

粉垄耕作对河套灌区盐碱地土壤性质的影响

杨博, 屈忠义*, 孙慧慧, 杨威, 王丽萍, 刘霞, 张如鑫, 王麒源

(内蒙古农业大学 水利与土木建筑工程学院, 呼和浩特 010018)

摘要:【目的】探究粉垄耕作对河套灌区盐碱地土壤理化性质和生物学性质的影响。【方法】通过田间原位小区试验, 设置粉垄耕作处理, 以常规耕作为对照, 测定土壤水稳性团聚体、有机质量、全氮量、微生物菌落数等指标, 分析粉垄处理和对照各指标在同一土壤深度下的差异性。【结果】与常规耕作相比, 粉垄耕作 0~40 cm 深度土壤可溶性全盐量及 pH 值显著降低; 粉垄耕作可使土壤体积质量显著降低、增大土壤孔隙度并降低土壤三相比, 尤其在 20~30 cm 深度的表现更为明显; 粉垄耕作增加了 0~40 cm 深度土壤有机质量、全氮量及水稳性团聚体量, 且粒径在 0.25~1.00 mm 的团聚体量增加明显; 粉垄耕作增加了 0~40 cm 深度土壤微生物菌落数, 相比而言 20~40 cm 深度的土壤微生物菌落数增加更显著。【结论】粉垄耕作可显著改善河套灌区盐碱地土壤理化性质。

关键词: 粉垄耕作; 土壤体积质量; 土壤孔隙度; 有机质; 水稳性团聚体; 土壤微生物

中图分类号: S152.4

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2020003

杨博, 屈忠义, 孙慧慧, 等. 粉垄耕作对河套灌区盐碱地土壤性质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(8): 52-59.

YANG Bo, QU Zhongyi, SUN Huihui, et al. The Effect of Smash-ridging Cultivation on Properties of Saline-alkali Soil in Hetao Irrigation District [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(8): 52-59.

0 引言

【研究意义】盐碱地既是我国生态可持续发展的主要障碍因子, 又是重要的后备土地资源。内蒙古河套灌区光照充足、蒸发强烈而降雨量小, 是我国盐渍土面积较大的区域之一, 全灌区盐碱耕地面积约为 39.4 万 hm^2 , 占总耕地面积的 68.65%^[1]。粉垄耕作可促进河套灌区盐碱地土壤盐分的淋洗, 改善盐碱地土壤结构, 有利于提高河套灌区盐碱地土壤资源的利用效率, 对合理开发、利用及改良河套灌区盐碱地资源具有重要意义。【研究进展】耕作方式是调控土壤理化性质的主要农艺措施, 但常年浅耕、翻耕对土壤的扰动性大, 会破坏土壤结构; 免耕有利于土壤保水保肥, 但长期免耕加上机械碾压会使土壤体积质量增大, 犁底层变厚上移, 致使作物根系难以下扎, 不利于吸收深层土壤的养分^[2]。前人研究表明, 深松耕作可显著降低土壤体积质量, 增大土壤孔隙度, 提升土壤有机质量和全氮量, 打破土壤犁底层为作物根系的综合生长提供良好条件, 显著促进根系在下层土壤中的生长, 有利于作物根系对水分和养分的吸收, 从而提高

作物产量^[3-4]。李景等^[5]研究表明, 与传统耕作相比, 长期深松耕作可以显著提高 $>0.25\text{ mm}$ 的土壤团聚体量及其稳定性。傅敏等^[6]研究表明深松耕作可显著提高微生物生物量碳。(微生物生物量碳指土壤中微生物体内碳的总和)。

粉垄耕作顾名思义即使用粉垄机械进行耕作, 粉垄机械由广西五丰机械有限公司研制, 利用机械的螺旋钻头高速旋转将土壤研磨粉碎, 粉垄耕作深度比普通耕作更深, 作业深度一般为 40~80 cm, 可通过调节钻头的高度进行调控。粉垄耕作可打破深层土壤的犁底层, 活化土壤养分。经过对多地多种作物试验研究表明, 粉垄耕作对冬小麦^[7]、玉米^[8]、水稻^[9]、木薯^[10]等均具有增产效果, 粉垄还可降低盐渍化土壤盐分^[11]。【切入点】内蒙古河套灌区盐碱地普遍存在土壤结构性差且高盐、高 pH 值等问题, 向日葵因具有耐盐碱性, 成为内蒙古河套灌区盐碱地种植的重要作物, 但是多年向日葵连作导致轮作倒茬困难, 病虫害发生严重, 如列当、菌核病、黄萎病、葵螟等, 造成向日葵大量减产甚至绝收, 出现农民种植向日葵高投入低产出甚至亏损的现象。本试验通过与常规耕作相比, 研究粉垄耕作对河套灌区盐碱地土壤电导率和 pH 值, 土壤体积质量、孔隙度、三相比, 水稳性团聚体的量及分布, 土壤有机质量和全氮量, 土壤微生物菌落数的影响, 以期粉垄耕作在河套灌区盐碱地上的推广应用提供理论参考依据。【拟解决的关键问

收稿日期: 2020-01-03

基金项目: 内蒙古自治区科技计划项目 (201702108); 国家自然科学基金项目 (51869019)

作者简介: 杨博 (1993-), 男, 河南鹿邑人。硕士研究生, 主要从事盐碱地治理与利用研究。E-mail: Yangbo3385@163.com

通信作者: 屈忠义 (1969-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事区域土壤水土环境与节水灌溉理论与技术研究。E-mail: quzhongyi@imau.edu.cn

