

土壤盐分分布影响因素研究综述

李昱君, 濮励杰 (南京大学地理与海洋科学学院, 江苏南京 210023)

摘要 以水盐动态变化为线索, 综述了影响存量消减的因素和导致盐分增量的因素, 旨在厘清土壤盐分变化的机理, 分析各种影响因素之间的关系。结果发现, 影响土壤盐分的因素主要有降水、排水、蒸发、地貌覆被、灌溉、施肥、大型工程等, 且各种因素相互影响和制约。

关键词 土壤盐分; 土壤盐渍化; 盐分迁移; 空间分布

中图分类号 S159; P934 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)14-0019-02

Study Review on Influence Factors of Soil Salinity Distribution

LI Yu-jun, PU Li-jie (School of Geographic and Oceanographic Science, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210023)

Abstract Mainly using the water salt dynamic change as the clue, this paper respectively summarized the influence factors of stock reduction and the factors causing salt increment, and aimed at the analysis of literature on influence factors of soil salinity, and in order to clarify the mechanism of the change of soil salinity, analyze the relationship between various factors. By the reorganization of literature, we found that the main influence factors of soil salt: precipitation, drainage, evaporation, landform cover, irrigation, fertilization, and large-scale projects, and each factor was not isolated to influence the distribution of soil salt but influenced and restricted it mutually.

Key words Soil salinity; Soil salinization; Salt migration; Spatial distribution

我国是受土地盐碱化影响较大的国家之一, 我国约 1/3 的耕地受到土壤盐碱化的威胁。水和肥是改良盐渍土的重要物质, 水盐动态和肥盐动态是盐渍土改良的重要依据^[1]。影响盐分分布的因素主要包括土壤水分、地下水以及与水分相关的地形和土地覆被、人类耕作方式和一些大型的工程项目等。从作用机理看, 主要影响盐分存量消减的净输出有降水、淡水滴灌和土壤覆被等; 影响盐分增量的净转入有蒸发、地下水、覆膜盐水滴灌、施肥、大型工程等增加土壤盐分输入等。笔者综述了土壤盐分分布的影响因素, 旨在厘清土壤盐分变化的机理, 分析各种影响因素之间的关系。

1 影响土壤盐分存量消减的影响因素

1.1 降水 降水是土壤水分的重要来源。降水对土壤的脱盐效果极强, 如特大暴雨可以促使浅层土壤盐分向下迁移, 脱盐土层深度与地下水水位有关^[2]。谢承陶^[3]在研究水盐变化规律时认为, 影响土壤水盐运动的因素主要有气候条件、地形地貌、土壤质地与土体构型、地下水位、地下水矿化度与化学性质以及土壤有机质等, 半湿润、半干旱季风气候区, 干湿季分明, 使水分和盐分在垂直方向上呈上行与下行、积盐和脱盐有规律地更替, 表现出明显的季节性变化, 并以黄淮海平原为例, 发现其在自然条件下受季风气候影响, 土壤水盐运动表现为蒸发—积盐、淋溶—脱盐和相对稳定 3 种形式, 周年内土壤水盐运动可划分为 4 个阶段: 春季强烈蒸发—积盐阶段(3—6 月)、夏季降雨—淋盐阶段(7—8 月)、秋季蒸发—积盐阶段(9—11 月)和冬季相对稳定阶段(12 月—次年 2 月)。

1.2 排灌条件 谢承陶^[3]研究发现, 排灌配套工程和农业耕作管理综合措施, 对土壤水盐运动影响极大。如果在发展自流灌溉时采取的水利工程技术措施不尽合理, 就会引起灌

区水盐平衡失控, 导致土壤次生盐渍化。Barnard 等^[4]研究表明灌溉可使表层含盐量大的土壤孔隙水向下淋溶, 透过土壤耕作层, 而被含盐少的灌溉水替代, 从而使得耕作层以上的土壤剖面多余盐分去除而达到均衡状态。刘春卿等^[5]通过实验室模拟发现棉田在覆膜滴灌条件下, 淡水滴灌可使上层土壤脱盐, 微咸水滴灌会使土壤表层盐分增加并稳定于一定数值; 同时滴灌有促进表层盐分向下运移的作用。

