

轮耕条件下土壤改良及春玉米增产增收效果研究

王平¹, 陈娟², 谢成俊¹, 王国宇¹, 温健³, 张丽娟⁴

(1. 兰州市农业科技研究推广中心, 甘肃 兰州 730000; 2. 甘肃省农业科学院, 甘肃 兰州 730070;
3. 甘肃省永登县农业技术推广中心, 甘肃 永登 730300; 4. 庆阳市农业科学研究院, 甘肃 庆阳 745000)

摘要: 针对旱作区长期采用单一的土壤耕作方式造成的土壤结构变差及作物生长发育受限等问题, 研究由免耕、深松及翻耕组成的不同轮作模式对于旱区春玉米土壤肥力及产量的影响具有重要生产意义。于2014—2016年在兰州市榆中县清水驿乡孟家山村玉米田开展连续免耕 (NT)、连续深松 (ST)、连续翻耕 (PT)、深松、免耕及深松轮耕 (ST/NT/ST)、免耕、免耕和深松轮耕 (NT/NT/ST)、翻耕、免耕及翻耕轮耕 (PT/NT/PT)、翻耕、免耕及深松轮耕 (PT/NT/ST) 和深松、翻耕及深松轮耕 (ST/PT/ST) 8种耕作模式试验, 测定8种耕作模式下的土壤孔隙度、土壤养分、干物质和玉米产量, 并分析其经济效益。结果表明: 在0~60 cm土层, 随着土层的增加土壤孔隙度表现为先降后增, 以20~40 cm土层的土壤孔隙度最低。5种轮耕措施较耕作前均能增加土壤孔隙度, 以ST/PT/ST轮耕模式最优, 其次为ST/NT/ST, 较PT提高了1.24%、0.25%; 土壤养分含量在0~20 cm土层均高于20~40 cm土层, 其中, 0~20 cm土层免耕与深松进行轮耕下土壤全氮、全磷含量较高, 以ST/NT/ST全氮、磷含量最高, 20~40 cm土层, 对土壤全氮、全磷含量无显著影响, 翻耕与深松轮作促进了速效氮、磷、钾的提高, 以ST/PT/ST速效氮、磷、钾含量高, 免耕土壤有机质含量较其它耕作方式低, 其余土壤养分指标为表层富集, 下层匮乏; 轮耕模式较单一的耕作方式更能促进玉米干物质的累积, 其中以ST/NT/ST与PT/NT/PT耕作下玉米干物质高, 频繁的翻耕 (PT) 不利于玉米的生长; 3年产量相比, 8种耕作模式中, ST/NT/ST处理下玉米产量显著高于其它处理 (ST/NT/ST>NT/NT/ST>ST/PT/ST>ST>NT>PT/NT/ST>PT/NT/PT>PT)。较单一耕作 (NT、ST、PT), ST/NT/ST处理下玉米产量提高了5.97%、3.56%、15.75%; 且以ST/NT/ST经济效益最高。结论: 深松、免耕及深松轮耕有利于改善耕层结构和提高土壤养分, 增产增效显著, 为旱作区春玉米农田适宜的轮耕模式。

关键词: 轮耕; 春玉米; 土壤有机质; 土壤养分; 产量; 经济效益

中图分类号: S344.1 **文献标志码:** A

Effects of rotation tillage on soil improvement and increasing yield and benefit of spring maize

WANG Ping¹, CHEN Juan², XIE Cheng-jun¹, WANG Guo-yu¹, WEN Jian³, ZHANG Li-juan⁴

(1. Lanzhou Agro-technical Research and Popularization Center, Lanzhou, Gansu 730010, China; 2. Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China; 3. Yongdeng Agro-technical Extension Center of Gansu, Yongdeng, Gansu 730300, China; 4. Qingyang Academy of Agricultural Sciences, Qingyang, Gansu 745000, China)

Abstract: A long-term practice of applying single soil tillage treatment harms soil structure, crop growth and development in arid area. Effects of different rotational tillage patterns combined with no-tillage, subsoiling and plow tillage on soil fertility and grain yield were explored in continuous cropping spring maize field in arid area. The experiments of NT (continuous no-tillage), ST (continuous subsoiling tillage), PT (continuous plow tillage), ST/NT/ST (subsoiling tillage in first year, no-tillage in the second year, subsoiling tillage in third year), NT/NT/ST (no-tillage in first year, no-tillage in the second year, subsoiling tillage in third year), PT/NT/PT (plow tillage in first year, no-tillage in the second year, plow tillage in third year), PT/NT/ST (plow tillage in first year, no-tillage in the second year, subsoiling tillage in third year), ST/PT/ST (subsoiling tillage in first year, plow tillage in

收稿日期: 2017-07-18

修回日期: 2017-09-25

基金项目: 兰州市科技局计划项目“旱作农业轮耕技术及配套耕作技术的研究与开发”(2015-3-60)

作者简介: 王平 (1979-), 男, 甘肃定西人, 硕士, 农艺师, 主要从事作物栽培与耕作工作。E-mail: wangping0931@163.com

通信作者: 王国宇 (1981-), 男, 甘肃会宁人, 硕士, 高级农艺师, 主要从事农业技术推广工作。E-mail: 114557337@qq.com

the second year, subsoiling tillage in third year) were conducted in rainfed maize fields from 2014 to 2016. Different rotational tillage patterns on soil porosity, soil nutrients, dry matter and maize yield were measured. Economic benefits were analyzed. The results showed that, soil porosity (SP) decreased first and then increased in the soil depth 0~60 cm and the lowest occurred in the depth 20~40 cm. Rotational tillage could significantly increase SP and the highest was under ST/PT/ST, followed by ST/NT/ST. Comparing to PT, SBD increased under ST/PT/ST by 1.24% and 0.25% respectively. Soil nutrient content in the depth 0~20 cm soil was higher than that in the depth 20~40 cm soil. Rotational tillage with no tillage and subsoiling could increase content of soil total nitrogen and total phosphorus in 0~20 cm soil. The content of soil total nitrogen and total phosphorus were the highest under ST/NT/ST and tillage had no effect on the content of soil total nitrogen and total phosphorus in 20~40 cm soil. Rotational tillage with plow tillage and subsoiling could increase available nitrogen, phosphorus, and potassium in 0~40 cm. The content of soil available nitrogen, phosphorus, and potassium were the highest under ST/PT/ST. Soil organic matter content was the lowest under NT, and NT increased soil nutrient content in top soil. Comparing to NT, ST and PT, rotational tillage could improve the dry matter accumulacation. ST/NT/ST and PT/NT/PT could enhance dry matter accumulation. PT was not conducive to the growth of maize. ST/NT/ST was the best (ST/NT/ST>NT/NT/ST>ST/PT/ST>ST>NT>PT/NT/ST>PT/NT/PT>PT) after the spring maize grain yield and economic benefit of 8 rotational tillage patterns in 3 years were evaluated comprehensively. Comparing to NT, ST and PT, the average annual yields of 3 years under ST/NT/ST was increased by 5.97%, 3.56% and 15.75% respectively. Rotational tillage of subsoiling tillage, no-tillage and subsoiling tillage (ST/NT/ST) improved good tilth soil structure, also increased soil nutrient contents, could effectively increase the yield and decrease production costs. It was suggested the ST/NT/ST was a more appropriate rotational tillage pattern for the continuous cropping spring maize field in arid area.

