

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2020.04.007

韦本辉, 申章佑, 周佳, 等. 粉垄耕作改良盐碱地效果及机理. 土壤, 2020, 52(4): 699–703.

粉垄耕作改良盐碱地效果及机理^①

韦本辉, 申章佑, 周佳, 周灵芝, 胡泊, 张宪

(广西农业科学院经济作物研究所, 南宁 530007)

摘要: 在重度盐碱地上, 采用粉垄专用机械 2 a 内耕作 3 次, 并以拖拉机旋耕为对照, 比较了两种耕作方式 0~20、20~40、40~60 cm 土层土壤容重、含盐量以及作物产量, 探讨了粉垄耕作改良盐碱地的效果及其机理。结果表明: 粉垄耕作 3 次, 0~20 cm 土壤容重由试验前的 1.27 g/cm³ 降至 1.06 g/cm³, 降幅达 16.54%; 而对照土壤容重降至 1.12 g/cm³, 降幅为 11.81%, 粉垄耕作比对照降低 29.1%。第 1 次耕作后, 粉垄耕作土壤 0~20、20~40 和 40~60 cm 土层全盐量分别为 8.6、5.7 和 4.4 g/kg, 对照分别为 9.2、4.9 和 4.2 g/kg, 粉垄耕作较对照的变化幅度分别为 -6.52%、16.32% 和 4.54%, 第 3 次耕作种植夏玉米, 粉垄耕作玉米产量(鲜重)为 12 150 kg/hm², 比对照(7 020 kg/hm²)增产 73.0%。试验结束时, 0~20、20~40、40~60 cm 土壤全盐含量粉垄耕作分别为 4.3、7.2 和 4.9 g/kg, 比对照(分别为 8.9、4.7 和 4.3 g/kg)分别下降 51.68%、增加 53.19% 和增加 13.95%。上述结果表明, 粉垄耕作可以使土壤盐分向下迁移而下层盐分不易上移, 保证上层土壤盐分相对较低, 从而有利于作物的正常发育和生长。

关键词: 粉垄耕作; 超深耕作; 重度盐碱地; 物理改良; 增产效果

中图分类号: S156.4+2 文献标志码: A

Study on Effect and Mechanism of Improving Saline-alkali Soil by Fenlong Tillage

WEI Benhui, SHEN Zhangyou, ZHOU Jia, ZHOU Lingzhi, HU Po, ZHANG Xian

(Cash Crops Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China)

Abstract: The severe saline-alkali land was cultivated by special Fenlong machinery and by the conventional tractor rotary tillage (CK) 3 times within two years, soil bulk densities and salt contents in 0–20, 20–40 and 40–60 cm layers and the crop yields were measured and compared, and the effect and its mechanism of Fenlong tillage improving saline-alkali land were discussed. The results showed that Fenlong tillage reduced soil bulk density of 0–20 cm layer from the test before 1.27 g/cm³ to 1.06 g/cm³ with a decrease by 16.54%, while CK decreased soil bulk density of 0–20 cm layer from the test before 1.27 g/cm³ to 1.12 g/cm³ with a decrease by 11.81%, the former reduced 29.1% more than the latter. Immediate sampling after the first cultivation showed that the total salt contents in 0–20, 20–40 and 40–60 cm layers were 8.6, 5.7 and 4.4 g/kg for Fenlong tillage, 9.2, 4.9 and 4.2 g/kg for CK, and the variation ranges between the two tillage methods were -6.52%, 16.32% and 4.54%, respectively. For the third cultivation, summer maize was planted, and maize yield (fresh weight) was 12 150 kg/hm² for Fenlong tillage, 73.0% higher than CK (7 020 kg/hm²). At the end of this test, the total salt contents in 0–20, 20–40 and 40–60 cm were 4.3, 7.2 and 4.9 g/kg for Fenlong tillage, while 8.9, 4.7 and 4.3 g/kg for CK, and the variation ranges between the two tillage methods were -51.68%, 53.19% and 13.95%. The above results showed that Fenlong tillage could move the salt from the surface layer (0–20 cm) to the low layer while inhibit the salt in the low layer moving upwards, thus make the salt content in surface soil at a relatively low level, which is conducive to the normal germination and growth of crops.