1.3 地形与土地覆被 不同地貌、不同土地覆被对土壤盐分的分布有显著影响。从目前研究看, 地形和土地覆被类型与土壤盐分含量有中等相关性, Fang 等^[6]通过对黄河三角洲土壤盐分含量与地形和土地覆被关系的分析发现, 土壤盐分含量与地形和土地覆被呈中等相关关系, 盐分含量由高到低依次为洼地、河滩、废弃河道, 土地覆被上荒地盐分含量尤其高, 工业与居民用地明显高于农业用地。马恭博等^[7]对莱州南岸土地覆被与土壤盐分含量的研究发现, 土壤盐分含量与土地覆被呈中等相关性, 土壤盐分含量由高到低依次为盐田、棉花、林地、杂草、大豆、玉米。巩腾飞^[8]对山东无棣县土壤水盐与植物覆盖度的时空耦合关系研究发现, 不同植被覆盖土地的含盐量不同, 土壤盐分与植物覆盖度呈负相关, 负相关程度与季节变化不显著。同时土地利用类型的变化也会引起土壤盐分含量的变化, 如华北地区旱地向水浇地的改变加强了土壤耕层的脱盐作用^[9]。吴庆华等^[10]发现秸秆覆盖可以通过减少土壤无效蒸发而减少土壤浅层含盐量, 对深层土壤效果微弱。梁珍海等^[11]研究发现, 海防林通过以下 3 种途径降低土壤盐分, 即抑制土壤蒸发减少土壤库中盐分输入; 提高土壤渗透增加土壤库中盐分输出; 树木自身生理活动使土壤库中盐分净输出大于 0。

2 影响土壤盐分增量的影响因素

2.1 蒸发 土壤水盐运动决定于土壤蒸发积盐和淋洗脱盐 2 种过程的对比。与降水相反, 蒸发是下层土壤盐分向上运移的动力。丁国强^[12]研究发现, 一个地区土壤盐渍化和次生盐渍化的状况受其土壤水盐运动规律的制约。在干燥炎

基金项目 国土资源部公益性行业科研专项“滨海盐碱地水—土—盐迁移累积规律与模式表达”(201511086-02)。

作者简介 李昱君(1996—), 男, 重庆人, 专业: 地理科学。

收稿日期 2018-02-11; **修回日期** 2018-03-01

热和过度蒸发条件下,土壤毛管水上升运动强烈,潜水通过毛细作用向上运移至土壤表面,在高温、干燥条件下,迅速被蒸发,转化为水蒸气并进入大气,而其中盐分则滞留在土壤中,这就是土壤主要的积盐过程。郭全恩等^[13]研究发现,在干旱半干旱地区,在综合环境因素的影响下,不同土层的全盐含量随着潜在累积蒸发量的增加而增大。郭全恩等^[14]研究发现,土壤蒸发量与土地覆被有关,引起盐分在土壤剖面中的差异性分布,如裸露地块土壤剖面盐分含量高于植物覆盖的地块,而种植不同植被的土壤剖面盐分累积的时期、强度和部位随作物的不同而不同。

2.2 地下水 地下水与土壤盐分的关系曾受到学者的关注。宋长春等^[15]探讨了潜水埋深、径流条件、地表水及地下水的矿化度和离子组成对土壤含盐量的影响,同时讨论了潜水埋深和矿化度与土壤含盐量的定量关系:潜水埋深关系孔隙水是否能到地表产生表面积盐;地下水径流通畅的地区土壤含盐量低,反之则容易发生土壤盐渍化;潜水矿化度越低,土壤盐度越低。刘广明等研究^[16]发现0~40 cm 土层土壤电导率与地下水埋深和地下水矿化度有较明显的线性关系。王全九等^[17]通过室内模拟试验,结果表明,一致性处理后的土壤含盐量与地下水埋深呈良好的指数关系。任加国等^[18]建立了土壤盐渍化的类型、程度、特征与地下水之间相关关系。Xie 等^[19]在对黄河三角洲的研究中讨论了地下水对土壤盐分时间上的动态影响,发现土壤电导率与地下水埋深时间变化的一致性。