Keywords: rotational tillage; spring maize; soil organic matter; soil nutrient; grain yield; economic benefit

兰州市属于干旱与半干旱地区,旱作区沟壑纵横以山旱地为主,旱地面积占耕地面积 63% 以上,该区干旱少雨,且季节性降水明显,近些年干旱事件频发,干旱与土壤瘠薄制约着当地的农业发展。旱作农业的抗旱主要措施为“纳秋水,抗春旱”,目前,甘肃省推广的旱作农业抗旱栽培技术主要为地膜覆盖栽培^[1]。地膜覆盖措施有效地做到了雨水拦蓄入渗,抑蒸保墒,促进作物出苗与生长,提高水分利用效率与产量等作用,实现了被动抗旱向主动抗旱的转变^[2],一膜多年免耕方式得到广泛使用,面积也逐年扩大,在一些偏远山旱区随着劳动力的减少耕作措施减少或缺失,而长期的少免耕下土壤变得紧实、耕层变浅、土壤表层养分出现富集和田间病虫害多发等,土壤出现的这些问题已经越来越不适应旱作农业发展的需要^[3,4]。而传统耕作主要为牲畜或者手扶拖拉机翻耕,而长期的翻耕易形成犁底层,表层土壤结构疏松,水土流失严重。当前这种不合理的耕作方式影响了土壤结构与作物的生长。众多研究发现将免耕、深松和翻耕等耕作方法通过合理的组配形成的土壤轮耕体系,能够改善土壤水、肥、气、热的供给,促进作物的生长提高产量,减轻单一耕作措施带来的诸多弊端^[5-10]。因此,合理

的轮耕方式可以作为农业增产的一项重要措施与发展可持续现代农业的重要举措。

目前,旱作农业轮耕耕作方式研究的内容主要是保护性耕作下的土壤理化性质、蓄水保墒、增产及经济效益分析。而针对甘肃地区旱作农业地膜覆盖下的轮耕模式报道较少。本研究于 2014-2016 年通过定位试验,通过免耕、深耕、翻耕进行隔年轮耕组配形成 8 种耕作方式,研究了在玉米连作下的土壤孔隙度、土壤养分、产量及经济效益,通过综合评价以期评价不同轮耕模式及完善保护性耕作技术提供科学依据。

1 试验设计与方法

1.1 试验区概况

试验地位于兰州市榆中县清水驿乡孟家山村旱作农业综合示范基地(35°51'N, 104°17'E, 海拔 1 998 m),属于半干旱黄土丘陵区,无霜期 100~140 d,年日照时数 2 500 h,年平均太阳总辐射量 4 800~6 400 MJ·m⁻²,年均气温 7℃,年平均降水量 350 mm,56%的降水量集中在 7-9 月。2014-2016 年的降水及气温如图 1 所示,2014 年、2015 年、2016 年玉米生育期降雨量分别为 385.2 mm、241.6 mm、

291.5 mm。试验区沟壑纵横,试验地地势平坦,土壤为黄绵土。耕层 0~20 cm 土壤容重为 $1.37\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,有机质为 $13.18\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全氮、全磷分别为 $1.017\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $0.67\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$;碱解氮、速效磷和速效钾分别为 $52.8\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $14.44\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $165.93\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

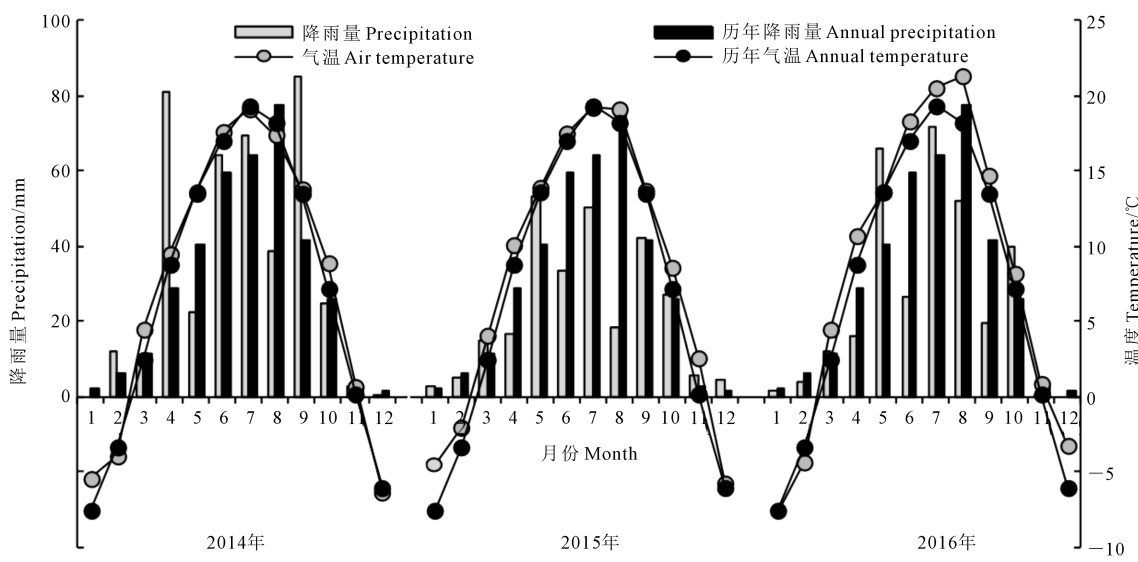


图 1 试验区 2014—2016 年月降雨量及气温
Fig.1 Rainfall and air temperature in the test area 2014–2016

