械改土-有机培肥”中低产农田改良模式并探讨了有机培肥的生态环境风险，为辽河平原区农业发展科学规划提供了理论基础。



■ 农田生态系统养分内循环过程示意图

成果产出与荣誉

已发表文章100余篇，其中SCI40余篇，获省部级奖励2项，授权专利14项，其中发明13项，参与出版专著4部。

成果团队

沈善敏、宇万太、马强、李帅霖



■ 不同施肥制度下大豆长势差异



■ 不同施肥制度下玉米长势差异



■ 不同施肥制度长期定位试验

新型生物杀菌剂-甲基营养型芽孢杆菌9912的研发及产业化

Development and Industrialization of a New Biological Fungicide - Bacillus methylotrophicus 9912

成果背景

给我国设施蔬菜每年带来数十亿元经济损失的黄瓜、番茄灰霉病等，主要靠进口化学农药像速克灵（又名腐霉利，procymidone）、农利灵（乙烯菌核利，vinclozolin）等进行防治，但这些药剂会对雄性动物的生殖能力和生殖器官的发育造成影响，在发达国家被列入EH（Environmental hormones）类化学品名单，受到禁用或限制使用，尤其在某些食品作物上禁止使用。筛选和研制高效、低毒微生物农药成为迫切的需求。

研究内容

分离筛选海洋活性芽孢杆菌，获得优良菌株甲基营养型芽孢杆菌9912；研制新型生物杀菌剂，水剂、颗粒剂以及悬浮剂和可湿性粉剂等，经田间试验验证；解决产孢难的瓶颈，研发高密度产孢发酵新工艺，完成其产业化放大发酵工艺与农药制剂加工关键技术；新剂型完成各项第三方测试与试验项目，申报农药国家田间试验批准证书；完成申报新农药行业认证全部试验与测试项目资料。

重大科技贡献

甲基营养型芽孢杆菌9912其产生多个surfactin, iturin化合物，对黄瓜灰霉病、黄瓜晚疫病、苹果腐烂病等防治效果显著，对多种土传病害，如梨树枯萎病、油桃根腐病、棉花黄枯萎病等也有显著生物防治效果。与华北制药集团爱诺公司有限合作研发成功新型生物杀菌剂30亿cfu/g甲基营养型芽孢杆菌9912芽孢可湿性粉剂防治黄瓜灰霉病，于2016年1月获全球首登，也为我国当年度唯一全球新登记或上市新微生物农药品种，实现了产业化生产与应用，2018年4月获正式登记。目前扩展登记有苹果、人参、三七和草莓等作物，产品应用覆盖大田作物、设施农业、果林及经济作物数十种，取得了显著经济效益和环境效益。

成果产出与荣誉

30亿cfu/g芽孢可湿性粉剂的“爱诺标博”，荣获中国农药工业行业协会“2018年中国植保市场生物农药畅销品牌产品”称号；甲基营养型芽孢杆菌9912的微生物菌剂“根院士®”，荣获“2020中国微生物肥料行业领袖品牌”称号。发表有关论文8篇、获授权专利2项。



■ 甲基营养型芽孢杆菌9912产品
粉剂“爱诺标博”、水剂“根院士”、有机肥“耘靛”



■ “爱诺标博”获得荣誉证书



■ “根院士”获得奖牌

成果团队

胡江春、潘华奇、薛德林、王楠、刘丽、王书锦

海参新型发酵生物饵料创制及万吨规模产业化

Creation of a New Type of Fermented Biological Bait for Sea Cucumbers and Industrialization on a Scale of 10000 Tons

成果背景

海参是我国重要的高附加值人工养殖海珍品种，为山东、辽宁两省十多年来快速发展的支柱性海水养殖产业。2005年全国海参年产量已达到6.5万吨，而2011-2013更达到13-15万吨的水平，年总产值超300亿元。然而随着饵料需求量的不断增加，市场出现了一定程度的混乱，行业发展对优质饵料的需求更加迫切。

研究内容

应用专利“一种海参用微生物发酵饲料的生产方法”(ZL200810012058.2)技术，与山东威海金牌生物科技有限公司合作，进行海参及鲍鱼微生物新型发酵饵料产品的研发及中试与加工工艺放大。通过多种微生物对传统海参饲料原料进行生物发酵，降低了饵料聚合度，产生小肽、羟基丁酸、赖氨酸、酵母素、乳酸菌素及其它生物促长因子，同时还提高了饵料蛋白质的含量，增加各类维生素特别是B族维生素的含量。先后进行海洋胶红酵母、枯草芽孢杆菌、嗜酸乳杆菌的1吨罐、10吨罐液体发酵，进行50立方固体池全自动程控规模发酵。对新产品生产技术的工程化、规模化，建立深层液体发酵罐与发酵池联动生产线，并优化及完善发酵及产品后加工工艺。



■ 专利证书

重大科技贡献

研发成功的新产品不仅有益于海参的消化吸收，还对海参肠胃微生态环境有所改善，促进其代谢功能，提高了免疫力，从而成为优质高效的新型生物饵料。2012年12月备案产品企业标准：生物活性饵料Q/1083WJP002-2012；水



■ 产业化基地规划

产养殖用微生态制剂Q/1083WJP003-2012。
2013年实现规模生产销售，取得了显著经济效益和环境效益，从而为我国海珍品的健康养殖及加速发展做出一定贡献。



■ 产品照片



■ 生物饵料生产车间固体发酵池



■ 液固两相发酵技术液体发酵罐

成果产出与荣誉

山东威海金牌饲料有限公司在合作后开展生物发酵饵料生产，并改名为威海金牌生物科技有限公司，成为高新技术企业，2014年9月成功的实现在创业板上市。发表有关论文3篇、获授权专利3项。

