

Desert Algae Engine: Awakening Sleeping Saline Land— Science and Technology Report on the Demonstration Base for Improving Thousand-Mu Salt-Alkali Land in Huanghua City, Cangzhou, Hebei Province

Shanjiang Ai¹ Shuishan Song²

1. Jidizao (Beijing) Biotechnology Co., Ltd., Beijing, 100125, China

2. Institute of Biology, Hebei Academy of Sciences, Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract

Soil salinization not only severely depletes limited land resources and disrupts ecological balance but also directly threatens global food security. This report provides an in-depth analysis of the causes and hazards of saline-alkali soil, taking the thousand-mu saline-alkali land in Huanghua, Cangzhou City, Hebei Province, as a test area. Using salt-tolerant desert algae as the primary remediation factor, the study investigates and analyzes the five mechanisms of the synergistic saline-alkali soil remediation technology involving desert algae. Measurements indicate that, compared to the control group, the test area showed a 41.6% increase in the number of secondary roots of drought- and alkali-tolerant wheat, a 14.29% increase in tillering, and a 13.68% increase in grains per spike. Harvest yield tests revealed that the test area (moderately to severely saline-alkali soil) achieved an average yield of 179.2 kg per test unit, while the control area (moderately saline-alkali soil) yielded an average of 128.6 kg per test unit, representing a 39.4% increase in production.

Keywords

desert alga; saline-alkali land; synergistic improvement

沙漠藻引擎：唤醒沉睡的盐碱地——河北沧州黄骅市千亩 盐碱地改良示范基地科技成果

艾山江¹ 宋水山²

1. 极地藻（北京）生物科技有限公司研究院，中国·北京 100125

2. 河北省科学院生物所，中国·河北 石家庄 050000

摘要

土壤盐碱化不仅严重侵蚀有限的土地资源，破坏生态平衡，更直接威胁全球粮食安全。本报告深入分析盐碱地成因及其危害性，以河北省沧州市黄骅千亩盐碱地为试验区，以耐盐碱沙漠藻为主要改良因素，研究分析沙漠藻盐碱地协同改良技术的五大机制。经测定，与对照组相比，试验区旱碱麦次生根数量增加41.6%，分蘖数增加14.29%，穗粒数增加13.68%。实收测产结果显示，试验区（中、重度盐碱地）测产平均179.2公斤/测试单元，对照区（中度盐碱地）则收平均128.6公斤/测试单元，增收39.4%。

关键词

沙漠藻；盐碱地；协同改良

1 引言

在全球范围内，土地盐碱化已成为威胁农业生产与生态安全的严峻挑战，其蔓延态势正持续加剧。联合国粮农组

织 2024 年发布的《全球盐渍土壤状况》报告披露了一组触目惊心的数据：全世界盐碱地总面积约达 9.5 亿公顷，全球近 14 亿公顷土地（占全球土地总面积的 10.7%）已受到盐度影响，其中约 10% 的灌溉农田和 10% 的雨养农田沦为盐碱化重灾区。

我国是盐碱地面积大国，位列世界第三，总面积达 15 亿亩。具备开发种植潜力的盐碱地面积约有 5 亿亩，盐碱耕地超过 1 亿亩，主要有西北内陆、沿黄河上中游灌区、东北

【作者简介】艾山江（1980-），男，维吾尔族，中国新疆乌鲁木齐人，博士，副教授，从事藻类抗逆生理及生物治沙研究。

松嫩平原、滨海四大盐碱地类型区。西北干旱区（如新疆、甘肃）以原生盐渍化为主，受气候干旱与地质条件影响，塔里木盆地周边盐碱地面积达 1200 万公顷；华北平原（黄淮海平原）因过度灌溉导致次生盐渍化，4000 万亩耕地受不同程度影响，小麦减产率最高达 30%；东北松嫩平原苏打盐碱地面积达 350 万公顷，土壤 pH 值普遍超过 9.0，形成独特的“碱斑”生态问题；滨海地区（如环渤海、江苏沿海）受海水倒灌影响，500 万公顷耕地面临盐潮入侵威胁^[1]。

2 盐碱地成因及土地盐碱化的主要危害

盐碱地的形成是自然因素与人为因素共同作用的结果，核心逻辑是：土壤中的盐分（如氯化钠、碳酸钠、硫酸钠等）通过各种途径在表层聚集，且“盐分上行/输入”速度远大于“盐分下行/淋洗”速度，最终导致土壤含盐量或碱化度超过作物耐受阈值。不同区域的盐碱地，其主导成因存在显著差异，具体可分为以下两大类：

自然因素：原生盐碱地的核心成因。自然因素是“原生盐碱地”（未受人类活动显著干扰形成的盐碱地）的主要来源，与气候、地质、水文、地形等自然条件高度绑定，也是我国西北、东北、滨海等核心盐碱区的基础成因。

人为因素：次生盐碱地的主导成因。人为因素是“次生盐碱地”（人类活动打破土壤盐分平衡后形成的盐碱地）的主要诱因，核心是通过不合理的开发利用，加速盐分在表层聚集，或引入外源盐分。我国黄河中上游灌区、西北绿洲边缘的盐碱地，多与人为因素密切相关。

