

上海市某区域复垦耕地质量评价及改良建议

刘书畅

上海建工环境科技有限公司，上海

收稿日期：2025年5月14日；录用日期：2025年8月18日；发布日期：2025年9月15日

摘 要

土地复垦是实现耕地资源管理和持续利用的重要手段，耕地安全利用对农产品产地保护和食品安全具有重要意义。本文以上海市某区域复垦耕地为研究对象，对复垦土地土壤理化性质、肥力状况及污染状况进行综合评价，并针对性给予土壤改良建议。结果表明，研究区域复垦地块的土壤养分含量较低，总磷和全钾含量严重缺乏，难以满足作物生长发育需求；重金属污染风险较低，基本处于无污染状态，但地块的碱度较高，存在盐渍化风险；各地块的养分含量存在差异，需通过精准测定、配方施肥，调节水肥平衡，改善养分短板，因地制宜优化灌溉方式，预防盐渍化，在提升地力的同时，采用种养结合、使用生物菌剂等方式，差异化防控污染。

关键词

土地复垦，土壤改良，质量评价，土壤污染，上海市

Comprehensive Evaluation and Amelioration Strategies for Reclaimed Cultivated Land Quality in a District of Shanghai

Shuchang Liu

Construction Environmental Technology Co., Ltd., Shanghai

Received: May 14th, 2025; accepted: Aug. 18th, 2025; published: Sep. 15th, 2025

Abstract

Land reclamation serves as a critical approach for cultivated land resource management and sustainable utilization, while safe utilization of arable land holds significant implications for protecting agricultural product origins and ensuring food safety. This study focuses on reclaimed cultivated land in a district of Shanghai, conducting a comprehensive evaluation of soil physicochemical properties,

fertility status, and contamination levels, with corresponding soil improvement recommendations proposed. The findings demonstrate that the reclaimed plots exhibit insufficient soil nutrient content, with severe deficiencies in total phosphorus and total potassium that fail to meet crop growth and development requirements. Although heavy metal contamination risk remains low, maintaining an essentially pollution-free status, three plots exhibited elevated alkalinity indicating potential salinization hazards. Significant spatial heterogeneity in nutrient distribution across plots necessitates the implementation of precise measurement and formulated fertilization to regulate water-fertilizer equilibrium and address nutrient deficiencies. Region-specific irrigation optimization should be adopted to mitigate salinization risks. Concurrently with soil fertility enhancement, integrated cropping and cultivation practices combined with microbial inoculants application are recommended to establish differentiated pollution prevention strategies. This multipronged approach aims to achieve coordinated improvement of soil productivity and environmental security in reclaimed lands.

Keywords

Land Reclamation, Soil Improvement, Quality Evaluation, Soil Contamination, Shanghai

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来,随着后工业化发展深入,城市更新和土地利用存在诸多问题,建筑用地、工业用地规模接近极限,土地供需矛盾突出,大量土地因采矿、工程建设等原因遭到侵占破坏,土地复垦成为恢复土地生态功能,提高土地利用价值的重要途径[1]。目前我国已经制定了包含农业生产基本调节符合性和耕地地力的补充耕地质量评估体系。各地也相继出台相应实施措施,明确复垦各阶段规范。江苏省特别明确15类土壤重金属污染防治行业腾退地块不纳入调查,并对调查地块进行三级分类[2];上海市从2014年开始陆续开展低效建设用地减量化工作,对复垦土层厚度和监测指标进行规定,形成“立项-减量化复垦工程-土壤监测-验收-长期管理”的全生命周期复垦耕地整治流程[3]。现有的研究及实例表明,复垦土地历史上可能受到工业企业污染,存在土壤重金属超标、地力下降等系列问题,对后续农业生产活动和农产品安全造成潜在风险。以北京、上海为代表的特大型城市土地资源紧缺性突出,工业企业和人口密集,严重影响土壤质量,难以发挥复垦土地生态效力[4]。对复垦耕地进行科学的性能评价,并采取有效的改良措施,对于实现土地资源的可持续利用具有重要意义。