题】通过粉垄耕作改善盐碱地土壤性质为种植小麦、玉米及高粱等作物提供良好的条件，便于多年连作的向日葵农田轮作其他作物，避免或减轻向日葵多年连作导致的各种病虫害等等问题，促进作物的增产，增加农民收入。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验区位于内蒙古五原县隆兴昌镇荣丰村，该地属于中温带季风气候带，全年日照时间 3 263 h，年均温 6.1 ℃， ≥ 10 ℃的积温 3 392 ℃，无霜期 117~136 d。年蒸发量较大，年均降雨量为 170 mm，

冬春季土壤盐分表聚现象严重。试验区 0~40 cm 深度土壤基本情况见表 1。

1.2 试验设计

试验设置粉垄耕作和常规翻耕 2 个处理，粉垄耕作深度为(40±5)cm，记为 F；常规翻耕深度为(13±2)cm，记为 P。以常规耕作为对照，每个处理设置 3 个重复小区，每个小区面积为 52.8 m² (8 m×6.6 m)。

2018 年葵花秋收后，按照当地习惯将葵花秸秆还田。2019 年 6 月 4 日在试验田种植高粱（品种：吉杂 127），高粱采用当地一膜两行的覆膜滴灌种植方式，穴距约 25 cm，大行距为 70 cm，小行距为 40 cm。每穴播种 2~3 粒种子，种植密度约 145 000 株/hm²。

表 1 0~40 cm 土壤基本情况

Table 1 Basic information of 0~40 cm soil

深度/cm Depth	pH 值	全盐/(g kg ⁻¹) Total salt	电导率/(μS·cm ⁻¹) Electrical conductivity	有机质量/(g kg ⁻¹) Organic matter	全氮量/(mg kg ⁻¹) Total nitrogen	体积质量/(g cm ⁻³) Mass per unit volume	孔隙度/% Porosity
0~20	9.57	4.90	2038.7	8.89	0.54	1.44	45.66
20~40	9.62	5.97	2667.1	7.65	0.44	1.57	40.75

1.3 测定指标与方法

1.3.1 土壤电导率和 pH 值

使用土钻对试验小区土壤分层取样，取样深度为 0~120 cm，每 20 cm 为 1 层，共计 6 层。将土样带回实验室风干研磨并过 2 mm 筛，使用去离子水按土、水质量比为 1:5 的溶解搅拌并振荡混合，静置 2 h 后用雷磁 DDSJ-308A 电导率仪和酸度计分别测定土样上清液电导率和 pH 值。

1.3.2 土壤体积质量、孔隙度和土壤三相比

粉垄后，于 2019 年 5 月（春播前）采用五点取样法在粉垄耕作和常规耕作处理的试验区随机选取 5 个样点，采用环刀法取样，取样深度为 0~50 cm，每 10 cm 为 1 层，共计 5 层。

土壤体积质量： $\rho_b = (W_1 - W_0)/V$ ， (1)

土壤孔隙度(%)=(1- ρ_b/ρ_s)×100%， (2)

土壤三相比^[12]

$$R = \sqrt{0.4*(X-50)^2 + (Y-25)^2 + 0.6*(Z-25)^2}。 \quad (3)$$

式中： ρ_b 为土壤体积质量 (g/cm³)； W_1 为烘干土样和环刀的质量和 (g)； W_0 为环刀的质量 (g)； V 为环刀的体积 (cm³)； ρ_s 为土粒密度 2.65 g/cm³， X 、 Y 和 Z 分别为土壤固相、液相和气相体积，以占土壤总体积的百分比计算 (%)，0.4 和 0.6 为修正系数。

1.3.3 土壤有机质量和全氮量

在粉垄耕作和常规耕作的试验小区分别取 0~20 cm 和 20~40 cm 的土样，每个处理取 3 个重复。土壤有机质采用重铬酸钾外加热法测定，全氮量采用浓硫酸—过氧化氢消煮后，经凯氏定氮仪 (FOSS) 测定。

1.3.4 土壤水稳性团聚体

在粉垄耕作和常规耕作的小区用铁锹分别取膜间 0~20 cm 和 20~40 cm 的土样约 2 kg，每个处理取 3 个重复，将土样带回实验室切除边缘受挤压的土壤后，将剩余土壤沿自然结构掰成小块并风干。土壤水稳性团聚体的分布采用湿筛法测定：取 100 g 混合均匀的土样，置于孔径依次为 5、2、1、0.5、0.25 和 0.125 mm 的套筛最上层，加水淹没最上层筛面，浸泡 10 min，然后以 20 次/min 的频率震荡 10 min，将留在每个筛子上的土壤冲洗到铝盒中，在 105 ℃烘干至恒质量，称质量。其中大于 2 mm 的团聚体为粗大团聚体，0.25~2 mm 的团聚体为细团聚体，二者合称为大团聚体，小于 0.25 mm 的团聚体为微团聚体。

1.3.5 土壤微生物菌落数

在粉垄耕作和常规耕作的小区按“S”形五点采样法采集膜内 0~20 cm 和 20~40 cm 的土样，各处理土样混合均匀后用冷藏箱保存土样，将土样及时送回实验室过 200 目的土筛，用去离子水充分混匀土壤，采用稀释涂布平板法培养微生物。微生物培养方法^[13]：细菌使用牛肉膏蛋白胨培养基，稀释质量浓度为 10⁻⁵、10⁻⁶、10⁻⁷，37 ℃下倒置培养 24 h 后计数；放线菌使用高氏一号培养基，稀释质量浓度为 10⁻⁵、10⁻⁶、10⁻⁷，28 ℃下倒置培养 4 d 后计数；真菌使用马丁氏培养基，稀释质量浓度为 10⁻⁴、10⁻⁵、10⁻⁶，28 ℃下倒置培养 4 d 后计数。