土壤盐碱化是一种典型的土地退化过程，其危害具有系统性、连锁性特征，不同类型的盐碱地（如盐土、碱土、次生盐碱土）危害程度存在差异，但核心危害逻辑均围绕“盐分/碱分破坏土壤-植物系统平衡”展开，具体可分为以下四大类：

对农业生产的危害：直接威胁粮食安全与作物生存。农业是盐碱化最直接、最严重的受害领域，其危害贯穿“土壤-作物-产量”全链条，是我国部分区域（如东北苏打区、西北绿洲区）农业低产的核心原因。

对生态环境的危害：加剧土地退化与生物多样性丧失。盐碱化是生态系统退化的“催化剂”，尤其在干旱半干旱区和滨海区，会引发一系列连锁生态问题，破坏区域生态平衡。

对经济社会的危害：增加治理成本，制约区域发展。盐碱化不仅影响农业和生态，还会通过“经济传导”制约区域经济发展，增加社会负担，尤其在欠发达的盐碱区（如东北西部、西北农村）。

对工程建设的危害：腐蚀建筑材料，威胁工程安全。盐碱土中的盐分（尤其是氯离子、硫酸盐）具有强腐蚀性，会对建筑、交通、水利等工程设施造成长期损害，威胁工程结构安全。

3 土地盐碱化常用治理措施及其面临的问题

土地盐碱化的治理需遵循“因地制宜、分类施策”原则，核心逻辑是通过“排盐/降碱”、“改良土壤结构”、“增强作物耐盐性”等三大路径。目前常用治理措施可分为工程措施、化学措施、农业生物措施、微生物措施等四大类，不同措施的适用场景、技术原理及效果差异显著；同时，治理过程中也面临技术、成本、生态等多维度挑战。

水利工程措施：水利工程措施旨在通过优化灌排系统，调节土壤水分与盐分的动态平衡。水利工程措施的核心原理是通过控制地下水位和调节土壤水分运动来达到脱盐和防止返盐的目的。但水利工程措施在实际应用上面临诸多问题：投资成本高、维护需求大，大量消耗水资源，存在次生环境风险，可能造成土壤养分流失等。

化学改良措施：化学改良措施的核心原理是通过向土壤中添加特定的化学物质，通过离子交换、中和酸碱等化学反应，来降低土壤的 pH 值、碱化度，并置换土壤胶体上吸附的钠离子，从而改善土壤的物理和化学性质。化学改良措施在实际应用上面临如下问题的挑战：成本高昂，可能存在二次污染风险，效果不持久，施用不当可能无效甚至有害，对土壤微生物群落可能产生短期冲击。

农业与生物措施：这些措施通常被称为“绿色治理”技术，其核心思想是利用植物、有机质和农业措施来改善土壤结构、提升肥力、利用生物过程降低盐碱危害。但农业与生物措施在实际应用上存在一些客观问题，如：见效缓慢、周期长，精细管理成本高，受环境条件限制大，存在生态风险，经济效益不稳定等。

微生物措施：微生物措施被视为盐碱地治理的新兴和具有巨大潜力的绿色技术。它主要通过引入或激活特定的微生物群落（以细菌和真菌为主），利用它们的生命活动来改善土壤健康。但微生物措施存在效果不稳定、受环境制约大，见效相对缓慢，公众认知和接受度有待提高，研发周期长等问题。

因此，我国盐碱地治理需突破单一技术路径依赖，构建“技术创新-生态安全-产业融合”的协同体系，实现盐碱地从“生态包袱”到“资源宝库”的转变。

4 沙漠藻盐碱地改良技术 - 唤醒盐碱地的生物引擎

4.1 沙漠藻的发现与沙漠藻技术开发历程

极地藻（北京）生物科技有限公司科研团队、励精图治 10 余年、秉承生态文明理念，投身于极端环境稀有藻类挖掘和研发工作。

2008 年极地藻科研团队从极度干旱的新疆塔克拉玛干沙漠土壤中成功分离获得抗干旱、耐盐性极强的沙漠藻物种。经过十多年的不断发掘及科学规范的分离鉴定、保藏入库等程序，建立了全国唯一（尚未查到国外相同种质库）具

有 2800 多株稀有藻种的“沙漠藻种质库”，填补了我国该领域的生物资源空白。

沙漠藻是生存于极度干旱沙漠土壤、盐渍化沙漠土壤表层及下层的各种藻类生物的集合群。在极其干旱、高盐、高温和高辐射的沙漠和盐碱土壤中被发现、分离获得的并实现人工保藏和培养的一群陆生藻品种，属于藻类生物的稀有物种。

