

腐殖酸对滨海黏质盐土持水性能的影响

郭同铠, 毛伟兵*, 孙玉霞, 夏立娟

(山东农业大学 水利土木工程学院, 山东 泰安 271018)

摘要:【目的】研究腐殖酸对黄河三角洲黏质盐土持水性能的影响。【方法】通过压力膜法测定各处理不同水吸力下的土壤含水率, 采用VG方程对土壤水分特征曲线进行拟合, 分析土壤水分特征曲线; 通过KSAT饱和导水率仪测定土壤饱和导水率, 分析腐殖酸配施量与饱和导水率的关系; 通过不同腐殖酸配比下黏质盐土持续蒸发试验, 分析腐殖酸配施量与蒸发的关系。【结果】黏质盐土配施腐殖酸后, 土壤水分特征曲线发生明显变化。各腐殖酸配施量下黏质盐土水分特征曲线均高于T₀处理; 土壤水分常数明显提高, 其中T₂处理和T₅处理配量下提高显著; 饱和导水率明显提高, 且T₂处理和T₅处理提高显著, 与T₀处理相比分别提高36.96%和56.92%; 结合6h和12h累计蒸发量结果, T₂—T₄处理蒸发量较小, 其中, T₄处理蒸发量最小, 但腐殖酸添加量对土壤水分蒸发影响不显著。【结论】腐殖酸能有效提高土壤持水能力, 且T₂处理下黏质盐土持水能力最强。

关键词: 黏质盐土; 腐殖酸; 土壤持水性; VG模型

中图分类号: S156.4+2

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2019313

郭同铠, 毛伟兵, 孙玉霞, 等. 腐殖酸对滨海黏质盐土持水性能的影响[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(2):32-36, 55.

GUO Tongkai, MAO Weibing, SUN Yuxia, et al. Effects of humic acid on water holding properties of clay solonchak[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(2): 32-36, 55.

0 引言

黄河三角洲是我国东部沿海土地后备资源最多的地区, 区内未利用土地 $5.01 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 约占山东省未利用土地面积的33%。受自然环境等多因素影响, 区域内盐碱土占总面积的31.14%, 特别是滨州、东营等地, 盐碱土总面积超过50%^[1-2]。黏质盐土是黄河三角洲地区最重要的土壤类型, 各类黏质盐土占黄河三角洲盐碱土总面积的42.16%^[3-4]。土地退化、土壤盐碱化、生态环境恶化等多种资源环境问题交织的严峻局面, 严重影响黄河三角洲高效生态经济区建设和可持续发展。王睿彤等^[5]通过研究土壤改良剂对黄河三角洲盐碱土的生化特性得出: 牛粪、石膏和秸秆改良效果明显。卢星辰等^[6]通过研究不同改良材料对黄河三角洲盐碱土改良效果, 确定了蚯蚓粪、脱硫石膏、沸石和糠醛渣配施改良效果明显。侯亚玲等^[7]通过研究枯草芽孢杆菌对盐碱土水分运动的影响, 得出枯草芽孢杆菌可以有效降低土壤水分运动。孔祥清等^[8]通过研究生物炭对盐碱土理化性质的影响, 明确生物炭可以提高土壤渗透速率, 提高土壤水分运动性。

同时, 蚯蚓柱、硫酸铝等也是优质改良材料^[9-10]。Abel等^[11]研究了生物炭对土壤持水能力的影响, 得出生物炭可以保持土壤水分。腐殖酸是自然界中一类芳香稠环聚合程度不同的含杂环有机化合物, 具有改良土壤, 增加土壤有机质, 提高土壤肥力的功能。然而目前国内鲜有针对腐殖酸改变土壤持水性能的相关研究, 特别是针对黏质盐土的报道。本研究通过探讨不同腐殖酸配比下黏质盐土持水性能变化, 旨在揭示腐殖酸对黏质盐土持水性影响规律, 同时为黏质盐土改良提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验用土取自山东省滨州市阳信县水落坡乡洼里赵村(37°35'22"N, 117°59'46"E), 腐殖酸基础材料来自山东农大肥业科技有限公司。将风干盐碱土和腐殖酸按照试验设计质量进行称量, 试验设计体积质量模拟田间土壤体积质量为 1.49 g/cm^3 , 土和腐殖酸总质量不变, 腐殖酸配比按0、450、3 600 kg/hm²进行混合, 压制成高1 cm、直径5 cm的土饼于环刀。试验共9组, 分别按T₀—T₈编号, 每组3次重复, 具体配比如表1所示。黏质盐土加入腐殖酸后进行恒温箱30℃培养40 d后, 采用1500F1型压力膜仪测定各组处理土壤水分特征曲线。土壤含水率由烘干法