1.4 数据处理

试验数据使用 Excel 2016 软件统计作图，使用 SPSS 22.0 软件进行显著性检验 (DUNCAN)，差异

显著性在 $P < 0.05$ 水平。

2 结果与分析

2.1 粉垄耕作对土壤电导率和 pH 值的影响

图 1 为土壤电导率和 pH 值。由图 1 (a) 可知, 粉垄耕作后, 在 0~20 cm 和 20~40 cm 深度盐碱地土壤电导率值分别降低了 618 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 和 361 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 在 0~40 cm 深度, 作物主根区的生长范围内, 粉垄耕作

后土壤可溶性全盐量相对于常规耕作土壤降低了 30.34%。0~60 cm 深度粉垄耕作后盐碱地土壤可溶性全盐量降低, 电导率值明显低于普通耕作的土壤; 盐分主要在 60~80 cm 深度积累。由图 1 (b) 可知, 粉垄耕作后 0~80 cm 深度盐碱地土壤 pH 值降低, 而 80 cm 深度以下土壤 pH 值增大。其中, 0~40 cm 深度盐碱地土壤 pH 值显著降低, 在 0~20 cm 和 20~40 cm 深度盐碱地土壤 pH 值分别下降了 0.73 和 0.60。

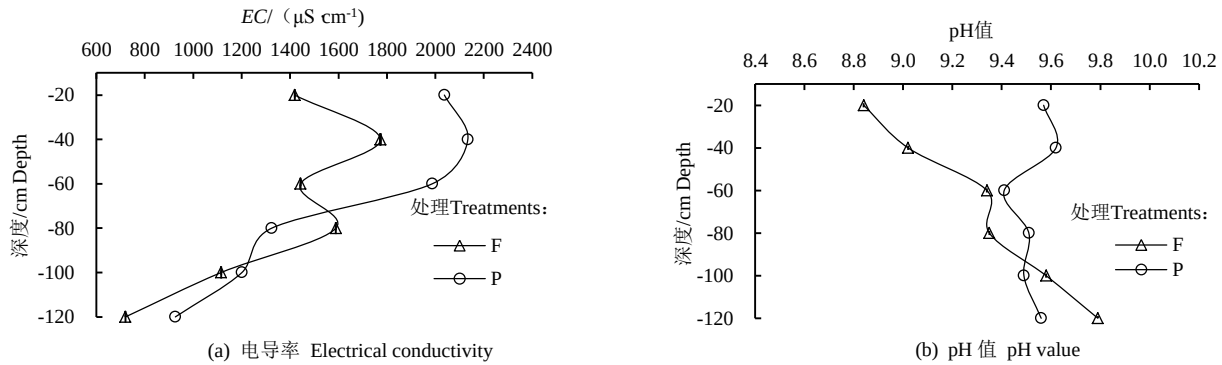


图 1 土壤电导率和 pH 值

Fig.1 Soil electrical conductivity and pH value

2.2 粉垄耕作对土壤体积质量及孔隙度的影响

有研究表明, 当土壤体积质量达到 $1.3 \text{ g}/\text{cm}^3$ 时, 作物产量会因土壤通气不良受到影响^[2,14]。由图 2(a) 可见, 常规耕作土壤除 0~10 cm 深度土壤体积质量小于 $1.3 \text{ g}/\text{cm}^3$, 其他深度土壤体积质量均大于 $1.3 \text{ g}/\text{cm}^3$, 这可能与表层土壤经常受到人为松土翻耕以及向土壤中施加有机肥有关。常规耕作的土壤体积质量值呈现出先增大后减小的趋势, 在 20~30 cm 深度最大为 $1.51 \text{ g}/\text{cm}^3$, 这会影响作物的正常生长。而粉垄对 10~40 cm 深度土壤体积质量则有明显改善, 粉垄后 10~40 cm 深度土壤体积质量与常规耕作土壤相比均有显著性差异, 尤其对 20~30 cm 深度影响最为显著,

土壤体积质量降低值达 $0.23 \text{ g}/\text{cm}^3$, 降低了 15.33%; 对 10~20 cm 和 30~40 cm 深度也有一定影响, 土壤体积质量降低值分别为 $0.1 \text{ g}/\text{cm}^3$ 和 $0.08 \text{ g}/\text{cm}^3$, 说明粉垄耕作可以疏松土壤显著降低土壤体积质量。

有学者^[15]研究表明, 土壤总孔隙度一般在 35%~65%之间, 最适宜的区间为 50%~60%。由图 2 (b) 可见, 粉垄后 0~40 cm 深度土壤孔隙度与常规耕作有显著差异, 且 0~30 cm 深度土壤孔隙度在最适宜区间内。常规耕作处理土壤 0~10 cm 深度孔隙度在最适宜的区间, 而 20~50 cm 深度尤其在 20~30 cm 深度土壤孔隙度与 50%相差较大, 粉垄后该层土壤孔隙度由 43.09%增大到 51.82%, 增大了 20.24%。