极地藻（北京）生物科技有限公司研发团队通过查阅资料、请教专家、艰苦研发、近万次科学实验，根据藻类生物学、生态学、基因学原理反复组合测试，准确掌握了沙漠藻这一特殊生物物种的特性。即：超强的环境适应性与繁殖能力；依赖红外光的特殊光合作用；卓越的保水与释水功能。同时，针对荒漠、沙漠、盐碱地、板结土壤、污染土壤、酸化土壤、低产农田等劣质土壤在改良修复、微生态恢复、作物提质增产等领域展开了开展了数百次实地试验。在此基础上，取得了突破性创新成果和广泛应用的可喜成效^[2]。

4.2 沙漠藻盐碱地改良技术 – 五大机制协同靶向解决盐碱地四大核心问题

以沙漠藻菌协同作用为生物核心，靶向解决盐碱地“土壤结构差（土壤板结、保水保肥弱）、盐碱胁迫高（高盐高碱抑制生物活性）、养分匮乏（有机质 / 氮磷缺）、生态脆弱（植被难存活）”四大核心问题。

沙漠藻盐碱地改良技术以独特的沙漠藻菌复合体系为生物核心，通过以下五大机制，系统性地逆转盐碱地退化进程，最终实现土壤健康与生态生产力的恢复。

机制一、靶向协同调节土壤 pH，解决“盐碱胁迫高”问题：利用特定藻菌的生理代谢活动，直接干预土壤酸碱平衡。部分功能沙漠藻菌能够代谢产生有机酸，藻细胞呼吸作用释放的 CO₂ 溶于水形成碳酸，共同有效中和土壤中的 OH⁻ 离子，渐进式降低土壤 pH 值。同时，藻菌分泌物能促进土壤胶体上的 Na⁺ 与溶液中的 H⁺、Ca²⁺ 进行交换，从而降低钠碱化度，减轻碱害。创造出一个盐碱胁迫显著降低的根际微环境，为生物活性恢复和植物生长打开突破口。

机制二、靶向改善“土壤结构差”问题：通过耐盐碱藻菌的生物方式重塑土壤团聚体。沙漠藻菌分泌的胞外多糖（EPS）等粘性物质，像“天然生物胶”一样将分散的土壤颗粒粘结起来，形成水稳性团聚体。藻类菌丝体和微生物菌丝在土壤中交错生长，形成“生物网”，深度固结表层土壤，有效防止板结。土壤变得疏松多孔，透气性、保水性和保肥能力得到根本性改善，为根系生长奠定物理基础。

机制三、协同解决盐碱地“养分匮乏”问题：在土壤建立一个原位、自持续的“微型沙漠藻菌生物肥料厂”。其中，固氮沙漠藻能将空气中植物无法利用的氮气（N₂）直接转化为氨态氮，源源不断地注入土壤氮库。固碳藻通过光合作用固定 CO₂，其生物体和代谢产物是土壤有机质的重要来源。部分功能藻菌分泌物能溶解土壤中被固定的磷、钾矿

物质，将其转化为植物可吸收的有效形态。全面提升土壤肥力，自然而低成本地解决了氮、磷、钾及有机质匮乏的核心难题。

机制四、靶向恢复盐碱地“脆弱微生态”环境：以藻菌为“先锋物种”和“生态系统工程师”，启动土壤微生态网络。耐盐碱的沙漠藻菌的成功定殖，为贫瘠的土壤引入了最初的生命与能量。它们分泌的养分和创造的微环境，能吸引并滋养更多样的有益微生物（如解磷菌、生防菌、纤维素分解菌等）前来“安家落户”。快速恢复土壤微生物的多样性与活性，构建起稳定、互益的微生态系统，这是土壤健康并能自我维持的根本标志。

机制五、靶向提高作物抗逆能力：通过生物刺激与微环境优化，赋能植物健康成长。藻菌代谢产生的植物激素（如生长素、细胞分裂素）和多糖类物质，能激活植物的免疫系统，系统性地提升其对于旱、盐碱、病害的耐受能力。在植物根周形成的“藻菌保护层”，能缓冲盐碱冲击，并帮助植物更高效地吸收水分和养分。在逆境中，作物表现出更强的成活率、更好的长势和更高的产量，确保了盐碱地改良的最终农业产出价值。

5 千亩示范基地 – 夯实盐碱地综合利用国家战略的沙漠藻力量

2020 年以来，极地藻科研团队在大力开展治理沙漠、荒漠示范基地建设的同时，集中力量投入盐碱地治理的科研攻关。陆续在新疆喀什莎车县玉米和油莎豆种植区、新疆石河子棉花农场、新疆托克逊库米什棉花种植地等地进行了 5000 多亩的试验示范，取得了可喜的成效。

2023 年 5 月 12 日，习近平总书记在河北沧州考察了黄骅市旧城镇仙庄片区旱碱地麦田，了解盐碱地整治、旱碱麦种植推广及产业化情况。总书记指出，盐碱地综合利用是一个战略问题，必须摆上重要位置^[3]。

2023 年 7 月 20 日，习近平总书记在二十届中央财经委员会第二次会议上习近平总书记强调：“山东东营、河北沧州是滨海盐碱地的典型区域。开展盐碱地综合利用对保障国家粮食安全、端牢中国饭碗具有重要战略意义”。

