

农业土壤盐碱化修复治理研究进展

刘婧怡^{1,2}, 李雪玲¹, 金 前^{1,2*}

¹伊犁师范大学生物与地理科学学院, 新疆 伊宁

²伊犁师范大学资源与生态研究所, 新疆 伊宁

收稿日期: 2023年6月9日; 录用日期: 2023年7月10日; 发布日期: 2023年7月18日

摘 要

农业土壤的盐碱化已经成为影响农业可持续发展的重要因素之一, 本文综述了农业土壤盐碱化的主要因素, 并为延缓农业土壤盐碱化的关键的治理技术进行简介。许多修复技术已经被应用于降低土壤盐度和碱度, 包括上覆下隔阻隔控盐碱、暗管排盐脱盐碱、土壤改良增强脱盐碱、耕地土壤破粘降盐碱、灌溉调控、生物修复、酸碱平衡调控、土壤堆肥抑制盐碱、作物抗盐碱栽培等农田土壤盐碱化修复治理技术。农业土壤盐碱化修复需要根据土壤条件对其进行多技术综合应用, 才能达到成本可控、绿色环保的修复治理需求。

关键词

农业土壤, 盐碱化, 修复治理

Research Progress in Saline-Alkali Remediation of Agricultural Soil

Jingyi Liu^{1,2}, Xueling Li¹, Qian Jin^{1,2*}

¹College of Biological and Geographical Sciences, Yili Normal University, Yining Xinjiang

²Institute of Resources and Ecology, Yili Normal University, Yining Xinjiang

Received: Jun. 9th, 2023; accepted: Jul. 10th, 2023; published: Jul. 18th, 2023

Abstract

The salinization of agricultural soil has become one of the most obstructive factors for the sustainable development of agriculture. This paper reviews the main factors of the salinization of agricultural soil, and introduces the key technologies to remediate the salinization of agricultural

*通讯作者。

文章引用: 刘婧怡, 李雪玲, 金前. 农业土壤盐碱化修复治理研究进展[J]. 土壤科学, 2023, 11(3): 122-126.

DOI: 10.12677/hjss.2023.113016

soil. Many remediation technologies have been applied to reduce soil salinity and alkalinity, including over covering and underlying barrier, hidden pipe salt elimination, soil improvement, soil viscosity breaking, irrigation regulation, biological remediation, acid-base balance regulation, soil composting, crop saline-alkali resistant cultivation. The remediation of agricultural soil with salinization-alkaline need the comprehensive application of multiple technologies according to soil conditions for the requirements of cost controllable, green and environmental protection.

Keywords

Agricultural Soil, Salinization, Remediation and Management

Copyright © 2023 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

土壤和淡水盐碱化的影响越来越严峻，尤其是农业土壤的盐碱化，其修复治理已经成为最重要的研究难题。自 2004 年以来，关于土壤盐碱化修复的文献增加了 5 倍，盐碱胁迫是造成全球作物损失的最重要因素之一[1]。1970 年至 1980 年期间，粮农组织估计世界上约 6.5%的可耕地和边缘土壤为盐碱土壤，在 21 世纪内，预估超过 50%的现有农田可能会因土壤盐碱化而丧失农业生产能力[2]。农业土壤盐碱化会降低作物生产力，大农业的发展和农业集约化实践可能是土壤盐碱化不断蔓延的原因[3]。此外，如石油开采和水泥制造，以及通过盐析进行的道路维护，也与土壤盐碱化有关。因此，土壤盐碱化已经成为农业可持续发展的最重要的阻碍因素之一。目前国内外对土壤盐碱化治理主要依据土壤盐碱的成因进行不同治理方法的综合运用，例如：盐碱化耕地治理主要集中于土壤盐碱成分降低，提升盐碱耕地的生产力，保障粮食安全，避免耕地缩减；盐碱生态园区治理主要立足于生态功能的恢复与植物多样性保护。因此，本文分析土壤盐碱化成因，并归纳目前在农业土壤盐碱化治理方面的研究进展，以期为探索农业土壤盐碱化综合治理提供理论基础。

2. 土壤盐碱化

土壤盐碱化是指土壤中含有过量易溶解的盐碱成分，这些盐碱成分可以影响土壤的理化性质和生物学特性，从而降低土壤质量，对作物生长、土壤生产能力和生态功能产生负面作用。自然盐碱土壤主要分布于蒸发强烈、降水量少、地形低洼平坦、土壤母质含盐碱或受海水浸渍和地下水浅矿化程度高的地区，而农业土壤的返盐碱化主要为人为因素产生[4]。农业土壤盐碱修复治理对国家的粮食安全、耕地保护、生态建设和环境治理都有重要的作用。