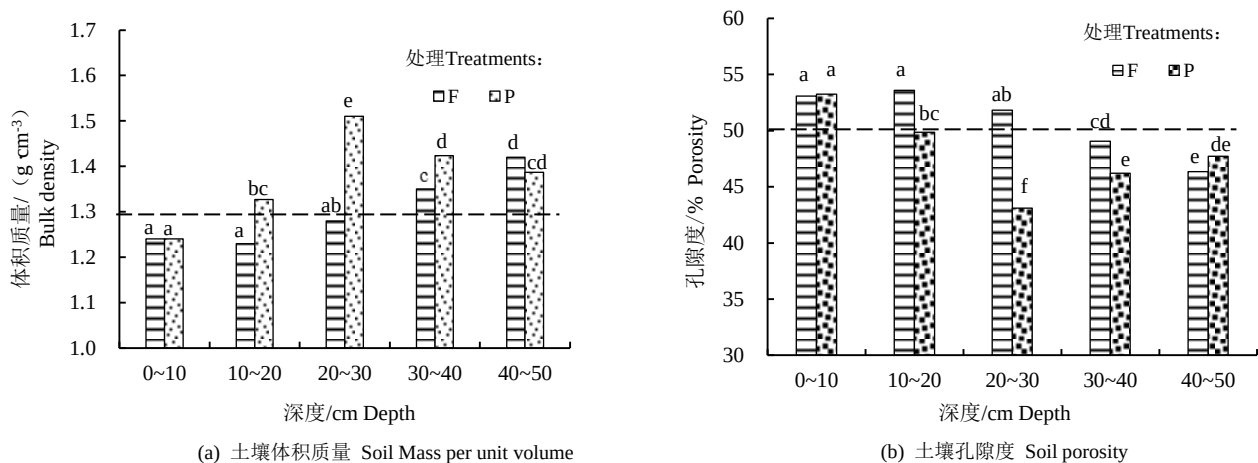


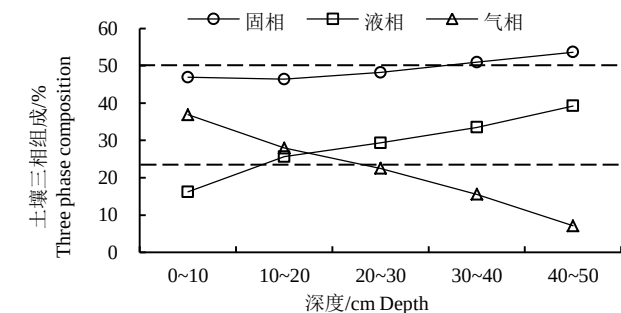
图 2 土壤体积质量和孔隙度

Fig. 2 Soil bulk density and porosity

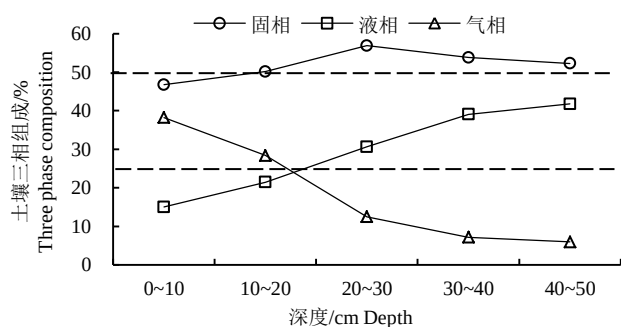
结合土壤体积质量和孔隙度指标分析可知, 除 0~10 cm 深度外, 河套灌区盐碱地普遍存在体积质量

较大而孔隙度较小的问题, 而且在 20~30 cm 深度土壤体积质量最大, 这主要与该层土壤长时间不能得到

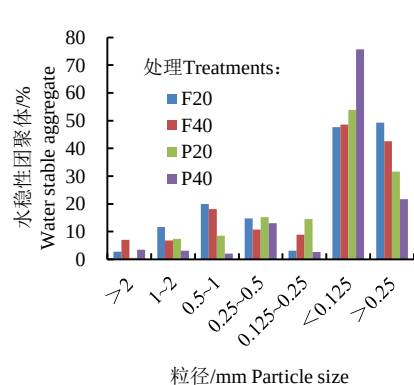
有效翻耕疏松且受机械碾压有关, 在外界综合因素长时间的影响下, 该层土壤最终形成密实的犁底层, 进而影响土壤水肥气热的交换及作物根系长度及干质量等指标的综合生长。粉垄耕作通过疏松土壤可显著降低土壤体积质量、增大土壤孔隙度, 尤其在 20~30 cm 深度土壤变化最为明显, 说明粉垄耕作可打破土壤犁底层, 改善土壤物理性状, 使土壤结构变得疏松多孔有利于水肥气热的交换及作物根系的生长。



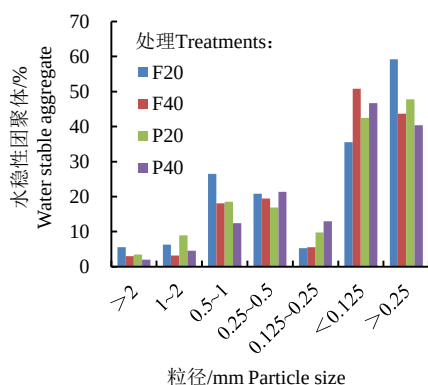
(a) 粉垄三相组成 Three phase composition



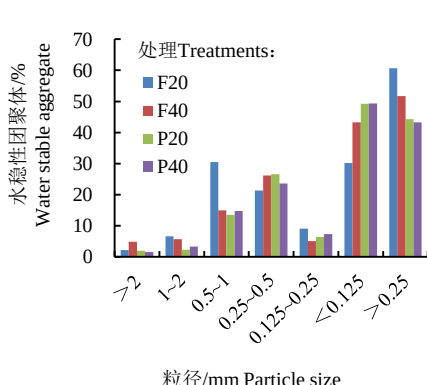
(b) 常规耕作三相组成 Three phase composition of traditional tillage



(a) 5月 May



(b) 8月 August



(c) 9月 September

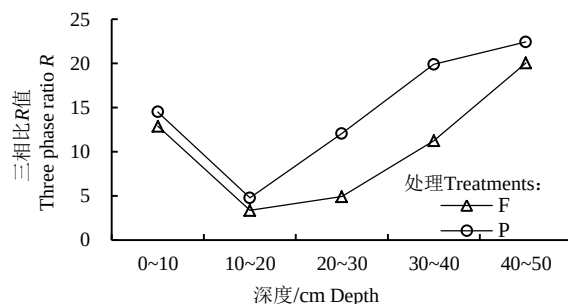
图 4 不同月份土壤水稳性团聚体及分布

Fig. 4 Content and distribution of soil water stable aggregates in different months