2023 年 8 月，河北省委省政府以强烈的使命担当、改革创新精神，把治理盐碱地的论文，落实习近平总书记有关盐碱地综合改造利用的嘱托，立即成立“河北沧州黄骅市沙漠藻生物盐碱地改良示范项目”工作小组，省科技厅专题立项，省科学院牵头、组成示范实验基地团队，邀请“中国藻类泰斗”中科院微生物所魏江春院士为首席专家，由极地藻（北京）生物科技有限公司负责技术支撑与实施，省科学院生物所负责检测分析、验收，省供销社沧州分社负责盐碱耕地的落实和规划、河北现代农业科技有限公司负责田间管理。

示范基地基本情况及其规划：河北沧州沙漠藻生物盐

碱地治理 1000 亩示范基地坐落于河北省沧州市渤海新区黄骅市后仙庄村,属于典型的滨海盐碱地。2023 年 10 月,调研考察黄骅市后仙庄村的中、重度二类盐碱地,采集土样、周边水样,测定土壤物理化学性质。根据考察与检测结果将基地分两块地,总面积 1055 亩,其中试验处理区 800 亩(中度试验区 465 亩、重度试验区 335 亩),对照区 225 亩(中度对照区 185 亩、重度对照区 40 亩),共设立 48 个试验小区。对每个试验小区进行单独编号,建立详细的试验档案,记录土壤基础数据、菌藻施用情况、作物种植与生长数据等^[4]。

试验示范流程:

第一步、土壤和水样品采集与分析:试验组设立土壤样品采集点 30 个,每个点以 0-10cm 和 10-30cm 深度分别取样并检测。对照组设立土壤样品采样点 18 个,每个采样点以 0-10cm 和 10-30cm 深度分别取样并检测。根据检测结果,试验区 and 对照区进行分类。

第二步、喷洒与沙漠藻的定植:在试验区(组)土壤表层喷洒沙漠藻盐碱地改良剂(沙漠藻菌活细胞),以每亩 10kg 标准,稀释 100 倍后用高架车进行表面均匀喷洒,对照区(组)喷洒等量水。

第三步、耕地深耕与沙漠藻吸-阻层的形成:改良剂喷洒完成后进行耕地深耕,深耕深度 25-30cm。深耕目的在于保证耕地表面喷洒的改良剂均匀深入到土壤 25-30cm 深处,助力形成沙漠藻吸盐、阻盐层,有效防止滨海盐碱地土壤深层盐分反弹到耕作层。

第四步、播种冬小麦:利用农用旋耕机进行旋耕,旋耕深度 10-15cm,旋耕的同时进行冬小麦播种。播种时将基肥随着旋耕施入 10cm 深处,冬小麦种子播种 3-5cm 深处。对照区以同样操作进行播种^[5]。

第五步、生根与促生-沙漠藻增效剂施用:冬小麦越冬返青后,苗子高度 10cm 时(苗期),灌根沙漠藻生物增效剂助力麦苗生根促生。以每亩 2.5kg 标准,稀释 200 倍后,用高架车进行均匀喷洒灌根,对照区进行等量喷洒水。

第六步、抗逆增产-增效剂第二次喷洒:随着冬小麦进入生长期时,再次喷洒沙漠藻增效剂,以每亩 2.5kg 标准,稀释 200 倍后,用高架车进行均匀喷洒,对照区进行等量喷洒水。

6 沙漠藻技术在沧州盐碱地实现“小生物解决大问题”

盐碱地 pH 值与盐分含量急剧下降:采集小麦收获期土壤样品,沙漠藻改良剂和增效剂对不同盐碱地土壤化学性质影响如表 1 所示,施用沙漠藻改良剂和增效剂可显著降低土壤 pH 值和水溶性盐分含量。其中中盐处理组 pH 值和水溶性盐分含量分别降低 7.73% 和 88.68%;高盐处理组 pH 值和水溶性盐分含量分别降低 4.69% 和 57.64%。处理组水解氮含量均显著提高,其中高盐处理组提高 149.96%,低盐处理组提高 66.50%。土壤有机质含量高盐处理组提高 110.57%,低盐处理组提高 97.91%,中盐处理组提高 72.19%。

对小麦收获期大田土壤理化指标的监测结果表明(表 2),喷施沙漠藻改良剂以后,土壤 pH 下降了 0.55,水溶性盐,有效磷,氧离子和硫酸根离子分别下降了 87.50%, 34.37%, 85.61% 和 55.49%。水解性氮,速效钾和有机质分别提高了 45.43%, 61.98% 和 88.20%。研究结果说明微藻喷施能够降低土壤 pH 和土壤盐分,并且增加土壤中植物可利用的氮和钾的含量。有效磷、氧离子和硫酸根离子的下降可能说明植物和土壤微生物对这些元素的利用较为快速。

