

粉垄耕作深度对旱区土壤 关键物理性质的影响

何进宇^{1,2,3}, 石伟业⁴, 刘飞杨¹, 马巧梅¹, 杨艳¹, 杨佳鹤¹, 崔烜玮¹, 陈彦云⁵

(1.宁夏大学土木与水利工程学院,宁夏银川750021;2.宁夏节水灌溉与水资源调控工程技术研究中心,宁夏银川750021;
3.旱区现代农业水资源高效利用教育部工程研究中心,宁夏银川750021;4.宁夏大学农学院,宁夏银川750021;
5.宁夏大学生命科学学院,宁夏银川750021)

摘要:针对旱区土壤板结严重和耕层深度变浅等问题,于2021年在宁夏暖泉农场开展大田试验,以传统旋耕为对照(CK),设置不同粉垄耕作深度30 cm(FL30)、40 cm(FL40)、50 cm(FL50)和60 cm(FL60),探究粉垄耕作对玉米田土壤关键物理性质的影响。结果表明:与传统旋耕相比,粉垄耕作能够有效降低土壤容重且提高土壤孔隙度,FL50处理表层土壤(0~20 cm)容重降低11.55%、孔隙度提升12.17%,FL40处理中层土壤(20~40 cm)容重降低8.57%、孔隙度提升9.14%,FL60处理深层土壤(40~60 cm)容重降低11.61%、孔隙度提升12.75%;粉垄耕作对玉米各生育期土壤蓄水量具有显著影响,FL40处理土壤蓄水量提升24.86%,土壤机械稳定性团聚体数量(0.25~5 mm)提高9.63%;较传统旋耕,粉垄耕作可达到疏松土壤与提高土壤蓄水保墒能力的效果,粉垄耕作通过改善玉米的生长条件和土壤环境提高了籽粒产量,其中FL60、FL50、FL30处理分别较CK处理增产57.14%、15.48%、8.79%。研究成果可为改善旱区土壤多年板结及水土资源可持续利用发展提供理论依据。

关键词:粉垄;土壤容重;土壤孔隙度;土壤蓄水量;土壤团聚体

中图分类号:S341;S152 **文献标志码:**A

Effects of Fenlong cultivation on soil key physical properties in arid areas

HE Jinyu^{1,2,3}, SHI Weiye⁴, LIU Feiyang¹, MA Qiaomei¹,
YANG Yan¹, YANG Jiahe¹, CUI Xuanwei¹, CHEN Yanyun⁵

(1.School of Civil and Hydraulic Engineering, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China;
2.Ningxia Water Saving Irrigation and Water Resource Regulation Engineering Technology Research
Center, Yinchuan, Ningxia 750021, China; 3.Engineering Research Center of Efficient Utilization of Modern
Agricultural Water Resources in Arid Areas, Ministry of Education, Yinchuan, Ningxia 750021, China;
4.School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China;
5.School of Life Sciences, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

Abstract: To solve problems of serious soil compaction and shallow plow layer depth in arid areas, a field experiment was carried out in Nuanquan Farm of Ningxia in 2021. The traditional rotary tillage was used as the control (CK). Different Fenlong cultivation depths of 30 cm (FL30), 40 cm (FL40), 50 cm (FL50) and 60 cm (FL60) were set to explore the effects of Fenlong cultivation on key physical properties of maize soil. The results showed that compared with traditional rotary tillage, Fenlong cultivation effectively reduced soil bulk density and improve soil porosity. The bulk density of surface soil (0~20 cm) in FL50 treatment decreased by 11.55%, and the porosity increased by 12.17%. The bulk density of middle soil (20~40 cm) in FL40 treatment decreased by 8.57%, and the porosity increased by 9.14%. The bulk density of deep soil (40~60 cm) in FL60 treatment decreased by 11.61%,

收稿日期:2022-06-17

修回日期:2022-08-08

基金项目:宁夏回族自治区重点研发计划重大项目(2019BBF02006-1);宁夏高等学校一流学科建设项目(NXYLXK2021A03);宁夏大学大学生创新创业训练计划项目(G20211107490024);宁夏大学博士科研启动基金项目(030700002306)

作者简介:何进宇(1986-),男,宁夏银川人,副教授,主要从事农业水土资源高效利用研究。E-mail:hejinyu2017@163.com

and the porosity increased by 12.75%. Fenlong cultivation had a significant indigenous effect on soil water storage at different growth stages of maize. Soil water storage FL40 treatment increased by 24.86%, and the number of soils mechanically stable aggregates (0.25 ~ 5 mm) increased by 9.63%. Compared with traditional rotary tillage, Fenlong cultivation achieved the effect of loosening soil and improved soil water storage and soil moisture retention capacity. Fenlong cultivation increased grain yield by improving the growth conditions and soil environment of maize, in which the FL60, FL50 and FL30 treatment increased the yield by 57.14%, 15.48% and 8.79% respectively, compared with the CK treatment. The conclusion of this study provides a theoretical basis for improving the years of soil compaction and the sustainable utilization of water and soil resources in arid areas.