成果团队

薛德林、胡江春、潘华奇、王书锦、程贵良、张群峰、李贵杰、胡耿、耿建、郑延军、
王国安、王向阳

03 环境

ENVIRONMENT

中国科学院沈阳应用生态研究所成果汇编

东北典型除草剂污染生物修复技术及产品研发

Bioremediation Technology and Product Development for Typical Herbicide Pollution in Northeast China

成果背景

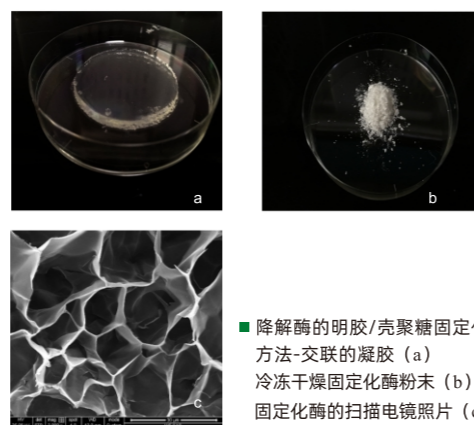
东北地区是我国玉米、大豆等作物的主要产区和重要的商品粮基地。为了保证农作物产量，除草剂的长期、大量使用造成了农田土壤除草剂残留的面源污染问题。通过研究发现，除草剂残留可引起土壤质量退化、作物减产、轮作障碍等一系列问题，急需污染修复相关的技术和产品。通过研发除草剂污染生物修复的技术和产品，可减少除草剂残留造成的毒害效应，在保障农作物生长和产品安全，改善农村生态环境等方面都将具有重要的社会意义和经济意义。

研究内容

针对我国东北地区典型除草剂（磺酰胺类，三嗪类，酰胺类等）残留污染引起的土壤质量下降及作物生长受限等问题，从东北地区典型除草剂广谱高效降解菌的筛选，降解酶的克隆表达，降解菌的高密度发酵技术，降解菌/酶制剂化技术等几个方面开展了研发工作。筛选到典型除草剂高效降解菌4株，高效降解菌系5个，克隆降解酶1种；研发了明胶/壳聚糖降解酶固定化技术及降解菌的改性玉米材料固定化技术。通过集成上述降解菌/酶资源和高密度发酵及固定化技术，研发了5种典型除草剂（氯嘧磺隆，甲磺隆，苯磺隆，莠去津，乙草胺）修复菌剂及1种解毒酶（针对多种磺酰胺类除草剂）制剂产品，形成典型除草剂污染土壤修复技术3项，已在东北地区开展1000余亩试验示范。

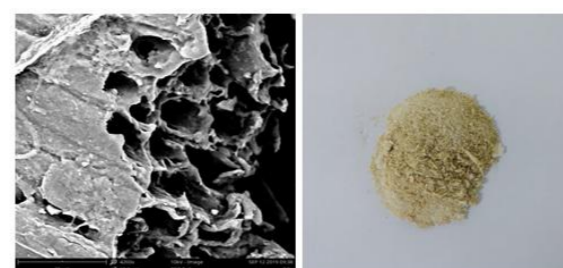
重大科技贡献

研究筛选获得多株高效广谱降解菌，可降解2-4种除草剂，其中磺酰胺类除草剂高效降解菌已被确定为新属新种。进一步采用代谢组学、转录组学、基因编辑等技术，揭示了降解菌对除草剂的代谢途径和关键降解基因。通过研发降解菌/酶的固定化技术，增加了降解菌



■ 降解酶的明胶/壳聚糖固定化方法-交联的凝胶 (a)
冷冻干燥固定化酶粉末 (b)
固定化酶的扫描电镜照片 (c)

/酶的热稳定性和pH稳定性，提高了其在自然环境中的适应性，同时也便于运输与保存。降解菌/酶固定化使用的载体都属于天然物质，无毒，可降解，环境友好，不会对土壤造成二次污染。通过盆栽，小区及田间试验，证明添加研发的菌剂可显著降低典型除草剂（氯嘧磺隆，甲磺隆，苯磺隆，莠去津，乙草胺）在土壤的残留率，减轻对后茬及当季作物生长的抑制作用，减少对土壤微生物的毒害作用。



■ 降解菌玉米改性材料固定化后的扫描电镜照片及形态照片

成果产出与荣誉

研究已发表论文17篇、申请发明专利6项（其中转化专利1项），授权专利5项，获批团体标准2个。研究申请的发明专利1件已转让给沈阳国科生物科技有限公司，转让费10万元。已经与沈阳化工研究院有限公司开展合作，获得菌剂登记号1件。

成果团队

张惠文（国务院政府特殊津贴、辽宁省直机关三八红旗手）、徐明恺（香江学者、中科院区域发展青年学者）、苏振成、李新宇、李旭、李想、王秀娟、李潼



■ 除草剂修复大田试验-施用菌剂



■ 除草剂修复大田试验-采集样品照片



■ 除草剂修复大田试验-成熟期采样照片

油田含油废弃物处理技术体系与产业化应用

Technical System and Industrialization Application of Oilfield Oily Waste Treatment

成果背景

中国是世界上第6大石油开采国，年产原油约2亿吨，含油废弃物及污染土壤产量500万吨。以产率计算，国际平均水平为1.4%，而我国的水平达2.5%，污染物主要来自采油、集输、污水处理、生产泄漏等多个环节，包括含油泥砂、油污土壤、老化油污等3个种类，我国油田多处于开发中后期，采出液含油低，产污环节多，并且我国油藏以环烷基、中间基为主，胶质、沥青质含量高，由此产生的含油废弃物，环境危害大，处理难度高。

