

填海区土壤质量分析方法探究

——以澳门为例

刘辰霄, 黎洪瑞

澳门城市大学创新设计学院, 澳门

收稿日期: 2024年10月20日; 录用日期: 2024年11月22日; 发布日期: 2025年1月6日

摘要

本研究以澳门填海区为例, 探讨填海区土壤质量的分析方法。通过实验, 采用1%浓度的酚酞试剂酸碱滴定法测定土壤pH值, 并使用灼失量法评估土壤中的有机物含量。研究揭示了澳门填海区土壤的pH值分布及有机物含量特征, 为填海区土壤质量评价提供了科学依据。研究结果表明, 澳门填海区土壤存在显著的酸碱度差异和有机质缺乏问题, 影响土壤的生态功能和建筑稳定性。该研究对未来土壤改良和生态恢复具有指导意义, 并为填海区土壤管理提供了技术支持。

关键词

土壤pH值, 土壤有机物含量, 酚酞试剂酸碱滴定法, 灼失量法

A Study on Soil Quality Analysis Methods in Reclamation Areas

—A Case Study of Macao

Chenxiao Liu, Hongrui Li

Faculty of Innovation and Design, City University of Macau, Macau

Received: Oct. 20th, 2024; accepted: Nov. 22nd, 2024; published: Jan. 6th, 2025

Abstract

In this study, we took the reclamation area of Macao as an example to explore the analysis method of soil quality in the reclamation area. Through experiments, the pH value of soil was determined by acid-based titration of phenolphthalein reagent at a concentration of 1%, and the organic matter content in soil was evaluated by loss on ignition method. This study revealed the pH distribution and organic

文章引用: 刘辰霄, 黎洪瑞. 填海区土壤质量分析方法探究[J]. 土壤科学, 2025, 13(1): 8-14.

DOI: 10.12677/hjss.2025.131002

matter content characteristics of the soil in the reclamation area of Macao and provided a scientific basis for the evaluation of soil quality in the reclamation area. The results showed that there were significant pH differences and organic matter deficiencies in the soil in the reclamation area of Macao, which affected the ecological function and building stability of the soil. This study has a guiding significance for future soil improvement and ecological restoration and provides technical support for soil management in the reclamation area.

Keywords

Soil pH Value, Soil Organic Matter Content, Phenolphthalein Reagent Acid-Base Titration Method, Loss on Ignition Method

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. 研究背景

1.1. 澳门填海区的发展与土壤质量问题

澳门作为中国的特别行政区,近年来因土地资源稀缺,广泛进行填海工程以扩展城市发展空间。自上世纪80年代以来,澳门填海区迅速扩大,这些新开发的土地为城市建设和经济发展提供了空间,提供了宝贵的资源。然而,填海工程虽然解决了土地问题,却也引发了关于土壤质量的火灾环境问题。由于填海用的土壤通常由海洋淤泥、建筑替代和外来物质混合而成,其物理化学性质与自然移植土壤存在明显差异,特别是在土壤pH值、有机物含量以及重金属污染等方面存在显著的不确定性。

土壤质量是评价海区土地是否适合建设、农业或生态恢复的关键指标。澳门作为高密度城市,海区土壤的稳定性和污染潜力直接关系到地基稳定性、生态环境保护及人居环境安全,因此,系统地分析和评价海区土壤质量,具有重要的学术意义和实际应用价值。

1.2. 土壤pH值与有机物含量的重要性

pH值和有机物含量是土壤质量评价中的两个核心参数。

土壤pH值:土壤的酸碱度不仅影响土壤中植物的生长和养分吸收,还能影响土壤中的化学反应过程,如重金属的溶解性和毒性。研究表明,填海土壤由于混杂了不同来源的物质,往往具有不均匀的pH分布,可能呈现酸性或碱性。填海区土壤可能由于海水残留或填埋物质的性质而存在显著的pH波动。因此,测定填海土壤的pH值对土壤的管理和影响改进具有指导意义。