本研究以上海某区建设用地复垦土地为研究对象,测定土壤的pH值、重金属污染物、主要养分元素含量,并给出土壤改良和质量监测的建议。

2. 研究区域概况

研究对象位于上海市某区,共涉及3个地块,面积分别为A地块(6835 m²)、B地块(4677 m²)和C地块(3451 m²)。项目区地貌类型为滨海冲积平原,总体地势西南高东北低,高程在2.8~4.1 m之间,平均为3.86 m。

A地块历史上为果园(种植梨树)和停车场;B地块历史上主要为农田、停车场;C地块历史上曾用作临时停车场、废品回收和建材仓库。其中A和B地块紧邻,两个地块东侧存在钢材堆场,紧邻南侧为河

道；C 地块紧邻北侧为石料加工厂，西侧存在废弃物回收站，距离水源地较远。

三个地块均受到不同程度破坏，地块复垦目标是恢复为耕地，于 2023 年和 2024 年左右完成复垦。通过人员走访及踏勘了解该区域内未发生过有毒有害物质储存和使用。

3. 评价方法

根据《上海市补充耕地质量验收评定工作实施细则(试行)》《上海市补充耕地质量验收评定技术规范(试行)》等有关要求，本次复垦土壤调查工作分为土壤质量评价和土壤污染评价。

3.1. 土壤质量评价方法

土壤质量调查主要通过现场踏勘对主要土壤类型、田面坡度、砾石含量、耕作层厚度和≥10 mm 以上土壤入侵体比例进行记录，并取样测定所有土壤样品的 pH 值、有机质、全氮、碱解氮、全磷、有效磷、全钾和速效钾等指标进行检测。

复垦地块表层(0~20 cm)主要养分含量评价根据第二次全国土壤普查土壤肥力分级标准(表 1) [5]。

Table 1. Classification standards of soil nutrients
表 1. 土壤养分分级标准

项目 级别含量	有机质 g/kg	全氮 g/kg	碱解氮 mg/kg	全磷 g/kg	有效磷 mg/kg	全钾 %	速效钾 mg/kg
1	>40	>2	>150	>1	>40	>25	>200
2	30~40	1.5~2	120~150	0.8~1	20~40	20~25	150~200
3	20~30	1~1.5	90~120	0.6~0.8	10~20	15~20	100~150
4	10~20	0.75~1	60~90	0.4~0.6	5~10	10~15	50~100
5	6~10	0.5~0.75	30~60	0.2~0.4	3~5	5~10	30~50
6	<6	<0.5	<30	<0.2	<3	<5	<30

3.2. 土壤环境污染评价方法

土壤环境污染评价依据《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 15618-2018) [6]相关规定，选择 pH、镉、汞、砷、铅、铬、铜、镍、锌、六六六总量、滴滴涕总量以及苯并[a]芘进行检测(表 2)，采用单因素指标法进行计算，见式(1)。

$$P_i = \frac{C_i}{S_i} \tag{1}$$

式(1)中： P_i 表示 i 污染物质量指数； C_i 表示 i 污染物浓度，mg/kg； S_i 表示 i 污染物风险筛选值，mg/kg。 $P_i \leq 1$ ，说明该项污染物未超标； $P_i > 1$ ，则说明该项污染物超标。

3.3. 布点方案

按照单个评价单元小于 10 亩的，选取 2 个剖面样点；大于 10 亩小于 50 亩的，选取 3 个剖面样点；大于 50 亩的，每增加 30 亩，增加 1 个剖面样点。A、B、C 地块均设置 2 个剖面点，另按照同样密度布设 2 个表层采样点。

各个地块采样分 3 个层次，即：表层(0~20 cm)、中层(40 cm~60 cm)、底层(80 cm 以下)，分别取样测定环境污染物；各地块以相同密度采集表层(0~20 cm)土壤混合样品，采用四分法弃去多余部分，每个样

不少于 1 kg。采样数量详见表 2。

Table 2. Area of project plots and the quantity of sampling points
表 2. 项目地块面积及采样点数量

地块编号	面积(m ²)	监测点数(剖面点数量)	样品数量
A 地块	6835	3	10 个剖面样(含 1 个平行样)+ 3 个表层混合样
B 地块	4677	2	7 个剖面样(含 1 个平行样)+ 2 个表层混合样
C 地块	3451	2	7 个剖面样(含 1 个平行样)+ 2 个表层混合样
总计		7	31