2.3 施肥 长期以来,为追求高产出,通常投入过量的肥料,使得土壤盐分不断累积,导致土壤环境质量不断恶化。研究表明,不同施肥方式和施肥水平对土壤盐分的影响有一定差异。侯振安等^[20]探讨了不同滴灌施肥方式下土壤水、盐、氮和棉花根系的分布,发现滴灌条件下不同施肥方式对土壤水盐分布无明显影响,但对于氮素在土壤中的分布影响显著。翟胜祥^[21]研究了不同灌溉方式、施肥方式对马铃薯产量及耕层土壤水溶性盐迁移的影响,发现不同灌溉施肥方式以“滴灌+追肥”效益最高,漫灌土壤盐分从上向下淋溶明显,滴灌土壤盐分淋溶不充分,盐分在20~60 cm 土层有积聚作用;同等条件下,施肥量越高土壤盐分残留量越大,土壤次生盐渍化与施肥量关系密切。张继舟等^[22]研究发现,施肥可以快速增加土壤盐分含量,过量施用肥料会引起土壤养分的快速富集,同时高度富集的养分成为土壤水溶性盐基离子总量提高的根本原因。胡育骄等^[23]采用海冰水灌溉,结合4种施肥措施:无机肥(传统施肥)、有机肥与无机肥配施、土壤调理剂与无机肥配施和不施肥处理,研究海冰水灌溉不同施肥措施对土壤盐分及离子运移、棉花产量的影响。结果发现,海冰水灌溉0~100 cm 土层土壤脱盐率达40.2%,连续2年使用3 g/L 海冰水灌溉经过雨季降水淋洗,可以有效地降低0~100 cm 土层土壤含盐量,达到改良盐碱地的效果,且不会造成滨海盐碱地的次生盐渍化;海冰水灌溉施加液膜处理后,无机肥配施土壤调理剂可促进土壤团粒结构形成,增加土壤通透性,加速土壤盐分淋洗。不同施肥水平直

接影响土壤盐分。王金辉等^[24]研究发现,施肥对土壤盐分产生较大影响,施肥增加了土壤盐分离子含量;随着施肥水平的提高,各层土壤的EC明显上升,其中以0~2 cm 土层EC上升幅度最大。

2.4 覆膜盐水滴灌 Bezborodov 等^[25]探讨了咸水灌溉条件下秸秆覆盖对棉田盐分分布的影响,在3年咸水灌溉的棉田中0.15 m 深度秸秆覆盖的棉田土壤含盐量比未覆膜棉田高20%,并能获得更高的土地产出。马合木江·艾合买提等^[26]研究发现,在覆膜滴灌条件下,新疆棉田的生育期初和生育期末会产生返盐现象并存在次生盐化风险。马文军等^[27]指出,在干旱气候条件下,淡咸水灌溉会造成表层盐分的积聚,且对于低盐土壤引入的盐分主要积累于深层,而对高盐土壤引入的盐分主要积累于土壤表层。窦超银等^[28]在重度盐碱地进行覆膜咸水滴灌,通过对盐分的淋洗和创造向下的水力梯度为作物根系生长创造良好条件。米迎宾等^[29]通过对河南封丘地区灌溉方式的研究,发现咸水淡水轮灌会产生良好的土壤除盐效果,以“咸咸淡”的方式为最佳。Muyen 等^[30]在澳大利亚东南部的研究表明,使用废水灌溉尽管可以增加土壤养分,但会造成土壤盐碱化。