1.2 试验设计

本研究于 2014—2016 年在春玉米连作田进行,2014 年起开展轮耕模式试验,设计 8 个处理,试验采用随机区组设计,每种耕作处理设 3 次重复,共 24 个小区,小区面积为 120 m^2 ($15\text{ m}\times8\text{ m}$),玉米均采用全膜双垄种植。耕作处理模式分别为:(1)连续免耕 (NT);(2)连续深松 (ST);(3)连续翻耕 (PT);(4)深松、免耕及深松轮耕 (ST/NT/ST);(5)免耕、免耕和深松轮耕 (NT/NT/ST);(6)翻耕、免耕及翻耕轮耕 (PT/NT/PT);(7)翻耕、免耕及深松轮耕 (PT/NT/ST);(8)深松、翻耕及深松轮耕 (ST/PT/ST)。具体土壤耕作措施为:(1)免耕处理 (NT):收获后不采取任何土壤耕作措施,采用一膜多年玉米种植使用;(2)深松处理 (ST):深松深度 30 cm,宽度间隔 40 cm,每年玉米收获后,为了最大限度地吸纳有效降水防止土壤跑墒,翌年土壤解冻后解膜并进行土壤深松、施肥覆膜播种,2014 年深松耕作在当年土壤解冻后开展;(3)翻耕处理 (PT):单犁铧全面深翻 20 cm,土壤翻耕时间与深松相同,深松、翻耕机械采用手扶拖拉机。8 个耕作处理的施肥、作物品种及其它管理措施均相同,玉米品种为金穗 4 号,667 m^2 保苗 3 500 株,播种时施用基肥:N(尿素,含氮量约为 46.4%) $150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, P_2O_5 (磷酸二铵,总氮 16%,有效磷 44%(以 P_2O_5 计)) $120\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, K_2O (氯化钾,含 K_2O 60%) $90\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,有机肥为 $1\,500\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (巧农活性有机肥有

机质 $\geq 45\%$ 、 $\text{N}+\text{P}_2\text{O}_5+\text{K}_2\text{O}\geq 5\%$);免耕(一膜多年用)施肥,把氮、磷、钾按照配比混匀装进多功能点播机,采用点播方式施入播种行,玉米点播在靠近施肥点;深松、翻耕有机肥在耕作期间作为基肥施入,试验期间其它田间管理措施同当地大田。

1.3 测定项目及计算方法

1.3.1 土壤孔隙度测定 土壤容重测定:分别于 2014 年 3 月 20 日和 2016 年 9 月 20 日,采用环刀法分别测定 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm 土层不同耕作处理下的土壤容重,每小区采集 3 个点。其中,2014 年 3 月 20 日测定的土壤孔隙度为处理前孔隙度。土壤孔隙度 (%) = $[(1 - \text{土壤容重}) / \text{土壤比重}] \times 100\%$,土壤比重 $\approx 2.65\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ [11]。

1.3.2 土壤养分测定 [12] 2014 年 3 月 20 日与 2016 年 9 月 10 日,不同耕作处理小区,通过土钻取 0~20 cm、20~40 cm 土层土样,每小区取三个点土样进行混合,带回实验室,风干、研磨后待测土壤养分。

- 1) 土壤有机质 (OM):重铬酸钾容量法;
- 2) 土壤全 N (NT):重铬酸钾消化法;
- 3) 土壤全 P (TP):硫酸—高氯酸消煮法;
- 4) 土壤全 K (TK):NaOH 熔融—火焰光度计法;
- 5) 土壤碱解性 N (AN):碱解扩散法;
- 6) 土壤速效 P (AP):碳酸氢钠法;
- 7) 土壤速效 K (AK):醋酸铵—火焰光度计法。

1.3.3 玉米干物质与产量测定 干物质重及产量测

定:于玉米苗期、拔节期、大喇叭口期、乳熟期及成熟期每小区连续选取长势一致的植株 4 株,整株置于 105℃ 下杀青 30 min,80℃ 下烘干至恒重,用百分之一电子天平称重;并于玉米成熟期进行实收测产。

1.3.4 经济效益 产量收益=作物产量×当年市场价格

支出=肥料价格×施用量+种子价格×施用量+地膜价格×施用量+人工劳力+机械

净收益=产量收益-支出

1.4 数据处理

试验采用 SPASS 21 数据处理软件进行方差分析,采用 Excel 2013 作图。

2 结果与分析

2.1 不同耕作方式对土壤孔隙度的影响 (2016 年)

图 2 可见,不同耕作方式下 0~20 cm 土层土壤孔隙度均大于 20~40 cm 土层,0~20 cm、20~40 cm 及 40~60 cm 土层土壤孔隙度平均值分别为

49.00%、46.95% 及 48.25%,0~20 cm 较 20~40 cm 土壤孔隙度提高 4.36%。0~20 cm 土层,土壤孔隙度 ST、PT、ST/PT/ST 土壤孔隙度最高,NT、NT/NT/ST 土壤孔隙度最小;20~40 cm 土层,NT 孔隙度最小,与其它耕作方式之间差异显著;40~60 cm 土层,不同耕作模式之间差异不显著;0~60 cm 土层,8 种耕作方式的土壤孔隙度平均值依次为 ST>ST/PT/ST>ST/NT/ST>PT>PT/NT/ST>PT/NT/PT>NT/NT/ST>NT。较处理前,0~60 cm 土层,ST/PT/ST、ST/NT/ST、NT/NT/ST、PT/NT/PT 及 ST/NT/PT 处理土壤孔隙度平均值分别提高了 3.42%、2.10%、-1.32%、0.79% 及 1.31%。可见,轮耕方式中有深松或翻耕的耕作下的土壤孔隙度均较高。总之,0~40 cm 土层深松与翻耕与免耕相比能够显著增加土壤孔隙度,深松与翻耕进行轮耕也能促进土壤孔隙度的增大,耕作对 40~60 cm 土层的孔隙度影响较小。本试验 0~60 cm 土层,5 种轮耕模式以 ST/PT/ST 的孔隙度最大,轮耕有利于土壤孔隙度的提高。