3.4. 数据处理

数据采用 Origin 2024 和 SPSS 进行描述统计, 采用 ArcGIS 10.8 对土壤采样点土壤养分含量空间分布作图。

4. 结果与分析

4.1. 土壤质量

4.1.1. 土壤质地

本研究采用观察和简单判定的方法, 通过手加水揉捏和肉眼观察方式, 判定三个地块的主要土壤类型均为黄棕壤土; 根据不同地块剖面构型可以发现(图 1), A 地块耕作层呈灰棕色至棕黄色, 为较为紧实的块状结构, 稍湿, 厚度约为 15~20 cm, B 地块与 A 地块相比, 耕作层更为松散, 呈现灰棕色; C 地块耕作层厚度为 18~20 cm, 呈现深棕色至棕色, 剖面较为松散, 土壤保水性。

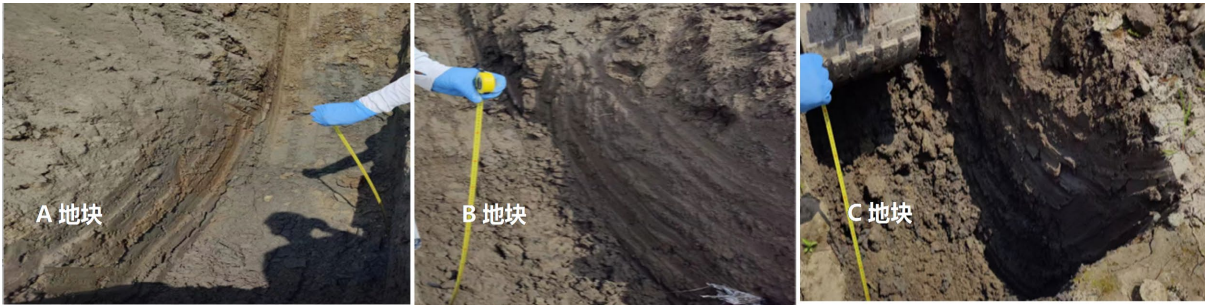


Figure 1. Soil Section diagrams of each plot
图 1. 各地块土壤剖面图

三个地块的田面坡度均低于 3°, 地块内砾石含量小于 12%, ≥10 mm 以上土壤入侵体比例为 10%~15%, 基本符合农业生产的基本条件。

4.1.2. 土壤养分含量

土壤养分含量是衡量复垦耕地耕作质量的重要标准, 各项检测情况见表 3, 土壤养分分级情况见图 2。三个地块历史均为水田, 其 pH 值平均值介于 8.01~8.28, 变异系数为 1.77%, 为低变异, 说明各地块 pH 值变化较小, 整体呈现弱碱性环境, 其中 C 地块的土壤 pH 值最大为 8.26。

对比三个地块营养素分布, 土壤有机质含量为 7.67~12.05 g·kg⁻¹, 变异程度中等, 远低于全市平均水

平 $29.60 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，均处于中下水平。全氮和碱解氮的变幅分别为 $0.59\sim 0.82 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $69.95\sim 103.95 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，均为中等程度变异，其中 C 地块全氮含量最大，但仅为全市平均值的 44.10% 。有效磷的为高变异(88.07%)，变化范围为 $1.46\sim 9.83 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，三个地块有效磷分布存在较明显差异，C 地块的有效磷含量最高，A 地块有效磷含量最低，有效磷含量远低于全市平均水平；总磷 $0.14\sim 0.16 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，为低等变异，三个地块的差异不大。全钾和速效钾含量范围为 $6.44\%\sim 8.52\%$ 和 $52.53\sim 91.75 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，均为中等变异强度，速效钾仅为全市平均水平的 33.3% ，说明大部分土壤钾肥含量较为匮乏。

Table 3. Statistics of basic physical and chemical properties of cultivated land quality
表 3. 耕地质量基本理化性质统计