2.4 粉垄耕作对土壤水稳性团聚体的影响

由于粒径大于 5 mm 的水稳性团聚体量较少, 将粒径在 2~5 mm 的团聚体合并计算。由图 4 可知, 在 0~20 cm 土层内, 粉垄耕作粒径大于 0.5 mm 的大团聚体量高于普通耕作, 且粒径在 0.5~1.0 mm 的水稳性团聚体量占比较高; 而随着时间的推移, 粉垄耕作土壤微团聚体减少, 大团聚体量增加。9 月, 粉垄耕

作盐碱地土壤水稳性大团聚体占 60.67%, 而常规耕作处理土壤水稳性大团聚体仅占 51.68%, 水稳性团聚体量增加了 17.40%。粉垄耕作提高了 0~20 cm 土层土壤水稳性大团聚体, 增幅为 36.8%。在 20~40 cm 土层, 小于 0.125 mm 的微团聚体量呈降低趋势, 而大于 0.25 mm 的水稳性团聚体量增加, 土壤水稳性大团聚体分布与 0~20 cm 土层类似, 主要集中在



(c) 三相比 R 值 Three phase ratio R value

图 3 土壤三相组成及三相比 R 值

Fig. 3 Three phase composition and three phase ratio R value of soil

2.3 粉垄耕作对土壤三相组成的影响

研究表明^[12], 一般情况下土壤理想的三相体积比例为固:液:气=50:25:25。由图 3(a) 和图 3(b) 可知, 粉垄可有效降低土壤固相体积, 协调土壤三相比例, 使土壤三相结构向理想结构趋近。由图 3(c) 可知, 0~20 cm 深度粉垄前后土壤的 R 值变化不明显, 这可能与表层土壤处受人为活动频繁有关; 而 20~40 cm 深度变化明显, 在 20~30 cm 和 30~40 cm 深度土壤 R 值分别由 13.97 和 21.05 降低到 4.33 和 11.51, 土壤的三相构成与理想的土壤结构更加接近, 而 40~50 cm 深度未进行粉垄作业, 土壤 R 值与常规耕作接近且明显高于 0~40 cm; 说明粉垄可协调土壤三相比例, 改善土壤的三相结构, 可促进土壤的水肥气热交换及作物生长。

0.25~1.00 mm, 这主要与粉垄耕作提高了土壤有机质有关。粉垄耕作增大了土壤孔隙度, 为土壤微生物提供良好的生长环境, 从而促进有机质的积累及土壤胶体的凝聚, 使土壤微团聚体向土壤大团聚体转化。粉垄耕作使盐碱地土壤水稳性团聚体量整体增大, 且粒径在 0.25~1.00 mm 的团聚体量增加明显。

2.5 粉垄耕作对土壤有机质量及全氮量的影响

图 5 为土壤有机质量和全氮量。由图 5 可知, 粉垄耕作后盐碱地 0~40 cm 深度土壤有机质量和全氮量有明显提升。在 0~20 cm 和 20~40 cm 土层内, 粉垄耕作后土壤有机质量分别增加了 53.59% 和 79.19%; 全氮量分别增加了 27.12% 和 14.29%; 土壤有机质量和全氮量的提高可以起到疏松土壤的作用, 有利于改善土壤结构, 并为作物生长提供养分物质。

2.6 粉垄耕作对土壤微生物菌落数的影响

图 6 为土壤微生物菌落数。由图 6 可知, 盐碱地土

壤中微生物菌落数从大到小依次为细菌>放线菌>真菌; 粉垄耕作对土壤细菌、放线菌和真菌均有提高, 从微生物菌落数量方面分析, 粉垄耕作对细菌菌落数增加最多, 而真菌菌落数增加最少。在 0~20 cm 土层内, 土壤细菌、放线菌和真菌增幅分别为 19.39%、60.76% 和 25.00%, 而在 20~40 cm 土层内, 土壤细菌、放线菌和真菌增幅分别为 37.29%、127.27% 和 25.79%。20~40 cm 土层不同菌类微生物的增幅均比 0~20 cm 大, 这可能与多年浅耕及机械碾压导致盐碱地土壤 20 cm 以下存在的犁底层有关, 犁底层不利于作物根系的综合生长, 犁底层以下土壤的养分大量积累, 经过粉垄耕作后, 土壤犁底层被打破, 20~40 cm 深度土壤体积质量降低, 孔隙度增大, 为微生物的生长繁殖提供有利条件, 使得深层土壤微生物快速繁殖。