收稿日期: 2019-10-12

基金项目: 山东省重大科技创新项目(2017CXGC0306)

作者简介: 郭同铠(1994-), 男。硕士研究生, 主要从事水土资源与环境方面研究。E-mail: gtongkai@163.com

通信作者: 毛伟兵(1963-), 女。教授, 博士, 主要从事水土资源与环境研究。E-mail: maoweibing316@126.com

测定。饱和导水率由 KSAT 饱和导水率仪测定。土壤蒸发试验使用直径 20 cm、高 10 cm 的圆柱形 PVC 管，将土壤按照体积质量 1.49 g/cm^3 ，压制成 2 cm 厚的土饼，土壤饱和后在恒温 60°C 条件下持续蒸发 12 h。土壤饱和导水率和土壤蒸发腐殖酸配比与土壤水分特征曲线测定试验相同。

表 1 土壤水分特征曲线测定试验中材料配量

Table 1 Determination of material content in soil moisture characteristic curve test

处理 Treatments	腐殖酸/g Humic acid	黏质盐土/g Clay solonchak	总质量/g Total weight
T0	0	29.266	29.266
T1	0.002	29.264	29.266
T2	0.004	29.262	29.266
T3	0.006	29.260	29.266
T4	0.008	29.258	29.266
T5	0.010	29.256	29.266
T6	0.012	29.254	29.266
T7	0.014	29.252	29.266
T8	0.016	29.250	29.266

1.2 研究方法

采用 van Genuchten 模型 (VG 模型) 进行土壤水分特征曲线拟合, VG 模型具有拟合精度高、适应性广泛的优点^[12-15]。VG 方程表达式:

$$w = w_r + \frac{(w_s - w_r)}{(1 + ah)^{nm}} \quad (1)$$

式中: w 为土壤含水率 (%); w_r 为土壤残余含水率 (%); w_s 是土壤饱和含水率 (%); h 是土壤水吸力 (mH_2O); a 、 n 和 m 是方程参数。含水率单位均为体积含水率。

利用已知 VG 模型进行参数求解, 利用 matlab 中的 lsqcurve fit 函数进行非线性最小二乘法求解。基本数学模型为:

$$\min_x \frac{1}{2} \|F(x, \text{xdata}) - \text{ydata}\|_2^2 \quad (2)$$

$$= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N (F(x, \text{xdata}_i) - \text{ydata}_i)^2$$

通过输入 xdata 值和得到的 ydata 值, 找出与函数 $F(x, \text{xdata})$ 的最佳拟合值 x 。本文中 VG 方程仅需要求得参数 a 和 n (n 中含 m , $m=1-1/n$)。

采用均方根误差 (RMSE) 评价模型拟合效果, 表达式为:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - \theta_i)^2}{N}} \quad (3)$$

式中: N 为设定压力总个数; P_i 为第 i 个压力值所对

应的土壤含水率模拟值; θ_i 为第 i 个压力值对应的土壤含水率实测值。RMSE 是定量描述实测值和拟合值关系的指标, 该值越小则拟合越好^[16-17]。

2 结果与分析

2.1 腐殖酸添加量对土壤水分特征曲线的影响

2.1.1 腐殖酸添加量土壤水分特征曲线拟合

采用 matlab 软件中的 VG 模型对土壤水分特征曲线实测值进行拟合, 得到 R^2 取值范围为 0.956~0.999, 拟合度较高 (表 2)。通过计算不同水吸力下土壤含水率实测值和拟合值间的均方根误差, 结果为 $RMSE < 0.0176$, 拟合效果较好, 表明使用 VG 模型对腐殖酸配施后的黏质盐土水分特征曲线拟合非常吻合, 可以用于表示配施腐殖酸的黏质盐土水分特征曲线。

表 2 不同腐殖酸施加量土壤水分特征曲线拟合情况

Table 2 Fitting of soil moisture characteristic curves with different humic acid application rates