Keywords: Fenlong cultivation; soil bulk density; soil porosity; soil water storage; soil agglomerates

不同耕作方式对土壤物理性质具有不同程度的影响,进而导致农作物产量产生差异^[1-2]。如今我国北方干旱地区大部分的犁田方式采用机械旋耕^[3],长时间旋耕容易使土壤的耕层变浅,容重增加,且土壤养分降低,阻碍农作物生长^[4]。

粉垄耕作技术是利用“自走式粉垄耕作机”的双螺旋钻头将土壤垂直旋磨粉碎并自然悬浮成垄整地的一项新型耕作技术^[5]。该技术能够有效地改善土壤蓬松程度,使得土壤疏松并且透气,同时能够达到蓄水保墒的效果,较传统犁耕和旋耕操作更为方便且效果显著^[6-7]。前人研究表明,粉垄耕作能有效打破犁层,使得土壤容重降低、孔隙度增加、土壤含水量提高^[8-9]。

目前粉垄耕作技术及最优耕作深度在宁夏银川干旱地区尚无定论,本试验将针对不同粉垄深度对旱地土壤关键物理性状的影响开展研究,可为改善旱地土壤板结及粉垄耕作在干旱地区的推广应用提供理论参考。

1 材料与方 法

1.1 试验点概况

试验于 2021 年 4—9 月在宁夏暖泉农场试验地进行(106°11'E、38°42'N,海拔 1 113 m),该地区属于典型干旱地区,中温带大陆性气候,年均降雨量 189 mm,年均蒸发量 1 583.2 mm,日照充足,无霜期约 157 d,年均气温 11.6℃,日夜温差 12~15℃。试验地土壤属于砂质土,试验地初始土壤理化性质见表 1。

1.2 试验材料

供试玉米品种为‘天赐 19 号’,由甘肃武威甘

鑫物种有限公司生产。粉垄机械为广西五丰机械有限公司自走式粉垄机(型号 1FSGI-230)。

1.3 试验设计与实施

本试验采用单因素随机区组设计,以传统旋耕 20 cm 为对照(CK),粉垄耕作深度为试验变量,设置粉垄 30 cm(FL30)、40 cm(FL40)、50 cm(FL50)和 60 cm(FL60)4 个处理,各处理 3 次重复,共 15 个小区,各小区长×宽为 6.5 m×2.0 m。试验区长 100 m,宽 38 m,四周设置宽 10 m 保护行。于 2021 年 4 月 16 日进行播前粉垄耕作,5 月 7 日进行播种并铺设滴灌带,采用 φ16 内镶迷宫式滴灌带,滴头流量为 2 L·h⁻¹,使用播种、施肥、铺管一体机进行作业,一垄二管四行方式,采用宽窄行种植模式,行距 40 cm,穴距 22 cm,播种深度 4 cm,垄距 70 cm,播种量 82 500 粒·hm⁻²。全生育期内共施用 6 次复合水溶性肥(N+P₂O₅+K₂O≥50%),施用量为:氮(纯 N)160 kg·hm⁻²,磷(P₂O₅)52 kg·hm⁻²,钾(K₂O)59 kg·hm⁻²。期间灌水 14 次,灌溉定额 1 200 m³·hm⁻²。试验地于 2021 年 9 月 11 日收获。其他田间管理各处理保持一致。

1.4 测定项目与方法

土壤容重:分别在粉垄前、玉米不同生育时期取 0~20、20~40、40~60 cm 土层土壤剖面,采用环刀法测定土壤容重;土壤孔隙度:由土粒密度和容重计算得出;土壤机械稳定性团聚体:玉米收获后,收集 0~20、20~40、40~60 cm 土层土样,并带回实验室风干,使用干筛法分别测定土壤机械稳定性团聚体粒径分布以及稳定性,分别计算出>5 mm、2~5 mm、1~2 mm、0.5~1 mm、0.25~0.5 mm、<0.25 mm 的团

表 1 初始土壤理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of initial soil

土层深度 Soil depth/cm	容重 BD /(g·cm ⁻³)	全氮 TN /(g·kg ⁻¹)	碱解氮 AHN /(mg·kg ⁻¹)	速效磷 AP /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 AK /(mg·kg ⁻¹)	有机质 OM /(g·kg ⁻¹)	水溶性盐 SS /(g·kg ⁻¹)	pH
0~20	1.38	0.76	37.65	17.34	100.03	19.32	0.83	9.02
20~40	1.39	0.47	30.23	15.52	95.74	17.43	0.81	8.67
40~60	1.37	0.28	28.50	15.30	85.60	12.07	0.91	8.64

聚体含量;土壤蓄水量:分别在耕作前、玉米不同生育时期挖取土壤剖面,使用烘干法测定土壤含水量,进而计算土壤蓄水量,土壤蓄水量计算公式如下:

$$W = H \times 10ab \quad (1)$$

式中, H 为该层土壤的深度(cm); a 为土壤容重($g \cdot cm^{-3}$); b 为土壤质量含水量(%)。

玉米产量:在玉米收获期内每个小区采集10穗玉米果实进行室内考种,分别使用直尺、游标卡尺、电子天平测量玉米的穗长、穗粗、穗重,并记录穗行数、行粒数,再将每个玉米的籽粒全部脱去,测算每穗籽粒数和200粒籽粒的质量。通过这些数据和田间密度调查计算玉米籽粒产量。