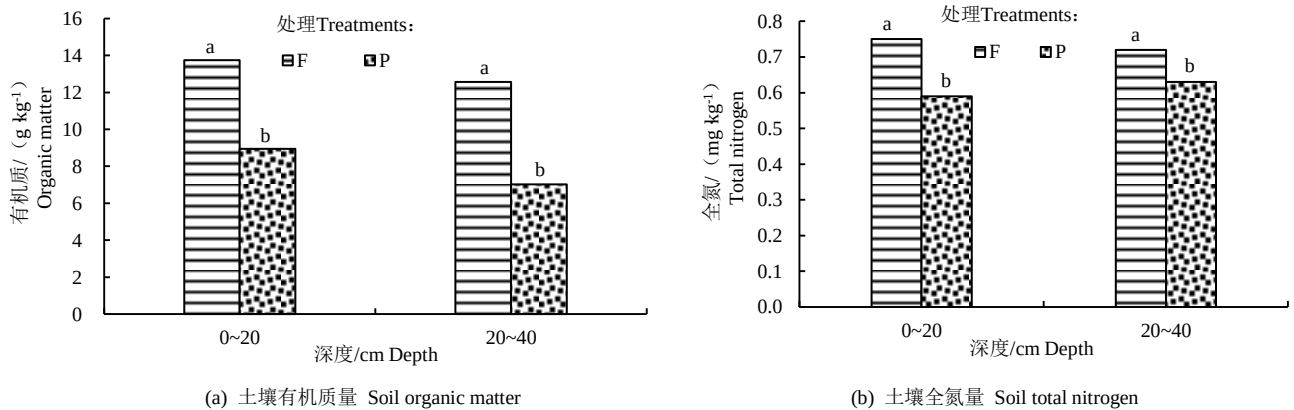


图 5 土壤有机质量及全氮量

Fig.5 Soil organic matter and total nitrogen

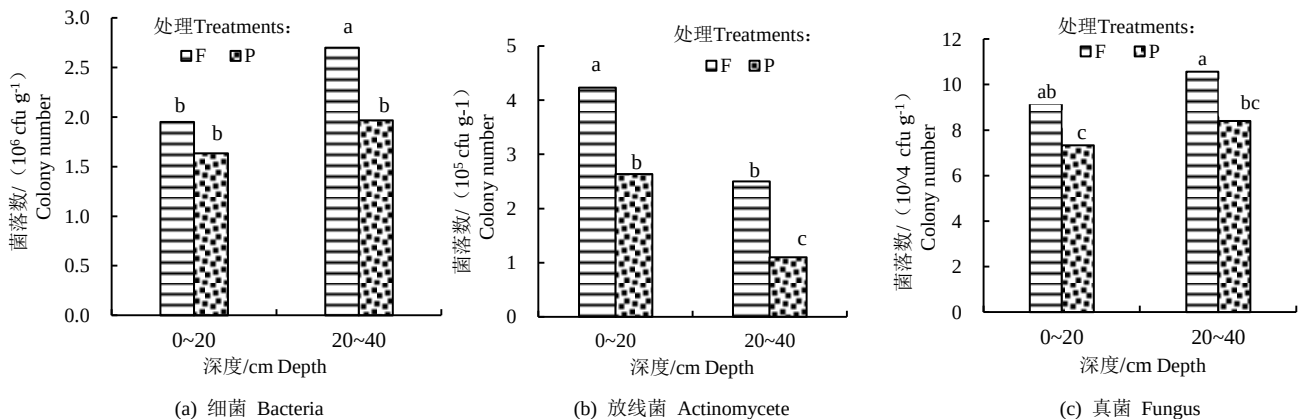


图 6 土壤微生物菌落数

Fig. 6 Number of soil microbial colonies

3 讨论

盐碱地因土壤高盐、高 pH 值问题对作物有盐碱胁迫作用, 盐碱胁迫对种子萌发及作物生长影响显著, 在种子萌发期间, 因土壤的盐碱胁迫作用会使种子难以吸收足够的水分来合成萌发所需要的各种酶和结

构蛋白, 难以完成细胞的分裂分化, 从而降低种子萌发率^[16]; 在作物生长期, 盐碱胁迫作用还会抑制作物对土壤水分和养分的吸收, 从而影响作物产量。粉垄耕作打乱了土壤原有毛管通道, 降低了春冬季节土壤返盐作用, 粉垄耕作打破了土壤犁底层, 增大了土

壤孔隙,有利于春汇时期土壤盐分的淋洗,根据盐随水去的规律,土壤中的可溶性盐离子随水向深层土壤运移。研究表明,粉垄耕作可明显降低盐碱地土壤0~40 cm深度土壤可溶性全盐量和pH值,为种子萌发及作物生长提供良好条件。

土壤体积质量和孔隙度是土壤重要的物理性状之一,对土壤水肥气热的交换有重要作用。河套灌区盐碱地普遍存在土壤黏重、体积质量大而孔隙度小、结构性差的问题。此外,常年浅耕及机械碾压还会导致土壤犁底层变厚上移,耕层变浅。王新兵^[3]研究表明,土壤体积质量增大会抑制作物根系的综合生长及其对土壤水分和养分的吸收,从而影响作物产量;赵亚丽等^[17]研究表明,深松可显著降低土壤体积质量及紧实度,增大土壤孔隙度并改善土壤三相结构比,有利于作物根系的综合生长。这与本研究结论一致,粉垄耕作可降低盐碱地土壤体积质量、增大孔隙度并降低土壤三相比,对20~30 cm深度的土壤改善效果尤为显著。

团粒结构是最适宜土壤水肥气热交换及作物生长的结构,土壤团粒结构的多少可在一定程度上表征土壤肥沃程度,水稳性团聚体对土壤抗蚀能力及结构稳定性具有重要意义。章征程等^[18]研究表明,河套灌区盐碱地土壤大团聚体质量分数与土壤有机碳量和全氮量呈显著正相关关系,而有机物质在大团聚体形成中起重要的作用;而小团聚体质量分数与EC、pH及 Na^+ 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 和 CO_3^{2-} 呈显著正相关关系,盐分决定盐碱土小团聚体的数量,因此,河套地区盐碱土改良,应在降低盐分的同时加大有机物质投入量。张博文等^[4]研究表明深松耕作可改善土壤结构,有利于提高0~10 cm土层土壤有机碳转化效率及深层土壤有机碳量。王世佳等^[19]通过扫描电镜观察发现粉垄耕作后土壤微形态具有表面光滑、土壤比表面积较大及孔隙分布更丰富等特点,粉垄耕作显著增加赤红壤的中团聚体量,相对其他耕作方式,粉垄深度为40 cm时,可显著增加1~0.25 mm粒径机械稳定性团聚体量,减少了大于3 mm粒径水稳性团聚体量。本试验研究表明,粉垄耕作可提高土壤有机质量及全氮量促进盐碱地土壤水稳性团聚体量的增加,且粒径在0.25~1.00 mm的团聚体量增加明显,这与王世佳等^[19]的研究结论相符。

