

盐渍化地区土地整理过程中的土壤改良

张清敏¹, 刘峻岭², 李洪远¹, 孟伟庆³

(1. 南开大学 环境科学与工程学院, 天津 300071; 2. 天津市开垦征地事务中心,
天津 300221; 3. 天津师范大学 城市与环境科学学院, 天津 300387)

摘要: 针对盐渍化地区土地整理实践中土壤盐分含量高, 养分含量少的特点, 考虑隔盐材料(A)、隔盐层深度(B)和改良剂(C)三个因素, 设计 3 因素 3 水平正交方案, 对土壤进行改良试验, 以便筛选出较好的改良方案。研究表明, 经过改良后土壤容重、pH 值和含盐量下降明显, 有效氮、有效磷、有机质的含量均呈上升趋势, 有效钾含量略有下降; 与对照组相比, 土壤理化性质、主要养分含量明显改善, 作物生物量和产量显著提高, 且各指标均差异显著。经过综合平衡, 确定 A₂B₂C₁ 为最佳改良方案, 其中隔盐材料选取炉渣和玉米秸秆, 隔盐层深度为 60 cm, 改良剂为有机肥。

关键词: 土壤改良; 土地整理; 盐渍化地区; 正交试验

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)02-0224-06

中图分类号: S156.2

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.02.047

Soil Improvement in Land Consolidation in Salinization Area

ZHANG Qing-min¹, LIU Jun-ling², LI Hong-yuan¹, MENG Wei-qing³

(1. College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin

300071, China; 2. Land Reclamation and Transaction Center of Tianjin, Tianjin 300221, China;

3. College of Urban and Environment Science, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China)

Abstract: According to the consolidation practice and the special characteristics of land in the saline area with high soil salt content and less nutrient content, this article selected salt separating material(A), the depth of the salt separating layer(B) and ameliorants(C) as factors to design a 3 factors by 3 level orthogonal variance experiment. The results showed that after soil improvement, the soil bulk density, pH value and salt content decreased significantly, and the content of available nitrogen, phosphorus and organic matter increased but a slight decline in available potassium. Compared with the control group, the soil properties, main nutrients, crop biomass and yield of the test groups were significantly improved, and the indicators were significantly different. The best improvement program is A₂B₂C₁, in which the slag and straw are selected as the salt separating material, and the depth of the salt separation is 60 cm and organic fertilizer can be used as ameliorants.

Keywords: soil improvement; land consolidation; salinization area; orthogonal test

随着人口的迅速膨胀和城镇化的不断推进, 我国的土地供需矛盾日益突出, 为确保耕地总量动态平衡和粮食安全, 自 20 世纪 90 年代以来, 我国的土地整理工作快速起步并全面推进。土地整理在加强土地集约利用、抑制需求以及增加有效耕地等方面发挥了至关重要的作用^[1-4]。土地整理过程中采取工程技术措施对土壤质量有着深远影响, 随着土地整理工作的不断深入, 整理后新增耕地的土壤质量日益受到重视^[5-6]。我国盐渍化地区有着巨大的土地整理的潜

力^[7], 然而, 在盐渍化地区的土地整理实践中发现, 整理后土壤盐分含量虽有所降低但依然偏高, 而且整理过程中注重物理措施, 忽视土壤培肥, 致使整理后可耕性不容乐观, 严重制约着该地区土地整理潜力的发挥。

现有关于土地整理后土壤质量的研究侧重于对土地整理后土壤理化性状和土壤养分的分析, 有学者对黄土区土地整理压实土物理性状^[8], 土地整理对土壤理化性状的影响^[5], 新增耕地土壤养分现状分

收稿日期: 2013-04-17

修回日期: 2013-05-06

资助项目: 国土资源部公益性行业科研专项“北方地区村庄土地复垦整理关键技术研究及示范”(201111015)

作者简介: 张清敏(1989—), 男(汉族), 河南省邓州市人, 硕士研究生, 研究方向为盐渍土改良与生态恢复。E-mail: zhqmin@126.com。

通信作者: 李洪远(1963—), 男(汉族), 天津市人, 教授, 博士生导师, 主要从事恢复生态学研究。E-mail: eialee@nankai.edu.cn。