根基土壤得到惊人的脱盐效果:对小麦根际土壤的理化性质测定结果显示(表 3),小麦根系土壤与大田土壤的理化性质差异较大,其中可溶性盐和水解性氮含量较低,pH 和有机质含量差异较小。这与小麦根际分泌物及其所招募的土壤微生物差异有关。通过微藻施用,根际土壤中 pH、水解性氮和水溶性盐的差异较小,而对电导率与水溶性盐的降低作用较为明显。这说明微藻能够有效降低根际土壤中盐的含量。

盐碱地旱碱麦长势超出预期:测试随机选取 30 株小麦测量其主根长、主根数、须根数、根重、株高、分蘖数、穗数、穗重、穗粒重、穗粒数和地上生物量指标。试验结果表明:喷施沙漠藻对小麦地下部分的生长以及株高、分蘖数、穗数的增加幅度不显著,但是其显著增加了 43.90% 的小麦穗重,45.01% 的粒重,34.98% 的粒数和 33.36% 地上生物量。这些指标的增加为小麦亩产量的增加奠定了基础。

表 1: 沙漠藻改良剂和增效剂对盐碱地土壤改良指标检测数据

不同土壤	pH 值	水溶性盐分 (g/kg)	水解性氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	有机质 (g/kg)	氧离子 (g/kg)	硫酸根 (g/kg)
中盐处理组	8.87	5.83	74.97	7.14	96.00	16.22	0.08	0.24
中盐对照组	8.53	7.33	57.50	2.66	95.00	9.42	0.76	0.04
高盐处理组	8.12	4.63	150.80	5.21	95.67	17.33	0.59	1.84
高盐对照组	8.52	10.93	60.33	7.92	88.00	8.23	1.41	4.50

表 2: 小麦收获期大田土壤理化指标检测结果及其相差分析

组别	pH	水溶性盐 (g/kg)	水解性氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	有机质 (g/kg)	氧离子 (g/kg)	硫酸根 (g/kg)
对照	8.52 ± 0.08	4.00 ± 0.78	51.37 ± 2.91	6.67 ± 5.39	87.67 ± 18.58	9.42 ± 0.71	0.33 ± 0.06	0.06 ± 0.06
处理	7.96 ± 0.15**	0.50 ± 0.00**	74.70 ± 5.88**	4.38 ± 0.66	142.00 ± 35.68	17.74 ± 1.79**	0.05 ± 0.02**	0.27 ± 0.00
变化	-0.55	-87.50%	45.43%	-34.37%	61.98%	88.20%	-85.61%	-55.49%

表 3: 小麦收获期根际土壤理化指标检测数据

组别	pH	EC	水溶性盐 (g/kg)	水解性氮 (mg/kg)	有机质 (g/kg)
对照	8.25	0.22	0.69	0.83	13.52
处理	8.27	0.16	0.49	0.86	12.82
变化	0.02	-27.27%	-28.99%	9.33%	-5.22%

表 4: 小麦收获期植株生物量和产量变化

组别	主根长/cm	主根数/个	须根数/个	根重/g	株高/cm	分蘖数/个
对照	14.33 ± 3.43	1 ± 0	19.69 ± 5.39	0.19 ± 0.13	60.31 ± 5.73	1.78 ± 0.82
处理	14.28 ± 3.27	1 ± 0	19.78 ± 6.52	0.18 ± 0.21	60.40 ± 6.43	2.04 ± 0.98
变化	-0.39%	0	0.45%	-5.98%	0.15%	15.00%
组别	穗数/个	穗重/g	穗粒重/g	穗粒数/个	地上生物量/g	
对照	1.76 ± 0.83	2.04 ± 0.83	1.52 ± 0.58	38.18 ± 15.82	3.05 ± 1.17	
处理	2.04 ± 0.98	2.94 ± 1.46**	2.20 ± 1.09***	51.53 ± 23.46**	4.07 ± 2.24**	
变化	16.46%	43.90%	45.01%	34.98%	33.36%	

从表 4 可以看出, 喷施微藻对小麦地下部分的生长以及株高、分蘖数、穗数的增加幅度不显著, 但是其显著增加了 43.90% 的小麦穗重, 45.01% 的粒重, 34.98% 的粒数和 33.36% 地上生物量。这些指标的增加为小麦亩产量的增加奠定了基础。

盐碱地旱碱麦产量“突飞猛进”: 2024 年 6 月 7 日对小麦产量进行现场测产。首先选取处理区和对照区有代表性的田块, 利用谷王 100plus 小麦联合收割机将选取地块收割后测量检测地块面积; 收割完成通过地秤称重, 卸粮后称重空车重量, 使用天津瞭望 DS-1G 粮食水分检测仪对收割后的小麦含水率进行检测, 根据小麦实收重量, 实收面积和小麦现场检测含水率数值折合成国家标准小麦含水量 13% 计算亩产量。

测产对照区共 3.07 亩, 小麦总产量为 404 公斤, 含水率为 15.3%, 折合国标含水率小麦总产量 394.7 公斤, 亩产量 128.6 公斤。处理区测产 2.89 亩, 总产量 522 公斤, 含水率为 15.7%, 折合国标含水量小麦总产量 517.9 公斤,