土壤微生物群落多样性^[20]作为评价土壤质量变化的重要指标,已越来越引起人们的关注,一般而言,土壤越肥沃、结构性越好的土壤,微生物菌落数也越多。傅敏等^[6]研究表明深松结合秸秆还田能够改善土壤基本性质及土壤微生物群落结构,有利于增加土壤固碳能力和解决土壤退化问题;李景等^[5]研究表明深

松结合小麦秸秆覆盖和小麦~花生轮作等措施均可改善土壤团聚体状况,提高土壤微生物多样性;张博文等^[21]研究表明深松较旋耕提高0~20 cm土层细菌群落丰富度与多样性,连续深松可进一步提高微生物群落丰富度,各深松处理以深松2 a效果最优。本试验研究表明,粉垄耕作可显著增加0~40 cm深度土壤的微生物菌落数,尤其对20~40 cm深度土壤微生物菌落数增加显著,这可能与粉垄打破土壤犁底层,增大了20~40 cm深度土壤孔隙度,为土壤微生物提供良好的生存条件有关,促进了微生物的生长繁殖。

4 结 论

1) 粉垄耕作后,0~40 cm深度土壤可溶性全盐量下降30.34%;在0~20 cm和20~40 cm深度土壤pH值分别下降了0.73和0.60,为种子萌发及作物生长提供良好条件。

2) 粉垄耕作可降低0~40 cm深度土壤体积质量,增大土壤孔隙度,改善土壤三相结构比,尤其对20~30 cm深度影响显著。

3) 粉垄耕作可增加盐碱地土壤有机质、全氮及水稳性团聚体量,且粒径在0.25~1.00 mm的团聚体量增加明显。

4) 粉垄耕作可增加0~40 cm深度土壤微生物菌落数,且对20~40 cm深度土壤微生物菌落数增加显著。

参考文献:

- [1] 雷廷武, SHAINBERG ISSAC, 袁普金, 等. 内蒙古河套灌区有效灌溉及盐碱控制的战略思考[J]. 农业工程学报, 2001, 17(1): 48-52.
LEI Tingwu, SHAINBERG ISSAC, YUAN Pujin, et al. Strategic considerations of efficient irrigation and salinity control on Hetao plain in Inner Mongolia[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2001, 17(1): 48-52.
- [2] 石彦琴, 陈源泉, 隋鹏, 等. 农田土壤紧实的发生、影响及其改良[J]. 生态学杂志, 2010, 29(10): 2 057-2 064.
SHI Yanqin, CHEN Yuanquan, SUI Peng, et al. Cropland soil compaction: Its causes, influences, and improvement[J]. Chinese Journal of Ecology, 2010, 29(10): 2 057-2 064.
- [3] 王新兵. 深松耕作对土壤理化特征及玉米根系空间分布的调控效应[D]. 北京: 中国农业科学院研究生院, 2014.
WANG Xinbing. Effect of subsoiling tillage on soil physicochemical characteristics and root spatial distribution of maize[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2014.
- [4] 张博文, 杨彦明, 张兴隆, 等. 连续深松对黑土结构特性和有机碳及碳库指数影响[J]. 中国土壤与肥料, 2019(2): 6-13.
ZHANG Bowen, YANG Yanming, ZHANG Xinglong, et al. Effects of continuous deep loosening on soil physical characteristics, organic