析^[6],土地整理项目区土壤质量时空变异和评价^[9-10]以及土地整理年限对土壤质量的影响^[11]等进行了研究。但涉及土地整理后土壤性状改良的研究较少。针对盐渍化地区土地整理过程中亟需增加土壤肥力,提升土壤质量的需要,提出切实有效的土壤改良措施对改善盐渍化土地整理工作具有重要意义。鉴于此,本研究以天津市宁河县潘庄镇齐心庄土地整理项目区为例,设置 3 因素 3 水平的正交方案,结合土地整理工程的实施,综合工程、化学等改良措施,对土壤性状改良进行研究,以期探索高效且成本低廉的改良方案。

1 材料与方 法

1.1 试验样地概况

试验于 2012 年 4—10 月在天津市宁河县潘庄镇齐心庄土地整理项目区进行。该区年平均气温 13.8℃,年平均日照时数为 2 801.7 h,属于北方长日照地区,年平均降水量为 588 mm 左右,多集中在 7—9 月份,降水量年际变化大,干湿分明,春旱夏涝。该地区以滨海盐渍土为主,试验样地土壤含盐量在 0.2%~

0.4% 之间,属于中度盐渍土,有机质含量 7.0~10.0 g/kg。共设置 10 块样地,每块样地 60 m²,种植作物为玉米。

土壤改良材料的选取以无污染,成本低,改良效果相对较好并充分利用农业废弃资源为原则。经过筛选,最终选取河砂(粒径 0.35~0.55 mm)、炉渣、塑料薄膜作为主要隔盐材料,选取玉米秸秆作为辅助隔盐材料,选取有机肥、禾康盐碱清除剂和 PAM 改良剂为土壤改良剂。其中,河砂和塑料薄膜由购买所得,炉渣、玉米秸秆和有机肥由附近居民点提供,禾康盐碱清除剂和 PAM 改良剂由购买所得。

1.2 试验设计

考虑到人力、物力和财力等因素,本试验采用正交方法对土地整理方案进行设计。方案共设置 3 因素 3 水平,采用 L₉(3³) 正交表进行实验设计。各因素分别为:隔盐材料、隔盐层深度和改良剂,每个因素设置 3 个水平(表 1)。共需 9 个处理,1—9 组改良方案分别为 A₁B₁C₁, A₁B₂C₂, A₁B₃C₃, A₂B₁C₂, A₂B₂C₃, A₂B₃C₁, A₃B₁C₃, A₃B₂C₁ 和 A₃B₃C₂, 并设置空白对照组。

表 1 正交试验的因素水平

水平	因素		
	隔盐材料(A)	隔盐层深度(B)	改良剂(C)
1	河砂(15 cm)+玉米秸秆(5 cm)	40 cm	有机肥
2	炉渣(15 cm)+玉米秸秆(5 cm)	60 cm	禾康盐碱清除剂
3	塑料薄膜+玉米秸秆(5 cm)	80 cm	PAM 改良剂

在土地整理的施工过程中,针对不同样地,剥离与试验方案中隔盐层深度要求一致的表土,然后依次铺设主要隔盐材料和辅助隔盐材料并回填表土,然后施入对应的改良剂。改良剂中,有机肥直接均匀撒施,每块样地用量为 60 kg;禾康盐碱清除剂为液体,每块样地用量为 300 ml,需兑水 2 000 ml 稀释后均匀喷施;PAM 改良剂为固体,每块样地用量为 270 g,需与土壤拌匀后均匀撒施。试验期内试验样地所在地的降水集中在夏季,达到 506.9 mm,其它时段降水较少,与当地近几年的降水趋势保持一致,试验期间未对样地进行灌溉处理。

1.3 数据测定与分析处理

测定土地整理后和玉米收获后土壤的各项指标,分别在每个样地采用梅花形采样法使用采样器采集表土层(0—20 cm)的土壤样品。土壤容重采用环刀法测量;土壤 pH 值采用 pH 计测定;土壤全盐量采用电导法测定;土壤有效氮用流动连续注射分析仪测定;土壤有效磷用碳酸氢钠浸提法测定;土壤有效钾