亩产 179.2 公斤。沙漠微藻喷施处理区较对照区亩增产 39.35%^[6]。

强力激活根际土壤微生物群落: 拔取小麦后轻轻抖落小麦根际附着的较大土块与松散的根围土壤。使用无菌毛刷将小麦根际土壤刷至无菌平皿内, 取部分土壤样品送至上海派森诺生物科技股份有限公司进行总 DNA 提取与微生物测序, 真菌测序选用真菌通用测序 ITS V1 区, 引物为 ITS5 F:5' -GGAAGTAAAAGTCGTAACAAGG 和 ITS2 R:GCTGCGTTCTTCATCGATGC-3'; 细菌测序选用细菌通用测序 16S rDNA V3-V4 区, 引物为 338F:5' -barcode+ACTCCTACGGGAGGCAGCA-3' 和 806R:5' -GGACTACHVGGGTWTCTAAT-3'。测序结果使用派森诺基因云平台进行分析和绘图。

研究表明, 喷施沙漠微藻对盐碱地种植的小麦根际土壤真菌与细菌的 Alpha 多样性影响不显著 ($P > 0.05$), 说明微藻喷施没有改变土壤微生物的物种丰富度与均匀度。但是微藻喷施对根际微生物的 Beta 多样性影响显著 (图 2),

小麦根际土壤的真菌和细菌群落结构在喷施沙漠微藻后出现明显差异。这可能与沙漠微藻代谢产物于微藻与特定真菌或细菌之间的相互作用导致根际土壤微生物的群落结构出现差异。

通过 LEfSe 对喷施微藻前后小麦根际土壤真菌和细菌差异物种进行分析。细菌和真菌差异物种不仅标记门水平，在纲、目等水平上的细菌和真菌微生物菌群也存在差异（图 3）。被孢霉门（Mortierellomycota）及其中所包含的真菌，盘菌纲（Pezizomycotina_cls_Incertae_sedis）及其中所包含的真菌，肉座菌目（Hypocreales）及其中所包含的真菌等出现显著性差异。其中被孢霉门和肉座菌目真菌在对照组中起

主要作用显著富集，而喷施微藻之后，盘菌纲真菌则显著富集^[7]。

分析小麦根际土壤中细菌物种差异发现，厚壁菌门（Firmicutes），黏菌门（Myxococcota），NB1_j 菌门，Gamma 变形菌纲（Gammaproteobacteria），酸微菌纲（Acidimicrobiia），MB_A2_108 纲，蓝藻（Cyanobacteria）纲出现显著性差异。其中厚壁菌门，NB1_j 门，酸微菌纲，MB_A2_108 纲在对照组土壤中显著富集；而在喷施微藻后的处理组土壤中，黏菌门，Gamma 变形菌纲和蓝藻纲细菌显著富集（图 4）。