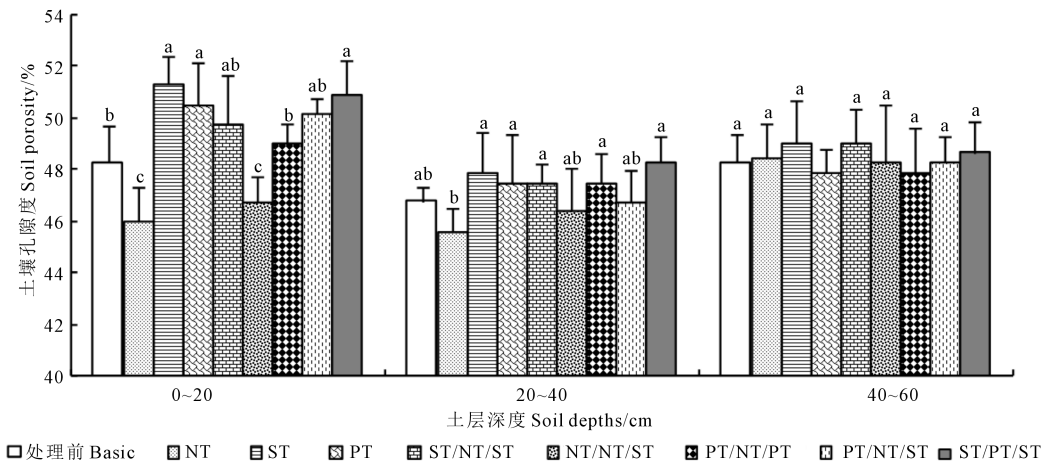


图 2 不同轮耕方式下 0~20 cm、20~40 cm 及 40~60 cm 土层土壤孔隙度
Fig.2 Soil porosity at 0~20 cm, 20~40 cm, 40~60 cm depth under different tillage systems

2.2 不同耕作方式对土壤养分含量的影响

从表 1 可知,土壤有机质含量在 0~20 cm、20~40 cm 土层,除连续免耕与翻耕处理之外,各轮耕处理较处理前均显著增加。0~20 cm 土层土壤养分(有机质、速效氮、磷、钾、全氮、全磷)含量均大于 20~40 cm 土层养分指标。0~20 cm 土层,连续单一耕作(NT、ST 及 PT)下土壤有机质含量之间显著差异(ST>NT>PT),较 NT 和 PT,ST 处理土壤有机质含量分别提高了 10.68%和 9.12%,较处理前,ST 处理土壤有机质含量提高了 3.79%;5 种轮耕处理,各土层的有机质含量以 ST/NT/ST 最高(ST/NT/ST>ST/PT/ST> PT/NT/ST>PT/NT/PT> NT/NT/ST)。20~40 cm 土层土壤有机质含量均低于 0~20 cm 土层,

连续单一耕作下土壤有机质含量大小为 ST>PT>NT,这与 20~40 cm 有所不同,NT 处理下 20~40 cm 土层土壤有机质含量最低,可能是免耕下土壤有机质出现了表面富集,而深松和翻耕处理会使表层有机质进入下层。5 种轮耕模式 20~40 cm 土层土壤有机质含量均比处理前显著增加,以 ST/NT/ST、ST/PT/ST 最高。

0~20 cm 土层,连续单一耕作(NT、ST 及 PT)对土壤速效 K 含量影响大小为:ST>PT>NT。总体来看,NT、NT/NT/ST 的速效 K 含量均显著低于其它耕作模式(P<0.05),ST 较 PT 能显著提高速效 K 含量。20~40 cm 土层 NT、ST 及 PT 耕作对土壤速效 K 含量影响大小为:ST>PT>NT;轮耕模式 ST/

NT/ST 显著提高土壤速效 K 含量 (ST/NT/ST>NT/NT/ST>PT/NT/PT>PT/NT/ST)。0~40 cm 土层, ST/NT/ST 和 ST/PT/ST 处理下土壤速效钾含量显著高于耕作前 14.40%~16.67%,以 ST/NT/ST 的速效钾最高。

0~20cm 土层,单一耕作方式对土壤有效磷含量影响大小为:PT>ST>NT,5 种轮耕模式中 ST/NT/ST、PT/NT/PT 处理土壤速效磷含量均显著高于其它处理,较耕作前提高了 5.47%、7.07%,NT 及 NT/NT/ST 处理土壤速效磷含量最低均低于耕作前。在 20~40 cm 土层,PT/NT/ST 及 ST/PT/ST 处理土壤速效磷含量最高,分别比 NT 提高 41.29% 和 39.30%。翻耕配合深松、免耕能够提高 0~40 cm 土层有效磷的含量。

0~20 cm 土层,单一耕作方式对土壤碱解氮含量大小为:PT>ST>NT。5 种轮作模式中,ST/NT/ST 处理土壤碱解氮含量最高,比处理前和 NT、ST 及 PT 分别提高了 10.28%、1.59%、15.51% 及 19.05%; NT/NT/ST、ST/NT/ST 及 NT 处理之间差异不显著。在 20~40 cm 土层,连续耕作方式对土壤碱解氮含量影响大小为:ST>PT>NT,ST/PT/ST 处理下碱解氮含量最高。翻耕与深松轮作能有效提高碱解氮含量。

0~20 cm 土层,单一耕作方式对全 P 含量影响大小为:NT>ST>PT,除 PT 处理,各轮耕处理下全 P 含量,PT 使得土壤全 P 含量降低。20~40 cm 土层,

各轮耕方式之间均没有显著差异。0~20 cm 土层全 P 含量均大于 20~40 cm 土层。

经 3 年轮耕,0~40 cm 土层土壤全 N 含量变化较小,仅 PT 处理下全 N 含量与其它耕作方式存在差异。0~20 cm 土层,NT、ST、ST/NT/ST、NT/NT/ST 与 PT/NT/ST 处理土壤全 N 含量分别比试验开始前增加了 0.89%、0.59%、2.26%、4.82% 和 1.08%, PT 和 PT/NT/ST 耕作土壤全 N 含量较处理前低。20~40 cm 土层,各处理土壤全 N 含量差异均不显著,以 ST/NT/ST 的全氮含量值最高,其次为 ST,比试验处理前分别提高了 4.77%、4.64%。各处理 0~20 cm 土层土壤全 N 含量均高于 20~40 cm 土层。深松、翻耕均能够增加土壤通透性,促进上层土壤养分进入下层,促进好气性微生物活动和有机质矿化^[5],利于降水入渗,增加耕层土壤持水性能,提高吸纳水分的能力,促进下层养分的提高。本试验中,通过深松与翻耕活性有机质翻入土层,同时也促进了有机质的摄入,间接提高了土壤养分的含量,而免耕处理由于肥料施入仅限于玉米播种区域,肥效对土壤表层养分影响有限。

总体而言,ST/NT/ST 和 ST/PT/ST 两种轮耕模式在 0~40 cm 土层对有机质的增效性较其它耕作模式明显,0~20 cm 土层免耕与深松耕作模式对全 N 和全 P 的影响较大;不同的耕作方式对 20~40 cm 土层全 N 和全 P 无显著影响,而 PT 和 PT/NT/PT 有助于提高土壤的速效 P 和速效 K。