用原子吸收分光光度法测定;土壤有机质用水合热重铬酸钾氧化—比色法测定^[12]。玉米收获后随机在各样地采集 10 株玉米,采用重量法测定玉米收获后玉米的地上生物量和玉米产量,烘干后使用电子天平测定,并折算成单位平均产量。

试验数据采用 Excel 和 SPSS 20.0 统计软件进行分析处理。

2 结果与分析

2.1 不同处理对土壤理化性质的影响

土壤容重、pH 值和含盐量是反映土壤理化性质的重要指标,也是决定土壤质量的重要因素。从表 2 可以看出,试验组经过改良后,土壤容重下降 6.9%~12.9%,土壤 pH 值下降了 1.5%~4.7%,土壤含盐量下降幅度达到 16.0%~50.0%,由中度盐渍化水平降为轻度盐渍化水平。这是因为土地整理过程中选取隔盐材料作为客土材料抬高地面,有助于降低了地下水位,利于土壤脱盐并防止返盐,同时加快了

土壤渗水能力,提高土壤通透性^[13]。此外,土壤改良剂可以增强土壤保水保水能力,调节土壤孔隙度,降低土壤 pH 值和含盐量^[14]。空白对照组的各项指标不降反升,可能与秋季蒸发积盐期的到来有关^[15]。不同处理下土壤理化性质的各指标值与对照组差异性显著($p < 0.05$,下同),其中土壤容重下降 6.9%~13.9%,土壤 pH 值减少了 1.7%~5.6%,土壤含盐量降幅明显达到 18.5%~48.1%。由于同样地的降水情况保持一致,而试验组与对照组的试验结果差异显著,说明改良试验对土壤理化性质的变化起主导作用。由上述分析可知,土壤改良措施能够有效降低土壤容重,改善土壤通透性,调节土壤酸碱度,减少土壤含盐量,有效改善土壤的理化性质。

为了进一步弄清各因素对土壤理化性质的影响程度并确定最佳改良方案,对改良后土壤容重、pH 值和含盐量的结果进行方差分析并绘制各因素水平下各指标的均值趋势图(图 1)。结果显示,在 $p < 0.05$ 显著性水平下(下同),对于土壤容重的变化,隔盐材料(A)、隔盐层深度(B)对土壤容重的影响显著,改良剂(C)的影响不显著,这 3 个因素对土壤容重的影响

程度的大小顺序为: $A > B > C$,最优方案为 $A_2B_2C_2$; 隔盐材料(A)、隔盐层深度(B)和改良剂(C)对于土壤的 pH 值都有显著影响,其大小顺序为: $C > A > B$,最优方案为 $A_2B_3C_3$; 隔盐材料(A)、隔盐层深度(B)对于土壤含盐量有显著影响,而改良剂(C)对土壤含盐量的影响不显著,其中 $A > B > C$,最优方案为 $A_2B_2C_3$ 。

表 2 不同处理下土壤的理化性质

处理编号	容重/($g \cdot cm^{-3}$)	pH 值	含盐量/%
1	1.62±0.02b	7.94±0.02c	0.19±0.01de
2	1.50±0.02cd	7.83±0.03d	0.14±0.01h
3	1.51±0.02cd	7.77±0.02e	0.21±0.01bc
4	1.48±0.02d	7.91±0.02c	0.18±0.01ef
5	1.52±0.01cd	7.81±0.01de	0.16±0.02g
6	1.52±0.03cd	7.80±0.02de	0.16±0.01g
7	1.60±0.01b	7.84±0.03d	0.16±0.01fg
8	1.53±0.03c	8.09±0.03b	0.20±0.01cd
9	1.59±0.02b	7.93±0.02c	0.22±0.01b
对照组	1.72±0.04a	8.23±0.04a	0.27±0.01a