研究内容

围绕含油废弃物及污染土壤，阐明了含油废弃物的微观形貌、油-固互作机制、油水分离过程、石油烃降解途径等，探索了以“水基清洗-加热脱附-油污回收-强化降解”为主线的系统原理，研究了降低界面张力与强化剪切耦合的清洗方法，建立了热脱附技术的 C_n 分布曲线与石油组分热脱附的数量关系，阐明了油污再生的油-盐-机杂-菌胶团复合体氧化分解机制，解决了石油污染物强化降解限速步骤。突破了含油废弃物及污染土壤的分级协同清洗、温程调控热脱附、油污纯化再生、强化生物降解等更新换代技术，开发了以石油磺酸盐为核心的清洗药剂、以嗜油微生物为主的生物修复菌剂，研制了分级清洗设备、热脱附设备、强化生物修复等成套装备，开展了产业化推广实用。

重大科技贡献

近20年的科技攻关，以我所为核心，联合中国石油大学、中石油、中石化、中海油等核心环保单位，形成了国内本领域最强的研发平台、试验基地和人才队伍。建成了我国陆上典型油田的全指标调查及工艺数据库，提出了面向全国油田的废弃物系统解决方案，编制了处理不同油田、不同种类含油废弃物的决策支持系统，可提供总体技术方案和工艺参数，为工程设计提供工艺支持，支撑了含油废弃物处理与油田安全生产，保障了油田生态文明建设。

成果产出与荣誉

成果发表论文50余篇，获得辽宁省、山东省和生态环境部等省部级奖励7项。其中，一等奖5项，包括2项技术发明一等奖、2项科技进步一等奖、1项成果转化一等奖，授权国际国内发明专利43件，构建了油田含油废弃物处理技术体系，遴选为《国家重点环境保护实用技术》，入选国家“十三五”科技创新成就展，与石油企业产学研用融合，不断强化理论、技术和应用的全链条创新。

成果团队

郭书海、李刚、吴波、李凤梅、张猛、刘东、陈勇、祝威、邵志国



含油污泥资源化技术应用



含油污泥热脱附技术应用



石油污染土壤电动修复技术应用



老化油污资源化技术应用

菱镁矿区污染土壤生态修复技术

Ecological Remediation Technology of Contaminated Soil in Magnesite Mining Area

成果背景

辽宁省菱镁矿资源得天独厚，具备分布集中、储量大、品位高、埋藏浅、易开采等特点。菱镁矿开采及行业发展对当地生态环境质量和经济可持续发展带来一定的负面影响。据统计，在辽宁省菱镁资源集中开发地区，矿渣累计堆放量已达到近3亿m³，占压破坏土地5100hm²。仅大石桥地区，每年排放的含镁粉尘达14万吨，烟尘7万吨，矿区周围土壤表层可见明显的粉尘累积。矿区土地被污染后生产水平大幅下降，农田被迫长期撂荒。

研究内容

基于菱镁矿区受损生态系统退化和演替机制，研发可操作的土壤结皮破除技术及系列土壤改良技术，提出不同类型废弃地的人工植被快速构建复垦技术，实现了污染土地的快速修复，并在当地企业中推广应用。(1) 探明矿区污染土壤修复的关键限制因子与土壤硬壳的形成机制，建立矿区复垦的土地适宜性评价指标体系；(2) 根据菱镁矿区土地污染等级提出了不同立地条件土地复垦对策，并筛选出适宜性复垦植物种类；(3) 在硬壳破除、土壤改良、植被恢复3个层面上提出3种菱镁矿区粉尘污染土壤修复与植被快速恢复技术；(4) 提出了菱镁矿区排岩场贫瘠土壤肥力改良修复对策，排岩场人工植被快速恢复与建设技术体系。



■ 矿区

重大科技贡献

基本解决了辽宁省菱镁矿区粉尘污染土壤和排岩场的生态修复技术问题，已在辽宁岫岩青花耐火材料有限公司、海城华林矿业集团有限公司等20多家企业排岩场进行了转化和应用，并取得较好的经济、社会和生态效益，改变了当地企业和人民群众对环境保护工作的认识，提高了企业和人民群众参与菱镁矿区生态环境保护的积极性，实现社会、经济、环境的协调和持续发展。

成果产出与荣誉

依托上述研究成果，共发表中英文论文11篇，申报专利7项，荣获辽宁省科技进步奖二等奖3项“辽宁省污染土壤与生态破坏区生态修复标准体系与应用示范”、“菱镁矿区污染土壤生态修复技术”、“辽宁省镁质材料行业资源循环利用与矿山环境修复技术与示范”。制定辽宁省地方标准1项“菱镁矿区粉尘污染土壤生态修复技术方案编制导则”(DB21/T 2649-2016)，撰写专著1部《菱镁矿选矿及矿区土壤生态修复》(2019年)。

成果团队

李培军、台培东、巩宗强、贾春云、李晓军、刘宛



■ 辽宁省科技进步二等奖



■ 辽宁省科技进步二等奖



■ 辽宁省科技进步二等奖



■ 辽宁省科技进步二等奖

虚拟生态技术

Virtual Ecological Technology

成果背景

虚拟生态技术是构建数字化生态系统底座、模拟生态演化过程并建立其在统一时空基准下全局知识分析体系的新技术，是生态学和地理信息科学、计算机科学等多学科交叉融合向现代化、信息化和智能化发展的新方向。合理研究、发展和应用虚拟生态技术对生态学以及生态系统可持续发展具有重要意义。然而，目前虚拟生态技术的研究总体处于起步阶段，仍缺乏完备和边界清晰的定义、体系，难以支撑系统性迭代发展和科学性分析。

研究内容

发展了贯通“表达-管理-利用”的虚拟生态技术与人工智能关键技术体系。其中，代表性的成果包括支持数字孪生实现两次技术跨越的泛本体建模、人地协同组织与自学习增强可视分析三项关键技术，代表性的包括：(1) 研究了多维时空大数据泛地理本体建模方法（表达），解决了异构传感数据和地理环境的统一描述与规则映射问题，为表达复杂高动态人地环境提供了统一时空框架的计算基础；(2) 研究了人机物动态融合与协同组织管理技术（管理），解决了大数据离散存储、分布传输与应用汇集重构之间的精度和效率问题，同时满足大规模动态数据库的实时更新管理，支持高动态现实环境下的数字孪生系统维护；(3) 研究了自训练与自遗忘的增强学习分析引擎（利用），解决了物联网多传感器大数据的低价值密度问题，支持对反映多尺度复杂公共事件的地理大数据进行快速整合与高效知识理解。