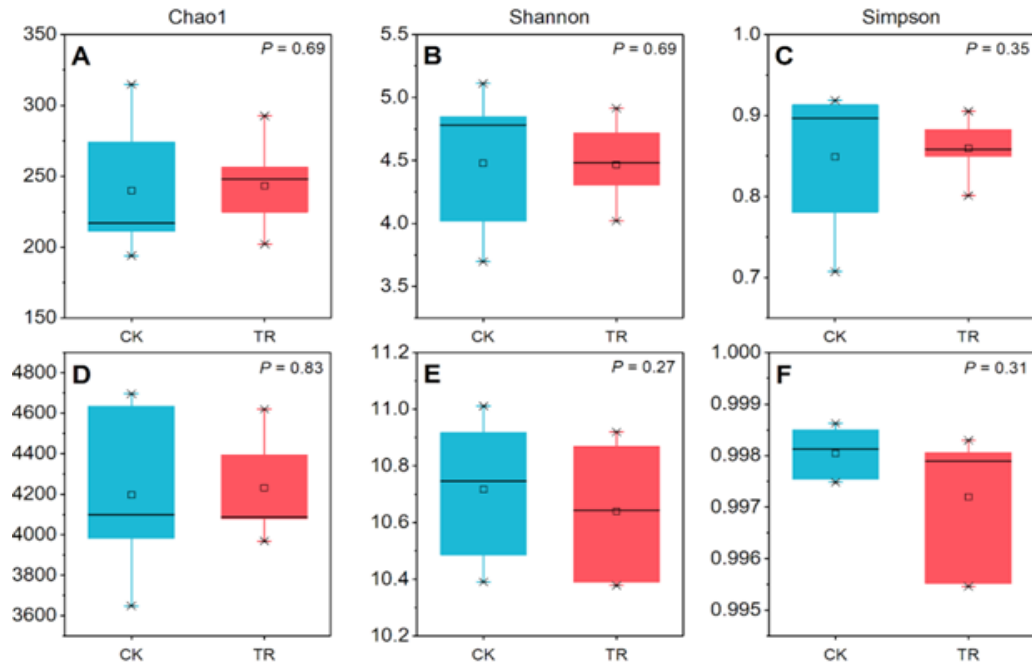


图 1：小麦根际土壤微生物 Alpha 多样性

A/B/C：为真菌多样性；D/E/F：为细菌多样性

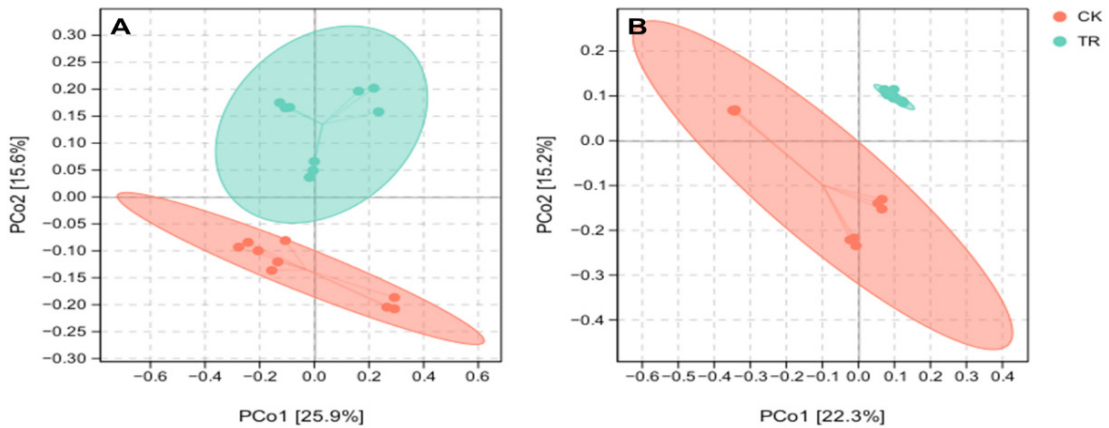


图 2：小麦根际土壤微生物 Beta 多样性

A：为真菌多样性；B：为细菌多样性

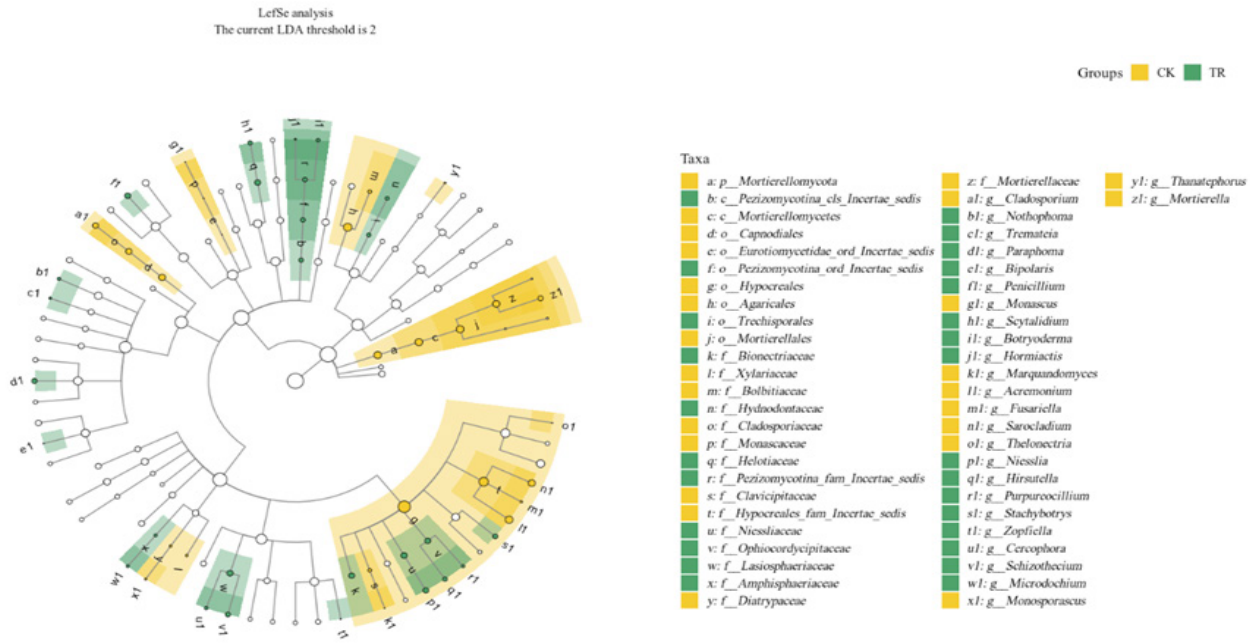


图 3: 喷施沙漠藻前后, 小麦根际土壤中真菌 LefSe 分支图分析

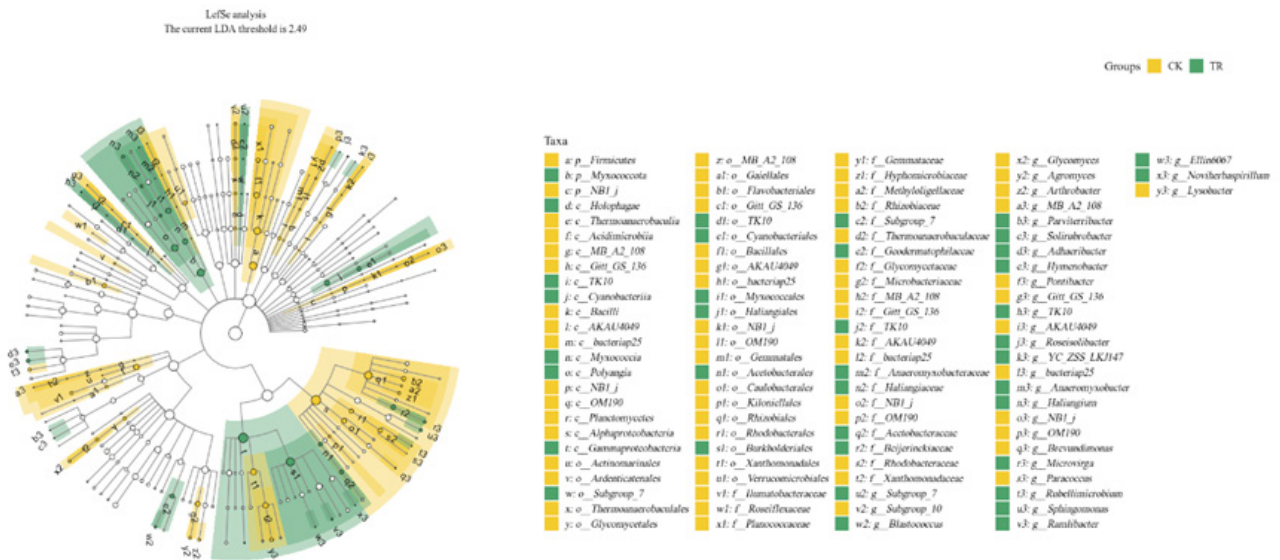


图 4: 小麦根际土壤中细菌 LefSe 分支图分析

盐碱地从“废地”变为“宝地”：经测定，与对照组相比，旱碱麦次生根数量增加 41.6%，分蘖数增加 14.29%，穗粒数增加 13.68%。2024 年 6 月 7 日实收测产，试验区（中、重度盐碱地）测产平均 179.2 公斤 / 测试单元，对照区（中度盐碱地）则收平均 128.6 公斤 / 测试单元，增收 39.4%^[8]。

7 总结

本报告针对沧州市盐碱地和盐碱化成因，以极端环境微藻资源为研究对象，以活体微藻细胞放氧、降低电导率、降低可交换性钠离子，加大水力传导率及土壤孔隙度，提高总有机碳，增加土壤有机质含量，改善土壤结构为研究内容，以微藻次生代谢产物增加土壤有益微生物的繁殖而改善土

壤生态环境为研究目标，进行微藻制剂配比与土壤指标变化的关联性分析，指导土壤改良，实现微藻盐碱地改良关键技术成果转化，为盐碱地改良提供可产业化的新方案。