2.5 大型工程 大型工程的建设可能对区域尺度或者跨区域尺度的盐分分布产生重要影响。早在1968年,研究表明埃及阿斯旺水库的建成阻止了尼罗河季节性泛滥的产生,加剧了尼罗河下游土地的盐渍化,甚至改变了苏伊士运河的水文状况——减弱了自大咸湖到塞得港的北向水流,从而影响了运河沿岸的盐分分布^[31]。余世鹏等^[32]研究发现,工程运行以来,长江河口枯水年份水位下降20 cm,造成咸潮入侵加剧,引起土壤积盐,加剧河口地区的土壤盐渍化。朱寿泉等^[33]研究表明,南水北调工程的实施对于区域土壤盐分的分布有很大影响,如水通过运河进入黄淮地区时通过抬高地下水水位,使底层盐分向上迁移造成次生盐化。

3 小结

很多学者在土壤盐分分布和防止土壤盐渍化方面都进行了大量有益探索,为后来的研究提供了丰富的理论和经验证据,对改善土壤质量提供大量参考数据。大部分学者还是基于自己所关注的某一个影响要素进行机理探索,如探究排灌技术、施肥方式和水平、大型工程甚至植物覆被等,取得了丰硕的成果。但事实上土壤盐分分布的影响,可能是这些要素综合影响的结果;而关于土壤盐分的影响因素和相互的作用机理,缺乏系统性和体系化的研究,这也许是今后努力的方向。

参考文献

- [1] 谢承陶,李志杰,章友生,等. 有机质与土壤盐分的相关作用及其原理[J]. 土壤肥料,1993(1):19-22.
- [2] 张妙仙,杨劲松,李冬顺. 特大暴雨作用下土壤盐分运移特征研究[J]. 中国生态农业学报,2004,12(2):47-49.
- [3] 谢承陶. 盐渍土改良原理与作物抗性[M]. 北京:中国农业科技出版社,1992:76-79.
- [4] BARNARD J H, VAN RENSBERG L D, BENNIE A T P. Leaching irrigated saline sandy to sandy loam apedal soils with water of a constant salinity[J]. Irrigation science,2010,28(2):191-201.