注:同列不同处理数据应用 Duncan 进行多重比较,不同小写字母表示有显著性差异($p < 0.05$)。下同。

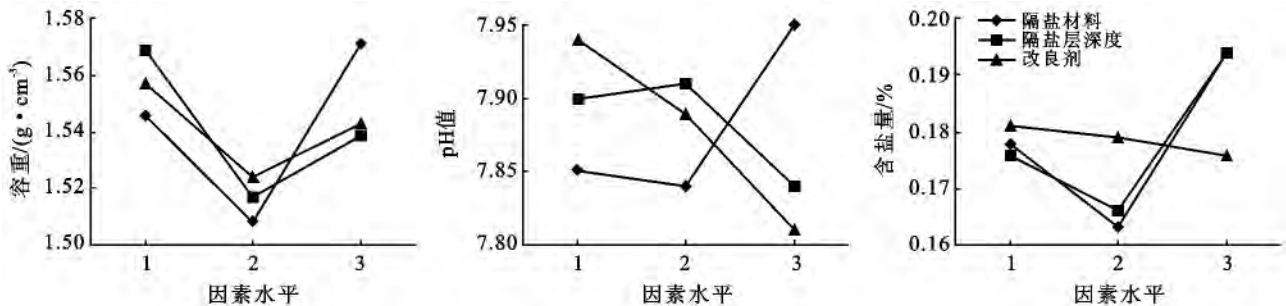


图 1 各因素水平与土壤理化性质指标的关系

2.2 不同处理对主要土壤养分的影响

土壤养分是决定土壤肥力的关键因素,土壤中养分的含量直接影响着农作物的产量和品质。土壤中有效氮、有效钾、有效磷和有机质的是土壤养分的主要组成部分,也是植物生长需求量最大的重要营养物质^[16]。从表 3 可看出,与改良前对比,试验组在改良后土壤中养分含量变化不明显,其中有效氮的含量增加 9.2%~22.2%,有效磷的含量增加 3.3%~6.1%,有机质的含量上升 1.1%~12.9%,而有效钾的含量略有下降,总体下降 2.2%~9.3%。这是因为隔盐材料中的玉米秸秆在土壤中被微生物分解成有机质,土壤中有机质含量大幅增加,而有机质又是土壤中各种营养元素特别是氮、磷、钾的重要来源,土壤中的有效养分得到大量补充;同时土壤改良剂也是土壤中有效养分的来源,进一步促进土壤肥力不断改

善。但是随着作物生长,土壤中的有效养分被大量消耗,含量又逐步降低,由于钾更容易被淋洗掉有效钾的含量减少更为明显^[16]。与对照组相比,各处理组中养分含量与对照组有显著性差异,主要养分含量均有显著增加,其中有效氮的含量增加 32.0%~180.4%,有效磷的含量增加 11.3%~58.2%,有效钾上升 23.7%~66.0%,有机质增加 33.9%~82.1%。

进一步对土壤各主要养分含量方差分析并绘制各因素与主要养分的关系图(图 2)。

图 2 显示,隔盐材料(A)、改良剂(C)对于土壤中有效氮的含量有显著影响,而隔盐层深度(B)相对于前两者对土壤中有效氮含量的影响不显著,其中 $C > A > B$,最优方案为 $A_2B_2C_1$;改良剂(C)对于土壤中有效磷的含量有显著影响,而隔盐材料(A)、隔盐层深

度(B)相对于改良剂(C)对土壤中有效磷含量的影响不显著其中 $C>A>B$, 最优方案为 $A_2B_2C_1$; 隔盐材料(A)、隔盐层深度(B)、改良剂(C)对于土壤中有效钾的含量均有显著影响, 其中 $C>A>B$, 最佳方案为

$A_2B_2C_1$; 改良剂(C)对于土壤中有机质的含量有显著影响, 隔盐材料(A)、隔盐层深度(B) 对土壤中有效钾的含量的影响不显著, 其中 $C>A>B$, 最优方案为 $A_2B_2C_1$ 。