地块名称	pH	总磷/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	有效磷/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	全氮/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	碱解氮/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	全钾/%	速效钾/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	有机质含量/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$
A 地块	8.06	0.14	1.46	0.60	94.47	8.52	52.53	7.67
B 地块	8.01	0.16	3.55	0.59	103.95	6.44	87.35	9.62
C 地块	8.28	0.16	9.83	0.82	69.95	8.91	91.75	12.05
平均值	8.12	0.15	4.95	0.67	89.46	7.96	77.21	9.78
标准差	0.14	0.01	4.36	0.13	17.55	1.33	21.49	2.19
变异系数/CV%	1.77	6.67	88.07	19.40	19.61	16.69	27.83	22.44
全市平均值[7]	7.20	/	58.40	1.85	/	/	183.90	29.60

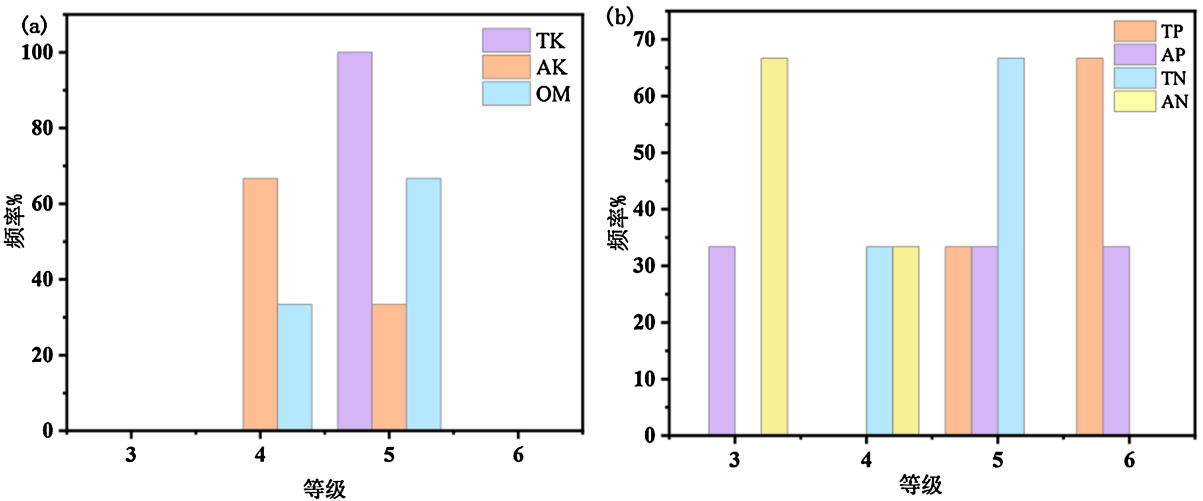


Figure 2. Frequency diagram of the classification of reclaimed soil nutrients
图 2. 复垦土壤养分分级频率图

综合三个地块的营养素分级见图 2。有机质和全氮含量主要分布在 4 级和 5 级(图 2(a))，碱解氮含量主要分布于 3 级和 4 级。总磷主要为 5 级和 6 级标准，有效磷中 67.7% 的含量在 5 级标准以下。全钾含量为集中分布于 5 级，速效钾均位于 4 级及以下水平。

基于 ArcGIS 模拟的三个区域土壤养分空间分布结果显示(图 3)，A 地块与 B 地块相邻，C 地块则与 A、B 地块相隔。除总钾(图 3(e))和全氮(图 3(c))外，A、B 地块的土壤养分(总磷、有效磷、速效钾、碱解氮、有机质)均呈现西南部高、东北部低的分布趋势。C 地块的养分状况整体优于 A、B 地块，但速效氮(图 3(d))略低。总磷、有效磷与速效钾(图 3(a)、图 3(f))的高值区集中于 B 地块西南部和 C 地块东部，低

值区则分布于 A 地块东部和 C 地块西南部。总氮(图 3(c))与全钾(图 3(e))的高值区分别位于 B 地块东南部和 C 地块东部; 碱解氮(图 3(d))在 B 地块西南部含量较高, 而 C 地块的高值区位于北部。有机质的高含量区域主要分布在 B 地块东南部和 C 地块南部, A 地块有机质普遍较低, 大部分区域处于缺乏状态, 难以满足作物生长发育需求。