- [13] YU F F, HUAXIA Y F, LU W J, et al. GhWRKY15, a member of the WRKY transcription factor family identified from cotton (*Gossypium hirsutum* L.), is involved in disease resistance and plant development [J]. BMC Plant Biol, 2012, 12: 144.
- [14] LIU X F, SONG Y Z, XING F Y, et al. Ghurky25, a group I Wrky gene from cotton, confers differential tolerance to abiotic and biotic stresses in transgenic *Nicotiana benthamiana* [J]. Protoplasma, 2016, 253(5): 1265 - 1281.
- [15] KUSNIERCZYK A, WINGE P, JORSTAD T S, et al. Towards global understanding of plant defence against aphids-timing and dynamics of early *Arabidopsis* defence responses to cabbage aphid (*Brevicoryne brassicae*) attack [J]. Plant Cell Environ, 2008, 31(8): 1097 - 1115.
- [16] HUI D, IQBAL J, LEHMANN K, et al. Molecular interactions between the specialist herbivore *Manduca sexta* (Lepidoptera, Sphingidae) and its natural host *Nicotiana attenuata*: V. Microarray analysis and further characterization of large-scale changes in herbivore-induced mRNAs [J]. Plant Physiol, 2003, 131: 1877 - 1893.
- [17] WANG H H, HAO J J, CHEN X J, et al. Overexpression of rice WRKY89 enhances ultraviolet B tolerance and disease resistance in rice plant [J]. Plant Mol Biol, 2007, 65(6): 799 - 815.
- [18] ATAMIAN H S, EULGEM T, KALOSHIAN I. SlWRKY70 is required for Mi-1-mediated resistance to aphids and nematodes in tomato [J]. Planta, 2012, 235(2): 299 - 309.
- [19] JIANG Y Z, DUAN Y J, YIN J, et al. Genome-wide identification and characterization of the *populus* WRKY transcription factor family and analysis of their expression in response to biotic and abiotic stresses [J]. J Exp Bot, 2014, 65(22): 6629 - 6644.
- [20] OKAY S, DERELLI E, UNVER T. Transcriptome-wide identification of bread wheat WRKY transcription factors in response to drought stress [J]. Mol Genet Genom, 2014, 289(5): 765 - 781.
- [21] RAMAMOORTHY T, JIANG S Y, KUMAR N, et al. A comprehensive transcriptional profiling of the WRKY gene family in rice under various abiotic and phytohormone treatments [J]. Plant Cell Physiol, 2008, 49(6): 865 - 879.
- [22] SUZUKI N, RIZHISKY L, LIANG H J, et al. Enhanced tolerance to environmental stress in transgenic plants expressing the transcriptional coactivator multiprotein bridging factor 1c [J]. Plant Physiol, 2005, 139: 1313 - 1322.
- [23] JIANG Y J, LIANG G, YU D Q. Activated expression of WRKY57 confers drought tolerance in *Arabidopsis* [J]. Mol Plant, 2012, 5(6): 1375 - 1388.
- [24] LI P L, SONG A P, GAO C Y, et al. Chrysanthemum WRKY gene CmWRKY 17 negatively regulates salt stress tolerance in transgenic chrysanthemum and *Arabidopsis* plants [J]. 2015, 34(8): 1365 - 1378.
- [25] SHI W N, HAO L L, LI J, et al. The *Gossypium hirsutum* WRKY gene GhWRKY39-1 promotes pathogen infection defense responses and mediates salt stress tolerance in transgenic *Nicotiana benthamiana* [J]. Plant Cell Rep, 2014, 33(3): 483 - 498.
- [26] ZHOU Q Y, TIAN A G, ZOU H F, et al. Soybean WRKY-type transcription factor genes, GmWRKY13, GmWRKY21 and GmWRKY54, confer differential tolerance to abiotic stresses in transgenic *Arabidopsis* plants [J]. Plant Biotechnol J, 2008, 6: 486 - 503.
- [27] NURUZZAMAN M, CAO H Z, XIU H, et al. Transcriptomics-based identification of WRKY gene and characterization of a salt and Hormone-responsive *Pgwrky1* gene in panax ginseng [J]. Acta Biochim Biophys Sin, 2016, 48(2): 117 - 131.
- [28] WANG X T, ZENG J, LI Y, et al. Expression of *TaWRKY44*, a wheat WRKY gene, in transgenic tobacco confers multiple abiotic stress tolerances [J]. Front Plant Sci, 2015, 6: 615.

(上接第 20 页)