1.5 数据处理

试验数据采用 Microsoft Excel 2016 进行数据分析与制图,SPSS 25.0 进行方差分析,采用 Duncan 法进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 粉垄耕作深度对土壤容重的影响

粉垄耕作使得0~60 cm有效耕作层内的土壤容重出现显著变化,不同粉垄耕作深度处理以及对照处理对玉米全生育期土壤不同深度容重的影响如表2所示,可以看出,FL40、FL50与FL60处理相对于CK处理在全生育期中,0~20 cm土层深度存

在显著性差异,FL40与FL50处理在土壤0~40 cm深度范围内相对于CK处理在玉米不同时期均存在显著性差异,但在土壤40~60 cm深度范围内,FL40和FL50处理相对于CK处理在苗期以及喇叭口期并无显著差异,该现象可能是由于这两个时期降雨导致水分下渗到40~60 cm土层并累积所致。FL40处理使得土壤在玉米苗期、喇叭口期、抽雄期、灌浆期和成熟期0~20 cm土层容重分别减少了18.95%、10.53%、15.04%、17.24%和11.30%,20~40 cm土层容重减少了9.63%、10.20%、6.97%、6.75%和8.57%,40~60 cm土层容重减少了3.54%、7.20%、5.64%、7.91%和6.87%,FL50处理使得土壤0~20 cm土层容重减少了19.70%、13.95%、17.79%、14.29%和11.55%,20~40 cm土层减少了5.43%、8.21%、3.73%、3.75%和7.86%,40~60 cm土层减少了3.54%、8.44%、8.33%、6.47%和11.61%,FL60处理使得土壤0~20 cm土层容重减少了18.45%、15.00%、11.28%、14.53%和12.04%,20~40 cm土层减少了10.86%、6.22%、7.71%、2.75%和14.52%,40~60 cm土层减少了7.07%、5.21%、10.05%、10.07%和11.61%。根据以上3个处理各土层容重减少情况来看,粉垄耕作能够使得土壤耕层土壤得到充分粉碎,其中FL40处理对20~40 cm土层容重改善较好,FL50处理对0~20 cm土层容重改善较好,FL60处理对40~60 cm土层容重改善较好。

表2 不同粉垄耕作深度对土壤容重的影响/($g \cdot cm^{-3}$)

Table 2 Effect of different milling tillage depths on soil bulk density

土壤深度 Soil depth /cm	处理 Treatment	生育期 Growth period				
		苗期 Seedling period	喇叭口期 Jointing and tasseling period	抽雄期 Tasseling period	灌浆期 Milking period	成熟期 Harvesting period
0~20	CK	1.34±0.00a	1.27±0.03a	1.33±0.03a	1.35±0.01a	1.36±0.03a
	FL30	1.14±0.01b	1.16±0.04b	1.13±0.02bc	1.17±0.04b	1.26±0.06b
	FL40	1.08±0.01c	1.13±0.05b	1.13±0.03bc	1.12±0.04b	1.20±0.08b
	FL50	1.07±0.00c	1.09±0.05b	1.09±0.03c	1.16±0.04b	1.20±0.04b
	FL60	1.09±0.01c	1.08±0.03b	1.18±0.01b	1.16±0.02b	1.19±0.01b
20~40	CK	1.35±0.04a	1.34±0.06a	1.34±0.01a	1.33±0.01a	1.40±0.02a
	FL30	1.21±0.02c	1.23±0.05b	1.25±0.02c	1.29±0.03b	1.29±0.02b
	FL40	1.22±0.01bc	1.2±0.03b	1.25±0.02c	1.24±0.01c	1.28±0.11b
	FL50	1.28±0.03b	1.23±0.03b	1.29±0.02b	1.28±0.02bc	1.29±0.00b
	FL60	1.20±0.03c	1.26±0.02b	1.24±0.02c	1.30±0.03ab	1.20±0.02b
40~60	CK	1.32±0.01a	1.34±0.02a	1.36±0.01a	1.39±0.02a	1.41±0.04a
	FL30	1.30±0.02ab	1.24±0.07a	1.31±0.02ab	1.26±0.05b	1.37±0.04ab
	FL40	1.27±0.09ab	1.25±0.10a	1.28±0.06bc	1.28±0.00b	1.31±0.05bc
	FL50	1.27±0.01ab	1.23±0.06a	1.25±0.05bc	1.30±0.03b	1.24±0.04c
	FL60	1.23±0.02b	1.27±0.04a	1.22±0.04c	1.25±0.03b	1.24±0.03c

注:表中数值均为平均值±标准差,数值后的小写字母代表 $P<0.05$ 显著水平。下同。

Note: The values in the table are mean ± standard deviation, the lowercase letters after the values represent $P<0.05$ significant level. The same below.