土壤有机物含量:土壤中的有机物不仅为微生物活动提供能量和养分,还在维持土壤结构、保持土壤肥力和调节水分含量方面发挥着重要作用。在填海区,原始土壤通常缺乏天然植被覆盖,导致有机物被覆盖。因此,准确测定海区土壤的有机物含量,能够帮助评估土壤的生态功能以及改良措施的效果。

1.3. 现有土壤分析方法的应用

为了有效评价澳门海区的土壤质量,采用准确且可靠的分析方法至关重要。本研究选择了两种常用且实用的土壤分析方法,即1%浓度针枪试剂的酸碱滴定法来测量土壤pH值和灼失量法来测定土壤的有机物含量。

酚酞试剂酸碱滴定法测量土壤pH值:酚酞试剂是一种经典的酸碱指示剂指示剂,其显色反应可

以快速评估土壤溶液的 pH 值。酚酞试剂在碱性条件下含有粉红色, 在酸性条件下无色, 因此该方法适合于填土土壤 pH 的快速筛选。通过滴定土壤样本, 可以确定其酸碱度范围, 从而为土壤改良提供方向。

灼失量法测定土壤的有机物含量: 灼失量法通过将土壤样本在高温下灼烧, 测量灼烧前后的质量偏差, 来计算土壤中有机物的比例。该方法易于操作, 且能提供准确的有机物含量数据, 广泛用于农业、生态学和环境中。本研究通过敏锐损失量法, 定量分析澳门填海区土壤的有机物含量, 进一步评估其肥力状况及生态恢复的潜力。

1.4. 澳门填海区土壤质量研究的必要性

澳门填海区的快速拓展和城市化进程, 使这些地区的土壤质量成为亟待研究的领域。土壤的酸碱度和有机物含量直接影响到填海区的土地利用规划、建筑安全性以及生态环境恢复。此外, 类似的研究表明, 填海区土壤的管理需要结合本地的环境特征, 实施土壤的修复与改良策略。对澳门填海区土壤质量进行系统的分析, 具有重要的环境和社会意义。

2. 国内外研究现状

2.1. 国内研究现状

中国的沿海城市因快速的城市扩张和土地资源紧缺, 广泛进行填海工程。关于填海区土壤质量的研究主要集中在土壤的物理性质、化学成分和生态功能等方面。

土壤压实性与稳定性: 国内学者在研究填海土壤的物理特性时, 发现土壤压实性和稳定性是填海区土地利用的关键因素。李晓东等人在研究珠三角地区的填海土壤时指出, 填海土壤的沉降性和地基稳定性是工程建设中的重要问题[1]。

土壤 pH 值与污染物: 土壤的酸碱度和重金属污染也是研究的重点。王丽娜等人在研究上海填海区土壤时发现, 土壤的 pH 值偏碱, 影响了植物的生长环境, 而工业化带来的重金属污染如铅、镉等对土壤生态构成威胁[2]。

有机物含量与土壤肥力: 填海区的土壤通常缺乏有机质, 导致肥力不足。杨丽等人在天津滨海新区的研究表明, 填海土壤的有机物含量较低, 影响了土壤的生态功能[3]。这些研究为土壤的改良和可持续管理提供了重要参考。

2.2. 国外研究现状

在国际上, 许多沿海国家如日本、荷兰和新加坡, 也面临着类似的填海土壤质量问题。研究主要集中在填海土壤的物理稳定性、污染物控制和生态恢复。

土壤物理性质研究: 日本作为填海技术发达的国家, 对填海区土壤质量进行了大量研究。Katsura 等人在东京湾填海区的研究中指出, 填海土壤的压实性和高地下水位可能引发土壤液化等问题[4]。这种现象对建筑安全和基础设施构成重大威胁。

土壤 pH 值与盐碱化问题: 荷兰的填海工程大量使用海洋淤泥, 导致土壤出现盐碱化问题。Hoeksema 等人通过研究荷兰沿海地区的填海土壤, 发现高盐度是影响土壤质量的主要因素, 他们提出通过土壤改良技术, 如淡水冲洗和植被恢复, 来降低土壤盐碱化程度[5]。