我国的盐碱地主要分为 5 大区域，分别为滨海盐碱区、黄淮平原盐碱区、东北苏打盐碱区、黄河上中游盐碱区和西北自然高盐碱区[5]。滨海盐碱区主要分布于东部沿海地区，主要为高盐分危害，对作物生长抑制作用明显，盐分主要以氯化钠为主[6]；黄淮平原盐碱区主要位于江苏、安徽、河南、山东的华北平原区，主要成因与微地形部位和地下水位浅有关，常常在耕地中成点状分布[7]；东北苏打盐碱区主要位于东北三省和内蒙古省份，土壤中碳酸盐和碳酸氢盐含量高，土壤苏打化程度高，土壤盐分不算高，但是碳酸根和碳酸氢根含量高，导致土壤 pH 偏高，土壤碱化严重[8]；黄河上中游盐碱区主要位于甘肃、陕西和内蒙古省份，主要归应于引黄河水灌溉的农业生产和较浅的地下水位有关[9]；西北自然高盐碱区

主要分布于新疆、青海和甘肃等省份，主要由于降水量少、蒸发量大，地形平坦，径流不畅等，高盐碱化严重[10]。各种因素导致的土壤盐碱成分的升高，土壤原本的理化和生物等性质有恶性改变，导致各种各样的土壤退化问题。农业土壤盐碱的人为因素有远距离输水、设施农业、盐碱类物质排放、水产养殖、畜牧养殖排放和水库及灌溉工程等[11]，这些人类活动虽然给经济和农业带来发展，同时也潜在地引起了土壤盐碱化，因此，亟需经济有效的治理手段进行农业土壤盐碱化修复利用，降低土壤退化程度，保障我国 18 亿亩的耕地红线。

3. 农业土壤盐碱修复治理

农业土壤盐碱化是目前土壤退化的主要因素之一，通过修复治理土壤的盐碱问题，可以提升盐碱耕地的生产力，保障国家的粮食安全，避免耕地的缩减；开荒盐碱荒地可以补充耕地不足的现状，同时将原本盐碱的建设用地修复治理后进行农业应用，实现建设用地占用和农业耕地补充之间的平衡；城市景观盐碱地修复治理构建园区景观绿化植物，改善生态功能和保护了植物的多样性。因此，土壤盐碱化治理不仅保障我国的农业的可持续性发展，也关系着我国公民生活区域的环境修复和生活质量的提高。

3.1. 物理修复

上覆下隔阻隔控盐碱技术主要原理为在地表降低水分的蒸发，抑制返盐作用，在土层中间设置材料添加层，阻隔土壤的毛管虹吸作用，降低深层盐分的上行[12]。常见的方法有，降秸秆材料、绿肥植物、薄膜等在农业生产过程中进行单用或组合优化使用，不仅在作物生长前期对作物具有保温和促土壤墒情作用，而且作物生长后期也不会影响控水降盐的作用，对轻度的盐碱农田有较好的治理修复效果。具体而言，将秸秆材料或其他材料设置在土层 30~50 cm 处，形成疏松结构，并在地表覆盖上秸秆或者薄膜，从而形成上控下隔的控盐碱的修复治理方法，例如，卢闯等利用秸秆隔层降低土壤盐分达到 18.9%和 13.9%，提高土壤微生物种群数量，并增加食葵产量[13]。这种修复治理方法是以降低土壤表层盐碱程度为核心，通过植株或薄膜覆盖降低表层土壤的蒸发作用控制表层土壤的积累盐碱量，在耕作层底部建立起阻隔层，切断土壤毛管连续性，达到降低返盐碱的效果。

暗管排盐和脱盐碱技术主要通过铺设暗管排水设备增强农田土壤的蓄水能力达到压制土壤盐分返到表层的作用，同时在灌溉过程中暗管可以加速排水效率，达到流水淋洗的效果，从而起到脱盐碱的目的，例如：李婧男等利用暗管排盐淋洗作用，暗管脱盐率达到 81.79%~52.28%，并显著地提高土壤养分含量与渗透性[14]。暗管排水可以有效地控制地下水水位，降低由于地下水位高带来的返盐碱危害，但是暗管的铺设也需要根据地区气候、土壤条件进行优化和调整。通过在盐碱农田设置合理的暗管排盐可以有效地降低农田的地下水水位，提高排盐效率，同时暗管和明沟排盐相结合，可以有效地治理由平原水库和养殖而引起的土壤盐碱问题，但是成本较高，需同其他技术综合使用。