处理 Treatments	a	n	m	R^2	RMSE
T0	0.014 5	1.311 4	0.237 5	0.968 2	0.012 2
T1	0.008 5	1.371 0	0.270 6	0.988 6	0.008 7
T2	0.009 1	1.354 0	0.261 4	0.956 0	0.018 8
T3	0.004 2	1.403 4	0.287 4	0.990 6	0.009 5
T4	0.003 1	1.455 5	0.313 0	0.999 6	0.002 1
T5	0.002 7	1.474 3	0.321 7	0.999 3	0.003 1
T6	0.001 3	1.645 9	0.392 4	0.998 5	0.005 8
T7	0.001 4	1.650 8	0.394 2	0.986 0	0.017 6
T8	0.001 1	1.710 1	0.415 2	0.997 7	0.007 8

2.1.2 腐殖酸添加量对土壤水分特征曲线的影响

随着腐殖酸施加量增加, 土壤水分特征曲线发生显著变化, 即土壤水分特征曲线曲率显著变小 (图 1)。在低吸力段 ($< 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$) 的较窄范围内, 曲线斜率较大, 随着水吸力的增加, 土壤含水率急剧下降, 可以看出土壤持水能力随腐殖酸配施量增加而增加。在中吸力段 ($1.0 \times 10^5 \sim 15 \times 10^5 \text{ Pa}$) 的区间内, 随着土壤水吸力增加, 土壤含水率下降明显变缓, 且逐渐稳定, 持水能力大小与低吸力段相同。高吸力段 ($> 15 \times 10^5 \text{ Pa}$), 属于凋萎含水率以下的无效水, 基本无法被作物吸收。在同一水吸力下, 土壤含水率随腐殖酸添加量的增加而增加, 说明土壤持水能力增强。不同腐殖酸添加量的处理持水能力大小依次是: T0 处理 $<$ T1 处理 $<$ T2 处理 $<$ T3 处理 $<$ T4 处理 $<$ T5 处理 $<$ T6 处理 $<$ T7 处理 $<$ T8 处理。

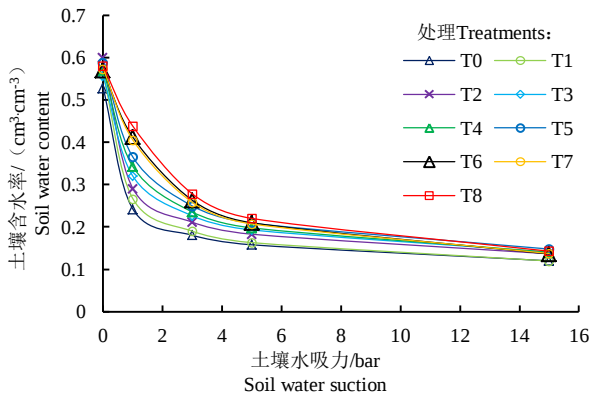


图1 不同腐殖酸施加量对土壤水分特征曲线影响

Fig.1 Effect of different humic acid application rate on soil water characteristic curve

2.2 腐殖酸添加量对土壤水分常数的影响

腐殖酸对土壤水分常数影响显著,随着腐殖酸添加量增加,土壤饱和含水率、土壤田间持水率、土壤毛管含水率和土壤凋萎含水率均呈上升趋势(图2)。与T0处理相比,各处理土壤饱和含水率分别增加了6.24%、13.68%、5.50%、8.10%、11.51%、7.97%、8.63%、9.87%,其中T2和T5处理增加显著。土壤田间持水率分别增加了13.01%、21.92%、34.25%、44.77%、53.82%、69.84%、68.63%、77.89%。土壤毛管含水率分别增加了12.96%、20.34%、19.97%、25.02%、29.80%、28.35%、29.02%、30.98%。土壤凋萎含水量除T1处理外,分别增加了15.97%、13.69%、19.10%、24.56%、27.44%、19.00%、35.24%,T1处理降低了1.65%。说明腐殖酸能有效提高土壤水分常数,即提高土壤含水率,有利于作物生长和作物产量,对改善当地环境有重要作用。