表 1 不同耕作方式下 0~20 cm、20~40 cm 土层土壤养分含量							
Table 1 Effects of different tillage systems on soil nutrients in 0~20 cm and 20~40 cm soil layers							
土层/cm Soil depths	处理 Treatment	全 N/(g·kg ⁻¹) Total nitrogen	全 P/(g·kg ⁻¹) Total phosphorus	碱解 N/(mg·kg ⁻¹) Available N	速效 P/(mg·kg ⁻¹) Available P	速效 K/(mg·kg ⁻¹) Available K	有机质/(g·kg ⁻¹) Soil organic matter content
0~20	处理 Basic	1.017a	0.67ab	52.80b	12.44b	165.93c	12.68b
	NT	1.026a	0.71a	50.95c	10.54d	149.01d	11.89c
	ST	1.023a	0.64ab	55.83b	12.37b	193.61a	13.16a
	PT	0.824b	0.60b	60.03a	12.77b	175.55bc	12.06c
	ST/NT/ST	1.040a	0.69a	57.40a	13.12a	196.69a	13.31a
	NT/NT/ST	1.066a	0.65ab	52.09b	10.91d	169.38c	12.66b
	PT/NT/ PT	0.950a	0.65ab	60.99a	11.56c	169.39c	12.92a
	PT/NT/ST	1.028a	0.67ab	53.97b	11.75c	177.95bc	13.05a
	ST/PT/ST	1.028a	0.66ab	53.81b	13.32a	186.31b	12.99a
20~40	处理 Basic	0.754a	0.54a	40.76b	8.66c	134.79c	10.36d
	NT	0.744a	0.50a	39.81b	8.04c	112.76d	9.53e
	ST	0.789a	0.55a	42.71a	10.32b	154.16a	11.90a
	PT	0.746a	0.52a	40.14b	8.17c	143.32b	10.92c
	ST/NT/ST	0.790a	0.53a	41.29a	11.03a	152.76a	11.93a
	NT/NT/ST	0.764a	0.52a	39.35b	8.70c	125.42cd	10.87c
	PT/NT/ PT	0.748a	0.58a	40.28b	10.81ab	133.53c	10.92c
	PT/NT/ST	0.761a	0.56a	42.55a	11.36a	143.53b	11.44b
	ST/PT/ST	0.808a	0.54a	42.82a	11.20a	157.72a	11.88a

2.3 不同耕作方式对玉米在不同生育期单株干物质的影响(2016)

不同耕作处理下玉米长势不同,处理间单株生物量存在差异(图 3)。随着生育期的推进,玉米单株干物质呈增加趋势,在玉米乳熟期干物质增加幅度降低,干物质质量累积量以玉米成熟期最大。其中,单一耕作方式玉米干物质影响的大小为 ST>NT>PT,不同轮耕模式下,以 ST/NT/ST 单株干物质积累量最高为 287.36 g,较 NT、ST 和 PT 提高了 22.55%、11.45%和 33.27%。8 种耕作模式中 ST/NT/ST、ST/PT/ST、NT/NT/ST 和 PT/NT/ST 的单株玉米干物质较 NT、ST 和 PT 处理高,说明轮耕模式较单一的耕作更能促进玉米的生长。其中,ST 较 PT 和 PT/NT/PT 的玉米干物质高,均说明频繁的翻耕不利于玉米的生长。

2.4 不同轮耕方式对 3 年春玉米产量的影响

2014—2016 年受降雨量及季节性降雨差异的影响,玉米的年均产量有较大差别。其中,2014 年风调雨顺,生育期玉米长势较好,产量最高;2015 年生育期降雨量只有 241.6 mm,在 6 月与 8 月玉米大喇叭口期与开花期均出现了连续 15 天以上无降水记录,2016 年玉米生育期降雨量为 291.5 mm 较历史 337.4 mm 少,玉米播前土壤墒情较差,发生了春旱,在 6 月与 9 月份降雨量均偏少发生了伏旱,因

此,2015 年、2016 年玉米产量均较低。2014 年,单一耕作方式玉米产量大小为 ST>NT>PT,ST 和 NT 耕作下玉米产量较 PT 提高了 18.91%和 14.70%。ST、NT、ST/NT/ST 和 NT/NT/ST 处理显著高于 PT、PT/NT/PT 和 PT/NT/ST 耕作,说明翻耕不利于玉米产量的提高。2015 年,8 种耕作模式中,以 ST/NT/ST 处理下玉米产量最高($6\,373.20\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$),NT、ST 和 NT/NT/ST 处理间差异不显著,PT、PT/NT/PT、PT/NT/ST 玉米产量较低且差异不显著,ST/NT/ST 处理玉米产量较 ST 与 NT 提高了 4.42%、3.63%,说明深松和免耕轮耕较单一耕作与翻耕均能增加玉米产量。2016 年,以 ST/NT/ST 处理下玉米产量最高(ST/NT/ST>NT/NT/ST>ST/PT/ST>PT/NT/ST),其中,ST/NT/ST、NT/NT/ST、ST/PT/ST 和 PT/NT/ST 较 NT 提高了 18.32%、12.49%、11.32%和 9.21%。随着耕作年限的增加轮耕较单一耕作玉米产量增幅大。ST 耕作下玉米产量大于 NT,长期免耕也不利于玉米产量的形成。ST/NT/ST 处理下 3 年的玉米平均产量显著高于其它耕作(ST/NT/ST>NT/NT/ST>ST/PT/ST>ST>NT>PT/NT/ST>PT/NT/PT>PT)。ST/NT/ST 处理下玉米产量较 NT、ST 和 PT 产量提高了 5.97%、3.56%和 15.75%。ST/NT/ST 耕作更加有利于玉米产量的提高。