2.2 粉垄耕作深度对土壤孔隙度的影响

相较于传统旋耕,粉垄耕作使得 0~60 cm 有效耕作层内土壤孔隙度发生显著变化,由表 3 可知,FL50 处理在玉米全生育期对 0~20 cm 土层土壤孔隙度的改善最好,相对于 CK 处理各生育期分别提升了 19.91%、12.89%、17.73%、14.93%、12.17%,FL40 处理对 20~40 cm 土层土壤孔隙度的改善最好,分别在各生育期提升了 9.75%、10.22%、7.03%、6.81%和 9.14%,而 FL60 处理对 40~60 cm 土层土壤孔隙度改善最好,玉米生长各生育期的土壤孔隙度相对于 CK 分别提升了 6.97%、5.49%、10.68%、11.51%和 12.75%。

2.3 粉垄耕作深度对土壤蓄水量的影响

粉垄耕作能使得土壤容重以及孔隙度得到显

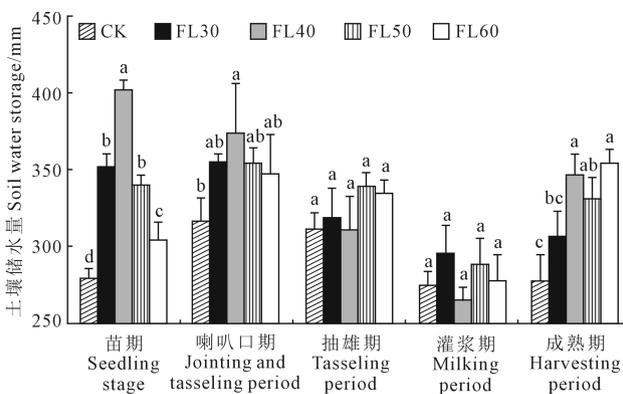
著改善,以至于影响 0~60 cm 有效耕作层内土壤蓄水量的变化。由图 1 可以看出,随着玉米生育期的变化土壤蓄水量整体呈现出先升后降再升高的趋势,且 FL40 处理效果最佳,且在苗期、喇叭口期和成熟期土壤蓄水量都大于其他处理,但是在抽雄期和灌浆期土壤蓄水量却低于其他处理,这可能是由于这两个时期天气气温过高,导致土壤蒸发变强,且该时期玉米生长所需水分较大从而导致土壤蓄水量低于其余各时期。FL40 处理在苗期相对于 CK 提升了 44.03%,在喇叭口期提升了 18.08%,在成熟期提升了 24.86%,其他时期变化不明显。

2.4 粉垄耕作深度对土壤团聚体的影响

粉垄耕作相对于传统旋耕能使得土壤机械稳定性团聚体得到显著改变,由图 2 可以看出,FL40 处

表 3 不同粉垄耕作深度对土壤孔隙度的影响/%
Table 3 Effect of different milling tillage depths on soil porosity

土壤深度 Soil depth /cm	处理 Treatment	生育期 Growth period				
		苗期 Seedling period	喇叭口期 Jointing and tasseling period	抽雄期 Tasseling period	灌浆期 Milking period	成熟期 Harvesting period
0~20	CK	49.54±0.23c	52.11±1.23b	49.83±1.05c	48.91±0.51b	48.81±1.13b
	FL30	57.18±0.75b	56.43±1.36a	57.48±0.56ab	55.85±1.49a	52.68±2.10a
	FL40	59.02±0.89a	57.28±2.02a	57.41±2.26ab	57.80±1.45a	54.62±2.79a
	FL50	59.41±0.27a	58.83±2.1a	58.67±1.17a	56.21±1.51a	54.75±1.30a
	FL60	58.79±0.60a	59.41±1.17a	55.48±0.34b	56.28±0.58a	54.94±0.07a
20~40	CK	49.05±1.76c	49.47±2.11b	49.43±0.33c	49.74±0.35c	47.32±0.70b
	FL30	54.52±0.68a	53.66±1.74a	52.85±0.69a	51.48±1.00b	51.44±0.45a
	FL40	53.83±0.44ab	54.52±1.03a	52.91±0.82a	53.13±0.28a	51.64±4.28a
	FL50	51.82±1.15b	53.49±1.00a	51.29±0.49b	51.62±0.81ab	51.42±0.10a
	FL60	54.50±1.07a	52.60±0.77a	53.29±0.77a	51.04±1.00bc	54.86±0.58a
40~60	CK	50.19±0.29b	49.26±0.57a	48.59±0.40c	47.42±0.80b	47.03±1.38c
	FL30	50.78±0.67ab	53.13±2.54a	50.5±0.61bc	52.27±1.94a	48.2±1.30bc
	FL40	52.05±3.27ab	53.03±3.88a	51.64±2.00ab	51.71±0.16a	50.54±1.90ab
	FL50	51.87±0.24ab	53.62±2.25a	52.97±1.67ab	50.96±1.00a	53.10±1.51a
	FL60	53.69±0.64a	51.97±1.33a	53.78±1.42a	52.88±0.99a	53.03±1.08a



注:小写字母代表 $P < 0.05$ 显著水平。

Note: Lowercase letters represent $P < 0.05$ significant level.