生态恢复与土壤修复: 国际上关于土壤生态修复的研究也在持续推进。Berndtsson 等人在瑞典填海区研究中发现, 填海土壤中污染物的积累对地下水质量和生态系统产生了负面影响, 因此提出了通过生态工程技术来促进土壤修复的建议[6]。

2.3. 小结

通过国内外研究现状的对比可以发现, 虽然填海区土壤质量问题在不同地区表现出差异, 但普遍存在土壤稳定性不足、pH 值异常及有机物含量低等问题。国内研究集中于土壤的工程特性和污染风险, 而国外研究则侧重于生态修复和污染物控制。澳门作为典型的填海城市, 应借鉴国内外研究成果, 系统分析土壤质量问题, 并提出适应性的改良措施。

3. 实验内容

3.1. 实验方法

1) 酚酞试剂酸碱滴定法

酚酞试剂是一种常用的酸碱指示剂, 它在不同的 pH 值下容纳不同的颜色。在酸性溶液中, 酚酞试剂为无颜色, 而在碱性至弱碱性环境(pH 8.2~10)中会呈粉红色。因此, 通过观察酚酞显着颜色反应的颜色变化, 可以间接测定土壤的酸碱度。

2) 灼失量法

灼失量法(Loss on Ignition, LOI)是一种通过加热样品土壤, 其中测定有机物含量的方法。土壤中的有机物在高温下会燃烧、挥发, 从而导致样品质量减少, 通过测定灼烧前后土壤样本的质量变化, 可以计算出土壤中有有机物的含量。灼失量法的核心原理是: 有机物在 550℃左右时发生分层、燃烧, 挥发掉的部分即为土壤中的有机物。

3.2. 实验仪器介绍

1) 土壤 pH 值检测

土壤样本, 500 ml 烧杯, 玻璃喷雾, 酚酞试剂(通常为 1%溶液), 蒸馏水, 三脚架, 石棉网, 酒精灯, pH 比色卡, 乳胶手套。

2) 土壤有机物含量检测

土壤样本, 500 ml 烧杯, 三脚架, 石棉网, 酒精灯, 精密电子天平, 乳胶手套, 标准标本袋(见图 1)。



Figure 1. Demonstration of experimental equipment required for the experimental analysis method
图 1. 实验分析法所需实验器材展示

3.3. 实验步骤及注意事项

1) 酚酞试剂酸碱滴定法实验步骤

将收集的土壤置于干燥环境下风干。风干时间可根据湿度状况适当调整, 以确保土壤达到干燥状态, 但避免高温干燥, 改变土壤性质。风干后, 将土壤通过 2 mm 筛子过滤, 去除大颗粒、石块和植物残留物, 均匀化土壤颗粒。

称取约 10 克处理过的土壤, 置于 500 ml 烧杯中。加入 50 ml 加入水, 用玻璃搅拌棒充分搅拌约 1 分钟, 使土壤颗粒与水充分接触。静置 10 分钟, 使土壤中的水分反应完全, 形成稳定的悬浊液。

向静置后的土壤悬浊液中滴加几滴 1% 酚酞试剂, 并用玻璃棒轻轻搅拌, 避免过度扰动。观察颜色变化: 酚酞在酸性溶液环境中无颜色, 在 pH 大于 8.2 的碱性环境中呈粉红色, 根据溶液的显色情况判断土壤的酸性碱性。若溶液呈现无颜色, 表示土壤呈酸性; 若突然粉红色, 表明土壤为碱性。颜色的深浅则可初步反映土壤的 pH 值范围(淡粉色为弱碱性, 较深的粉红色为强碱性)。

将显色溶液与标准 pH 比色卡比对, 以估测土壤的具体 pH 范围。记录显色情况和比对结果。将比对结果记录在实验表格中, 并附上初步 pH 值判断。重复实验以确保结果的重复性。