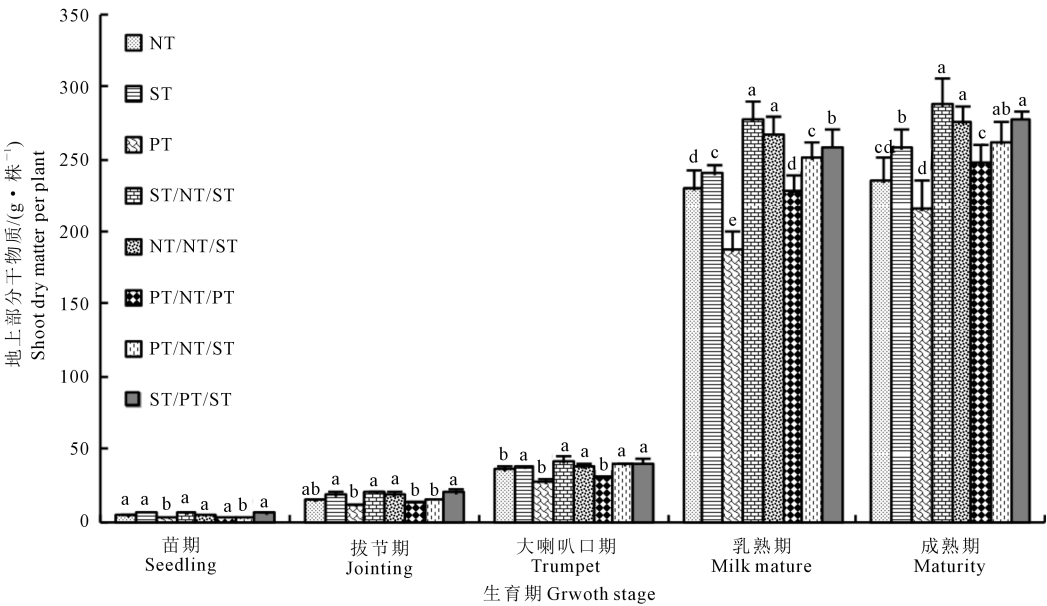


图 3 不同轮耕模式下玉米在不同生育时期的干物质变化

Fig.3 Dry matter changes of maize at different growth stages under different rotation tillage modes

表 2 2014—2016 年不同轮耕模式下的春玉米产量/(kg·hm⁻²)

Table 2 Yield of spring maize under different tillage systems in 2014–2016

年份 Years	NT	ST	PT	ST/NT/ST	NT/NT/ST	PT/NT/PT	PT/NT/ST	ST/PT/ST
2014	7964.13b	8256.16a	6943.42c	8213.45a	7908.60b	6723.38c	6785.22c	8200.54a
2015	6149.75b	6103.65b	5582.55d	6373.20a	6148.20b	5663.20d	5841.40c	5871.16c
2016	5433.20d	5643.20c	5370.90d	6428.30a	6111.60b	5634.10c	5933.70b	6048.22b
平均 Average	6515.69bc	6667.67bc	5965.62d	7004.98a	6722.80b	6006.89d	6183.77d	6706.64b
排序 Sort	5	4	8	1	2	7	6	3

2.5 不同轮耕方式下春玉米经济效益分析

2014—2016 年,不同年份玉米投入与产出各不相同,不同轮耕模式下的经济效益存在显著差异(表 3 和图 4),随着生产成本的提高与耕作年限的增加产投比呈逐年下降,以 PT 耕作的产投比最低,NT 耕作的产投比最高,经济净收益与产投比变化规律具有一致性。2014 年 NT 耕作方式的产量收入、纯收入、产投比均比 PT 高,轮耕模式 NT/NT/ST、ST/NT/ST 和 PT/NT/PT 中的纯收入、产投比与单一耕作方式 NT、ST、PT 规律相似为逐渐下降,净收益 NT 较 ST、PT 提高了 3.06%、34.15%。2015 年,耕作方式中玉米产量收益 NT 与 ST 之间差异不显著,较 PT 分别提高了 10.88%、9.33%,8 种耕作方式中 ST/NT/ST 的产量收益最高,净收益大小为 ST/

NT/ST>NT>NT/NT/ST>PT/NT/ST>ST>PT/NT/PT>ST/PT/ST>PT。2016 年,产量收益、净收益 ST/PT/ST 处理均最高,其次为 ST/NT/ST。ST 产量较 NT 提高了 4.64%,ST/NT/ST、NT/NT/ST、PT/NT/ST 轮耕下的产量效益较 ST 处理提高了 8.60%、7.77%、3.38%。3 年玉米平均净收益 ST/NT/ST 最高,其次 NT/NT/ST,PT 处理的玉米净收益最低。ST/NT/ST、NT/NT/ST 的产投比与 ST 相比提高了 3.65%、7.88%,ST/NT/ST、NT/NT/ST 的净效益与 ST 相比提高了 13.12%、12.15%,与 NT 相比提高了 2.86%、1.98%。合理的轮耕方式既可以降低产投比,同时还能够提高作物的净收益,以轮耕 ST/NT/ST、NT/NT/ST 的经济效益与产投比均较高。

表 3 2014—2016 年不同轮耕模式下的玉米经济效益分析/(元·hm⁻²)

Table 3 Economic benefits of spring maize under different tillage systems in 2014–2016

轮耕模式 Tillage patterns	2014				2015				2016				3 年平均 净收益 Average	排序 Sort
	支出 Spending		产量 收益 Yield benefit	净收益 Net benefit	支出 Spending		产量 收益 Yield benefit	净收益 Net benefit	支出 Spending		产量 收益 Yield benefit	净收益 Net benefit		
	农药肥料	其它			农药肥料	其它			农药肥料	其它				
	Pesticide- added fertilizer	Other			Pesticide- added fertilizer	Other			Pesticide- added fertilizer	Other				
NT	2800	3825	17521.08b	10896.08a	2940	3825	13617.45b	6952.45b	3087	4325	9168.44c	2056.44ab	6635.00a	3
ST	2800	4800	18163.56a	10563.56a	2940	4800	13428.03b	5688.03d	3087	4800	9593.44b	1706.44c	5986.01b	4
PT	2800	5300	15275.52c	7175.52b	2940	5300	12281.61d	4041.61f	3087	5300	9130.53c	743.53e	3986.89e	8
ST/NT/ST	2800	4800	18069.59a	10469.59a	2940	3825	14021.04a	7256.04a	3087	4800	10418.11a	2531.11a	6752.25a	1
NT/NT/ST	2800	3725	17398.92b	10873.92a	2940	3825	13526.04b	6761.04b	3087	4800	10389.72a	2502.72a	6712.56a	2
PT/NT/PT	2800	5300	14791.43c	6691.43b	2940	3825	12459.04d	5694.04d	3087	5300	9577.97b	1190.97d	4525.48d	7
PT/NT/ST	2800	5300	14927.48c	6827.47b	2940	3825	13071.08c	6306.08c	3087	4800	9917.29a	2030.29b	5054.61c	6
ST/PT/ST	2800	4800	18041.19a	10441.19a	2940	5300	12916.55d	4676.55e	3087	4800	10281.97a	2364.97a	5827.57b	5