表 3 不同处理下土壤主要养分的含量

处理编号	有效氮/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效磷/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效钾/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有机质/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)
1	$45.21 \pm 2.52c$	$8.98 \pm 0.59ab$	$299.49 \pm 19.92c$	$9.57 \pm 0.23a$
2	$49.07 \pm 3.26bc$	$7.21 \pm 0.79cd$	$318.85 \pm 14.49bc$	$8.28 \pm 0.07c$
3	$38.99 \pm 3.22d$	$8.18 \pm 0.89bc$	$327.07 \pm 9.98b$	$7.26 \pm 0.18e$
4	$54.23 \pm 3.86b$	$8.21 \pm 0.43bc$	$313.77 \pm 3.14bc$	$7.53 \pm 0.24e$
5	$45.51 \pm 3.20c$	$8.24 \pm 0.70bc$	$328.29 \pm 15.74b$	$8.44 \pm 0.12c$
6	$82.09 \pm 4.29a$	$9.00 \pm 0.47ab$	$395.46 \pm 17.73a$	$9.87 \pm 0.16a$
7	$52.78 \pm 1.89b$	$7.46 \pm 0.56cd$	$336.51 \pm 14.34b$	$7.84 \pm 0.11d$
8	$82.80 \pm 2.74a$	$9.51 \pm 0.47a$	$395.76 \pm 13.64a$	$8.91 \pm 0.08b$
9	$45.94 \pm 1.76c$	$6.69 \pm 0.70de$	$295.08 \pm 1.08c$	$8.13 \pm 0.17cd$
对照组	$29.53 \pm 3.66e$	$6.01 \pm 0.22e$	$238.46 \pm 17.55d$	$6.42 \pm 0.29f$

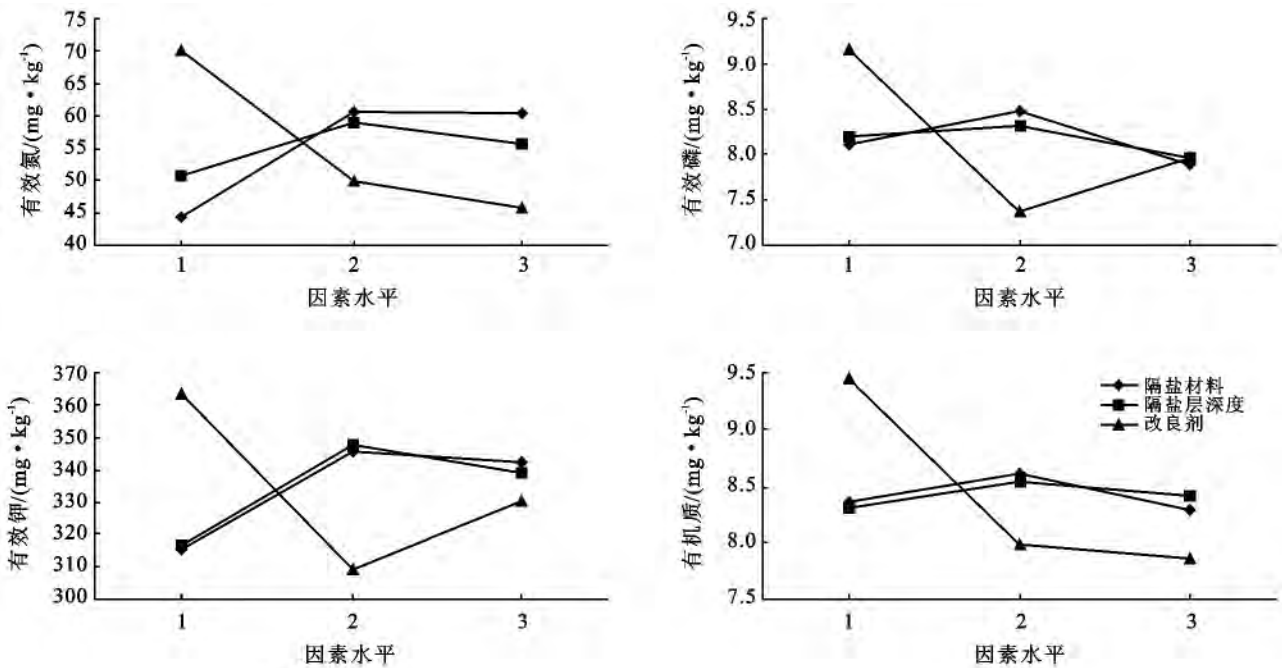


图 2 各因素水平与土壤中主要养分含量的关系

2.3 不同处理对玉米地上生物量和产量的影响

种植玉米可以检验不同试验组土壤改良效果的差异, 作物的生物量和产量可作为改良试验效果的有效表征。从表 4 可看出, 由于不同组合的改良方案在调节土壤理化性质, 增加土壤中养分含量的差异, 各试验组中玉米的地上生物量和玉米产量都有明显差异。试验组的玉米地上生物量和产量均与对照组有显著性差异, 并有显著增加, 其中玉米生物量增加 19.8% ~ 42.5%, 玉米产量增幅达到 26.5% ~ 46.4%。