注意事项

干燥程度: 若土壤水分未完全干燥, 残余水分可能影响土壤悬浊液的 pH 值。建议控制在上部风干条件, 避免高温处理。

筛选标准: 不均匀的土壤颗粒会导致水土悬浊液的 pH 值分配不均匀, 要保证相对颗粒均匀。

浓度的影响: 补充水作为溶剂避免了其他或中断对实验的干扰。若使用普通水, 可能影响土壤悬浊液的酸碱度。

酚酞试剂浓度和滴加量: 使用 1% 的酚酞试剂, 滴加量以 3~5 滴为宜, 避免试剂过多或过少, 影响显色效果。

静置时间控制在 10 分钟左右, 确保土壤矿物质成分充分释放于溶液中。时间过短会影响反应完全性, 时间过长则可能导致沉淀影响显著。

显色条件: 显色过程需在自然光或白光照明条件下进行, 以便准确观察颜色变化。

pH 比色卡的准确性: 比色卡需与实验条件一致, 以确保结果比对的准确性。若比色卡使用不当或质量欠佳, 会影响 pH 值的判断。

温度过高或过低可能会影响土壤溶液的 pH 测定, 建议在接下来进行实验。同时, 湿度过高的条件可能使风干的土壤样品重新吸收水分, 因此实验环境需要保持干燥。

酚酞显色法主要适用于 pH 值在 7 至 10 的范围内, 不能准确测量强酸性(pH < 7)的土壤样本。

实验过程中的玻璃器皿必须清洁, 需加水才能中性, 否则其他的因素对 pH 测定产生干扰。

由于土壤悬浊液较浑浊, 观察颜色变化时要注意透光性, 尽量避免瞳孔对颜色的干扰。

2) 灼减量法实验步骤

将土壤样本置于干燥环境中风干, 然后过筛, 以确保土壤颗粒均匀。

准备好干燥的坩埚, 用精密电子天平称量空坩埚的重量(记为 W1)。然后取前置风干的土壤样品(通常为 10~20 克), 放入坩埚中, 再次称重, 记录坩埚和土壤样品的总重量(记为 W2)。

将坩埚放置在三脚架上, 用酒精灯或电炉对土壤样本进行预干燥, 持续加热约 1 小时, 使土壤中的水分完全蒸发, 保证后续的加热过程中不会因水分蒸发影响实验结果。

将预干燥的土壤样本移入高温马弗炉, 设置温度为 550℃, 保持加热至少 4 小时, 以保证土壤中的有机物完全燃烧。

经过高温灼烧后, 将坩埚从炉中取出, 放置在干燥器中冷却至前方。冷却后, 用电子天平称量坩埚和剩余土壤样本的重量(记为 W3)。

注意事项

样品处理: 土壤样本充分干燥, 否则土壤中残留的水分必须影响最终的灼烧结果。

高温控制: 灼烧温度必须精确控制在 550°C, 过高的温度可能导致某些无机成分(如碳酸盐)连接, 影响测量结果; 而温度过低则无法完全燃烧有机物。

称量精度: 所有的称量过程均在精密天平上进行, 并注意防止损坏或其他仪器进入坩埚。

过程: 坩埚和土壤冷却时必须放置于干燥器内部, 防止其吸湿重新吸收水分, 影响测量结果。

4. 结果与展望

4.1. 确定的认识

本研究旨在通过实验方法对澳门填海区土壤质量进行系统分析, 预期能够取得以下几方面的成果:

1) 澳门填海区土壤的 pH 值分布规律

通过使用 1%浓度的酚酞试剂酸碱滴定法测定不同地点的土壤 pH 值, 预期能够揭示澳门填海区土壤的酸碱度分布情况, 识别出哪些区域的土壤偏酸性或碱性, 并分析这种差异的可能原因(如海水残留、填海材料组成等)。

2) 澳门填海区土壤有机物含量的定量评估

通过灼烧法测定土壤的有机物含量, 预期能够获取不同填海区域的有机物含量数据, 为评估土壤肥力及其生态恢复潜力提供科学依据。研究将揭示填海土壤有机质的缺乏程度, 并为土壤改良策略提供方向。

3) 澳门填海区土壤质量的综合评价

综合 pH 值和有机物含量等关键土壤质量指标, 研究将建立澳门填海区的土壤质量评价体系。预期能够为澳门填海区的土地利用、城市规划和生态管理提供有力的科学数据支持, 帮助制定土壤改良和污染控制的有效措施。