图 1 不同粉垄耕作深度对玉米各生育期 0~60 cm 土壤蓄水量的影响

Fig.1 Effect of different milling tillage depths on soil water storage at various fertility stages of maize

理对 0.25~5 mm 土壤机械稳定性团聚体的影响最大,相对于 CK 在 0~20 cm 土层内提升了 22.11%, 20~40 cm 土层内提升了 4.38%, 40~60 cm 土层内提升了 2.39%;其次为 FL30 处理。但对于 0~20 cm 土层内大于 5 mm 的机械稳定性团聚体,CK 处理大于粉垄耕作处理,在 20~40 cm 与 40~60 cm 范围内,FL60 处理相对于 CK 提升最大,分别提升了 18.93%和 10.78%。

2.5 粉垄耕作深度对玉米产量的影响

粉垄耕作对玉米产量及其构成因素的影响如表 4 所示,CK 处理穗长最低,FL50 和 FL60 处理穗长最高且与其他处理差异显著,较 CK 分别增加 20.47%和 18.04%;穗粗表现与穗长相似,仍然以 FL50 和 FL60 最高,较 CK 分别增加 13.91%和 7.30%,因此穗重的表现与穗长等其他穗部特征相

似。对于重要的产量构成因素穗粒重和百粒重,不同处理表现为 FL50>FL60>FL30>FL40>CK,籽粒产量表现亦是如此,FL60、FL50 和 FL30 处理与 CK 相比分别增产 57.14%、15.48% 和 8.79%。

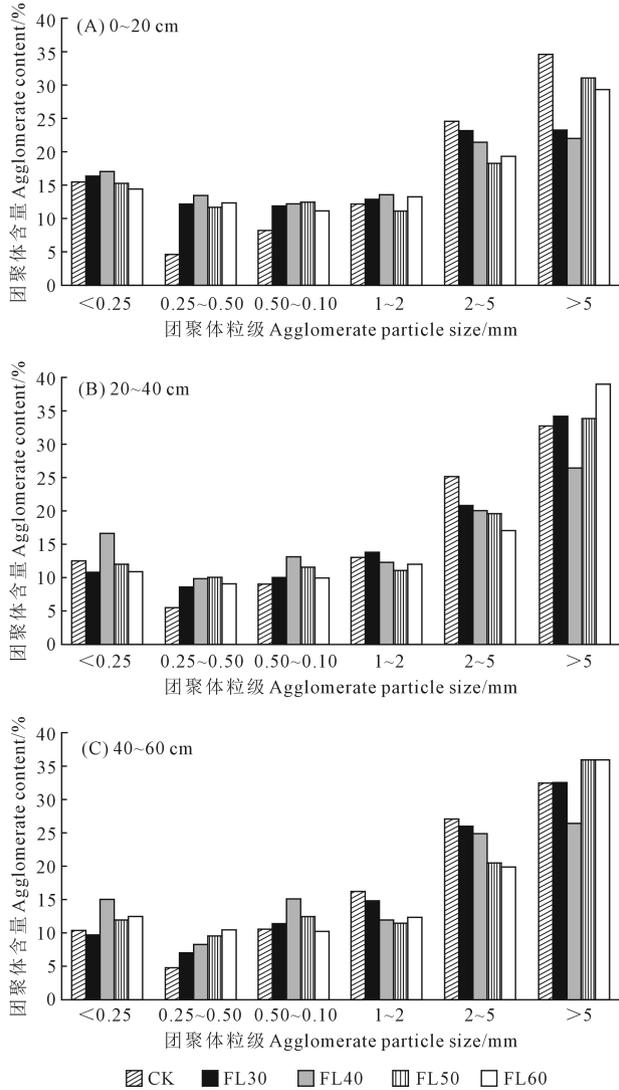


图2 不同粉垄耕作深度对土壤团聚体粒径分布的影响

Fig.2 Effect of different milling tillage depths on the particle size distribution of soil agglomerates

3 讨论

3.1 粉垄耕作对土壤容重以及孔隙度的影响

土壤孔隙度作为土壤物理质量的重要指标,在评价生物生产力等方面具有重要作用。不同的孔隙分布形状和连续性影响土壤水的渗透、存储和排水情况^[10]。研究发现,粉垄耕作后耕层 0~60 cm 土壤容重出现下降且孔隙度得到提升的现象,其中 FL40 处理对于中层土壤(20~40 cm)的改善相对于其他处理要好,分析其原因可能是因为粉垄耕作能够有效打破土壤犁底层,使得有效耕层深度加大、使土层变得更加松软,进而使得土壤容重降低、孔隙度提升^[11]。张邦彦等^[10]、曹明海等^[11]和熊梓沁等^[12]也有结论表明粉垄耕作能够有效降低土壤容重并提升土壤孔隙度,以上结论与本试验结果相似。不同粉垄耕作深度对不同土层的影响不同,考虑到粉垄机耕地的难易程度,且为了农作物能够得到适合土壤条件,可以根据农作物的根系活动层来选择粉垄耕作深度。