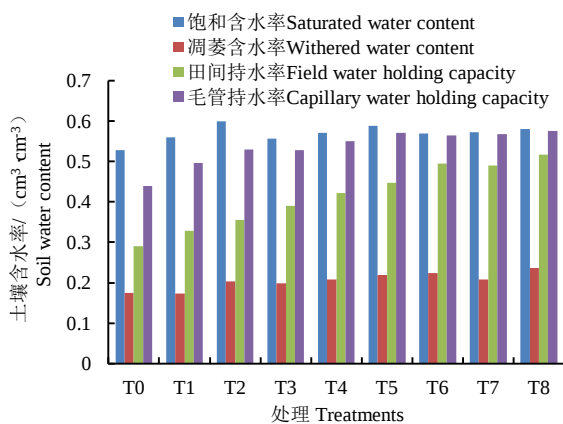


图2 土壤水分常数变化

Fig.2 Changes in soil moisture constant

2.3 腐殖酸添加量对土壤饱和和导水率的影响

随着腐殖酸添加量的增加,土壤饱和和导水率呈增加趋势(图3)。与T0处理相比,除T6处理外,其余处理土壤饱和含水率分别增加了5.59%、36.96%、8.59%、8.70%、59.52%、73.29%、128.05%,T6处

理与T0处理相比降低了2.17%,其中T2处理和T5处理增加最为明显。表明添加腐殖酸可以增加土壤饱和和导水率,对土壤水分运动有促进作用,对黏质盐土盐分淋洗具有促进作用。

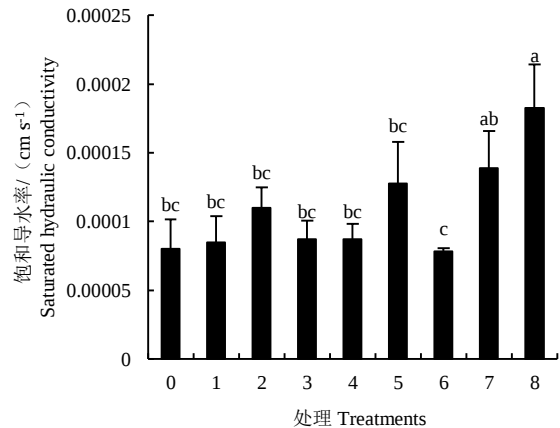


图3 不同腐殖酸施加量对饱和和导水率的影响

Fig.3 Effect of different humic acid application on saturated hydraulic conductivity

2.4 腐殖酸添加量对土壤水分蒸发的影响

随着腐殖酸添加量的增加,土壤水分蒸发量呈先上升后降低趋势(图4)。在6h累计蒸发中,T1处理、T6-T8处理与T0处理相比分别增加了5.29%、3.65%、2.13%、7.46%,T2-T5处理与T0处理相比分别降低了4.66%、3.89%、7.47%、5.39%。以T4处理降低最为明显,说明T4处理保水能力最强。在12h累计蒸发中,T1处理和T5-T8处理与T0处理相比分别增加了3.45%、2.15%、7.08%、11.07%、13.68%,T2-T4处理与T0处理相比分别降低了2.82%、0.40%、2.68%。以T2和T4处理降低最为明显,说明T2处理和T4处理保水性最强。但是腐殖酸添加量对土壤水分蒸发影响不显著($p < 0.05$)。