土壤盐碱化会增加土壤的毛细管数量，使土壤板结化。土壤改良可以通过在盐碱土壤中施用各种各样的改良调理剂，调节土壤质地、改善土壤的良性结构，消除土壤的粘闭性，改善土壤结构和通透性，最终增强土壤盐碱淋洗，加速土壤脱盐碱效果[15]。常用的改良调理剂有农作物废弃的秸秆、生物质材料、微生物菌肥、复合有机肥、明砂以及各种有机聚合物。同时也可以通过特色的耕作技术打破盐碱土壤板结的物理结构，将其他砂性材料进行混合，提高土壤的通水性，促进表层土壤盐碱淋洗，主要的技术有通过深耕技术，一般耕作深度达到 50~60 cm，利用旋耕、深松和粉垄等方法进行农田土壤盐碱治理。

在西北干旱区，通过节水灌溉达到调控土壤盐碱的作用，主要技术为采用膜下滴灌技术进行节水控盐，优化水分调控、高效雨水利用、提高灌溉水质量、沟灌抑盐以及咸水结冰冻融等灌溉方式进行土壤盐碱控制，结合水肥一体化管控技术，实现土壤在耕作层的局部盐碱脱除和水肥高效利用的复合效益。

具体步骤可分为：收集集中雨水加强对土壤的淋洗脱盐；开沟灌排将作物根部盐碱进行脱除；膜下滴灌将根部盐分进行淋除；冻融融灌利用咸水结冰压盐作用达到降低盐碱的目的，通过这一系列措施可以有效降低西北土壤高盐碱问题[16]。

3.2. 生物修复

许多的植物耐盐性状优良，可以通过筛选和培育耐盐碱作物或者盐生经济作物进行农业种植，有研究发现，水稻、小麦、大麦、油菜、高粱等农作物都有较好的耐盐碱性，此外盐碱地生长的碱蓬、海蓬子等都有极高的耐盐碱性，可以在中等盐碱化土壤进行植物修复，不仅可以降低土壤盐碱化程度，还可以提高土壤肥力[1]。植物滨藜可以在一个生长季节积累 300 kg 的 Cl^- /公顷，有效降低土壤盐分[17]。这些可以用来治理盐碱地的植物大多具有高生物量和对盐碱有大的吸收能力，往往盐分含量占植物生物量的 20%左右。除了植物以外，土壤中的微生物对土壤盐碱修复也具有巨大作用，通过应用抗盐碱的微生物和生物制剂，改善土壤的生物活性和土壤养分状况，提高植物抗盐碱胁迫能力，实现盐碱土壤原位修复能力[18]。同时，部分微生物和植物可以富集土壤中的盐分，达到局部微环境盐碱降低的作用，对农业生产极为有利。其中，嗜盐菌已经被成功应用于农业盐碱土壤的修复应用，不仅可以改善土壤质量，也促进土壤植被的恢复[19]。植物和微生物的盐碱地修复需要从生态理念出发，以环境友好、资源高效利用、减少对生态环境的扰动。

3.3. 化学修复

土壤盐碱化归根结底为土壤的各种盐分离子含量过高，通过化学手段将这些盐分离子去除和替换也可达到治理目的。常见的有离子替换、水解中和、酸碱平衡以及生物类改良剂的有机酸中和络合等改良盐碱土壤方法，常见的土壤调理剂有石膏类、有机酸类、硫酸铝和有机材料等。例如，石膏和硫酸铝中的 Ca^{2+} 和 Al^{3+} 施用于盐碱土壤中，可以置换出土壤胶体中的 Na^+ ，促进土壤中 Na^+ 的淋洗去除，降低土壤盐碱化程度。盐碱土壤施加有机类材料，可以利用有机材料含有的丰富的 $-\text{OH}$ 和 $-\text{COOH}$ 等官能团中和土壤的碱性离子，最终降低土壤的盐碱程度。河套平原盐碱地通过腐殖酸和石膏进行治理修复，盐分相对升高率分别较对照处理降低 38.71% 和 37.41%，土壤的肥力流失显著降低，土壤氮的挥发和淋失量都下降现状[20]。盐碱土壤电化学修复技术可以促进 Ca^{2+} 从碳酸钙和硫酸钙中释放，增加对土壤中 Na^+ 的置换，通过浸出去除土壤的 Na^+ ，达到土壤盐碱修复的目的[21]。化学修复虽然可以在短时间内达到土壤修复，但是土壤稳定性和成本还需进一步完善。

4. 小结

农业土壤盐碱化已经成为全球未来 50 年内农业可持续发展最重要的阻碍因素之一，因此需要更多的研究者投身其中。盐碱土壤质量修复是一个综合的工程，需要多方法多领域合作，引入互联网智能农业管理，实时获取土壤物理化学性质，通过智能化控制，达到盐碱微环境的精准修复。物理修复主要立足于去除盐碱成分，但是投入和成本较高；生物修复的限制较多，可利用的植物和微生物资源有限，且随地域变化较大；化学修复主要外源材料的添加，交换、耦合或固定土壤中的盐碱成分，但常常改变土壤原本理化性质，同时可能有次生污染物产生的风险。因此，盐碱土壤的修复是一个综合治理工程，需要有生态理念，以环境友好、资源高效、生态功能为出发点，尽量降低对环境的扰动，达到高效、绿色、安全和持久的治理效果。