3.2 粉垄耕作对土壤蓄水量的影响

刘江汉等^[13]和彭光爵等^[14]研究表明,粉垄耕作相对于传统耕作能够较好地提升土壤含水量,刘世举等^[15]结果表明,深松耕使土壤水分含量提升了 6.5%~9.7%;邬小春等^[16]结果表明,春季深松耕对土壤含水量的提升效果较好。刘斌等^[17]研究发现,粉垄耕作下的木薯苗期、膨大期与成熟期的土壤蓄水量在不同深度均明显大于传统耕作。以上研究均表明粉垄耕作有利于降水的下渗与贮存。本试验中土壤蓄水量在玉米全生育期出现了先上升后下降再上升的现象,且 FL40 处理对土壤蓄水量的改善效果最好,分析认为该处理使得土壤容重以及孔隙度得到了改善,且粉垄后被掀起的土壤自然悬浮成垄,在田垄之间自然形成了“U”形槽,有利于降

表4 不同粉垄耕作深度对玉米产量的影响

Table 4 Effect of different milling tillage depths on yield of maize

处理 Treatment	穗长 Spike length /cm	穗粗 Spike diameter /cm	穗行数 Kernel rows	行粒数 Kernel number per row	穗重 Ear weight /g	穗粒重 Grain weight per spike/g	百粒重 100-seed weight/g	籽粒产量 Grain yield /(t·hm ⁻²)
CK	16.46±1.31b	41.11±1.81c	14.89±1.05a	33.22±4.55c	136.14±28.33d	116.63±25.96d	24.59±1.17c	10.01±1.12c
FL30	17.42±1.24b	44.11±3.33b	14.89±1.45a	38.44±2.24ab	170.84±29.13bc	150.24±25.35bc	28.68±1.32b	10.89±0.76bc
FL40	17.66±1.47b	41.44±1.51c	13.33±1.00b	37.33±5.00b	151.77±39.06cd	138.51±34.02cd	27.80±3.34b	10.00±0.29c
FL50	19.43±0.85a	44.44±2.60b	15.33±1.00a	40.44±2.96ab	200.80±36.79ab	174.35±34.61ab	28.93±1.99b	11.56±0.25b
FL60	19.83±2.05a	46.83±2.04a	15.67±1.51a	41.83±4.62a	224.80±15.78a	199.15±11.71a	32.07±2.26a	15.73±0.80a

水与灌溉水的自然储存,使得土壤的蓄水能力也得到了提升^[18]。粉垄耕作较传统耕打破了犁底层,深层土壤孔隙度因而提高,因而水分可以在深层次土壤充分下渗,水分渗透性得到改善,使得深层土壤含水量显著提高,从而改善底层土壤环境^[19]。

3.3 粉垄耕作对土壤团聚体的影响

本试验结果表明粉垄耕作能够有效改善土壤机械稳定性团聚体(0.25~5 mm)的数量,其中 FL40 效果最好,分析其原因可能是由于粉垄机在运行期间能够有效切割片状或块状的土块以及石块,使得土壤中的小团聚体能够更加有效的吸附于土壤中的有机质,从而影响团聚体的分布,形成更大的机械稳定性团聚体^[20]。杨博等^[21]、王世佳等^[22-23]、申章佑等^[24]和张宇等^[25]研究表明,粉垄耕作更有利于土壤大团聚体的形成;除了粉垄耕作外,旋耕以及深松耕也能达到增加土壤稳定性团聚体的效果,苗芳芳等^[26]表明深松耕加上秸秆覆盖能够有效提升 0~40 cm 土层内>0.25 mm 粒径的团聚体数量。

3.4 粉垄耕作对玉米产量的影响

截至目前,粉垄耕作技术目前已在小麦^[27]、玉米^[28]和马铃薯^[29]等作物上取得了较多研究成果。关于粉垄耕作改变作物产量的研究主要集中粉垄结合其他农艺措施上,张邦彦等^[10]认为,粉垄耕作打破犁底层,改善了土壤耕层环境,提高了土壤的蓄水能力,结合覆膜实现了有效的保水保墒,改善了土壤水温状况,促进了马铃薯苗期的生长,提高了马铃薯的最终产量;蒋发辉等^[30]认为,粉垄耕作通过调蓄土壤水分和改善土壤环境促进了红薯根系下扎和养分吸收,进而提高了红薯的块茎产量;邓小华等^[31]认为,不同的粉垄深度通过影响养分在烤烟不同器官之间的分配从而影响了最终产量。大量试验证明,玉米产量很大程度上取决于其产量构成因素,其中穗粒重对产量的影响较大^[32],本试验通过对玉米产量构成因素的测定与分析发现,各粉垄处理间穗行数差异不显著,而百粒重和穗粒重与传统耕作处理相比差异显著,因此粉垄处理的最终产量均高于传统耕作。分析其原因认为:(1)粉垄耕作打破了犁底层,降低了土壤容重,增加了土壤孔隙度,促进了水分在深层耕层中的流通与渗透,通过“U”型槽等机制提升了土壤的蓄水能力,在一定程度上改善了土壤的水分条件。促进了后期深层土壤蓄水量的提升与稳定,有研究表明,玉米穗重在一定程度上受到生长发育后期土壤蓄水量的影响^[33],在种植年份降水量较小、蒸发量较大的环境下,粉垄耕作保证了后期土壤中拥有足够的水