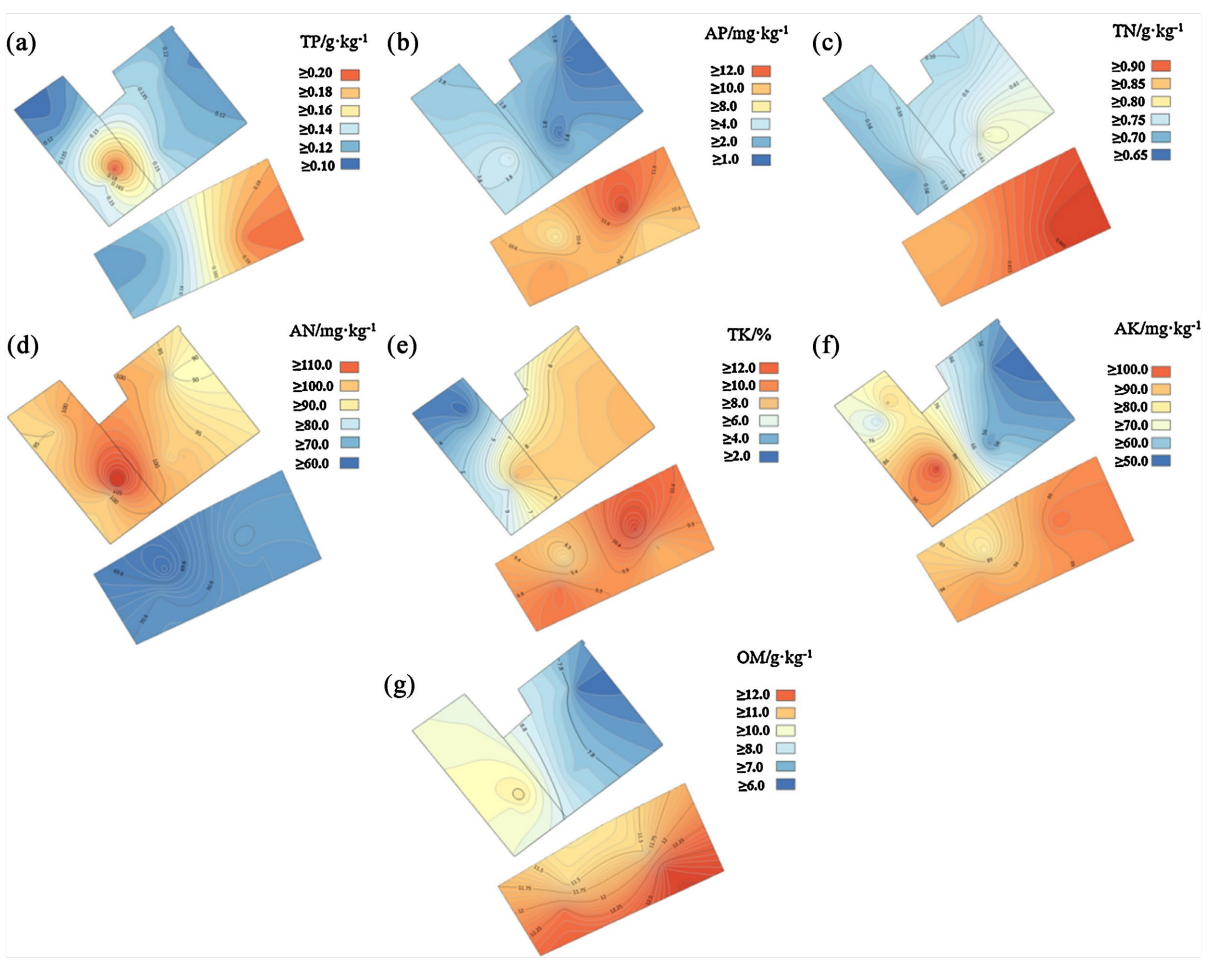


Figure 3. Spatial distribution map of reclaimed soil nutrients
图 3. 复垦土壤养分空间分布图

4.1.3. 养分限制因素成因分析

复垦土壤肥力受质地、养分含量及人类活动等多重影响, 复垦土壤多为外来填土, 因此其理化性质的变异程度较大, 空间分布和含量存在差异。

土壤有机质含量受土壤质地和 pH 值影响较大。A 和 B 地块的耕作层机械组成较 C 地块更为紧密, 整体透气性和透水性较差, 部分区域耕作层底部为粘粉土, 不利于作物根系下扎和土壤微生物的生存。加之当土壤 pH 值高于 8 时会限制纤维素酶分解菌活性[8], 造成微生物菌群失衡, 土壤有机质含量明显低于 C 地块。土壤微生物尤其是固氮菌是影响土壤中氮素的重要因素, C 地块土壤透气性最佳, 因此全氮含量最高。氮磷含量通常呈现正相关性, 土壤中氮素的溶解会协同释放磷, 土壤中有机质含量高会进一步加强生物分解释放有效磷, C 地块的有机质和全氮的含量最高, 一定程度上促进了有效磷的释放[9]。土壤 pH 值偏高同样会影响钾的含量, 降低速效钾的活性[3]。

4.2. 土壤环境污染评价

项目区土地利用类型为水田，对应表 2 中“水田”的土壤风险筛选值，计算单因素土壤污染结果见图 4。六六六总量、滴滴涕总量和苯并[a]芘在所有样品中均未检出。