表 4 不同处理下玉米生物量和产量的分析结果

处理编号	生物量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	玉米产量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)
1	$7314.90 \pm 165.75ab$	$5625.60 \pm 203.70ab$
2	$6595.05 \pm 269.55cde$	$5017.95 \pm 206.40cd$
3	$6757.80 \pm 183.15cde$	$5213.70 \pm 209.10bcd$
4	$6963.60 \pm 249.00bc$	$5431.20 \pm 283.65abc$
5	$7549.65 \pm 300.30a$	$5760.75 \pm 147.75a$
6	$7280.25 \pm 247.65ab$	$5569.20 \pm 318.45ab$
7	$6348.45 \pm 117.30e$	$5012.25 \pm 188.25cd$
8	$6824.70 \pm 244.95cd$	$5341.05 \pm 203.70abcd$
9	$6449.70 \pm 286.65de$	$4976.85 \pm 237.45d$
对照	$5298.00 \pm 342.75f$	$3934.50 \pm 205.65e$

方差分析和因素水平指标图(图 3)显示,对于玉米地上生物量,隔盐材料(A)、改良剂(C)有显著影响,隔盐层深度(B)的影响不显著,其中 $A > C > B$,最

优方案为 $A_2B_2C_1$;对于玉米产量,隔盐材料(A)、改良剂(C)有显著影响,隔盐层深度(B)的影响不显著,其中 $A > C > B$,最佳方案为 $A_2B_2C_1$ 。