分以供应玉米度过重要的灌浆期。(2)粉垄耕作降低了土壤容重,增加了土壤孔隙度,而容重影响了土壤的紧实度和贯入阻力,减小这些土壤物理性质就是减轻作物生长的阻力与负担,可以保证作物根系下扎和种子萌发^[34],粉垄通过改善土壤的物理性质促进了玉米根系的下扎和对水分的吸收,保证了玉米在生育时期内充足的水分供应。

4 结 论

1)不同粉垄耕作深度使得不同土层的容重以及孔隙度受到不同程度的改善,FL50 处理使玉米苗期土壤 0~20 cm 土层容重降低了 19.70%,孔隙度上升了 19.91%。FL40 处理在玉米喇叭口期使土壤 20~40 cm 土层容重降低了 10.20%,孔隙度上升了 10.22%。FL60 处理在玉米成熟期使土壤 40~60 cm 土层容重降低了 11.61%,孔隙度上升了 12.75%。

2)FL40 处理能提升土壤蓄水量,在苗期相对于 CK 提升了 44.03%,喇叭口期提升了 18.08%,抽雄期减弱了 0.10%,灌浆期降低了 3.35%,成熟期提升了 24.86%。

3)FL40 处理能提升各土层机械稳定性团聚体(0.25~5 mm)数量,相对于 CK 处理 0~20 cm 土层提升了 22.11%,20~40 cm 土层提升了 4.38%,40~60 cm 土层提升了 2.39%。

4)粉垄耕作可以改善土壤的水分条件与土壤环境,提高玉米籽粒产量,其中 FL60、FL50、FL30 处理较 CK 处理分别增产 57.14%、15.48%、8.79%。

参 考 文 献:

- [1] 关劼兮,陈素英,邵立威,等. 华北典型区域土壤耕作方式对土壤特性和作物产量的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(11): 1663-1672.
GUAN J X, CHEN S Y, SHAO L W, et al. Soil tillage practices affecting the soil characteristics and yield of winter wheat and summer maize in North China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2019, 27(11): 1663-1672.
- [2] 徐莹莹,靳晓燕,庞爱国,等. 土壤性状和玉米生长对不同耕作方式的响应[J]. 农机化研究, 2022, 44(11): 11-18.
XU Y Y, JIN X Y, PANG A G, et al. Response of soil properties and maize growth to different tillage methods[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2022, 44(11): 11-18.
- [3] 韦本辉,甘秀芹,陈保善,等. 农耕新方法粉垄整地土壤速效养分研究[J]. 广东农业科学, 2011, 38(17): 42-45.
WEI B H, GAN X Q, CHEN B S, et al. Study on available nutrients of soil by a new method of farming which land preparation by smash-ridging[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2011, 38(17): 42-45.
- [4] 高伟,张俊,郝西,等. 粉垄耕作对土壤物理性状及花生根系的影响[J]. 花生学报, 2021, 50(4): 67-71, 86.
GAO W, ZHANG J, HAO X, et al. Effect of smash-ridging on soil physical properties and peanut growth[J]. Journal of Peanut Science,