重大科技贡献

数字孪生体建设背景下的虚拟生态关键技术体系涵盖生态全要素实时监测、生态全过程实时描述、生态全周期超前预测以及生态环境的“可见-可知-可处”。特别从现代生态学主要理论和目的出发，总结了虚拟生态建设的主要内容及技术需求；重点提出了结合虚拟地理环境和数字孪生体技术的虚拟生态关键技术体系；从应用场景角度分析了虚拟生态技术在大气污染、能源分析中的应用能力；从局部计算点突破和全局

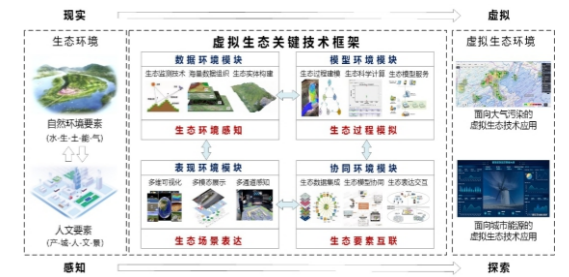
技术点融合两方面总结新一代信息技术背景下虚拟生态技术在生态环境全局数字化建设、智能化计算、真实化表达不同层次递进的发展潜力。解决了现有生态环境技术体系存在的不完备、不充分、不真实以及不统一问题，实现了生态环境全时全域全要素协同管理，为生态环境描述、诊断、预测及处方等智能服务提供关键技术支撑，丰富和发展支撑我国生态空间资源转型的技术能力。

成果产出与荣誉

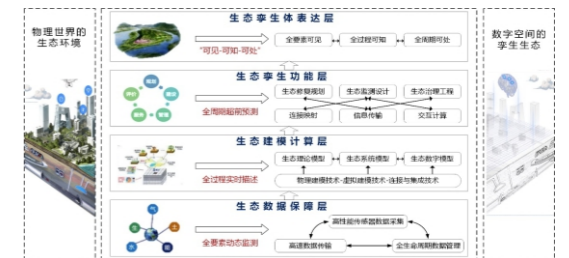
团队发表相关论文13篇，授权发明专利10项，形成立足数字孪生城市、数字乡村、智慧枢纽、智慧水利、智慧校园、智慧管网、智慧风电、无人机防违控违、智慧矿山、倾斜摄影建模、历史古建、辅助规划等多领域系列解决方案，成功服务于数字孪生城市、灾害应急管理、轨道交通、公共安全和城市规划等智慧城市与大数据决策支持重要行业应用。并建立了广泛的团队合作与应用示范。

成果团队

薛冰、谢潇、任婉侠



■ 虚拟地理环境支持下的虚拟生态关键技术体系



■ 数字孪生体建设背景下的虚拟生态关键技术体系



■ 代表性技术点-专利证书

农业碳排放及碳减排潜力研究

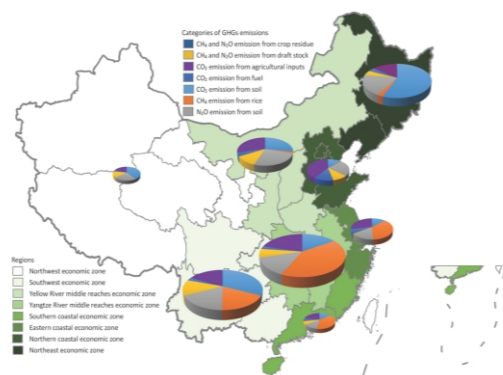
Research on Carbon Emission and Reduction Potential of Carbon Emission from Agriculture

成果背景

我国农业生产活动产生的温室气体高于很多国家。在碳达峰、碳中和背景下，我国迫切需要控制农业生产活动中的碳排放，发展低碳农业。如何测算农业碳排放，采取何种措施减缓农业碳排放，成为决策者和学者共同关注的热点问题。农业集约化经营、发展设施农业是我国调整农业产业结构、解决资源短缺的突破口，是我国农业现代化的重要发展方向。我国农业生产活动产生的温室气体排放比例为14%-18%，而仅占耕地面积3%的设施农业碳排放量达种植业碳排放量的26.5%-72.1%，设施农业单位面积碳排放量是露地农业的近15倍。因此，揭示集约农业和设施农业生产活动中的碳排放过程，并在此基础上探讨农业碳减排和可持续管理的理论问题十分必要。

研究内容

准确量化碳排放，揭示碳减排路径是碳达峰、碳中和研究的核心问题。本研究厘清了农业生产中的碳源汇过程，系统建立了农业净碳排放核算方法，对我国1979-2015年农业净碳排放量进行了估算，根据农业管理的特点，将我国农业发展分为四个阶段，利用LMDI因子分解模型，量化我国农业发展四个阶段中农业生产效率对净碳排放的驱动效果；本研究以设施农业为研究对象，以省域为基本统计单元，围绕设施农业生产管理过程中的农膜投入、能源消耗、农药化肥投入、气肥施用、设施土壤五大温室气体排放源建立核算框架，对我国2008-2020年连栋温室、日光温室、塑料大棚3种设施农业的碳排放量和排放强度进行核算，并预估碳减排潜力，提出农业低碳发展路径。