基金项目

自治区级大学生创新训练项目(S202210764030)。

参考文献

- [1] Litalien, A. and Zeeb, B. (2020) Curing the Earth: A Review of Anthropogenic Soil Salinization and Plant-Based Strategies for Sustainable Mitigation. *Science of the Total Environment*, **698**, Article ID: 134235. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134235>
- [2] Jhariya, M.K., Banerjee, A., Meena, R.S., *et al.* (2019) Sustainable Agriculture, Forest and Environmental Management. Springer, Berlin. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-6830-1>
- [3] Cuevas, J., Daliakopoulos, I.N., Del Moral, F., *et al.* (2019) A Review of Soil-Improving Cropping Systems for Soil Salinization. *Agronomy*, **9**, Article No. 295. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060295>
- [4] 赵可夫, 冯立田. 中国盐生植物资源[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [5] 杨劲松, 姚荣江. 我国盐碱地的治理与农业高效利用[J]. 中国科学院院刊, 2015, 30(1): 162-170.
- [6] 马凤娇, 谭莉梅, 刘慧涛, 等. 河北滨海盐碱区暗管改碱技术的降雨有效性评价[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(2): 409-414.
- [7] 熊毅. 南水北调应注意防治黄淮海平原土壤盐碱化问题[J]. 土壤, 2017, 11(4): 121-123.
- [8] 姚荣江, 杨劲松, 刘广明. 东北地区盐碱土特征及其农业生物治理[J]. 土壤, 2017, 38(3): 256-262.
- [9] 王海, 刘万军, 王斌. 黄河上中游盐碱区保护性耕作技术模式及其实施效益分析——以宁夏平罗县保护性耕作示范项目区为例[J]. 江西农业学报, 2011, 23(12): 155-159.
- [10] 于金凤, 刘兴学. 西北内陆河流域移民迁入区土壤盐碱化问题及成因分析——以疏勒河项目区为例[J]. 甘肃农业, 2013(16): 78-79.
- [11] Chhabra, R. (2017) Soil Salinity and Water Quality. Routledge, London. <https://doi.org/10.1201/9780203739242>
- [12] 李景欣, 杨帆, 李洪影, 等. 覆盖秸秆和种植牧草对盐碱化草地的影响[J]. 作物杂志, 2013, 29(3): 82-86.
- [13] 卢闯, 逢焕成, 张宏媛, 等. 春灌结合秸秆隔层促进土壤脱盐增加微生物多样性[J]. 农业工程学报, 2017, 33(18): 87-94.
- [14] 李婧男, 孙向阳, 张贺, 等. 暗管排盐条件下园林废弃物与膨润土对滨海盐土的改良效果研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 2021, 29(3): 562-574.
- [15] Biswas, A. and Biswas, A. (2014) Comprehensive Approaches in Rehabilitating Salt Affected Soils: A Review on Indian Perspective. *Open Transactions on Geosciences*, **1**, 13-24. <https://doi.org/10.15764/GEOS.2014.01003>
- [16] 陈小兵, 杨劲松, 刘春卿, 等. 大农业条件下新疆土壤盐碱化及其调控对策[J]. 土壤, 2017, 39(3): 347-353.
- [17] Silva, Y.J., Silva, Y.J., *et al.* (2016) *Atriplex nummularia* Lindl. as Alternative for Improving Salt-Affected Soils Conditions in Semiarid Environments: A Field Experiment. *Chilean Journal of Agricultural Research*, **76**, 343-348. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392016000300012>
- [18] 李凤霞, 郭永忠, 许兴. 盐碱地土壤微生物生态特征研究进展[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(23): 14065-14067.
- [19] Cui, C., Shen, J., Zhu, Y., *et al.* (2023) Bioremediation of Phenanthrene in Saline-Alkali Soil by Biochar-Immobilized Moderately Halophilic Bacteria Combined with *Suaeda salsa* L. *Science of the Total Environment*, **880**, Article ID: 163279. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163279>
- [20] 高惠敏, 王相平, 屈忠义, 等. 不同改良剂对河套灌区土壤盐碱指标及作物产量的影响研究[J]. 土壤通报, 2020, 51(5): 1172-1179.
- [21] Somani, L. (1985) Electromelioration of Saline-Alkali Soils—A Review. *Anales de Edafologia y Agrobiologia (Spain)*, **44**, 1009-1014.