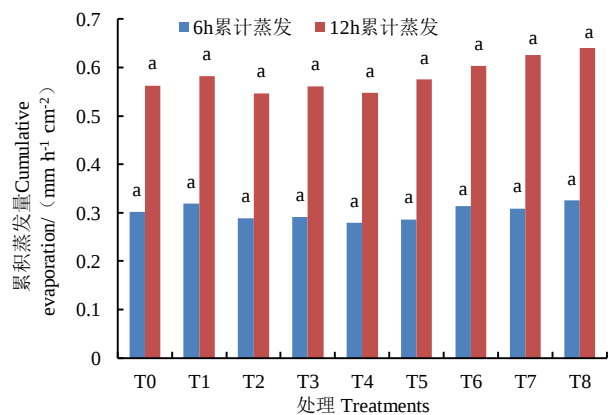


图4 土壤累计蒸发量

Fig.4 Cumulative soil evaporation

3 讨论

本文通过对不同腐殖酸配施量下黏质盐土进行

土壤水分特征曲线、饱和导水率和土壤蒸发量测定, 定量分析了腐殖酸对土壤持水性能的影响, 明确了腐殖酸对土壤水分特征曲线、土壤水分常数、土壤饱和导水率和土壤水分蒸发的影响, 得出了在各试验处理下, 土壤持水能力最强的腐殖酸配比, 使试验结论更具有现实意义。黏质盐土配施腐殖酸后, 土壤水分含量升高, 是因为黏质盐土质地黏重, 透水性能差, 导致水分积聚于土壤表面进而产生水分蒸发, 而腐殖酸能提高黏质盐土含水率, 增强土壤饱和导水率, 促进盐分淋洗, 改善土壤物理性状, 从而对黏质盐土改良有重要意义。腐殖酸对土壤饱和导水率的影响研究较少, 本文针对土壤饱和导水率和腐殖酸配施量展开研究, 腐殖酸是大分子有机化合物, 分子外有很多具有亲水性官能团, 水分聚集于官能团的吸附位点上^[18], 当土壤饱和时, 土壤孔隙水分运动带动官能团上的水分运动, 使土壤水分运动性增加, 试验结果表明腐殖酸能有效提高黏质盐土饱和导水率, 对土壤水分运动与盐分淋洗具有积极的促进作用。在土壤水分蒸发过程中, 分析土壤蒸发量与腐殖酸配施量的关系, 由试验数据得出腐殖酸在 T2—T4 处理配比下蒸发量较少, 主要原因是 T5—T8 处理腐殖酸配施多, 腐殖酸具有较强的吸水性, 导致土壤初始含水量较高, 初始含水率对蒸发的影响大于腐殖酸吸水性, 导致蒸发量升高, 但在蒸发条件下, 腐殖酸仍能保持土壤水分, 增强土壤持水能力, 降低土壤水分蒸发强度。腐殖酸不仅增强了黏质盐土持水性, 保证作物生长用水, 还提高了饱和导水率, 促进盐分淋洗, 降低土壤水分蒸发量, 增强土壤持水保水性能。

黄河三角洲地区土壤盐碱化严重、土壤质地黏重、物理性状不良, 盐害十分严重, 导致作物产量低下, 甚至寸草不生, 土壤资源难以利用^[19-22]。腐殖酸质地较轻, 营养成分高, 将腐殖酸施加到黏质盐土中, 对土壤水分提高起到了一定的改善作用, 与前人研究结果基本一致^[23-24]。随腐殖酸的添加量增加, 土壤含水率升高, 这一结论与顾鑫的研究结果基本一致^[25]。

900 kg/hm² 的腐殖酸配施量下的黏质盐土饱和导水率提升显著, 土壤持水保水能力增强最明显, 可为田间试验提供理论基础, 为研究田间适用性与田间实际情况的效果奠定基础。后续应进行田间腐殖酸配施量下的黏质盐土改良试验, 以证实试验结果的准确性。另外应针对土壤持水能力和腐殖酸配施量变化, 进行定量的关系研究, 从机理层面解决土壤持水能力变化与腐殖酸的关系。

4 结 论

1)VG 模型拟合滨海盐碱土土壤水分特征曲线具有较好的效果, 且参数 α 随腐殖酸配施量的增加发生

明显降低, 从 0.014 5 到 0.001 1, 参数 n 明显升高, 从 1.314 4 增加到 1.710 1。

2) 从 VG 模型参数 α 和 n 和土壤水分特征曲线可以看出, 腐殖酸对滨海黏质盐土持水能力有明显提高作用。

3) 随腐殖酸配施量增加, 土壤饱和导水率提高, T2 处理和 T5 处理升高最明显, 比对照分别提高了 38.69%、64.13%, 有利于促进黏质盐土洗盐、排盐。

4) 在 6 h 累计蒸发中, T4 处理保水性最强。在 12 h 累计蒸发中, T2 处理和 T4 处理保水性最强, 因此在蒸发条件下, T4 处理的保水性最强。

参考文献:

- [1] 毛伟兵. 引黄泥沙对黄河三角洲粘质盐土改良研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2015.
MAO Weibing. Study on the Improvement of Viscous Saline Soil in the Yellow River Delta by Yellow River Sediment[D]. Beijing: China Agricultural University, 2015.
- [2] 范晓梅, 刘高焕, 唐志鹏, 等. 黄河三角洲土壤盐渍化影响因素分析[J]. 水土保持学报, 2010, 24(1): 139-144.
FAN Xiaomei, LIU Gaohuan, TANG Zhipeng, et al. Analysis of factors affecting soil salinization in the Yellow River Delta[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2010, 24(1): 139-144.
- [3] 刘云, 孙书洪. 不同改良方法对滨海盐碱地修复效果的影响[J]. 灌溉排水学报, 2014, 33(Z1): 248-250, 272.
LIU Yun, SUN Shuhong. Effects of Different Improved Methods on the Remediation Effect of Coastal Saline-alkali Land[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2014, 33(Z1): 248-250, 272.
- [4] 山东省土壤肥料工作站. 山东土种志[M]. 北京: 中国农业出版社, 1993: 563-606.
Shandong Soil and Fertilizer Workstation. Shandong Soil Species[M]. Beijing: China Agricultural Press, 1993, 563-606.
- [5] 王睿彤, 孙景宽, 陆兆华. 土壤改良剂对黄河三角洲滨海盐碱土生化特性的影响[J]. 生态学报, 2017, 37(2): 425-431.
WANG Ruitong, SUN Jingkuan, LU Zhaohua. Effects of soil amendments on the biochemical characteristics of coastal saline-alkali soil in the Yellow River Delta[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(2): 425-431.
- [6] 卢星辰, 张济世, 苗琪, 等. 不同改良物料及其配施组合对黄河三角洲滨海盐碱土的改良效果[J]. 水土保持学报, 2017(6): 329-335.
LU Xingchen, ZHANG Jishi, MIAO Qi, et al. Improvement effect of different improved materials and their combined application on coastal saline-alkali soil in the Yellow River Delta[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2017(6): 329-335.
- [7] 侯亚玲, 周蓓蓓, 王全九, 等. 枯草芽孢杆菌对盐碱土水分运动和水稳性团聚体的影响[J]. 水土保持学报, 2017, 31(4): 105-111, 147.
HOU Yaling, ZHOU Beibei, WANG Quanjiu, et al. Effects of Bacillus