Key words: Fenlong tillage; Deep tillage; Saline-alkali soil; Physical improvement; Yield-increasing effect

盐渍化, 尤其是重度盐渍化土地物理性治理与开发利用, 仍属世界面临的重大难题。据联合国教科文组织和粮农组织不完全统计, 全世界盐碱地面积为

9.543 8 亿 hm²^[1]。中国盐碱土面积为 0.991 亿 hm², 仅次于澳大利亚, 为世界第二大盐碱地分布国家, 约占世界盐碱地资源的 1/10^[2]。中国盐碱地面积占耕地

①基金项目: 山东黄三角农高区合作项目(2017-4)和广西创新驱动重大专项(桂科 AA17204037)资助。

作者简介: 韦本辉(1954—), 男, 广西北流人, 研究员, 主要研究方向为粉垄绿色农耕方法的高效利用。E-mail: weibenhui@126.com

面积的 6.62%，主要分布在西北、华北、东北及沿海地区^[3]，如果利用好，它将是一个巨大的潜力资源。盐碱地的改良是一个全球性的课题，寻求有效的防治方法和改良措施对盐碱地的合理利用、缓解耕地资源紧缺具有十分重要的意义。目前，对于盐碱地的改良利用方法主要有化学措施、生物措施、水利措施及农业措施等。沈婧丽等^[4]研究指出，脱硫石膏改良盐碱地在土壤全盐、碱化度、孔隙度、胶体离子代换量、微生物活性、土壤酶活性、植物成活率、根系活力、光合及水分利用效率、产量与品质等方面具有显著效果。王曼华等^[5]在研究秸秆双层覆盖对盐碱地水盐运动影响中指出，秸秆处理均在不同程度上抑制了土壤返盐，其中土表与土表下 35 ~ 40 cm 处秸秆覆盖量 2 : 1 时返盐率最小，远低于对照。周圣凯^[6]利用微咸水灌溉改良盐碱地，水稻种植田间试验表明施用磷石膏 3.0 kg/m²、有机肥 0.003 m³/m²，微咸水冲洗，改良效果良好。郭耀东等^[7]在研究轮作绿肥对盐碱地的影响时，发现种植和翻压豆科绿肥可有效改良中度苏打盐碱地，显著提高土壤肥力，促进优质牧草的生产。张雪辰等^[8]对化学改良剂聚丙烯酰胺(PAM)适宜用量研究发现，PAM 在盐渍土改良中较适宜的施用量为 0.09 g/kg。马玉露等^[9]在研究氧化钙与有机无机混合肥配施对盐碱地改良效果中发现，150 kg/hm² CaO + 2 996 kg/hm² 有机无机混合肥条件下土壤 pH 和碱化度改良效果最优，并且土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量也有明显改善。王洁等^[10]研究指出，风化煤添加到不同含盐量的滨海盐渍化土壤后，可降低土壤浸提液的钠吸附比及 Cl⁻/SO₄²⁻ 比，有助于减轻盐渍危害。这些措施对盐碱地的改良有一定的效果，但不是成本太高就是需要的时间太长，均不利于盐碱地的规模改造。粉垄耕作技术是笔者团队发明^[11]的一项新型农耕技术，是“超深耕、不乱土层、保松土、一次性完成整地任务、可适于包括盐碱地退化草原及林地等一切宜耕土地”的耕作整地方法与栽培技术。该技术有利于土壤均匀细碎、孔隙度增加、容重降低，有利于雨水的下渗从而聚集更多的天然降水，有利于作物根系深扎吸取更多的水分、养分，有利于提高肥料利用率等。研究表明，该方法可以有效促进作物产量的提高^[12-16]，在盐碱地改良利用上也已经取得初步成效^[17]，但其改良盐碱地的具体机理尚不清楚。为此，本研究针对重度盐碱化土壤，比较了粉垄耕作和拖拉机旋耕两种方式对土壤容重、全盐含量和玉米产量的影响，以明确粉垄耕作技术物理性改良盐碱地的机理及其增产效果，为盐碱地的改良利用提供

理论依据与技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于山东省东营市黄河三角洲农业高新技术产业示范区广北农场二分场，为滨海重度盐碱地。试验地前期为荒地，土壤 0 ~ 20、20 ~ 40、40 ~ 60 cm 土层原始全盐含量分别为 11.3、5.1、4.1 g/kg。