- 2021, 50(4): 67-71, 86.
- [5] 张敏, 粟戈璇, 彭曙光, 等. 粉垄深度对山地黄壤理化特性和烤烟养分利用效率的影响[J]. 作物研究, 2021, 35(1): 55-60.
ZHANG M, SU G X, PENG S G, et al. Effects of smashing ridge tillage on physicochemical property of mountain yellow soil and nutrient utilization efficiency of flue-cured tobacco[J]. Crop Research, 2021, 35(1): 55-60.
- [6] 张柯雨, 陈彦云, 李国旗, 等. 粉垄耕作对盐碱地土壤环境及作物生长的影响研究进展[J]. 农业科学研究, 2022, 43(1): 57-61, 96.
ZHANG K Y, CHEN Y Y, LI G Q, et al. Research progress on the effects of Fenlong-ridging on soil environment and crop growth in saline-alkali land[J]. Journal of Agricultural Sciences, 2022, 43(1): 57-61, 96.
- [7] 耿世杰, 李惠霞, 王斌, 等. 耕作方式和钾肥用量对旱作马铃薯产量及水肥利用率的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2022, 48(2): 168-174.
GENG S J, LI H X, WANG B, et al. Effects of tillage methods and potassium fertilizer dosages on potato yield and water-fertilizer utilization in the dry farmland[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2022, 48(2): 168-174.
- [8] 陈宇龙, 黄栋. 不同应力状态下孔隙结构特征对土-水特征曲线的影响[J]. 工程科学学报, 2017, 39(1): 147-154.
CHEN Y L, HUANG D. Influence of pore structure characteristics on soil-water characteristic curves under different stress states [J]. Chinese Journal of Engineering, 2017, 39(1): 147-154.
- [9] 龚嘉, 郑重谊, 刘勇军, 等. 粉垄深耕结合沟排水对土壤养分和烤烟生长发育的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2022, 50(2): 75-81, 89.
GONG J, ZHENG C Y, LIU Y J, et al. Effects of deep ploughing with powder ridge and ditching drainage on soil nutrients and growth and development of flue-cured tobacco[J]. Journal of Northwest A&F University(Natural Science Edition), 2022, 50(2): 75-81, 89.
- [10] 张邦彦, 何文寿, 李惠霞, 等. 粉垄与覆膜对宁南旱区土壤物理性状及马铃薯产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2022, 40(2): 27-37.
ZHANG B Y, HE W S, LI H X, et al. Effects of deep vertically rotary tillage and film mulching on soil physical properties and potato yield in the arid area of Southern Ningxia[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2022, 40(2): 27-37.
- [11] 曹明海, 刘洪光, 王刚, 等. 不同粉垄深度和春灌灌水量对土壤水盐运移规律影响研究[J]. 节水灌溉, 2022, (2): 13-20.
CAO M H, LIU H G, WANG G, et al. Effects of different powder ridge depth and spring irrigation amount on soil water and salt transport[J]. Water Saving Irrigation, 2022, (2): 13-20.
- [12] 熊梓沁, 荆永锋, 贺非, 等. 粉垄深度对稻作烟区土壤理化特性及作物周年产量的影响[J]. 中国烟草学报, 2021, 27(3): 46-55.
XIONG Z Q, JING Y F, HE F, et al. Effect of ridge depth on soil physicochemical and annual crop yield in rice growing tobacco area [J]. Acta Tabacaria Sinica, 2021, 27(3): 46-55.
- [13] 刘江汉, 何文寿. 粉垄耕作对土壤性质及马铃薯产量的影响[J]. 东北农业科学, 2020, 45(2): 20-25.
LIU J H, HE W S. Effects of smash-ridging technology on soil properties and potato yield[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2020, 45(2): 20-25.
- [14] 彭光爵, 王志勇, 胡桐, 等. 粉垄深耕对长沙稻作烟区土壤物理特性及烤烟根系发育的影响[J]. 华北农学报, 2021, 36(1): 134-142.
PENG G J, WANG Z Y, HU T, et al. Effects of deep vertical rotary tillage on soil physical characteristics and root development of flue-cured tobacco in paddy-tobacco growing area in Changsha[J]. Acta Agriculturae Boreali-sinica, 2021, 36(1): 134-142.
- [15] 刘世举, 张候平, 李彤, 等. 耕作方式对西北旱作农田土壤特性及冬小麦产量的影响[J]. 西北农业学报, 2019, 28(9): 1411-1418.
LIU S J, ZHANG H P, LI T, et al. Effect of tillage method on soil characteristics and winter wheat yield of arid farmland in northwest China[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2019, 28(9): 1411-1418.
- [16] 郭小春, 马向峰, 杨晓军, 等. 不同耕作方式对西北地区春玉米土壤物理性状及产量的影响[J]. 玉米科学, 2020, 28(3): 127-134.
WU X C, MA X F, YANG X J, et al. Effects of different tillage methods on soil physical properties and yield of spring maize in northwest China[J]. Journal of Maize Sciences, 2020, 28(3): 127-134.
- [17] 刘斌, 甘秀芹, 韦本辉, 等. 粉垄耕作对南方旱坡木薯种植地水土流失及产量的影响[J]. 西南农业学报, 2016, 29(12): 2806-2811.
LIU B, GAN X Q, WEI B H, et al. Effects of Fenlong cultivation on water and soil erosion and cassava yield in south dry slope cropland [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2016, 29(12): 2806-2811.
- [18] 孙美乐, 蔺国仓, 回经涛, 等. 粉垄耕作对新疆盐碱土理化性质及棉花生长影响[J]. 中国土壤与肥料, 2020, (6): 58-64.
SUN M L, LIN G C, HUI J T, et al. Effects of smash-ridging cultivation on physical and chemical properties of saline-alkali soil and cotton growth in Xinjiang[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2020, (6): 58-64.
- [19] 韦本辉. “粉垄定律”的确立及其科学意义初探[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(12): 1-4, 8.
WEI B H. “The law of Fenlong” and its scientific significance [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2020, 48(12): 1-4, 8.
- [20] ZHANG J M, CHI F Q, WEI D, et al. Impacts of long-term fertilization on the molecular structure of humic acid and organic carbon content in soil aggregates in black soil [J]. Scientific Reports, 2019, 9(1): 11908.
- [21] 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 B, QU Z Y, SUN H H, et al. The effect of smash-ridging cultivation on properties of saline-alkalisoil in Hetao irrigation district [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(8): 52-59.
- [22] 王世佳, 蒋代华, 朱文国, 等. 粉垄耕作对农田赤红壤团聚体结构的影响[J]. 土壤学报, 2020, 57(2): 326-335.
WANG S J, JIANG D H, ZHU W G, et al. Effect of deep vertical rotary tillage on aggregate structure in farmland of lateritic red soil [J]. Acta Pedologica Sinica, 2020, 57(2): 326-335.
- [23] 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 S J, WEI B H, SHEN Z Y, 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.
- [24] 申章佑, 李艳英, 周佳, 等. 粉垄耕作下减施肥料对木薯产量品质的影响初探[J]. 中国土壤与肥料, 2022, (2): 99-105.
SHEN Z Y, LI Y Y, ZHOU J, et al. Effect of fertilizer reduction on cassava yield and quality under Fenlong tillage [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2022, (2): 99-105.