三个地块污染的重金属单因子污染指数以平均数计，具体表现为 $P_{As} (0.92) > P_{Zn} (0.83) > P_{Cu} (0.46) > P_{Cd} (0.40) > P_{Pb} (0.26) > P_{Cr} (0.23) > P_{Ni} (0.22) > P_{Hg} (0.11)$ ，所有单因素重金属指标标准指数均小于 1，三块复垦耕地基本处于无污染状态[9]。分地块来看，C 地块的各项单因素污染指标 P_i 值均高于其他两个地块，其中砷的 P_i 值比 A 地块高 1.8 倍，高于三个地块平均值 15.3%。研究表明土壤 pH 值大于 8 时，会造成吸附态的砷释放，C 地块的 pH (8.28) 显著高于 A (8.06)、B (8.01) 地块，这与砷的溶解度指数级增长区间 (pH 7.5~8.5) 高度吻合[10]；此外，结合 C 地块历史上曾用作临时停车场、废品回收和建材仓库，且地块周围存在石料场和废品回收站，有回填土中夹带建筑废弃物、水泥等碱性混合物的风险，地块相对扰动较大，因此砷等因子污染因子偏高。

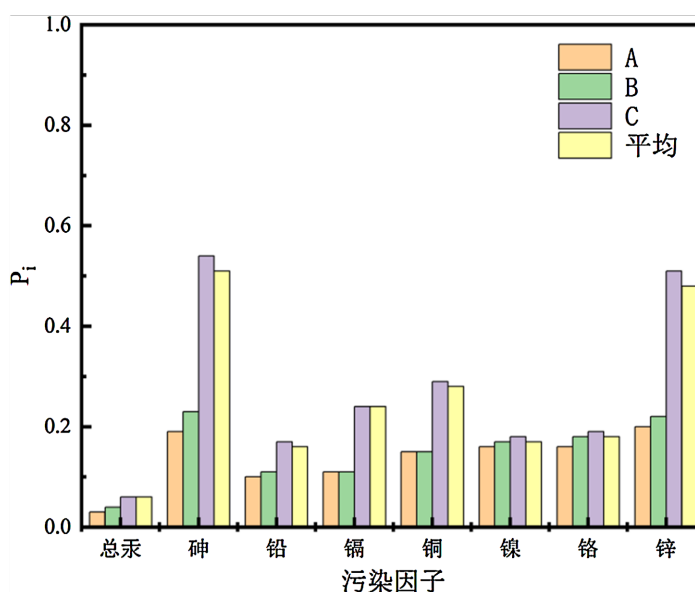


Figure 4. Statistics of the detection results of plot pollution indicators

图 4. 地块污染指标检测结果统计

4.3. 复垦耕地质量提升建议

本研究地块存在总磷和全钾的短缺问题，氮素、有机质等含量也较低，pH 值较高，存在盐渍化风险。A 和 B 地块的灌溉条件和污染指数优于 C 地块，但 C 地块整体养分含量高于 A 和 B 地块。