1.2 试验设计

试验设置粉垄耕作(FL)深度 40 cm 和拖拉机旋耕(XG)深度 20 cm 两种处理，各 3 次重复，每个处理与另外一个相邻。小区长 30 m，宽 16 m，面积 480 m²。第一次耕作时间 2017 年 5 月 10 日，耕作后不种植作物；第二次耕作时间 2017 年 8 月 25 日，耕作后播种胡萝卜、白菜，观察其可否发芽、出苗；第三次耕作时间 2018 年 5 月 29 日，耕作后种植玉米，按常规种植管理，但不进行灌溉，2018 年 9 月 17 日收获。

1.3 取样时间及方法

在第一次耕作前(2017 年 5 月 7)、第一次耕作后(2017 年 5 月 10 日)、第二次耕作前(2017 年 8 月 23 日)、第二次耕作后(2017 年 8 月 26 日)、第三次耕作前(2018 年 5 月 28 日)、第三次耕作后(2018 年 5 月 29 日)、玉米收获后(2018 年 9 月 17 日)，每个小区选取 3 个点，深挖至土表下 60 cm，按照 0 ~ 20、20 ~ 40、40 ~ 60 cm 分层取环刀样测定土壤物理结构。另，每个小区按照棋盘法选取 24 个样点，用土钻在每个样点按 0 ~ 20、20 ~ 40、40 ~ 60 cm 分层取样，混合均匀，并在阴凉条件下自然晾干，测定土壤全盐含量。

1.4 测定指标及方法

土壤物理指标测定：采用环刀法测定土壤容重，根据土壤容重计算土壤孔隙度。

土壤全盐含量测定：残渣法，参照张冬梅等^[18]方法。

1.5 数据处理

采用 Excel 2013 进行数据的初步处理，采用 SPSS 17.0 进行数据的统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同耕作方式对盐碱地土壤容重的影响

由表 1 可见，两种耕作方式均可以降低耕作层的土壤容重，但影响的土层有所不同。拖拉机旋耕可以降低 0 ~ 20 cm 土层的容重，由耕作前的 1.27 g/cm³

降低到玉米收获后的 1.12 g/cm³，但是对 20 ~ 60 cm 土层的容重几乎没有影响，容重维持在 1.35 g/cm³ 左右；粉垄耕作可以降低 0 ~ 20 cm 土层的容重，可将容重由耕作前的 1.27 g/cm³ 降低到玉米收获后的 1.06 g/cm³，但对 40 ~ 60 cm 土层的容重没有影响，仍然维持在 1.35 g/cm³ 左右。

与拖拉机旋耕相比，粉垄耕作可以更大幅度地降低土壤容重，而且也可以影响更深层次的土壤。0 ~ 20 cm 土层，每次耕作后即时取样，粉垄耕作比拖拉机旋耕降低容重 0.03 ~ 0.08 g/cm³，降低幅度 2.36% ~

6.35%；在第二次耕作前、第三次耕作前、玉米收获后取样显示，粉垄耕作比拖拉机旋耕仍然降低容重 0.05 ~ 0.10 g/cm³，降低幅度 3.70% ~ 7.25%。20 ~ 40 cm 土层，每次耕作后即时取样，粉垄耕作比拖拉机旋耕降低 0.19 ~ 0.34 g/cm³，降低幅度 12.50% ~ 22.22%；在第二次耕作前、第三次耕作前、玉米收获后取样显示，粉垄耕作比拖拉机旋耕仍然降低容重 0.21 ~ 0.27 g/cm³，降低幅度 13.63% ~ 17.42%。40 ~ 60 cm 土层，由于两种耕作方式均未能扰动到该土层，其容重保持在 1.39 g/cm³ 左右(表 1)。

表 1 不同耕作方式土壤容重(g/cm³)
Table 1 Soil bulk densities under different tillage methods

土层(cm)	耕作方式	取样时间						玉米收获后
		第 1 次耕作前	第 1 次耕作后	第 2 次耕作前	第 2 次耕作后	第 3 次耕作前	第 3 次耕作后	
0 ~ 20	XG	1.27 b	1.09 c	1.12 b	1.08 b	1.15 bc	1.09 b	1.12 b
	FL	1.27 b	1.01 c	1.11 b	0.96 c	1.08 c	0.98 c	1.06 c
20 ~ 40	XG	1.34 a	1.32 b	1.33 a	1.35 a	1.34 b	1.33 a	1.36 a
	FL	1.34 a	1.03 c	1.12 b	0.98 c	1.10 c	0.97 c	1.07 c
40 ~ 60	XG	1.38 a	1.40 a	1.39 a	1.39 a	1.40 a	1.38 a	1.39 a
	FL	1.38 a	1.39 a	1.37 a	1.38 a	1.41 a	1.37 a	1.39 a