- [5] 刘春卿, 杨劲松, 吴玉喜, 等. 覆膜滴灌条件下土壤水盐运移规律 [J]. 安徽工业大学学报(自然科学版), 2010, 27(1): 94 - 97.
- [6] FANG H L, LIU G H, KEARNEY M. Georelational analysis of soil type, soil salt content, landform, and land use in the Yellow River Delta, China [J]. Environmental management, 2005, 35(1): 72 - 83.
- [7] 马恭博, 刘文全, 于洪军, 等. 莱州湾南岸不同土地利用和土地覆被下土壤盐分含量特征 [J]. 海岸工程, 2014, 33(4): 58 - 65.
- [8] 巩腾飞. 盐碱地植被覆盖度与土壤盐分含量时空耦合关系研究: 以山东省无棣县为例 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2016.
- [9] 秦静, 孔祥斌, 姜广辉, 等. 集约化华北冲积平原农区土地利用变化与土壤耕层盐分关系 [D]. 土壤学报, 2007, 44(4): 752 - 756.
- [10] 吴庆华, 张薇, 蔺文静, 等. 秸秆覆盖条件下土壤水动态演变规律研究 [J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(4): 76 - 82.
- [11] 梁珍海, 刘德辉, 卢义山, 等. 泥质海岸防护林对滩涂土壤盐分的影响及机制 [J]. 南京大学学报(自然科学), 1998, 34(2): 139 - 143.
- [12] 丁国强. 设施蔬菜土壤盐渍化的成因及防治 [J]. 长江蔬菜, 2005(1): 32 - 33.
- [13] 郭全恩, 王益权, 郭天文, 等. 半干旱地区环境因素与表层土壤积盐关系的研究 [J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 957 - 963.
- [14] 郭全恩, 王益权, 马忠明, 等. 植被类型对土壤剖面盐分离子迁移与累积的影响 [J]. 中国农业科学, 2011, 44(13): 2711 - 2720.
- [15] 宋长春, 邓伟. 吉林西部地下水特征及其与土壤盐渍化的关系 [J]. 地理科学, 2000, 20(3): 246 - 250.
- [16] 刘广明, 杨劲松. 地下水作用条件下土壤积盐规律研究 [J]. 土壤学报, 2003, 40(1): 65 - 69.
- [17] 王金九, 王文焰, 汪志荣, 等. 排水地段土壤盐分变化特征分析 [J]. 土壤学报, 2001, 38(2): 271 - 276.
- [18] 任加国, 郑西来, 许模, 等. 新疆叶尔羌河流域土壤盐渍化特征研究 [J]. 土壤, 2005, 37(6): 635 - 639.
- [19] XIE T, LIU X H, SUN T. The effects of groundwater table and flood irrigation strategies on soil water and salt dynamics and reed water use in the Yellow River Delta, China [J]. Ecological modelling, 2011, 222(2): 241 - 252.
- [20] 侯振安, 李品芳, 吕新, 等. 不同滴灌施肥方式下棉花根区的水、盐和氮素分布 [J]. 中国农业科学, 2007, 40(3): 549 - 557.
- [21] 翟胜祥. 不同灌溉施肥方式对马铃薯产量及土壤盐分迁移的影响 [J]. 安徽农业科学, 2016, 44(16): 144, 163.
- [22] 张继舟, 周连仁, 马献发, 等. 不同施肥处理对设施土壤盐分的影响 [J]. 国土与自然资源研究, 2009(3): 35 - 36.
- [23] 胡育骄, 王小彬, 赵全胜, 等. 海冰水灌溉对不同施肥方式下土壤盐分运移及棉花的影响 [J]. 农业工程学报, 2010, 26(9): 20 - 27.
- [24] 王金辉, 柳勇, 徐润生, 等. 不同施肥水平对耕层土壤盐分迁移和分布的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2009(4): 25 - 30.
- [25] BEZBORODOV G A, SHADMANOV D K, MIRHASHIMOV R T, et al. Mulching and water quality effects on soil salinity and sodicity dynamics and cotton productivity in Central Asia [J]. Agriculture, ecosystems & environment, 2010, 138(1): 95 - 102.
- [26] 马合木江·艾合买提, 虎胆·吐马尔白, 古莱姆拜尔·艾尔肯, 等. 典型干旱区绿洲棉田土壤返盐、积盐特征研究 [J]. 节水灌溉, 2017(5): 77 - 79.
- [27] 马文军, 程琴娟, 李良涛, 等. 微咸水灌溉下土壤水盐动态及对作物产量的影响 [J]. 农业工程学报, 2010, 26(1): 73 - 80.
- [28] 窦超银, 康跃虎, 万书勤. 地下水浅埋区重度盐碱地覆膜咸水滴灌水盐动态试验研究 [J]. 土壤学报, 2011, 48(3): 524 - 532.
- [29] 米迎奎, 屈明, 杨劲松, 等. 咸淡水轮灌对土壤盐分和作物产量的影响研究 [J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(6): 83 - 86.
- [30] MUYEN Z, MOORE G A, WRIGLEY R J. Soil salinity and sodicity effects of wastewater irrigation in South East Australia [J]. Agricultural water management, 2011, 99(1): 33 - 41.
- [31] EL-SABH M I. Effect of the Aswan High Dam on the distribution of salinity in the Suez Cana [J]. Nature, 1968, 218: 758 - 760.
- [32] 余世鹏, 杨劲松, 刘广明. 三峡工程对长江河口土壤盐渍化演变影响 [J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2009, 28(6): 1013 - 1017.
- [33] 朱寿泉, 单光宗, 胡纪常, 等. 南水北调东线沿线土壤盐渍化初步分析 [J]. 地理研究, 1984, 3(4): 111 - 118.