我国农业碳排放及其分布

重大科技贡献

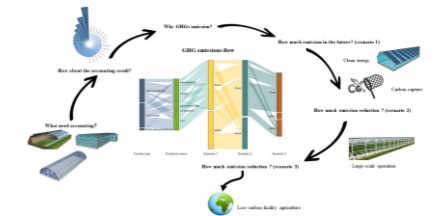
集约农业碳减排和设施农业碳排放过程未被揭示，农业碳排放估算方法失真、参数匮乏，本研究基于集约农业和设施农业特有的环境调控、生产模式与技术水平等特点，系统建立农业碳排放核算方法，是对IPCC温室气体排放核算方法的补充和完善。集约农业和设施农业碳排放影响机理和碳减排调控路径尚不清晰，本研究科学揭示集约农业碳减排和设施农业碳排放过程，构建可操作、可复制、可推广、可比较的农业碳排放核算方法，聚焦社会经济发展对农业碳排放的影响和驱动，提出适用于我国农业低碳发展的碳减排调控措施。

成果产出与荣誉

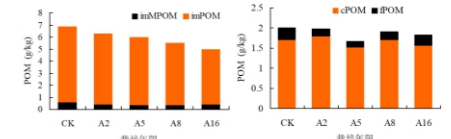
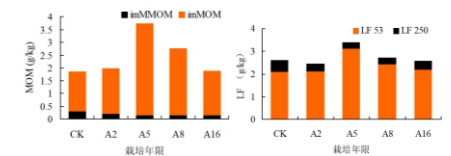
相关成果在Catena、Pedosphere、Communications in Soil Science and Plant Analysis、Eurasian Soil Science、Current Science、应用生态学报、土壤通报等期刊发表论文10篇，其中6篇被SCI收录。构建的设施农业碳排放核算方法申请国家发明专利1项。

成果团队

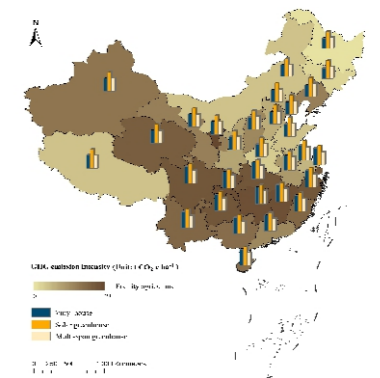
尹岩、郝凤明（青促会优秀会员）、王娇月、郝龙飞、胡琴琴、马铭婧、张文凤、牛乐



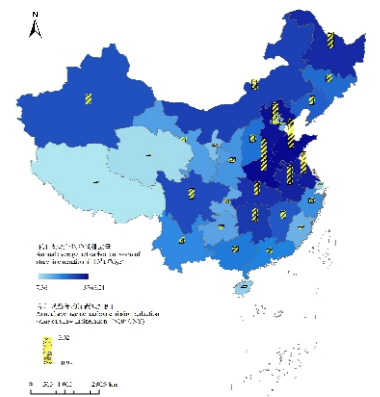
设施农业碳排放及减排潜力



不同栽培年限设施土壤有机碳组分含量



我国设施农业碳排放强度



我国秸秆处置净碳减排量及其价值空间分布

碱性矿物材料及废弃物碳汇核算研究

Accounting of CO₂ Uptake by Alkaline Mineral Material and Solid Wastes

成果背景

气候变化是全球性问题，随着各国温室气体排放增加，对生命系统形成威胁。碱性固碳矿物材料和废弃物在不同处置过程中，能够与大气中的CO₂发生碳化反应，但很少有科学家从生态学的角度出发，把这一现象看成是碱性矿物和固废的碳汇功能。IPCC在给各国发布的国家碳排放核算指南中，并未把人类活动产生的碱性矿物材料及废弃物的碳吸收（碳汇量）计算在内，造成人类活动产生的碳排放被高估。因此，界定完整的碱性矿物材料和固废碳汇核算边界，建立系统的碱性矿物材料和固废碳汇核算方法，量化碱性矿物材料和固废的碳汇量，是目前亟待解决的问题。