注：表中同列数据后小写字母不同表示数据间差异显著(P<0.05)，下同。

2.2 不同耕作方式对盐碱地土壤全盐含量的影响

2.2.1 0 ~ 20 cm 土层 作物的生长，根系主要分布在 0 ~ 20 cm 土层，盐碱地土壤的盐分大部分也是集中于这个土层，从而限制了作物的生长发育，这也是大部分盐碱地不能种植作物的原因所在。在本试验中，多年未耕作的重度盐碱地 0 ~ 20 cm 土层全盐含量达 11.3 g/kg。

由表 2 可见，重度盐碱地经拖拉机旋耕，第一次耕作后，全盐含量下降到 9.2 g/kg，下降幅度 18.58%，在第二次旋耕之前，其含量有所上升，为 9.7 g/kg，但第二次旋耕后含盐量又下降到与第一次旋耕后几乎一样的水平(8.7 g/kg)，第三次旋耕前和第三次旋耕

后、玉米收获后土壤的全盐含量有小幅度波动，但总体维持在同一水平。

重度盐碱地经粉垄耕作，第一次耕作后，土壤全盐含量下降到 8.6 g/kg，下降幅度 23.89%，在第二次粉垄前、第二次粉垄后、第三次粉垄前、玉米收获后含盐量呈持续下降的趋势，最终在玉米收获后，土壤全盐含量下降到 4.3 g/kg，比耕作之前下降了 7.0 g/kg，下降幅度为 61.94%。

2.2.2 20 ~ 40 cm 土层 由于拖拉机旋耕机具的限制，无法耕作到 20 ~ 40 cm 土层，所以在整个试验期内，拖拉机耕作处理的该土层土壤全盐含量变化不大，维持在 5.0 g/kg 小幅度波动。

表 2 不同耕作方式土壤全盐含量(g/kg)
Table 2 Soil total salt contents under different tillage methods

土层(cm)	耕作方式	取样时间						玉米收获后
		第 1 次耕作前	第 1 次耕作后	第 2 次耕作前	第 2 次耕作后	第 3 次耕作前	第 3 次耕作后	
0 ~ 20	XG	11.3 a	9.2 a	9.7 a	8.7 a	9.1 a	8.5 a	8.9 a
	FL	11.3 a	8.6 a	7.9 ab	6.4 b	5.7 b	5.4 bc	4.3 cd
20 ~ 40	XG	5.1 b	4.9 b	4.7 cd	5.2 bc	5.1 bc	5.3 bc	4.7 c
	FL	5.1 b	5.7 b	6.1 c	5.8 b	6.3 b	6.7 b	7.2 b
40 ~ 60	XG	4.1 bc	4.2 bc	3.9 d	4.0 d	4.2 d	4.1 d	4.3 cd
	FL	4.1 bc	3.8 c	4.3 cd	4.2 d	4.5 c	4.4 d	4.9 c

粉垄耕作粉碎疏松至土壤 20~40 cm 土层,所以在整个试验期内该处理该土层的全盐含量总体呈上升的趋势,经过 3 次粉垄耕作和种植一季玉米后,该层土壤中全盐含量由 5.1 g/kg 增加到 7.2 g/kg,上升幅度为 41.18%。

2.2.3 40~60 cm 土层 在 40~60 cm 土层,拖拉机旋耕和粉垄耕作两种方式均无法扰动到该土层。拖拉机旋耕土壤全盐含量在该土层表现与 20~40 cm 土层相似,保持在 4.0 g/kg 左右小幅度波动。

粉垄耕作的全盐含量在该土层中仍然呈上升趋势,但其上升的幅度较 20~40 cm 土层的小,经过 3 次粉垄耕作和种植一季玉米后,土壤全盐含量由 4.1 g/kg 增加到 4.9 g/kg,上升幅度为 19.51%。