注:农家肥 0.3 元·kg⁻¹;氮肥 3.5 元·kg⁻¹,150 kg·hm⁻²,其它肥料(农家肥)800 元·hm⁻²,肥料价格 2014–2016 年按照 5% 涨价,2014 年化肥投入 2 800 元·hm⁻²。其它支出(种子成本+耕作费用+地膜费用+田间管理费用);玉米种子成本 600 元·hm⁻²;翻耕费 550 元·hm⁻²,深松费 450 元·hm⁻²,劳力每天 100 元,免耕人工穴施肥料费用 800 元·hm⁻²;地膜 13 元·kg⁻¹,75 公斤·hm⁻²,地膜 975 元·hm⁻²;免耕喷药除草等费用第三年增加 500 元·hm⁻²(地膜破损,杂草较多)。收益价格:2014 年玉米价格 2.2 元·kg⁻¹;2015 年玉米价格 2.2 元·kg⁻¹;2016 年玉米价格 1.7 元·kg⁻¹。

Note: Farm manure is 300 yuan·ton⁻¹; nitrogen fertilizer is 3 500 yuan·hm⁻², 150 kg·hm⁻², other fertilizer (farmyard manure) is 800 yuan·hm⁻², fertilizer price is 2014–2016, according to 5% price increase, in 2014, 2800 yuan·hm⁻² of chemical fertilizer was invested. Other expenses (seed cost + farming field management fee costs + cost + plastic film); corn seed costs 600 yuan·hm⁻²; tillage costs 550 yuan·hm⁻², subsoiling labor costs 450 yuan·hm⁻², 100 yuan a day, no tillage fertilizing fertilizer artificial cost 800 yuan·hm⁻²; film 13 yuan·kg⁻¹, 75 kg·hm⁻² the film, 975 yuan·hm⁻²; no tillage weeding spraying cost of third years increased by 500 yuan·hm⁻²(film damage than many weeds). Yield price: 2014 corn price 2.2 yuan·kg⁻¹; 2015 corn price 2.2 yuan·kg⁻¹; 2016 corn price 1.7 yuan·kg⁻¹.

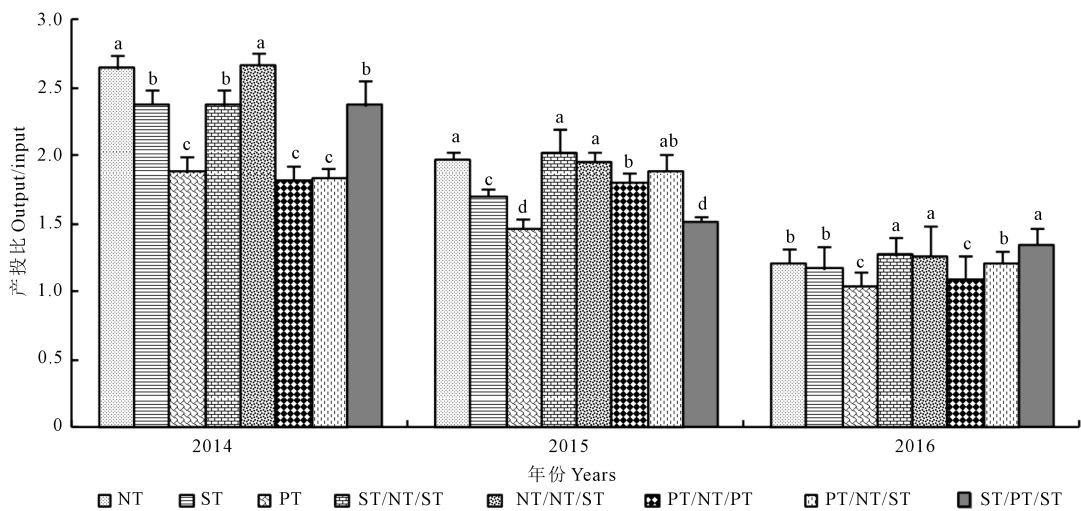


图 4 2014—2016 年不同耕作模式下的玉米产投比

Fig.4 Output /input under different tillage treatments in 2014—2016

3 讨 论

3.1 不同耕作方式对土壤孔隙度的影响

耕作中受机械外力作用,土壤的固有结构会被打破,不同耕作下的土壤结构所受影响不尽相同。研究表明,与翻耕相比,免耕显著减小了耕层 5~20 cm 的次生孔隙,从而降低了土壤总孔隙度^[7],这是由于免耕受机械压实和土壤的自然沉实作用,使土壤容重变大,孔隙度减小变得紧实板硬。陈宁宁通过 7 年轮耕研究,免耕较深松和翻耕显著降低了 0~40 cm 土层土壤孔隙度^[9]。

本研究表明,0~60 cm 土层,随土层的增加土壤孔隙度表现为先降后增,以 20~40 cm 土层的土壤孔隙度最低,长期机械或外力作用在耕作层形成了较为坚硬的耕作层,这与程科^[6]的研究结果一致,而王玉玲^[13]研究认为轮耕体系中凡加入深松和翻耕,土壤孔隙度均增加,且随土层的增加不断降低,与本试验不一。土壤孔隙度以 ST/PT/ST 模式对土壤改善效果最佳,其次为 ST/NT/ST,深松耕作土层深度能达到 30 cm,可以打破犁底层,翻耕则把下层的土层带入上层改变耕层结构,深耕与翻耕轮耕可显著改善土壤结构,与王玉玲^[13]结果一致,免耕/深松轮耕则能提高耕层团聚体含量与稳定性^[6]。

3.2 不同耕作方式对土壤养分的影响

0~40 cm 土层,不同耕作下的土壤有机质、速效氮磷钾、全氮、全磷含量随土层的加深均呈降低趋势。其中,免耕、深松与翻耕相比土壤扰动较少,植物残枝与肥料常留在土壤表层,使得土壤养分表层富集化。本研究中,免耕与深松轮耕下土壤全氮、全磷含量较高,与侯贤清^[8, 14]和李娟^[10]、王玉玲^[13]的

结论相似。而翻耕与深松轮耕有利于速效氮磷钾的提高,增加了肥力^[13, 15-16],本研究以 ST/PT/ST 模式下的土壤速效氮磷钾含量最高。免耕下的土壤有机质含量低,可能是由于连续三年地膜免耕,土壤中没有有效补充有机质。