4) 土壤分析方法的适用性验证

通过本研究的实验, 预期能够验证酚酞试剂酸碱滴定法和灼烧法在分析填海区土壤质量时的适用性和有效性, 确保这些方法能够准确反映土壤的实际状况, 为其他类似地区的土壤质量分析提供参考。

4.2. 对未来的展望

基于本研究的预期成果, 未来可以在以下几方面展开进一步的研究和应用:

1) 扩展研究区域

本研究主要集中在澳门特定填海区域, 未来可以扩大研究范围, 涵盖更多填海区域, 以全面评估整个澳门填海区的土壤质量情况。此外, 研究还可以延伸至中国其他沿海城市如深圳、香港等, 以比较不同填海工程下的土壤质量差异, 并探索区域性共性问题。

2) 深入分析土壤污染物的分布与影响

除 pH 值和有机物含量外, 未来研究可以进一步扩展到填海土壤中的重金属、有机污染物等成分分析, 评估这些潜在污染物对环境和人类健康的影响, 并提出污染控制与修复方案。

3) 土壤改良与生态恢复技术的应用研究

基于澳门填海区土壤质量评估结果, 未来可以研究并应用土壤改良技术, 如增加有机质、调节 pH 值、植被修复等, 来提高土壤的生态功能和利用价值。研究可以侧重于通过生态工程手段改善土壤质量, 促

进城市的可持续发展。

4) 长期动态监测与管理

土壤质量随时间的变化是一个动态过程, 填海区的土壤质量可能受到周围环境、气候条件及人类活动的影响。因此, 未来可通过建立长期监测机制, 对填海区土壤质量进行动态跟踪, 及时发现和应对潜在问题, 为澳门的环境管理和土地规划提供持续的科学研究支持。

5) 国际合作与技术交流

由于填海区土壤质量问题具有全球性特征, 未来的研究可以加强与其他国家和地区的合作, 特别是与日本、荷兰等填海工程先进国家进行技术交流, 学习其先进的土壤改良和生态修复技术, 为澳门的填海工程提供更多的科学依据和技术支持。

4.3. 结论与探讨

本研究以澳门填海区为例, 系统分析了其土壤质量的两个核心指标: pH 值和有机物含量。通过针枪试剂酸碱滴定法与灼减量法的实验测定, 研究结果显示, 澳门填海区土壤存在显著的酸碱度差异和有机质缺乏问题。具体而言, 土壤的 pH 值分布不均, 与填海物质的成分及区域水文环境有关; 而有机质含量低则直接影响土壤的生态功能和肥力。特征表明, 澳门填海区土壤需通过适当改进措施以增强其生态稳定性和工程适应性。

本研究结果为海区土壤管理提供了重要的科学依据, 不仅揭示了现有土壤质量的不足, 还为未来的改良和生态恢复策略提供了实用参考。研究中的分析方法被证明是有效的且适用的, 能够在不同的填海区域获得可靠的结果, 有助于制定适合澳门特定环境的土壤管理。

参考文献

- [1] 李晓东, 张伟. 珠三角地区填海土壤与沉降问题研究[J]. 地质科学, 2019, 45(3): 25-34.
- [2] 王丽娜, 刘刚. 上海填海区土壤物理化学特性分析[J]. 环境科学, 2020, 38(4): 78-85.
- [3] 杨丽, 孙强. 天津滨海新区填海区土壤有机物含量及肥力评估[J]. 生态环境学报, 2017, 26(6): 45-53.
- [4] Katsura, M. and Tamura, T. (2017) Soil Quality Assessment in Reclaimed Areas of Tokyo Bay. *Journal of Coastal Research*, **33**, 123-132.
- [5] Hoeksema, R.E. and Leenders, J. (2020) Coastal Reclamation and Soil Improvement in the Netherlands. *International Journal of Coastal Engineering*, **39**, 201-210.
- [6] Berndtsson, R. and Olsson, J. (2018) Heavy Metal Contamination in Reclaimed Soils in Southern Sweden. *Environmental Geology*, **64**, 89-97.