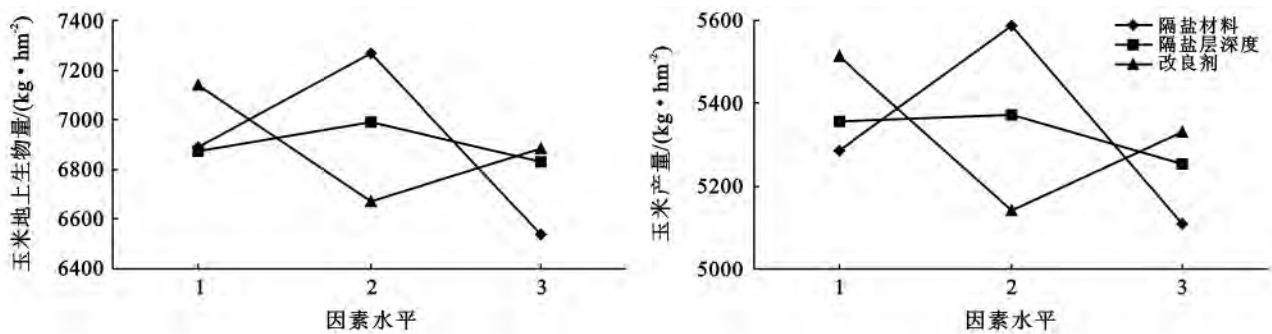


图 3 各因素水平与玉米地上生物量和产量的关系图

2.4 改良方案优化

不同指标考量下的最佳改良方案略有不同,土壤容重改良效果最佳的方案为 $A_2B_2C_2$, pH 值为 $A_2B_3C_3$, 含盐量为 $A_2B_2C_3$, 有效氮为 $A_2B_2C_1$, 有效磷为 $A_2B_2C_1$, 有效钾为 $A_2B_2C_1$, 有机质为 $A_2B_2C_1$, 玉米地上生物量为 $A_2B_2C_1$, 玉米产量为 $A_2B_2C_1$ 。试验中,因素 A(隔盐材料)对容重、含盐量、玉米地上生物量、玉米产量的影响大小排在第一位,对 pH 值、有效氮、有效磷、有效钾、有机质的影响排在第二位,所有指标的最优水平均取 A_2 。因素 B(隔盐层深度)对容重、含盐量的影响的大小排在第二位,对其它指标的影响均排在第三位, pH 值的最优水平取 B_3 , 其余指标均取 B_2 , 但是取 B_2 时,容重比 B_3 降低 1.43%, pH 值增加 0.89%, 含盐量降低 14.43%, 土壤含盐量大幅降低而 pH 值上升幅度不明显,其它指标均略有增加。因此, B 取 B_2 。同理可分析, C 取 C_1 。因此,最优改良方案为 $A_2B_2C_1$, 该方案下土壤容重、pH 值、含盐量分别比对照下降 10.5%, 4.9% 和 43.2%, 有效氮、有效磷、有效钾、有机质含量比对照分别增加 66.3%, 27.1%, 37.5% 和 51.0%, 玉米地上生物量、玉米产量分别比对照增加 28.9% 和 33.8%。

3 结论

在盐渍化地区土地整理过程中采取不同“隔盐材料+隔盐层深度+改良剂”组合的改良方案能够有效改良土壤性状。与处理前相比各处理下土壤理化性质和主要养分均得到有效改善;与对照组相比,不同处理下的各项指标与对照均有显著性差异,土壤理化性质指标明显下降,主要养分含量、玉米产量和生物量显著增加。这是因为铺设隔盐层可以阻断盐分来源,打破原有的水盐运移机制,从而达到改良盐碱地

的目的^[17];同时,添加土壤改良剂不仅能够改善土壤理化性质,还能活化土壤养分增加土壤肥力^[14,18]。

“炉渣和玉米秸秆(隔盐材料)+60 cm(隔盐层深度)+有机肥(改良剂)”的改良方案比其它方案有更好的改良效果。隔盐材料选取有更好的透水性炉渣和玉米秸秆的组合,利于盐分的淋洗,通过对土壤结构性质的改善,促进土壤有效养分的释放,同时炉渣可提供大量的磷、钾等元素,利于土壤肥力增加和作物的生长,这与张万钧^[13]的研究结果一致。已有研究成果表明,隔盐层深度影响土壤中的水盐运动规律^[19],从而影响土壤改良效果的实现,本试验中 60 cm 的隔盐层深度的改良效果最佳。改良剂方面,试验中禾康盐碱清除剂和 PAM 虽然能有效降低土壤容重和 pH 值和含盐量,但是有机肥不仅能够改善土壤理化性状和土壤结构,而且可显著增加土壤中有机质的含量,激发土壤中氮、磷的释放,提高土壤有效养分的含量,更利于作物生长和增产。此外,该方案的应用借助于土地整理工程的实施可以大幅节约施工成本,平均投入约 12 000 元/hm²,单位面积年增产值 3 600 元/hm²,投资回收周期较短,约为 3.3 a,可操作性强。

盐渍化地区土地整理过程中对土壤改良是一个不可或缺的环节,本文通过研究提出了“炉渣和玉米秸秆(隔盐材料)+60 cm(隔盐层深度)+有机肥(改良剂)”的改良方案。而土壤改良是一个长期积累的过程,由于试验条件、试验时间等多方面因素的限制,本研究只分析了改良试验前后的数据,缺乏对土壤改良效果长期的对比。从试验效果来看,随着时间的推移,隔盐层仍会主导土壤理化性质不断改善,而由于作物的吸收土壤中养分的含量会逐步降低,但可以通

过秸秆还田和继续施加有机肥来保证土壤肥力,具体的改良效果仍需长期的对比和验证。

[参 考 文 献]