3.3 不同耕作方式对产量的影响

研究表明长期免耕后再进行翻耕有利于产量的提高,长期翻耕较长期免耕更有利于作物产量的增加^[17],而小麦/玉米轮作下深耕比免耕处理能提高玉米季产量的增加^[18]。深松可延缓花后玉米叶片的衰老,提高灌浆阶段对水分的吸收,有利于玉米籽粒灌浆,增加产量^[18],轮耕使土壤孔隙度与团聚体含量增加,提高了土壤的蓄水保墒能力与土壤有效养分^[8],影响了作物的根系发育,进而影响作物籽粒品质各指标最高^[18]。李娟研究轮耕模式对产量的影响时发现,免耕/深松轮耕能提高土壤蓄水保墒能力,较连续翻耕与免耕玉米产量提高 7.6%、7.39%^[10],陈宁宁通过 6 种轮耕模式比较发现免耕/深松更有利于土壤蓄水保墒和作物增产。通过 3 年定位试验证明以 ST/NT/ST 轮耕下的玉米产量最高,其次是 NT/NT/ST 与 ST/PT/ST。

3.4 不同耕作方式下的经济效益

农业生产在考虑产出的同时需要考虑投入与环境等因素,在生产与劳动成本逐年上升的今天,较高的产量并不代表较高的收入,过高的投入不仅会提高生产成本也会降低经济效益。不同轮耕模式因所采取耕作方法不同,其经济投入、作物产出和经济效益均会不同。而评价一种轮耕模式的优劣,要从该轮耕体系在一个或多个轮耕周期的综合经济效益来分析比较^[19]。王玉玲^[13]通过 6 年定位试

验,得出以“深松/翻耕”轮作下作物籽粒产量和经济效益最高。李娟^[20]通过 5 年对 6 种轮耕模式研究发现,经济效益以免耕—深松轮耕模式最高(7 600.5元·hm⁻²),其次是深松—翻耕,且 5 种轮耕模式下作物籽粒产量和经济效益均高于单一翻耕模式,与本试验结论一致。本试验通过 3 年对 8 种耕作方式的研究表明,以 ST/NT/ST 模式的经济效益最高,PT 模式的经济效益最低,轮耕模式的产投比介于免耕与翻耕之间,免耕与深松轮耕打破了土壤犁底层,增加土壤孔隙度,改善了土壤结构,增加了土壤蓄水保墒能力,提高了土壤养分的利用,有利于作物的生长与产量的提高。

4 结 论

本试验结合旱作区耕作实践,通过不同的耕作模式,筛选合理的耕作模式为改善土壤结构、提高作物产量提供理论参考与技术支持。本研究的结论如下:

- 1)经过 3 年定位试验,0~60 cm 土层,轮耕措施能显著增加土壤孔隙度,以 ST/PT/ST 轮耕模式最优,其次为 ST/NT/ST 与 ST/NT/ST,以 NT 土壤孔隙度最大。
 - 2)0~20 cm 土层,免耕与深耕进行轮耕,全氮、全磷含量较高,以 ST/NT/ST 全氮、磷含量最高,20~40 cm 土层,耕作方式对土壤全氮、全磷含量无显著影响,翻耕促进了速效养分的提高,以 ST/PT/ST 速效氮、磷、钾含量高,免耕下的有机质含量最低。
 - 3)三年不同的耕作模式,玉米的平均产量以 ST/NT/ST 最高,其次为 NT/NT/ST 与 ST/PT/ST,较连续单一耕作均能增加玉米产量,以 PT 耕作下的产量最低。
 - 4)轮耕模式的产投比介于 NT 与 PT 之间,经济效益以 ST/NT/ST 最高,其次为 NT/NT/ST 与 NT,PT 耕作下经济效益最低。
- 因此,通过三年的耕作模式比较,以 ST/NT/ST 轮作有利于提高土壤孔隙度,增产增效效果好,适合在兰州市山旱地区推广应用。

参 考 文 献:

[1] 王平,谢成俊,陈娟,等. 地膜覆盖对半干旱地区土壤环境及作物产量的影响研究综述[J]. 甘肃农业科技, 2011,(12):

34-37.

[2] 李福. 甘肃省发展旱作农业的实践及建议[J]. 甘肃农业科技, 2010,(6): 36-38.

[3] 王恒飞,张永清,吴忠红,等. 长期免耕对褐土理化性质和酶活性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(2): 136-141.

[4] 田慧,谭周进,屠乃美,等. 少免耕土壤生态学效应研究进展[J]. 耕作与栽培, 2006,(5): 10-12.

[5] 李荣,侯贤清,贾志宽,等. 北方旱作区土壤轮耕技术研究进展[J]. 西北农业学报, 2015, 24(3): 1-7.

[6] 程科,李军,毛红玲. 不同轮耕模式对黄土高原旱作麦田土壤物理性状的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(18): 3800-3808.

[7] 陈学文,张晓平,梁爱珍,等. 耕作方式对黑土耕层孔隙分布和水分特征的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(6): 114-120.

[8] 侯贤清,王维,韩清芳,等. 夏闲期轮耕对小麦田土壤水分及产量的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(10): 2524-2532.

[9] 陈宁宁,李军,吕薇,等. 不同轮耕方式对渭北旱塬麦玉轮作田土壤物理性状与产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(9): 1102-1111.

[10] 李娟,王丽,李军,等. 轮耕对渭北旱塬玉米连作系统土壤水分和作物产量的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(16): 110-118.

[11] 日本土壤物理性测定委员会,翁德衡. 土壤物理性测定法[M]. 重庆:科学技术文献出版社重庆分社, 1979: 40-68.

[12] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1983: 62-126.

[13] 王玉玲,李军,柏炜霞. 轮耕体系对黄土台源麦玉轮作田土壤生产性能的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(1): 107-116.

[14] 侯贤清,李荣,韩清芳,等. 轮耕对宁南旱区土壤理化性状和旱地小麦产量的影响[J]. 土壤学报, 2012, 49(3): 592-600.

[15] 黄细喜,邵达三,张洪程. 新型耕作法及理论[M]. 南京:东南大学出版社, 1991: 1-16.

[16] Hou X Q, Li R, Jia Z K, et al. Effects of rotational tillage practices on soil properties, winter wheat yields and water-use efficiency in semi-arid areas of north-west China[J]. Field Crops Research, 2012, 129: 7-13.

[17] 孔凡磊,陈阜,张海林,等. 轮耕对土壤物理性状和冬小麦产量的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(8): 150-155.

[18] 聂良鹏,郭利伟,牛海燕,等. 轮耕对小麦—玉米两熟农田耕层构造及作物产量与品质的影响[J]. 作物学报, 2015, 41(3): 468-478.

[19] 刘世平,陆建飞,庄恒扬,等. 土壤轮耕—江苏农业可持续发展的重要法措施[J]. 土壤, 1998, (1): 43-46.

[20] 李娟,李军,程科,等. 渭北旱塬玉米田保护性轮耕土壤固碳效果与增产增收效应[J]. 农业工程学报, 2016, 32(5): 104-111.