针对以上问题，本文提出相应的复垦耕地质量提升建议：

1) 水肥平衡，改善养分短板

结合上述养分含量测定结果，精准测定、配方施肥，确定氮、磷、钾及其中微量元素配比，在 C 地块优先使用水肥一体化技术，调控施肥量，避免氮肥、磷肥等使用过多增加盐渍化风险。同时，配合腐熟农家肥，种植豆科绿肥，缓解氮磷和有机质缺乏[11]。

2) 优化灌溉，精准预防盐渍化

A、B 地块灌溉条件较好，可使用滴灌或膜下沟灌技术，减少水分蒸发导致的盐分表聚；C 地块需加强灌溉水质监测，避免引入次生盐分；休耕时可种植玉米、大葱等吸盐、耐盐作物，通过生物吸收降低耕作层盐分。

3) 提升地力, 差异化污染防控

A、B 地块重点提升基础地力, 结合高标准农田建设, 完善田间灌排系统, 增施微生物菌剂(如硅酸盐菌剂)活化土壤难溶性钾, 并配套深松保水保肥措施; C 地块养分含量稍好, 优先推广绿色种养循环模式(如畜禽粪污资源化利用), 通过沼液沼渣还田补充养分, 同时加强重金属污染监测与钝化修复。

5. 讨论

本文通过对上海市某区域复垦耕地的土壤理化性质、肥力状况及污染状况进行综合评价, 以期给复垦土地质量提升提供技术参考。

1) 土壤有机质、氮磷钾是衡量土壤肥力的主要指标, 直接影响土壤理化性质和作物生长。研究表明复垦地块的土壤养分含量较低, 总磷和全钾含量严重缺乏, 难以满足作物生长发育需求。

2) 各个地块土壤肥力存在差异, 这和地块历史及客土条件有关, 研究区域重金属污染风险较低, 基本处于无污染状态, 但三个地块的酸碱度较高, 存在盐渍化风险, 需持续监测和管理。

3) 根据地块差异性本研究给予差异化建议。针对地块整体养分不足问题, 需通过精准测定、配方施肥, 调节水肥平衡, 改善养分短板; 针对灌溉条件不同, 可因地制宜采用不同灌溉方式, 预防盐渍化; 在提升地力的同时, 采用种养结合、使用生物菌剂等方式, 差异化防控污染。

参考文献

- [1] 王春宇. 上海区域种植土壤质量分析及改良[J]. 花卉, 2024(14): 55-57.
- [2] 史忠鑫, 陶钟. 江苏省某村建设占用耕地耕作层土壤质量评价[J]. 乡村科技, 2024, 15(1): 120-122.
- [3] 徐梦瑶, 张正峰, 谷晓坤, 等. 低效建设用地减量化对乡村转型发展的影响研究——基于上海市的扎根理论分析[J]. 中国土地科学, 2021, 35(6): 65-73.
- [4] 周小平, 申端帅, 谷晓坤, 等. 大都市全域土地综合整治与耕地多功能——基于“情境-结构-行为-结果”的分析[J]. 中国土地科学, 2021, 35(9): 94-104.
- [5] 蒋虹荣. 基于肥效试验四川盆地低山丘陵区玉米施肥指标体系构建[D]: [硕士学位论文]. 雅安: 四川农业大学, 2014.
- [6] 中华人民共和国生态环境部. 土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行): GB15618-2018 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [7] 上海市农业农村委员会. 关于 2021 年度上海市耕地质量监测情况的公告[R]. 2022.
- [8] 贺坤, 王俊洁, 王本耀, 等. 上海市行道树土壤肥力特征及其空间分布[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2023, 47(3): 164-172.
- [9] 王永壮, 陈欣, 史奕. 农田土壤中磷素有效性及影响因素[J]. 应用生态学报, 2013, 24(1): 9.
- [10] 韦美溜, 黄凤艳, 刘智博, 等. 外源砷在不同土壤类型形态分布及其影响因素[J]. 环境科学学报, 2025, 45(1): 324-333.
- [11] 李宁, 钱莉, 张嘉雯, 等. 宝山区农田土壤重金属污染风险评价及特征分析[J]. 上海农业科技, 2024(6): 28-32.