不同于大量使用化学改良剂或依赖大型水利工程，沙漠藻盐碱地治理技术是一种基于自然的过程。它旨在恢复土壤自身的健康与活力，一旦成功定殖，其改良效果可以自我延续。大规模培养沙漠藻可以利用盐碱水、荒漠土地等非传统资源，不与人争粮、不与地争肥。此外，某些藻株还能积累油脂或有价值的胞外产物，未来可能通过“藻基产业”反哺治理成本，实现生态与经济效益双赢。

沙漠藻技术并非要取代传统方法，而是与之强强联合。例如，水利措施可以为藻类落户创造初始的水分条件；沙漠

藻改良后的土壤结构又能进一步提高水利淋盐的效率；它与耐盐植物搭配，能形成“藻-草”协同的更稳固生态系统。

综上，沙漠菌藻盐碱地治理是以菌藻协同为生物驱动，通过精准诊断、适配筛选、高效扩繁、环境调控、植被联合、长期监测六大环节，实现从“土壤改良”到“植被种植”的递进式目标，最终构建可持续的盐碱地生态系统。

参考文献

- [1] 《全球土壤现状：盐碱化与可持续管理》，联合国粮农组织（FAO），2024.
- [2] 宇振荣,王建武.中国土地盐碱化及其防治对策研究[J].生态与农村环境学报, 1997, 13(003):1-5.
- [3] 赵耕毛, 杨梦圆, 陈硕, 等.我国盐碱地治理: 现状、问题与展望 [J]. 新浪财经, 2024.
- [4] 郭卫华,王洪波,崔晓玮,等.盐碱地绿色低碳治理与高值长效利用关键技术开发及应用[J].中国科技成果, 2023, 24(12):57-57.
- [5] 王正祥.滨海盐碱地绿化土壤改良技术[M].天津科技翻译出版公司,2011.
- [6] 武迎飞 薛美玲 魏文硕.盐碱地治理技术探索研究[J].现代盐化工, 2025(1).
- [7] 张翠英.盐碱地治理技术要点及应用[J].现代农村科技, 2022(005):000.
- [8] 丁晓云, 挖掘盐碱地改造利用潜力; 经济日报; 2024-11-24.