- [1] 肖光强,李新举,胡振琪,等. 土地整理成功度评价方法[J]. 农业工程学报,2010,26(3):304-308.
- [2] 王瓊玲,胡继连,刘文鹏. 基于土地整理的耕地经济价值评定及其变化[J]. 农业工程学报,2010,26(9):296-300.
- [3] 宋伟,陈百明,姜光辉. 中国农村居民点整理潜力研究综述[J]. 经济地理,2010,30(11):1871-1877.
- [4] 曲衍波,张凤荣,宋伟,等. 农村居民点整理潜力综合修正与测算:以北京市平谷区为例[J]. 地理学报,2012,67(4):490-502.
- [5] 王瓊玲,赵庚星,王庆芳,等. 丘陵区土地整理对土壤理化性状的影响[J]. 农业工程学报,2011,27(9):311-315.
- [6] 马超群,刘铁铭,杨梅焕. 高陵县土地整理中新增耕地土壤养分现状研究[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2010,38(5):175-180.
- [7] 田素峰. 黄河三角洲滨海盐渍土区土地整理研究与实践:以山东省垦利县为例[D]. 山东 泰安:山东农业大学,2006.
- [8] 孟会生,王静,郭建奎,等. 黄土区土地整理压实土壤物理性状的初步研究[J]. 中国农学通报,2009,25(24):549-552.
- [9] 张雯雯,李新举,陈丽丽,等. 泰安丘陵地区土地整理项目区土壤质量时空变异研究[J]. 安全与环境学报,2007,7(6):61-64.
- [10] 张雯雯,李新举,陈丽丽,等. 泰安市平原土地整理项目区土壤质量评价[J]. 农业工程学报,2008,24(7):106-109.
- [11] 徐畅,高明,谢德体,等. 土地整理年限对紫色丘陵区土壤质量的影响[J]. 农业工程学报,2009,25(8):242-248.
- [12] 中国土壤学会. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:科学出版社,1998:25-26.
- [13] 张万钧等. 盐渍土绿化[M]. 北京:中国环境科学出版社,1999:17-47.
- [14] 高伟,邵玉翠,杨军,等. 盐碱地土壤改良剂筛选研究[J]. 中国农学通报,2011,27(21):154-160.
- [15] 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,2005,19(3):21-23.
- [16] 王睿彤,陆兆华,孙景宽,等. 土壤改良剂对黄河三角洲滨海盐碱土的改良效应[J]. 水土保持学报,2012,26(4):239-244.
- [17] 翟鹏辉,李素艳,孙向阳,等. 隔盐层对滨海地区盐分动态及国槐生长的影响[J]. 中国水土保持科学,2012,10(4):80-83.
- [18] 曲长凤,杨劲松,姚荣江,等. 不同改良剂对苏北滩涂盐碱土壤改良效果研究[J]. 灌溉排水学报,2012,31(3):21-25.
- [19] 史文娟,沈冰,汪志荣,等. 蒸发条件下浅层地下水埋深夹砂层土壤水盐运移特性研究[J]. 农业工程学报,2005,21(9):23-26.
- [11] 贺佳惠,王永军,李团胜. 榆林地区土地利用/覆被变化驱动机制研究[J]. 中国人口·资源与环境,2010,20(5):119-121.
- [12] 张红富,周生路,吴绍华,等. 省域尺度耕地产能空间分异规律及其影响因子[J]. 农业工程学报,2010,26(8):308-314.
- [13] 徐珊,宋戈. 东北粮食主产区耕地资源时空变化及其对粮食生产能力的影响[J]. 农业工程学报,2012,28(21):1-9.
- [14] 王济川,郭志刚. Logistic 回归模型方法与应用[M]. 北京,高等教育出版社,2001.
- [15] 晏国苑. 经济增长、房地产业发展及宏观调控理论模型与计量分析[D]. 重庆:重庆大学,2010.
- [16] 杨建波,王朝辉,邱士可,等. 耕地分等因素对粮食产量的影响[J]. 农业工程学报,2010,26(4):306-311.
- [17] 杜家菊,陈志伟. 使用 SPSS 线性回归实现通径分析的方法[J]. 生物学通报,2010,45(2):4-6.
- [18] 宋戈,王越,雷国平. 松嫩高平原黑土区耕地利用系统安全影响因子作用机理研究:以黑龙江省巴彦县为例[J]. 自然资源学报,2014,29(1):13-26.
- [19] 苏海民,陈健飞. 土地适宜性的综合评判物元模型[J]. 曲阜师范大学学报:自然科学版,2005,31(1):115-119.

(上接第 223 页)