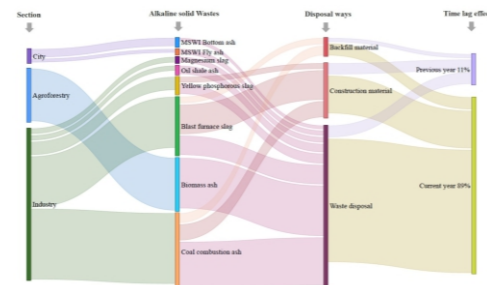
重大科技贡献

研究意义有三个方面：

1、推动碳循环学科的发展。揭示并量化我国碱性矿物材料及固体废弃物的碳汇功能，可以为全球碳循环中的“碳失汇”难题研究提供重要的数据支持；

2、为气候变化谈判提供科学依据。通过定量化国际数据库对我国碳排放的高估，弥补现有碳排放核算方法的不足，为我国在气候变化谈判上赢得主动提供科学依据；

3、推动产业化应用。为CCUS技术提供理论基础，推动CCS技术的产业化应用，不仅可以实现固废资源化，而且可以实现大规模的CO₂吸收，推动实现碳中和目标。



不同来源碱性固废不同处置条件下的碳汇



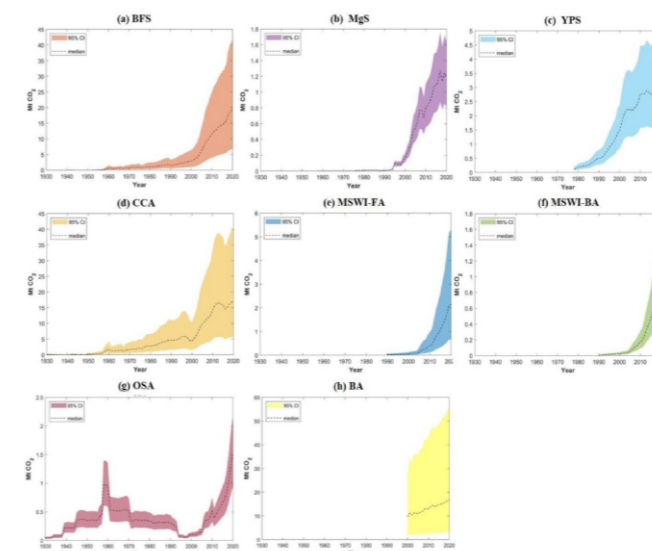
水泥碱性矿物碳化程度试验

成果产出与荣誉

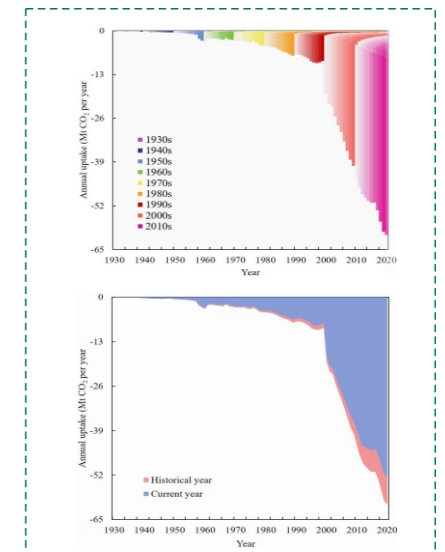
相关成果在Nature、Nature Geoscience、Energy Policy、Energy、Journal of Cleaner Production等国际学术期刊发表论文10余篇，承担国家自然科学基金面上项目2项，中国科学院青促会优秀会员项目1项、辽宁省“兴辽英才计划”项目1项、辽宁省“百千万人才工程”项目1项，获辽宁省自然科学二等奖1项，出版专著1部，申报发明专利2项。

成果团队

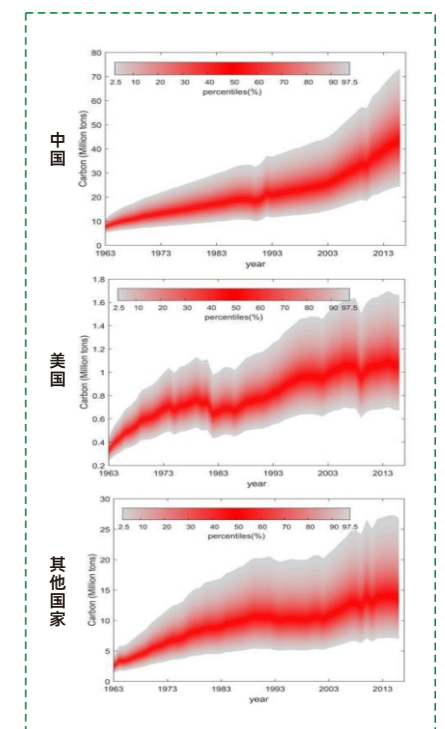
郝凤明、刘竹、郝龙飞、王娇月、胡琴琴、马铭婧、张文凤、牛乐、徐晓伟、尹岩



1930-2020年我国不同类型碱性固废碳汇情况



1930-2020年我国碱性固废碳汇的时滞效应



全球石灰碳汇不确定性分析

场地土壤环境损害鉴定评估方法和标准

Evaluation Methods and Standards for Site Soil Environmental Damage

成果背景

场地土壤生态安全是国家生态安全的重要组成部分，近年来我国场地土壤环境污染问题比较突出，由此引起的司法纠纷比较多。但目前我国场地土壤环境损害鉴定技术框架体系尚不够完善，欠缺完整的毒性、污染范围、溯源与扩散分析、人体健康损害等方面的损害调查技术，也欠缺符合我国国情、人群年龄结构和地区差异性的损害赔偿方案。因此，无法判定场地土壤环境改变对人们生产生活和健康影响及经济损失，以致超过80%污染损害无法得到合理赔偿，因此建立完善的场地土壤环境损害鉴定评估方法和标准刻不容缓。

研究内容

针对不同典型污染场地，以污染物“基础方法→调查评价→损害评估→技术规范→示范验证”的思路开展研究，以污染物鉴别和损害的评估技术标准和规范为出口，以石油、化工、矿山、冶炼等行业典型污染场地为重点，通过分子生物学、组学、同位素、空中遥感、原位监测、生物芯片和多相示踪等技术，阐明控制机制并定量模拟它们的复杂关系，确定早期暴露生物标志和效应生物标志，构建风险诊断程序。在控制和原位实验研究基础上，建立高性能数学模型，整合各种过程机制和参数指标，建立适合我国国情的场地土壤环境损害鉴定评估技术标准和工作规范，形成土壤环境损害费用核算标准体系。

重大科技贡献

建立了不同形态污染物迁移和转化的理论机制和模型计算，揭示了非线性反馈机制；基于传统离子通道和酶蛋白抑制剂等分子生物学研究手段，结合单一稳定同位素示踪技术，系统探讨了污染物在土壤中的迁移途径；通过生物信息学分析和分子生物学方法和手段，探讨了污染物迁移转化过程中的生物响应和耐性调控，并建立了土壤生态环境损害调查技术方法体系；通过遥感大数据分析处理，确定了区域污染源种类、范围、分布强度和蔓延趋势，提出了空间决策建议；通过系统界定场地土壤环境损害调查的内容和范围，并针对损害调查内容的不同特征，提出相应的评估方法，系