3 讨论

盐碱土是在一定的自然条件下形成的,其形成的实质主要是各种易溶性盐类在地面作水平方向与垂直方向的重新分配,从而使盐分在土壤表层逐渐积聚起来,它的形成主要是受气候、地形和水文地质等自然因素的综合影响^[19]。根据不同的地理环境,中国的盐碱土可以分为东部滨海盐土与滩涂、黄淮海平原盐渍土、东北松嫩平原盐土和碱土、半漠境内陆盐土和青海、新疆极端干旱的漠境盐土^[20]。盐碱地土壤中盐分的运动特征为“盐随水走、水走盐留”,“盐随水走”指的是土壤中的盐分随水分一起迁移,“水走盐留”则是指在土壤表层水分由于蒸发作用进入空气,而盐分就留在土壤表层,从而使得土壤表层的盐分含量增加,当增加到一定程度时形成盐土^[21]。土壤中水分迁移有水平和垂直两个方向,水分垂直向下运动主要依靠淋溶下渗作用进行,盐碱地改良中灌溉“压盐”利用的就是这个原理^[22];水分的垂直向上和水平移动主要依靠土壤的毛细管作用进行,盐碱地改良中用砂砾或者秸秆等物质设置隔盐层就是为了切断土壤的毛细管作用,阻止下层的盐分向上迁移^[23-24]。

蒋名亮等^[25]对黄河三角洲县域研究发现,0~20 cm 土层土壤盐分高于 20~40 cm 土层,0~20 cm 土层土壤沿海岸线表现出强烈的盐化和钠质化现象,而 20~40 cm 土层整体上盐分和钠吸附比均小于表层土壤,盐化与钠质化比较弱;土壤 pH 则表现为 20~40 cm 土层高于 0~20 cm 土层,其碱化现象较为明显。

在本试验中,粉垄耕作可以有效改良盐碱地,正是遵循了盐碱地土壤中盐分的运移规律,采用有效的

物理措施进行干预,从而达到了改良的目的。①粉垄耕作利用粉垄机械螺旋型钻头,垂直入土高速旋磨切割土壤,不仅加深了土壤耕作层(40 cm 左右),且土壤均匀细碎,将原来耕作层中土壤盐分分布到加深后的耕作层土壤中,在物理层面上稀释了盐分的含量,使 0~20 cm 耕层中的土壤盐分含量得以明显下降;②粉垄耕作后,盐碱地土壤耕作层疏松,雨水下渗速度加快 30%~50%,土壤中部分盐分可以随天然降水淋溶作用而下降至耕作层以下的底部土壤;③粉垄耕作机具螺旋型钻头横向切割土壤,使得耕作层内土壤细碎,其毛细管被切断,下渗到底部的盐分难以再随蒸腾返盐;④经粉垄耕作的盐碱地土壤,随着“淡盐”作用和通透性的增强,加之土壤其他养分和微生物得以激活利用,形成全新的土壤生态环境,有利于促进作物根系生长和深扎,形成良好的根系体系,促进地面植株茁壮生长和提高光合效率,进而促进作物大幅增产。

笔者在其他研究中也类似的结果,比如在吉林洮南的重度盐碱地,经过粉垄耕作后 0~20 cm 土层的全盐含量下降了 72%,随后任其在自然状态下生长杂草,杂草生物量比拖拉机旋耕增产 1 倍以上,在新疆尉犁的重度盐碱地粉垄耕作种植棉花、在陕西富平的轻度盐碱地粉垄耕作种植玉米/小麦也获得类似的结果^[17]。在本试验区外,本课题高粱试验表明,粉垄耕作 3 次处理后,种植的高粱地上部生物产量为 123 300 kg/hm²,比拖拉机旋耕 3 次的生物产量 31 785 kg/hm²,增产 287.9%。

4 结论

粉垄耕作,利用其超深耕不乱土层、土壤空隙度大、毛细管被切断的优势,可有效促进盐碱地上层(0~20 cm)土壤中的盐分向中、下层土壤迁移,中、下层土壤中接纳的上层下移盐分不易再上移“返盐”,从而达到改良盐碱地的目的。该方法改良盐碱地,操作简单、成本低廉、见效快,可在我国盐碱地特别是重度盐碱地改良上推广使用。

致谢:本论文的完成得到山东黄河三角洲农业高新技术产业示范区管委会科技局刘志鑫、王路路、亓超、王菊英等同志在试验过程中给予的帮助,在此表示感谢。

参考文献:

- [1] 王胡军,李纯,钟香梅,等.盐碱地改良技术研究进展[J].农业工程,2014,4(z1):44-47.