- carbon content and carbon pool index in black soil[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2019(2): 6-13.
- [5] 李景, 吴会军, 武雪萍, 等. 长期不同耕作措施对土壤团聚体特征及微生物多样性的影响[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(8): 2 341-2 348.
- LI Jing, WU Huijun, WU Xueping, et al. Effects of long-term tillage measurements on soil aggregate characteristic and microbial diversity[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(8): 2 341-2 348.
- [6] 傅敏, 郝敏敏, 胡恒宇, 等. 土壤有机碳和微生物群落结构对多年不同耕作方式与秸秆还田的响应[J]. *应用生态学报*, 2019, 30(9): 3 183-3 194.
- FU Min, HAO Minmin, HU Hengyu, et al. Responses of soil organic carbon and microbial community structure to different tillage patterns and straw returning for multiple years[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, 30(9): 3 183-3 194.
- [7] 聂胜委, 张玉亭, 汤丰收, 等. 粉垄耕作对潮土冬小麦生长及产量的影响初探[J]. *河南农业科学*, 2015, 44(2): 19-21, 43.
- NIE Shengwei, ZHANG Yuting, TANG Fengshou, et al. Effects of smashing ridge tillage on growth and yield of winter wheat in fluvo-aquic soil region[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2015, 44(2): 19-21, 43.
- [8] 聂胜委, 张玉亭, 汤丰收, 等. 粉垄耕作后效对夏玉米生长及产量的影响[J]. *山西农业科学*, 2015, 43(7): 837-839, 873.
- NIE Shengwei, ZHANG Yuting, TANG Fengshou, et al. Later-effect of smashing ridge tillage on summer maize's growth and grain yields in fluvo-aquic soil farmlands[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2015, 43(7): 837-839, 873.
- [9] 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): 3 854-3 856.
- TANG Maoyan, WANG Qiang, CHEN Lei, et al. Study of fenlong cultivation on growth and physiological characteristics of rice[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2015, 54(16): 3 854-3 856.
- [10] 申章佑, 韦本辉, 甘秀芹, 等. 粉垄技术栽培木薯中后期结薯情况及产量品质分析[J]. *作物杂志*, 2012(4): 157-160.
- SHEN Zhangyou, WEI Benhui, GAN Xiuqin, et al. Analysis of Fenglong cultivation on tuber situation yield and quality of Cassava in middle and later periods[J]. *Crops*, 2012(4): 157-160.
- [11] 秦志伟. 粉垄技术助力盐碱地变“良田”[N]. *山东科技报*, 2017-11-10(002).
- [12] 郭海斌, 冀保毅, 王巧锋, 等. 深耕与秸秆还田对不同质地土壤物理性状和作物产量的影响[J]. *河南农业大学学报*, 2014, 48(4): 505-511.
- GUO Haibin, JI Baoyi, WANG Qiaofeng, et al. Effects of deep tillage and straw returning on soil physical properties and grain yield of different soil texture[J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2014, 48(4): 505-511.
- [13] 李振高, 骆永明, 滕应. 土壤与环境微生物研究法[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [14] 杨晓娟, 李春俭. 机械压实对土壤质量、作物生长、土壤生物及环境的影响[J]. *中国农业科学*, 2008, 41(7): 2 008-2 015.
- YANG Xiaojuan, LI Chunjian. Impacts of mechanical compaction on soil properties, growth of crops, soil-borne organisms and environment[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(7): 2 008-2 015.
- [15] 崔晓阳, 方怀龙. 城市绿地土壤及其管理[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001.
- [16] 何磊, 陆兆华, 管博, 等. 盐碱胁迫对两种高粱种子萌发及幼苗生长的影响[J]. *西北植物学报*, 2012, 32(2): 362-369.
- HE Lei, LU Zhaohua, GUAN Bo, et al. Seed germination and seedling growth of the two sorghums under saline-alkaline stress[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2012, 32(2): 362-369.
- [17] 赵亚丽, 刘卫玲, 程思贤, 等. 深松(耕)方式对砂姜黑土耕层特性、作物产量和水分利用效率的影响[J]. *中国农业科学*, 2018, 51(13): 2 489-2 503.
- ZHAO Yali, LIU Weiling, CHENG Sixian, et al. Effects of pattern of deep tillage on topsoil features, yield and water use efficiency in lime concretion black soil[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(13): 2 489-2 503.
- [18] 章征程, 林启美, 李谟志, 等. 耕作对河套黄灌区典型盐碱土水稳定性团聚体及有机碳和全氮含量的影响[J]. *南京农业大学学报*, 2018, 41(6): 1 085-1 092.
- ZHANG Zhengcheng, LIN Qimei, LI Mozhi, et al. Effects of cultivation on water-stable aggregates and their organic carbon and nitrogen in typical saline-alkali soil of Hetao Yellow River irrigation region[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2018, 41(6): 1 085-1 092.
- [19] 王世佳, 韦本辉, 申章佑, 等. 粉垄耕作对农田砂姜黑土土壤结构的影响[J]. *安徽农业科学*, 2019, 47(20): 76-79, 96.
- WANG Shijia, WEI Benhui, SHENZHANG You, et al. Effect of deep vertically rotary tillage on the structure of Shajiang black soil in farmland[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2019, 47(20): 76-79, 96.
- [20] 谭秋锦, 宋同清, 彭晚霞, 等. 峡谷型喀斯特不同生态系统土壤团聚体稳定性及有机碳特征[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(3): 671-678.
- TAN Qiujin, SONG Tongqing, PENG Wanxia, et al. Stability and organic carbon characteristics of soil aggregates under different ecosystems in Karst canyon region[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(3): 671-678.
- [21] 张博文. 深松对黑土区土壤特性及细菌群落结构影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2018.
- ZHANG Bowen. Effects of subsoiling on soil properties and bacterial community structure in black soil region[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2018.

The Effect of Smash-ridging Cultivation on Properties of Saline-alkali Soil in Hetao Irrigation District

YANG Bo, QU Zhongyi*, SUN Huihui, YANG Wei, WANG Liping,

LIU Xia, ZHANG Ruxin, WANG Qiyuan

(School of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

Abstract: 【Background】 Hetao Irrigation District has the largest salt-affected areas in China. The cultivated lands affected by salinization and alkalization in the region are about 394 000 hm², accounting for 68.65% of its total cultivated lands. Among many factors, tillage plays an important role in genesis of soil salinity. Compared with conventional shallow tillage that disturbs soil and destroys soil structure, non-tillage improves soil capacity to hold water and nutrients. However, long-term non-tillage could densify soil thereby reducing salt leaching and impending seedlings emergence and their subsequent development. 【Objective】 The purpose of this paper is to experimentally elucidate the impact of smash-ridging cultivation on properties of saline-alkali soil in Hetao Irrigation district. 【Method】 The experiment was conducted at plots in a field, with standard cultivation used by local farmers as the control. In each treatment, soil samples were taken to measure soil properties including water-stable aggregates, soil organic matter, total soil nitrogen and counts of microbes. The difference between the treatments and the control was statistically analyzed. 【Result】 ①Smash-ridging cultivation reduced total soluble salt content in the 0~40 cm soil by 30.34% in addition to the reduction in pH, compared with the control. ②It was also found that, compared to the control, smash-ridging cultivation increased porosity and three-phase ratio of the soil, especially soil in 20-30 cm, due to the breaking of the dense layer in 20~30 cm. ③The smash ridging cultivation increased soil organic matter, total soil nitrogen and water-stable aggregates, especially aggregates with diameters in 0.25~1.00 mm and 0~40 cm. ④Smash-ridging cultivation increased the counts of microbes in 0~40 cm soil, especially in 20~40 cm, due to the increased porosity which improved habitat for microorganisms and promoted their activities. 【Conclusion】 Smash-ridging cultivation significantly improved physical, chemical and biological properties of saline-alkali soil in Hetao irrigation district.

Key words: smash-ridging cultivation; soil porosity; organic matter; aggregate stability; soil microorganisms

责任编辑：赵宇龙