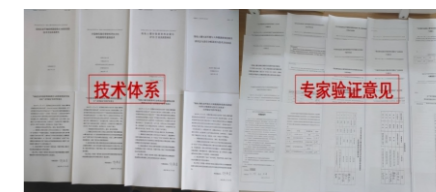
统地对环境资源及其生态服务功能的损害进行定性和定量分析，建立了明确可行、规范统一的生态环境损害调查技术和方法体系；通过环境流行病学调查，开展了不同区域、不同行业、不同类型土壤生态环境污染对人体健康影响的研究，揭示了多区域、多种类、多途径、多水平土壤污染暴露对人体健康的急慢性危害。识别了早期暴露标志和效应标志，评估了土壤污染物体内蓄积水平和危险程度，系统分析了土壤污染物与人体健康危害的因果关系，并在此基础上开发了土壤生态环境破坏所致健康损伤的预警系统，降低了土壤污染对人类健康损害的风险；项目从场地类型、地域特点等多个方面，编制适用性和操作性强的系列土壤环境损害评估指南，弥补了我国场地环境评估技术方法指南的不足，并选择典型污染场地开展损害鉴定与评估技术验证，可进一步满足我国环境损害鉴定评估的需要，属于集成创新。生态环境与人类生活息息相关，研究过程中研发的技术以及形成的成果都对环境事业起到了积极的推动作用。

成果产出与荣誉

发表论文39篇；著作2部；软件著作权5项；专利28项；培养研究生42人。已研发一套场地土壤有毒有害污染物健康风险识别与动态预警系统，建立4套土壤污染损害调查技术体系，内容涵盖污染物危险特性鉴别、污染物迁移转化、生态环境损害调查、人体健康损害因果关系判定四个方面。发布12套指南，内容涵盖迁移扩散范围、损害调查评价、人体健康损害、损害量化评估四个方面，还有10套在准备中，计划于2023年陆续发布。建立的技术体系与指南，已在全国23个污染场地上完成了31份技术应用示范报告，行业类型涵盖冶炼、金属材料、化工、石油，污染物类型包括重金属和有机污染物。

成果团队

陈希娟、王颜红、席淑华、刘鸣达



土壤污染损害调查技术体系及专家验证意见



已发布的12套指南



场地验证报告



场地应用示范图

污染土壤生态修复机理与关键技术研发

Ecological Remediation Mechanism and the Key Techniques for Contaminated Soil

成果背景

土壤作为环境系统的核心介质，是沟通大气和水体的枢纽，也是生物体和人类社会的基本载体，更是国家发展建设的重要资源。然而，当前我国社会发展过程中仍存在土壤污染问题，造成土壤质量下降、土地资源受损等情况。另外，土壤污染加重，也会造成其周边水体和大气污染等问题，直接影响区域生态环境健康。良好的生态环境是实现中华民族永续发展的内在要求，是建设美丽中国的重要基础。党的十八大以来，党中央更是明确提出要深入打好净土保卫战，并在十三届全国人大常委会第五次会议上全票通过了土壤污染防治法。

研究内容

生态修复是在生态学原理指导下，以生物修复为基础，结合物理修复、化学修复以及工程技术措施，通过优化组合和技术再造，使之达到最佳效果和最低耗费的一种综合的修复污染环境的方法。其首要特点是遵循循环再生、和谐共存、整体优化和区域分异的生态学原理；其次，生态修复主要是通过动植物和微生物的生命活动来完成的，影响生物生活的各种因素也将成为影响生态修复的重要因素。因此，本技术针对土壤中重金属、石油烃等有机污染物、抗生素等新污染物，重点开展工作：（1）修复植物筛选、培育和生境优化技术；（2）植物-微生物联合修复技术；（3）植物修复-酶学强化技术；（4）植物根际调控技术；（5）植物修复-农艺措施强化技术。

重大科技贡献

随着输入到环境中污染物的种类和数量的增加，环境污染不仅在程度上不断“升级”，而且在“内涵”上日益复杂化，复合污染也成为了最主要的和普遍的环境污染形式。该技术以生物修复为核心，有效克服和弥补了物理修复和化学修复技术存在的一些缺陷和不足。涉及的污染土壤类型包括农田土壤、工业场地土壤、矿山及其

周边土壤等，根据污染物类型、区域气候条件、环境要素、修复目标等多因素有针对性的研发适宜的生态修复技术，并深入研究了该技术对污染土壤的修复机理和机制。将基础理论研究向实际应用推进，实现了研发-生产-应用的研究模式，为深入打好净土保卫战，切实贯彻我国生态文明建设提供了有力地科技支撑。

成果产出与荣誉

《土壤重金属污染发生机理与修复原理》获辽宁省自然科学一等奖，《超积累植物的系列发现及污染土壤修复关键新技术》获辽宁省技术发明二等奖，《污染土壤的植物修复技术及应用》获辽宁省科学技术二等奖，《典型区土壤污染诊断及修复植物的响应机制》获天津市自然科学特等奖，《重金属污染土壤植物富集与去除机理研究》获陕西省科学技术三等奖，《基于植物富集重金属的污染土壤修复机理研究》获陕西高等学校科学技术二等奖，《重金属污染土壤的植物修复机理与调控技术》获汉中市科技进步二等奖。承担国家级和省市级科研项目20余项，发表相关论文150余篇，授权专利20余项，出版专著6部。

成果团队

魏树和、安婧、周启星（杰青、长江学者）



■ 辽宁省二等奖



■ 辽宁省自然二等奖



■ 辽宁省一等奖



■ 天津市2021年特等奖

中国科学院沈阳应用生态研究所 可转移转化成果列表

1 新型肥料技术

- 1、长效肥系列：长效碳铵、长效尿素等
- 2、专用肥系列：玉米、水稻、花卉、蔬菜、水果、人参等专用肥
- 3、生物肥系列：多元生物有机复合肥、高效生物钾肥、生物有机富硒双效叶面肥、液体肥料生产技术、高效生物复合菌剂、生物活性重茬敌、生物沼气快速产气技术、新型生物杀虫剂生产技术
- 4、废弃物回收制肥系列：秸秆和畜禽粪便轻简化堆肥技术、硼镁等中微量元素肥料技术、新型高效小分子有机碳肥技术、设施尾菜快速发酵产酸生产有机水溶肥技术、北方蚯蚓养殖和蚯蚓消化食用菌菌糠等农业废弃物肥料化利用技术、农业多元有机废弃物覆膜共发酵肥料化利用技术、农业废弃物肥料化利用技术应用