- subtilis on water movement and water-stable agglomerates of saline-alkali soil[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2017, 31(4): 105-111, 147.
- [8] 孔祥清, 韦建明, 常国伟, 等. 生物炭对盐碱土理化性质及大豆产量的影响[J]. 大豆科学, 2018, 37(4): 647-651.
- KONG Xiangqing, WEI Jianming, CHANG Guowei, et al. Effects of biochar on the physical and chemical properties of saline-alkali soil and soybean yield[J]. Soybean Science, 2018, 37(4): 647-651.
- [9] ZUO W, XU K, ZHANG W, et al. Heavy metal distribution and uptake by maize in a mudflat soil amended by vermicompost derived from sewage sludge [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2019, 26(29): 30 154-30 166.
- [10] ZHAO Xingmin, ZHU Menglong, GUO Xinxin, et al. Organic carbon content and humus composition after application aluminum sulfate and rice straw to soda saline-alkaline soil.[J]. Environmental science and pollution research international, 2019, 26(14): 13 746-13 754.
- [11] ABEL S, PETERS A, TRINKS S, et al. Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil[J]. Geoderma, 2013, 202: 183-191.
- [12] 彭建平, 邵爱军. 用 MatLab 确定土壤水分特征曲线参数[J]. 土壤, 2007, 39(3): 433-438.
- PENG Jianping, SHAO Aijun. Determination of Soil Water Characteristic Curve Parameters by MatLab[J]. Soils, 2007, 39(3): 433-438.
- [13] 陈安强, 雷宝坤, 胡万里, 等. 洱海沿岸菜地包气带土壤水分特征曲线参数变化及其影响因素[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(10): 48-54.
- CHEN Anqiang, LEI Baokun, HU Wanli, et al. Changes of soil water characteristic curve parameters and its influencing factors in the aeration zone of the coastal vegetable fields in the Bohai Sea[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2018, 37(10): 48-54.
- [14] 刘建立, 徐绍辉, 刘慧. 估计土壤水分特征曲线的间接方法研究进展[J]. 水利学报, 2004, 35(2): 68-76.
- LIU Jianjian, XU Shaohui, LIU Hui. Research progress of indirect methods for estimating soil water characteristic curves[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2004, 35(2): 68-76.
- [15] 李玉庆, 蒙强, 张存, 等. 西藏林芝地区土壤水分特征曲线适用性研究[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(10): 75-81.
- LI Yuqing, MENG Qiang, ZHANG Cun, et al. Applicability of Soil Water Characteristic Curve in Linzhi Area of Tibet[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2017, 36(10): 75-81.
- [16] 石锦, 周脚根, 王辉, 等. 点源时间序列数据缺失值的估值不确定性分析: 以小流域气象和水文数据为例[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(2): 84-92.
- SHI Jin, ZHOU Jiaogen, WANG Hui, et al. Evaluation of Uncertainty in Missing Values of Point Source Time Series Data: Taking Small Watershed Meteorological and Hydrological Data as an Example[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2019, 38(2): 84-92.
- [17] 张玉雪, 朱焱, 杨金忠. 基于集合卡尔曼滤波的灌域尺度地下水多参数联合反演[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(5): 66-74.
- ZHANG Yuxue, ZHU Yan, YANG Jinzhong. Multi-parameter joint inversion of groundwater based on ensemble Kalman filter[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2018, 37(5): 66-74.
- [18] 刘红缨, 郝国军, 朱雨曦, 等. 内蒙胜利褐煤腐殖酸对煤平衡复吸水的的影响[J]. 燃料化学学报, 2016, 44(11): 1 281-1 286.
- LIU Hongwei, HAO Guojun, ZHU Yuxi, et al. Effects of Shengli Brown Coal Humic Acid on Balanced Reabsorption of Coal in Inner Mongolia [J]. Journal of Fuel Chemistry, 2016, 44(11): 1 281-1 286.
- [19] 张凌云, 赵庚星, 徐嗣英, 等. 滨海盐渍土适宜土壤盐碱改良剂的筛选研究[J]. 水土保持学报, 2005(3): 21-23, 28.
- ZHANG Lingyun, ZHAO Gengxing, XU Yuying, et al. Screening of suitable saline-alkali improvers for coastal saline soil[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2005(3): 21-23, 28.
- [20] 李旭霖, 刘庆花, 柳新伟, 等. 不同改良剂对滨海盐碱地的改良效果[J]. 水土保持通报, 2015, 35(2): 219-224.
- LI Xulin, LIU Qinghua, LIU Xinwei, et al. The improvement effect of different amendments on coastal saline-alkali land[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2015, 35(2): 219-224.
- [21] 尹春艳, 陈小兵, 刘虎, 等. 不同淋洗条件下黄河三角洲盐渍土脱盐规律研究[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(3): 76-82.
- YIN Chunyan, CHEN Xiaobing, LIU Hu, et al. Study on the Desalination of Saline Soil in the Yellow River Delta under Different Leaching Conditions[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2019, 38(3): 76-82.
- [22] 文佩, 陈小兵, 王佳宇, 等. 氮素形态配比对黄河三角洲盐渍土区冬小麦幼苗生长的影响[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(10): 69-74.
- WEN Pei, CHEN Xiaobing, WANG Jiayu, et al. Effects of Nitrogen Form Ratio on Growth of Winter Wheat Seedlings in Saline Soil Region of the Yellow River Delta[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2018, 37(10): 69-74.
- [23] 马献发, 曾祥书. 腐植酸类制剂改良松嫩平原盐渍化草场的研究[J]. 腐植酸, 2007(5): 27-30.
- MA Xianfa, ZENG Xiangshu. Study on Improvement of Salinized Grassland in Songnen Plain by Humic Acid Preparation [J]. Humic Acid, 2007 (5): 27-30.
- [24] 王洪凤, 吴钦泉, 谷端银, 等. 风化煤腐植酸对土壤理化性状的影响[J]. 腐植酸, 2014(6): 8-12.
- WANG Hongfeng, WU Qinquan, GU Duanyin, et al. Effect of weathered coal humic acid on soil physical and chemical properties[J]. Humic Acid, 2014(6): 8-12.
- [25] 顾鑫, 任翠梅, 杨丽, 等. 天然煤炭腐植酸对盐碱土改良效果的研究[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(9): 57-61.
- GU Xin, REN Cuimei, YANG Li, et al. Study on the improvement effect of natural coal humic acid on saline-alkaline soil [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2017, 36(9): 57-61.