- [2] 张建锋, 张旭东, 周金星, 等. 世界盐碱地资源及其改良利用的基本措施[J]. 水土保持研究, 2005, 12(6): 28-30, 107.
- [3] Mao W B, Kang S Z, Wan Y S, et al. Yellow river sediment as a soil amendment for amelioration of saline land in the Yellow River Delta[J]. Land Degradation & Development, 2016, 27(6): 1595-1602.
- [4] 沈婧丽, 王彬, 许兴. 脱硫石膏改良盐碱地研究进展[J]. 农业科学研究, 2016, 37(1): 65-69.
- [5] 王曼华, 陈为峰, 宋希亮, 等. 秸秆双层覆盖对盐碱地水盐运动影响初步研究[J]. 土壤学报, 2017, 54(6): 1395-1403.
- [6] 周圣凯. 松原地区水利措施改良盐碱地效果及发展对策研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2017.
- [7] 郭耀东, 程曼, 赵秀峰, 等. 轮作绿肥对盐碱地土壤性质、后作青贮玉米产量及品质的影响[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(6): 856-864.
- [8] 张雪辰, 陈诚, 苏里坦, 等. 聚丙烯酰胺改良盐渍土壤的适宜用量研究[J]. 土壤, 2017, 49(6): 1216-1220.
- [9] 马玉露, 范富, 萨如拉, 等. 氧化钙与混合肥配施对西辽河平原盐碱地土壤理化性质的影响[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版), 2018, 33(3): 219-224.
- [10] 王洁, 校亮, 毕冬雪, 等. 风化煤改变黄河三角洲盐渍化土壤溶液组分的过程[J]. 土壤学报, 2018, 55(6): 1367-1376.
- [11] 韦本辉. 旱地作物粉垄栽培技术研究简报[J]. 中国农业科学, 2010, 43(20): 4330.
- [12] 聂胜委, 张玉亭, 汤丰收, 等. 粉垄耕作对潮土冬小麦田间群体微环境的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2015, 32(2): 204-208.
- [13] 李轶冰, 逢焕成, 李华, 等. 粉垄耕作对黄淮海北部春玉米籽粒灌浆及产量的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(14): 3055-3064.
- [14] 唐茂艳, 王强, 陈雷, 等. 水稻粉垄耕作生长及生理特性研究[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(16): 3854-3856.
- [15] 韦本辉, 甘秀芹, 申章佑, 等. 粉垄栽培甘蔗试验增产效果[J]. 中国农业科学, 2011, 44(21): 4544-4550.
- [16] 韦本辉, 申章佑, 甘秀芹, 等. 粉垄栽培对旱地作物产量品质的影响[J]. 中国农业科技导报, 2012, 14(4): 101-105.
- [17] 韦本辉, 申章佑, 周佳, 等. 粉垄改造利用盐碱地效果初探[J]. 中国农业科技导报, 2017, 19(10): 107-112.
- [18] 张冬梅, 高娃, 张东旭, 等. 土壤水溶性全盐含量 S 与电导率 EC5:1 之间的关系[J]. 长江蔬菜, 2017(20): 92-94.
- [19] 杨柳青. 新疆盐碱土资源与综合治理[J]. 土壤通报, 1993, 24(S1): 15-17, 22.
- [20] 俞仁培, 陈德明. 我国盐渍土资源及其开发利用[J]. 土壤通报, 1999, 30(4): 158-159.
- [21] 周蓓蓓, 侯亚玲, 王全九. 枯草芽孢杆菌改良盐碱土过程中水盐运移特征[J]. 农业工程学报, 2018, 34(6): 104-110.
- [22] 涂超, 戴玮. 水动力学模拟模型在盐碱地改良中的应用[J]. 水利规划与设计, 2018(9): 28-30.
- [23] 张清敏, 刘峻岭, 李洪远, 等. 盐渍化地区土地整理过程中的土壤改良[J]. 水土保持通报, 2014, 34(2): 224-229.
- [24] 王琳琳, 李素艳, 孙向阳, 等. 不同隔盐材料对滨海盐渍土水盐动态和树木生长的影响[J]. 水土保持通报, 2015, 35(4): 141-147, 151.
- [25] 蒋名亮, 陈小兵, 单晶晶, 等. 黄河三角洲县域尺度的盐渍化土壤化学参数特征研究[J]. 土壤, 2017, 49(5): 992-1000.