2 生物农药技术与生物技术

- 1、防治黄瓜枯萎病海洋微生物制剂
- 2、海洋放线菌MB-97生物制剂
- 3、河豚毒素的海洋微生物高表达体系及其发酵技术
- 4、苏云金芽孢杆菌杀虫剂（BT）
- 5、有机肥发酵无害化处理技术和复合微生物菌剂生产技术
- 6、农用微生物菌剂研制技术
- 7、棚室专用臭氧消毒与绿色生产设备
- 8、土壤修复剂

- 9、生物表面活性剂高产菌株选育与发酵生产技术
- 10、脂肽介导的诱抗-杀菌微生物农药新技术
- 11、生物活性基质技术研制
- 12、油松针叶精油在杀虫农药中的应用及杀虫农药组合物

3 农林作物栽培及荒漠化治理相关技术

- 1、东北东部山区森林保育与林下资源高效利用技术
- 2、冷香玫瑰露地栽培技术
- 3、城市森林建设和自然保护区生态规划
- 4、林木快速繁育、花卉组培繁育技术
- 5、基于综合评估的三北防护林工程营建关键技术
- 6、食品安全与环境质量检测技术
- 7、节水农业技术(井灌区涌流灌溉技术、渗灌节水技术、冬灌技术)
- 8、保护性耕作技术体系
- 9、富硒农产品的有效成分检测与评价
- 10、特色农产品产地溯源和掺假鉴别技术
- 11、成年大树原位¹⁵N成对标记法揭示植物氮吸收偏好
- 12、铵盐、硝酸盐氮氧同位素分析技术
- 13、可降解液态地膜产品及其应用技术
- 14、农田除草剂污染生物修复技术
- 15、半干旱区铁路沙害防治模式
- 16、“穿沙公路+治沙带”网络体系“切割、蚕食”流沙的区域尺度治沙模式
- 17、沙化草地生态恢复技术体系
- 18、沙化-退化-盐渍化草地提质增效技术模式
- 19、沙-林-草-田-路-村一体化防护模式

- 20、沙区生态产业化模式
- 21、浅埋滴灌绿色节水技术
- 22、3E-PLANT高效种植舱系统构建技术与配套设备
- 23、煤矸石生产水稻育苗基质技术
- 24、设施农业低成本环境监测设备
- 25、农牧交错区破碎化草地整治技术
- 26、农业一张图数字化场景开发技术
- 27、蔬菜粉及其制备方法
- 28、退化杉木人工林服务功能的恢复与提升技术
- 29、特色植物种质资源产业化创新项目（软枣猕猴桃果粉）
- 30、文冠果高附加值开发及栽培管理技术
- 31、抗缺氧蛋白饮料及其制备和应用
- 32、补钙益智蛋白组合物、补钙益智蛋白饮料及其制备方法
- 33、基于光子晶体传感器的农产品农残快速检测仪

4 “双碳”技术

- 1、涡度相关系统中测量CO₂/H₂O浓度的总体准确度模型
- 2、涡度相关系统精准估测山地森林CO₂通量的塔群装置
- 3、农田生态系统土壤碳库提升的保护性耕作技术
- 4、计算涡度相关系统中高频空气温度的新方法
- 5、增加农田有机质碳汇的低温秸秆腐解技术
- 6、长白山典型温带森林固碳现状、潜力及机制
- 7、东北高寒地区村镇绿色低碳发展治理技术
- 8、固液粪污全量封闭贮存和厌氧发酵技术
- 9、东北地区森林的固碳潜力与增汇途径

- 10、土壤微生物碳泵概念体系的研发构建、储碳评估与应用前景
- 11、落叶松人工林复层林培育技术
- 12、石灰碳汇核算研究
- 13、辽宁省工业全要素碳排放绩效及排放权分配研究
- 14、县域尺度“双碳”及新能源发展规划研究
- 15、矿业企业面向碳中和的矿山生态修复
- 16、水泥碱性矿物碳汇吸收研究
- 17、森林土壤碳封存技术
- 18、我国生物质能源节能减排潜力评估技术
- 19、集约农业碳源汇核算技术
- 20、产业生态系统及典型区域或部门的碳通量评估与驱动机制
- 21、农田防护林生态固碳效应监测与模拟评估系统
- 22、中国碱性固废的碳汇核算研究

5 生态文明建设和环境工程

- 1、石油污染控制与示范工程
- 2、城市群污染控制技术
- 3、农田重金属污染土壤修复与安全利用技术
- 4、含油污泥微生物活性剂及化学分离技术
- 5、区域污染控制生态设计与生态环境综合治理技术
- 6、油田次生硫化氢危害生物防控技术
- 7、油田含油污泥处理技术
- 8、有机污染土壤电动修复技术
- 9、有机污染土壤固定化微生物修复技术
- 10、有机氯污染场地厌氧微生物修复技术体系

- 11、多源异构环境污染大数据的汇集存储与深度挖掘技术
- 12、环境大数据与智慧环境管理
- 13、砷污染控制技术
- 14、生态系统价值核算技术
- 15、负氧离子生发设备技术
- 16、面源污染防治技术体系

6 生物医药及保健制品

- 1、月见草油提取技术及产品
- 2、提高万吨Vc收率技术
- 3、肠毒素A、B、C抗肿瘤靶向药物研究
- 4、蛇毒类凝血酶基因序列研发
- 5、抗血栓药物纳豆激酶开发
- 6、免疫抗肿瘤生物新药开发
- 7、清基胶囊
- 8、功能性保健食品研制与开发

7 智库与规划编制

- 1、国家可持续发展试验区
- 2、国家农业科技园区规划
- 3、国家生态文明示范区规划
- 4、碳达峰、碳中和核算系统平台